O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

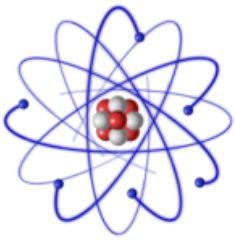
SINOV UCHUN BERILGAN

F I Z I K A

(Elektrodinamika asoslari)

(II qism)

- ***Elektrostatika***
- ***O‘zgarmas tok qonunlari***
- ***Turli muhitda elaktr toki***
- ***Magnetizm***
- ***Mexanik tebranishlar va to‘lqinlar***
- ***Ekaktr tebranishlar va elektromagnit to‘lqinlar***



TOSHKENT – 2023

Sh.B.Axmedov, M.B.Dusmuratov. Fizika (II qism). Toshkent: 2022. 462 b.

Mazkur darslik O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tasdiqlagan «Fizika» bo‘yicha namunaviy o‘quv dasturi asosida yozilgan bo‘lib, fizika chuqurlashtirib o‘qitiladigan akademik litseylar uchun mo‘ljallangan. Unda fizikaning mexanika, molekulyar fizika va termodinamika asoslari, elektrodinamika asoslari hamda optika, atom, yadro va zarralar fizikasi bo‘limlari yoritilgan. Har bir bob so‘nggida bobga doir masalalar numuna sifatida yechib ko‘rsatilgan hamda bobga doir testlar va masalalar berilgan. Darslikning ilova qismida masalalar yechishda kerak bo‘ladigan jadval ma‘lumotlari, turli fizik doimiylar, fizik kattaliklar o‘lchov birliklarining ta’riflari keltirilgan.

Данный учебник написан на основании примерной программы по “Физике”, утверждённой министерством высшего и средного специального образования Республики Узбекистан и предназначен для академических лицеев с углубленным изучением физики. В нем освещены такие разделы как механика, основы молекулярной физики и термодинамики, основы электродинамики, оптика, атомная и ядерная физика и физика элементарных частиц. В конце каждой главы даны примерные решения задая и даны тесты и задачи для самостоятельного решения. В приложении учебника приведены табличные данные для решения задач, различные физические постоянные величиниы, даны определения единицам измерения основныч физических величин.

This coursebook has been created on the basis of exemplary curriculum in “Physics” confirmed by the Mimistery of higher and secondary specialized education of the Republic of Uzbekistan and it is appropriate to be used at the academic lyceums where physics is a specialized discipline. The coursebook comprises the units concerning mechanics, the bases of molecular physics and thermodynamics, the bases of electrodynamics, optics and the physics of atom, nuclear and elementary particles. At the end of each unit there are examples and tests and examples for solving independently. In appendix there are tables, different physical constants and descriptions of physical units of measurements.

Taqrizchilar:

M.Q.Jabborova	-	I.Karimov nomidagi TDTU akademik litseyi fizika fani bosh o‘qituvchisi
Sh.M.Kamolxujayev	-	I.Karimov nomidagi TDTU, “Fizika” kafedrasi professori, p.f.d.
A.G.Gaibov	-	I.Karimov nomidagi TDTU fizika kafedrasi dotsenti, f-m.f.n.
M.Qurbonov	-	O‘zMU “Fizika” fakulteti professori,p.f.d.
R.M.Abdullayev	-	O‘zMU “Fizika” fakulteti dotsenti,f-m.f.n.
A. Shodiyev	-	A.Navoiy nomidagi SamDU dotsenti, f-m.f.n.
A. Jumabayev	-	A.Navoiy nomidagi SamDU professori, f-m.f.d.
Sh.N.Usmonov	-	O‘zRFA Fizika texnika instituti, laboratoriya mudiri, f-m.f.d.
K.T.Suyarov	-	TVChDPI “Fizikava astronomiya o‘qitish metodikasi” kafedrasi dotsenti, kafedra mudiri, p.f.d. (PhD)
M.N.Mirahmedov	-	Al-Xorazmiy nomidagi TATU akademik litseyi fizika fani bosh o‘qituvchisi, f-m.f.n
R.A.Gulamov		Namangan muhandislik qurilish instituti akademik litseyi ijrochi direktori, f-m.f.n
M.M.Abdulxayeva		Namangan muhandislik qurilish instituti akademik litseyi fizika fani bosh o‘qituvchisi

SINOV UCHUN BERILGAN

SO‘Z BOSHI

Fizika – tabiat to‘g‘risidagi fan hisoblanib, bu fan materiyaning turli ko‘rinishlari va xossalarini, ularning xilma-xil o‘zgarishlarini, bu o‘zgarishlarni tavsif etadigan qonunlarni, hodisalar o‘rtasidagi munosobatlarni, zamon va makon xususiyatlarini o‘rganadi.

Boshqa fanlardan fizika fani shu jihati bilan farq qiladiki, materiyaning xususiyatlarini, uning o‘zgarishlarini o‘rganishda o‘lchash va sonlar bilan ifodalash mumkin bo‘lgan turli xil fizik kattaliklar kiritiladi. Shu tufayli hodisalarning kechishi va ular orasidagi eng muhim bog’lanishlar qonunlar deb atalib, ular ham matematik munosobatlar tarzida ifoda qilinadi.

Materiya xossalarining hammasi ham insoniyatga ma’lum bo‘lmasdan, o‘z yechimini topmagan tabiat hodisa va jarayonlari hali hamonki ko‘pdir. Biroq fizika va boshqa fanlarning taraqqiyoti dunyoda o‘rganib, tushunib bo‘lmaydigan hech narsa yo‘q ekanligini ko‘rsatadi. Moddiy olamni bilish mumkinligini ham uning asosiy xususiyati deb hisoblash mumkin. Shu boisdaham har bir yangi kashf etilgan nazariya oldingisini rad etmasdan, balki uni to‘ldirib, boyitib boradi, ya’ni moslik prinsipi bajariladi, shu tariqa insoniyat absalyut haqiqatga yaqinlashib boradi. Materiyaning xossalarini, uning o‘zgarish qonunlarini bilish uning tevarak atrofdagi olamni bilishga bo‘lgan tabiiy intilishiga mos keladi. Shuning uchun bu tabiat to‘g‘risidagi fanlar birinnchi darajali amaliy ahamiyatga egadir. Chunki ular biror tabiat hodisasining qanday kechishini oldindan bilishga imkon beradi. Busiz esa hach qanday muvaffaqiyatli ishlab chiqarish bo‘lmaydi. Qudratli texnikaga bolgan kishilar faoliyati atrofimizdagi muhitga katta ta’sir ko‘rsatayotgan hozirgi davrda tabiat qonunlariga tayanib kelajakni oldindan ko‘ra bilish ayniqsa muhimdir. Bu ta’sir insonga tuzatib bo‘lmas halokat keltirmasligi uchun uning oqibatlarini oldindan ko‘ra bilish kerak. Buning uchun esa tabiat qonunlari to‘g‘risida, jumladan fizika o‘rganadigan to‘g‘risida mumkin qadar ko‘proq ma’lumotga ega bo‘lish kerak.

Har qanday fanning vazifasi inson qo‘lida biror hodisaning qay tarzda yuz berishini oldindan bilishga imkon yaratadigan tadqiqot metodlarini berishdan iborat. Boshqacha aytganda, fan kelajakni oldindan ko’ra bilishga va o‘tmishni izohlay olishga yordam qilishi kerak. Shundagina tabiat hodisalarini jamiat va tarqqiyot foydasiga ishlatish mumkin.

Bizga ma’lumki, fizikani o’qitishdan asosiy maqsad, birinchidan tabiatnning fundamental qonunlarini ilmiy aqsosda tushuntirish, o‘quvchilarning ilmiy dunyuqarash va falsafiy mulohaza yuritish qobiliyatlarini rivojlantirish, texnika va turmushda foydalaniladigan uskuna va vositalarning ishlash prinnsipini tushuntiruvchi fizik jarayonlar haqida tasavvurlarni shaklllantirish bo‘lsa,

SINOV UCHUN BERILGAN

ikkinchidan esa ta’lim olishni davom ettirish, olgan bilimlarni chuqurlashtirish va kelgusida ilmiy izlanishlarni davom ettirish uchun mustahkam zamin yaratishdan iborat.

Ushbu darslik ham yuqoridagi maqsadlardan kelib chiqib, fizika chuqurlashtirib o‘tiladigan akademik litseylar uchun mo‘ljallangan o‘quv dasturi asosida tayyorlangan. Mazkur darslik O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 3 dekabrdagi “Iqtidorli yoshlarni saralab olish tizimi va akademik litseylar faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PQ-4910-son qarori, O‘zbekiston Respublikasi bosh vazirining o‘rinbosari tomonidan 2021 yil 8 mayda tasdiqlangan “Akademik litseylar uchun ikki yillik tizmga moslashtirilgan hamda o‘quvchilarda muayyan kompetensiyalarni shakllantirishga qaratilgan ta’lim va fan dasturlari asosida o‘qub adabiyotlari – darsliklar, o'quv va o‘quv metodik qo‘llanmalar yaratish tizimini takomillashtirish bo‘yicha chora-tadbirlar dasturida” belgilangan topshiriqlar ijrosini ta’minlash maqsadida ishlab chiqildi..

Darslikning ushbu ikkinchi qismi elektrodinamika asoslariga bag‘ishlangan bo‘lib unda elektrostatika, turli muhitdagi elektr toki, magnetizm, mexanik va elektr tebranishlar, mexanik va elektromagnit to‘lqinlar kabi boblar yoritib berilgan. Har bir bobdagi mavzuni yoritib berishda mavzuga oid ko‘plab adabiyotlar chuqur tahlil qilingan, mavzular ketma-ketligi va izchilligi hamda fanlararo aloqadorlik ham e’tiborga olingan. Mavzuga oid chizma va grafiklar zamonaviy dasturlar yordamida olingan bo‘lib, ular o‘quvchilarda mavzuga oid fizik tasavvurni kengaytirishga xizmat qiladi.

Darslikning har bir mavzusi kichikroq mavzuchalarga bo‘lingan bo‘lib, ular o‘quvchilardagi bilimlarni konkretlashtirishga xizmat qiladi. Har bir mavzudan keyin mavzu yuzasidan bir nechta savollar hamda bir nechta masalalar yechimlari berilgan bo‘lib, bu esa o‘quvchilarda mavzuni yana bir qayta yod etishga hamda ularda ko‘nikma shakllanishiga sabab bo‘ladi. Har bir bobdan keyin mazkur bobga oid laboratoriyalar, mustaqil yechish uchun testlar va topshiriqlar berilgan. Undan tashqari fizika fani rivojiga muhim hissa qo‘shgan, fundamental tajribalar o‘tkazgan va qonunlar kash qilgan olimlarning hayoti va ijodi haqida qisqacha ma’lumotlar berib o‘tilgan.

Darslikdan foydalanish fizika-matematika fanlariga ixtisoslashtirilgan maxsus maktablar va o‘rta maktabni yuqori sinf o‘quvchilari, oliy o‘quv yurtlariga kiruvchi abituriyentlar hamda fizika o‘qituvchilari uchun ham foydali bo‘lib, darslik ularni fizikadan bilim va saviyalarini yanada oshirishga katta yordam beradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI

Elektrodinamika–zaryadlangan jismlarning o‘zaro elektromagnit ta’sirini hamda bu ta’sirni uzatuvchi va materiyaning maxsus turi bo‘lgan elektromagnit maydonning xossasini va uning o‘ziga xos qonuniyatlarini o‘rganuvchi fizikaning bo‘limidir.

Hozirgacha fan aniqlagan ta’sir uzatishning asosiy to‘rtta turi: gravitatsion, elektromagnit, yadro va zaif ta’sirlar ichida elektromagnit ta’sir eng ko‘p tarqalgani bo‘lib, o‘zining xilma-xiligi bilan birinchi o‘rinda turadi. Bunga sirtning ishqalanish kuchi, muhitning qarshilik kuchi, kulon kuchi, amper kuchi, Lorens kuchi, elastiklik kuchi, tayanchning reaksiya kuchi va boshqa kuchlarni misol qilish mumkin. Bir qarashda elastiklik, ishqalanish, qarshilik va reaksiya kuchlari mexanik kuchlaridek tuyulsa-da, aslida deyarli barcha mexanik kuchlar elektromagnit ta’sirga kiradi. Chunki, yaqindan qaraganda moddani tashkil qilgan molekula va atomlar elektron qobiqlarga ega bo‘lib, bu qobiqlar orqali tortishish va itarishish kuchlari yuzaga keladi. Atom va molekulalarning joylashuv o‘rni o‘zgarganda ana shu elektron qobiqlar orqali tortish yoki itarish kuchlardan biri ustunlik qiladi. Ana shunda yuqorida aytilgan mexanik kuchlar yuzaga keladi.

Ushbu darslikda elektrodinamika asoslari bo‘limini 4 qismga bo‘lib o‘rganamiz:

- *Elektrostatika*
- *O‘zgarmas tok qonunlari*
- *Turli mugitda elektr toki*
- *Magnetizm*
- *Elektr tebranishlari va elektromagnit to‘lqinlar*

SINOV UCHUN BERILGAN

I BOB. ELEKTROSTATIKA

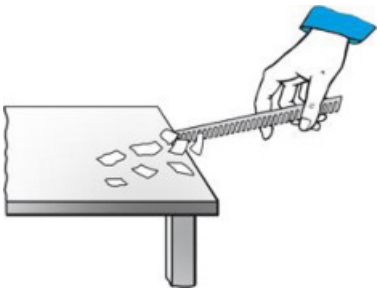


Elektrodinamikaning tinch turgan elektr zaryadli jismlarni o‘rganadigan bo‘limi elektrostatika deb ataladi. Tinch turgan zaryad yoki zaryadli jism hosil qilgan maydonni elektrostiktik maydon yoki qisqacha elektr maydon deyiladi. Ushbu bobda biz elektr zaryadi va uning ikki turi, elektr zaryadlarining o‘zaro ta’sir qonuni, elektr maydoni, elektr maydonida zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish, ekvipotensial sirtlar va uning xossalari, o‘tkazgich va dielektriklarning xossalari, elektr zanjirlari, elektr sig‘im va boshqalar haqida ma’lumot beramiz.

§ 1. TURLI ELEKTR HODISALARI. ELEKTR ZARYADINING SAQLANISH QONUNI

Jismlarning elektrlanishi:

Juda qadimdan quruq sochni taroq bilan taralganda taroq o‘ziga yengil bo‘lgan narsalarni (masalan mayda qog‘oz bo‘laklarini) tortishi ma’lum bo‘lgan (1.1-rasm). Ushbu hodisa sababi ko‘pchilikni qiziqtirgan bo‘lsa-da, XVIII asrgacha noma’lumligicha qolib kelgan. Bu hodisani *“elektrlanish”* deb atashgan xolos (elektr so‘zi grekcha “elektron”–qahrabo so‘zidan olingan).



1.1-rasm

XVI asrda ingliz olimi Jilbert tomonidan bir qator tajribalar o‘tkazilib, qahrabodan tashqari shisha, ebonit, olmos, tog‘ xrustali, oltingugurt, smola va shu kabi boshqa jismlar ham ipak, jun, mo‘ynaga ishqalanganda o‘ziga engil narsani tortishi aniqlandi. Shuningdek, taroqni sochga ishqalashdan tashqari shisha yoki plastmassani mo‘ynaga yoki sochga ishqalaganda, shishani charmga ishqalaganda ham o‘ziga engil narsalarni tortar ekan.

Umuman jismlarni bir-biriga ishqalaganda elektrlanish kuzatilar ekan. Elektrlangan jismlar o‘ziga boshqa mayda jismlarni o‘ziga tortish xususiyatiga ega bo‘lib qolar ekan, ya’ni ularda *elektr zaryad*lari paydo bo‘lar ekan. Makroskopik jismni elektrlash uchun bir qism manfiy zaryadni u bilan bog‘langan musbat zaryaddan ajratish kerak bo‘ladi. Agar quruq soch taroq bilan bir necha marta taralsa, juda harakatchan bo‘lgan elektronlarning bir qismi sochdan taroqqa o‘tib, uni manfiy zaryadlaydi, soch esa mubat musbat zaryadlanib qoladi. Bundan ishqalangan jismlar elektr zaryadlari hosil qilar ekan degan tushunchaga kelish

SINOV UCHUN BERILGAN

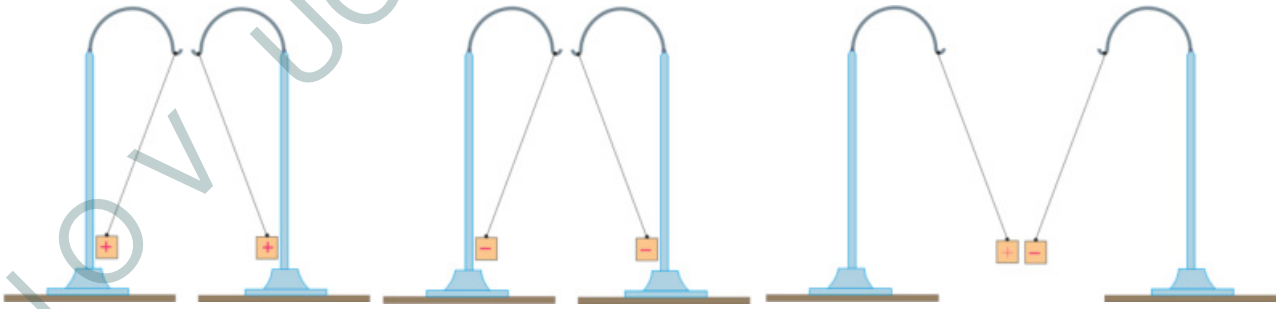
mumkin. Aslida esa elektr zaryadlari hamma jismlarda mavjud, chunki elektr zaryadli zarralar hamma jismlardagi atom va molekulalarning ajralmas qismidir.

Jismlarni faqatgina bir-biriga ishqalash orqali emas, balki elektrlangan jismni boshqa jismga tekkizganda ham elektrlanish paydo bo‘lar ekan. Bunday elektrlash *tekkizib elektrlash* deyiladi. Tekkizib elektrlaganda elektr zaryadi bir jismdan boshqasiga ko‘chish natijasida ikkinchi jism ham elektrlanib qoladi.

Sintetik matolar ishqalanganda elektrlanish kuchliroq bo‘ladi. Quruq havoda neylon ko‘ylakni yechganda chirsillagan tovush chiqadi. Ishqalanuvchi sirtlarning zaryadlangan qismlari orasida mayda uchqunlar chaqnaydi. Tez alangalanuvchi moddalar bilan ishlaganda bunday mayda uchqunlar ham katta olov keltirib chiqarishi ehtimoldan holi emas. Ishlab chiqarish korxonalarida bunday hodisalarni e’tiborga olishga to‘g‘ri keladi. Masalan, to‘qimachilik fabrikalarida iplar ishqalanish hisobiga elektrlanib qolishi natijasida urchuq va g‘altaklarga tortilib uziladi. Yigirilgan ip o‘ziga chang tortib kirlanadi. Bularga esa maxsus qarshi choralar ko‘rishga to‘g‘ri keladi.

Elekt zaryadining ikki turi,zaryadlarning o‘zaro ta’siri:

1733-yili fransuz fizigi Sharl Dyufe (1698–1739) ishqalangan jismlarda elektr zaryadining ikki turi paydo bo‘lishini tajriba yordamida birinchi bo‘lib aniqladi. Elektr zaryadining birinchi turi shishada, qimmatbaho toshlarda, sochda, mo‘ynada hosil bo‘lishini, ikkinchi turi esa qahrabo smola ipakda hosil bo‘lishini ko‘rsatdi. Keyinchalik shartli ravishda elektr zaryadining birinchi turi charmga ishqalangan shishada hosil bo‘lgan zaryadlar–musbat zaryadlar va ikkinchi turi–mo‘ynaga ishqalangan qahraboda hosil bo‘lgan zaryadlar esa–manfiy zaryadlar deb atala boshlandi.



a) *b)* *c)*

1.2-rasm

Bularni tajribada o‘zimiz ham gilzalar (qog‘ozdan o‘ralgan va ipak ipga osilgan kichkina naycha) yordamida tekshirib ko‘rishimiz mumkin. Masalan, charmga ishqalangan ikkita shishani yonma-yon turgan ikita gilzaga tekkizilganda ular bir-biridan qochganini ko‘rishimiz mumkin. Xuddi shuningdek mo‘ynaga ishqalangan ikkita ebonitni ham o‘sha gilzalarga tekkizilganda ham avvalgi manzaraga guvoh bo‘lamiz. Endi charmga ishqalangan shisha va mo‘ynaga

SINOV UCHUN BERILGAN

ishqalangan ebonitni o‘sha gilzalarga tekkizilganda gilzalar bir-biriga tortishini ko‘ramiz *(1.2-a,b,c rasm)*.

Faqatgina ishqalaganda emas, balki jismlarni bir-biriga tekkizganda ham elektrlanadi. Ishqalashdan maqsad jismlarning kontakt yuzasini oshirishdir.

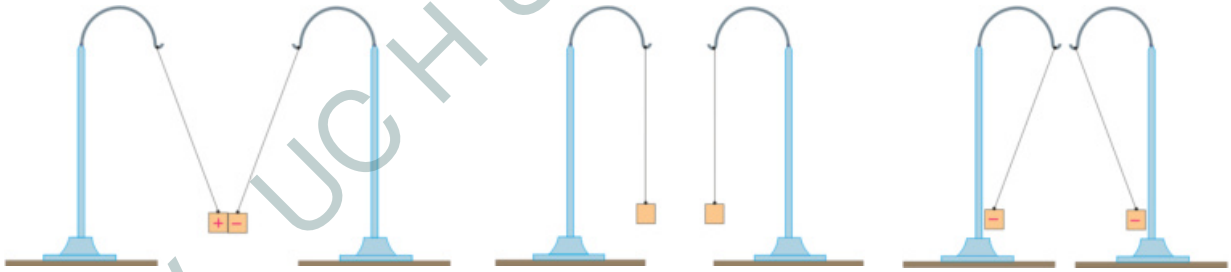
Elektr zaryadlarining ta’siri tekshirilib, quyidagi qonun kashf etildi:

Bir xil ishorali zaryadlar o‘zaro itarishadi, har xil ishorali zaryadlar esa tortishadi. Bu kuchlarni elektr kuchlari deyiladi.

Elektr zaryadlarining neytrallanishi, zaryad kattaligi haqida tushuncha:

Yonma-yon turgan ikkita bir xil gilzani turli ismli elektr bilan zaryadlaymiz *(1.3-a rasm*). Elektr kuchlari natijasida ular bir-biriga tortiladi va tekkandan so‘ng ular orasidagi ta’sir yo‘qoladi *(1.3-b rasm).*

Elektrlangan jismlarning bir-biriga tekkandan keyin ular orasidagi ta’sir yo‘qolishiga zaryadlarning ***neytrallanishi*** deyiladi. Neytrallanganda jismlardagi elektr zaryadlari yo‘qoldi degan fikr noto‘g‘ridir. Chunki, jismni elektrlaganda zaryad hosil bo‘lmaydi va neytrallanganda yo‘q bo‘lmaydi. Neytrallanganda zaryad shunday qayta taqsimlanadiki, bunda zaryadning borligi namoyon bo‘lmaydi. Boshqacha aytganda, elektrik neytral jismda musbat va manfiy zaryadlar teng miqdorda bo‘ladi. Jismni zaryadlash degani–bu unda biror ismli zaryad ko‘proq bo‘lib qolishi deganidir. Demak, yuqorida o‘tkazilgan tajribada gilzalarda teng miqdorda musbat va manfiy zaryadlar bo‘lgani uchun ham ular tekkizilganda 1.3-*b,rasm*dagidek elektr ta’sir yo‘qoldi.



a) *b)* *c)*

1.3-rasm

Keling, 1.*3-a rasm*da gilzalarda musbat va manfiy zaryadlar turli miqdorda bo‘lsin, aytaylik manfiy zaryadning miqdori ko‘proq bo‘lsin. Ular bir-biriga tekkizilgach *1.3-c rasm*dagi manzara hosil bo‘ladi. Bunda gilzalar bir-biriga tekkandan keyin hosil bo‘lgan elektr miqdorining yig‘indisi gilzalarning bir-biriga tegmasdan oldingi zaryad miqdorlarining farqiga teng bo‘ladi. Manfiy zaryad ko‘proq bo‘lgani uchun ikkala zaryad manfiy zaryadlanib qoladi va bu bir xil ismli zaryadlar bir-biridan qochadi.

Shunday qilib, zaryadlangan jism zaryadlanmagan jismga tekkanda zaryadlanmagan jism elektr zaryadi oladi, ularning umumiy yig‘indi zaryadi esa o‘zgarmay qolar ekan.

O‘tkazgich va dielektriklarning elektrlanishi:

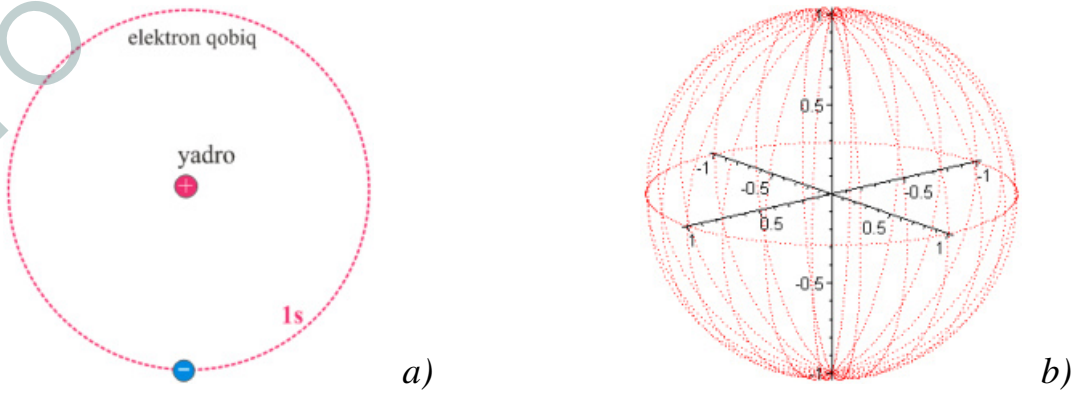
SINOV UCHUN BERILGAN

Agar metall jism sirtining biror qismiga elektr zaryadlari berilsa, u holda bu zaryadlar uning butun sirti bo‘ylab o‘z-o‘zidan tarqaladi. Elektr zaryadlari erkin ko‘cha oladigan jismlar *o‘tkazgichlar* deyiladi. Bularga metallar, ko‘mir, grafit, kislota, ishqorli eritmalar, asoslar, tuzlar va boshqalar kiradi. Metallarda atomlarning tashqi qobig‘idagi valent elektronlar yadroga zaif bog‘langan bo‘ladi. Ozgina tashqi ta’sir ham bu bog‘ni uzib yuborib, uni erkin elektronga aylantira oladi. Erkin elektronlar esa kristall panjara tugunlari oralab hohlagancha “daydib” yuraveradi. Shuning uchun, bu elektronlar u yoki bu atomga tegishli bo‘lmasdan, balki butun kristallga tegishli bo‘ladi. Ana shu elektronlar o‘tkazuvchanlik elektronlari deyilib, zaryadni bir joydan boshqa joyga tashishda ishtirok etadi.

Shunday moddalar borki, ularda elektr zaryadlari erkin ko‘cha olmaydi va tajribalar vaqtida ular jismning qayerida hosil bo‘lsa, o‘sha joyda turaveradi. Bunday moddalar *o‘tkazmaydigan moddalar*, *izolyatorlar* yoki *dielektriklar* deyiladi. Bularga shisha, chinni, smola, kauchuk, ipak, ebonit, suv, kerosin, gazlar va boshqa ko‘pgina moddalar kiradi. Dielektriklarda har bir atomning tashqi qobig‘idagi valent elektron yadroga mustahkam bog‘langan bo‘ladi va bu bog‘ osongina yechilib erkin elektronga aylanolmaydi. Shuning uchun, dielektriklarda zaryadni bir joydan boshqa joyga ko‘chiradigan erkin elektronlar o‘tkazgichlardagiga nisbatan ancha kam bo‘lgani bois, zaryad bir joydan boshqa joyga erkin ko‘chishi qiyin kechadi.

Atom tuzilishi haqida tushuncha:

Barcha moddalar molekula va atomldardan tuzilgan. Atomlar esa musbat zaryadlangan atom yadrosi va yadro atrofida aylanuvchi manfiy zaryadlangan zarralar–elektronlardan tashkil topgan. Turli ximiyaviy elementlarning atom yadrolari turlicha bo‘lib, massasi va zaryad kattaligi bilan farq qiladi. Elektronlar esa, hammasi aynan birday, lekin ularning joylashishi, soni turli atomlarda turlichadir. Atomning deyarli butun massasi uning yadrosida mujassamlashgan bo‘ladi.



a) *b)*

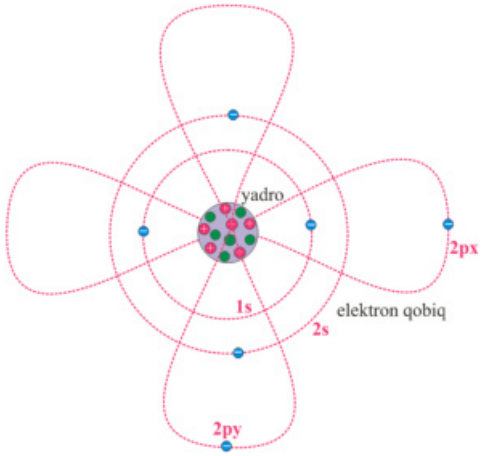
1.4-rasm

Vodorod (*H*) atomi eng sodda tuzilishga ega bo‘lib, yadro atrofida faqat bitta elektron aylanadi*(1.4-a,b rasm)*. Vodorod atomi yadrosi proton deb ataladi.

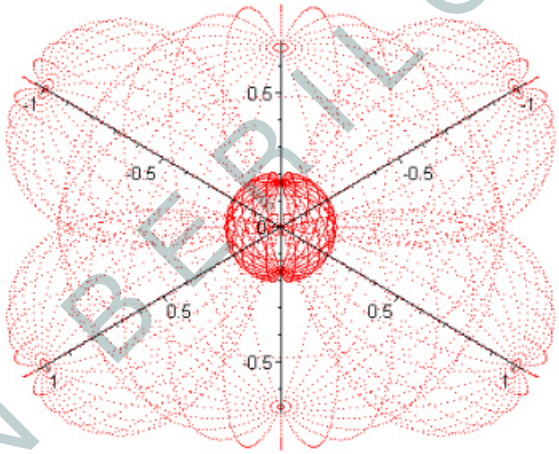
SINOV UCHUN BERILGAN

Protonning zaryadi musbat, kattaligi jihatdan esa elektronnikiga teng. Proton va elektron tabiatdagi eng kichik elementar zaryadli zarralar hisoblanadi. Vodorod atomining o‘lchami yadro o‘lchamidan taxminan 10^5 marta katta bo‘lar ekan. 1.*4-a,rasm*da vodorod atomining sxematik ko‘rinishi, 1.*4-b,rasm*da esa fazoviy elektron buluti tasvirlangan.

Tajribaning ko‘rsatishicha, murakkabroq atomlarda elektronlar atom yadrosi atrofida qavat-qavat joylashar ekan. Neytral atomda elektronlarning yig‘indi manfiy zaryad miqdor jihatdan yadroning musbat zaryadiga teng bo‘lar ekan. Masalan, 1.*5-a,rasm*da uglerod (*C*) atomining sxematik ko‘rinishi, 1.*5-b,rasm*da esa uning fazoviy elektron qobig‘i tasvirlangan.



a)



b)

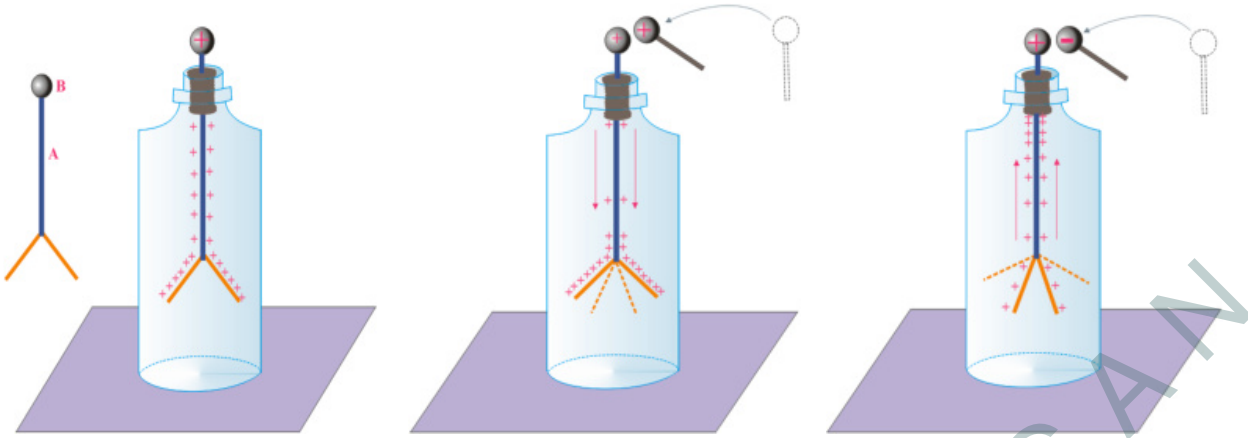
1.5-rasm

Yadro va elektronlar zaryadlari turli ismli bo‘lgani uchun elektronlar yadroga tortilib turadi. Eng tashqi qavatdagi elektronlar valent elektronlar deyilib, bu elektronlar yadroga zaif bog‘langan bo‘ladi. Moddalarda ximiyaviy reaksiyalar ana shu valent elektronlar orqali amalga oshiriladi. Undan tashqari jismlarni ishqalaganda ana shu valent elektronlargina yadrodan uzilib, erkin elektronga aylanadi va jismning bir joyidan boshqa joyiga yoki bir jismdan boshqa jismga o‘tadi. Ana shunda elektrlanish kuzatiladi.

Elektroskop va elektrometr:

Jismlarning elektirlanganligini aniqlashga imkon beradigan asbobga *elektroskop* deyiladi. Uning ishlashi zaryadlarning o‘zaro ta’sir qonuniga asoslangan. Elektroskop shisha bankadan iborat bo‘lib, yuqori uchiga *B* metall sharcha kiydirilgan *A* metall sterjendan iborat. Sterjenning pastki uchiga papiros qog‘ozi yoki alyuminiydan qilingan yupqa yaproqchalar yopishtirilgan bo‘lib, bu yaproqchalar bir xil ishorali zaryadlar bilan zaryadlanganda o‘zaro itariladi. Yaproqchalar qancha katta burchakka ochilsa, shuncha ko‘p zaryadlangan bo‘ladi (1.6-a rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

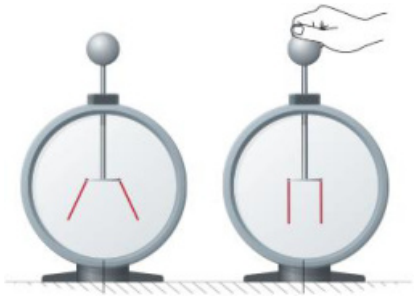


a) *b)* *c)*

1.6-rasm

Elektroskop yordamida boshqa zaryadlangan jismlarning zaryad ishorasini ham aytish mumkin. Buning uchun o‘sha zaryadlangan jismni *B* sharchaga yaqinlashtirish kifoya. Keling, elektroskop musbat zaryaga ega bo‘lsin. Unga boshqa zaryadlangan jism yaqinlashtirilganda yaproqchalar ochilsa, o‘sha jism ham musbat zaryadga ega bo‘ladi, va aksincha yaproqchalar bir-biriga yaqinlashsa, o‘sha jism manfiy zaryadlangan bo‘ladi. Chunki, musbat zaryadlangan jism musbat zaryadlangan *B* sharchaga yaqinlashtirilganda sharchadagi zaryadning bir qismi itarilish natijasida banka ichidagi yaproqchalarga o‘tadi va yaproqchalar bir-biridan qochib kengayadi (1.6-b,rasm). Aksincha manfiy zaryadlangan jism musbat zaryadlangan *B* sharchaga yaqinlashtirilganda tortilish natijasida ichkari yaproqchalardagi zaryadning bir qismi tepadagi *B* sharchaga oqib o‘tib va yaproqchalar zaryadi kamaygani bois avvalgidan kamroq burchakka ochiladi, ya’ni yaproqchalar yaqinlashadi (1.6-c,rasm).

Agar zaryadlangan elektroskopning boshidagi metall sharchani qo‘l bilan ushlansa, elektroskopdagi zaryad qo‘l orqali odam tanasiga va undan yerga o‘tib ketadi. Natijada, elektroskop bo‘shab qoladi, ya’ni to‘la zaryadsizlanadi. Bunda elektroskop yaproqchalari bir-biridan itarilmaydi va vertikal holda o‘zaro parallel vaziyatni egallaydi (1.7-rasm).

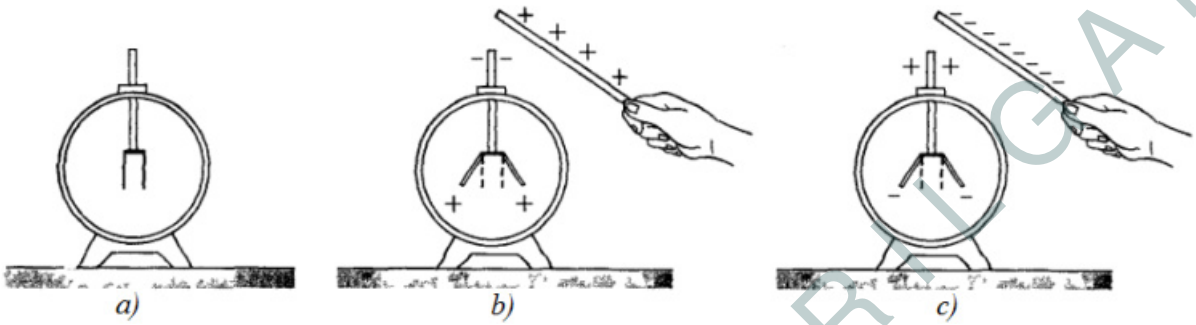


1.7-rasm

Yuqorida 1.6-rasmda zaryadlangan elektroskopga turli ishorali zaryadli sharchalarni yaqinlashtirilganda yaproqchalar orasidagi burchak o‘zgarishlarini ko‘rdik. Nafaqat zaryadlangan elektroskopga, balki zaryadsiz elektroskopga ham zaryadlangan jismni yaqinlashtirilganda elektroskop yaproqchalari ochilishi mumkin ekan (1.8-rasm). Agar zaryadsiz elektroskopga musbat zaryadlangan tayoqcha yaqinlashtirilsa, elektroskopning o‘tkazgich sterjeni va yaproqchalaridagi erkin elektronlar musbat zaryadli tayoqchaga tortilib elektroskop boshi tomonga

SINOV UCHUN BERILGAN

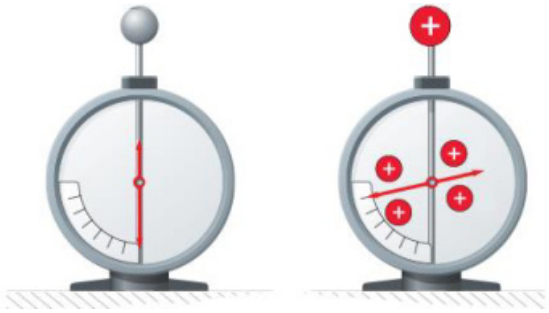
to‘planadi. Bunda elektroskop boshi manfiy zaryadga, yaproqchalar esa elektron yetishmovchiligi tufayli musbat zaryadga ega bo‘lib qoladi (1.8-b,rasm). Agar zaryadsiz elektroskopga manfiy zaryadlangan tayoqcha yaqinlashtirilsa, elektroskopning boshidagi erkin elektronlar manfiy zaryadli tayoqchadan itarilib elektroskop yaproqchalari tomonga to‘planadi. Bunda elektroskop boshi elektron yetishmovchiligi tufayli musbat zaryadga, yaproqchalar esa manfiy zaryadga ega bo‘lib qoladi (1.8-c,rasm).



1.8-rasm

Jismlarning elektrlanganligini aniqlashga imkon beradigan asboblardan yana biri elektrometrdir (1.9-rasm). Elektrometrda elektroskopdan farqli ravishda yaproqchalar o‘rniga o‘tkazgich strelka bo‘ladi. Elektrometrning strelkasi og‘irlik markazidan ozgina yuqorida o‘tgan o‘q atrofida erkin buralishi mumkin. Strelkani vertikaldan biror α burchakka ochish uchun unga tabiatidan qat’iy nazar qandaydir biror F kuch qo‘yish kerak bo‘ladi. Bu kuch zaryadlarning itarilish kuchi – Kulon kuchi ham bo‘lishi mumkin. Strelkaning pastki uchi zaryadni ko‘rsatadigan qilib pastki tomonda $0 - 90^0$ oralig‘ida shtrixlar bilan darajalangan. Elektrometr kallagidagi o‘tkazgich sharchaga zaryadlangan biror jism tekizilganda, sharchaga zaryad oqib o‘tadi. So‘ngra sharchadan elektrometrning sterjeni va strelkalariga zaryad oqib o‘tadi va ular bir xil ishorali zaryadga ega bo‘lib qoladi. Bir xil ishorali zaryadlar itarishgani bois, elektrometrning sterjeni va strelkasi o‘zaro itariladi va biror α burchakka ochiladi. Elektrometr strelkasinig og‘ishi uning sterjeniga ulangan yoki tekizilgan jismning elektr zaryadiga ega ekanligidan dalolat beradi. Elektrometrga qanchalik ko‘p zaryad berilsa, uning strelkasi shuncha katta burchakka og‘adi.

Shuni alohida ta’kidlab o‘tish kerakki, elektrometrga qanchalik ko‘p zaryad berilmasin, hech qachon strelka ko‘rsatishi 90^0 burchakka etmaydi, ya’ni strelka ko‘rsaishi har doim $0 \le \alpha \le 90^0$ oralig‘ida bo‘ladi. Xuddi shuningdek, elektroskop yaproqchalari ham hech



1.9-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

qachon 180^0 gacha ochilmaydi, ya'ni yaproqchalar orasidagi burchak $0 \leq \alpha \leq 180^0$ oralig'ida bo'ladi. Bunga sabab esa strelka yoki yaproqchalar har qancha yengil bo'lmasin baribir ularning xususiy og'irligi mavjudligidir.

Zaryadning o'lchov birligi:

XBSda zaryad birligi asosiy birlik bo'lmasdan, balki hosilaviy birlik sanaladi va uning uchun etalon belgilanmaydi. XBSda metr, sekund, kilogramm bilan bir qatorda elektr kattaliklarini o'lchashning yana bir asosiy birligi, ya'ni tok kuchi birligi – *Amper* ishlatiladi. Amperning etalon qiymati toklarning magnit ta'siri orqali aniqlanadi.

XBSda elektr zaryadining *Kulon* deb ataladigan birligi tok kuchining birligi orqali aniqlanadi.

1 Kulon (1C) – tok kuchi 1A bo'lganda o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan 1 s vaqt ichida o'tadigan zaryad miqdoridir.

1 C juda katta zaryaddir. Har biri *1 C* dan bo'lgan ikkita nuqtaviy zaryad orasidagi masofa *1 km* bo'lganda ular o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchi massasi *1 t* bo'lgan yukning Yerga tortilish kuchidan salgina kichik bo'ladi. Shuning uchun ham o'lchamlari bir necha metr bo'lgan jismlarga *1C* zaryad berib bo'lmaydi. Chunki, zaryadli zarralar bir-biridan itarilib, jism sirtida turib qololmaydi. Bu sharoitda zarralarning bir-biridan itarilish kuchini muvozonatlaydigan hech qanday boshqa kuch tabiatda yo'q. Shuning uchun, masalalar yechishda *1 C* zaryadning ulushlaridan foydalaniladi.

$$1\mu C = 10^{-6}\, C, \quad 1nC = 10^{-9}\, C, \quad 1pC = 10^{-12}\, C \qquad \textbf{(1.1)}$$

Bu degani *1 C* elektr zaryadining ixtiyoriy ulushini olish mumkin degani emas. Tabiatda eng kichik elektr zaryadi mavjud bo'lib, bu zaryad elementar zarralarning elektr zaryadidir. Bu zaryadni *elementar zaryad birligi* deb yoki *elektr zaryadning kvanti* deb ham yuritiladi. Elementar zaryad – bu miqdor jihatidan elektron yoki protonning zaryadi bo'lib, u quyidagicha bo'ladi:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19}\, Kl \qquad \textbf{(1.2)}$$

Boshqacha aytganda 1 C zaryad miqdori $6,2422 \cdot 10^{18}$ *ta* elementar zaryad birligiga teng bo'lar ekan.

Manfiy zaryadga ega bo'lgan eng kichik elementar zarracha *elektron* deb ataladi. Uning zaryadi $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}\, C$ va massasi $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\, kg$ ga teng. Musbat zaryaddan iborat eng kichik barqaror elementar zarracha *proton* deb ataladi. Protonning zaryadi elektronning zaryadiga miqdoran teng va ishorasi qarama-qarshi, massasi esa elektronning massasidan 1836,1 marta katta, ya'ni protonning zaryadi $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}\, C$ va massasi $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\, kg$ ga teng. Binobarin, elektron va protonning zaryad miqdori quyidagiga teng bo'lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$q_e = -e = -1{,}602 \cdot 10^{-19}\ C\ , \qquad q_p = +e = +1{,}602 \cdot 10^{-19}\ C \tag{1.3}$$

1 C zaryadni to‘plash mushkul ish bo‘lsa-da, lekin, butunicha neytral bo‘lgan o‘tkazgichda *1 C* zaryadni harakatga keltirish qiyin emas. Quvvati *100 W* bo‘lgan odatdagi cho‘g‘lanma lampochkasiga *127 V* kuchlanish berilganda taxminan *1 A* tok qaror topadi. Bu holda *1 s* vaqt ichida o‘tkazgichning ko‘ndalang kesimidan deyarli *1 C* zaryad o‘tadi.

Elektr zaryadining saqlanish qonuni:

Jismlar ishqalish orqali elektrlanganda, bir vaqtning o‘zida ikkala jism elektrlanadi, shu bilan birga ulardan biri musbat, ikkinchisi esa manfiy zaryadlanadi. Agar ikkala jism ham elektrlangunga qadar zaryadlanmagan bo‘lsa, birinchi jismning musbat zaryad miqdori ikkinchi jismning manfiy zaryad miqdoriga teng bo‘ladi. Agar bu elektrlangan ikkala jism birlashtirilsa, jismlar yana zaryadsizlanib qoladi, ya’ni neytrallashadi. Shunga qator tajribalar asosida elektr zaryadlarining quyidagicha saqlanish qonuni kashf qilindi:

Elektr zaryadlari o‘z-o‘zidan paydo bo‘lmaydi va yo‘qolmaydi, ular faqat bir jismdan boshqasiga uzatiladi yoki berilgan jism ichida ko‘chadi va berk sistema ichida elektr zaryadlarining algebraik yig‘indisi o‘zgarmay qoladi.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n = const \tag{1.4}$$

Hozirgi zamon tasavvuriga ko‘ra, elektr zaryadi “atom” tuzilishiga ega, ya’ni har qanday jismning elektr zaryadi karrali musbat va manfiy elementar zaryadlardan tashkil topgandir. Agar eelementar zaryad birligini e ga teng desak, har qanday jismning zaryadi karrali e ga teng, jismni zaryadlaganda unga $0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e, \ \ldots\ , \ldots \pm Ne$ zaryad uzatiladi.

$$q = 0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e, \ \ldots\ , \ldots \pm Ne \tag{1.5}$$

Shunday qilib, hozirgi zamon fizikasi tili bilan aytganda elektr zaryadi kvantlangandir, ya’ni zaryad miqdori uzluksiz ravishda o‘zgarmay, diskret ravishda o‘zgaradi.

Zaryadning hajmiy, sirtiy, chiziqli zichligi:

Agar zaryad jismning butun hajmi bo‘ylab tarqalgan bo‘lsa, hajmiy zichlik tushunchasi kiritiladi. Bir birlik hajmga to‘g‘ri kelgan zaryad miqdoriga hajmiy zichlik deyiladi va grekcha ρ harfi bilan belgilanadi. O‘rtacha hajmiy zichlik formulasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\rho = \frac{Q}{V} \tag{1.6}$$

Agar zaryad jismning butun tashqi sirti bo‘ylab tarqalgan bo‘lsa, sirtiy zichlik tushunchasi kiritiladi. Masalan, plastina yoki tunuka zaryadlanganda zaryad ularning sirti bo‘ylab taqsimlanadi. Bir birlik yuzaga to‘g‘ri kelgan zaryad

SINOV UCHUN BERILGAN

miqdoriga sirtiy zichlik deyiladi va grekcha σ harfi bilan belgilanadi. O‘rtacha sirtiy zichlik formulasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\sigma = \frac{Q}{S} \qquad (1.7)$$

Agar zaryadlangan jism bitta o‘lchovga (masalan, ip, shnur, sim kabi jismlar faqat uzunligi bilan baholanadi) ega bo‘lsa, zaryad bunday jismning faqat uzunligi bo‘ylab tarqalgan bo‘ladi. Bunda chiziqli zichlik tushunchasi kiritiladi. Bir birlik uzunlikka to‘g‘ri kelgan zaryad miqdoriga chiziqli zichlik deyiladi va grekcha τ harfi bilan belgilanadi.

$$\tau = \frac{Q}{L} \qquad (1.8)$$

Tekis zaryadlangan jismning umumiy zaryadi quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$Q = \rho V, \quad Q = \sigma S, \quad Q = \tau \ell \qquad (1.9)$$

Umumiy holatda esa zaryad jismning butun hajmi (sirti, uzunligi) bo‘ylab bir tekis taqsimlanmaydi. Jismning har bir nuqtasida zaryadning hajmiy (sirtiy, chiziqli) zichliklari qiymatlari turlicha bo‘ladi. Jismning ayni bitta nuqtasidagi zaryad zichligini topish uchun zaryaddan o‘sha nuqtada hajm (yuza, uzunlik) bo‘yicha hosila olinadi.

$$\rho = \frac{dq}{dV}, \quad \sigma = \frac{dq}{dS}, \quad \tau = \frac{dq}{d\ell} \qquad (1.10)$$

Jismning umumiy zaryadini topish uchun zaryad zichligi hajm (yuza, uzunlik) bo‘yicha integrallanadi.

$$Q = \int_V \rho dV, \quad Q = \int_S \sigma dS, \quad Q = \int_L \tau d\ell \qquad (1.11)$$

Hajmiy, sirtiy va chiziqli zichliklarning o‘lchov birliklari mos holda

$$\frac{C}{m^3}, \frac{C}{m^2}, \frac{C}{m}$$

bo‘ladi. Agar jismning uch o‘lchami ham bir-biriga yaqin bo‘lsa, u uch o‘lchamli jism bo‘ladi. Uch o‘lchamli dielektriklar hajmiy, o‘tkazgichlar esa sirtiy zaryadlanish xususiyatiga ega.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektrlanish deb nimaga aytiladi?*
2. *Zaryadlarning ishoralari haqida va qanday hosil qilinishi haqida gapirib bering.*
3. *Elektroskop va elektrometrning ishlash prinsipi haqida gapirib bering.*
4. *Zaryadning o‘lchov birligiga ta’rif bering. Eng kichik zaryad nimaga teng?*
5. *Zaryadning saqlanish qonunini ayting va formulasini yozing.*
6. *Zaryadning hajmiy, sirtiy va chiziqli zichliklarini ta’riflang va ularning o‘lov*

SINOV UCHUN BERILGAN

birliklarini ayting.

7. Qaysi jismlar hajm bo‘yicha va qaysi jismlar sirt bo‘yicha zaryadlanish mumkin?

Masala yechish:

1. *Zaryadi +4e bo‘lgan tomchi unga yorug‘lik tushishi natijasida 2 ta elektronini yo‘qotadi. Tomchining keyingi zaryadi qanday bo‘ladi?*

$A)+2e$ $B)+6e$ $C)+8e$ $D)-8e$

Berilgan:	*Yechilishi:*
$q_1 = +4e$ $q_2 = -2e$	*Zaryadning saqlanish qonuniga ko‘ra sistemaning umumiy zaryadi saqlanishi kerak*
$q_3 = ?$	$q_1 = q_2 + q_3$ $q_3 = q_1 - q_2 = 4e - (-2e) = 6e$ *Demak, jism elektron yo‘qotsa musbat zaryadlanar ekan.*

Javob: $B)+6e$.

2. *Jismda* $2 \cdot 10^4$ *ta ortiqcha elektron bor. Jism zaryadini toping (C).*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$N = 1{,}2 \cdot 10^4$ $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$	*Jismning zaryadi undagi ortiqcha yoki etishmaydigan elektronlar zaryadining yig‘indisiga teng bo‘ladi:*
$q = ?$	$q = N \cdot e$ $q = 2 \cdot 10^4 \cdot (-1{,}6 \cdot 10^{-19}) = -3{,}2 \cdot 10^{-19}\ C$

Javob: $-3{,}2 \cdot 10^{-15}\ C$

§ 2. ZARYADLARNING O‘ZARO TA’SIR QONUNI – KULON QONUNI

Endi elektromagnit o‘zaro ta’sirlarni miqdoriy tomondan tavsiflanish qonunlarini o‘rganishga kirishamiz. Elektrostatikaning asosiy qonuni – zaryadlangan qo‘zg‘almas ikkita nuqtaviy jism yoki zarra orasidagi o‘zaro ta’sir qonunidir. Bu qonunni fransuz fizigi Sharl Kulon 1785-yilda tajribada topgan, shuning uchun ham bu qonun uning nomi bilan ataladi.

Tabiatda nuqtaviy zaryadlangan jismlar yo‘q. Lekin, jismlar orasidagi masofa ularning o‘lchamlaridan ko‘p marta katta bo‘lsa, zaryadli jismlarning shakli ham o‘lchamlari ham ular orasidagi o‘zaro ta’sir kuchiga sezilarli ta’sir qilmaydi. Bu holda jismlarni nuqtaviy deb qarash mumkin.

Zaryadli jismlar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchi bu jismlar orasidagi muhitning elektr xossalariga bog‘liq. Hozircha biz zaryadli jismlarni vakuumda ta’sirlashyapti deymiz. Lekin, tajribalarning ko‘rsatishicha, havo zaryadli jismlarning o‘zaro ta’sir kuchiga juda kam ta’sir ko‘rsatadi, ya’ni o‘zaro ta’sir kuchi havoda deyarli vakuumdagidek bo‘ladi.

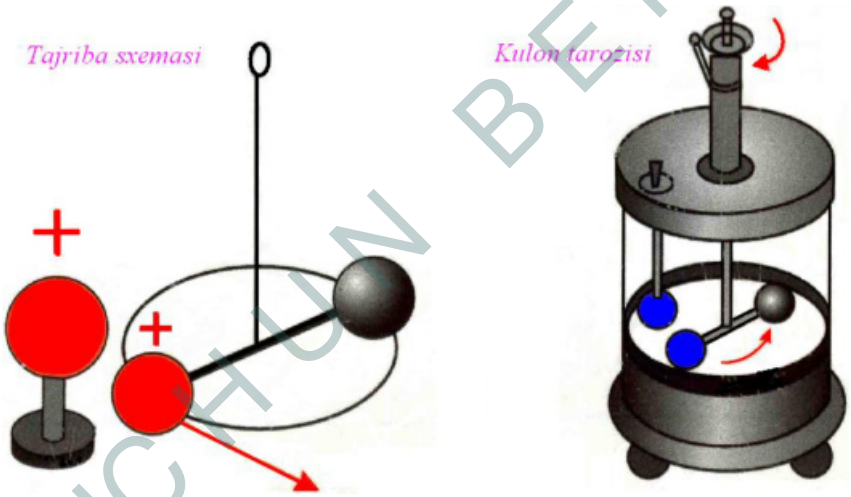
Kulon tajribasi, Kulon qonuni:

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektr zaryadlarining itarishish yoki tortishishida hosil bo‘lgan elektr zaryadlarining o‘zaro ta’sir kuchlari *elektr kuchlari* deyiladi. Elektr kuchlari elektr zaryadlari tomonidan yuzaga keltiriladi va zaryadlangan jismlar yoki zarrachalarga ta’sir qiladi. Mazkur mavzuda va bundan keyin zaryadlangan jismlarning ta’sir kuchini o‘rganayotganda ularni nuqtaviy zaryadlar deb hisoblaymiz. Ushbu mavzuda yoritiladigan Kulon qonuni ham faqat nuqtaviy zaryadlar uchun o‘rinlidir.

Nuqtaviy zaryad deb, tekshirilayotgan masofaga nisbatan o‘lchamlari juda kichik bo‘lgan zaryadli jismlarga aytiladi.

Elektr zaryadlari orasidagi o‘zaro ta’sir kuchlari katta bo‘lgani tufayli elektr zaryadlarining o‘zaro ta’sir qonuni osongina topilgan. Bu yerda juda sezgir asboblar ishlatishga extiyoj tug‘ilmagan, holbuki butun olam tortishish qonunini Yerda tekshirib ko‘rishda juda ham sezgir asboblardan foydalanishga to‘g‘ri kelgan edi.



2.1-rasm

Elektr ta’sirlarni miqdoriy tekshirishlarni 1785-yilda birnichi bo‘lib fransuz fizigi Sharl Kulon (1736–1806) buralma tarozi yordamida aniqladi (*2.1-rasm*). Buralma tarozi zaryadli sharchalar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchining zaryadlarga va ular orasidagi masofaga bog‘liqligini o‘rganishga imkon beradi. Tajribada elastik ipga osilgan yengil sterjendan foydalanildi. Sterjen uchlariga ikkita shar biriktirilib, ulardan biri zaryadlangan. Bunga boshqa bir zaryadlangan sharcha yaqinlashtirilganda elastik ip buriladi va bu burilish burchagini bilgan holda elektr ta’sir topildi. Bunda gravitatsion kuch hisobga olinmaydi.

Tajribadan zaryadlarning o‘zaro ta’ssir kuchi aniqlanadi va zaryadlar miqdorlari saqlangan holda ular orasidagi masofa ikki, uch, to‘rt marta orttirilganda ta’sir kuchi to‘rt, to‘qqiz, o‘n olti marta kamayganini kuzatdi. Kulon o‘zaro ta’sir kuchi (elektr kuch) zaryadlar markazlari orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional, ya’ni $F \sim \frac{1}{r^2}$ ekanini aniqladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Sharl Ogyusten de Kulon 1736-yil14-iyunda Fransiyaning Angulem shaharchasida tug‘ilgan. U o‘zining elektr va magnetizmga oid asarlari hamda ishqalanish kuchlarini tadqiq etish bilan mashhur bo‘lgan fransuz olimidir. Kulon zaryadli jismlarning o‘zaro ta’sirini o‘rganish bilan bir qatorda uzun magnitlar qutblarinining o‘zaro ta’sirini ham tadqiq etgan. U bino inshoatlar statikasi bilan shug‘ullangan, shuningdek buralma deformatsiya va buralishdagi kuch va momentlarni o‘rganib, undan elektr kularini miqdoriy o‘lchashda foydalangan. U 1773-yilda jismga qo‘yilgan normal kuch va bunda yuzaga kelgan kesuvchi orasidagi bog‘lanishni yoritib bergan maqolasini chop etadi. 1785–1789 yillar davomida elektr zaryadlari va magnit qutblarining o‘zaro ta’sir kuchlarini va qonuniyatlarini o‘zining 7ta maqolasida nashrdan chiqargan. 1789-yilda sirpanishning ishqalanish nazariyasini ishlab chiqadi. Sharl Kulon 1806-yil 23-avgustda 70 yoshida Parijda vafot etgan.



Sharl Ogyusten de Kulon (1736–1806)

U zamonlarda kuch va masofani o‘lchashni bilishgan. Yagona qiyinchilik zaryadning o‘zini o‘lchashda bo‘lgan. Zaryadni o‘lchashning hatto birligi ham bo‘lmagan. Kulon sharchalardani birining zaryadini 2, 4, 8 va hokoza marta o‘zgartirishning sodda usulini topdi. Buning uchun u zaryadli sharchani xuddi shunday zaryadsiz boshqa sharchaga tekizdi. Bunda zaryad ikkita sharchaga teng taqsimlangan. Natijada, dastlabki zaryadli sharchaning zaryadi 2 marta kamaygan. Bunga mos holda esa o‘zaro ta’sir kuchining yangi qiymati olingan.

Tajribani yana davom ettirib, sharchalardan biridagi zaryad miqdorini yana (shunday zaryadsiz sharchalarga tekkizish orqali) ikki marta, uch marta, to‘rt marta kamaytirganda ta’sir kuchi ham ikki marta, uch marta, to‘rt marta kamayganini kuzatdi. Kulon zaryadlarning o‘zaro ta’sir kuchi har bir sharchadagi zaryad miqdoriga to‘g‘ri proporsional, boshqacha aytganda zaryad miqdorlari ko‘paytmasiga proporsional, ya’ni $F \sim q_1 \cdot q_2$ ekanini aniqladi. Demak, zaryadlarning o‘zaro ta’sir kuchi $F \sim \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ bo‘lar ekan. Kulon qonuni shunday ta’riflanadi:

Vakuumda bir-biridan biror masofada joylashgan va qo‘zg‘almas nuqtaviy zaryadlar bir-birlari bilan shu zaryadlarni tutashtiruvchi to‘g‘ri chiziq bo‘ylab yo‘nalgan kuch bilan ta’sirlashadi. Bu kuchning moduli zaryadlar ko‘paytmasiga to‘g‘ri, zaryadlar markazlari orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsional bo‘ladi.

Sharl Kulon proporsionallikdan tenglikka koeffitsiyent kiritish orqali o‘tdi.

$$F_0 = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Bu yerda: $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{N \cdot m^2}{KC^2}\right]$ – proporsionallik koeffitsiyenti;

SINOV UCHUN BERILGAN

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\left[\frac{Kl^2}{N \cdot m^2} = \frac{F}{m}\right]$ – vakuumning absalyut dielektrik singdiruvchanligi yoki elektr doimiysi.

Proporsionallik koeffitsiyenti ma'nosi quyidagidan iborat:

Vakuumda bir-biridan 1m masofada joylashgan va 1C dan zaryad miqdorlariga ega bo'lgan nuqtaviy zaryadlar bir-birlari bilan $9 \cdot 10^9$ N kuch bilan ta'sirlashadilar.

Yuqoridagi formula vakuumdagi Kulon kuchini miqdor jihatdan xarakterlaydi. Kulon kuchini yo'nalish jihatdan xarakterlash uchun Kulon kuchining miqdorini o'zaro ta'sir kuchi bo'ylab yo'nalgan birlik vektorga ko'paytirish kerak bo'ladi. Kulon kuchi radial kuch, ya'ni bu kuch ular zaryadlar markazlarini tutashtiruvchi chiziq bo'ylab yo'nalgan bo'lgani uchun birlik vektor $\vec{r}_0 = \frac{\vec{r}}{r}$ bo'ladi. Demak, Kulon kuchining yo'nalishi

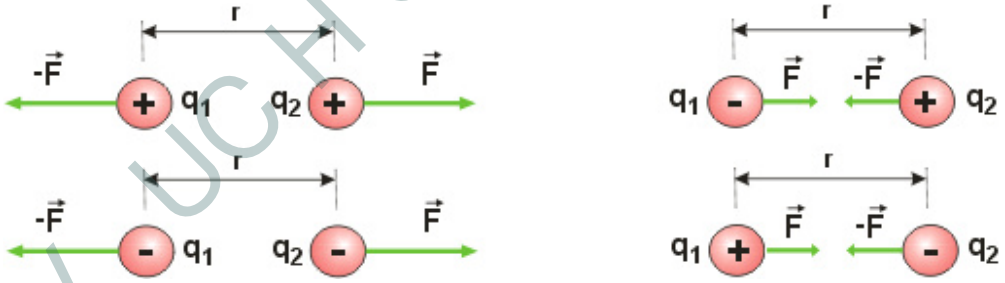
$$\vec{F}_0 = F_0 \cdot \vec{r}_0 = k\frac{q_1 q_2}{r^3} \cdot \vec{r} \qquad (2.2)$$

formulaga ko'ra aniqlanar ekan.

Vakuumdagi Kulon kuchining miqdor va yo'nalishi formulasi ushbu

$$F_0 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \quad \vec{F}_0 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \cdot \vec{r} \qquad (2.3)$$

ko'rinishda ham yozish mumkin.



2.2-rasm

Agar zaryadlar bir xil ishorali bo'lsa, u holda $q_1q_2>0$ bo'ladi. Bunda $\vec{F}_0$ vektor $\vec{r}$ vektor bilan mos tushadi, ya'ni bir xil ishorali zaryadlar tortishadi. Agar zaryadlar har xil ishorali bo'lsa, u holda $q_1q_2<0$ bo'ladi. Bunda $\vec{F}_0$ vektor va $\vec{r}$ vektor qarama-qarshi yo'naladi, ya'ni har xil ishorali zaryadlar itarishadi (2.2-rasm).

Muhitning dielektrik singdiruvchanligi:

Zaryadlarning o'zaro ta'siri haqida Kulon qilgan xulosa faqatgina havoda turgan zaryadlar uchun o'rinli edi. Lekin, keyinchalik turli dielektriklarda o'tkazilgan tajribalar va kuzatishlar shu zaryadni o'rab olgan muhitning dielektrik xossasiga ham bog'liq ekanini ko'rsatdi. Muhitning dielektrik xususiyati elektr kuchini kamaytirishi aniqlandi. Masalan, ikki nuqtaviy zaryadning ta'sir kuchi

SINOV UCHUN BERILGAN

vakuumdagiga nisbatan kerosinda *2* marta, suvda *81*, moyda *2,5* marta kamayishi ma'lum bo'ldi. Shuning uchun, Kulon qonunining formulasiga muhitning elektr xossasini e'tiborga oluvchi koeffitsiyent kiritildi. Muhitning elektr xossasini e'tiborga oluvchi bu koeffitsiyentga muhitning *nisbiy dielektrik singdiruvchanligi* deyiladi va grekcha ε (epsilon) bilan belgilanadi.

Shunday qilib, dielektrik muhit uchun Kulon qonuni quyidagicha bo'lar ekan:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2} = \frac{F_0}{\varepsilon} \qquad (2.4)$$

Demak, muhitning dielektrik singdiruvchanligi moddaning elektr xossasini xarakterlaydigan va zaryadlarning bu muhitdagi o'zaro ta'sir kuchi ularning vakuumdagi ta'sir kuchidan necha marta kichik bo'lishini ko'rsatuvchi fizik kattalikdir.

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F} \qquad (2.5)$$

Vakuum uchun nisbiy dielektrik singdiruvchanlik $\varepsilon=1$ ga teng.

Dielektrik muhit uchun Kulon qonunini miqdoriy jihatdan xarakterlovchi ushbu

$$F = \frac{F_0}{\varepsilon} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2} \qquad (2.6)$$

ko'rinishda ham yozish mumkin.

Dielektrik muhit uchun Kulon qonunini yo'nalish jihatdan xarakterlovchi ushbu

$$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^3}\cdot\vec{r}\ , \qquad \vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^3}\cdot\vec{r} \qquad (2.7)$$

ko'rinishlarda yozish mumkin.

Kulon kuchlarini qo'shish:

Vaqt o'tishi bilan elektr kuchi o'rniga Kulon kuchi iborasi ishlatila boshlandi. Barcha kuchlar kabi Kulon kuchi ham vektor kattalikdir. Zaryadga boshqa zaryadlar tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisini topish uchun har bir kuch vektorli qo'shiladi (2.3-rasm).

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots + \vec{F}_n \qquad (2.8)$$

Teng ta'sir etuvchi kuchning o'qlardagi proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} \dot{R}_x = \dot{F}_{1x} + \dot{F}_{2x} + \dot{F}_{3x} + \ldots + \dot{F}_{nx} \\ \dot{R}_y = \dot{F}_{1y} + \dot{F}_{2y} + \dot{F}_{3y} + \ldots + \dot{F}_{ny} \\ \dot{R}_z = \dot{F}_{1z} + \dot{F}_{2z} + \dot{F}_{3z} + \ldots + \dot{F}_{nz} \end{cases} \qquad (2.9)$$

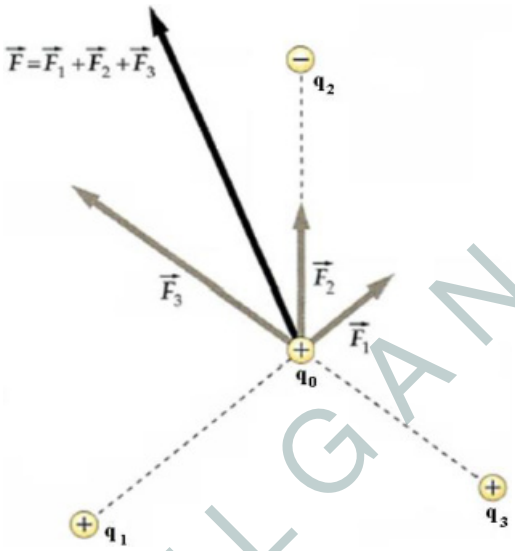
SINOV UCHUN BERILGAN

Teng ta’sir etuvchi kuchlar proyeksiyalar orqali quyidagicha bog‘langan:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \qquad (2.10)$$

Teng ta’sir etuvchi Kulon kuchning yo‘nalishi yo‘naltiruvchi kosinuslar qoidasiga ko‘ra aniqlanadi. Yo‘naltiruvchi kosinuslar esa quyidagicha bo‘ladi:

$$\cos\alpha = \frac{R_x}{R}, \quad \cos\beta = \frac{R_y}{R}, \quad \cos\gamma = \frac{R_z}{R} \qquad (2.11)$$

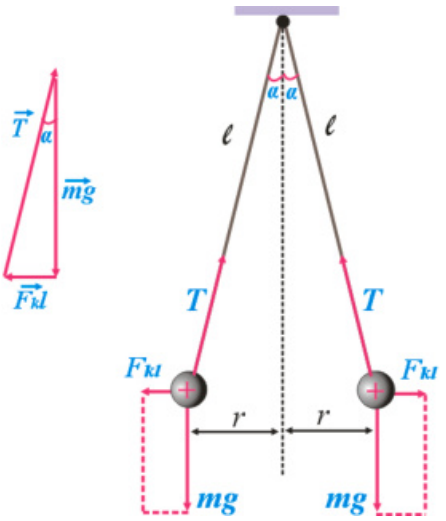


2.3-rasm

Yuqorida keltirilgan formulalar bilan statika bo‘limida ham tanishganmiz.

Ba’zi hollarda ipga osilgan zaryadlangan sharchalar bilan ishlashga to‘g‘ri keladi. Agar bir xil massali, bir xil ishorali va har xil miqdorda zaryadlangan sharlar vaznsiz iplarga bitta nuqtaga osilgan bo‘lsa, Kulon kuchi ta’sirida sharlar bir-biridan qochib iplarning har biri vertikal bilan biror α burchak hosil qiladi. Bunda har bir sharcha uchta kuch – Kulon kuchi, og‘irlik kuchi va ipning taranglik kuchi ta’siri ostida vertikaldan α burchakka og‘gan holda muvozonatda turadi. Kulon kuchi F_{Kl} , ipning taranglik kuchi T va ipning vertikaldan og‘ish burchagi tangensi $tg\alpha$ quyidagicha bo‘ladi (2.4-rasm):

$$F_{Kl} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$
$$\vec{T} + \vec{F}_{Kl} + m\vec{g} = 0$$
$$T = \sqrt{F_{Kl}^2 + (mg)^2}$$
$$tg\alpha = \frac{F_{Kl}}{mg} = \frac{r}{\ell}$$



2.4-rasm

2.4-rasm sharchalarning massalari o‘zaro teng, lekin bu sharchalardagi zaryad miqdorlari o‘zaro teng yoki teng bo‘lmagan holat uchun bo‘lib, bunda sharchalar vertikal o‘qqa nisbatan simmetrik holda bir xil α burchakka ochiladi. Agar sharchalar massalari o‘zaro teng bo‘lmasa, u holda bu simmetriklik buzilib, massasi katta sharcha kichikroq burchakka, va aksincha massasi kichikroq sharcha esa kattaroq burchakka ochiladi, ya’ni sharchalarning vertikaldan og‘ish burchaklari $\alpha_1 \neq \alpha_2$ bo‘ladi. Sharchalardagi zaryad miqdoralrini oshirib borgan sari og‘ish burchchagi α ham kattalashib boradi. Shuni alohida ta’kidlab o‘tish kerakki, sharchalardagi zaryad miqdorlari qanchalik katta bo‘lmasin iplarning vertikaldan ochilish

SINOV UCHUN BERILGAN

burchagi 90^0 dan kichik bo‘ladi, ya’ni $0 \le \alpha \le 90^0$ bo‘ladi. Boshqacha aytganda, iplar orasidagi burchak hech qachon 180^0 ga teng bo‘la olmaydi, ya’ni $0 \le 2\alpha \le 180^0$ bo‘ladi. Bunga sabab esa ipga osilgan sharchalar har qancha yengil bo‘lmasin baribir ularning xususiy og‘irligi mavjudligidir.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektr kuchlarini yana qanday nomlanadi. Bu kuch qachon va kim tomonidan kashf qilingan?*
2. *Kulon qonunining vakuum uchun miqdor va yo‘nalishini ifodlovchi formulasini yozing.*
3. *Kulon qonunining dielektrik muhit uchun miqdor va yo‘nalishini ifodlovchi formulasini yozinng.*
4. *Dielektrik singdiruvchanlik nima?*
5. *Proporsionallik koeffitsienti k va elektr doimiysi ε_0 ning son qiymati va o‘lchov birligini yozib bering. Proporsionallik koeffitsienti k nimani anglatadi?*
6. *Bir necha Kulon kuchlari qanday qo‘shiladi? Teng ta’sir etuvchi Kulon kuchining miqdor va yo‘nalishi qanday aniqlanadi?*
7. *Bir xil uzunlikdagi iplarga osilgan zaryadli sharchalar vertikaldan qachon bir xil burchakka va qachon har xil burchakka og‘adi? Bunda sharchaning vertikaldan eng ko‘p og‘ish burchagi nimaga teng bo‘ladi?*

Masala yechish:

1. *O‘zaro ta’sirlashayotgan ikkita bir xil nuqtaviy zaryadni tutashtiruvchi kesma o‘rtasiga xuddi shunday uchinchi zaryad kiritilsa, zaryadlarga ta’sir qiluvchi kuch necha marta ortadi?*

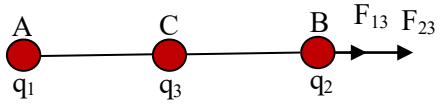
A) 2 B) 4 C) 5 D) 8

Berilgan:

$q_1 = q_2 = q_3 = q$

$\frac{F_2}{F_1} = ?$

Yechilishi:



Kulon qonuniga binoan ikki zaryad quyidagi kuch bilan o‘zaro tasirlashadi:

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Birinchi holda ikki zaryad orasidagi masofa o‘zgarmas bo’ladi, ikki holatda esa ular orasidagi masofaning o‘rtasiga uchinchi zaryad kiritiladi.

$$1)\ F_1 = k\frac{q^2}{r^2}, \quad 2)\ F' = k\frac{q^2}{r^2}, \quad F'' = k\frac{q^2}{(r/2)^2} = 4k\frac{q^2}{r^2}$$

$$F_2 = F' + F'' = k\frac{q^2}{r^2} + 4k\frac{q^2}{r^2} = 5k\frac{q^2}{r^2}, \quad F_2 = 5F_1$$

Javob: *C) 5.*

SINOV UCHUN BERILGAN

2. *Massalari 4 g dan bo‘lgan ikkita bir xil sharcha bir xil uzunlikdagi ip yordamida bir nuqtaga osilgan. Ular bir xil zaryadlar bilan zaryadlandi. Bunda sharchalar bir-biridan 10 cm ga qochib, iplar to‘g‘ri burchak hosil qildi. Har qaysi sharchaning zaryadini toping (C).*

Berilgan:

$m = 4\,g = 4 \cdot 10^{-3}\,kg$

$\alpha = 90^0$

$r = 10\,cm = 10^{-1}\,m$

$tg\,45^0 = 1$

$g = 10\,m/s^2$

$q = ?$

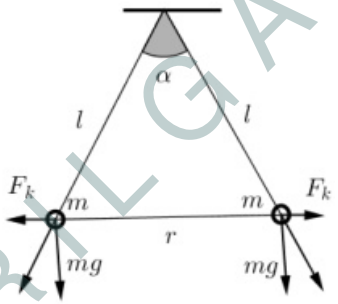
Yechilishi:

Bunda ham yuqoridagi masaladagi kabi bo‘ladi.

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{F_k}{mg}$$

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{F_k}{mg}$$

$$F_k = mg \cdot tg\frac{\alpha}{2}$$



$$k\frac{q^2}{r^2} = mg \cdot tg\frac{\alpha}{2}$$

$$q = r \cdot \sqrt{\frac{mg \cdot tg\frac{\alpha}{2}}{k}} = 10^{-1} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot tg\frac{90^0}{2}}{9 \cdot 10^9}} = 2{,}1 \cdot 10^{-7}\,C$$

Javob: *$2{,}1 \cdot 10^{-7}$.*

3. *Tomonlari 20 cm dan bo‘lgan teng tomonli uchburchakning uchlariga havoda $q_1=q_2=q_3=2 \cdot 10^{-6}$ C zaryadlar joylashtirilgan. Zaryadlarning biriga boshqalarining ta’sir kuchini toping (N).*

A) 1,56 B) 2,7 C) 2,95 D)3,12

Berilgan:

$a = 20\,cm = 0{,}2\,m$

$q_1 = q_2 =$

$= q_3 = 2 \cdot 10^{-6}\,C$

$F = ?$

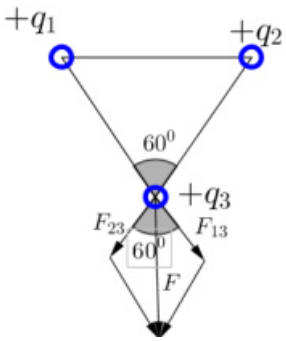
Yechilishi:

Zarrachalarning zaryadlari bir-biriga teng bo’lganligi uchun ularning bir-biriga beradiga tasir kuchlari ham teng bo’ladi, ya’ni:

$$F_{13} = F_{23} = F^*$$

Yuqorida ko’rib o’tilganidek ikki zaryad orasidagi kuch quyiodagiga teng:

$$F^* = k\frac{q^2}{a^2}$$



Umumiy kuch esa kosinuslar teoremasiga binoan hamda hamma taraflari teng va burchagi 60^0 bo’lganligi uchun:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$F = \sqrt{3}F^* = \sqrt{3}\cdot k\frac{q^2}{a^2}, \quad \rightarrow \quad F = \sqrt{3}F^* = \sqrt{3}\cdot k\frac{q^2}{a^2} = \sqrt{3}\cdot 9\cdot 10^9 \cdot \frac{\left(2\cdot 10^{-6}\right)^2}{(0,2)^2} = 1,56\,N$$

Javob: *A) 1,56.*

§ 3. O'ZARO TA'SIR PRINSIPLARI. ELEKTR MAYDONI, UNING KUCH CHIZIQLARI. ELEKTR MAYDONINING KUCHLANGANLIGI.

Uzoqdan va yaqindan ta'sir prinsiplari:

Isaak Nyuton butun olam tortishish qonunini kashf etgandan keyin Quyosh sistemasini tadqiq etish sohasida erishilgan yutuqlar olimlarning xayolini shunchalik chulg'ab oldiki, hatto ularning ko'pchiligi bir jismdan ikkinchi jismga o'zaro ta'sir uzatuvchi biror vostita izlashning keragi yo'q degan fikr tomoniga o'tib olishdilar. Shunda olisdan bevosita bo'shliq orqali to'ppa-to'g'ri ta'sir qilish nazariyasi paydo bo'ldi. Bu nazariyaga asosan, ta'sir har qanday olis masofaga bir onda uzatiladi, jismlar bir-birlarining mavjudliklarini oralarida biror muhit bo'lmaganda ham "seza oladi". Olisdan ta'sir qilish nazariyasi tarafdorlari "Jism o'zi yo'q yerda ham ta'sir qilishi fikridan xijolat tortmanglar, magnit yoki elektrlangan tayoqcha jismlarni bevosita bo'shliq oralab tortayotganini ko'rmayotirsizlarmi, axir?" deya uqtirganlar. Bunda magnit qog'ozga o'rab yoki qutichaga solib qo'yilganda ham ta'sir kuchi sezilarli o'zgarmaydi. Buning ustiga jismlar bir-biriga tekkanda o'zaro ta'sir qilishgandek tuyulsa-da, aslida unday emas. Jismlar bir-biriga har qancha jips tekkanda ham atom va molekulalar orasida baribir bo'shliq qoladi. Olisdan ta'sir – ta'sirlashuvning hamma yerda uchraydigan yagona usulidir.

Yaqindan ta'sir qilish nazariyasiga qarshi qaratilgan e'tirozlar juda kuchli bo'lgan. Buning ustiga, bu nazariyani elektr zaryadlari va elektr toklarining o'zaro ta'sir qonunlarini kashf etgan va olisdan ta'sir qilish nazariyasining sodiq tarafdorlari bo'lgan Kulon va Amperning ajoyib yutuqlari ham tasdiqladi.

Ikkita jismning ta'sirini kuzatganimizda bu yerda ta'sir tashuvchi uchinchi bir agent vosita yo'qmikan degan savol tug'iladi. Masalan, haydovchi avtobusning orqa eshigini ochish uchun ochish tugmasini bosadi yoki dastakni tortadi. Bunda ta'sir elektr signali orqali yoki mexanik zvenolar ketma-ketligida orqa eshikka uzatiladi va eshik ochiladi. Bu ikkala holda ham ta'sir uzatuvchi vosita bor. Agar elektr signalini uzatuvchi sim uzilgan yoki mexanik zvenolardan biri ishdan chiqqan bo'lsa, u holda o'zaro bog'lanish uzilgani bois, orqa eshik ochilmaydi. Xuddi shuningdek, daryoning narigi qirg'og'idagi kishini chaqirganda tovush to'lqinlari vositachi – ta'sir uzatuvchi hisoblanadi.

Bir-biridan ma'lum masofada turgan jismlar orasidagi o'zaro ta'sir hamma vaqt shu o'zaro ta'sirni hamma vaqt nuqtadan nuqtaga uzatuvchi oraliq zvenolar

SINOV UCHUN BERILGAN

yoki muhit vositasida uzatiladi degan faraz yaqindan ta’sir qilish nazariyasining mohiyatidir.

Yaqindan ta’sir qilish nazariyasi tarafdorlari bo‘lgan ko‘plab olimlar gravitatsion va elektromagnit kuchlarning paydo bo‘lishini izohlash uchun sayyora va magnitlar atrofida bo‘ladigan qandaydir ko‘zga ko‘rinmas oqimlar, elektrlangan jismlar atrofida qandaydir ko‘zga ko‘rinmas atomosferalar mavjud deya fikr yuritishganlar.

Elektr maydoni:

Shu vaqtgacha biz bilgan ta’sirlarning barchasini uzatish uchun vositachi–moddiy muhit mavjud bo‘lishi shart edi. Masalan, qo‘ng‘iroqni jiringlatish uchun yoki qo‘ng‘iroqning tiliga ip bog‘lab ipni tebrantirish kerak yoki qo‘g‘iroqqa biron bir toshni otish kerak bo‘ladi. Bu yerda ta’sir ikki xil usulda uzatilmoqda, lekin ikkala holda ham ta’sir uzatuvchi vosita (ip yoki tosh) mavjud.

Elektr ta’sirlari esa hatto muhit bo‘lmagan vakuumda ham uzatiladi. Xo‘sh, elektr ta’sirlarini uzatuvchi muhit qani? – Elektr ta’sirlari ham maxsus moddiy muhit – *elektr maydoni* vositasida uzatiladi. Elektr maydoni materiyaning alohida bir turi bo‘lib, qo‘zg‘almas zaryadlar atrofida hosil bo‘ladi. Elektr maydonini elektrostatik maydoni ham deyiladi. Shunday qilib, elektr zaryadlari va elektr maydoni materiyaning ikkita ajralmas turi ekan.

Ingliz fizigi Maykl Faradey (1791–1867) g‘oyalariga ko‘ra, qo‘zg‘almas elektr zaryadlari bir-biri bilan bevosita ta’sirlashmas ekan. Ulardan har biri o‘zining atrofida elektr maydoni hosil qiladi va ta’sirlashuv ana shu maydonlar vositasida amalga oshiriladi. Har qanday ta’sirni bir onda uzatishning iloji bo‘lmagani kabi, elektr ta’siri ham bir onda uzatilmas ekan. Elektr va magnit ta’sirlarning maydon orqali uzatilishini ingliz olimi Maksvell (1831–1879) tekshirdi hamda bu ta’sirlar fazoda chekli tezlik bilan tarqalishini nazariy isbotlab berdi. Shunday qilib, maydon o‘zaro ta’siri fazoda $300\ 000\ km/s$ ga teng bo‘lgan yoruglikning tarqalish tezligi bilan uzatiladi.

Elektr zaryadlari atrofida hosil bo‘lgan elektr maydoni moddiy va cheksizlikkacha tarqalgan bo‘lib, u bizga bog‘liq bo‘lmagan holda mavjuddir. Elektr maydoni faqat elektr zaryadlariga ta’sir qiladi.

Elektr maydon kuchlanganligi tushunchasi:

Qo‘zg‘almas elektr zaryadi atrofida hosil bo‘lgan elektrostatik (yoki qisqacha elektr) maydoni “*sinov zaryadi*” deb ataladigan zaryad yordamida tekshiriladi.

“Sinov zaryadi” deb, tekshirilayotgan maydonning xususiyatini sezilarli darajada o‘zgartirmaydigan juda kichik, musbat zaryadga ega nuqtaviy zaryadga aytiladi.

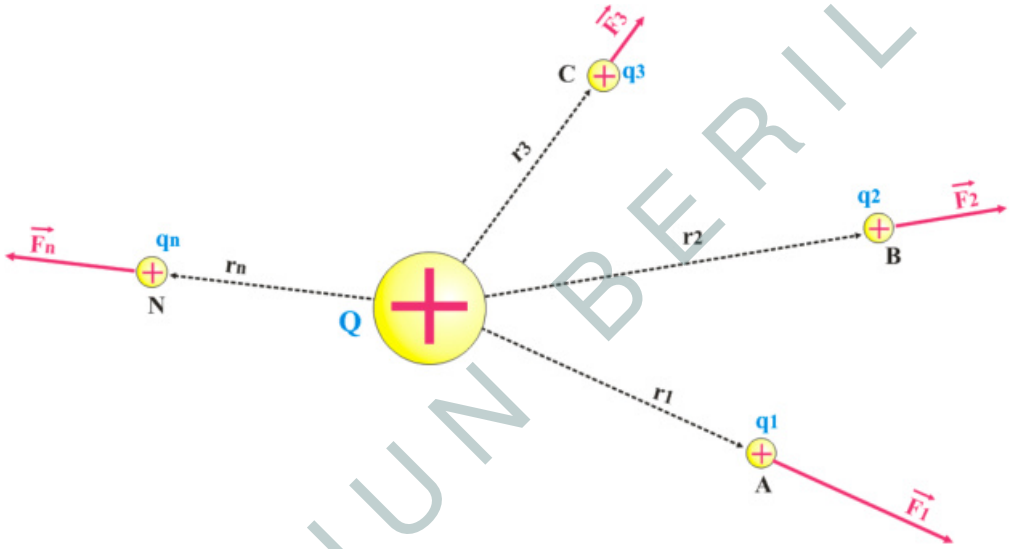
SINOV UCHUN BERILGAN

Elektr maydonini Q zaryad hosil qilayotga‘n bo‘lsin va bu maydonning turli nuqtalariga $q_1, q_2, q_3, ...q_n$ sinov zaryadi kiritaylik. Sinov zaryadiga elektr maydoni tomonidan ta’sir qiluvchi kuchlar mos holda $F_1, F_2, F_3, ...F_n$ bo‘lsin *(3.1-rasm)*.

$$F_1 = k\frac{Qq_1}{\varepsilon r_1^2}, \quad F_2 = k\frac{Qq_2}{\varepsilon r_2^2}, \quad F_3 = k\frac{Qq_3}{\varepsilon r_3^2}, \ ..... , \quad F_n = k\frac{Qq_n}{\varepsilon r_n^2}$$

Bu kuchlarni kiritilgan sinov zaryadlariga bo‘linsa, sinov zaryadining katta-kichikligiga bog‘liq bo‘lmagan kattalik hosil bo‘lar ekan, ya’ni quyidagicha bo’ladi:

$$\frac{F_1}{q_1} = k\frac{Q}{\varepsilon r_1^2}, \quad \frac{F_2}{q_2} = k\frac{Q}{\varepsilon r_2^2}, \quad \frac{F_3}{q_3} = k\frac{Q}{\varepsilon r_3^2}, \ ..... , \quad \frac{F_n}{q_n} = k\frac{Q}{\varepsilon r_n^2}$$



3.1-rasm

Elektr maydoni tomonidan sinov zaryadiga ta’sir qiluvchi kuchning sinov zaryadiga nisbati sinov zaryadining katta-kichikligiga bog‘liq bo‘lmaydi va bu nisbat o‘sha nuqtadagi (sinov zaryadi kiritilgan nuqtadagi) elektr maydon kuchlanganligi deyiladi.

$$\dot{E} = \frac{\dot{F}}{q} = k\frac{Q}{\varepsilon r^3}\dot{r} \quad \text{yoki} \quad E = \frac{F}{q} = k\frac{Q}{\varepsilon r^2} \qquad \textbf{(3.1)}$$

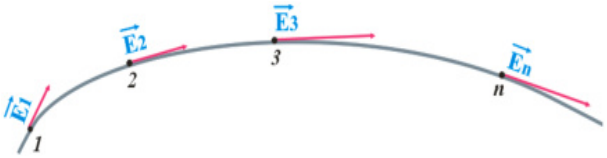
Elektr maydon kuchlanganligi vektor kattalik bo‘lib, elektr maydonni kuch jihatidan, ta’sir jihatdan xarakterlaydi. Elektr maydonining yo‘nalishi musbat sinov zaryadga ta’sir qiluvchi kuch yo‘nalishi bo‘yicha yo‘naladi.

Elektr maydon kuchlanganligining o‘lchov birligi kuch bo‘lingan zaryad o‘lchovida, ya’ni $\frac{N}{C}$ da o‘lchanadi.

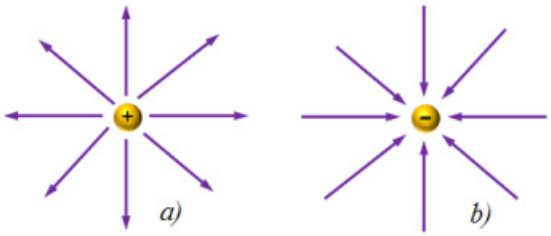
Elektr maydon kuch chiziqlari:

Elektr maydon kuch chizig‘i deb, shunday chiziqqa aytiladiki, bu chiziqning har bir nuqtasida elektr maydon kuchlanganlik vektori shu chiziqqa urinma holda yo‘nalgan bo‘ladi *(3.2-rasm)*.

SINOV UCHUN BERILGAN



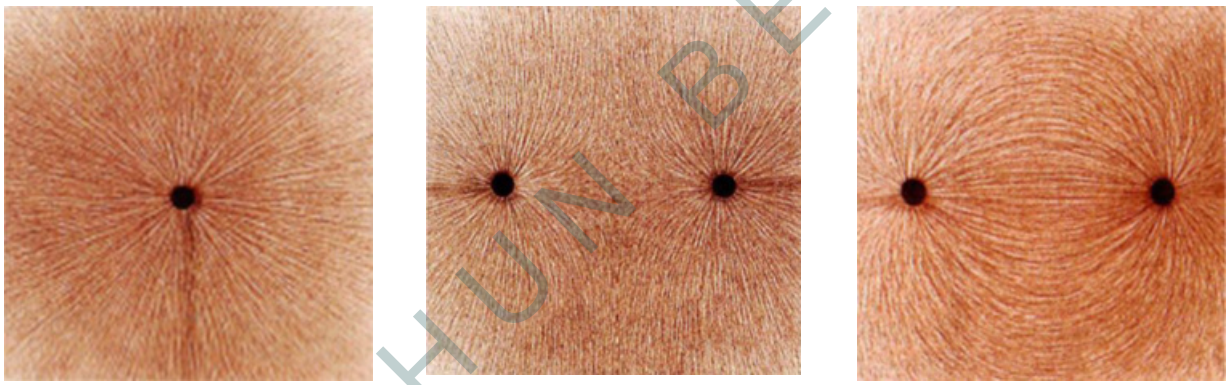
3.2-rasm



3.3-rasm

Musbat zaryadning elektr maydon kuch chiziqlari zaryad sirtidan boshlanib, cheksizlikkacha davom etadi. Manfiy zaryadniki esa cheksizlikdan boshlanib, zaryad sirtida tugaydi (3.3-*a,b,rasm*). Demak, elektr maydonining boshi va oxiri mavjud bo‘lib, ular zaryadlarning o‘zlari ekan. Boshqacha aytganda, elektr maydonining manbasi elektr zaryadlarining o‘zlari bo‘lar ekan.

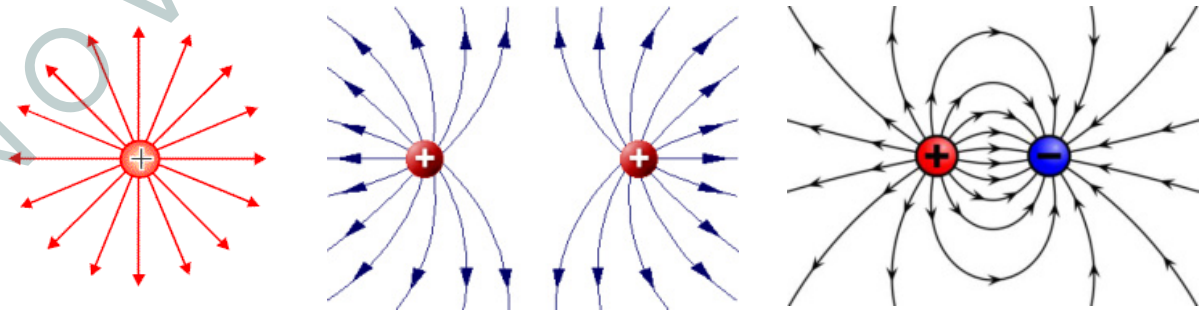
Elektr maydon kuch chiziqlarini tajriba yordamida ham ko‘rish mumkin. Buning uchun moy yoki neft solingan idishga maydalangan bug‘doy yormasi yoki qipiq solinib aralashtiriladi. Aralashmaga ikkita plastina tushirib ularga zaryad berilganda quyidagi rasmlardagi manzaraga guvoh bo‘lamiz (3.*4-rasm*).



a) *b)* *c)*

3.4-rasm

Yuqoridagi 3.4-rasmdagi hosil bo‘lgan tasvirning chiziqlarini ketma-ket tutashtirishdan bu zaryadlarning atrofida hosil qiladigan elektr maydonini olish mumkin. Shunday yo‘l bilan olingan tasvir 3.5-rasmda keltirilgan.

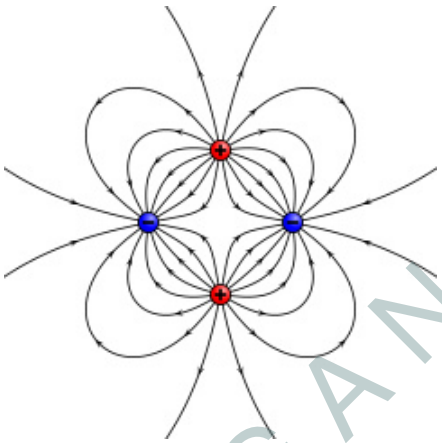


a) *b)* *c)*

3.5-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Tajriba o‘tkazish orqali bir necha zaryadlar hosil qilgan elektr maydonlarini tasvirini ham olish mumkin. So‘ngra tasvirdagi chiziqlarni xayoliy tutashtirib chiqilsa, elektr maydon kuch chiziqlari hosil bo‘ladi. 3.6-rasmda shunday yo‘l bilan olingan teng miqdordagi 4 ta zaryadning elektr maydoni berilgan. Bunday tajribani ixtiyoriy shakldagi va miqdoragi zaryadlangan o‘tkazgichlar sistemasi bilan ham o‘tkazib olish mumkin.



3.6-rasm

Superpozitsiya prinsipi:

Fazoning biror nuqtasidagi zaryadlar sistemasi hosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganligini topish uchun, shu nuqtadagi har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganlik vektorlari geometrik qo‘shiladi.

Maydonlarni qo‘shishning bunday usuli maydonlar superpozitsiya prinsipi deyiladi.

$$\vec{E}_{nat} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + ... + \vec{E}_n \qquad (3.2)$$

Barcha maydon kuchlanganliklari qo‘shilib, bitta natijaviy maydon kuchlanganlik vektori hosil qilinadi va buni teng ta’sir etuvchi vektor deyiladi. Qo‘shib chiqilgan maydonlarni esa tashkil etuvchilar yoki komponentalar deyiladi.

Maydonlar qo‘shilganda ularning o‘qlardagi proeksiyalari ham qo‘shiladi.

$$\begin{cases} E_x = E_{1x} + E_{2x} + E_{3x} + ... + E_{nx} \\ E_y = E_{1y} + E_{2y} + E_{3y} + ... + E_{ny} \\ E_z = E_{1z} + E_{2z} + E_{3z} + ... + E_{nz} \end{cases} \qquad (3.3)$$

Teng ta’sir etuvchi proyeksiyalar orqali quyidagicha bog‘langan:

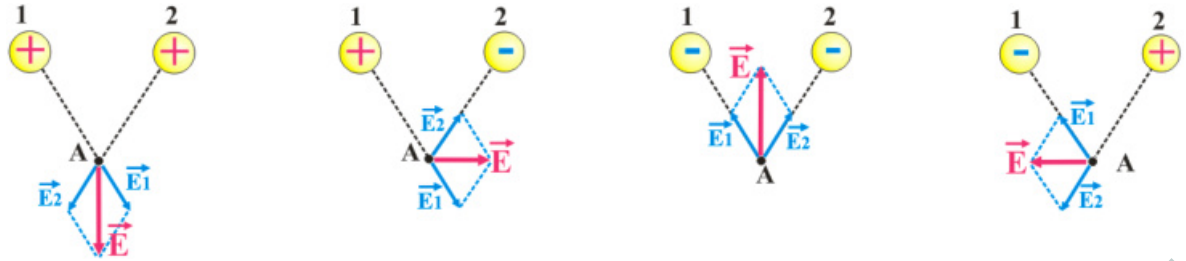
$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \qquad (3.4)$$

Teng ta’sir etuvchining yo‘naltiruvchi kosinuslari (koordinata o‘qlari bilan hosil qilgan burchak kosinuslari) quyidagicha:

$$\cos\alpha = \frac{E_x}{E}, \quad \cos\beta = \frac{E_y}{E}, \quad \cos\gamma = \frac{E_z}{E} \qquad (3.5)$$

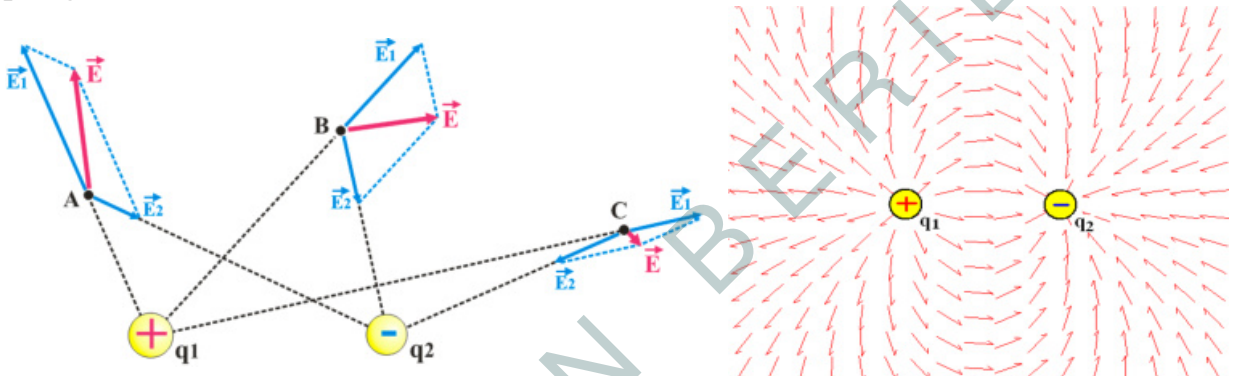
Masalan, miqdorlari teng musbat-musbat, musbat-manfiy va manfiy-manfiy zaryadlarning zaryadlardan teng uzoqlikda olingan A nuqtada hosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganlik yo‘nalishlari quyidagicha bo‘ladi (3.7-rasm):

SINOV UCHUN BERILGAN



3.7-rasm

*3.8-a,rasm*da ikkita zaryad hosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganligining ixtiyoriy A,B,C nuqtalardagi yo‘nalishlari parallelogramm qoidasi bo‘yicha ko‘rsatilgan. *3.8-b,rasm*da esa ikkita zaryad hosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganligining barcha nuqtalardagi yo‘nalishlari dastur yordamida hosil qilingan.



a) *b)*

3.8-rasm

Elektr maydon kuchlanganligining ma’nosi:

Elektr maydon kuchlanganligi kuchlanganlik chiziqlarining zichligini, tig‘isligini bildiradi. Boshqacha aytganda, kuchlanganlik yuza birligidan o‘tuvchi kuch chiziqlarini anglatadi, ya’ni kuchlanganlik $\frac{\Delta N}{\Delta S}$ ga proporsionaldir $\left(E \sim \frac{\Delta N}{\Delta S}\right)$.

Aytaylik, kuchlanganligi $1\frac{N}{C}$ bo‘lgan joyda har *1* sm^2 yuzadan *1mlrd.* ta kuch chiziqlari o‘tayapti deb tasavvur qilsak, u holda kuchlanganligi $2\frac{N}{C}$ bo‘lgan joyda esa har *1* sm^2 yuzadan *2mlrd.* ta kuch chiziqlari o‘tayotgan bo‘ladi. Shuningdek, kuchlanganligi $3\frac{N}{C}$ bo‘lgan joyda har $1sm^2$ yuzadan $3\,mld.$ ta, kuchlanganligi $4\frac{N}{C}$ bo‘lgan joyda har $1sm^2$ yuzadan $4\,mld.$ ta va hokoza kuch chiziqlari o‘tayotgan bo‘ladi.

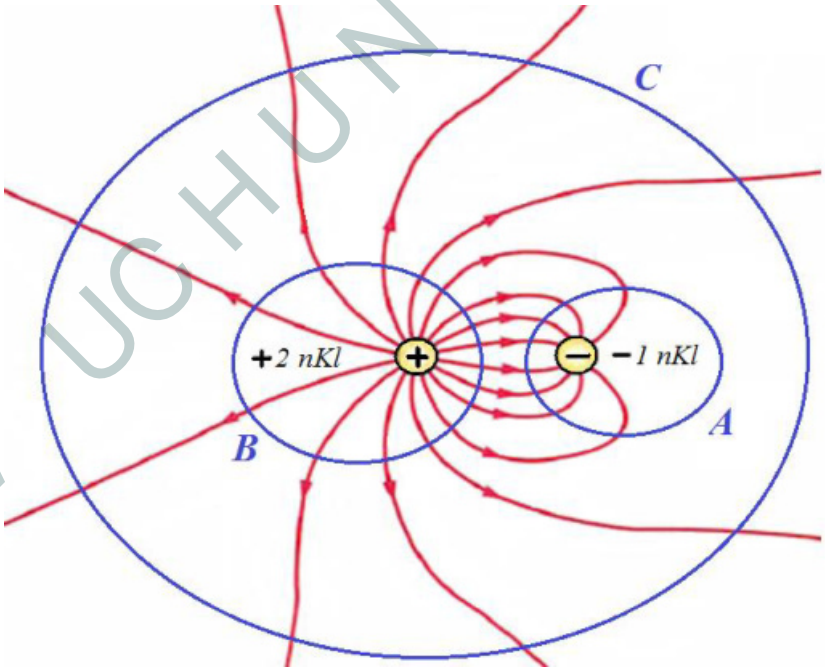
Zaryadga yaqin joyda kuchlanganlik chiziqlari zich bo‘lgani uchun bu nuqtalarda kuchlanganlikning qiymati ham katta bo‘ladi va bu nuqtalarda elektr ta’siri ham kuchliroq seziladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar fazoning biror sohasidan olingan barcha nuqtalarda maydon kuchlanganligining qiymatlari bir xil bo‘lsa, bunday maydon bir jinsli elektr maydoni deyiladi.

Bir jinsli maydonda elektr maydon kuch chiziqlari parallel bo‘ladi. Agar kuch chiziqlari tarqalib, siyraklashib ketayotgan bo‘lsa, kuchlanganlik qiymati ham kamayib, susayib ketayotgan bo‘ladi va aksincha. Demak, elektr maydon kuchlanganligining qiymati kuch chiziqlari zich joyda katta, kuch chiziqlari siyrak joyda kichik va kuch chiziqlari parallel joyda teng bo‘lar ekan.

Elektr maydon kuchlanganligi elektr maydon kuch chiziqlarining zichligini bildirsa, elektr zaryadi esa musbat zaryadlangan jismdan chiquvchi yoki manfiy zaryadlangan jismga kiruvchi jami kuch chiziqlari sonini bildiradi, ya’ni $q \sim \Delta N$ bo‘ladi. Aytaylik, zaryadi *1 nC* bo‘lgan jism *1 mlrd.* ta elektr kuch chiziqlari chiqaradi deb tasavvur qilsak (aslida kuch chiziqlarini sanash imkonsizdir), u holda zaryadi *2 nC* bo‘lgan jism *2 mlrd.* ta, zaryadi *3 nC* bo‘lgan jism esa *3 mlrd.* ta va hokoza elektr kuch chiziqlarini chiqaradi deyish mumkin. Xuddi shuningdek, zaryadi *-1 nC* bo‘lgan jism *1 mlrd.* ta elektr kuch chiziqlarini yutadi deb tasavvur qilsak, u holda zaryadi *-2 nC* bo‘lgan jism *2 trl.* ta, zaryadi *-3 nC* bo‘lgan jism esa *3 mlrd.* ta va hokoza elektr kuch chiziqlarini yutadi deyish mumkin.



3.9-rasm

Biror elektr zaryadi nechta elektr chiziqlarini chiqarsa yoki yutsa, shu elektr kuch chiziqlari zaryadni qamragan ixtiyoriy shakldagi sirtdan ham o‘tadi. Masalan, 3.9-rasmda zaryad miqdorlari *+2 nC* va *-1 nC* bo‘lgan zaryadlar sistemasining elektr maydon kuch chiziqlari tasvirlangan. *-1 nC* zaryadga *1 mlrd.* ta kuch chiziqlari kiradi, *+2 nC* zaryaddan *2 mlrd.* ta kuch chiziqlari chiqadi deb tasavvur qilaylik (aslida kuch chiziqlarini sanash imkonsizdir). *+2 nC* zaryadni qamragan *B*

SINOV UCHUN BERILGAN

sirtdan chiqqan *2 mlrd.* ta kuch chiziqlarining *1 trl.* tasi *A* sirtdan o‘tib *-1 nC* zaryadga kiradi, qolgan yana *1 mlrd.* ta kuch chiziqlari esa ikkala zaryadni qamragan *C* sirtdan tashqariga chiqib ketadi. Biz boshida zaryadi *1 nC* bo‘lgan jism *1 mlrd.* ta elektr kuch chiziqlari chiqaradi deb tasavvur qilgan edik. Madomiki, *C* sirtdan tashqariga *1 mlrd.* ta kuch chiziqlari chiqib ketayotgan ekan, u holda *C* sirt ichida *1 nC* miqdordagi elektr zaryadi bo‘lish kerak degan xulosa kelib chiqadi. Haqiqatan ham, *C* sirt ichida jami

$$q_{um} = q_1 + q_2 = 2\ nC - 1\ nC = 1\ nC$$

elektr zaryadi bor.

Shunday qilib, elektr zaryad miqdorini zaryadlangan jism sirtidan chiquvchi yoki sirtga kiruvchi elektr kuch chiziqlar soniga proporsional kattalik sifatida qabul qilish mumkin ekan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Uzoqdan va yaqindan ta’sir prinsiplarini gapirib bering.*
2. *Elektr maydoni nima? Elektr maydoni qaysi prinsip asosida tushuntiriladi?*
3. *Elektr maydon kuchlanganligi nima? Uning formulasi va o‘lchov birligini yozing.*
4. *Elektr maydon kuch chiziqlari deganda nimani tushunasiz? Bunga bir necha zaryadlarning kuch chiziqlarini chizish orqali misol keltiring.*
5. *Elektr maydon kuchlanganligi qanday kattalik? Elektr maydonlari qanday qo‘shiladi? Natijaviy maydon kuchlanganligining miqdor va yo‘nalishi qanday aniqlanadi?*
6. *Elektr maydon kuchlanganligining ma’nosi haqida gapirib bering. Elektr zaryadining kattaligini nimaga qiyoslash mumkin?*

Masala yechish:

1. *Nuqtaviy zaryad elektr maydonining kuchlanganligi biror nuqtada E_x=40 V/m va E_y=30 V/m proeksiyalarga ega. Shu nuqtadagi maydon kuchlanganligining modulini toping (V/m).*

A) 30 B) 40 C) 60 D) 50

Berilgan:

$E_x = 40V/m$

$E_y = 30V/m$

$E = ?$

Yechilishi:

Elektr maydon kuchlanganligi vektor kattalik hisoblanadi. Uning kattaligini aniqlash uchun vektorlarni qo‘shishdan foydalanamiz:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50V/m$$

Javob: *D) 50.*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 4. TURLI SHAKLDAGI ZARYADLANGAN O‘TKAZGICHLARNING ELEKTR MAYDON KUCHLANGANLIKLARI.

Turli jismlarning elektr maydon kuchlanganliklarini topish:

Odatda zaryad o‘tkazgichning tashqi sirtida bo‘ladi, ichki hajm bo‘ylab zaryad bo‘lmaydi. Masalan, metall shar manfiy zaryadlangan bo‘lsa, ortiqcha elektronlar sharning tashqi sirti bo‘lab yoyilib ketadi. Chunki, metallar o‘tkazgich bo‘lgani sababli zaryad bir joydan boshqa erkin ko‘cha oladi. Ortiqcha elektronlar bir-biridan mumkin qadar uzoqlashib o‘tkazgichning sirtiga yoyilib chiqadi. Endi zaryadlangan turli jismlarmimg elektr maydon kuchlanganliklarini aniqlash formulalarini hisoblab topaylik.

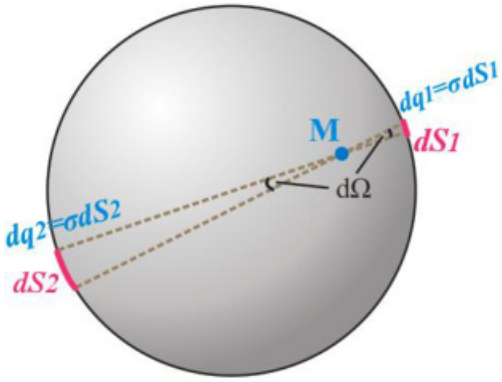
Dastlab zaryadli shar yoki sfera ichidagi elektr maydon kuchlanganligini aniqlaymiz (4.1-rasm). Sharning ichidan ixtiyoriy M nuqta tanlab, shu nuqtadan ixtiyoriy yo‘nalishda juda kichik, elementar $d\Omega$ fazoviy burchak ajratamiz. Bu fazoviy burchak shar sirtidan dS_1 va dS_2 elementar yuzalar ajratadi. Bu yuzalar M nuqtadan r_1 va r_2 masofalarda joylashgan bo‘lsin. Bunda yuzalar $dS_1 = d\Omega\, r_1^2$ va $dS_2 = d\Omega\, r_2^2$ bo‘ladi. Zaryad shar sirti bo‘ylab σ sirtiy zichlik bilan tekis taqsimlangan bo‘lgani uchun elementar yuzachalarga to‘g‘ri kelgan elementar zaryadlar

$dq_1 = \sigma dS_1 = \sigma d\Omega\, r_1^2$ va $dq_2 = \sigma dS_2 = \sigma d\Omega\, r_2^2$

bo‘ladi. Bu elementar zaryadlar hosil qilgan elementar maydon kuchlanganliklari

$$dE_1 = k\frac{dq_1}{r_1^2} = k\sigma d\Omega \text{ va } dE_2 = k\frac{dq_2}{r_2^2} = k\sigma d\Omega$$

bo‘ladi. Demak, dE_1=dE_2 ekan. Lekin, ularning yo‘nalishlari qarama-qarshi $\left(d\vec{E}_1 = -d\vec{E}_2\right)$ bo‘lgani uchun M nuqtadagi natijaviy kuchlanganlik



4.1-rasm

$$d\dot{E} = d\dot{E}_1 + d\dot{E}_2 = 0$$

bo‘ladi.Shunday qilib, zaryadlangan shar ichidagi elektr maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lar ekan.

$$\boxed{E = 0} \qquad (4.1)$$

Hisob-kitoblar nafaqat shar yoki sfera ichida, balki barcha zaryadlangan o‘tkazgichlar ichida elektr maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lishini ko‘rsatdi.

Sirtiy zaryadlangan o‘tkazgich sharning sirtida (r=R) yoki o‘tkazgich sfera sirtida elaktr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\boxed{E_0 = k\frac{Q}{R^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}} \qquad (4.2)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Dielektrik jismlar shunday xossaga egaki, ularning qaysi nuqtasida zaryad hosil qilinsa, zaryad o‘sha joyda uzoq vaqt qo‘zg‘almasdan turaveradi. Bu dielektriklarda zaryad tashuvchilarning yo‘qligi tufaylidir. Dielektrik moddadan yasalgan sharni zaryadlaganda ham bu zaryad uning butun hajmi bo‘yicha tekis taqsimlanadi (o‘tkazgichlarga o‘xshab yugurib yuzaga chiqib olavermagani uchun) deb olish mumkin. Hajmiy tekis zaryadlangan sharning shar ichkarisidagi maydon kuchlanganligini aniqlovchi formulani keltirib chiqaraylik. Shar markazidan ixtiyoriy $r<R$ radiusli sharcha ajratamiz. Bu sharchaning hajmi

$$V_r = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi R^3\left(\frac{r}{R}\right)^3 = V\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

bo‘ladi. Bu hajmga to‘g‘ri kelgan zaryad miqdori esa

$$q_r = \rho V_r = \rho V\left(\frac{r}{R}\right)^3 = Q\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

bo‘ladi. Ushbu q_r zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganligi

$$E_r = k\frac{q_r}{r^2} = k\frac{Q\left(\frac{r}{R}\right)^3}{r^2} = k\frac{Qr}{R^3} = E_0\frac{r}{R}$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, agar zaryad sharning butun hajmi bo‘ylab bir tekis taqsimlangan bo‘lsa, elektr maydon kuchlanganligining qiymati shar markazidan sirtigacha chiziqli holda oshib borar ekan va hajmiy zaryadlangan shar markazidan ixtiyoriy $r<R$ masofadagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\boxed{E = k\frac{Q}{R^3}r = E_0\frac{r}{R}} \qquad (4.3)$$

Bu yerda: $E_0 = k\frac{Q}{R^2}$ – shar sirtidagi maydon kuchlanganligi.

Hajmiy zaryadlangan shar sirtidagi maydon kuchlanganligini hisoblaylik. Bunda hahmiy zichlik formulasini e’tiborga olsak, ushbu

$$E_0 = k\frac{Q}{R^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\rho V}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\rho\frac{4}{3}\pi R^3}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\rho R}{3\varepsilon_0}$$

formula kelib chiqadi.

Demak, hajmiy zaryadlangan shar sirtida ($r=R$) maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan:

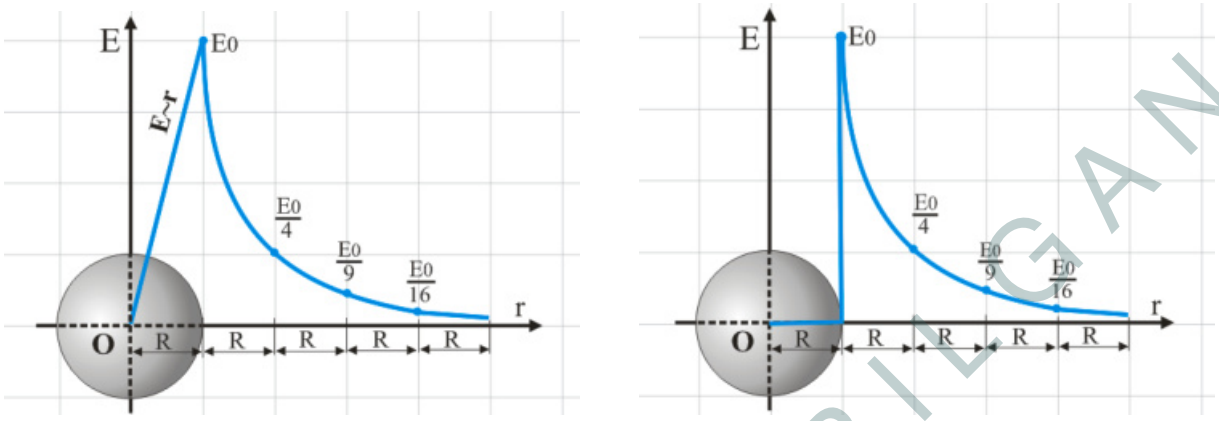
$$\boxed{E_0 = k\frac{Q}{R^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\rho R}{3\varepsilon_0}} \qquad (4.4)$$

Sharcha hoh hajmiy, hoh sirtiy zaryadlangan bo‘lsin sharchadan tashqaridagi ($r>R$) nuqtalarda ular hosil qilgan elektr maydon kuchlanganliklari bir xil bo‘ladi. Maydon kuchlanganligining qiymati xuddi sharning butun zaryadi shar

SINOV UCHUN BERILGAN

markazidagi bitta nuqtaga to‘planganda hosil bo‘lgan qiymat kabi bo‘ladi. Shar tashqarisida maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘ladi:

$$E = k\frac{Q}{\varepsilon r^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2} \qquad (4.5)$$



a) *b)*

4.2-rasm

Yuqorida keltirilgan rasmlarda hajmiy va sirtiy zaryadlangan sharlar hosil qilgan elektr maydon kuchlanganligining masofaga bog‘liqlik grafigi tasvirlangan. Endi cheksiz uzun zaryadli ipning maydonini hisoblaylik. Zaryadlangan ip cheksiz uzun bo‘lgani uchun ipning qaysi nuqtasini olmaylik, shu nuqtaning o‘ng va chap qismlari o‘zaro simmetrik bo‘ladi. Koordinatalar sistemasining boshini ipning ixtiyoriy *O* nuqtasida olib, *Ox* o‘qini ip bo‘yicha va *Oy* o‘qini ipga perpendikulyar qilib joylashtiramiz. Koordinata boshidan ixtiyoriy *x* masofada *A* nuqtada *dx* elementar uzunlik ajratamiz (4.3-rasm). Bu elementar uzunlikning zaryadi $dq=\tau dx$ hamda *M* nuqtadagi elementar maydon kuchlanganligi bo‘ladi. Bu elementar maydon kuchlanganligining o‘qlardagi proyeksiyalari $dE_x=dE\cos\varphi$ va $dE_y=dE\sin\varphi$ ga teng bo‘ladi. Lekin, *A* nuqtaga simmetrik bo‘lgan boshqa *B* nuqtada olingan elementar qismning *M* nuqtada hosil qilgan elementar maydon kuchlanganligining *Ox* o‘qdagi proyeksiyasi xuddi *A* nuqtadagi kabi $dE_x = dE\cos\varphi$ miqdoran teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Shuning uchun, natijaviy maydon kuchlanganligini dE_y lar yig‘indisi tashkil qilib, natijaviy kuchlanganlik yo‘nalishi ipga perpendikulyar bo‘lib qoladi, ya’ni

$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \int d\vec{E}_y$$

bo‘ladi. Bunda

$$dE_y = dE\sin\varphi = k\tau\frac{dx}{\varepsilon r^2}\cdot\frac{d}{r} = \frac{\tau d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{r^3} = \frac{\tau d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{\left(x^2+d^2\right)^{3/2}}$$

ni $-\infty$ dan $+\infty$ gacha integrallab, ipdan *d* uzoqdikdagi natijaviy maydon kuchlanganlik qiymati topiladi. Bunda

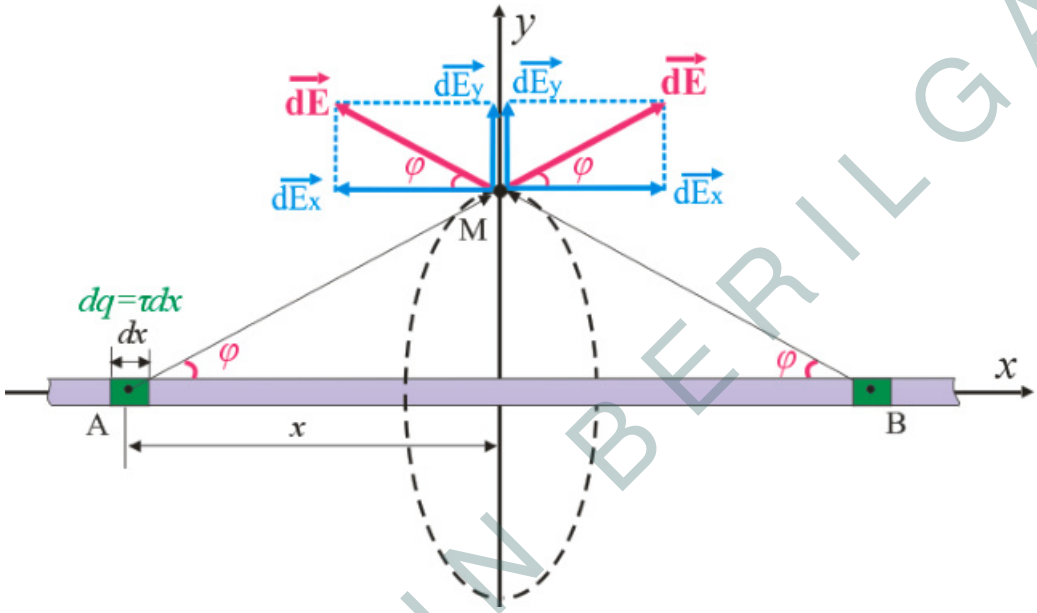
SINOV UCHUN BERILGAN

$$E=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{\tau\,d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{\left(x^2+d^2\right)^{3/2}}=\frac{\tau\,d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{dx}{\left(x^2+d^2\right)^{3/2}}=\frac{\tau\,d}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{d^2}\cdot\frac{x}{\sqrt{x^2+d^2}}\Big|_{-\infty}^{+\infty}=$$

$$=\frac{\tau}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 d}\cdot(1+1)=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 d}$$

natijaga ega bo‘lamiz.

$$dE=k\frac{dq}{\varepsilon r^2}=k\,\tau\frac{dx}{\varepsilon r^2}$$



4.3-rasm

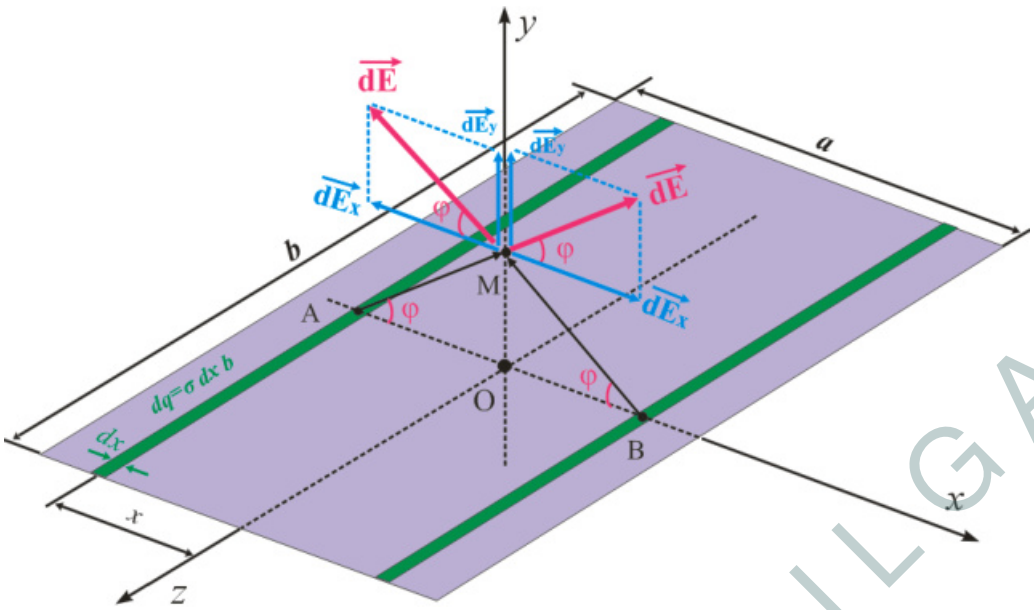
Shunday qilib, zaryadlangan cheksiz uzun ip yoki simdan d uzoqlikda yotgan nuqtada elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan (4.3-rasm):

$$E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 d} \qquad (4.6)$$

Endi tekis zaryadlangan cheksiz plastinaning elektr maydonini hisoblaylik (4.4-rasm). Tekis zaryadlangan cheksiz plastinkani eni a va bo‘yi b chekiz uzun bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchak shaklida tasvirlaymiz. Bu tekislikning ixtiyoriy joyidan o‘q o‘tkazib ikkiga ajratsak, bu ikki qism o‘zaro simmetrik bo‘ladi. Shuning uchun, koordinata boshini 4.4-rasmda ko‘rsatilgandek to‘g‘ri to‘rtburchakning markaziga joylashtiramiz. Koordinata boshidan ixtiyoriy x masofada yotuvchi A nuqtadan o‘tuvchi eni dx va bo‘yi b bo‘lgan elementar yuzacha (tasma) ajratamiz. Bu tasmaning elementar yuzasi $dS=bdx$ hamda elementar zaryadi $dq=\sigma dS=\sigma bdx$ ga, Oy o‘qda olingan M nuqtadagi elementar maydon kuchlanganlik qiymati esa

$$dE=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}=\frac{dq}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 b r}=\frac{\sigma b\,dx}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 b r}=\frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{r}$$

SINOV UCHUN BERILGAN



4.4-rasm

ga teng bo‘ladi. Bu elementar maydon kuchlanganligining o‘qlardagi proyeksiyalari

$$dE_x = dE\cos\varphi \quad \text{va} \quad dE_y = dE\sin\varphi$$

ga teng bo‘ladi. Lekin, A nuqtaga simmetrik bo‘lgan boshqa B nuqtada olingan elementar tasmaning M nuqtada hosil qilgan elementar maydon kuchlanganligining Ox o‘qdagi proyeksiyasi xuddi A nuqtadagi kabi $dE_x = dE\cos\varphi$ bo‘lib, u miqdoran teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Shuning uchun, natijaviy maydon kuchlanganligini dE_y lar yig‘indisi tashkil qilib, natijaviy kuchlanganlik yo‘nalishi tekislikka perpendikulyar bo‘lib qoladi, ya’ni

$$\dot{E} = \int d\dot{E} = \int d\dot{E}_y$$

bo‘ladi. Ushbu ifoda

$$dE_y = dE\sin\varphi = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{r}\cdot\frac{d}{r} = \frac{\sigma d}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{r^2}$$

ni -∞ dan +∞ gacha integrallab, tekislikdan d uzoqdikdagi natijaviy maydon kuchlanganlik qiymati topiladi. Bunda

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty}\frac{\sigma d}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{dx}{r^2} = \frac{\sigma d}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{dx}{\left(x^2+d^2\right)} = \frac{\sigma d}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{d}\cdot arctg\left(\frac{x}{d}\right)\Big|_{-\infty}^{+\infty} =$$

$$= \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(arctg\left(+\infty\right) - arctg\left(-\infty\right)\right) = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(\frac{\pi}{2} - \left(-\frac{\pi}{2}\right)\right) = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, tekis zaryadlangan cheksiz plastinkaning elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan (4.4-rasm):

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \qquad \textbf{(4.7)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

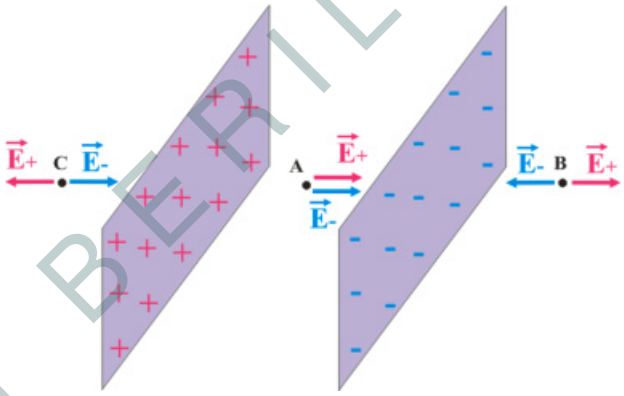
Qarama-qarshi ishora bilan bir xil tekis zaryadlangan parallel ikki plastinkalarning orasidagi elektr maydon qanday bo‘lishini hisoblab ko‘raylik (5.5-rasm). Bunda plastinkalarning har biri $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ maydon hosil qiladi. Plastinkalar tashqarisida bu maydonlar qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘lgani uchun bir-birini to‘la so‘ndiradi. Plastinkalar orasida esa ular yo‘nalishdosh bo‘lgani uchun bir-birini kuchaytiradi va natijaviy kuchlanganlik qiymati musbat va manfiy plastinkalar hosil qilgan kuchlanganliklar yig‘indisiga teng bo‘ladi, ya’ni

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

bo‘ladi.

Demak, qarama-qarshi ishora bilan bir xil tekis zaryadlangan parallel ikki plastinalarning orasidagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan (4.5-rasm):

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}} \qquad \textbf{(4.8)}$$



4.5-rasm

Agar 4.5-rasmdagi plastinalardan biri σ_1 sirt zichligi bilan musbat, ikkinchisi esa σ_2 sirt zichligi bilan manfiy zaryadlangan bo‘lsa, u holda plastinalar orasida maydon kuchlanganligi

$$\boxed{E = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\varepsilon\varepsilon_0}} \qquad \textbf{(4.9)}$$

bo‘lib, plastinalar tashqarisida esa maydon kuchlanganligi

$$\boxed{E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2\varepsilon\varepsilon_0}} \qquad \textbf{(4.9a)}$$

bo‘ladi.

Endi zaryadlangan xalqa o‘qining ixtiyoriy nuqtasidagi elektr maydon kuchlanganligini hisoblash formulasini keltirib chiqaraylik (4.6-rasm). Tekis chiziqli zaryadlangan R radiusli xalqa markaziga rasmda ko‘rsatilgandek koordinatalar sistemasini joylaymiz. Xalqaning ixtiyoriy A nuqtasidan $d\ell$ uzunlikda elementar yoy ajratamiz. Elementar yoyning elementar zaryadi $dq = \tau d\ell$ ga teng bo‘lib, bu zaryad xalqa o‘qidan L uzoqlikda olingan ixtiyoriy M nuqtada

$$dE = k\frac{dq}{\varepsilon r^2} = k\tau\frac{d\ell}{\varepsilon r^2}$$

ga teng elementar maydon hosil qiladi. Bu elementar maydon kuchlanganligining o‘qlardagi proyeksiyalari

$$dE_x = dE\cos\varphi \quad \text{va} \quad dE_y = dE\sin\varphi$$

SINOV UCHUN BERILGAN

ga teng bo‘ladi. Lekin, *A* nuqtaga simmetrik bo‘lgan boshqa *B* nuqtada olingan elementar tasmaning *M* nuqtada hosil qilgan elementar maydon kuchlanganligining *Oy* o‘qdagi proyeksiyasi xuddi *A* nuqtaniki kabi $dE_y=dE\sin\varphi$ miqdoran teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Shuning uchun, natijaviy maydon kuchlanganligini dE_x lar yig‘indisi tashkil qilib, *M* nuqtadagi natijaviy kuchlanganlik yo‘nalishi xalqa tekisligiga perpendikulyar bo‘lib qoladi, ya’ni

$$\dot{E}=\int d\dot{E}=\int d\dot{E}_x$$

bo‘ladi. Bunda

$$dE_x=dE\cos\varphi=k\tau\frac{d\ell}{\varepsilon r^2}\cdot\frac{L}{r}=\frac{k\tau L}{\varepsilon r^3}\cdot d\ell$$

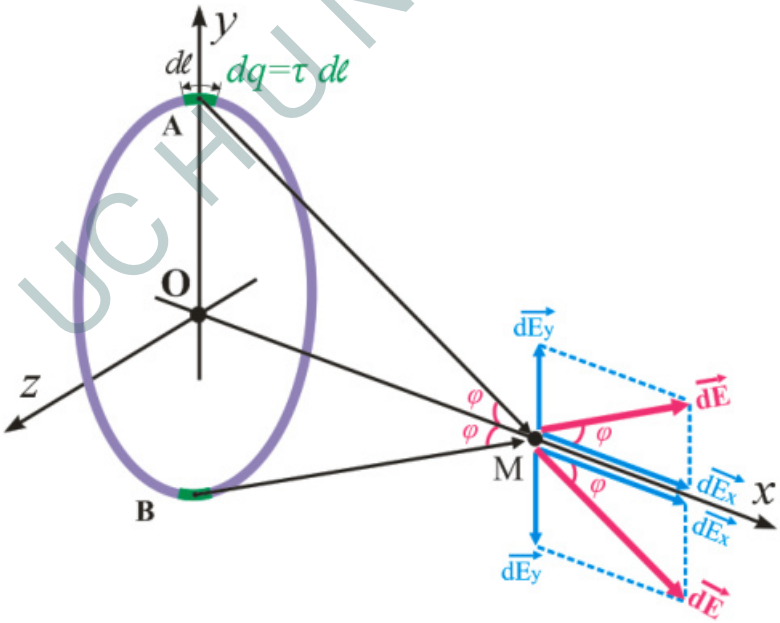
ni *0* dan $2\pi R$ gacha integrallab, *M* nuqtadagi natijaviy maydon kuchlanganlik qiymati topiladi. Natijada ushbu

$$E=\int dE_x=\frac{k\tau L}{\varepsilon r^3}\cdot\int_0^{2\pi R}d\ell=\frac{k\tau L}{\varepsilon r^3}\cdot(2\pi R-0)=k\tau 2\pi R\cdot\frac{L}{\varepsilon r^3}=\frac{kQ}{\varepsilon}\cdot\frac{L}{\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}$$

ifoda hosil bo‘ladi. Buni

$$E=\frac{kQ}{\varepsilon}\cdot\frac{L}{\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}=\frac{\tau\cdot 2\pi R}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{L}{\varepsilon r^3}=\frac{\tau R}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{L}{\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}$$

ko‘rinishda ham ifodalash mumkin.



4.6-rasm

Shunday qilib, tekis chiziqli zaryadlangan *R* radiusli xalqaning markazidan xalqa o‘qi bo‘yicha *L* uzoqlikda yotgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan (4.6-rasm):

$$\boxed{E=\frac{\tau R}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{L}{\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}=\frac{kQ}{\varepsilon}\cdot\frac{L}{\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}} \qquad \textbf{(4.10)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi mana shu zaryadlangan xalqa hosil qilgan elektr maydoni xalqa o‘qining qaysi nuqtasida eng katta bo‘lishini aniqlaylik. Buning uchun elektr maydon kuchlanganligining L ga bog‘liqlik funksiyasi $E=E(L)$ ni tuzamiz. Bu funksiyaning L o‘zgaruvchi bo‘yicha hosilasi $E'(L)=0$ bo‘lganda o‘zining ekstremal qiymatiga erishadi.

$$E'(L)=\frac{\tau R}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{1\cdot\left(R^2+L^2\right)^{3/2}-L\cdot 3/2\cdot\left(R^2+L^2\right)^{1/2}\cdot 2L}{\left(R^2+L^2\right)^3}=0\,,\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\ \left(R^2+L^2\right)^{3/2}-3L^2\left(R^2+L^2\right)^{1/2}=0,\ \rightarrow\rightarrow\ \ \left(R^2+L^2\right)^{1/2}\cdot\left(R^2+L^2-3L^2\right)=0.$$

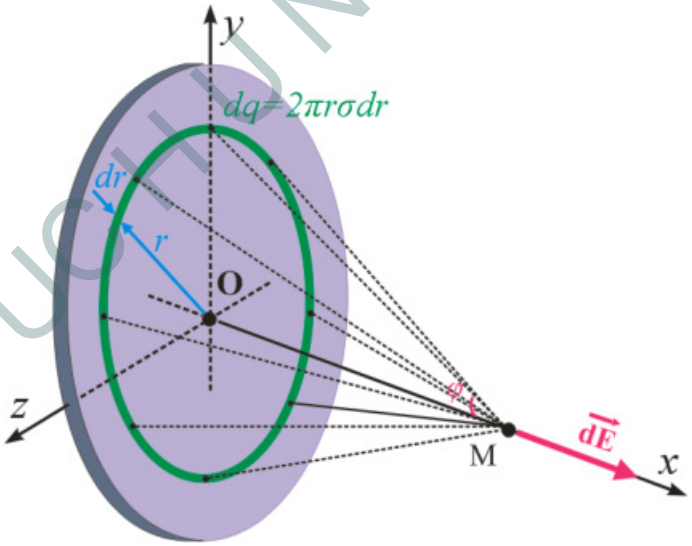
Bunda, $L_0=2R$ da elektr maydon kuchlanganligi o‘zining maksimal

$$E_{\max}=E(\sqrt{2}R)=\frac{\tau R}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{\sqrt{2}R}{\left(R^2+2R^2\right)^{3/2}}=\frac{\sqrt{6}\tau}{18\varepsilon\varepsilon_0 R}=\frac{\sqrt{6}}{9\varepsilon}k\frac{Q}{R^2}$$

qiymatiga erishadi.

Demak, tekis chiziqli zaryadlangan R radiusli xalqaning markazidan xalqa o‘qida hosi bo‘ladigan eng katta kuchlanganlik qiymati E_{max} va bu nuqtadan xalqa markazigacha bo‘lgan masofa L_0 quyidagicha bo‘ladi:

$$E_{\max}=\frac{\sqrt{6}\tau}{18\varepsilon\varepsilon_0 R}=\frac{\sqrt{6}}{9\varepsilon}k\frac{Q}{R^2}\,,\qquad L_0=\sqrt{2}\,R \tag{4.11}$$



4.7-rasm

Tekis zaryadlangan diskning o‘qidagi ixtiyoriy nuqtadagi maydon kuchlanganligini aniqlash formulasini keltirib chiqaraylik. Diskdan dr qalinlikdagi ixtiyoriy $r(r\le R)$ radiusli xalqa ajratamiz. Xalqaning elementar zaryadi $dq=2\pi r\sigma dr$ bo‘lib, xalqa o‘qidan olingan M nuqtadagi elementar maydon kuchlanganligi

$$dE=\frac{k\,dq}{\varepsilon}\cdot\frac{L}{\left(r^2+L^2\right)^{3/2}}=\frac{2\pi r\sigma dr}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{L}{\left(r^2+L^2\right)^{3/2}}=\frac{\sigma L}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{r\,dr}{\left(r^2+L^2\right)^{3/2}}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

ga teng bo‘ladi. Buni *0* dan *R* gacha integrallab diskning berilgan nuqtadagi kuchlanganligini topamiz.

$$E=\int dE=\frac{\sigma L}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\int_0^R\frac{r\,dr}{\left(r^2+L^2\right)^{3/2}}=-\frac{\sigma L}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{\left(r^2+L^2\right)^{1/2}}\Big|_0^R=\frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\left(1-\frac{L}{\sqrt{R^2+L^2}}\right)$$

Demak, *R* radiusli tekis zaryadlangan disk markazidan *L* uzoqlikda yotgan nuqtada elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha bo‘lar ekan (4.7-rasm):

$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(1-\frac{L}{\sqrt{R^2+L^2}}\right) \qquad (4.12)$$

Elektr maydonida elektr zaryadi:

Elektr maydonidagi elektr zaryadi bilan bog‘liq bo‘lgan ba’zi hollarni ko‘rib chiqamiz. Shulardan biri elektr va grvitatsion maydonlarda muallaq holda turgan zaryadli zarra masalasidir (4.8-rasm).

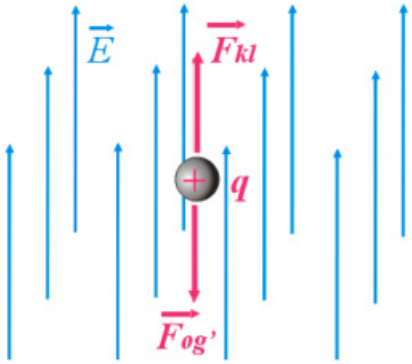
m massali zaryadli tomchi Yer markaziga yo‘nalgan $F_{og'}=mg$ og‘irlik kuchi va tepaga yo‘nalgan elektr maydonining $F_k=qE$ Kulon kuchlari ta’siri ostida tinch turadi. Bu kuchlar miqdor jihatidan teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Bundan

$$F_{og'}=F_K,\ \rightarrow\ mg=qE,\ \rightarrow\ E=\frac{mg}{q}$$

kelib chiqadi.

Demak, elektr maydonida *m* massa va *q* zaryadga ega bo‘lgan tomchi muallaq turgan bo‘lsa, elektr maydon kuchlanganlik qiymati quyidagicha bo‘lar ekan (4.8-rasm).

$$E=\frac{mg}{q} \qquad (4.13)$$



4.8-rasm

Endi ipga osilgan zaryadli sharchani elektr maydoniga kiritilganda vertikaldan qanday burchakka ochilishini aniqlaylik (4.9-rasm). *m* massali ipga osilgan sharchaga Yer markaziga yo‘nalgan $F_{og'}=mg$ og‘irlik kuchi, gorizontal yo‘nalgan elektr maydonining $F_k=qE$ Kulon kuchi hamda ipning *T* taranglik kuchlari ta’siri ostida tinch turadi. Bu kuchlar uchburchagi berk bo‘ladi. To‘g‘ri burchakli uchburchakdan

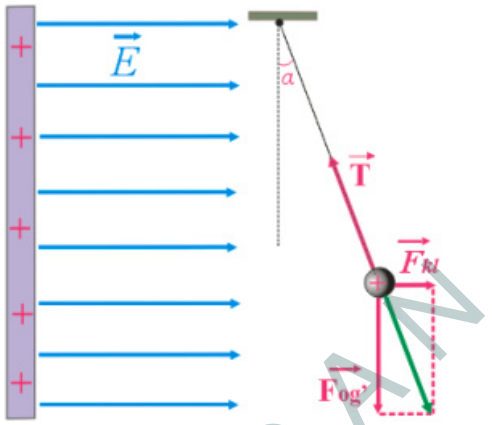
$$tg\alpha=\frac{F_{og'}}{F_{Kl}}=\frac{mg}{qE}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

ekanligini topish mumkin.

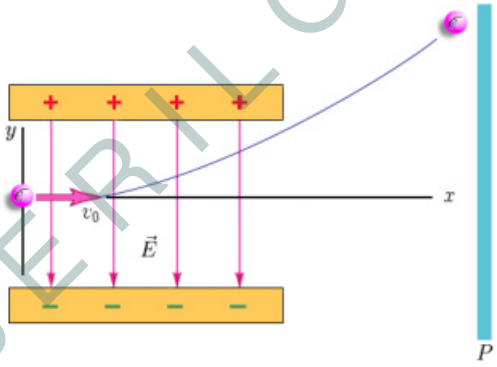
Demak, agar m massali ipga osilgan sharcha gorizontal yo‘nalgan kuchlanganligi E bo‘lgan bir jinsli maydonga kiritilsa, ipning vertikaldan ochilish burchagi α quyidagiga teng bo‘lar ekan (4.9-rasm).

$$tg\alpha = \frac{m g}{q E} \qquad (4.14)$$



4.9-rasm

Endi bir jinsli elektr maydoniga uchib kirgan zaryadli zarra harakatini qaraylik (4.10-rasm). Rasmda parallel plastinalar orasida elektr maydoniga tik ravishda elektron uchib kirgani tasvirlangan. Bunda elektronning harakat tenglamasi va traektoriyasi qanday bo‘lishini tekshiramiz. Elektronga Oy o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan $F_y=eE$ kuch ta’sir etib, unga Oy o‘qi bo‘yicha $a_y = \frac{e E}{m_e}$ tezlanish beradi. Ox o‘qi



4.10-rasm

bo‘yicha esa hech qanday kuch ta’sir etmagani uchun bu o‘q bo‘yicha elektron tekis harakat qiladi. Shunda elektronning koordinata o‘qlaridagi tezlik tenglamalari

$$\begin{cases} \vartheta_x = \vartheta_0 = const \\ \vartheta_y = a_y t = \dfrac{e E}{m_e} t \end{cases} \qquad (4.15)$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Elektronning harakat tenglamalari esa ushbu

$$\begin{cases} x = \vartheta_x t = \vartheta_0 t \\ y = \dfrac{a_y t^2}{2} = \dfrac{e E}{2 m_e} t^2 \end{cases} \qquad (4.16)$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Bundan $t = \frac{x}{\vartheta_0}$ almashtirishni sistemaning 2-tenglamasiga qo‘ysak, elektronning ushbu

$$y = \frac{e E}{2 m_e \vartheta_0^2} x^2 \qquad (4.17)$$

trayektoriya tenglamasi kelib chiqadi. Bu esa bizga matematikadan ma’lum bo‘lgan $y = a x^2$ parabola tenglamasini eslatadi. Demak, 4.10-rasmdagi kabi elektr maydoniga tik holda uchib kirgan zaryadli zarra trayektoriyasi paraboladan iborat bo‘lar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar 4.10-rasmda parallel plastinkalar uzunligini ℓ ga teng desak, u holda elektron plastinkalar orasidan chiqquncha Oy o‘qi bo‘yicha

$$\Delta y = \frac{e\,E}{2\,m_e \vartheta_0^2}\ell^2 \qquad \textbf{(4.18)}$$

masofaga siljiydi.

Ikkita zaryad maydoni uchun xususiy hollar:

Agar q_1 va q_2 zaryadlar bir xil ishorali bulsa, bu zaryadlarni tutashtiruvchi chiziqda va zaryadlar orasida shunday nuqta mavjudki, shu nuqtadagi natijaviy maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘ladi. Bu nuqta moduli katta zaryaddan uzoqda va moduli kichik zaryadga yaqin joylashgan bo‘ladi. Ana shu nuqtaning zaryadlardan uzoqliklarini aniqlaylik. Natijaviy maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lgan nuqtada har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganliklari miqdor jihatidan teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi, ya’ni

$$\begin{cases} \dot{E}_2 = -\dot{E}_1 \\ E_2 = E_1 \end{cases}$$

bo‘ladi. Bundan esa

$$k\frac{|q_1|}{x_1^2} = k\frac{|q_2|}{x_2^2},\ \rightarrow\ x_2 = \frac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|}}\cdot x_1,\ \rightarrow\ r - x_1 = \frac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|}}\cdot x_1,\ \rightarrow\ x_1 = \frac{\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|}+\sqrt{|q_2|}}\cdot r$$

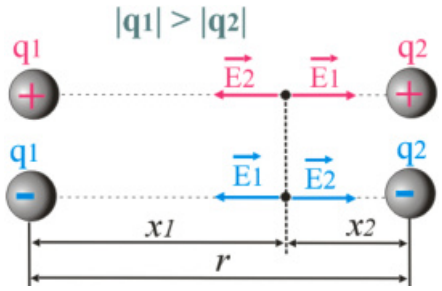
hamda

$$x_2 = r - x_1 = \frac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|}+\sqrt{|q_2|}}\cdot r$$

ekanligi kelib chiqadi.

Shunday qilib, natijaviy maydon kuchlanganligi nol bo‘ladigan nuqtanig 1-zaryaddan uzoqligi x_1 va 2-zaryaddan uzoqligi x_2 quyidagicha bo‘lar ekan (r-zaryadlar orasidagi masofa) (4.11-rasm):

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|}+\sqrt{|q_2|}}\,r \\ x_2 = \dfrac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|}+\sqrt{|q_2|}}\,r \end{cases} \qquad \textbf{(4.19)}$$



4.11-rasm

Agar q_1 va q_2 zaryadlar xar xil ishorali bo‘lsa, bu zaryadlarni tutashtiruvchi chiziqda va zaryadlar tashqarisida shunday nuqta mavjudki, shu nuqtadagi natijaviy maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘ladi. Bu nuqta moduli katta zaryaddan uzoqda va moduli kichik zaryadga yaqin joylashgan bo‘ladi. Ana shu nuqtaning zaryadlardan uzoqliklarini aniqlaylik. Natijaviy maydon kuchlanganligi

SINOV UCHUN BERILGAN

nolga teng bo‘lgan nuqtada har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganliklari miqdor jihatidan teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi, ya’ni

$$\begin{cases} \bar{E}_2 = -\bar{E}_1 \\ E_2 = E_1 \end{cases}$$

bo‘ladi. Bundan

$$k\frac{|q_1|}{y_1^2} = k\frac{|q_2|}{y_2^2}, \rightarrow y_2 = \frac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|}} \cdot y_1, \rightarrow y_1 - r = \frac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|}} \cdot y_1, \rightarrow y_1 = \frac{\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|} - \sqrt{|q_2|}} \cdot r$$

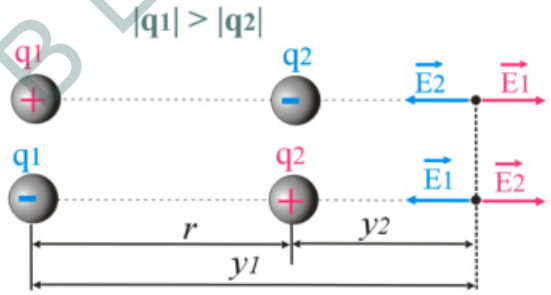
va

$$y_2 = y_1 - r = \frac{\sqrt{|q_2|}}{\sqrt{|q_1|} - \sqrt{|q_2|}} \cdot r$$

ekanligi kelib chiqadi.

Shunday qilib, natijaviy maydon kuchlanganligi nol bo‘ladigan nuqtanig 1-zaryaddan uzoqligi y_1 va 2-zaryaddan uzoqligi y_2 quyidagicha bo‘lar ekan (r-zaryadlar orasidagi masofa) (4.12-rasm):

$$\begin{cases} y_1 = \dfrac{\sqrt{|q_1|}}{\left|\sqrt{|q_1|} - \sqrt{|q_2|}\right|} r \\ y_2 = \dfrac{\sqrt{|q_2|}}{\left|\sqrt{|q_1|} - \sqrt{|q_2|}\right|} r \end{cases} \quad (4.20)$$



4.12-rasm

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *O‘tkazgich shar va sfera ichida elektr maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lishini isbotlang.*
2. *Cheksiz uzun zaryadlangan ipning elektr maydon kuchlanganligi formulasini yozing.Iloji bo‘lsa formulani keltirib chiqaring.*
3. *Cheksiz uzun zaryadlangan plastinaning elektr maydon kuchlanganligi formulasini yozing. Iloji bo‘lsa formulani keltirib chiqaring.*
4. *Qarama-qarshi ishoralar bilan zaryadlangan cheksiz parallel plastinalarning orasidagi elektr maydon kuchlanganligi formulasini yozing. Iloji bo‘lsa formulani keltirib chiqaring.*
5. *Zaryadlangan xalqaning elektr maydon kuchlanganligi formulasini yozing.Iloji bo‘lsa formulani keltirib chiqaring.*
6. *Zaryadlangan dikning elektr maydon kuchlanganligi formulasini yozing.Iloji bo‘lsa formulani keltirib chiqaring.*
7. *Zaryadli zarraning elektr va gravitatsion maydonida muallaq turish shartini yozing.*
8. *Ipga osilgan sharcha elektr maydoniga kiritilganda ipning vertikaldan ochilish burchagini aniqlang.*

SINOV UCHUN BERILGAN

9. *Bir jinsli elektr maydoniga tik holda uchib kirgan zaryadli zarraning tezlik, harakat va trayektoriya tenglamalarini yozing. Zaryadli zarraning traektoriyasi qanday?*

Masala yechish:

1. *Bir jinsli gorizontal elektr maydonda massasi 10 g, zaryadi 200 nC bo'lgan sharcha ipga osib qo'yilgan. Ip vertikal bilan 45° burchak tashkil etadi. Elektr maydon kuchlanganligini toping (V/m).*

A) $5\cdot10^3$ B) 10^5 C) $5\cdot10^4$ D) $5\cdot10^5$

Berilgan:

$m = 10^{-2}\,kg$

$q = 2\cdot10^{-7}\,C$

$\alpha = 45^{\circ}$

$E = ?$

Yechilishi:

Kulon qonunini o'rganish mavzusida ko'rganimizdek:

$$tg\alpha = \frac{F_k}{mg} = \frac{Eq}{mg}, \quad \rightarrow \quad E = \frac{mg\cdot tg\alpha}{q}$$

$$E = \frac{mg\cdot tg\alpha}{q} = \frac{10^{-2}\cdot 10}{2\cdot10^{-7}} = 5\cdot10^5\,V/m$$

Javob: *D) $5\cdot10^5$.*

2. *Radiusi 1 m vazaryadi 2 nC bo'lgan sfera dielektrik singdiruvchanligi 2 ga teng bo'lgan muhitda joylashgan. Sfera sirtidan 1 m uzoqlikdagi nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi qanday (V/m).*

Berilgan:

$r = 1m$

$\varepsilon = 2$

$q = 2\cdot10^{-9}\,C$

$l = 1m$

$E = ?$

Yechilishi:

Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$E = k\frac{q}{\varepsilon(r+l)^2}$$

$$E = \frac{9\cdot10^9\cdot2\cdot10^{-9}}{2(1+1)^2} = 2,25V/m$$

Javob: *2,25.*

§ 5. ELEKTR MAYDONIGA KIRITILGAN O'TKAZGICH VA DIELEKTRIK.

Biz yuqorida elektr maydoning zaryadlarga ta'sirini o'rgandik. Endi esa elektr maydoniga o'tkazgich va dielektrik kiritilganda qanday hodisa ro'y berishini alohida-alohida qarab chiqamiz.

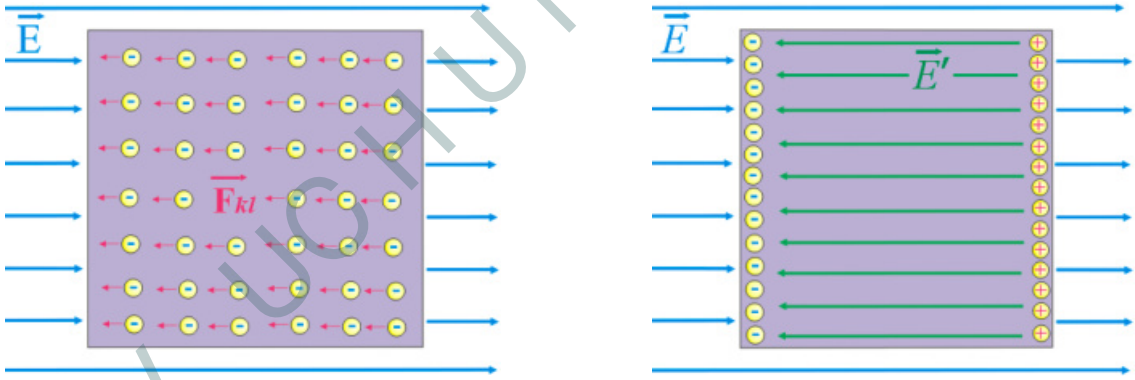
Elektr maydoniga kiritilgan o'tkazgich:

O'tkazgich deb elektr tokini yaxshi o'tkazish xususiyatiga ega bo'lgan moddalarga aytiladi. O'tkazgichlarni tashkil qilgan molekula va atomlarning eng tashqi qavatida joylashgan elektronlar yadroga juda zaif bog'langan bo'lib, bu elektronlar deyarli ozgina tashqi ta'sir (issiqlik, yorug'lik, elektr toki va h.) tufayli

SINOV UCHUN BERILGAN

ham erkin elektronga aylanib ketadi va butun molekula va atomlar orasidagi bo‘shliqda butun kristal hajmi bo‘yicha erkin daydib yuradi. Odatdagi sharoitda barcha metallar (mis, alyuminiy, volfram, temir, xrom va b.) o‘tkazgichlar hisoblanadi. O‘tkazgichlarda zaryad jismning bir joyidan boshqa joyiga hech bir qiyinchiliksiz erkin ko‘cha oladi. Buning sababi zaryadni eltuvchi erkin elektronlarning mavjudligidir. Hajm birligidagi erkin elektronlar soniga ***erkin elektronlar konsentratsiyasi*** deyiladi. O‘tkazgichlarda erkin elektronlar konsentratsiyasi $n = 10^{25} - 10^{29}\, m^{-3}$ oralig‘ida bo‘ladi.

Elektr maydoniga metall plastina kiritaylik (5.1-a,rasm). Tashqi elektr maydoni o‘tkazgich ichidagi bog‘langan va erkin zaryadlarning barchasiga ta’sir etadi. Bog‘langan zaryadlar (elektronini yo‘qotib musbat ionga aylangan atom) kristall panjarasi tugunlarida mustahkam yacheykalar hosil qilib turgani bois, elektr maydon ta’sirida bu zaryadlar qo‘zg‘ala olmaydi (rasmda bog‘langan zaryadlar tasvirlanmagan). Erkin zaryadlar esa tashqi elektr maydoni ta’sirida o‘tkazgichning bir joyidan boshqa joyiga erkin ko‘cha oladi. Rasmda elektronlar kuchlanganlik chiziqlariga qarama-qarshi harakatlanib chap tomonga harakatlanishi ko‘rsatilgan. O‘tkazgich plastinaning chap tomonida ortiqcha elektronlar yig‘ilib manfiy zaryadlanib qolishi, o‘ng tomonida esa elektronlar yetishmovchiligi paydo bo‘lib musbat zaryadlanib qolishi tasvirlangan (5.1-b,rasm).



a) *b)*

5.1-rasm

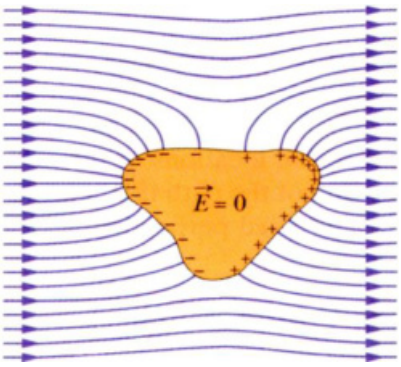
Elektr maydoniga kiritilgan o‘tkazgich ichida elektr zaryadlari ajralib, o‘tkazgichning qarama-qarshi tomoniga to‘planish hodisasi elektrostatik induksiya hodisasi deyiladi.

Tashqi elektr maydon qanchalik kuchli bo‘lsa, elektrostatik induksiya hodisasi ham shunchalik kuchli seziladi, ya’ni qarama-qarshi tomonlarga shuncha ko‘p miqdordagi zaryadlar to‘planadi. Elektrostatik induksiya hodisasi natijasida tashqi maydondan tashqari o‘tkazgich ichida ikkilamchi E' maydon bo‘ladi (5.1b-rasm). Hisoblarning ko‘rsatishicha E' maydon E maydonga miqdor jihatidan teng va qarma-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi, ya’ni $\begin{cases} \vec{E}' = -\vec{E} \\ E' = E \end{cases}$ bo‘ladi. Shuning uchun, elektr

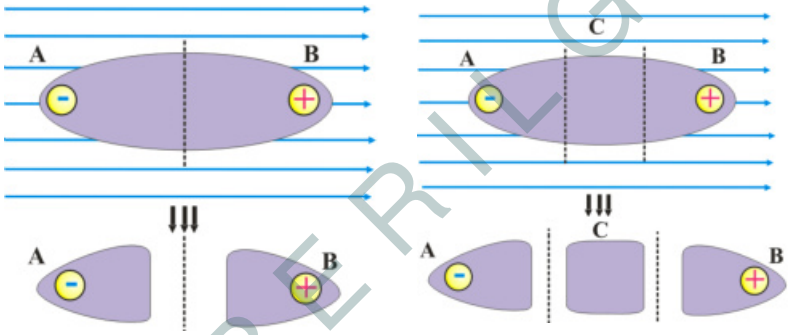
SINOV UCHUN BERILGAN

maydonga kiritilgan o‘tkazgich ichida natijaviy maydon $\vec{E}_{nat} = \vec{E} + \vec{E}' = \vec{E} - \vec{E} = 0$ bo‘ladi. Boshqacha aytganda, elektr maydoni o‘tkazgich ichiga kirmaydi (5.2-*rasm*)

Elektrostatik induksiya hodisasidan foydalanib, maydonga kiritilgan o‘tkazgichni ikkiga bo‘lib, miqdor jihatidan teng va qarama-qarshi ishorali zaryadlar olish mumkin (55.3-a,rasm). Elektr maydonga kiritilgan o‘tkazgichni uch va undan ko‘p bo‘laklarga bo‘lganda faqat ikkita chetki bo‘laklarda miqdor jihatidan teng va qarama-qarshi ishorali zaryadlar olish mumkin, o‘rta qismlar esa neytralligicha qolaveradi (5.3-b,rasm).

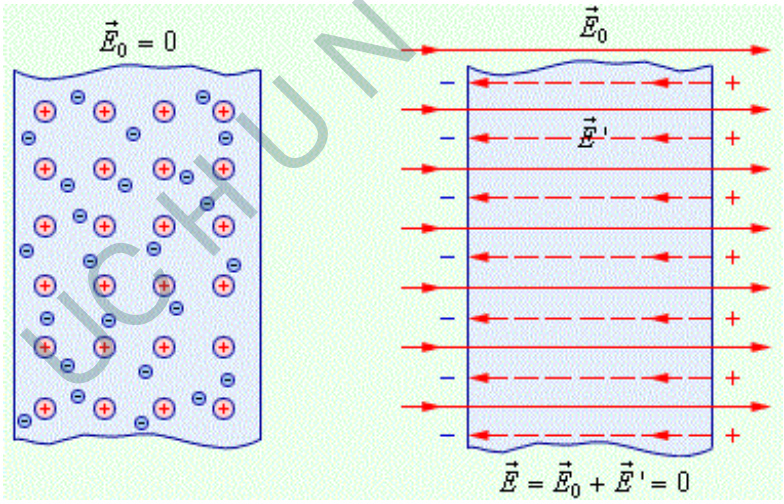


55.2-rasm



a) *b)*

5.3-rasm

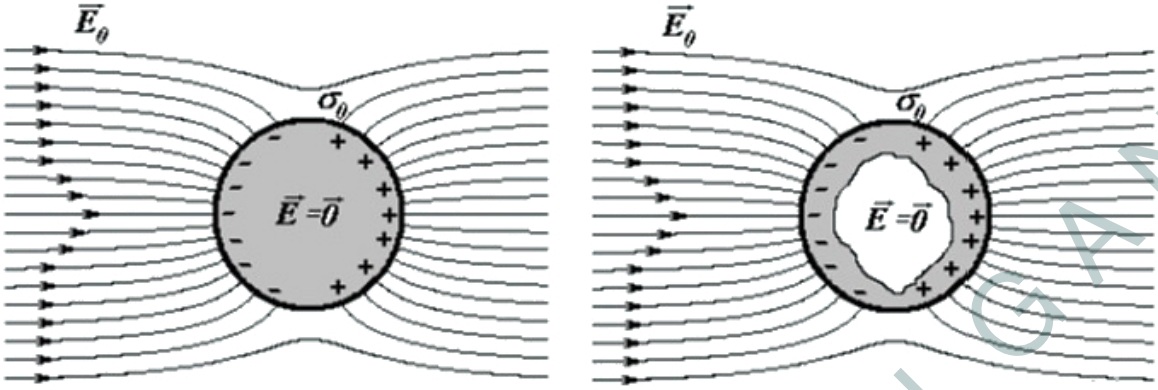


5.4-rasm

O‘tkazgichdagi elektr maydonni tashqi elektr maydoniga kiritilmagan va kiritilgan hollar uchun 5.4-rasmdagi kabi tasvirlash mumkin. O‘tkazgich ichida natijaviy maydon nol bo‘lgani bilan, lekin bu o‘tkazgichning tashqi yaqin atrofida elektr maydon xususiyatlari o‘zgarib ketadi. Tashqi bir jinsli elektr maydoni o‘tkazgichning tashqi yaqin atrofida bir jinliligini yo‘qotadi. Boshqacha aytganda o‘tkazgich garchi zaryadsiz bo‘lsa-da, elektrostatik induksiya hodisasi tufayli tashqi elektr maydoni deformatsiyalanadi. 5.2-rasmda anan shu holat ixtiyoriy shakldagi o‘tkazgich uchun yaqqol tasvirlangan. 5.3-rasmda bir jisnli elektr maydoniga kiritilgan yaxlit o‘tkazgich shar va ichi g‘ovak o‘tkazgich shar kiritilgan bo‘lib, ularda elektrostatik induksiya hodisasi birday kuzatilishi

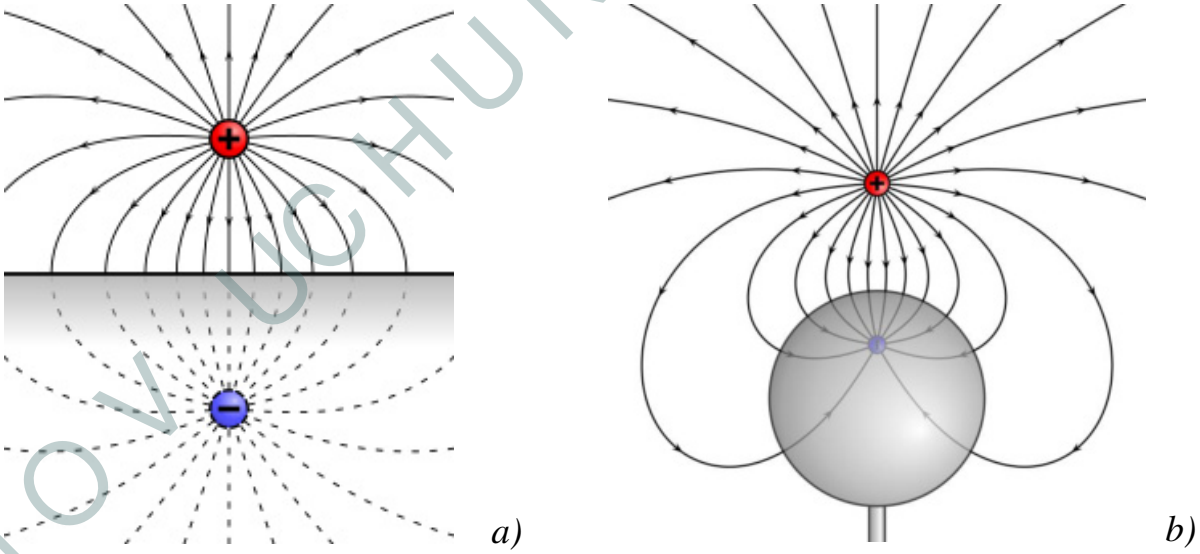
SINOV UCHUN BERILGAN

tasivrlangan. Boshqacha aytganda, ikkala o‘tkazgich ham tashqi elektr maydonini birday deformatsiyalar ekan. Har ikkala holda ham o‘tkazgich ichida elektr maydoni mavjud bo‘lmaydi.



5.5-rasm

Endi nuqtaviy zaryadning elektr maydoniga kiritilgan o‘tkazgichlarda nima hodisa ro‘y berishini tekshirib ko‘raylik. 5.6-a,rasmda nuqtaviy zaryad va uning yaqinida zaryadsiz o‘tkazgich tekislik hosil qilgan elektr maydon tasvirlangan. Bunda xuddi tekislik ichida simmetrik holda xuddi shunday miqdordagi, lekin qarama-qarshi ishorali zaryad turgandagi kabi maydon hosil bo‘lgan. 5.6-b,rasmda esa shu zaryadsiz tekislik erga ulangan zaryadsiz shar bilan almashtirilgandagi elektr maydon tasvirlangan.

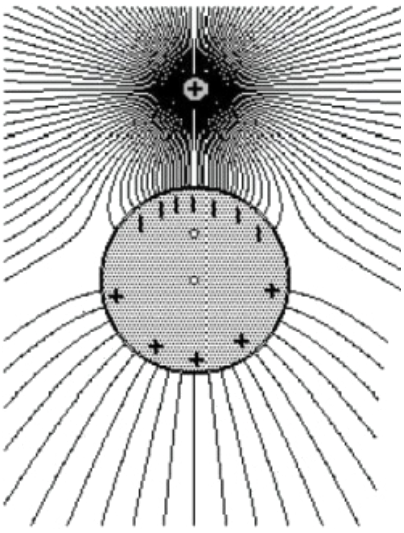


a) *b)*

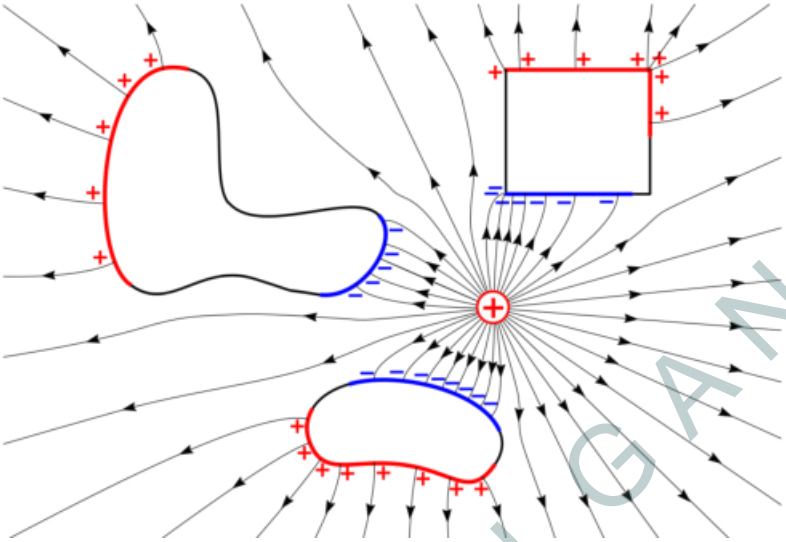
5.6-rasm

5.7-rasmda 5.6-b,rasmdagi o‘tkazgich shar yerga ulanmagan holda elektr maydon tasvirlangan. 5.8-rasmda esa nuqtaviy zaryadning elektr maydoniga kiritilgan ixtiyoriy shakldagi o‘tkazgichlardagi elektrostatik induksiya hodisasi hamda bu o‘tkazgichlarning yaqin atrofidagi elektr maydonining deformatsiyalanishi tasvirlangan.

SINOV UCHUN BERILGAN



55.7-rasm



55.8-rasm

Yuqoridagi barcha rasmlardan quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

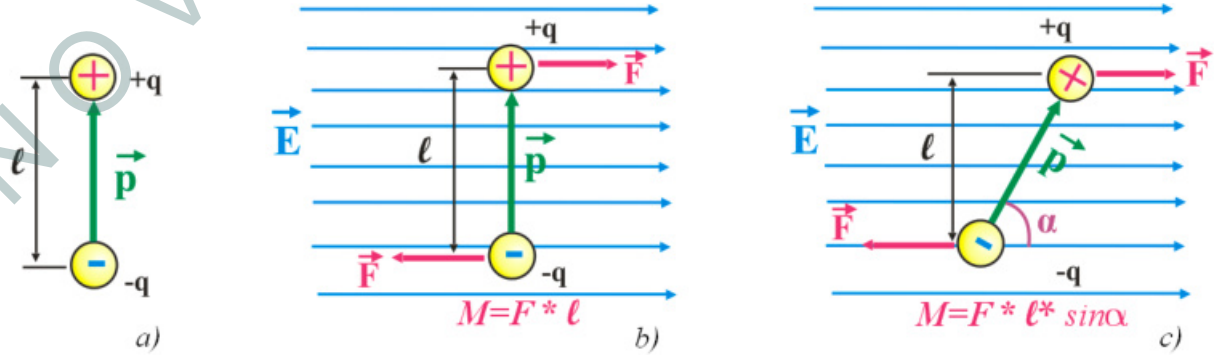
- har qanday holatda ham o‘tkazgich ichiga tashqi maydon kirmaydi, ya’ni o‘tkazgich elektr maydonini tashqariga siqib chiqaradi;
- har qanday holatda ham elektr madoni o‘tkazgich sirtidan boshlanadi yoki shu sirtda tugaydi;
- har qanday holatda ham elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari o‘tkazgichga tik holda bo‘ladi.

Elektrik dipol:

Bir-biridan biror ℓ masofada joylashgan hamda $+q$ va $-q$ zaryadlarga ega bo‘lgan zaryadlar sistemasiga ***elektrik dipol*** deyiladi. Dipol zaryadining zaryadlar orasidagi masofaga ko‘paytmasiga teng bo‘lgan vektor kattalikka ***dipolning elektr momenti*** deyiladi.

$$\vec{p}_e = q \cdot \vec{\ell} \qquad (5.1)$$

Elektr momentining o‘lchov birligi $[C \cdot m]$. Manfiy zaryaddan musbat zaryadga yo‘nalgan yo‘nalishni elektr moment yo‘nalishi qilib qabul qilingan (5.9-rasm).



5.9-rasm

Elektrik dipolni tashqi elektr maydonga kiritilganda dipolni uning og‘irlik markazi atrofida burishga intiladigan juft kuch momenti paydo bo‘ladi. Bu juft kuch momenti qiymati elektr moment yo‘nalishi tashqi elektr maydon yo‘nalishiga

SINOV UCHUN BERILGAN

tik bo‘lganda eng katta bo‘lib, ular parallel bo‘lganda esa nolga teng bo‘ladi. Umumiy holda burovchi moment qiymati quyidagicha bo‘ladi (5.9-rasm):

$$M = F \cdot d = qE\ell \sin\varphi = p_e E \sin\varphi \qquad (5.2)$$

Bu yerda: φ – elektr maydon kuchlanganligi va elektr momenti vektorlari orasidagi burchak.

Elektr dipolga elektr maydon tomonidan ta’sir etuvchi burovchi moent vektori quyidagicha bo‘ladi:

$$\vec{M} = \vec{p}_e \times \vec{E} \qquad (5.3)$$

Tashqi elektr maydoni dipolni o‘z yo‘nalishigacha burishda ish bajaradi. Elektr maydon yo‘nalishiga tik turgan dipolni o‘z yo‘nalishigacha burishda maydon bajaradigan ishi

$$A = \int_0^{\varphi} M(\varphi)\, d\varphi = \int_0^{\pi/2} pE\sin\varphi\, d\varphi = -pE\cos\varphi\,|_0^{\pi/2} = pE$$

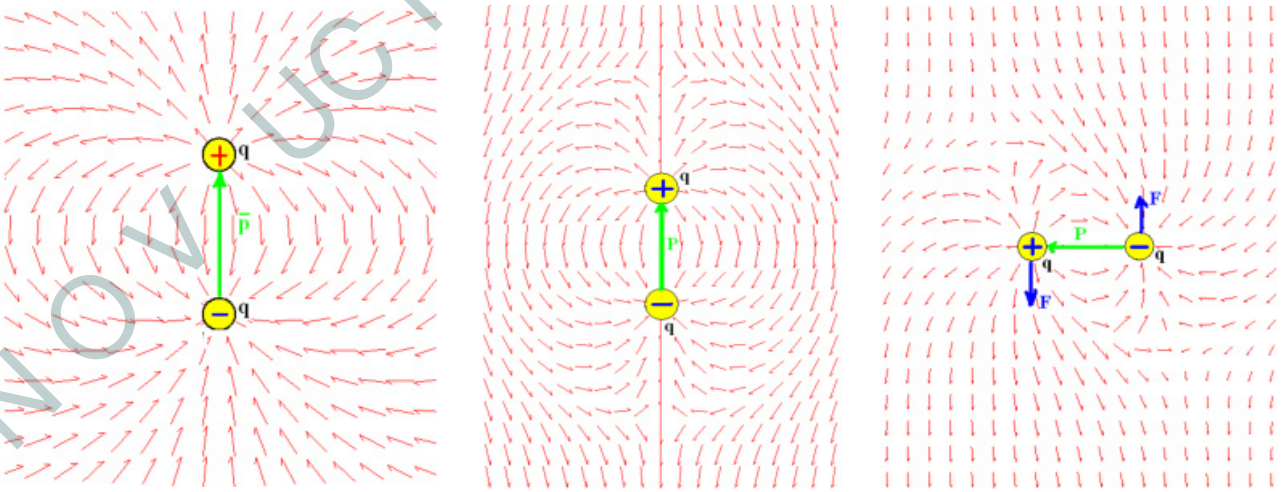
Demak, bajarilgan ish quyidagicha bo‘lar ekan:

$$A = p\ E \qquad (5.4)$$

Elektr dipol elektr maydoni bilan o‘zaro ta’sirlashgani uchun bu ta’sir energiyaga, ya’ni potensial energiyaga ega bo‘ladi. Elektr maydonidagi elektrik dipolning potensial energiyasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$W_p = -pE\cos\alpha \qquad (5.5)$$

Quyidagi 5.10-rasmda elektrik dipolning maydoni va bu dipol tashqi elektr maydoniga kiritilganda hosil bo‘lgan maydon tasvirlangan.

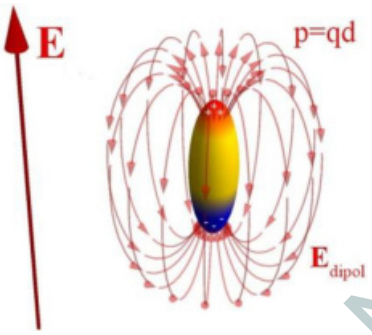


a) *b)* *c)*

5.10-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

5.11-rasmda esa tashqi elektr maydoniga kiritilgan elektr dipoli elektr maydonining fazoviy tasviri berilgan.

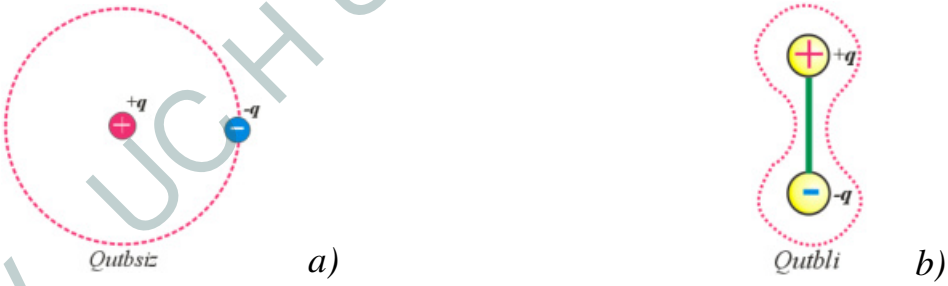


5.11-rasm

Elektr dipollarini va uning elektr maydoni bilan ta'sirini o'rganish juda muhim hisoblanib, ayniqsa dielektriklar va ularning xossalarini o'rganishda uning ahamiyati benihoya kattadir.

Elektr maydoniga kiritilgan dielektrik:

Dielektriklar deb, tok o'tkazish xossasi juda past yoki umuman o'tkazmaydigan moddalarga aytiladi. Dielektriklarni tashkil qilgan molekula va atomlarning eng tashqi qavatida joylashgan elektronlar ham yadroga ancha mustahkam bog'langan bo'lib, bu elektronlar juda kuchli tashqi ta'sir (issiqlik, yorug'lik, elektr toki va h.) bo'lmasa, deyarli umuman yadroni tark etib erkin elektronga aylana olmaydi. Dielektriklarga odatdagi sharoitda barcha gazlar, suv, shisha, turli plastmassa va rezinalar kiradi. Dielektriklarda zaryad jismning qayerida hosil qilinsa, bu zaryad o'sha joyda turaveradi va jismning boshqa joyiga ko'chmaydi. Buning sababi zaryadni eltuvchi erkin elektronlarning yoki boshqa zaryad tashuvchilarning yo'qligidir. Dielektriklarda erkin elektronlar konsentratsiyasi $n = 10^{11} - 10^{21}\, m^{-3}$ oralig'ida bo'ladi va shuning uchun ham dielektriklarning o'tkazuvchanligi deyarli umuman sezilmaydi.



5.12-rasm

Dielektriklarning 2 turi bor: 1) qubsiz dielektriklar; 2) qubli dielektriklar.

Ularning har biriga alohida-alohida to'xtalib o'tamiz.

1) qubsiz dielektriklar.

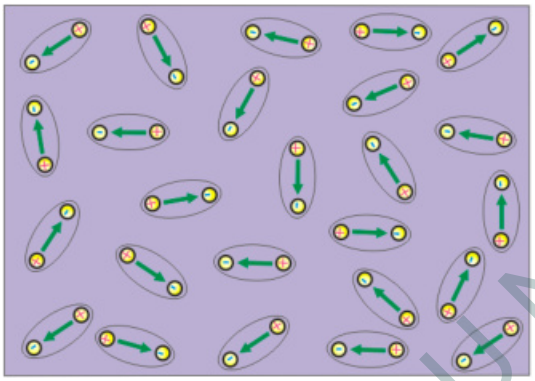
Musbat va manfiy zaryadlarining markazlari ustma-ust tushadigan atom va molekulalardan tashkil topgan dielektrikka ***qutbsiz dielektrik*** deyiladi (5.12-a,rasm). Elektr maydoni ta'sir etmaganda qutbsiz dielektriklarning molekula va atomlaridagi musbat va manfiy zaryadlari ustma-ust tushadi. Lekin, bu dielektrik elektr maydoniga kiritilganda uning atom va molekulalaridagi zaryadlarida maydon bo'ylab siljish ro'y beradi. Manfiy zaryadlar maydon bo'ylab, mubat zaryadlar esa maydonga qarama-qarshi yo'nalishda ozgina siljiydi. Natijada molekula va atomlarning musbat va manfiy zaryadlari orasida yelka paydo bo'ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

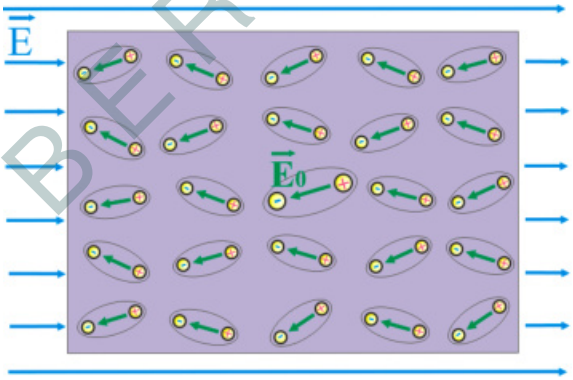
Bu esa qutblar paydo bo‘lishiga olib keladi. Boshqacha aytganda tashqi elektr maydoni atom va moleklalar elektron qobiqlarini deformatsiyalaydi. Bunday yo‘l bilan paydo bo‘ladigan qutblanishni ***deformatsion qutblanish*** deyiladi. Qutblanish natijasida kichkina elektrik dipol paydo bo‘ladi. Bu elektrik dipolning elektr maydoni tashqi elektr maydoniga qarama-qarshi yo‘naladi. Shuning uchun, qutbsiz molekula va atomlardan tashkil topgan dielektriklar elektr maydoniga kiritilganda tashqi elektr maydonni juda oz bo‘lsa-da susaytiradi. Buni odatda sezish qiyin bo‘lib, maxsus asboblar yordamida sezish mumkin.

2) qubli dielektriklar.

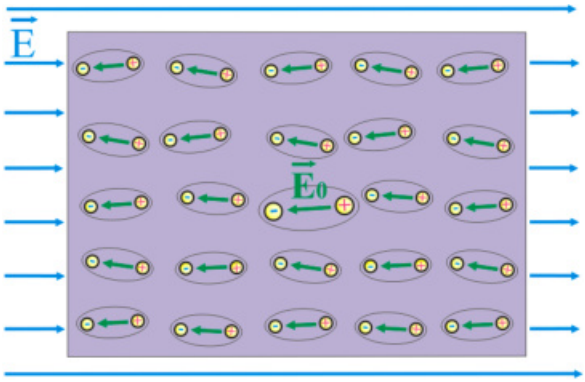
Musbat va manfiy zaryadlarining markazlari ustma-ust tushmaydigan atom va molekulalardan tashkil topgan dielektrikka ***qutbli dielektrik*** deyiladi (5.12-b,rasm). Qutbli dielektriklarning molekula va atomlari tabiiy ravishda elektrik dipollarni tashkil etadi.



a)



b)



c)

5.13-rasm

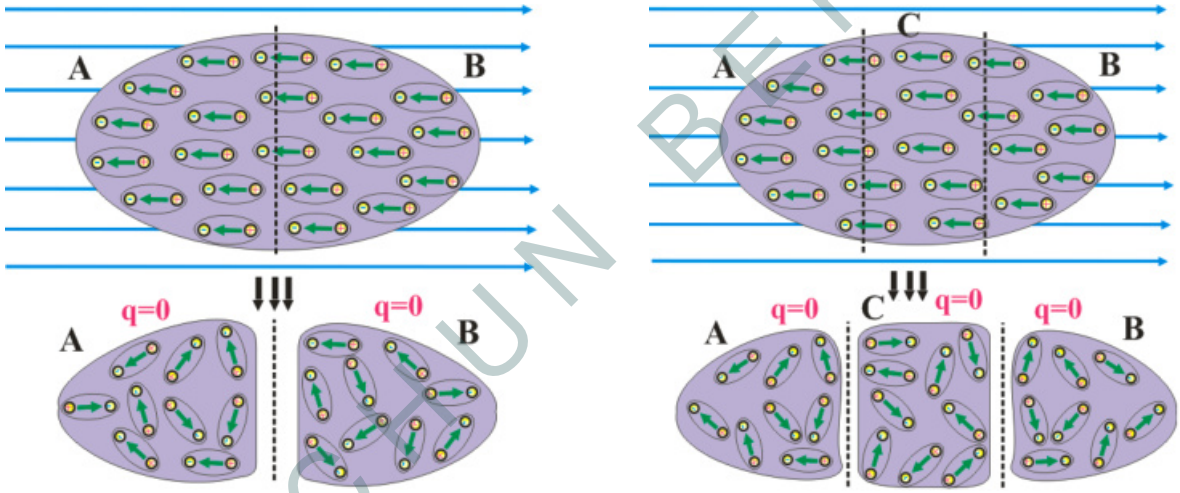
Qutbli dielektriklar elektr maydoniga kiritilganda uning tabiiy dipol atom va molekulalari o‘z og‘irlik markazi atrofida burilib, maydon bo‘ylab tizilib qolishga intiladi. Lekin, elektr maydon ta’sirida dipollar bir joydan boshqa joyga ko‘chmaydi. Boshqacha aytganda, elektr maydon dipolga aylanma harakat beradi-yu, lekin ilgarilanma harakat bera olmaydi. Bunda har bir molekula yoki atomning oriyentatsiyasi o‘zgaradi. Shuning uchun ham bunday qutblanishni ***oriyentatsion qutblanish*** deyiladi. Molekulalar issiqlik harakatida ham ishtirok etgani bois, qutbli dielektriklar elektr maydoniga kiritilganda tashqi elektr maydon yo‘nalishi atrofida tebranma harakat qiladi. Tashqi maydon qanchalik kuchli bo‘lsa, qutbli molekulalar shunchalik maydon yo‘nalishi bo‘ylab tartibli joylashishga intiladi. Bunda har bir dipol tashqi elektr maydoniga qarama-qarshi yo‘nalgan ikkilamchi $\dot{E}_0$ maydonchalar hosil qiladi. Tashqi elektr maydon

SINOV UCHUN BERILGAN

kuchaygan sari $\dot{E}_0$ maydonchalar ham proporsional ravishda kuchayadi (5.13-a,b,c-rasmlar). Har bir qutbli molekula hosil qilgan $\dot{E}_0$ maydonchalar geometrik qo‘shilib tashqi maydonni ε marta susayishiga sabab bo‘ladi. Demak, dielektrik ichida natijaviy elektr maydon kuchlanganligi tashqi maydon kuchlanganligidan ε marta kichik bo‘lar ekan.

$$E_{muhit} = \frac{E_{vakuum}}{\varepsilon} \qquad (5.6)$$

Qutbsiz dielektriklar tashqi elektr maydonini qutbli molekulalari kabi susaytira olmaydilar. Chunki, dipollarning elektr momentlari qutbli molekulalarda ancha katta bo‘ladi. Shuning uchun ham dielektrik singdiruvchanlik qiymatlari ham qutbli dielektriklarda qutbsiz dielektriklardagiga qaraganda ancha katta bo‘ladi. Qutbli dilektriklar ichida suv molekulasining elektr momenti eng katta bo‘lib, suv uchun dielektrik singdiruvchanlik qiymati $\varepsilon=81$ ga tengdir.



a) *b)*

5.14-rasm

Elektr maydoniga kiritilgan dielektriklarni ikki, uch, ... bo‘laklarga bo‘lib, so‘ngra maydondan tashqariga olib chiqilsa, barcha bo‘laklar elektroneytral bo‘lib qoladi (5.14-a,b rasmlar). Chunki, dielektriklarda faqatgina qutblanish hodiasasi (dipol molekulaning og‘irlik markazi atrofida burilib maydon bo‘ylab tizilib qolishi) kuzatilib, o‘tkazgichlardagi kabi zaryadlar ko‘chkisi kuzatilmaydi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *O‘tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda erkin elektronlar konsentratsiyasi qanday?*
2. *Elektrostatik induksiya hodisasi nima? O‘tkazgich ichidagi elektr maydoni haqida nima deyish mumkin?*
3. *Elektr maydoniga kiritilgan o‘tkazgichlarning tashqi sirtiga yaqin joyda nima kuzatiladi?*
4. *Delektriklar deb nimaga aytiladi? Ularda erkin elektronlar konsentratsiyasi qanday? Dielektriklarning qanday turlari bor?*

SINOV UCHUN BERILGAN

5. *Orientatsion va deformatsion qutblanishlar nima?*
6. *Dielektrik singdiruvchanlik nima? Dielektrik singdiruvchanlikning qiymati qutbli va qutbsiz dielektriklar uchun qanday?*

Masala yechish:

1. *Kuchkanganlgi E_0=600 V/m bo'lgan elektr maydoni singdiruvchanligi ε=3 bo'lgan dielektrk muhitga kirganida qielektrikning qutblanishi tufayli qanday miqdordagi maydon tashqi maydonga qarama-qarshi yo'naladi?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
E_0=600 V/m ε=3	*Dielektrik muhitgan kirganida elektr maydoni ε marta susayishini bilamiz.*
$\Delta P = ?$	$E = \frac{E_0}{\varepsilon} = \frac{600V/m}{3} = 200V/m$

Demak, dielektrikning qurtblanish hodisasi tufayli vakuumldagi va muhitdagi kuchlanganliklar farqiga teng bo'lgan maydon muhit ichida tashqi maydonga qarama-qarshi yo'naladi.

$$E' = E_0 - E = 600\frac{V}{m} - 200\frac{V}{m} = 400\frac{V}{m}$$

Javob: $E' = 400\ V/m$

§ 6. ELEKTR MAYDON POTENSIALI. NUQTAVIY ZARYADNI KO'CHIRISHDA BAJARILGAN ISH. POTENSIAL ENERGIYA.

Biz avvalgi mavzularda elektr maydonni kuch jihatidan xarakterlaydigan elektr maydon kuchlanganligi tushunchasini kiritgan edik. Lekin, elektr maydonni energetik jihatidan ham xarakterlaydigan shunday kattalik borki, bu maydon potensialidir. Ushbu mavzuda elektr maydon potensiali hamda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish xususida so'z yuritamiz.

Elektr maydon potensiali:

Elektr maydonini Q zaryad hosil qilayotgan bo'lsin va bu maydonning turli nuqtalariga q_1, q_2, q_3, ..., q_n sinov zaryadlarini kiritaylik. Bu nuqtalarda sinov zaryadlarining potensial energiyalari mos holda W_1, W_2, W_3, ..., W_n bo'lsin *(6.1-rasm)*.

$$W_1 = k\frac{Qq_1}{\varepsilon r_1},\quad W_2 = k\frac{Qq_2}{\varepsilon r_2},\quad W_3 = k\frac{Qq_3}{\varepsilon r_3},\ .....,\ W_n = k\frac{Qq_n}{\varepsilon r_n}$$

Bu energiyalarni kiritilgan sinov zaryadlariga bo'linsa, sinov zaryadining katta-kichikligiga bog'liq bo'lmagan kattalik hosil bo'lar ekan, ya'ni quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{W_1}{q_1} = k\frac{Q}{\varepsilon r_1},\quad \frac{W_2}{q_2} = k\frac{Q}{\varepsilon r_2},\quad \frac{W_3}{q_3} = k\frac{Q}{\varepsilon r_3},\ .....,\ \frac{W_n}{q_n} = k\frac{Q}{\varepsilon r_n}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Alessandro Juzeppe Anastasio Jerolamo Umberto Volta 1745-yil 18 fevralda Italiyaning Komo shaharchasida dunyoga kelgan. U fizik, ximik va fiziolog bo'lishidan tashqari elektrni o'rgangan asoschilardan biri hamdir. U 1792–1794-yillar davomida turli hayvonlarda elektr toki bilan tajribalar o'tkazgan va yopiq konturda tok hosil bo'lishini kashf etgan. Volta 1800-yili kislotaga mis va rux plastinalarni qo'ydi va dunyoda birinchi bo'lib ximiyaviy yo'l bilan o'zgarmas tok manbaini hosil qildi. Bu tok manbasi hozirgi zamonaviy batareyalarning ajdodi hisoblanadi. U boshqa bir qator elektr asboblari, jumladan elektrofor, elektrometr, kondensator, elektroskop kabi asboblarning ixtirochisi sifatida ham ma'lum. Volta ikkita turli metallar orasidagi kontak potensiallar farqini ham o'lchagan. U ximiya sohasida ham ish olib borib 1776-yili yonuvchi metan gazini ixtiro qilgan. Hozirda potensial, kuchlani va EYUKning o'lchov birligi uning nomi bilan Volt deb ataladi. Volta 1827-yil 5-martda o'zi tug'ilgan Komo shahrida olamdan o'tiadi.



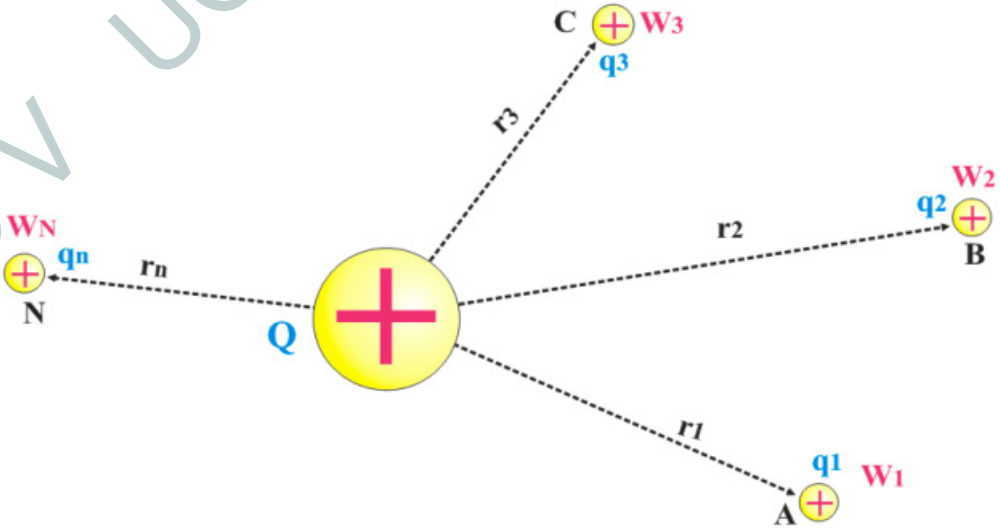
Alessandro Juzeppe Volta (1745–1827)

Elektr maydoniga kiritilgan sinov zaryadi potensial energiyasining sinov zaryadiga nisbati sinov zaryadining katta-kichikligiga bog'liq bo'lmaydi va bu nisbat o'sha nuqtadagi (sinov zaryadi kiritilgan nuqtadagi) elektr maydon potensiali deyiladi.

$$\varphi = \frac{W}{q'} \qquad (6.1)$$

Elektr maydon potensialiga quyidagicha ta'rif ham beriladi:

Elektr maydonning biror nuqtasidagi potensiali deb, shu nuqtaga kiritilgan musbat birlik sinov zaryadini maydon tomonidan cheksizlikkacha (maydon bo'lmagan nuqtaga, maydon tashqarisiga) siljitishda bajarilgan ishga miqdor jihatidan teng bo'lgan kattalikka aytiladi.



6.1-rasm

Agar elektr maydoniga kiritilgan musbat birlik sinov zaryadini zaryad kiritilgan nuqtadan maydon tashqarisigacha ko'chirishda elektr maydoni *1 J* ish bajarsa, o'sha nuqtadagi maydon potensiali *1 V (Volt)* ga teng bo'ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$1V = \frac{1J}{1Kl} \qquad (6.2)$$

Elektr maydon potensiali ***skalyar*** kattalik bo‘lib, elektr maydonni energetik jihatidan xarakterlaydi. (+) ishorali zaryadlar atrofida (+) ishorali potensial, (-) ishorali zaryadlar atrofida (-) ishorali potensial hosil bo‘ladi. Maydonning biror nuqtasidagi natijaviy potensialni topish uchun shu nuqtada har bir zaryad hosil qilgan potensiallar algebraik qo‘shiladi.

$$\varphi_{nat} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + ... + \varphi_N \qquad (6.3)$$

Biz mexanika bo‘limida kuchlarning tabiati qanday bo‘lishidan qat’iy nazar ta’sirlashuvchi har qanday jism yoki jismlar sistemasi o‘z ta’sir (potensial) energiyasiga ega bo‘ladi degan edik. Shunday ekan, bu xulosa elektr kuchlariga ham tegishlidir. Endi elektr kuchlari tabiatini energetik jihatdan o‘rganamiz.

Elektr maydonining potensial maydon ekanligi:

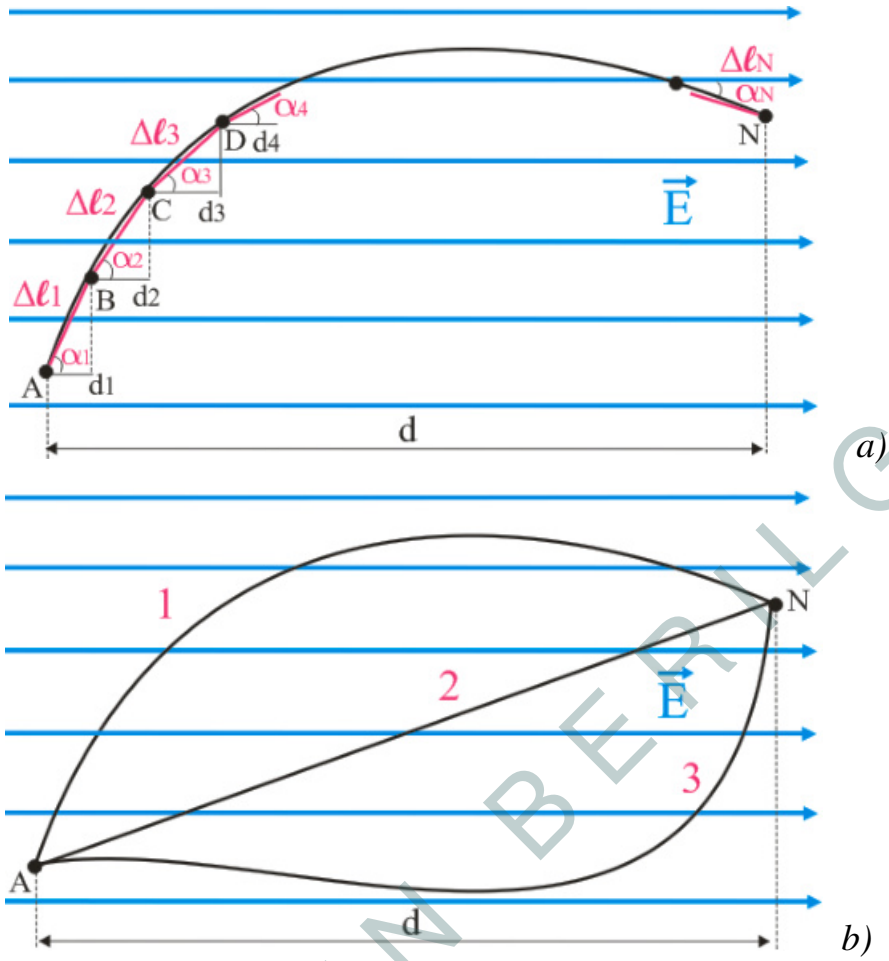
Agar kuchning bajargan ishi trayektoriya shakliga bog‘liq bo‘lsa, bu kuchni ***konservativ kuch***, aksincha esa ***nokonservtiv kuch*** deyiladi. Konservativ kuchlarning ta’sir maydonini ***potensial maydon*** deyiladi. Elektr zaryadlari hosil qiladigan maydon potensial maydonmi yoki yo‘qmi degan savolga javob berishga harakat qilib ko‘raylik.

Bir jinsli elektr maydonida turgan nuqtaviy q zaryadni ixtiyoriy egri chiziqli traektoriya bo‘yicha A nuqtadan N nuqtaga ko‘chiraylik. Xo‘sh, bunda qanday ish bajariladi? AN traektoriyani AB, BC, CD, DE, ... kesmalarga ajrataylik. Bu ajratilgan kesmalar shunchalik kichik bo‘lsinki, bu kesmalarni $\overset{\smile}{AB}, \overset{\smile}{BC}, \overset{\smile}{CD}, \overset{\smile}{DE}, ...$ yoylar bilan ustma-ust tushsin. Shunda bu kesmalarni elementar kesmalar deyish mumkin (6.2-*a,rasm*). Har bir elementar qism uchun bajarilgan ishlar $A = F\,s\cos\alpha$ formula yordamida hisoblab topiladi va ularni qo‘shib chiqib umumiy traektoriyadagi bajarilgan ish topiladi.

$$A = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + ...A_N = F_1\Delta\ell_1\cos\alpha_1 + F_2\Delta\ell_2\cos\alpha_2 + F_3\ell s_3\cos\alpha_3 + ... +$$
$$+ F_N\Delta\ell_N\cos\alpha_N = q\,E\cdot\left(AB\cos\alpha_1 + BC\cos\alpha_2 + CD\cos\alpha_3 + ... + MN\cos\alpha_N\right) =$$
$$= qE\cdot\left(\Delta d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3 + ... + \Delta d_N\right) = q\,E\,d$$

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, d – trayektoiyaning maydon yo‘nalishiga proeksiyasi. Demak, $A=qEd$ formulaga ko‘ra nuqtaviy zaryadni elektr maydonida ko‘chirishda bajarilgan ish trayektoriyaning maydon yo‘nalishiga proeksiyasiga bog‘liq bo‘lar ekan, trayektoiya shakliga esa mutlaqo bog‘liq bo‘lmas ekan. Trayektoriya shakllari turlicha, lekin trayektoriyaning maydon yo‘nalishidagi proeksiyalari bir xil d ga teng bo‘lgan barcha trayektoriyalarda teng ish bajariladi (6.2-*b,rasm*).

SINOV UCHUN BERILGAN



6.2-rasm

Trayektoriya shakli qanday bo‘lishidan qat’iy nazar agar $d=0$ bo‘lsa, bajarilgan ish nolga teng bo‘ladi. Boshqacha aytganda, elektr maydonida berk kontur bo‘ylab zaryadni ko‘chirishda ish bajarilmas ekan.

Yuqoridagilardan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, haqiqatan ham elektr kuchi ***konservativ kuch***, bu kuchning maydoni esa ***potensial maydon***dir. Zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish trayektoriya shakliga bog‘liq emas va zaryadni berk kontur bo‘ylab ko‘chirishda ish bajarilmaydi.

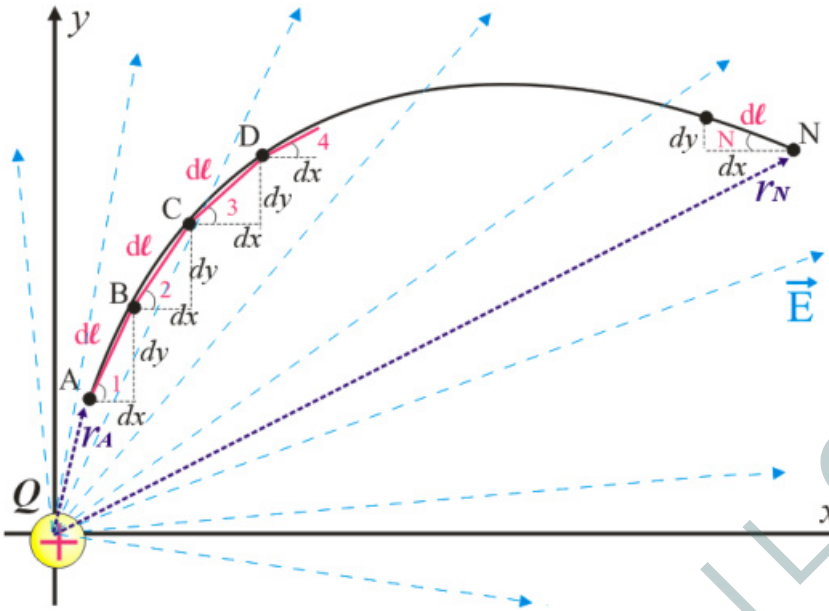
Nuqtaviy zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish:

Nuqtaviy zaryadni bir jinsli maydonda ko‘chirishda bajarilgan ish quyidagicha bo‘ladi:

$$A = qE\ell\cos\alpha = qEd \qquad (6.4)$$

Bu yerda: d – trayektoiyaning maydon yo‘nalishiga proeksiyasi

SINOV UCHUN BERILGAN



6.3-rasm

Agar nuqtaviy zaryadni bir jinsli bo‘lmagan maydonda ixtiyoriy trayektoriya bo‘ylab ko‘chirilsa, bajarilgan ish qanday bo‘ladi degan savol tug‘ilishi tabiiydir. Aytaylik, qo‘zg‘almas va musbat Q zaryad maydonida turgan nuqtaviy q zaryadni A nuqtadan ixtiyoriy trayektoriya bo‘ylab N nuqtaga ko‘chiraylik (6.3-rasm). A nuqtaning Q zaryaddan uzoqligi r_A, N nuqtaning uzoqligi esa r_N bo‘lsin. Q zaryadni koordinatalar tekisligining boshiga joylaymiz. Trayektoriyaning boshi $A(x_A; y_A)$ va oxiri $N(x_N; y_N)$ koordinatalarga ega. Trayektoriyaning ixtiyoriy $(x; y)$ nuqtasida q zaryad turgan bo‘lsin. Bunda radius vektor $\vec{r} = x\cdot\vec{i} + y\cdot\vec{j}$ bo‘ladi. Unga ta’sir etuvchi kulon kuchi esa $F = k\frac{Qq}{r^2}$ bo‘ladi. Kulon kuchining o‘qlardagi proeksiyalari

$$F_x = F\cdot\cos\alpha = k\frac{Qq}{r^2}\cdot\frac{x}{r} = kQq\cdot\frac{x}{\left(x^2+y^2\right)^{3/2}} \text{ va } F_y = F\cdot\cos\beta = k\frac{Qq}{r^2}\cdot\frac{y}{r} = kQq\cdot\frac{y}{\left(x^2+y^2\right)^{3/2}}$$

bo‘ladi. Kuch vektori proeksiyalari orqali $\vec{F} = F_x\cdot\vec{i} + F_y\cdot\vec{j}$ ko‘rinishda ifodalanadi. Trayektoriyani elementar $d\vec{\ell}$ uzunliklarga ega bo‘lgan $AB, BC, CD, DE, \ldots$ teng kesmachalarga ajratamiz. Bu kesmachalarning bittasida bajarilgan elementar ish

$$dA = \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = \vec{F}\cdot d\vec{r} = \left(F_x\cdot\vec{i} + F_y\cdot\vec{j}\right)\cdot\left(dx\cdot\vec{i} + dy\cdot\vec{j}\right) = F_x dx + F_y dy$$

bo‘ladi. Har bir elementar kesmada bajarilgan ishlar yig‘indisi butun trayektoriyada bajarilgan ishni beradi. Kesmachalar soni qancha ko‘p bo‘lsa, hisob-kitob shunchalik aniq chiqadi va $\sum$ belgisi $\int$ belgisiga aylanib ketadi.

$A = \sum_{i=1}^{\infty}\Delta A_i = \int dA$ formulaga ko‘ra integrallaymiz. Shunda

$$A = \int dA = \int F_X dx + F_Y dy = \int_{x_A}^{x_N} kQq\cdot\frac{x}{\left(x^2+y^2\right)^{3/2}}dx + \int_{y_A}^{y_N} kQq\cdot\frac{y}{\left(x^2+y^2\right)^{3/2}}dy =$$

SINOV UCHUN BERILGAN

$$= -kQq \cdot \frac{1}{\left(x^2+y^2\right)^{1/2}} \Big|_{x_A}^{x_N} - kQq \cdot \frac{1}{\left(x^2+y^2\right)^{1/2}} \Big|_{y_A}^{y_N} = \ldots = -kQq \cdot \left(\frac{1}{r_N} - \frac{1}{r_A}\right) = kQq \cdot \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_N}\right)$$

natiga hosil bo‘ladi.

Demak, zaryadni ko‘chirishda elektr maydoni bajargan ish quyidagicha bo‘lar ekan (6.3-rasm):

$$A = kQq\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_N}\right) \qquad (6.5)$$

Yuqoridagi formuladan ham ko‘rinadiki, elektr maydonida bajarilgan ish trayektoriya shakliga bog‘liq bo‘lmasdan, faqat boshlang‘ich va oxirgi vaziyatga bog‘liq bo‘lar ekan.

Potensial energiya:

Potensial energiyaning umumiy ta’rifi bilan biz mexanika bo‘limida tanishganmiz. Shu ta’rifga ko‘ra elektr maydonida turgan nuqtaviy zaryadning potensial energiyasini topamiz. Potensial energiya formulasidan

$$W = \vec{F} \cdot \vec{r} = F\, r \cos\alpha = k\frac{Qq}{r^2} r \cdot 1 = k\frac{Qq}{r}$$

bo‘ladi.

Demak, elektr maydonidagi nuqtaviy zaryadning potensial energiyasi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$W = k\frac{Q\,q}{r} \qquad (6.6)$$

Demak, markaziy kuch maydonida nuqtaviy zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish traektoriya boshidagi va oxiridagi potensial energiyalar farqiga teng bo‘lar ekan.

$$A = kQq\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right) = k\frac{Qq}{r_A} - k\frac{Qq}{r_N} = W_A - W_N \qquad (6.7)$$

Elektr maydon potensiali $\varphi = \frac{W}{q}$ formulasidan potensial energiya $W = q\varphi$ ni yuqoridagi formulaga qo‘ysak, u holda bajarilgan ish uchun

$$A = W_A - W_N = q\varphi_A - q\varphi_N = q\left(\varphi_A - \varphi_N\right) \qquad (6.8)$$

formula hosil bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektr maydon potensiali deb nimaga aytiladi? Potensial maydonni nima jihatdan xarakterlaydi?*
2. *Elektr maydon potensiali qanday kattalik? Potensial qachon musbat va qachon manfiy bo‘ladi? Bir necha potensiallar qanday qo‘shiladi?.*
3. *Elektr maydonidagi zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish ifodasi qanday?*
4. *Elektr maydonidagi zaryadning potensil energiyasi qanday?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Masala yechish:

1. *Agar yer bilan bulut orasidagi potensiallar ayirmasi 10^6 V, razryad vaqtida o'tgan elektr miqdori 25 C bo'lsa, razryad energiyasi qanday bo'ladi (MJ)?*

A) 0,4 B) 2,5 C) 4 D) 25

Berilgan:

$\Delta\varphi = 10^5 V$

$q = 25C$

$W = ?$

Yechilishi:

Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\Delta W = q \cdot \Delta\varphi$$

$$W = q \cdot \Delta\varphi = 25 \cdot 10^5 = 2{,}5 \cdot 10^6 = 2{,}5MJ$$

Javob: *B) 2,5.*

2. *Diodda electron anodga $8 \cdot 10^6$ m/s tezlik bilan yetib keldi. Agar elektronning katod yaqinidagi tezligi nol bo'lsa, anod kuchlanishi qanday (V)? elektronning massasi $9{,}1 \cdot 10^{-31} kg$ kg, zaryadi esa $-1{,}6 \cdot 10^{-19} C$.*

A) 220 B) 160 C) 180 D) 280

Berilgan:

$\vartheta = 8 \cdot 10^6 m/s$

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

$m = 9{,}1 \cdot 10^{-31} kg$

$U = ?$

Yechilishi:

Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$eU = \frac{m\vartheta^2}{2}, \quad \rightarrow \quad U = \frac{m\vartheta^2}{2e}$$

$$U = \frac{m\vartheta^2}{2e} = \frac{9 \cdot 10^{-31} \cdot 64 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 180V$$

Javob: *180 V*

§ 7. ZARYADLANGAN O'TKAZGICHLARNING POTENSIALI. EKVIPOTENSIAL SIRTLAR. POTENSIAL UCHUN XUSUSIY HOLLAR.

Zaryadlangan o'tkazgichlarning potensiali:

Ixtiyoriy shakldagi o'tkazgich zaryadlanganda uning zaryadi o'tkazgich sirti bo'ylab joylashadi. Chunki, o'tkazgichlarda zaryad bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga erkin ko'cha oladi. O'tkazgich zaryadni bir xil ishorali elementar zarrachalar tashkil etgani uchun ular mumkin qadar bir-biridan uzoqlashib eng chetki joyga ya'ni, o'tkazgich sirtiga joylashib oladi. O'tkazgich qanday shaklda bo'lmasin, uning sirtidagi barcha nuqtalarda elektr potensiali bir xil bo'ladi. Agar o'tkazgichning biror nuqtasida potensial kattaroq bo'lsa, demak bilish kerakki, hali zaryadning o'tkazgich sirti bo'ylab taqsimoti oxiriga yetmagan. Elektr maydoni zaryadni potensiali katta nuqtadan potensiali kichikroq bo'lgan nuqtalarga ko'chishga majbur qiladi va bu ko'chki toki o'tkazgich sirtidagi barcha nuqtalarda potensial tenglashguncha davom etadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi zaryadlangan turli o‘tkazgichlarninng potensiallarini keltirib chiqaramiz. Dastlab zaryadlangan shar yoki sfera sirti uchun hisoblaymiz. Potensialning ta’rifiga binoan

$$\varphi = \frac{W}{q'} = k\frac{Qq'}{\varepsilon R q'} = k\frac{Q}{\varepsilon R}$$

bo‘ladi.

Demak, sirtiy zaryadlangan sharning sirtida (r=R) potensial quyidagicha boladi:

$$\varphi_0 = k\frac{Q}{\varepsilon R} \qquad (7.1)$$

Endi sharning ichki nuqtalari uchun potensialni hisoblaymiz. Sharning ichida elektr maydoni bo‘lmagani uchun ham $U = \varphi_1 - \varphi_2 = E\Delta d = 0$, ya’ni, $\varphi_1 = \varphi_2$ bo‘ladi. Agar shar vakuumda bo‘lsa, uning sirtki va ichki qismlarida barcha nuqtalarda potensial bir xil va $\varphi = k\frac{Q}{R}$ ga teng bo‘ladi.

Demak, potenial sirtiy zaryadlangan shar ichidagi (r<R) barcha nuqtalarda bir xil va quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\varphi = k\frac{Q}{\varepsilon R} \qquad (7.2)$$

Hisob-kitoblar nafaqat shar ichida, balki barcha sirtiy zaryadlangan ixtiyoriy shakldagi o‘tkazgichlar ichida ham elektr maydon potensiali bir xil bo‘lishini ko‘rsatdi.

Dielektriklarda jismning qayerida zaryad hosil qilinsa, u o‘sha joyda turaveradi. Zaryad bir joydan boshqa joyga osonlikcha ko‘chmaydi. Chunki, dielektriklarda zaryad eltuvchi erkin elektronlar yo‘q. Agar zaryad jismning butun hajmi bo‘yicha hosil qilinsa, bu zaryad o‘tkazgichlardagi kabi sirtiga chiqib ketmasdan hajm bo‘yicha turaveradi. Endi hajmiy zaryadlangan sharning potensialini ko‘rib chiqamiz.

Dastlab, hajmiy zaryadlangan shar markazidagi potensialni qanday bo‘lishini qarab ko‘raylik. Shar markazidan r masofada elementar dr qalinlikda elementar shar qatlami ajratamiz. Bu qatlamning elementar zaryadi $dq = \rho dV = 4\pi\rho r^2 dr$ bo‘ladi (7.1-rasm). Bu elementar qatlam va shar markazida turgan q sinov zaryadining tortishi tufayli yuzaga kelgan elementar potensial energiya $dW_p = k\frac{q\cdot dq}{r} = 4\pi\rho k q r\, dr$ bo‘ladi. Buni 0 dan R gacha oraliqda integrallab to‘la potensial energiyani topish mumkin, ya’ni

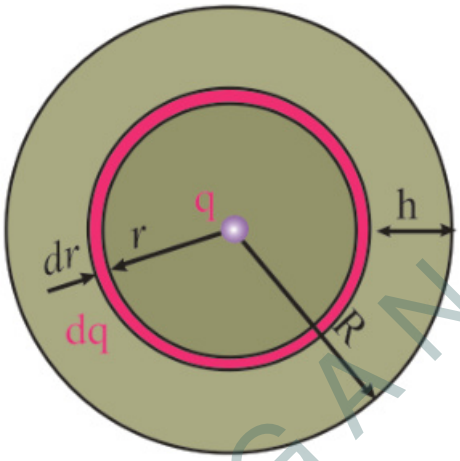
$$W_p = \int dW_p = \int_0^R 4\pi\rho k q r\, dr = 2\pi\rho k q R^2 = \frac{3}{2}k\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3\cdot q\cdot\frac{1}{R} = \frac{3}{2}k\rho V q\cdot\frac{1}{R} = \frac{3}{2}k\frac{Qq}{R} = \frac{3}{2}W_0$$

bo‘ladi. Potensialning ta’rifiga binoan

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{3}{2}k\frac{Q}{R} = \frac{3}{2}\varphi_0$$

bo‘ladi.



7.1 -rasm

Shunday qilib, hajmiy zaryadlangan shar markazida elektr maydon potensiali quyidagi formuladan aniqlanar ekan (7.1-rasm):

$$\varphi = \frac{3}{2}\cdot k\frac{Q}{R} = \frac{3}{2}\varphi_0 \qquad \textbf{(7.3)}$$

Demak, yuqoridagi formuladan shunday xulosaga kelish mumkinki, shar markazidagi potensial uning sirtidagidan miqdor jihatidan 1,5 marta ko‘p bo‘lar ekan.

Endi hajmiy zaryadlangan sharning ixtiyoriy ichki nuqtasidagi potensialni aniqlaymiz. Buni topish uchun q sinov zaryadni shar markazidan r masofaga ko‘chirishda bajarilgan ishni topish yetarlidir. r radiusli sfera ichida ixtiyoriy $r'(0<r'<r)$ radiusli sharni fikran ajratamiz (7.2-rasm). Bu sharning zaryadi

$$q' = \rho V' = \rho\cdot\frac{4}{3}\pi r'^3 = \rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3\cdot\left(\frac{r'}{R}\right)^3 = Q\left(\frac{r'}{R}\right)^3$$

bo‘ladi. Bu shar va q sinov zaryadi

$$F' = k\frac{q'q}{r'^2} = k\frac{Qq}{R^3}\cdot r'$$

kuch bilan tortishadi. Bu kuch ta’sirida q sinov zaryadini elementar dr masofaga ko‘chirishda

$$dA = F'dr = k\frac{Qq}{R^3}\cdot r'dr$$

elementar ish bajariladi. Elementar ishni 0 dan r gacha integrallab q sinov zaryadini shar markazidan r masofaga ko‘chirishda bajarilgan ishni topamiz. Ish

$$A = \int dA = \int_0^r F'dr = k\frac{Qq}{R^3}\cdot\int_0^r r'dr = k\frac{Qq}{R^3}\cdot\frac{r^2}{2} = \frac{1}{2}\cdot k\frac{Qq}{R}\cdot\left(\frac{r}{R}\right)^2$$

bo‘ladi. Shar markazidan r masofada q zaryadli jismni potensial energiyasi

$$W_r = W_0 - A = \frac{3}{2}k\frac{Qq}{R} - \frac{1}{2}k\frac{Qq}{R}\cdot\left(\frac{r}{R}\right)^2$$

bo‘ladi. Potensialning ta’rifiga binoan

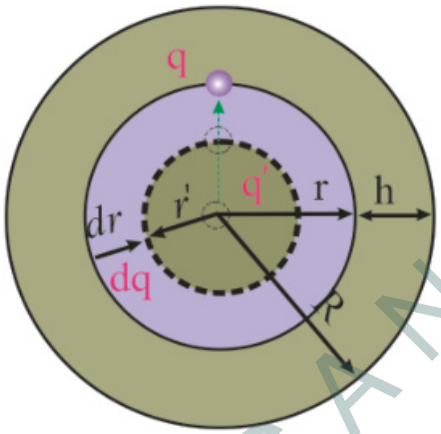
$$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{3}{2}k\frac{Q}{R} - \frac{1}{2}k\frac{Q}{R}\cdot\left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{1}{2}\varphi_0\left(3-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$$

bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Shunday qilib, hajmiy zaryadlangan shar markazidan r masofada (yoki shar sirtidan h ga teng chuqurlikda) elektr maydon potensiali quyidagicha bo‘lar ekan (7.2-rasm):

$$\varphi_r = \frac{3}{2}k\frac{Q}{R} - \frac{1}{2}k\frac{Q}{R}\cdot\left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{1}{2}\varphi_0\left(3-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right) \qquad (7.4)$$

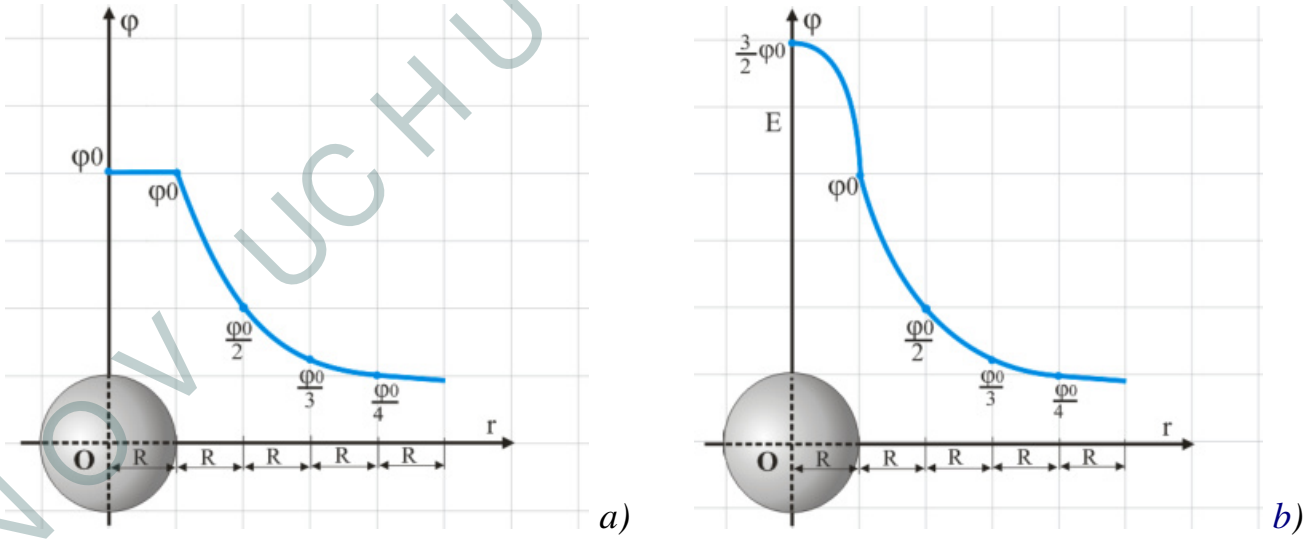


7.2-rasm

Sharcha hoh hajmiy, hoh sirtiy zaryadlangan bo‘lsin sharchadan tashqaridagi ($r>R$) nuqtalarda ular hosil qilgan elektr maydon potensiallari bir xil bo‘ladi. Maydon potensialining qiymati xuddi sharning butun zaryadi shar markazidagi bitta nuqtaga to‘planganda hosil bo‘lgan qiymat kabi bo‘ladi. Shar tashqarisida maydon potensiali quyidagicha bo‘ladi:

$$\varphi = k\frac{Q}{\varepsilon r} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} \qquad (7.5)$$

Quyida keltirilgan rasmlarda sirtiy va hajmiy zaryadlangan sharlar hosil qilgan elektr maydon potensiallarining masofaga bog‘liqlik grafigi tasvirlangan (7.3-rasm).



7.3-rasm

Yuqoridagi rasmlar sharchalar musbat zaryadlangan hol uchun berilgan. Manfiy zaryadlangan hol uchun absissalar o‘qiga simmetrik holda pastda bo‘ladi.

Endi zaryadlangan xalqa o‘qidagi ixtiyoriy nuqtadagi potensialni hisoblaylik. Tekis chiziqli zaryadlangan R radiusli xalqa markaziga rasmda ko‘rsatilgandek koordinatalar sistemasini joylaymiz (7.4-rasm). Xalqaning ixtiyoriy A nuqtasidan $d\ell$ uzunlikda elementar qism ajratamiz. Elementar qismning elementar zaryadi $dq=\tau d\ell$ ga teng bo‘lib, bu zaryad xalqa o‘qidan L uzoqlikda olingan ixtiyoriy M

SINOV UCHUN BERILGAN

nuqtada $d\varphi = k\frac{dq}{\varepsilon r} = k\tau\frac{d\ell}{\varepsilon r}$ elementar potensial hosil qiladi. Bu elementar maydon potensialini *0* dan *2πR* gacha integrallab berilgan xalqaning *M* nuqtada hosil qilgan natijaviy potensiali topiladi, ya'ni

$$\varphi = \int d\varphi = \frac{k\tau}{\varepsilon R}\int_0^{2\pi R} d\ell = \frac{k\tau}{\varepsilon r}\cdot 2\pi R = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\tau}{\varepsilon r}\cdot 2\pi R = \frac{\tau}{2\varepsilon\varepsilon_0}\frac{R}{\sqrt{R^2+L^2}}$$

bo'ladi. Agar xalqaning chiziqli zichligi τ o'rniga zaryadi Q berilgan bo'lsa, potensial uchun ushbu

$$\varphi = \frac{\tau}{2\varepsilon\varepsilon_0}\frac{R}{\sqrt{R^2+L^2}} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R}\frac{R}{\sqrt{R^2+L^2}} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\sqrt{R^2+L^2}} = k\frac{Q}{\varepsilon r}$$

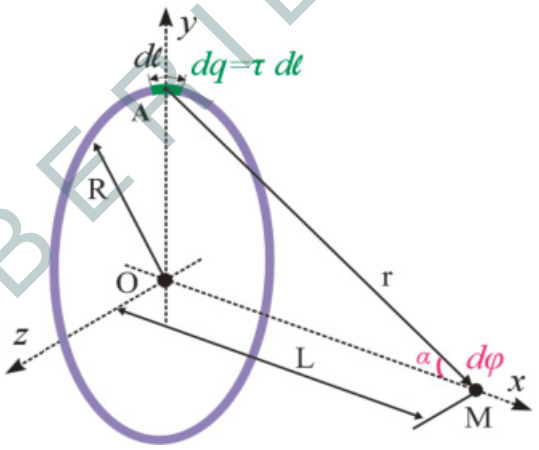
hosil bo'ladi.

Shunday qilib, tekis chiziqli zaryadlangan *R* radiusli xalqaning markazidan xalqa o'qi bo'yicha *L* uzoqlikda yotgan nuqtadagi elektr maydon potensiali quyidagicha *(7.4-rasm)*:

$$\varphi = \frac{\tau}{2\varepsilon\varepsilon_0}\frac{R}{\sqrt{R^2+L^2}} \qquad (7.6)$$

yoki

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\sqrt{R^2+L^2}} = k\frac{Q}{\varepsilon r} \qquad (7.6a)$$



7.4-rasm

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, tekis chiziqli zaryadlangan *R* radiusli xalqaning markazida potensial o'zining eng katta $\varphi = k\frac{Q}{\varepsilon R}$ qiymatiga ega bo'lib, bu nuqtadan boshlab potensial $\varphi \sim \frac{1}{r}$ qonuniyatga ko'ra kamayib borar ekan.

Endi tekis zaryadlangan disk o'qidagi ixtiyoriy nuqtadagi potensialni hisoblaylik. Diskdan *dr* qalinlikdagi ixtiyoriy *r(r≤R)* radiusli xalqa ajratamiz (7.5-rasm). Xalqaning elementar zaryadi $dq = 2\pi r\sigma dr$ bo'lib, xalqa o'qidan olingan *M* nuqtadagi elementar maydon potensialii

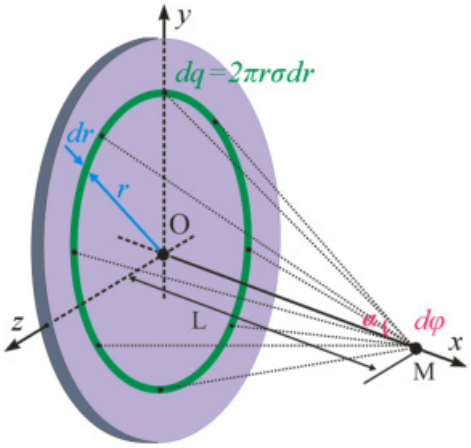
$$d\varphi = \frac{k\,dq}{\varepsilon\sqrt{r^2+L^2}} = \frac{2\pi r\sigma dr}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\left(r^2+L^2\right)^{1/2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\frac{r\,dr}{\left(r^2+L^2\right)^{1/2}}$$

ga teng bo'ladi. Buni *0* dan *R* gacha integrallab diskning berilgan nuqtadagi potensialini topamiz, ya'ni

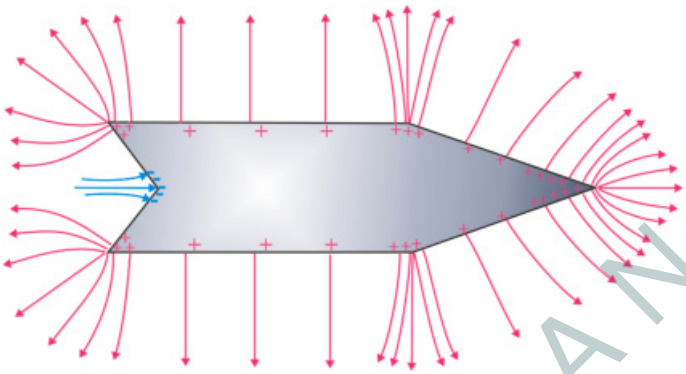
$$\varphi = \int d\varphi = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\int_0^R \frac{r\,dr}{\left(r^2+L^2\right)^{1/2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(r^2+L^2\right)^{1/2}\Big|_0^R = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\left(\sqrt{R^2+L^2}-L\right)$$

bo'ladi.

SINOV UCHUN BELGILANGAN



7.5-rasm



7.6-rasm

Shunday qilib, R radiusli tekis zaryadlangan disk markazidan L uzoqlikda yotgan nuqtada elektr maydon potensiali quyidagicha bo‘lar ekan *(7.5-rasm)*:

$$\varphi = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(\sqrt{R^2+L^2}-L\right) \qquad (7.7)$$

Ixtiyoriy shakldagi o‘tkazgich zaryadlanganda zaryad uning qaysi qismida ko‘proq to‘planadi degan savol tug‘ilishi tabiiy. Buning uchun bir-biriga tegib turgan R_1 va R_2 radiusli sharchalarga zaryad berilganda qaysi sharda zaryad zichligi kattaroq bo‘lishini tekshirib ko‘raylik. Sharchalar tegib turgani uchun ularning potensiallari o‘zaro teng ya’ni, $\varphi_1=\varphi_2$ bo‘ladi. Bundan ea

$$k\frac{q_1}{R_1}=k\frac{q_2}{R_2},\ \rightarrow\ \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1^2}\cdot R_1=\frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2^2}\cdot R_2,\ \rightarrow\ \frac{q_1}{S_1}\cdot R_1=\frac{q_1}{S_1}\cdot R_1,\ \rightarrow\ \sigma_1 R_1=\sigma_2 R_2$$

kelib chiqadi.

Demak, sirt zichliklari nisbati o‘lchamlarning teskari nisbatiga teng bo‘lar ekan.

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1}=\frac{R_1}{R_2} \qquad (7.8)$$

Formuladan ko‘rinib turibdiki, radiusi kichik zaryadning sirt zichligi kattaroq ya’ni, kichik sharchada zaryad quyuqroq, tig‘isroq bo‘lar ekan. Shuning uchun, ixtiyoriy shakldagi o‘tkazgichning ham radiusi kichik ya’ni, egriligi katta, o‘tkirroq joylarida ko‘proq zaryad to‘planar ekan (7.6-rasm). Shuning uchun bulutli kunlarda cho‘qqili, baland joylarda zaryad ko‘proq to‘planadi va yashin ana shunday joylarga tushadi.

Zaryadlangan sharning energiyai:

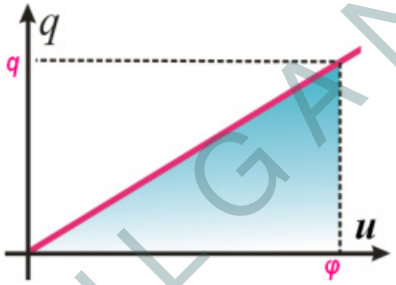
Jismlarni zaryadlayotganda uning zaryadi ko‘paygan sari potensiali ham oshib boradi. Potensial ish bajarish qobiliyatini bildirgani uchun demak, zaryadlanayotgan jismning elektr (potensial) energiyasi ham oshib boradi. Umumiy holda yakkalangan o‘tkazgichning olgan zaryadi uning potensialiga to‘g‘ri proporsional bo‘lib, $q=C\varphi$ formula bo‘yicha topiladi. Bu haqda kelgusi

SINOV UCHUN BERILGAN

mavzuda batafsil to‘xtab o‘tiladi. Zaryad va potensial bog‘langan har qanday grafikda chegaralangan yuza zaryadlashda bajarilgan ishni, ya’ni zaryadlanayotgan jism olgan energiyani beradi. 7.7-rasmdan foydalanib chegarlangan uchburchak yuzasi $W=\frac{1}{2}q\varphi$ ekanini ososngina topish mumkin. Bundan esa yana $W=\frac{C\varphi^2}{2}=\frac{q^2}{2C}$ formulalarni ham keltirib chiqarish mumkin bo‘ladi.

Demak, umumiy holda yakkalangan o‘tkazgichni zaryadlashda unga berilgan energiya quyidagicha bo‘ladi bo‘lar ekan (7.7-rasm):

$$W=\frac{1}{2}q\varphi=\frac{C\varphi^2}{2}=\frac{q^2}{2C} \qquad (7.9)$$



7.7-rasm

Agar yuqoridagi formuladan foydalanib yakkalangan shar sig‘imi uchun $C=4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R$ formulani qo‘ysak, u holda yakkalangan shar energiyasi uchun quyidagi uchta xususiy formulani olish mumkin:

$$W=\frac{1}{2}q\varphi=2\pi\varepsilon\varepsilon_0 R\varphi^2=\frac{q^2}{8\pi\varepsilon\varepsilon_0 R} \qquad (7.10)$$

Demak, yuqoridagi keltirib chiqarilgan formulalarga binoan, sharni, umuman o‘takazgichni zaryadlashda olgan energiya o‘takazgichdagi potensialning kvadratiga proporsional, ya’ni $W\sim\varphi^2$ bo‘lar ekan.

Potensiallar farqi, kuchlanish:

Qarama-qarshi ishorali va teng miqdorda zaryadlangan parallel plastinkalar orasidagi maydonni bir jinsli maydon deyish mumkin. Bir jinsli maydonga kiritilgan q' sinov zaryadiga elektr maydoni tomonidan $F_K=q'E$ Kulon kuchi ta’sir qiladi. Ta’sir kuchi ostida turgan jism esa ta’sir (potensial) energiyasiga ega bo‘ladi.

Bir jinsli elektr maydonidagi sinov zarydining potensial energiyasini aniqlaylik. Potensial energiyasini topishning umumiy formulasidan foydalansak

$$W=F\cdot r=q'Ed=q'\varphi$$

bo‘ladi.

Demak, bir jinsli elektr maydoniga kiritilgan q' sinov zaryadining potensial energisi quyidagicha bo‘lar ekan (7.9-rasm):

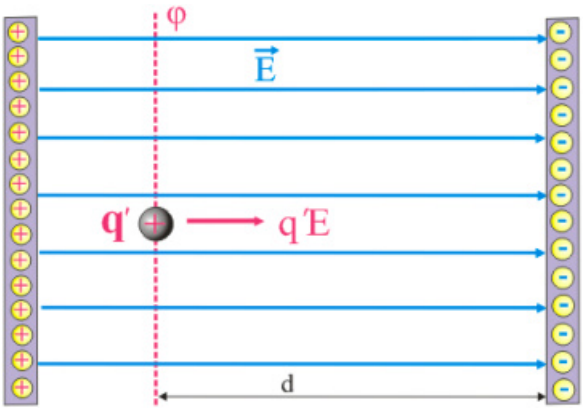
$$W=q'Ed=q'\varphi \qquad (7.11)$$

Bu yerda: $\varphi=Ed$ – bir jinsli elektr maydonining ixtiyoriy d nuqtasidagi potensiali; d masofa – zaryad turgan nuqtadan zaryad qulaydigan plastinagacha bo‘lgan masofadir.

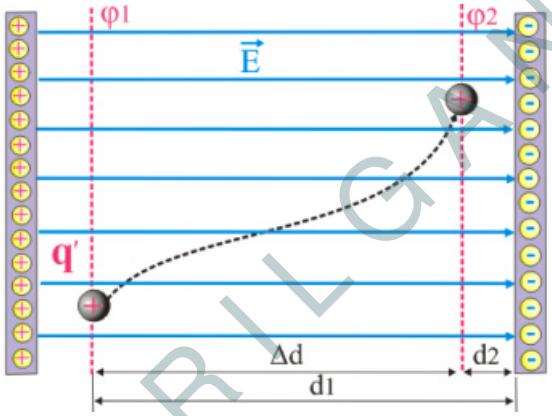
SINOV UCHUN BERILGAN

Bir jinsli elektr maydoniga kiriilgan q' sinov zaryadini d_1 masofadan d_2 masofagacha ko‘chirishda eletkr maydoni bajargan ish quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} A = W_1 - W_2 = q'E(d_2 - d_1) = q'E\Delta d \\ A = q'(\varphi_1 - \varphi_2) = q'U \end{cases} \qquad (7.12)$$



7.9-rasm



7.10-rasm

Endi elektr maydon kuchlanganligi va kuchlanish orasidagi bog‘lanishni keltirib chiqaramiz. Bir jinsli maydonda zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ishning ushbu

$$A = q'E\Delta d \text{ va } A = q'U$$

formulalarni tenglashtirsak,

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

ifoda kelib chiqadi.

Binobarin, elektr maydon kuchlanganligi va kuchlanish orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘lar ekan:

$$E = \frac{U}{\Delta d} \qquad (7.13)$$

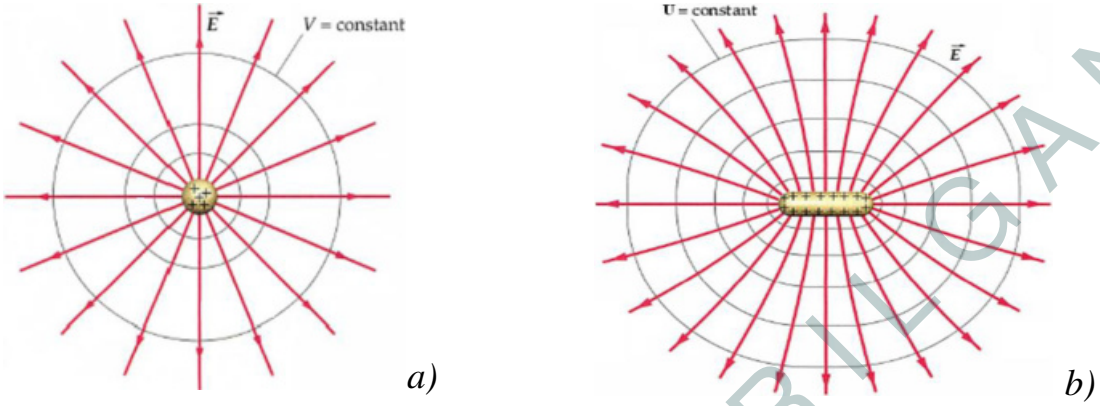
Yuqoridagi formuladan elektr maydon kuchlanganligininng o‘lchov birligi $\frac{V}{m}$ bo‘lishi kelib chiqadi. Lekin, biz 3-paragrafda kuchlanganlikning o‘lchov birligi $\frac{N}{C}$ ekanligini aytib o‘tganmiz. Demak, kuchlanganlikning bu ikkala o‘lchov birligi o‘zaro teng kuchli, ya’ni $\left[\frac{N}{Kl}\right] = \left[\frac{V}{m}\right]$ bo‘lar ekan.

Ekvipotensial sirtlar:

Bir xil potensialga ega bo‘lgan nuqtalarning geometrik o‘rni ***ekvipotensial sirt*** degan sirt hosil qiladi. Nomlanishidan ham teng potensialli degan ma’noni berishi ma’lum.

SINOV UCHUN BERILGAN

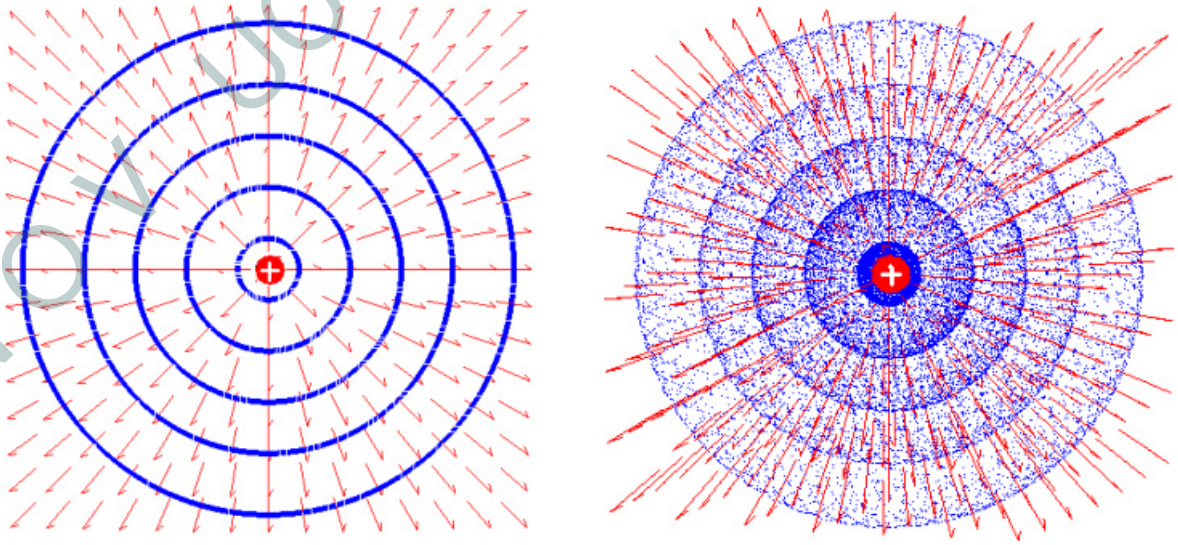
Nuqtaviy zaryadlarning ekvipotensial sirtlari konsentrik sferalardan iborat bo‘ladi. Ixtiyoriy jismniki esa maydon kuchlanganligi jism sirtiga tik chiquvchi bo‘lib, ekvipotensial sirtlar esa shu kuchlanganlik chiziqlariga perpendikulyar yo‘nalgan bo‘ladi (7.11-rasm). Chunki, kuch va ko‘chish orasidagi burchak o‘zaro tik bo‘lgandagina bajarilgan ish nolga teng bo‘lishini yaxshi bilamiz.



7.11-rasm

Ekvipotensial sirtning barcha nuqtalarida zaryadning potensial energiyalari bir xil bo‘ladi. Bitta ekvipotensial sirtning bir nuqtasidan boshqa hohlagan nuqtasiga zaryadni ko‘chirishda ish bajarilmaydi. Chunki, bunda potensial energiya o‘zgarmaydi. Zaryadni bir ekvipotensial sirtning ixtiyoriy nuqtasidan ikkinchi ekvipotensial sirtning ixtiyoriy nuqtasiga ko‘chirishda bir xil $A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)$ ish bajariladi. Quyida zaryad va zaryadlar sistemasining kompyuter dasturi yordamida olingan elektr maydoni va ekvipotensial sirtlarini tasvirlaymiz.

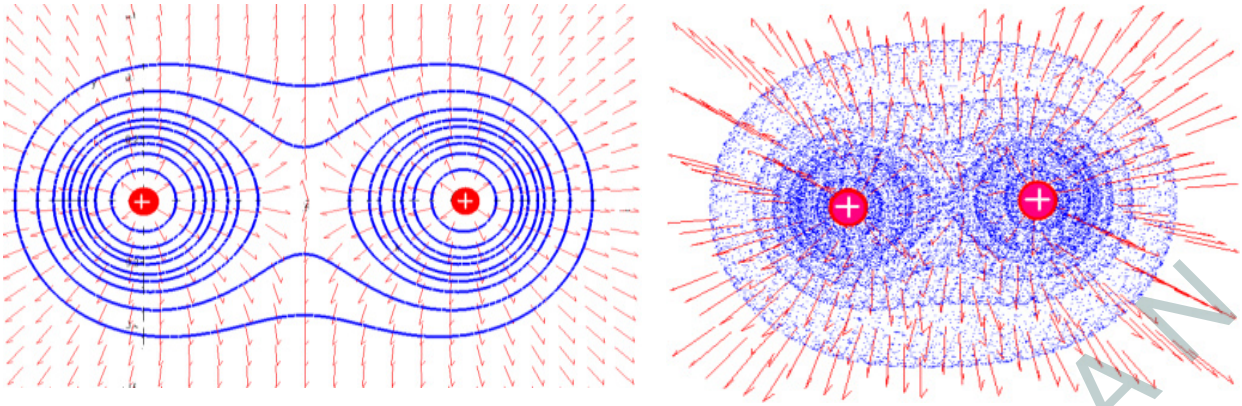
Quyida rasmda nuqtaviy zaryad maydoni va uning ekvipotensial sirtlari ikki va uch o‘lchamda berilgan.



7.12-rasm

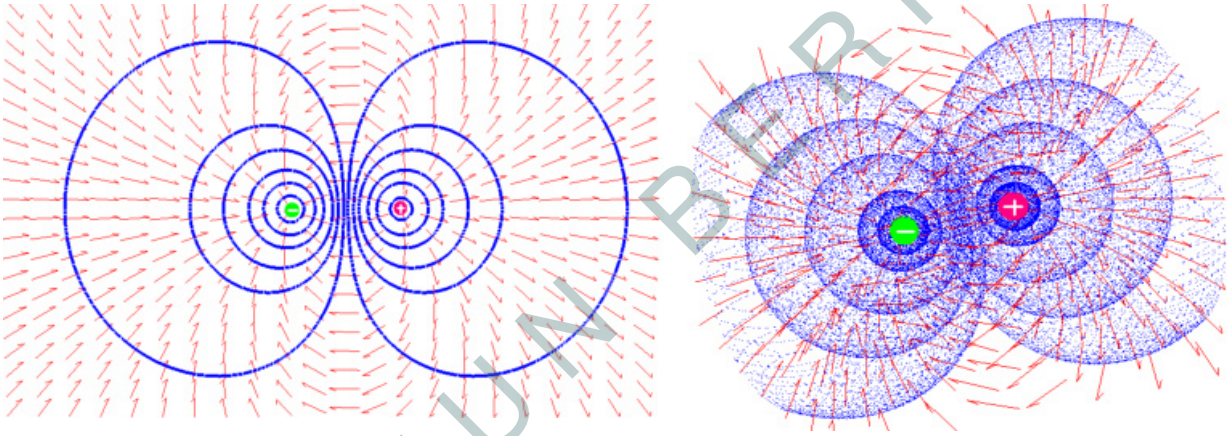
Quyida rasmda ikkita bir xil musbat nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan maydon va ekvipotensial sirtlar ikki va uch o‘lchamda ko‘rsatilgan.

SINOV UCHUN BERILGAN



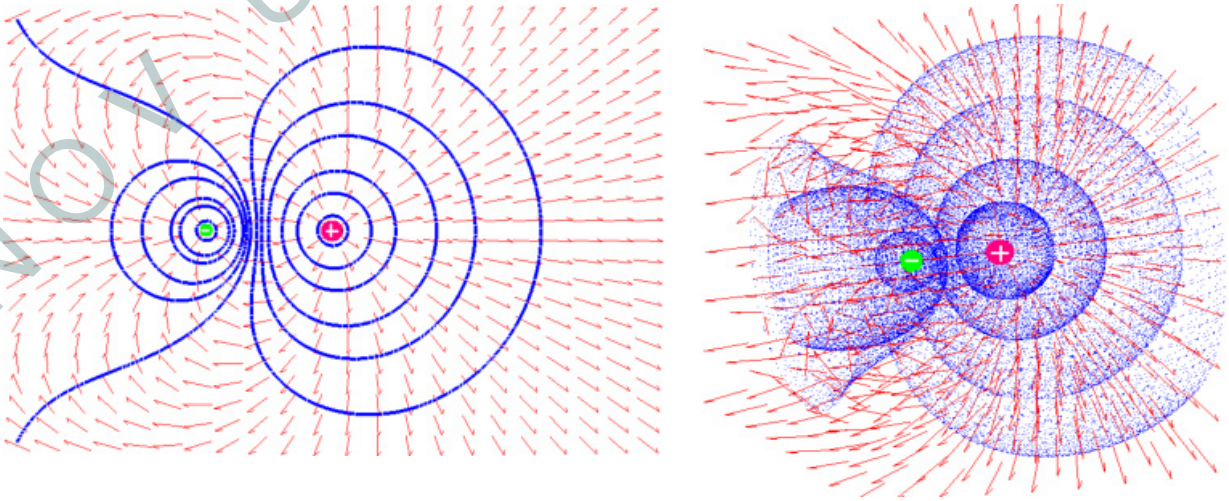
7.13-rasm

Quyida rasmda miqdor jihatidan teng va qarma-qarshi ishorali nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan maydon va ekvipotensial sirtlar ikki va uch o‘lchamda ko‘rsatilgan.



7.14-rasm

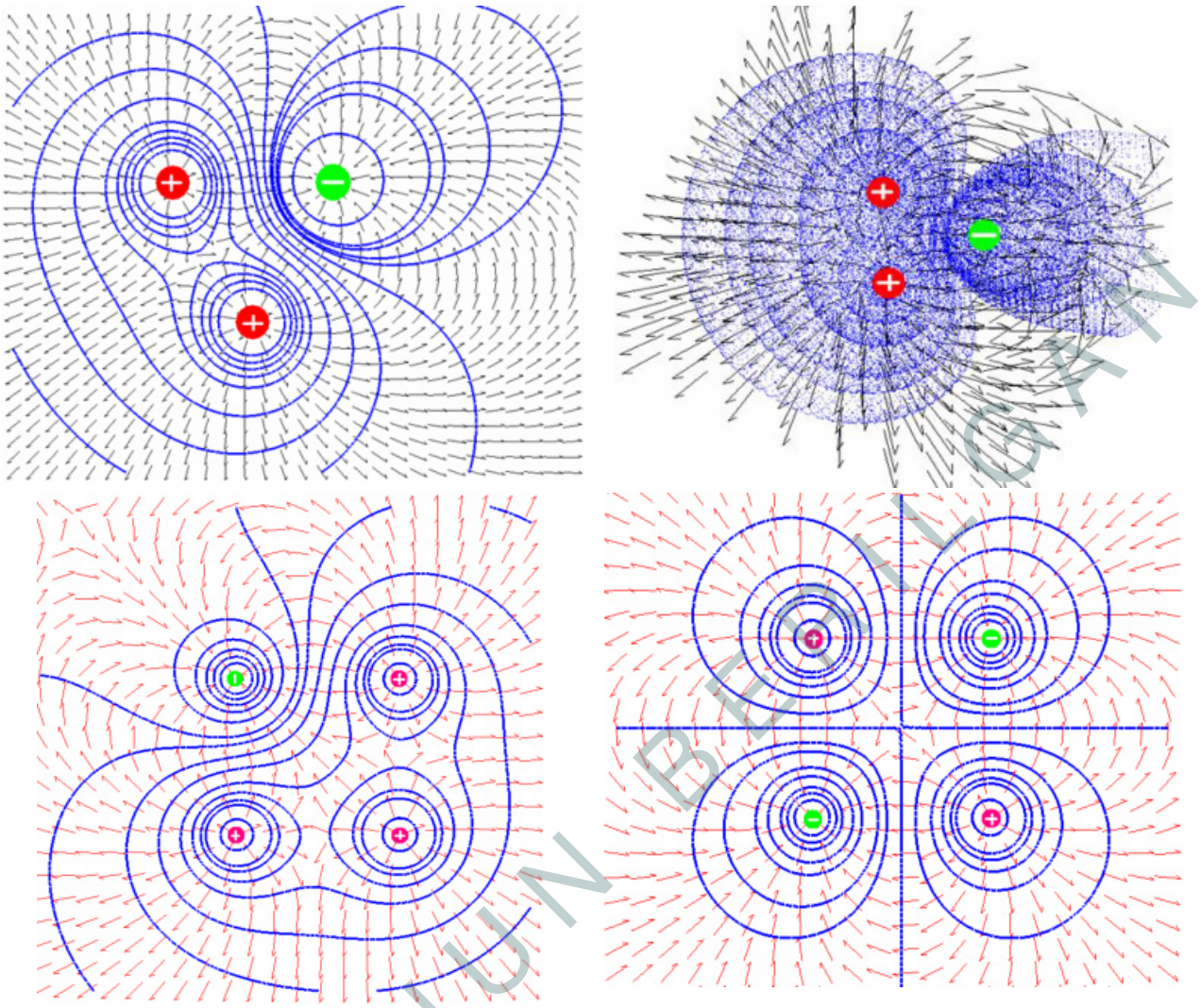
Quyida rasmda miqdor jihatidan ikki marta farq qiladigan, ya’ni $q_1 = 10nKl$ va $q_2 = -5nKl$ ga teng nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan maydon va ekvipotensial sirtlar ikki va uch o‘lchamda ko‘rsatilgan.



7.15-rasm

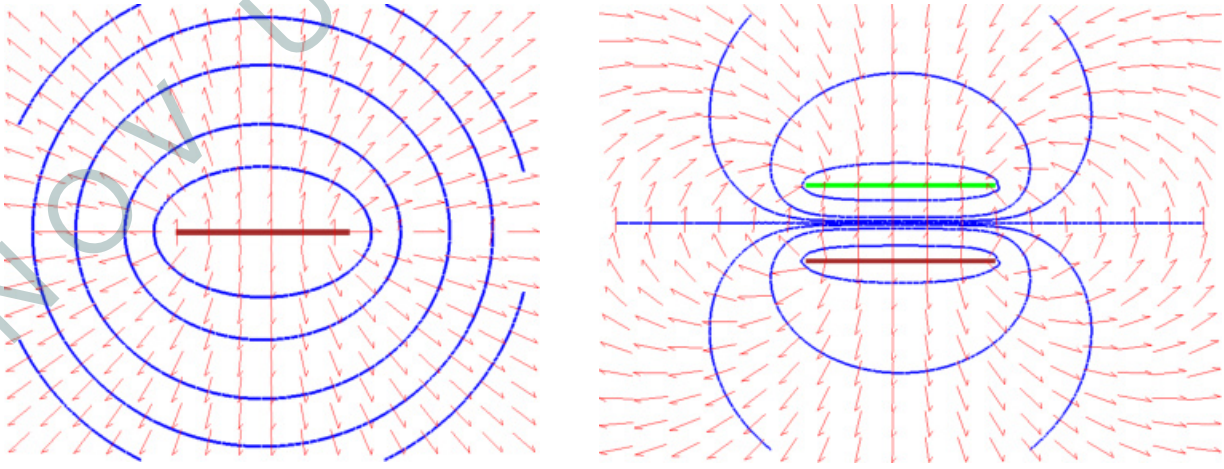
Quyida zaryadlar sistemasi hosil qilgan elektr maydon va ekvipotensial sirtlardan namunalar ko‘rsatilgan.

SINOV UCHUN BERILGAN



7.16-rasm

Quyida chiziqli zaryad va qarama-qarshi ishorali chiziqli zaryad hosil qilgan elektr maydon va ekvipotensial sirtlardan namunalar ko‘rsatilgan.



a) *b)*

7.17-rasm

Barcha rasmlardan ko‘rishimiz mumkinki, har bir nuqtada maydon kuchlanganlik vektorlari ekvipotensial sirtlarga perpendikulyar yo‘nalar ekan. Shuning uchun, har bir ekvipotensial sirtning o‘zida zaryadni ko‘chirishda ish

SINOV UCHUN BEPUL GAN

bajarilmas ekan. Yuqoridagi rasmlardan shuni ko‘rish mumkinki, musbat zaryadni qamragan sirtlar musbat ekvipotensial sirtlar, manfiy zaryadni qamragan sirtlar esa manfiy ekvipotensial sirtlardir.

$\vec{E} = -grad\,\varphi$ formulaga asosan elektr maydon kuchlanganlik vektori har doim potensial eng tez kamayadigan tomon yo‘nalish kerak. $\varphi = \frac{kQ}{r}$ formulaga asosan esa potensial musbat zaryaddan uzoqlashganda yoki manfiy zaryadga yaqinlashganda kamayishi kerak. Ushbu fikrlarning isbotini yuqoridagi ko‘rib o‘tgan barcha rasmlarda yaqqol ko‘rishimiz mumkin.

Potensial uchun xususiy hollar:

Endi masalalar yechishda va hisob ishlarida ko‘p duch kelinadigan xususiy holatlarni formula tarzida kiritamiz. Chalkashlikka yo‘l qo‘ymaslik uchun har bir holatni raqamlab boramiz.

1. Ikkita har xil zaryadlangan sharchalar bir biriga tekizilganda potensiali katta shardan potensiali kichik sharga zaryad oqib o‘tadi. Zaryad oqish toki potensiallar tenglashgunga qadar davom etadi.

1-sharning potensiali katta deb hisoblab, sharchalar tekkizilganda qancha zaryad oqib o‘tishi, har bir sharchada qanchadan zaryadlar hosil bo‘lishi va qaror topadigan potensialni aniqlaylik. 1-sharning potensiali katta bo‘lgani uchun sharchalar tekkizilganda undan 2-sharga Δq zaryad oqib o‘tadi. Shunda har bir sharchada

$$q_1' = q_1 - \Delta q \text{ va } q_2' = q_2 + \Delta q$$

zaryadlar hosil bo‘ladi. Natijada, har bir sharchada

$$\varphi'_1 = k\frac{q'_1}{R_1} = k\frac{q_1 - \Delta q}{R_1} \text{ va } \varphi'_2 = k\frac{q'_2}{R_2} = k\frac{q_2 + \Delta q}{R_2}$$

potensiallar hosil bo‘ladi. Zaryadlar oqishi to‘xtaganda potensiallar tenglashadi, ya’ni

$$\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'$$

bo‘ladi. Bundan so‘ralgan kattaliklarni topa olamiz.

$$k\frac{q_1 - \Delta q}{R_1} = k\frac{q_2 + \Delta q}{R_2};\ \rightarrow\ q_1R_2 - \Delta q R_2 = q_2R_1 + \Delta q R_1,\ \rightarrow\ q_1R_2 - q_2R_1 = \Delta q\left(R_1 + R_2\right),\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\ \Delta q = \frac{q_1R_2 - q_2R_1}{R_1 + R_2}$$

$$q'_1 = q_1 - \Delta q = q_1 - \frac{q_1R_2 - q_2R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(q_1 + q_2\right),\ \rightarrow\ q'_2 = q_2 + \Delta q =$$

$$= q_2 + \frac{q_1R_2 - q_2R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(q_1 + q_2\right).$$

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\varphi' = \varphi'_1 = k\frac{q_1 - \Delta q}{R_1} = k\frac{q_1 - \dfrac{q_1R_2 - q_2R_1}{R_1 + R_2}}{R_1} = k\frac{q_1 + q_2}{R_1 + R_2}.$$

Shunday qilib, radius va zaryadlari mos holda R_1, q_1 va R_2, q_2 bo‘lgan va 1-sharning potensiali katta deb hisoblaganda ($q_1/R_1 > q_2/R_2$), ular bir-biriga tekkizilganda 2-sharga o‘tgan zaryad miqdori Δq, natijaviy potensial φ' va har bir sharchada qolgan zaryadlar q_1', q_2' quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\Delta q = \frac{q_1R_2 - q_2R_1}{R_1 + R_2}, \quad q'_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(q_1 + q_2), \quad q'_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(q_1 + q_2), \quad \varphi' = k\frac{q_1 + q_2}{R_1 + R_2} \qquad (7.14)$$

2. Agar sharchalarning zaryadlari o‘rniga ularning potensiallari berilgan bo‘lsa, yuqoridagi formulalar qanqay ko‘rinish olishini qarab ko‘raylik.

Zaryadlarning potensiallari dan sharchalardagi zaryad miqdorlari ni topamiz.

$$\begin{cases} \varphi_1 = k\dfrac{q_1}{R_1} \\ \varphi_2 = k\dfrac{q_2}{R_2} \end{cases}; \Rightarrow \begin{cases} q_1 = \dfrac{\varphi_1R_1}{k} \\ q_2 = \dfrac{\varphi_2R_2}{k} \end{cases}$$

So‘ralgan kattaliklarni bundan oldingi chiqarilgan tayyor formulalardan foydalanib topamiz. 1-shardan 2-siga o‘tgan zaryad miqdori

$$\Delta q = \frac{q_1R_2 - q_2R_1}{R_1 + R_2} = \frac{\dfrac{\varphi_1R_1}{k}R_2 - \dfrac{\varphi_2R_2}{k}R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}{k \cdot (R_1 + R_2)}$$

bo‘ladi. 1-sharchadagi zaryad miqdori

$$q'_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(q_1 + q_2) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(\frac{\varphi_1R_1}{k} + \frac{\varphi_2R_2}{k}\right) = \frac{R_1 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2)}{k \cdot (R_1 + R_2)}$$

va 2-sharchadagi zaryad miqdori

$$q'_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(q_1 + q_2) = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(\frac{\varphi_1R_1}{k} + \frac{\varphi_2R_2}{k}\right) = \frac{R_2 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2)}{k \cdot (R_1 + R_2)}$$

bo‘ladi. Hosil bo‘lgan potensial

$$\varphi' = k\frac{q_1 + q_2}{R_1 + R_2} = k\frac{\dfrac{\varphi_1R_1}{k} + \dfrac{\varphi_1R_1}{k}}{R_1 + R_2} = \frac{\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, agar R_1 radiusli sharning potensiali φ_1 bo‘lsa, R_2 radiusli sharning potensiali φ_2 ($\varphi_1 < \varphi_2$) bo‘lsa, bu sharchalar tekkizilganda, 1-shardan 2-sharga oqib o‘tadigan zaryad miqdori Δq, har bir sharchada hosil bo‘ladigan zaryadlar q_1', q_2', qaror topadigan natijaviy potensial φ' quyidagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\Delta q = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}{k \cdot (R_1 + R_2)}, \quad q'_1 = \frac{R_1 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2)}{k \cdot (R_1 + R_2)}, \quad q'_2 = \frac{R_2 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2)}{k \cdot (R_1 + R_2)},$$
$$\varphi' = \frac{\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad (7.15)$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, qaror topadigan potensial o‘rta vaznlilik formulasidan aniqlanar ekan.

3. Radiuslari teng bo‘lgan sharlar tekkizilganda qaror topadigan potensialni aniqlaylik.

Yuqoridagi formuladan foydalanib $R_1=R_2=R$ deb olamiz. Qaror topgan potensial

$$\varphi' = \frac{\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\varphi_1 \cdot R + \varphi_2 \cdot R}{R + R} = \frac{(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot R}{2R} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

bo‘ladi.

Demak, φ_1 va φ_2 potensiallarga ega radiuslari teng bo‘lgan ikki shar tekkizilsa, qaror topadigan natijaviy potensial ularning o‘rta arifmetigi bo‘lar ekan.

$$\varphi' = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \qquad (7.16)$$

4. Zaryadlari teng bo‘lgan sharlar tekkizilganda qaror topadigan potensialni aniqlaylik.

Yuqoridagi formuladan foydalanib $q_1=q_2$ deb olamiz. Qaror topgan potensial

$$\varphi' = \frac{\varphi_1 \cdot R_1 + \varphi_2 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\varphi_1 \cdot k\frac{q_1}{\varphi_1} + \varphi_2 \cdot k\frac{q_2}{\varphi_2}}{k\frac{q_1}{\varphi_1} + k\frac{q_2}{\varphi_2}} = \frac{k(q_1 + q_2)}{k\left(\frac{q_1}{\varphi_1} + \frac{q_2}{\varphi_2}\right)} = \frac{2q}{q\left(\frac{1}{\varphi_1} + \frac{1}{\varphi_2}\right)} = \frac{2\varphi_1\varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2}$$

bo‘ladi.

Demak, φ_1 va φ_2 potensiallarga ega va zaryadlari teng bo‘lgan ikki shar bir-biriga tekkizilsa, qaror topadigan natijaviy potensial ularning o‘rta garmonigi bo‘lar ekan.

$$\varphi' = \frac{2\varphi_1\varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2} \qquad (7.17)$$

5. O‘lchamlari va potensiallari bir xil bo‘lgan bir nechta kickik zaryadli tonchilar qo‘shilib bitta katta tomchini hosil qilganda potensial qanday bo‘lishini aniqlaylik.

Kichkina tomchining potensiali $\varphi_0 = k\frac{q_0}{R_0}$ dan uning zaryadi $q_0 = \frac{\varphi_0 R_0}{k}$ topiladi. Shunday tomchilardan N ta tomchining qo‘shilishidan hosil bulgan katta tomchining natijaviy zaryadi $q = N q_0 = N\frac{\varphi_0 R_0}{k}$, hajmi esa $V=NV_0$ bo‘ladi. Katta tomchining radiusini

SINOV UCHUN BERILGAN

$$V = NV_0, \quad \rightarrow \quad \frac{4}{3}\pi R^3 = N\frac{4}{3}\pi R^3{}_0, \quad \rightarrow \quad R = \sqrt[3]{N}\,R_0$$

bo‘ladi. Natijaviy potensial

$$\varphi = k\frac{q}{R} = k\frac{N\dfrac{\varphi_0 R_0}{k}}{\sqrt[3]{N}\,R_0} = \frac{N}{\sqrt[3]{N}}\varphi_0 = \sqrt[3]{N^2}\,\varphi_0$$

bo‘ladi.

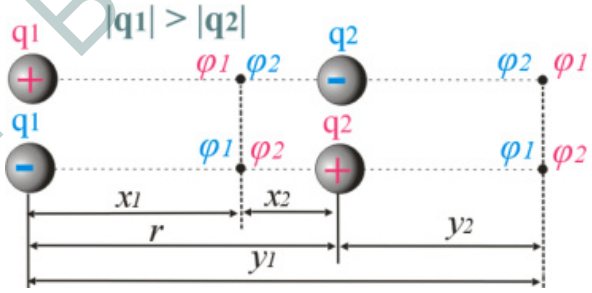
Shunday qilib, zaryadlangan kichik tomchining potensiali φ_0 bo‘lgan bir xil N ta tomchining qo‘shilishidan hosil bulgan katta tomchining natijaviy potensiali φ_{nat} quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\boxed{\varphi_{nat} = \sqrt[3]{N^2}\cdot\varphi_0} \qquad \textbf{(7.18)}$$

6. Agar zaryadlar turli ishorali bo‘lsa, bu zaryadlarni tutashtiruvchi chiziqda shunday 2 ta nuqta mavjudki, bu nuqtalarda zaryadlar hosil qilgan natijaviy potensial nolga teng bo‘ladi. Bu nuqtalar moduli kichik zaryadga yaqin bo‘lib, nuqtalardan biri zaryadlar orasida, ikkinchisi esa tashqarida yotadi. Ana shu nuqtalarning zaryadlardan uzoqliklarini aniqlaylik (7.18-rasm).

1-nuqtada har bir zaryad hosil qilgan potensiallar

$$\begin{cases} |\varphi|_1 = k\dfrac{|q_1|}{x_1} \\ |\varphi|_2 = k\dfrac{|q_2|}{x_2} \end{cases}$$



7.18-rasm

bo‘ladi. Potensialla miqdor jihatidan teng bo‘lgani uchun $\varphi_1 = \varphi_2$ bo‘ladi.

$$k\frac{|q_1|}{x_1} = k\frac{|q_2|}{x_2}, \quad \rightarrow \quad \frac{|q_1|}{x_1} = \frac{|q_2|}{r - x_1}, \quad \rightarrow \quad |q_1|r - |q_1|x_1 = |q_2|x_1, \quad \rightarrow \quad x_1 = \frac{|q_1|}{|q_1| + |q_2|}r$$

$$x_2 = r - x_1 = r - \frac{|q_1|}{|q_1| + |q_2|}r = \frac{|q_2|}{|q_1| + |q_2|}r$$

2-nuqtada har bir zaryad hosil qilgan potensiallar

$$\begin{cases} |\varphi|_1 = k\dfrac{|q_1|}{y_1} \\ |\varphi|_2 = k\dfrac{|q_2|}{y_2} \end{cases}$$

bo‘ladi. Potensiallar miqdor jihatidan teng bo‘lgani uchun $|\varphi|_1 = |\varphi|_2$ bo‘ladi.

$$k\frac{|q_1|}{y_1} = k\frac{|q_2|}{y_2}, \quad \rightarrow \quad \frac{|q_1|}{y_1} = \frac{|q_2|}{y_1 - r}, \quad \rightarrow \quad |q_1|y_1 - |q_1|r = |q_2|y_1, \quad \rightarrow \quad y_1 = \frac{|q_1|}{|q_1| - |q_2|}r$$

$$y_2 = y_1 - r = \frac{|q_1|}{|q_1| - |q_2|}r - r = \frac{|q_2|}{|q_1| - |q_2|}r$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Shunday qilib, agar q_1 va q_2 zaryadlar turli ishorali bulsa, natijaviy potensial nolga teng bo‘ladigan nuqtalarning har bir zaryaddan uzoqliklari quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{|q_1|}{|q_1|+|q_2|}\cdot r \\ x_2 = \dfrac{|q_2|}{|q_1|+|q_2|}\cdot r \end{cases} \quad \text{ёки} \quad \begin{cases} y_1 = \dfrac{|q_1|}{|q_1|-|q_2|}\cdot r \\ y_2 = \dfrac{|q_2|}{|q_1|-|q_2|}\cdot r \end{cases} \qquad (7.19)$$

Bu yerda: x_1 va x_2 (y_1 va y_2) — natijaviy potensial nolga teng buladigan ichki (tashqi) nuqtadan zaryadlargacha bo‘lgan masofalar.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Sirtiy zaryadlangan shar yoki sfera ichida potensial nimaga teng?*
2. *Sirtiy zaryadlangan shar yoki sfera sirtida potensial nimaga teng?.*
3. *Hajmiy zaryadlangan shar ichida potensial nimaga teng?*
4. *Hajmiy zaryadlangan shar sirtida potensial nimaga teng?*
5. *Zaryadlangan sharning tashqarisida potensial nimaga teng?*
6. *Hajmiy va sirtiy zaryadlangan sharlar uchun potensialning masofaga bog‘lanish grafiklarini chizing.*
7. *Zaryadlangan ixtiyoriy o‘tkazgichning qaysi joyida zaryad eng ko‘p to‘planadi?*
8. *Zaryadlangan xalqa o‘qida potenssial nimaga teng? Qaysi nuqtada potensial eng katta bo‘lad?*
9. *Zaryadlangan disk o‘qida potensial nimaga teng? Qaysi nuqtada potensial eng katta bo‘lad?*
10. *Zaryadlangan shar energiyasi uchun formulalar yozing.*
11. *Ekvipotensial sirtlar nima? Ekvipotensial sirtlar uchun misollar keltiring. Maydon kuchlanganlii va ekvipotensial sirtlar orasida qanday bog‘lanish bor?*
12. *Zaryadlari va o‘lchamlari turlicha bo‘lgan sharchalar tekizilganda oqib o‘tgan zaryad miqdori, har bir sharchada hosil bo‘lgan zaryadlar hamda qaror topgan potensial formulalarini yozing.*
13. *Potensiallari va o‘lchamlari turlicha bo‘lgan sharchalar tekizilganda oqib o‘tgan zaryad miqdori, har bir sharchada hosil bo‘lgan zaryadlar hamda qaror topgan potensial formulalarini yozing.*
14. *Radiuslari teng yoki zaryadlari teng bo‘lgan sharlar tekizilganda qaror topadigan potensial qanday bo‘ladi?*

Masala yechish:

1. Elektrostatik maydonning biror nuqtasidagi $5\cdot10^{-6}$ C zaryad $5\cdot10^{-6}$ J potensial energiyaga ega. Shu nuqtadagi maydon potensialini toping (V).

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 1000 B) 100 C) 10 D) 1

Berilgan:

$W = 5 \cdot 10^{-6} J$

$q = 10^{-5} C$

$\varphi = ?$

Yechilishi:

Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}} = 1V$$

Javob: D) 1 V

2. 10^{-12} *C* zaryadga ega bo‘lgan va radiuslari *1 mm* dan bo‘lgan 8 ta simob tomchilari qo‘shilib, bitta tomchi hosil bo‘ldi. Katta tomchi potensiali necha volt?

Berilgan:

$N = 8$

$q = -12C$

$r = 10^{-3} m$

$\varphi = ?$

Yechilishi:

Umumiy potensial potensiallar yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$\varphi_0 = k\frac{q}{r^2} \quad \text{va} \quad \varphi = \frac{\varphi_0 N}{\sqrt[3]{N}}$$

$$\varphi_0 = k\frac{q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-12}}{10^{-3}} = 9V$$

$$\varphi = \frac{\varphi_0 N}{\sqrt[3]{N}} = \frac{9 \cdot 8}{2} = 36V$$

Javob: 36 V

3. Radiusi *5 cm* bo‘lgan va *100 V* potensialgacha zaryadlangan shar radiusi *3 cm* bo‘lgan zaryadsiz shar bilan sim orqali tutashtirilgandan so‘ng sharlarning potensiallari necha volt bo‘ladi?

Berilgan:

$R = 5cm$

$U = 100V$

$r = 3cm$

$\varphi_1 = ?$

Yechilishi:

Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\varphi = \frac{\varphi_1 R_1}{R_1 + r}$$

$$\varphi = \frac{\varphi_1 R_1}{R_1 + r} = \frac{100 \cdot 5}{8} = 62,5V$$

Javob: 62,5 V

§ 8. ELEKTR SIG‘IM. KONDENSATOR VA ULARNING TURLARI. KONDENSATOR ENERGIYASI. ELEKTR MAYDON ENERGIYA ZICHLIGI.

Yakkalangan o‘tkazgichning elektr sig‘imi, o‘zaro elektr sig‘im, kondensator:

Zaryadlangan o‘tkazgichning sirtidagi barcha nuqtalari bir xil potensialli, ya’ni uning sirti ekvipotensial sirtdan iborat bo‘lib, uning potensiali zaryadga bog‘liq bo‘ladi. Shuning uchun, o‘tkazgichning zaryadini bilgan holda uning potensialini va aksincha, o‘tkazgich potensialiga qarab uning zaryadini aniqlash masalasi juda muhim masaladir.

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu masalani hal qilish uchun yangi elektr sig‘imi deb ataluvchi fizik kattalik tushunchasi kiritiladi. Avvalo yakkalangan o‘tkazgichning elektr sig‘imiga to‘xtalib o‘taylik.

Yakkalangan o‘tkazgich deb, elektr jihatidan izolyasiyalangan va boshqa o‘tkazgichlardan yetarlicha uzoqlikda joylashgan o‘tkazgichga aytiladi.

Agar yakkalangan o‘tkazgichga q zaryad berilsa, bu zaryad o‘tkazgichning sirti biror φ potensialli ekvipotensial sirtga aylanguncha o‘tkazgich sirti bo‘ylab tarqaladi. O‘tkazgich sirtining potensiali φ unga berildgan zaryad q ga proporsional ravishda o‘zgarar ekan.

O‘lchashlar natijasida ma’lum bo‘ldiki, o‘tkazgich zaryadini potensialga bo‘lgan nisbati, ya’ni $\frac{q}{\varphi}$ zaryadning katta-kichikligiga bog‘liq bo‘lmasdan, faqat o‘tkazgichning o‘lchami, shakli va o‘tkazgich atrofidagi dielektrikning xususiyatlariga bog‘liq bo‘lar ekan. Bu nisbatga ***yakkalangan o‘tkazgichning elektr sig‘imi*** deyiladi va C harfi bilan belgilanadi.

$$C = \frac{q}{\varphi} \qquad \textbf{(8.1)}$$

Yuqoridagi ifodaga asosan elektr sig‘imni quyidagicha ta’riflash mumkin:

Yakkalangan o‘tkazgichning elektr sig‘imi deb, uning potensialini bir birlikka o‘zgartirish uchun zarur bo‘lgan zaryadga miqdor jihatidan teng bo‘lgan fizik kattalikka aytiladi.

Elektr sig‘imi Farada (F) larda o‘lchanadi. Yakkalangan o‘tkazgichga $1C$ zaryad barilganda u $1V$ potensialga ega bo‘lsa, bu o‘tkazgichning elektr sig‘imi $1F$ ga teng bo‘ladi.

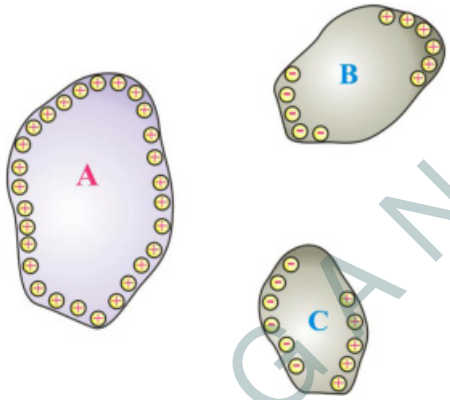
$$1F = \frac{1Kl}{1V} \qquad \textbf{(8.2)}$$

$1C$ elektr zaryadi juda katta zaryad bo‘lgani uchun $1F$ elektr sig‘imi ham juda katta sig‘imdir. Amalda $1F$ elektr sig‘imiga umuman ishimiz tushmaydi. Shuning uchun, masalalarda bu sig‘imning ulushlari mikrofarada (μF), nanofarada (nF), pikofarada (pF) lar bilan ish ko‘ramiz. Masalan, radiusi $R=9\cdot10^6$ km bo‘lgan yakkalangan o‘tkazgich sharning elektr sig‘imi $1F$ ga teng bo‘lar ekan. Bu o‘lcham Yerdan Oygacha bo‘lgan masofadan taxminan 19 marta kattadir. Radiusi Yernikiday keladigan o‘tkazgich sharning elektr sig‘imi taxminan 700 μF ga teng bo‘ladi.

Yuqorida ko‘rdikki, boshqa o‘tkazgichlar ta’siridan izolyatsiyalangan o‘tkazgichlarning sig‘imi juda kichik bo‘lganda ham ularning o‘lchamlari juda katta bo‘lar ekan. Bunday o‘tkazgichlarni elektr sig‘imi sifatida texnikada umuman ishlatib bo‘lmagani sababli kichik o‘lchamli elektr sig‘imlari yaratilgan. Agar o‘tkazgich yakkalanmagan, ya’ni uning yaqinida boshqa o‘tkazgichlar mavjud

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lsa, uning elektr sig‘imi yakkalangan holatdagidan ancha kattaroq bo‘lar ekan (8.1-rasm). Bunga sabab, q zaryadli A o‘tkazgich atrofidagi o‘tkazgichlarning yaqin sirtlarida q zaryadga teskari ishorali induksiyalangan zaryadlar hosil bo‘lib, u ham o‘z o‘rnida A o‘tkazgichning potensialini kamaytiradi va uning elektr sig‘imini oshiradi. O‘tkazgichlar sistemasi hosil qilgan sig‘im ***o‘zaro sig‘im*** deyiladi. Amalda esa oralari dielektrik bilan ajratilgan va qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan o‘tkazgichlar sistemasi yordamida eng katta elektr sig‘imi hosil qilinadi.



8.1-rasm

Agar $+q$ va $-q$ zaryadlar bilan zaryadlangan o‘tkazgichlar sistemasi orasida potensiallar ayirmasi (kuchlanish) $U=\varphi_1-\varphi_2$ bo‘lsa, bu ikki o‘tkazgichning o‘zaro elektr sig‘imi C quyidagicha bo‘ladi:

$$C=\frac{q}{\varphi_1-\varphi_2}=\frac{q}{U} \qquad \textbf{(8.3)}$$

Yuqoridagi ifodaga asosan elektr sig‘imni quyidagicha ta’riflash mumkin:

Ikki o‘tkazgichning o‘zaro elektr sig‘imi deb, ular orasidagi potensiallar ayirmasini bir birlikka o‘zgartirish uchun bir o‘tkazgichdan ikkinchisiga olib o‘tiladigan zaryadga miqdor jihatidan teng bo‘lgan kattalikka aytiladi.

1F elektr sig‘imiga quyidagicha ta’rif ham berish mumkin. Ikki o‘tkazgichning orasida *1V* potensiallar farqi hosil qilinganda har bir o‘tkazgichda *+1C* va *-1C* zaryad hosil bo‘lsa, bu o‘tkazgichlarning o‘zaro elektr sig‘imi *1F* ga teng bo‘ladi.

$$1F=\frac{1Kl}{1V} \qquad \textbf{(8.4)}$$

O‘zida zaryad to‘plash uchun mo‘ljallangan o‘tkazgichlar sistemasiga ***kondensator*** deyiladi. O‘tkazgichlarni esa ***kondensator qoplamalari*** deyiladi. Kondensator lotincha “*kondensatsiya*” so‘zidan olingan bo‘lib, to‘plovchi, quyuqlovchi degan ma’noni anglatadi. Kondensator o‘ziga berilgan zaryadni to‘plovchi va uzoq vaqt saqlovchi qurilmadir. Zaryad kondensatorning qoplamalarida to‘planadi, elektr maydon energiyasi esa qoplamalar orasidagi fazoda to‘planadi. Biz zaryad to‘plovchi turli xil kondensatorlar, ularning elektr sig‘imi va energiyasi bilan tanishib chiqamiz.

Turli kondensatorlarning elektr sig‘imlari:

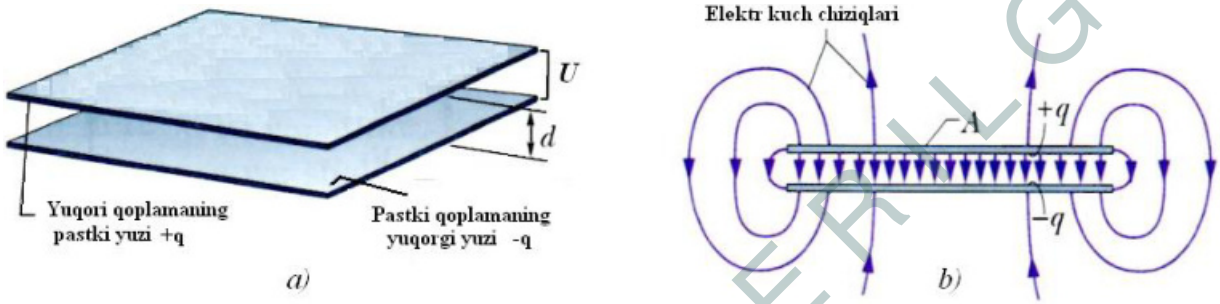
Kondensatorlarning quyidagi turlari bor:

1) yassi kondensator;
2) sferik kondenstaor;
3) yakkalangan shar;

SINOV UCHUN BERILGAN

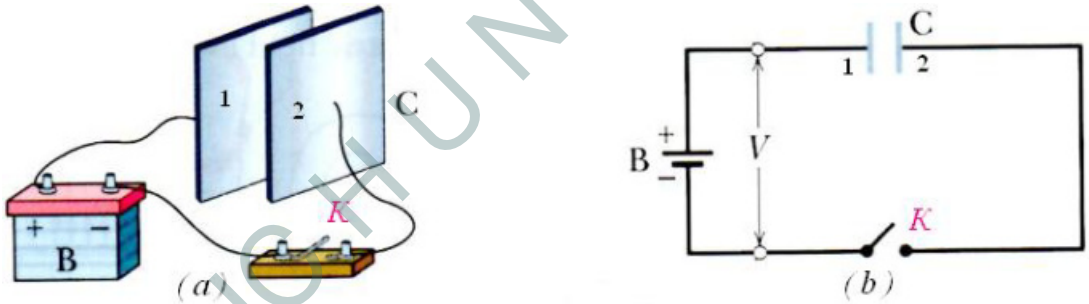
4) slindrik kondensator.

Shu kondensatorlardan turmushda va masalalarda eng ko‘p duch keladiganimiz – bu yassi kondensatordir. Qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan, dielektrik bilan ajratilgan, bir-biriga yaqin turuvchi ikkita parallel o‘tkazgich plastinaga ***yassi kondensator*** deyiladi. Yassi kondensator zaryadlanganda har bir qoplamaning tashqi tomoni elektroneytral bo‘lib, bu qoplamalarning biri-biriga qaragan ichki yuzalarida qarama-qarshi ishorali va teng miqdorda $+q$ va $-q$ zaryadlar to‘planadi. Qoplamalar orasida bir jinsli elektr maydoni hosil bo‘ladi (8.2-*rasm*).



8.2-rasm

Quyida rasmda yassi kondensatorning o‘zgarmas tok manbaiga ulanish rasmi va sxematik ko‘rinishi tasvirlangan.



8.3-rasm

Yassi kondensatorning elektr sig‘imini hisoblash formulasini keltirib chiqaraylik. Buninh uchun sig‘imning umumiy formulasidan foydalanamiz. Unga ko‘ra

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{E\,d} = \frac{q}{\frac{\sigma}{\varepsilon\,\varepsilon_0}d} = \frac{q}{\frac{q}{S\,\varepsilon\,\varepsilon_0}d} = \frac{\varepsilon\,\varepsilon_0\,S}{d}$$

bo‘ladi.

Demak, yassi kondensatorning elektr sig‘imi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$C = \frac{\varepsilon\,\varepsilon_0\,S}{d} \qquad (8.5)$$

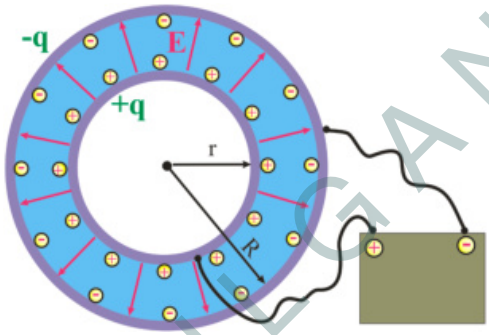
Bu yerda: S – bitta qoplamaning yuzi, d – qoplamalar orasidagi masofa.

Qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan o‘zaro konsentrik ikkita sferik o‘tkazgichga ***sferik kondensator*** deyiladi. Zaryadlar qoplamalarning bir-

SINOV UCHUN BERILGAN

biriga qaragan yuzalarida, elektr maydon energiyasi esa qoplamalar orasidagi fazoda to‘planadi.

Sferik kondensatorning elektr sig‘imini hisoblash formulasini keltirib chiqaraylik. Bunda har bir sferik qoplamada teng miqdorda va qarama-qarshi ishorali zaryadlar yig‘iladi. Elektr maydon kuchlanganligi formulasini integrallash orqali sharlar orasidagi fazoda potensiallar farqini aniqlaymiz.



8.4-rasm

$$E=-\frac{d\varphi}{dr},\ \rightarrow\ d\varphi=-Edr=-k\frac{q}{r^2}dr,\ \rightarrow$$

$$U=\Delta\varphi=\varphi_R-\varphi_r=\int d\varphi=\int_r^R -k\frac{q}{r^2}dr=k\frac{q}{r}\Big|_r^R=$$

$$=k\frac{q}{R}-k\frac{q}{r}=kq\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{r}\right)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{r}\right)$$

Yuqorida hosil bo‘lgan formulada qavs ichidagi ayirma manfiy chiqadi. Bu degani esa r radiusli sharning potensiali R radiusli sharnikidan miqdor bo‘yicha katta deganidir. Bizga esa musbat qiymat chiqadigan formula kerak . Shuning uchun kuchlanish formulasini

$$U=\varphi_r-\varphi_R=kq\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)$$

Ko‘rinishda yozib olamiz. Endi sferik slindr uchun elektr sig‘imi formulasini

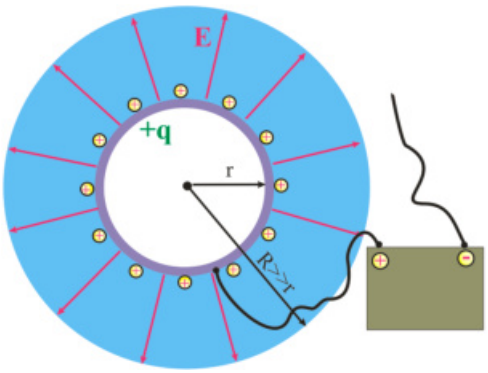
$$C=\frac{q}{U}=\frac{q}{\frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}q\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)}=\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 Rr}{R-r}$$

Umumiy ko‘rinishda hosil qilamiz.

Demak, sferik kondensatorning elektr sig‘imi quyidagicha bo‘lar ekan *(8.4-rasm)*:

$$\boxed{C=\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 Rr}{R-r}} \qquad \textbf{(8.6)}$$

Agar sferik kondensatorda qoplamalar orasidagi R-r=d masofa sferalar o‘lchamlaridan ancha kichik, ya’ni $d<<r\approx R$ bo‘lsa, qoplamalar orasida bir jinsli elektr maydoni hosil bo‘ladi. Bunday kondensator deyarli yassi kondensatorga aylanadi. Chunki, elektr sig‘imini hisoblash formulasi



8.5-rasm

$$C=\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 Rr}{R-r}\approx\frac{4\pi r^2\varepsilon\varepsilon_0}{d}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

xuddi yassi kondensatordagi kabi bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar sferik kondenstorda $R>>r$ bo‘lsa, bunday kondensator ***yakkalangan shar*** deyiladi. Bunda $R>>r$ bo‘lgani uchun $\frac{1}{R}\approx 0$ deb hisoblaymiz. Shunda

$$C=\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 Rr}{R-r}=\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\frac{1}{r}-\frac{1}{R}}\approx\frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\frac{1}{r}-0}=4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r$$

natija kelib chiqadi.

Demak, yakkalangan sharning elektr sig‘imi quyidagi formuladan aniqlanar ekan *(8.5-rasm)*:

$$\boxed{C=4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} \qquad \textbf{(8.7)}$$

Qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan o‘zaro koaksial ikkita slindrik o‘tkazgichga ***slindrik kondensator*** deyiladi. Zaryadlar qoplamalarning bir-biriga qaragan yuzalarida, elektr maydon energiyasi esa qoplamalar orasidagi fazoda to‘planadi. Slindr uzunligi uning radiuslaridan ancha katta, ya’ni $L>>R$ deb hisoblaymiz.

Slindrik kondensatorning elektr sig‘imini hisoblash formulasini keltirib chiqaraylik. Bunda slindr hosil qilgan maydon avval 4-paragrafda zaryadlangan cheksiz uzun ip uchun hisoblab topilgan

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

formula bo‘yicha topiladi. Ixtiyoriy nuqtadagi potensial esa

$$d\varphi=E\,dr=\frac{q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}\frac{dr}{r}$$

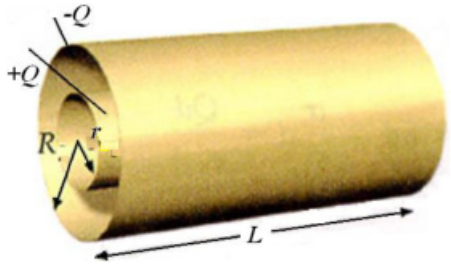
formulaga ko‘ra topiladi. Buni r dan R gacha integrallasak, slindrik qoplamalar orasidagi kuchlanishga ega bo‘lamiz, ya’ni

$$U=\int d\varphi=\frac{q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}\int_r^R\frac{dr}{r}=\frac{q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}\ln\left(\frac{R}{r}\right)$$

bo‘ladi. Endi sig‘im uchun ushbu

$$C=\frac{q}{U}=\frac{q}{\frac{q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}\ln\left(\frac{R}{r}\right)}=\frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

natijani olamiz.



8.6-rasm

Demak, slindrik kondensatorning elektr sig‘imi quyidagicha bo‘lar ekan *(8.6-rasm)*:

$$\boxed{C=\frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}} \qquad \textbf{(8.8)}$$

Agar slindrlar orasidagi masofa $d=R-r$ ularning radiuslaridan juda kichik, ya’ni $d<<r\approx R$ bo‘lsa, qoplamalar orasida bir jinsli elektr maydoni hosil bo‘ladi. Bunday kondensator yassi kondensatorga aylanadi. Chunki, formulada

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\ln\left(\frac{R}{r}\right)=\ln\left(1+\frac{d}{r}\right)\approx\frac{d}{r}$$

bo‘lishini hisobga olsak, ushbu

$$C=\frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{d/r}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 2\pi r L}{d}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

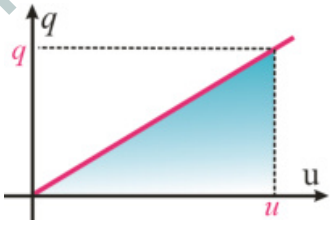
yassi kondensator sig‘imi uchun olingan formula kelib chiqadi.

Kondensator energiyasi, energiya zichligi, ponderomotor kuchlar:

Kondensatorni zaryadlash jarayonida unga elementar dq zaryad berishda elektr kuchlari elementar $dA=Udq=CUdu$ ish bajaradi. Agar buni 0 dan U gacha integrallasak, kondensatorni zaryadlash jarayonidagi jami bajarilgan ish, ya’ni elektr maydon tomonidan kondensator olgan energiya

$$A=\int dA=CU\int_0^U du=\frac{CU^2}{2}=W$$

kelib chiqadi. Boshqacha aytganda, zaryad va kuchlanish bog‘langan grafikda grafik bilan chegaralangan yuza kondensatorni zaryadlashda bajarilgan ishni berar ekan *(8.7-rasm)*.



8.7-rasm

Umumiy holda kondensator energiyasi quyidagi uch ko‘rinishda bo‘lishi mumkin ekan.

$$W=\frac{1}{2}qU=\frac{CU^2}{2}=\frac{q^2}{2C} \qquad (8.9)$$

Masalalar yechishda yassi kondensatorga ko‘p duch kelganimiz bois, yuqoridagi uchta formuladan yassi kondensator uchun yana uchta formula hosil qilish mumkin. Bunda

1) $W=\frac{CU^2}{2}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S E^2 d^2}{2d}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S d}{2}$; 2) $W=\frac{CU^2}{2}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S U^2}{2d}$;

3) $W=\frac{q^2}{2C}=\frac{(\sigma S)^2}{2\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}}=\frac{\sigma^2 S d}{2\varepsilon\varepsilon_0}$

formulalar kelib chiqadi.

Shunday qilib, yassi kondensator energiyasini quyidagi uchta formula yordamida aniqlash mumkin ekan:

$$W=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S d}{2}=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S U^2}{2d}=\frac{\sigma^2 S d}{2\varepsilon\varepsilon_0} \qquad (8.10)$$

Hajm birligiga to‘g‘ri kelgan elektr maydon energiyasiga ***energiya zichligi*** deyiladi. Energiya zichligi ushbu

$$\omega=\frac{W}{V} \qquad (8.11)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

formula yordamida aniqlanadi. Uning o‘lchov birligi $\left[\frac{J}{m^3}\right]$ ga teng.

Xususiy holda yassi kondensator elektr maydon energiya zichligi quyidagi uchta ko‘rinishda bo‘lishi mumkin:

$$\omega = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 U^2}{2d^2} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon \varepsilon_0} \qquad (8.12)$$

Shuni yana bir bor eslatib o‘tish kerakki, barcha turdagi kondensatorlarda zaryad qoplamalarda, maydon energiyasi esa qoplamalar orasidagi fazoda to‘planadi.

Zaryadlangan kondensator qoplamalari har xil ishorali bo‘lgani uchun Kulon qonuniga ko‘ra har xil ishorali zaryadlar bir-biri bilan tortishadi. Tortishish natijasida qoplamalar orasidagi masofa mumkin qadar qisqarishga intiladi. Zaryadlangan makroskopik jismlar orasida vujudga kelgan bunday mexanik kuchni ***ponderomotor kuch*** deyiladi. Umumiy holatda potensial energiya va kuch orasidagi bog‘lanishni ifodalaydigan $W = \vec{F} \cdot \vec{r} = -F\,r$ formulaga ko‘ra ponderomotar kuch quyidagicha bo‘ladi:

$$F = -\frac{W}{r} \qquad (8.13)$$

Bu yerda: (-) ishora qoplamalarning tortishishini bildiradi, W – kondensator energiyasi.

Xususiy holda yassi kondensator uchun ponderomotor kuchni aniqlaydigan yana uchta formula hosil qilish mumkin.

$$F = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2 S}{2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S U^2}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon \varepsilon_0} \qquad (8.14)$$

Ponderomotor kuchlarning kattaligi nisbatan ancha kichik bo‘lib, uni sezish qiyinroqdir. Masalan, $U=100\ V$ kuchlanishga ulangan, yuzasi $S=100\ cm^2$ va qoplamalar orasidagi masofa $d=1\ mm$ bo‘lgan kondensator qoplamalari bir-birlarini taxminan $F \approx 0{,}443\ mN$ kuch bilan tortadilar.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Yakkalangan o‘tkazgich nima? Yakkalangan o‘tkazgich elektr sig‘imi deb nimaga aytiladi?*
2. *O‘zaro o‘tkazgich nima? Uning elektr sig‘imi formulasi qanday? O‘zaro o‘tkazgich yakkalangan o‘tkazgichdan qanday afzallikka ega.*
3. *Kondensator deb nimaga aytiladi? Kondensatorning qanday turlari bor?*
4. *Zaryad va energiya kondensatorning qaysi joyida to‘planadi?*
5. *Turli kondensatorlar uchun elektr sig‘imi formulalarini yozing. Iloji bo‘lsa, keltirib chiqaring.*
6. *Qanday shart bajarilganda sferik va slindrik kondensatorlar yassi kondensatorga aylanadi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

7. *Kondensator energiyasi uchun formulalarni umumiy holda yozib bering.*
8. *Yassi kondensator energiyasi uchun formulalarni xususiy holda yozib bering.*
9. *Energiya zichligi deb nimaga aytiladi? Yassi kondensatorda energiya zichligi qanday formulalar orqali aniqlanadi?*
10. *Ponderomotor kuchlar deb nimaga aytiladi? Yassi kondensator qoplamalarining o'zaro tortishish kuchi formulalarini yozib bering.*

Masala yechish:

1. *Yassi kondensatorning bir plastinkasiga +0,2 C, ikkinchi plastinasiga -0,2 C zaryad berilgan. Plastinalar orasidagi kuchlanish 5 kV. Kondensator sig'imi qanday (μF)?*

A) 80 B) 40 C) 25 D) 10

Berilgan:

$U = 5\ kV$

$q_1 = +0,2\ C$

$q_2 = -0,2\ C$

$C = ?$

Yechilishi:

Elektr sig'imi formulasidan foydalanamiz:

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

$$C = \frac{q}{U} = \frac{0,2}{5 \cdot 10^3} = 40 \cdot 10^{-6}\ F$$

Javob: *B) 40.*

2. *Necha metr radiusli sharning elektr sig'imi vakuumda 1 F ga teng bo'ladi?*

A) $1 \cdot 10^7$ B) $1 \cdot 10^8$ C) $9 \cdot 10^{10}$ D) $9 \cdot 10^9$

Berilgan:

$\varepsilon = 1$

$C = 1\ F$

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

$R = ?$

Yechilishi:

Yakkalangan shar elektr sig'imi formulasidan foydalanamiz:

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R \qquad R = \frac{C}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}$$

$$R = \frac{C}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} = 9 \cdot 10^9\ m$$

Javob: *D) $9 \cdot 10^9$.*

3. *Yassi kondensatorning har bir qoplarnasi yuzi S, ular orasidagi masofa l. Qalinligi d bo'lgan metall plastina qoplamalarga tekkizilmagan holda kondensator ichiga kiritilgan. Kondensatorning sig'imi qanday?*

Berilgan:

$S,\ l,\ d$

$\varphi_u = ?$

Yechilishi:

Bu holda kondensatorni ketma ket ulangan ikki kondensator sifatida qarash mumkin. Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$C_u = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C}{2} = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{2(l-d)}{2}} = \frac{\varepsilon_0 S}{l-d}$$

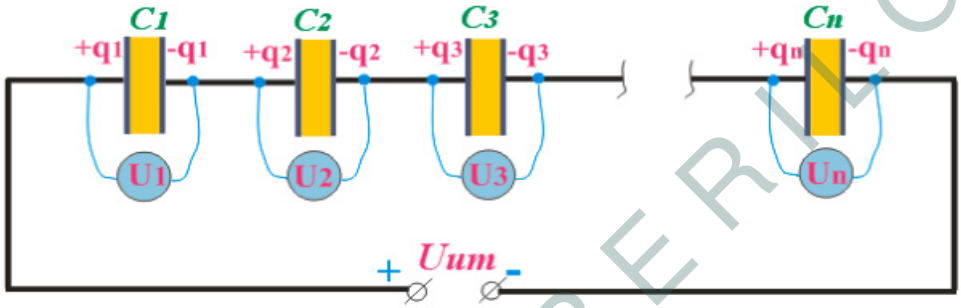
SINOV UCHUN BERILGAN

Javob: $\frac{\varepsilon_0 S}{l-d}$

§ 9. KONDENSATORLARNI KETMA-KET VA PARALLEL ULASH. KONDENSATOR UCHUN XUSUSIY HOLLAR

Kondensatorlarni ketma-ket va parallel ulash:

Kondensatorlarni quyida rasmdagi kabi ulash ketma-ket ulash hisoblanadi. Bunda 1-kondensatorning 2-qoplamsiga 2-kondensatorning 1-qoplamasi, 2-kondensatorning 2-qoplamasiga 3-kondensatorning 1-qoplamasi va hokozo ketma-ketlikda ulanadi (9.1-rasm).



9.1-rasm

Kondensatorlarni ketma-ket ulaganda 1-kondensatorning 1-qoplamasi manbaning (+) qutbiga, oxirgi *n*-kondensatorning 2-qoplamasi esa manbaning (-) qutbiga ulangan bo‘ladi. Oradagi qoplama va kondensatorlar hech qanday manbaga ulanmagan bo‘lsa ular qanday zaryadlanadi degan savol tug‘ilishi tabiiy. Bunga sabab elektrostatika induksiya hodisasidir. Bu yerda oraliqda joylashgan qoplama va kodensatorlar manbaga ulangan ikki chetdagi qoplamalarning elektr maydonida turgani bois, ular elektr maydonga kiritilgan o‘tkazgich vazifasini o‘taydi. Har bir o‘tkazgichning (bir-biriga ulangan qo‘shni kondensator qoplamalarining) qarama-qarshi tomonida teng miqdordagi va qarama-qarshi ishorali zaryadlar to‘planadi. Natijada tok manbaiga ketma-ket ulagan kondensatorlarning har bir qoplamasi teng miqdorda $+q$ va $-q$ zaryadlarga ega bo‘ladi. Shuning uchun ham

$$q_{um} = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n$$

bo‘ladi. Tashqaridan berilgan umumiy kuchlanish barcha kondensatorlarga taqsimlanib ketgani sababli

$$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n$$

bo‘ladi. Umumiy sig‘im esa ushbu

$$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n; \rightarrow \frac{q}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \frac{q_3}{C_3} + ... \frac{q_n}{C_n}; /:q \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{1}{C_{um}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$$

ko‘rinishdaa bo‘ladi

SINOV UCHUN BERILGAN

Shunday qilib, kondensatorlarni ketma-ket ulaganda umumiy zaryad, umumiy kuchlanish va umumiy sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan (9.1-rasm):

$$\begin{aligned} q_{um} &= q_1 = q_2 = q_3 = \ldots = q_n \\ U_{um} &= U_1 + U_2 + U_3 + \ldots + U_n \\ \frac{1}{C_{um}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n} \end{aligned} \qquad (9.1)$$

Kondenstorlar ketma-ket ulanganda hosil bo‘ladigan umumiy sig‘im berilgan kondensator sig‘imlari ichida eng kichik sig‘imdan ham kichikroq bo‘ladi.

Bir xil kondensatorlarning umumiy sig‘imini aniqlaylik. Berilgan barcha sig‘imlar teng bo‘lgani uchun ularning har birini C ga teng deb olamiz. Umumiy sig‘im

$$\frac{1}{C_{um}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \ldots + \frac{1}{C} = \frac{n}{C}, \quad \rightarrow \quad C_{um} = \frac{C}{n}$$

bo‘ladi.

Demak, agar n ta bir xil kondensator ketma-ket ulansa, umumiy sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan:

$$C_{um} = \frac{C}{n} \qquad (9.2)$$

Endi ketma-ket ulangan ikkita kondensatorning umumiy sig‘imini aniqlaylik. Bunda

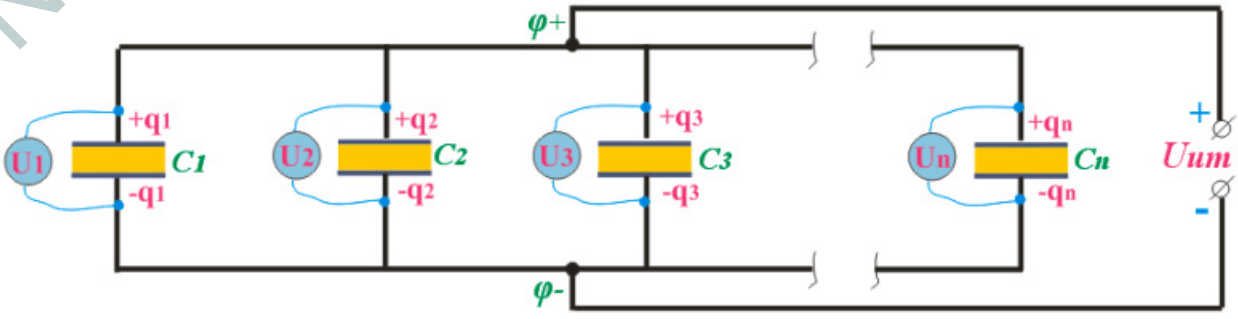
$$\frac{1}{C_{um}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}, \quad \rightarrow \quad C_{um} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

natija chiqadi.

Demak, sig‘imlari C_1 va C_2 bo‘lgan kondensatorlar ketma-ket ulansa, umumiy sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan:

$$C_{umum} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \qquad (9.3)$$

Kondensatorlarni quyida 9.2-rasmdagidek qilib ulash parallel ulash hisoblanadi. Bunda hamma kondensatorlarning 1-qoplamasi manbaning (+) qutbiga, 2-qoplamasi esa manbaning (-) qutbiga ulanadi.



9.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Hamma kondensatorlarning yuqorigi 1-qoplamalari to‘g‘ridan to‘g‘ri manbaning (+) qutbiga ulangan. Shuning uchun, bu qoplamalarning hammasida bir xil manbaning (+) qutbining potensialiga teng bo‘lgan φ_+ potensial hosil bo‘ladi. Hamma kondensatorlarning pastki 2-qoplamalari to‘g‘ridan to‘g‘ri manbaning (-) qutbiga ulangan. Shuning uchun, bu qoplamalarning hammasida bir xil manbaning (-) qutbining potensialiga teng bo‘lgan φ_- potensial hosil bo‘ladi *(9.2-rasm)*. Har bir qoplamadagi potensiallar farqi o‘zaro teng bo‘ladi va bu potensiallar farqi manbaning kuchlanishiga teng, ya’ni $\varphi_+ - \varphi_- = U$ bo‘ladi. Demak, kondensatorlarning hammasidagi kuchlanishlar bir xil va manbaning kuchlanishiga teng, ya’ni

$$U_{um} = U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n$$

bo‘ladi. Kondensatorlar har biri zaryadlanish jarayonida zaryadni tok manbatdan olgani bois kondesatorlar sistemasining umumiy zaryadi barcha kodensatorlarda to‘plangan zaryadlar yig‘indisiga teng, ya’ni

$$q_{um} = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n$$

bo‘ladi. Kondensatorlar sistemasining umumiy sig‘imi

$$q_{um} = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n ; \quad \rightarrow \quad C_{um}U_{um} = C_1U_1 + C_2U_2 + C_3U_3 + ... + C_nU_n / : C \rightarrow$$

$$\rightarrow \quad C_{um} = C_1 + C_2 + C + ... + C_n$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, kondensatorlarni parallel ulaganda umumiy zaryad, umumiy kuchlanish va umumiy sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan (9.2-rasm):

$$\begin{aligned} q_{um} &= q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n \\ U_{um} &= U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n \\ C_{um} &= C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n \end{aligned} \qquad \textbf{(9.4)}$$

Kondenstorlar parallel ulanganda hosil bo‘ladigan umumiy sig‘im berilgan kondensator sig‘imlari ichida eng katta qarshilikdan ham kattaroq bo‘ladi.

Berilgan barcha sig‘imlar teng bo‘lganda ularning har birini C ga teng deb olamiz. Umumiy sig‘im

$$C_{um} = C + C + C + ... + C , \quad \rightarrow \quad C_{um} = nC$$

bo‘ladi.

Agar n ta bir xil kondensator parallel ulansa, umumiy sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan:

$$C_{um} = nC \qquad \textbf{(9.5)}$$

Kondensator uchun xususiy hollar:

Quyida keltirib chiqarilgan formulalar hammasi xususiy formulalar bo‘lib, ular masalalar yechishda hisob ishlarini yengillatish uchun juda qulaydir. Formulalarni bir-biri bilan chalkashtirib yubormaslik uchun raqamlab boramiz.

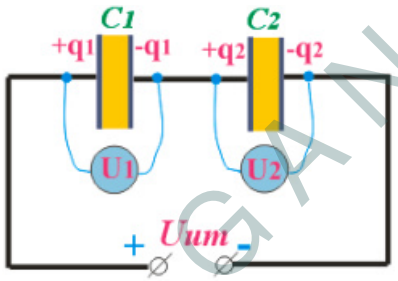
SINOV UCHUN BERILGAN

1. Ketma-ket ulangan turli kondensatorlarning har biridagi kuchlanish tushuvlarini aniqlaymiz.

Ikkita ketma-ket ulangan kondensatorning umumiy sig‘imi

$$C_{um} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

bo‘lib, zaryadlar $q_{um} = q_1 = q_2$ bo‘ladi. Har bir kondensatordagi kuchlanishlar esa



9.3-rasm

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_{um}}{C_1} = \frac{C_{um}U_{um}}{C_1} = \frac{C_1 C_2 U_{um}}{(C_1 + C_2)C_1} = \frac{C_2}{C_1 + C_2}U_{um}$$

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_{um}}{C_2} = \frac{C_{um}U_{um}}{C_2} = \frac{C_1 C_2 U_{um}}{(C_1 + C_2)C_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}U_{um}$$

bo‘ladi.

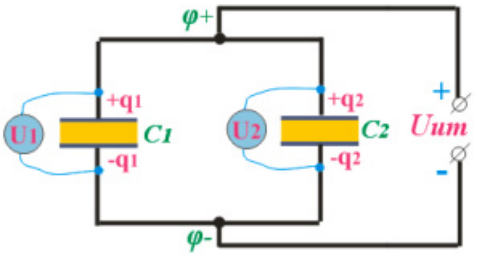
Shunday qilib, C_1 va C_2 sig‘imli kondensatorlarni U kuchlanish manbaiga ketma-ket ulaganda har bir kondensatorda hosil bo‘ladigan kuchlanishlar U_1 va U_2 quyidagicha bo‘lar ekan (9.3-rasm):

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot U \;, \quad U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U \qquad \textbf{(9.6)}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, kondensatorlar ketma-ket ulanganda umumiy kuchlanish kondensatorlarga teskari proporsiya bo‘yicha taqsimlanar ekan. Boshqacha aytganda, katta sig‘imli kondensatorga kichkina kuchlanish to‘g‘ri kelar ekan, ya’ni $\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$ bo‘lar ekan.

2. Parallel ulangan kondensatorlarning har biridagi zaryad miqdorlarini aniqlaymiz.

Bunda $U_{um} = U_1 = U_2$ va $C = \frac{q}{U}$ formulalardan foydalansak, kondensatorlardagi zaryadlar



9.4-rasm

$$q_1 = C_1 U_1 = C_1 U_{um} \text{ va } q_2 = C_2 U_2 = C_2 U_{um}$$

kelib chiqadi.

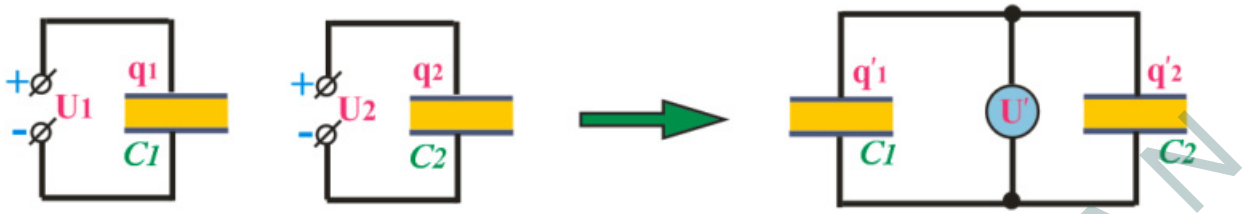
Demak, C_1 va C_2 sig‘imli kondensatorlarni U kuchlanish manbaiga parallel ulaganda har bir kondensatorda xosil bo‘ladigan zaryadlar q_1 va q_2 quyidagicha bo‘lar ekan (9.4-rasm):

$$q_1 = C_1 \cdot U, \qquad q_2 = C_2 \cdot U \qquad \textbf{(9.7)}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, katta sig‘imli kondensatorda ko‘proq zaryad jamlanar ekan, ya’ni $\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}$ bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

3. Zaryad va sig‘imlari ma’lum bo‘lgan ikkita kondensatorni tok manbaidan ajratib, so‘ng bir-biriga ulaganda har biridagi zaryad miqdorlari, oqib o‘tgan zaryad miqdori va qaror topgan kuchlanishlarni aniqlaylik (9.4-rasm).



9.4-rasm

Ikkita kondensator zaryadlanib bo‘lingach bir-biriga ulanganda umumiy sig‘im $C=C_1+C_2$ bo‘ladi. Zaryadlarning saqlanish qonuniga ko‘ra kondensatorlardagi dastlabki zaryadlar yig‘indisi $q_{um}=q_1+q_2$ ular ulangandan keyingi hosil bo‘lgan zaryadlar yig‘indisi $q'_{um}=q'_1+q'_2$ ga teng bo‘ladi, ya’ni $q_1+q_2=q'_1+q'_2$ bo‘ladi. Zaryad katta kuchlanishli kondensatordan kichik kuchlanishli kondensatorga oqib o‘tadi va ulardagi zaryadlar almashinuvi toki ularning kuchlanishi $U'=U'_1=U'_2$ tenglashguncha davom etadi. Endi har bir kondensatorda hosil bo‘ladigan zaryadlarni topish mumkin:

$$q'_1=C_1U'_1=C_1U'=C_1\frac{q'_{um}}{C_{um}}=C_1\frac{q'_1+q'_2}{C_1+C_2}=\frac{C_1}{C_1+C_2}(q_1+q_2)$$

$$q'_2=C_2U'_2=C_2U'=C_2\frac{q'_{um}}{C_{um}}=C_2\frac{q'_1+q'_2}{C_1+C_2}=\frac{C_2}{C_1+C_2}(q_1+q_2)$$

Oqib o‘tgan zaryad miqdori esa dastlabki va oxirgi zaryadlar farqiga teng bo‘ladi

$$\Delta q=q_1-q'_1=q_1-\frac{C_1}{C_1+C_2}(q_1+q_2)=\frac{q_1C_2-q_2C_1}{C_1+C_2}$$

Qaror topgan kuchlanish umumiy zaryadning umumiy sig‘imga nisbatiga teng bo‘ladi. $U'=\frac{q_{um}}{U_{um}}=\frac{q_1+q_2}{C_1+C_2}$

Shunday qilib, q_1 va q_2 zaryadlargacha zaryadlangan C_1 va C_2 sig‘imli kondensatorlarni manbadan uzib, ularni parallel ulanganda, har bir kondensatordagi zaryadlar (q'_1 va q'_2), oqib o‘tgan zaryad miqdori Δq va qaror topgan kuchlanish U' quyidagicha bo‘lar ekan (9.4-rasm):

$$q_1'=\frac{C_1}{C_1+C_2}\cdot(q_1+q_2),\quad q_2'=\frac{C_2}{C_1+C_2}\cdot(q_1+q_2),\quad \Delta q=\frac{q_1C_2-q_2C_1}{C_1+C_2},\quad U'=\frac{q_1+q_2}{C_1+C_2} \tag{9.8}$$

4. Kuchlanish va sig‘imlari ma’lum bo‘lgan ikkita kondensatorni tok manbaidan ajratib, so‘ng bir-biriga ulaganda har biridagi zaryad miqdorlari, oqib o‘tgan zaryad miqdori va qaror topgan kuchlanishlarni aniqlaylik (9.4-rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

Ikkita kondensator zaryadlanib bo‘lingach bir-biriga ulanganda umumiy sig‘im $C=C_1+C_2$ bo‘ladi. Zaryadlarning saqlanish qonuniga ko‘ra kondensatorlardagi dastlabki zaryadlar yig‘indisi $q_{um}=q_1+q_2$ ular ulangandan keyingi hosil bo‘lgan zaryadlar yig‘indisi $q'_{um}=q'_1+q'_2$ ga teng bo‘ladi, ya’ni $q_1+q_2=q'_1+q'_2$ bo‘ladi. Zaryad katta kuchlanishli kondensatordan kichik kuchlanishli kondensatorga oqib o‘tadi va ulardagi zaryadlar almashinuvi toki ularning kuchlanishi $U'=U'_1=U'_2$ tenglashguncha davom etadi.

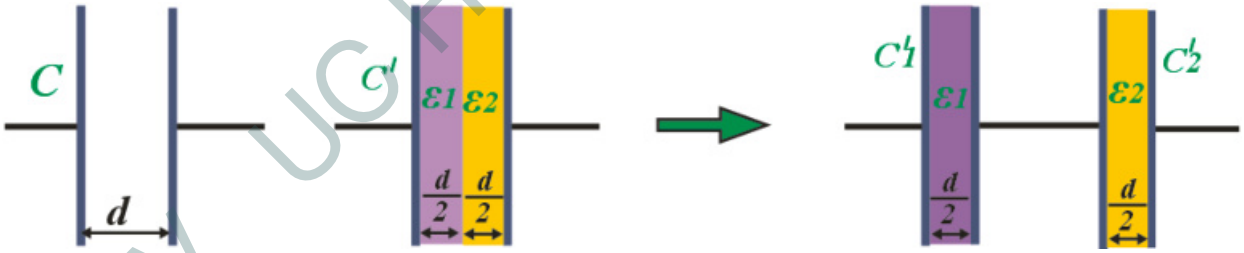
$$U'=\frac{q'_{um}}{C_{um}}=\frac{q'_1+q'_2}{C_1+C_2}=\frac{q_1+q_2}{C_1+C_2}=\frac{C_1U_1+C_2U_2}{C_1+C_2}$$

Qolgan kattaliklarni esa oldingi formuladan keltirib chiqarish qiyin emas.

Demak, U_1 va U_2 potensiallar farqi hosil qilinib, manbadan uzilgan C_1 va C_2 kondensatorlarni o‘zaro parallel ulanganda, har bir kondensatordagi zaryadlar (q'_1 va q'_2), oqib o‘tgan zaryad miqdori Δq va qaror topgan kuchlanish U' quyidagicha bo‘lar ekan (9.4-rasm):

$$q_1'=\frac{C_1}{C_1+C_2}\cdot(C_1\cdot U_1+C_2\cdot U_2)\,,\qquad \Delta q=\frac{(U_1-U_2)C_1C_2}{C_1+C_2}$$
$$q_2'=\frac{C_2}{C_1+C_2}\cdot(C_1\cdot U_1+C_2\cdot U_2)\,,\qquad U'=\frac{C_1\cdot U_1+C_2\cdot U_2}{C_1+C_2} \qquad \textbf{(9.9)}$$

5.1. Kondensator qoplamalari orasidagi qalinlikning yarmiga bir, boshqa yarmiga ikkinchi dielektrik muhit kiritilsa, sig‘im qanday bo‘lishini tekshirib ko‘raylik (9.5-rasm).



9.5-rasm

Berilgan kondensatorning sig‘imi $C=\frac{\varepsilon_0 S}{d}$ ga teng. Bu kondensatorning qoplamalari orasiga singdiruvchanligi ε_1 va ε_2 bo‘lgan dielektriklar kiritilganda sig‘imi C' bo‘lgan yangi kondensator hosil bo‘ladi. Bu kondensatorlarni sig‘imlari C'_1 va C'_2 bo‘lgan ikkita ketma-ket ulangan kondensatorlar deb hisoblash mumkin. Bunda ular

$$C'_1=\frac{\varepsilon_1\varepsilon_0 S}{d/2}=2\varepsilon_1 C \text{ va } C'_2=\frac{\varepsilon_2\varepsilon_0 S}{d/2}=2\varepsilon_2 C$$

sig‘imlarga ega bo‘ladilar. Natijaviy sig‘im

$$C'=\frac{C'_1C'_2}{C'_1+C'_2}=\frac{2\varepsilon_1 C\cdot 2\varepsilon_2 C}{2\varepsilon_1 C+2\varepsilon_2 C}=\frac{2\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}C$$

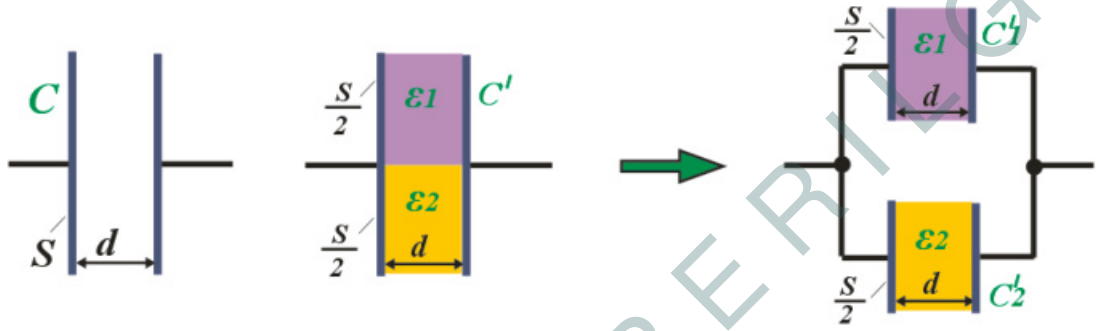
SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘ladi.

Demak, sig‘imi C bo‘lgan yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi masofaning yarmi ε_1 dielektrik bilan, qolgan yarmi ε_2 dielektrik bilan to‘ldirilsa, hosil bo‘lgan sig‘im C' quyidagicha o‘zgaradi ekan (9.5-rasm):

$$C' = \frac{2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \cdot C \qquad (9.10)$$

5.2. Kondensator qoplamalari orasiga yuzaning yarmiga bir, boshqa yarmiga ikkinchi dielektrik muhit kiritilsa, sig‘im qanday bo‘lishini tekshirib ko‘raylik (9.6-rasm).



59.6-rasm

Berilgan kondensatorning sig‘imi $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$ ga teng. Bu kondensatorning qoplamalari orasiga singdiruvchanligi ε_1 va ε_2 bo‘lgan dielektriklar kiritilganda sig‘imi C' bo‘lgan yangi kondensator hosil bo‘ladi. Bu kondensatorlarni sig‘imlari C'_1 va C'_2 bo‘lgan ikkita parallel ulangan kondensatorlar deb hisoblash mumkin. Bunda ular

$$C'_1 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S/2}{d} = \frac{\varepsilon_1}{2} C \text{ va } C'_2 = \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_0 S/2}{d} = \frac{\varepsilon_2}{2} C$$

sig‘imlarga ega bo‘ladilar. Natijaviy sig‘im

$$C' = C'_1 + C'_2 = \frac{\varepsilon_1}{2} C + \frac{\varepsilon_2}{2} C = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} C$$

bo‘ladi.

Demak, sig‘imi C bo‘lgan yassi kondensatorning qoplamalari yuzasining yarmi ε_1 dielektrik bilan, qolgan yarmini esa ε_2 dielektrik bilan to‘ldirilsa, hosil bo‘lgan sig‘im C' quyidagicha o‘zgaradi (9.6-rasm):

$$C' = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \cdot C \qquad (9.11)$$

Bundan keyingi formulalarga o‘tishdan oldin quyidagilarni eslatib o‘tamiz.

1) Agar kondensator tok manbaiga ulangan bo‘lsa, qoplamalar orasidagi masofani o‘zgartirish yoki qoplamalar orasiga dielektrik kiritishdan qat’iy nazar kuchlanish o‘zgarmasligicha qoladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

2) Agar kondensator zaryadlab so‘ng tok manbaidan ajratilgan bo‘lsa, qoplamalar orasidagi masofani o‘zgartirish yoki qoplamalar orasiga dielektrik kiritishdan qat’iy nazar qoplamalardagi zaryad miqdori o‘zgarmasligichi qoladi.

6.1. Zaryadlab manbadan uzilgan kondensator qoplamalari orasiga dielektrik kiritganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.7-rasm).

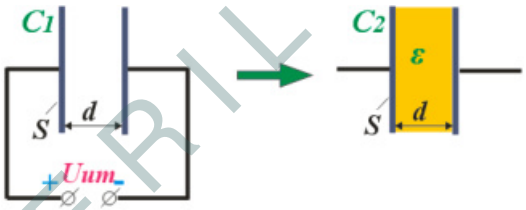
Sig‘im dastlab $C_1=\frac{\varepsilon_0 S}{d}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}=\varepsilon C_1$ bo‘ladi.

Manbadan uzilgani uchun $q_2=q_1$ bo‘ladi.

Kuchlanish dastlab $U_1=\frac{q_1}{C_1}$ bo‘lsa, so‘ngra

$$U_2=\frac{q_2}{C_2}=\frac{q_1}{\varepsilon C_1}=\frac{U_1}{\varepsilon}$$

bo‘ladi.



9.7-rasm

Energiya dastlab $W_1=\frac{q_1U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2=\frac{q_2U_2}{2}=\frac{q_1U_1}{2\varepsilon}=\frac{W_1}{\varepsilon}$ bo‘ladi. Bunda energiya ε marta kamaymoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Energiya yo‘qolmasdan, balki dielektrikni qutblantirishga sarf bo‘lgan.

Kuchlanganlik dastlab $E_1=\frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra esa $E_2=\frac{U_2}{d_2}=\frac{U_1}{\varepsilon d_1}=\frac{E_1}{\varepsilon}$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar zaryadlab ***manbadan uzilgan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasiga singdiruvchanligi ε bo‘lgan dielektrik kiritilsa, u holda *C, q, U, W, E* kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.7-rasm):

$$C_2=\varepsilon\cdot C_1,\quad q_2=q_1,\quad U_2=\frac{U_1}{\varepsilon},\quad W_2=\frac{W_1}{\varepsilon},\quad E_2=\frac{E_1}{\varepsilon} \qquad \textbf{(9.12)}$$

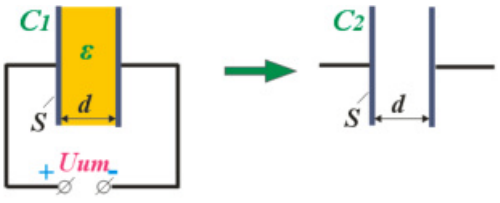
6.2. Zaryadlab manbadan uzilgan kondensator qoplamalari orasidagi dielektrik olib tashlanganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.8-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2=\frac{\varepsilon_0 S}{d}=\frac{C_1}{\varepsilon}$ bo‘ladi.

Manbadan uzilgani uchun $q_2=q_1$ bo‘ladi.

Kuchlanish dastlab $U_1=\frac{q_1}{C_1}$ bo‘lsa, so‘ngra

$$U_2=\frac{q_2}{C_2}=\frac{\varepsilon q_1}{C_1}=\varepsilon U_1$$



9.8-rasm

bo‘ladi.

Energiya dastlab $W_1=\frac{q_1U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2=\frac{q_2U_2}{2}=\frac{q_1\varepsilon U_1}{2}=\varepsilon W_1$ bo‘ladi. Bunda energiya ε marta ortmoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Energiya yo‘qdan bor bo‘lmasdan, balki dielektrikni chiqarib olishga tashqi kuch $A=W_2-W_1=(\varepsilon-1)W_1$ ga teng ish bajaradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

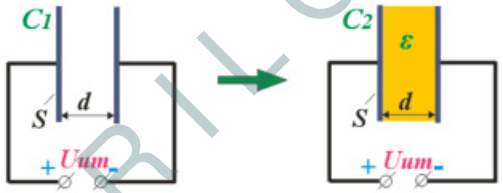
Kuchlanganlik dastlab $E_1 = \frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{\varepsilon U_1}{d_1} = \varepsilon E_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar zaryadlab ***manbadan uzilgan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi singdiruvchanligi ε bo‘lgan dielektrik olib tashlansa, u holda C, q, U, W, E kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.8-rasm):

$$C_2 = \frac{C_1}{\varepsilon};\quad q_2 = q_1,\quad U_2 = \varepsilon \cdot U_1,\quad W_2 = \varepsilon \cdot W_1,\quad E_2 = \varepsilon \cdot E_1 \qquad (9.13)$$

6.3. Manbaga ulangan kondensator qoplamalari orasiga dielektrik kiritganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.9-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} = \varepsilon C_1$ bo‘ladi.



9.9-rasm

Manbaga ulangani uchun $U_2 = U_1$ bo‘ladi.

Zaryad dastlab $q_1 = C_1 U_1$ bo‘lsa, so‘ngra

$$q_2 = C_2 U_2 = \varepsilon C_1 U_1 = \varepsilon q_1$$

bo‘ladi.

Energiya dastlab $W_1 = \frac{q_1 U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2 = \frac{q_2 U_2}{2} = \frac{\varepsilon q_1 U_1}{2} = \varepsilon W_1$ bo‘ladi. Bunda energiya ε marta ortmoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Qo‘shimcha energiya tok manbaidan olinadi.

Kuchlanganlik dastlab $E_1 = \frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U_1}{d_1} = E_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar ***manbaga ulangan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasiga singdiruvchanligi ε bo‘lgan dielektrik kiritilsa, u holda C, q, U, W, E kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.9-rasm):

$$C_2 = \varepsilon \cdot C_1,\quad q_2 = \varepsilon \cdot q_1,\quad U_2 = U_1,\quad W_2 = \varepsilon \cdot W_1,\quad E_2 = E_1 \qquad (9.14)$$

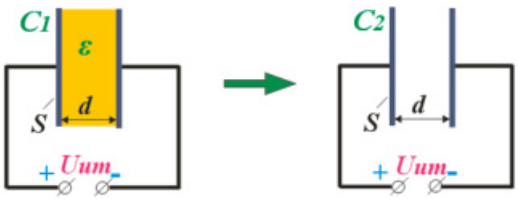
6.4. Manbaga ulangan kondensator qoplamalari orasidagi dielektrik olib tashlanganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.10-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{C_1}{\varepsilon}$ bo‘ladi.

Manbaga ulangani uchun $U_2 = U_1$ bo‘ladi.

Zaryad dastlab $q_1 = C_1 U_1$ bo‘lsa, so‘ngra $q_2 = C_2 U_2 = \frac{C_1}{\varepsilon} U_1 = \frac{q_1}{\varepsilon}$ bo‘ladi.

Energiya dastlab $W_1 = \frac{q_1 U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2 = \frac{q_2 U_2}{2} = \frac{q_1 U_1}{2\varepsilon} = \frac{W_1}{\varepsilon}$ bo‘ladi. Bunda energiya ε marta kamaymoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Energiya yo‘qolmasdan, balki tok manbaiga qaytariladi.



9.10-rasm

SINOVDAN O‘TKAZILGAN

Kuchlanganlik dastlab $E_1 = \frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U_1}{d_1} = E_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar ***manbaga ulangan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi singdiruvchanligi ε bo‘lgan dielektrik olib tashlansa, u holda *C, q, U, W, E* kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.10-rasm):

$$C_2 = \frac{C_1}{\varepsilon}, \quad q_2 = \frac{q_1}{\varepsilon}, \quad U_2 = U_1, \quad W_2 = \frac{W_1}{\varepsilon}, \quad E_2 = E_1 \qquad (9.15)$$

7.1. Zaryadlab manbadan uzilgan kondensator qoplamalari orasidagi masofa kamaytirilganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (59.11-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2} = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1 / k} = k C_1$ bo‘ladi.



9.11-rasm

Manbadan uzilgani uchun $q_2 = q_1$ bo‘ladi.

Kuchlanish dastlab $U_1 = \frac{q_1}{C_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_1}{k C_1} = \frac{U_1}{k}$ bo‘ladi.

Energiya dastlab $W_1 = \frac{q_1 U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2 = \frac{q_2 U_2}{2} = \frac{q_1 U_1}{2k} = \frac{W_1}{k}$ bo‘ladi. Bunda energiya k marta kamaymoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Energiya yo‘qolmasdan, balki qoplamalarni yaqinlashtirishda elektr maydon o‘z hisobidan ish bajarmoqda.

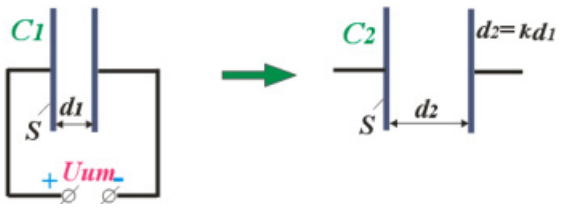
Kuchlanganlik dastlab $E_1 = \frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U_1 / k}{d_1 / k} = \frac{U_1}{d_1} = E_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar zaryadlab ***manbadan uzilgan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi masofa k marta kamaytirilsa, u holda *C, q, U, W, E* kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.11-rasm):

$$C_2 = k \cdot C_1, \quad q_2 = q_1, \quad U_2 = \frac{U_1}{k}, \quad W_2 = \frac{W_1}{k}, \quad E_2 = E_1 \qquad (9.16)$$

7.2. Zaryadlab manbadan uzilgan kondensator qoplamalari orasidagi masofa oshirilganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.12-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2} = \frac{\varepsilon_0 S}{k d_1} = \frac{C_1}{k}$ bo‘ladi.



9.12-rasm

Manbadan uzilgani uchun $q_2 = q_1$ bo‘ladi.

Kuchlanish dastlab $U_1 = \frac{q_1}{C_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_1}{C_1 / k} = k U_1$ bo‘ladi.

SINOVUCHUN BERILGAN

Energiya dastlab $W_1=\frac{q_1U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2=\frac{q_2U_2}{2}=\frac{q_1kU_1}{2}=kW_1$ bo‘ladi. Bunda energiya k marta ortmoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Energiya yo‘qdan bor bo‘lmasdan, qoplamalarni uzoqlashtirishda tashqi kuch ish bajarmoqda.

Kuchlanganlik dastlab $E_1=\frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2=\frac{U_2}{d_2}=\frac{kU_1}{kd_1}=\frac{U_1}{d_1}=E_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar zaryadlab ***manbadan uzilgan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi masofa k marta oshirilsa, u holda C, q, U, W, E kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.12-rasm):

$$C_2=\frac{C_1}{k},\quad q_2=q_1,\quad U_2=k\cdot U_1,\quad W_2=k\cdot W_1,\quad E_2=E_1 \qquad \textbf{(9.17)}$$

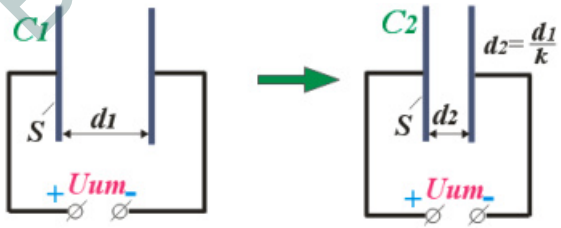
7.3. Manbaga ulangan kondensator qoplamalari orasidagi masofa kamaytirilganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.13-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1=\frac{\varepsilon_0 S}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2=\frac{\varepsilon_0 S}{d_2}=\frac{\varepsilon_0 S}{d_1/k}=kC_1$ bo‘ladi.

Manbaga ulangani uchun $U_2=U_1$ bo‘ladi.

Zaryad dastlab $q_1=C_1U_1$ bo‘lsa, so‘ngra $q_2=C_2U_2=kC_1U_1=kq_1$ bo‘ladi.

Energiya dastlab $W_1=\frac{q_1U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2=\frac{q_2U_2}{2}=\frac{kq_1U_1}{2}=kW_1$ bo‘ladi.



9.13-rasm

Bunda energiya k marta ortmoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Qo‘shimcha energiya tok manbaidan olinadi.

Kuchlanganlik dastlab $E_1=\frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2=\frac{U_2}{d_2}=\frac{U_1}{d_1/k}=kE_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar ***manbaga ulangan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi masofa k marta kamaytirilsa, u holda C, q, U, W, E kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.13-rasm):

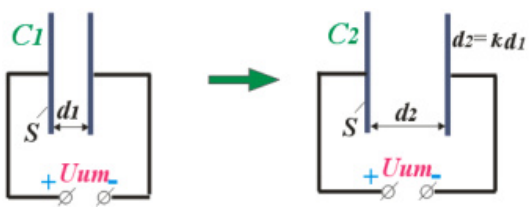
$$C_2=k\cdot C_1,\quad q_2=k\cdot q_1,\quad U_2=U_1,\quad W_2=k\cdot W_1,\quad E_2=k\cdot E_1 \qquad \textbf{(9.18)}$$

7.4. Manbaga ulangan kondensator qoplamalari orasidagi masofa oshirilganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.14-rasm).

Sig‘im dastlab $C_1=\frac{\varepsilon_0 S}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $C_2=\frac{\varepsilon_0 S}{d_2}=\frac{\varepsilon_0 S}{kd_1}=\frac{C_1}{k}$ bo‘ladi.

Manbaga ulangani uchun $U_2=U_1$ bo‘ladi.

Zaryad dastlab $q_1=C_1U_1$ bo‘lsa, so‘ngra



9.14-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

$q_1 = C_2U_2 = \frac{C_1}{k}U_1 = \frac{q_1}{k}$ bo‘ladi.

Energiya dastlab $W_1 = \frac{q_1U_1}{2}$ bo‘lsa, so‘ngra $W_2 = \frac{q_2U_2}{2} = \frac{q_1U_1}{2k} = \frac{W_1}{k}$ bo‘ladi. Bunda energiya k marta kamaymoqda. Bu yerda ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Energiya yo‘qolmasdan, balki tok manbaining o‘ziga qaytariladi.

Kuchlanganlik dastlab $E_1 = \frac{U_1}{d_1}$ bo‘lsa, so‘ngra $E_2 = \frac{U_2}{d_2} = \frac{U_1}{k\,d_1} = \frac{E_1}{k}$ bo‘ladi.

Shunday qilib, agar ***manbaga ulangan*** yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi masofa k marta oshirilsa, u holda C, q, U, W, E kattaliklari quyidagicha o‘zgarar ekan (9.14-rasm):

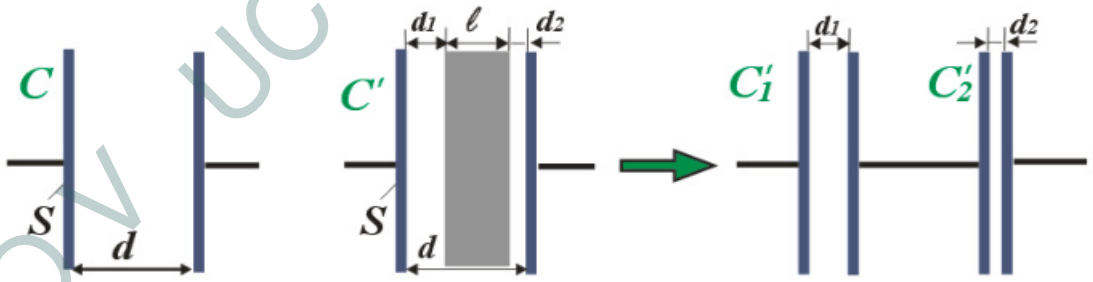
$$C_2 = \frac{C_1}{k}, \quad q_2 = \frac{q_1}{k}, \quad U_2 = U_1, \quad W_2 = \frac{W_1}{k}, \quad E_2 = \frac{E_1}{k} \qquad \textbf{(9.19)}$$

8.1. Kondensator qoplamalari orasiga o‘rkazgich plastina kiritilganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.15-rasm).

Berilgan kondensatorning sig‘imi $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$ ga teng. Berilgan kondensator qoplamalari orasiga metall o‘tkazgich kiritilganda, qoplamalari orasidagi masofalar d_1 va d_2 bo‘lgan ketma-ket ikkita kondensator hosil bo‘ladi. Bu kondensatorlarning sig‘imlari

$$C_1' = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1} \quad \text{va} \quad C_2' = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2}$$

bo‘ladi. Bu yerda $d_1 + d_2 = d - \ell$ bo‘ladi. Natijaviy sig‘im C' ikkita ketma-ket ulangan C_1' va C_2' sig‘imlardan hisoblab topiladi.



9.15-rasm

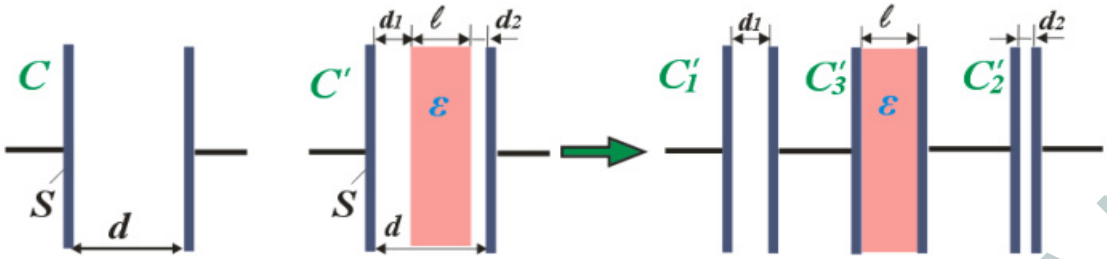
$$C' = \frac{C_1'C_2'}{C_1' + C_2'} = \frac{\frac{\varepsilon_0 S}{d_1}\frac{\varepsilon_0 S}{d_2}}{\frac{\varepsilon_0 S}{d_1} + \frac{\varepsilon_0 S}{d_2}} = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1 + d_2} = \frac{\varepsilon_0 S}{d - \ell} = \frac{d}{d - \ell}\frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{d}{d - \ell}C$$

Shunday qilib, agar sig‘imi C bo‘lgan yassi kondensator qoplamalari orasiga $\ell\,(\ell < d)$ qalinlikdagi o‘tkazgich plastina kiritilsa, hosil bo‘lgan sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan (9.15-rasm):

$$C' = \frac{d}{d - \ell}C \qquad \textbf{(9.20)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

8.2. Kondensator qoplamalari orasiga dielektrik plastina kiritilganda nima bo‘lishini qarab ko‘raylik (9.16-rasm).



9.16-rasm

Berilgan kondensatorning sig‘imi $C=\frac{\varepsilon_0 S}{d}$ ga teng. Berilgan kondensator qoplamalari orasiga dielektrik kiritilganda, qoplamalari orasidagi masofalar d_1, d_2 va ℓ bo‘lgan ketma-ket uchta kondensator hosil bo‘ladi. Bu kondensatorlarning sig‘imlari

$$C_1'=\frac{\varepsilon_0 S}{d_1}, C_2'=\frac{\varepsilon_0 S}{d_2} \text{ va } C_3'=\frac{\varepsilon_0 S}{\ell}$$

bo‘ladi. Bu yerda $d_1+d_2=d-\ell$ bo‘ladi. Natijaviy sig‘im C' uchta ketma-ket ulangan C_1', C_2' va C_3' sig‘imlardan hisoblab topiladi.

$$\frac{1}{C'}=\frac{1}{C_1'}+\frac{1}{C_2'}+\frac{1}{C_3'}=\frac{d_1}{\varepsilon_0 S}+\frac{d_2}{\varepsilon_0 S}+\frac{\ell}{\varepsilon\varepsilon_0 S}=\frac{\varepsilon(d_1+d_2)+\ell}{\varepsilon\varepsilon_0 S}=\frac{\varepsilon(d-\ell)+\ell}{\varepsilon\varepsilon_0 S}=\frac{\varepsilon d+(1-\varepsilon)\ell}{\varepsilon\varepsilon_0 S},\ \rightarrow$$

$$C'=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\varepsilon d+(1-\varepsilon)\ell}=\frac{\varepsilon d}{\varepsilon d+(1-\varepsilon)\ell}\frac{\varepsilon_0 S}{d}=\frac{\varepsilon d}{\varepsilon d+(1-\varepsilon)\ell}C$$

Shunday qilib, agar sig‘imi C bo‘lgan yassi kondensator qoplamalari orasiga $\ell(\ell<d)$ qalinlikdagi singdiruvchanligi ε bo‘lgan dielektrik kiritilsa, hosil bo‘lgan sig‘im quyidagicha bo‘lar ekan (9.16-rasm):

$$C'=\frac{\varepsilon d}{\varepsilon d+(1-\varepsilon)\ell}C \qquad (9.21)$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan formulalar xususiy formulalar hisoblanib, ulardan foydalanish masalalar yechishda juda ham qulaydir. Undan tashqari bir necha bosqichli masalalar yechishda o‘quvchilarda formulalar bilan ishlash ko‘nikmasini shakllantiradi.

Mavzu yuzasidan savollar:

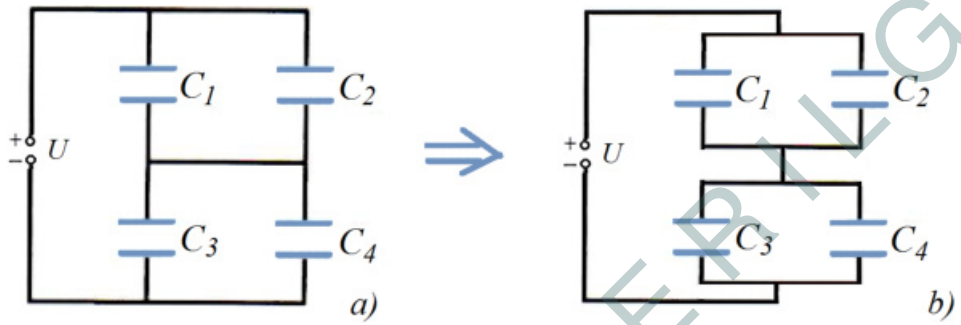
1. *Kondensatorlarni ketma-ket ulaganda umumiy kuchlanish, umumiy zaryad va umumiy sig‘im qanday bo‘ladi?*
2. *Kondensatorlarni parallel ulaganda umumiy kuchlanish, umumiy zaryad va umumiy sig‘im qanday bo‘ladi?*
3. *Ketma-ket ulaganda kondensatorlarga kuchlanish qanday taqsimlanadi?*
4. *Sig‘im va zaryadlari ma’lum bo‘lgan kondensatorlar ulanganda oqib o‘tgan zaryad, har biridagi zaryad va qaror topgan potensial qanday bo‘ladi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

5. *Sig‘im va potensiallari ma’lum bo‘lgan kondensatorlar ulanganda oqib o‘tgan zaryad, har biridagi zaryad va qaror topgan potensial qanday bo‘ladi?*
6. *Qoplamalr orasiga o‘tkazgich kiritilganda sig‘im qanday o‘zgaradi?*
7. *Qoplamalr orasiga dielektrik kiritilganda sig‘im qanday o‘zgaradi?*

Masala yechish:

1. *a-razsmdagi zanjir U=12 V tok manbaiga ulangan. Kondensatorlar sig‘imlari* $C_1 = C_4 = 2\,\mu F$, $C_2 = 4\,\mu F$ *va* $C_3 = 1\,\mu F$ *ga teng. 1- va 4-kondensatorlardagi elektr zaryad miqdorlarini aniqlang.*



Berilgan:

$C_1 = C_4 = 2\,\mu F$
$C_2 = 4\,\mu F$
$C_3 = 1\,\mu F$
$U = 12V$

$q_1 = ?, q_4 = ?$

Yechilishi:

Avvalo tushunishga oson bo‘lish uchun a-rasmdan unga ekvivalent bo‘lgan b-rasmga o‘tamiz. b-rasmdan ko‘rinadiki, C1 va C2 kondensatorlar o‘zaro parallel bo‘lib, unga ketma-ket ravishda C3 va C4 kondensatorlar o‘zaro parallel ulangan. Shunga ko‘ra sig‘imlarni topamiz.

$$C_{12} = C_1 + C_2 = 6\,\mu F, \quad C_{34} = C_3 + C_4 = 3\,\mu F$$

$$C_{um} = \frac{C_{12} \cdot C_{34}}{C_{12} + C_{34}} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2\,\mu F$$

Elektr zaryadlarini va kuchlanish tushuvlarini aniqlaymiz.

$$Q_{um} = C_{um} U = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 24 \cdot 10^{-6} C = 24\,\mu C, \quad q_{12} = q_{34} = Q_{um} = 24\,\mu C$$

$$U_{12} = \frac{q_{12}}{C_{12}} = \frac{24 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} = 4V, \quad U_1 = U_2 = U_{12} = 4V$$

$$U_{34} = \frac{q_{34}}{C_{34}} = \frac{24 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6}} = 8V, \quad U_3 = U_4 = U_{34} = 8V$$

Endi so‘ralgan kattaliklarni topamiz.

$$q_1 = C_1 U_1 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 8 \cdot 10^{-6} C = 8\,\mu C, \quad q_4 = C_4 U_4 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 8 = 16 \cdot 10^{-6} C = 16\,\mu C$$

Javob: $q_1 = 8\,\mu C;\ q_4 = 16\,\mu C$

2. *Rasmda* $C_1 = 1\,\mu F$ *va* $C_2 = 3\,\mu F$ *elektr sig‘imli kondensatorlar berilganbo‘lib ular U=100 V kuchlanishgacha zaryadlangan, lekin teskari holda. S1 va S2*

SINOV UCHUN BERILGAN

kalitlar qo‘shilganda a va b nuqtalar orasidagi kuchlanish qanday bo‘ladi? Har bir kondensatordagi zaryad miqdorlari qanday bo‘ladi?

Berilgan:

$C_1 = 1\,\mu F$

$C_2 = 3\,\mu F$

$U = 100V$

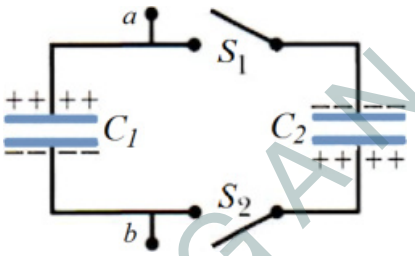
$U' = ?$

$q_1', q_2' - ?$

Yechilishi:

Mavzuda keltirib chiqarilgan formuladan foydalanamiz.

$$U' = \frac{C_2U_2 - C_1U_1}{C_1 + C_2} = \frac{C_2 - C_1}{C_1 + C_2}U = \frac{3-1}{3+1}\cdot 100 = 50V$$



Kondensatorlardagi zaryadlarni aniqlaymiz.

$$q_1' = C_1U' = 10^{-6}\cdot 50 = 50\,\mu C$$

$$q_2' = C_2U' = 3\cdot 10^{-6}\cdot 50 = 150\,\mu C$$

Javob: $U' = 50V;\ q_1' = 50\,\mu C;\ q_2' = 150\,\mu C$

I BOBGA DOIR TESTLAR

1. Neytral jismdan $5\cdot 10^{13}$ ta elektron olindi. Jismning zaryadini (μC) toping. $e = -1{,}6\cdot 10^{-19}C$.

A) 0,32 B) 1,6 C) 8 D) 6

2. Agar elektrlangan jismda 4000 ta elektron etishmasa, u qanday zaryadlangan bo‘ladi (C)?

A) $-6{,}4\cdot 10^{-19}$ B) $-6{,}4\cdot 10^{-22}$

C) $-6{,}4\cdot 10^{-16}$ D) $+6{,}4\cdot 10^{-16}$

3. *NaCl* kristallidagi ikkita qo‘shni ionlar orasidagi o‘rtacha masofa $3\cdot 10^{-8}$ *cm* bo‘lsa, ular qanday (nN) kuch bilan ta’sirlashadi?

A) 1 B) 2,56 C) 5,5 D) 3,2

4. Uzunliklari l bo‘lgan iplarga mahkamlangan ikki sharcha bir nuqtaga osib qo‘yilgan. Vaznsizlik holatida sharchalarga bir xil ishorali zaryadlar berilsa, ular bir-biridan qanday masofaga uzoqlashishlari mumkin?

A) $\sqrt{3l}$ B) l C) $l/2$ D) $2l$

5. Uzunligi *100 cm* bo‘lgan iplarda bir nuqtaga osilgan, har birining massasi *0,25g* bo‘lgan $q_1=q_2$ zaryadli ikkita sharcha bir-biridan *6 cm* qochgan. Har bir sharchaning zaryadi nechan C ga teng?

A) 5,4 B) 6,7 C) 7,9 D)10.

6. Maydonning biror nuatasidagi *12 μC* zaryadga *3 mN* kuch ta’sir etmoqda. Shu nuqtadagi maydon kuchlanganligini toping (*V/m*).

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 250 B) 40 C) 25 D) 36

7. Agar $1{,}5\cdot10^5 V/m$ kuchlanganlikka ega bo‘lgan elektr maydonda chang zarrasiga $2{,}4\cdot10^{-10} N$ kuch ta’sir qilsa, undan nechta ortiqcha elektron bor? $e = 1.6\cdot 10^{-19}\ Kl$.

A) $1{,}5\cdot10^4$ B $1\cdot10^5$ C) $1{,}6\cdot10^5$ D) $1\cdot10^4$

8. *16 nC* va *36 nC* zaryadlar bir-biridan *4 cm* masofada joylashgan. Shuzaryadlarni tutashtiruvchi kesmada maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lgan nuqta birinchi zaryaddan qanday masofada joylashgan?

A) 16 sm B) 1,6 sm C) 16 m D) 1,6 m.

9. Radiusi *10 cm* bo‘lgan metal sharga *20 nC* zaryad berildi. Shar markazidan *3 sm* masofadagi maydon kuchlanganligini toping (*kV/m*).

A) 60 B) 200 C) 100 D) 0

10. *50 sm* radiusli metal sharga *5 nC* zaryad berildi. Shar sirti yaqinidagi elektr maydon kuchlanganligini toping (*V/m*).

A) 0 B) 1,8 C) 18 D) 180

11. Zaryadining sirt zichligi σ bo‘lgan sferik sirtdan uning radiusiga teng masofadagi elektr maydon kuchlanganligi qanday?

A) $\frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$ B) $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ C) $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ D) $\frac{2\sigma}{\varepsilon_0}$

12. Yerning radiusi *6400 km*, uning sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi *130 V/m*. Yerning zaryadi qanday (*C*)?

A) $4{,}8\cdot10^6$ B) $5{,}9\cdot10^5$ C) $6{,}5\cdot10^5$ D) $8{,}2\cdot10^5$

13. *1 nC* zaryad tekis zaryadlangan cheksiz tekislikdan *1 m* masofada joylashgan. Unga *0,1 mN* kuch ta’sir qiladi. Agar zaryad tekislikdan *2 m* masofada joylashtirilsa, unga qanday (*mN*) kuch ta’sir qiladi?

A) 0,2 B) 0,1 C) 0,05 D) 0,01

14. Bo‘shliqdagi cheksiz yassi plastina zaryadining sirt zichligi $17{,}7\ nC/m^2$ bo‘lsa, uning elektr maydoni kuchlanganligi necha *kV/m* bo‘ladi?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 8,85

15. Qutbli molekulalardan tuzilgan dielektrik bir jinsli elektr maydonga kiritilsa, nima bo‘ladi?

A) dipollar asosan maydon yo‘nalishida joylashadi.

B) dipolar maydonga qarshi yo‘nalishda siljiydi.

C) dipolar maydon bo‘ylab siljiydi.

D) dipolar asosan maydon yo‘nalishiga tik joylashadi

SINOV UCHUN BERILGAN

16. Ikki nuqtaviy zaryadning miqdorini va orasidagi masofani o‘zgartirmay, vakuumdan dielektrik singdiruvchanligi 7 ga teng bo‘lgan muhitga ko‘chirilsa, ular orasidagi kulon kuchlari qanday o‘zgaradi?

A) 49 marta kamayadi B) 49 marta ortadi
C) 7 marta ortadi D) 7 marta kamayadi

17. Ikkita bir xil ishorali nuqtaviy zaryadlar orasidagi masofani 9 marta kamaytirsak, ularning potensial energiyasi qanday o‘zgaradi?

A) 3 marta kamayadi. B) 3 marta ortadi.
D) 9 marta kamayadi. C) 9 marta ortadi.

18. Nuqtaviy zaryad maydonining zaryaddan r masofadagi potensiali φ ga teng bo‘lsa, $5r$ masofadagi potensiali nimaga teng?

A) 25φ B) $0{,}2\varphi$ C) $2{,}5\varphi$ D) 9φ

19. Teng zaryadlar bilan zaryadlangan *1000* ta bir xil suv tomchilari qo‘shilib, katta sferik tomchiga aylandi. Bu tomchining potensiali kichik tomchining potensiali dan necha marta katta bo‘ladi?

A) 5 B) 100 C) 20 D) 30

20. Oralig‘i *15 sm* bo‘lgan ikkita parallel plastinalar maydonida elektron bir plastinadan ikkinchisiga yetib bordi. Maydon kuchlanganligi *10 kV/m*. Bunda necha joul ish bajarilgan? $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$

A) 2 B) 3 C) 9 D) 4

21. Agar zaryad ekvipotensial sirt bo‘ylab ko‘chirilsa, uning potensial energiyasi qanday o‘zgaradi?

A) kamayadi B) o‘zgarmaydi C) ortadi D) zaryad kattaligiga bog‘liq.

22. Kondensator zaryadlanib, manbadan uzildi, so‘ngra u ε=3 bo‘lgan dielektrik bilan to‘ldirildi. Kondensatordagi kuchlanish qanday o‘zgaradi?

A) 3 marta kamayadi B) 2 marta kamyadi
C) 2 marta ortadi D) 3 marta ortadi

23. Elektr sig‘imlari bir xil bo‘lgan uchta kondensator *2 V* kuchlanish manbaiga parallel ulandi. Bunda har bir kondensator 10^{-9} *C* zaryadga ega bo‘ldi. Zanjirning umumiy sig‘imini (*pF*) toping.

A) 1400 B) 1500 C) 1600 D) 1650

24. O‘zaro ketma-ket ulangan 4 ta kondensatorlar batareyasi doimiy tok manbaiga ulangan. Qaysi kondensator eng katta elektr energiyaga ega?

A) C_1=6 μF B) C_2=2 μF C) C_3=10 μF D) C_4=1 μF

SINOV UCHUN BERILGAN

25. Doimiy tok manbaiga ulangan havo kodensatori qoplamalari orasidagi masofa 2 marta orttirilsa, kondensatordagi elektr maydon energiyasi qanday o‘zgaradi?

A) 4 marta ortadi B) 4 marta kamayadi C) o‘zgarmaydi
D) 2 marta kamayadi

I BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. $+2q$ elektr zaryadga ega bo‘lgan tomchidan $-q$ zaryadli tomchi ajraldi. Qolgan tomchining elektr zaryadi qanday?

2. Ikkita nuqtaviy zaryad 2 martadan, ular orasidagi masofa ham 2 marta ortganda, ularning o‘zaro ta’sir kuchi qanday o‘zgaradi?

3. Bir-biridan *2 sm* masofada joylashgan *4 nC* va *10 nC* zaryadga ega bo‘lgan ikkita zarra o‘zaro qanday kuch bilan ta’sirlashadi (*mN*)?

4. Kuchlanganligi *E=2000 V/m* bo‘lgan bir jinsli elektr maydonga joylashtirilgan, massasi *0,1 mg* va zaryadi *+1 nC* bo‘lgan chang zarrachasining tezlanishi nimaga teng (m/s^2)? Evertikal yuqoriga yo‘nalgan.

5. Massasi *1 g* va zaryadi *+1 μC* bo‘lgan zarra bir jinsli elektr maydonda *7,5* m/s^2 tezlanish bilan tushmoqda. Elektr maydon kuchlanganligi vektori yuqoriga yo‘nalganligi vektoriyuqorigayo‘nalgan. Uning son qiymati qanday (kV/m). Havoning qarshiligini hisobga olmang.

6. *–16* va *+36 nC* zaryadlar bir-biridan *4 cm* masofada joylashgan. Maydon kuchlanganligi nolga teng bo‘lgan nuqtaning ikkinchi zaryaddan qanday (sm) masofada joylashganini aniqlang.

7. *q* zaryad bilan tekis zaryadlangan *R* radiusli halqa va uning markaziga joylashgan *q* nuqtaviy zaryadning ta’sirlashuv kuchi qanday bo‘ladi?

8. Zaryadining sirt zichligi σ bo‘lgan cheksiz tekislikdan 10 sm masofada maydon kuchlanganligi *100 V/m* ga teng bo‘lsa, undan *20 cm* masofada maydon kuchlanganligi necha *V/m* bo‘ladi?

9. Havoda joylashgan ikkita nuqtaviy zaryad orasidagi masofa 3 marta qisqartirilib, fazo dielektirik singdiruvchanligi 6 ga teng bo‘lgan modda bilan to‘ldirilsa zaryadlarning o‘zaro ta’sir kuchi qanday o‘zgaradi?

10. Ikkita teng musbat zaryad suvda *3 cm* masofada $1,6\cdot10^{-4}$ *N* kuch bilan ta’sirlashmoqda. Har bir zaryadning kattaligi aniqlansin (*nC*). Suvning dielektrik singdiruvchanligi *81* ga teng.

11. Elektrostatik maydonning potensiali *10 V* bo‘lgan nuqtasida joylashgan nuqtaviy $1\cdot10^{-5}$ *C* zaryadning potensial energiyasini toping (*mJ*).

SINOV UCHUN BERILGAN

12. Radiusi $10\ cm$ bo‘lgan zaryadlangan shar sirtidan $20\ cm$ masofadagi elektr maydon potensiali $300\ V$. Shar markazidagi potensial qanday (V)?

13. Har biri 2 nC dan bo‘lgan 2 ta nuqtaviy bir xil ishorali zaryadlar bir-biridan $20\ cm$ masofada turibdi. Zaryadlar o‘rtasidagi nuqtada maydon potensiali qanday (V)?

14. Elektrostatik maydonning potensiali $40\ V$ bo‘lgan nuqtasidan potensiali $-10\ V$ bo‘lgan nuqtasiga $2\cdot10^{-7}$ C musbat zaryadni ko‘chirishda necha joul ish bajariladi?

15. Ikkita bir xil $1\cdot10^{-8}\ C$ nuqtaviy zaryad vakumda bir-biridan $100\ cm$ masofada turibdi. Zaryadlarni bir-biriga $50\ cm$ gacha yaqinlashtirish uchun necha joul ish bajarish kerak bo‘ladi?

16. $5\cdot10^{-6}\ C$ zaryadni cheksizlikdan elektrostatik maydonga ko‘chirib kelishda $30\ \mu J$ ish bajarildi. Maydonning zaryad kiritilgan nuqtasining cheksizlikka nisbatan potensiali qanday (V)?

17. Diodda anod kuchlanishi $200\ V$ ga teng. Anodga nechta electron yetib borganda, elektr maydon $1{,}6\ J$ ish bajaradi? $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}C$.

18. Elektr maydonda elektronning tezligi $1\cdot10^{7}\ m/s$ dan $5\cdot10^{7}\ m/s$ gacha oshdi. Boshlang‘ich va oxirgi nuqtalar orasidagi potensialla ayirmasi qanday (kV)? Elektron zaryadining massasiga nisbati $1{,}76\cdot10^{11}\ C/kg$.

19. Elektron, elektr maydonidagi ikki nuqta orasida ko‘chganda, $v=3\cdot10^{7} m/s$ tezlikka ega bo‘ldi. Bu ikki nuqta orasidagi potensiallar farqi qanday (V)? electron zaryadi $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}C$, massasi $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}kg$. Elektronning dastlabki tezligi nolga teng.

20. Ikkita parallel metall plastina orasidagi kuchlanish $1\ kV$, ular orasidagi masofa 5 sm. Shu plastinalar orasida joylashgan 1 μC zaryadga necha nyuton kuch ta’sir etadi?

21. $10^{-9}\ g$ massali chang zarrachasi gorizontal joylashgan plastinalar orasida muallaq turibdi. Plastinalardagi kuchlanish $1\ kV$, ular orasidagi masofa $5\ sm$ bo‘lsa, zarrachaning zaryadi qanday (C)?

22. $2\ \mu C$ zaryad kuchlanganligi $2\cdot10^{3}\ V/m$ bo‘lgan bir jinsli elektrostatik maydonda 10 sm ga ko‘chirilganda $0{,}2\ mJ$ ish bajarilgan bo‘lsa, maydon kuch chiziqlari va ko‘chish vektori orasidagi burchak qanday?

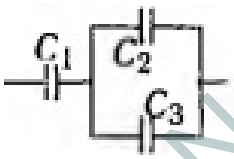
23. R radiusli zaryadlangan shar $2\ R$ radiusli zaryadlanmagan sharga tekkizilsa, birinchi sharning potensiali necha marta kamayadi?

24. Zaryadlangan C sig‘imli kondensatorga $2C$ sig‘imli zaryadlanmagan kondensator parallel ulansa, C kondensatordagi zaryad necha marta kamayadi?

SINOV UCHUN BERILGAN

25. Sig‘imi *2 μF* bo‘lgan kondensator *110 V* kuchlanishgacha zaryadlandi. So‘ngra tarmoqdan uzilib, sig‘imi C_2 noma’lum bo‘lgan kondensatorga parallel ulandi. Shunda kuchlanish *44 V* ga tushdi. C_2 ni toping (μF).

26. Sig‘imlari C_1=*3 μF*, C_2=*12 μF* va C_3=*30 μF* bo‘lgan uchta kondensator rasmdagi sxema bo‘yicha ulangan. Umumiy sig‘im qanday (*μF*)?



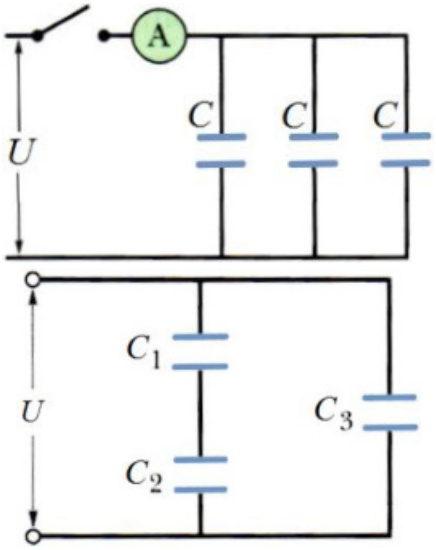
27. 100 μF sig‘imli kondensator *100 μC* gacha zaryadlansa, necha joul energiyaga ega bo‘ladi?

28. Radiusi *90 sm* bo‘lgan shar *40 kV* potensialgacha zaryadlangan. Zaryadlangan shar energiyasi topilsin (*J*). $k=9\cdot10^9\ N\cdot m^2/C^2$.

29. $5\,\mu F$ va $8\,\mu F$ sig‘imli kondensatorlarni ulashlar orqali qanday elektr sig‘imlari olish mumkin (*μF*)?

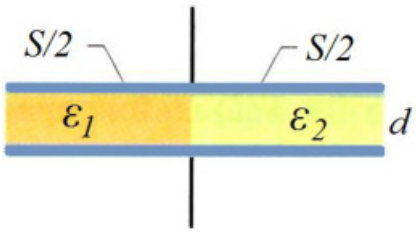
30. Radiuslari *8 cm* va *5 cm* bo‘lgan konsentrik sferik o‘tkazgichlardan iborat bo‘lgan sferik kondensator qoplamalari orasidagi bo‘shliq singdiruvchanligi *6* ga teng bo‘lgan dielektrik bilan to‘ldirilsa, hosil bo‘lgan elektr sig‘im nimaga teng bo‘ladi (*pF*)?

31. Rasmda kodensatorlarning har birining sig‘imi $25\,\mu F$ dan bo‘lib, dastlab zaryadlanmagan. Kalit qo‘shilib, qoplamalar orasida *U=4200 V* potensilallar farqi hosil qilindi. *A* o‘lchagichdan qancha zaryad oqib o‘tadi?



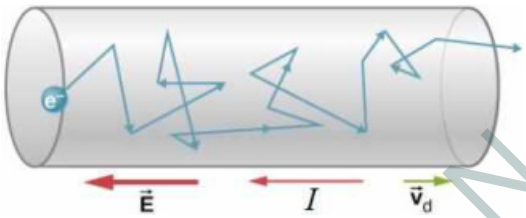
32. Rasmda keltirilgan zanjirga ekvivalent sig‘imni aniqlang. Bunda $C_1=10\,\mu F$, $C_2=8\,\mu F$ va $C_3=4\,\mu F$. Agar *U=18 V* bo‘lsa, har bir kondensatordagi kuchlanish qanday?

33. Rasmdagi yassi kondensator yuzasi $S=18\,sm^2$, qoplamalar orasidagi masofa *d=3 mm* ga teng. Qoplama yuzasining yarmi $\varepsilon_1=7$, qolgan yarmi esa $\varepsilon_2=10$ bo‘lgan dielektrik bilan to‘ldirildi. Hosil bo‘lgan elektr sig‘imni toping (*pC*).



SINOV UCHUN BERILGAN

II BOB. O‘ZGARMAS TOK QONUNLARI



Ushbu bobda biz o‘zgarmas elektr toki, elektr qarshiligi, qarshilikning temperaturaga bog‘liqligi, qarshiliklarni ulash, elektr tokining ishi va quvvati, elektr asboblarining vazifalari, o‘zgarmas tok manbalari, manbalarni ulash va Kirxgof qonunlari va boshqalar haqida tanishamiz.

§ 10. ELEKTR TOKI. ELEKTR QARSHILIK. ZANJIRNING BIR QISMI UCHUN OM QONUNI.

Elektr toki haqida tushuncha:

Kundalik hayotda elektr tokini barcha biladi. Elektr toki yordamida elektropoezdlar, tramvay va trolleybuslar harakatlanadi telefon, televizor, kompyuter va hokoza uy jihozlari ishlaydi.

Elektr tokini osongina hosil qilish mumkin. Masalan, ikkita sharni qarama-qarshi ishoralar bilan zaryadlab ularni ingichki sim bilan tutashtirish natijasida qisqa muddatli tok hosil qilish mumkin.

“Tok” so‘zining o‘zbek tiliga tarjimasi “oqim” deganidir. Demak, tok–elektr zaryadlarining oqimidir.

Elektr toki deb, elektr zaryadlarining bir tomonga qiladigan tartibli harakatiga aytiladi.

Elektr zaryadini asosan elektronlar, protonlar, musbat va manfiy ionlar tashkil qiladi. Shulardan protonlar har doim qo‘zg‘almas holatda yadroda turgani sababli, ular ko‘chmaydi va tok ham hosil qilmaydi. Umumiy holatda elektr tokini elektron, musbat va manfiy ionlar hosil qiladi. Shu jumladan, elektr toki metallarda erkin elektronlar harakati tufayli, elektrolitlarda anionlar va kationlar harakati tufayli, yarimo‘tkazgichlarda, elektronlar va kovaklar harkati tufayli, vakuumda esa faqat elektronlar harakati tufayli paydo bo‘ladi. Metallarda atomlarning tashqi qobig‘idagi elektronlar yadro bilan juda zaif bog‘langan bo‘lgani sabab, bu elektronlar erkin eletkronga aylanadi va butun kristall panjaralari orasida daydib yuradi. Bu erkin elektronlar u yoki bu atomga tegishli bo‘lmasdan, balki butun kristallga tegishli bo‘ladi. Metallarda erkin elektronlar konsentratsiyasi $n = 10^{25} - 10^{29}\, m^{-3}$ oralig‘ida bo‘ladi.

Shuni ham eslatib o‘tish kerakki, teng miqdordagi musbat va manfiy zaryadlarning bir tomonga qiladigan tartibli harakatidan (masalan, neytral atomlar harakatidan) elektr toki vujudga kelmaydi. Chunki, bunda biror yuzadan o‘tgan jami zaryadlar yig‘indisi nolga teng. Shuning uchun ham elektr tokini umumiy holatda quyidagicha ta’riflash mumkin:

SINOV UCHUN BERILGAN

Andre-Mari Amper 1775-yil 20-yanvarda Fransiya qirolligining Lion shahrida yirik savdogar oilasida dunyoga kelgan. U buyuk fransuz matematigi, fizigi, tarbiyachi pedagogi, filosofi bo‘libgina qolmasdan, Parij fanlar akademiyasi azosi, ko‘pgina chet davlatlar fanlar akademiyasi a’zosi, xususan, Peterburg fanlar akademiyasining muxbir a’zosi bo‘lgan. U elektr va magnit hodisalarni bog‘lovchi dastlabki nazariyani yaratdi. Magnetizm tabiati haqidagi gipoteza Amperga tegishlidir. U “Elektr toki” tushunchasini fizikaga kiritdi. Jeyms Maksvell uni “Elektrodinamikaning Nyutoni” deb atagan. Amper mexanika, ehtimollar nazariyasi, matematik analiz sohasida ham ishlagan. U magnit va elektr tokining o‘zaro ta’siri ustida ko‘plab tajribalar o‘tkazgan va 1820 yilda hozirda Amper kuchi deb nomlanuvchi formulani bayon etgan hamda bu kuchning yo‘nalishini ko‘rsatibbergan. U 1836-yil 10-iyunda Fransiya qirolligining Marsel shahrida olamdan o‘tadi.



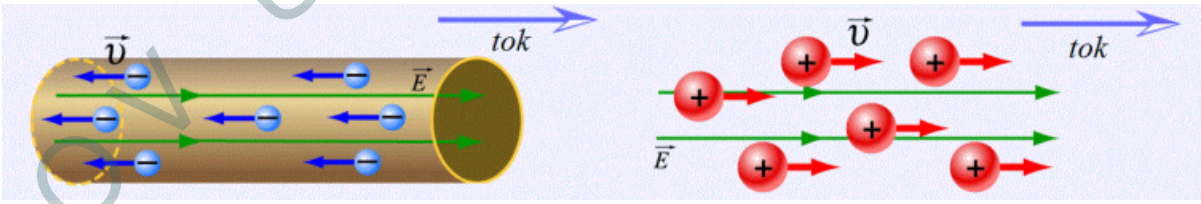
Andre-Mari Amper (1775–1836)

Elektr toki deb, kompensatsiyalashmagan ortiqcha musbat yoki ortiqcha manfiy zaryadlarning tartibli harakatiga aytiladi.

O‘tkazgichlar ichida eletkr maydoni tufayli hosil bo‘ladigan tokni ***o‘tkazuvchanlik toki*** deyiladi. Lekin tokni bunday tor ma’noda tushunmaslik kerak. Masalan, biror zaryadlangan jism, masalan, meteorit o‘zi bilan zaryad tashiyotgani uchun buni ham tok deyish mumkin. Bunday tok boshqa toklardan farqli ravishda ***konveksion tok*** deyiladi.

Tokning yo‘nalishi deb musbat zaryadli zarralarning harakat yo‘nalishi (yoki manfiy zaryadli zarralar harakatiga qarama-qarshi yo‘nalish) qa’bul qilingan.

Metallarda tokni elektronlar hosil qilgani uchun ularda tok yo‘nalishi elektronlar harakatiga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi (10.1-rasm).



10.1-rasm

O‘tkazuvchanlik tokini hosil qilgan zaryadli zarralar harakatini bevosita kuzatib bo‘lmaydi. Lekin o‘tkazgichdagi tokning mavjudligini uning ta’siri, u bilan sodir bo‘ladigan u yoki bu hodisalardan bilish mumkin.

1. Har qanday tok va harakatlanayotgan zaryadli zarra o‘z atrofida magnit maydon hosil qiladi, ya’ni tokning magnit ta’siri kuzatiladi.

2. O‘tkazgichlardan tok o‘tayotganda erkin elektronlarning panjara tugunlari bilan noelastik to‘qnashuvi tufayli o‘tkazgich qiziydi, ya’ni tokning issiqlik ta’siri kuzatiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

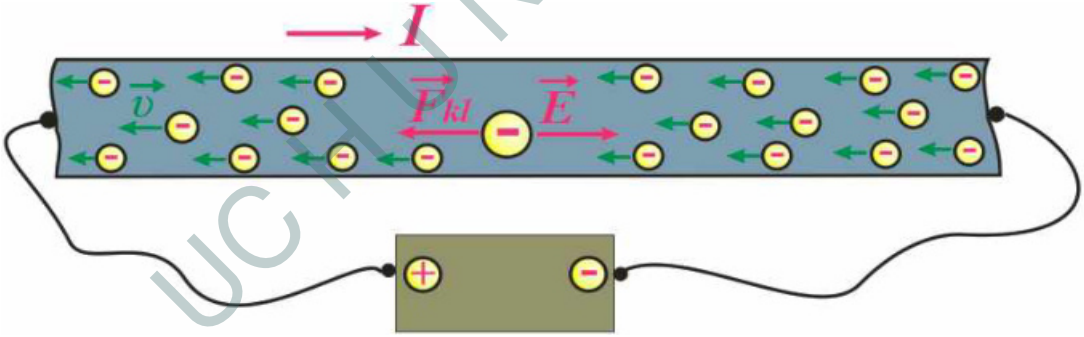
3. Elektrolit, ishqor va tuz eritmalaridan tok o‘tganda elektrolitik dissosatsiyalanish va modda ajralishi kuzatiladi, ya’ni tokning ximiyaviy ta’siri kuzatiladi.

Vaqt o‘tishi bilan miqdor va yo‘nalishi o‘zgarmaydigan tokga ***o‘zgarmas tok*** deyiladi. Zanjirdagi tok o‘zgarmas bo‘lishi uchun zanjirning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi potensiallar farqi o‘zgarmas bo‘lishi kerak.

Tok kuchi va tok zichligi:

Metall o‘tkazgich ichida son-sanoqsiz erkin elektronlar issiqlik harakatida ishtirok etadi. Lekin bu elektronlar harakati turli tomonga betartib yo‘nalgan bo‘lgani uchun ular elektr tokini hosil qila olmaydilar. O‘tkazgich ichidan kichkina yuzacha ajratsak, birlik vaqt ichida shu yuzachadan qarama-qarshi tomonga teng miqdordagi erkin elektronlar o‘tadi. Shuning uchun ham natijaviy tok nolga teng bo‘ladi.

Endi metall sim uchlariga potensiallar farqi berilsa, metall ichida elektr maydon vujudga keladi va bu maydon elektronlarga $F=eE$ kuch bilan ta’sir qiladi. Bu kuch esa elektronlarni o‘z yo‘nalishida va kuchlanganlik chiziqlariga qarama-qarshi yo‘nalishda ko‘chirishga majbur qiladi. Ana shunda zaryadli zarrachalarning bir tomonga tartibli ko‘chkisi vujudga keladi va zanjirda tok hosil bo‘ladi *(10.2-rasm)*.



10.2-rasm

Metall o‘tkazgich ichida elektr toki erkin elektronlarning tartibli harakati tufayli paydo bo‘ladi. Elektronlarning yo‘nalishi Kulon kuchi yo‘nalishi bilan bir xil bo‘lib, kuchlanganlik chiziqlariga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Shuningdek, tok kuchi yo‘nalishi ham elektronlar yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi.

O‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasidan vaqt birligi ichida oqib o‘tgan zaryad mirqdoriga miqdor jihatidan teng bo‘lgan skalyar kattalikka tok kuchi deyiladi.

Agar o‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasidan biror Δt vaqt oralig‘ida Δq zaryad miqdori oqib o‘tsa, o‘rtacha tok kuchi quyidagicha bo‘ladi:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (10.1)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar o‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasidan juda kichik elementar *dt* vaqt oralig‘ida juda kichik elemaentar *dq* zaryad miqdori oqib o‘tsa, oqib o‘tish onidagi oniy tok kuchi quyidagicha bo‘ladi:

$$I = \lim_{\Delta q \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} = q'_t \qquad (10.2)$$

Demak, tok kuchi zaryaddan vaqt bo‘yicha olingan birinchi tartibli hosila ekan.

Tok kuchining o‘lchov birligi bu o‘lchov birligini kiritgan olim Amper sharafiga *Amper (A)* larda o‘lchanadi.

Agar o‘tkazgichning ko‘ndalang keism yuzasidan *1s* vaqt ichida *1C* zaryad miqdori oqib o‘tsa, bunday tokning kuchi *1A* ga teng bo‘ladi.

$$1A = \frac{1C}{1s} \qquad (10.3)$$

O‘tkazgichdagi tok kuchining ko‘ndalang kesim yuziga nisbatiga teng bo‘lgan vektor kattalikga tok zichligi deyiladi. Boshqacha aytganda, tok zichligi yuza birligidan o‘tuvchi tok kuchidir.

$$J = \frac{I}{S} \qquad (10.4)$$

Tok zichligi vektor kattalik bo‘lib, uning yo‘nalishi musbat zaryad oqib chiqayotgan yuzaning tashqi yo‘nalishi bilan mos tushadi. Yuzasi katta bo‘lgan kesimda tok zichligi kamroq, va aksincha kattaroq qiymatga ega bo‘ladi. Tok zichligi qancha katta bo‘lsa, zaryadli zarralar shuncha tig‘is harakatlanayotgan bo‘ladi.

Tok zichligining XBSdagi o‘lchov birligi $\left[\frac{A}{m^2}\right]$ bo‘lib, lekin ba’zida $\left[\frac{A}{sm^2}\right]$ va $\left[\frac{A}{mm^2}\right]$ o‘lchov birliklariga ham duch kelamiz. Ular orasidagi bog‘lanishni yozamiz.

$$1\frac{A}{sm^2} = 10^4 \frac{A}{m^2}, \qquad 1\frac{A}{mm^2} = 10^6 \frac{A}{m^2}$$

Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:

O‘tkazgich bo‘ylab zaryadlarning harakatlanishi uchun o‘tkazgich uchlarida potensiallar farqining bo‘lishi, ya’ni o‘tkazgich ichida elektr maydon bo‘lishi kerak. O‘tkazgich uchlaridagi potensiallar farqi elektrostatikadan farqli ravishda ***kuchlanish*** deb ham yuritiladi va lotincha U harfi bilan belgilanadi.

O‘tkazgich uchlaridagi potensiallar ayirmasi yoki kuchlanish deb, bir birlik musbat zaryadni o‘tkazgich bo‘ylab ko‘chirishda o‘tkazgichdagi elektr maydoni kuchning bajargan ishiga miqdor jihatidan teng bo‘lgan fizik kattalikka aytiladi.

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

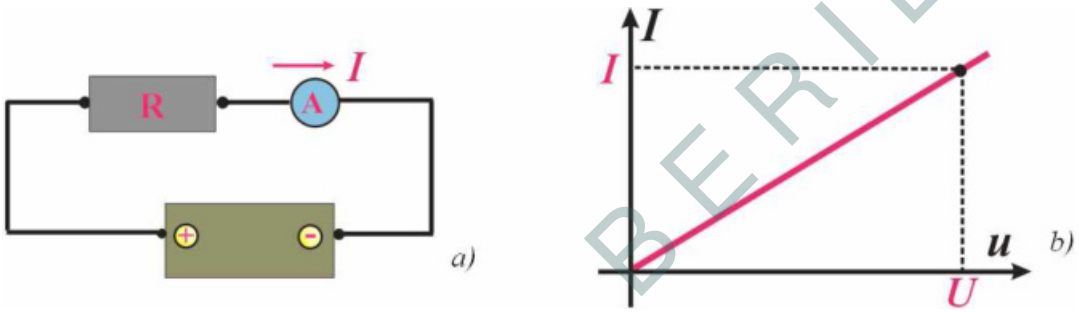
SINOV UCHUN BERILGAN

O‘tkazgichdagi kuchlanish va tok kuchi orasidagi bog‘lanishni aniqlash bo‘yicha tajribalarni birinchi bo‘lib nemis fizigi 1826-yilda Om Georg Simon o‘tkazgan.

Tajribagag ko‘ra o‘tkazgich qutblaridagi kuchlanishni asta-sekin oshirilganda tok kuchi ham kuchlanishga to‘g‘ri proporsional holda *(I~U)* oshib borgan *(10.3-rasm)*. Shuning uchun koeffitsient kiritish orqali proporsionallikdan tenglikka o‘tildi.

$$I = GU \qquad (10.5)$$

Bu yerda: G – proporsionallik koeffitsienti bo‘lib, unga ***o‘tkazgichning o‘tkazuvchanligi*** deyiladi. O‘tkazuvchanlik qancha yaxshi bo‘lsa, ayni bir kuchlanishda o‘tkazgichdan shuncha katta tok o‘tadi.



10.3-rasm

XBSda o‘tkazuvchanlikning birligi qilib simens *(Sm)* qa’bul qilingan.

1Sm o‘tkazuvchanlik deb, usrlarida *1V* kuchlanish bo‘lganda *1A* tok o‘tadigan o‘tkazgichning o‘tkazuvchanligiga aytiladi.

Odatda esa, amaliy hisoblashlarda o‘tkazuvchanlikka teskari bo‘lgan ifoda – o‘tkazgich qarshiligi ishlatiladi.

$$R = \frac{1}{G} \qquad (10.6)$$

Turli xil o‘tkazgichlar zanjirdan o‘tayotgan tokni turlicha cheklaydi yoki tokka turlicha qarshilik ko‘rsatadi.

O‘tkazgich qarshiligi Om *(Ω)* lara o‘lchanadi. o‘tkazuvchanligi *1Sm* bo‘lgan o‘tkazgichning qarshiligi *1 Ω* ga teng.

$$1\Omega = \frac{1}{1Sm} \qquad (10.7)$$

O‘tkazgichning zanjirdagi tokni cheklash xossasiga o‘tkazgich qarshiligi deyiladi.

O‘tkazgich qarshiligi *R* orqali tok kuchi *I* ning kuchlanish *U* ga bog‘liqligi quyidagicha bo‘ladi:

$$I = \frac{U}{R} \qquad (10.8)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi bog‘lanishni birichi bo‘lib Georg Simon Om aniqlagani uchun bu bog‘lanish uning sharafiga ***zanjirning bir qismi uchun Om qonuni*** deb ataladi. Bu qonun quyidagicha ta’riflanadi:

Zanjirning bir qismidan o‘tayotgan tokning kuchi o‘tkazgich uchlaridagi kuchlanishga to‘g‘ri proporsional va o‘tkazgichning qarshiligiga teskari proporsionaldir.

O‘tkazgich qarshiligi *1 Ω* ni quyidagicha ta’riflash ham mumkin:

1 Ω qarshilik deb, uchlaridagi kuchlanish *1V* bo‘lganda *1A* tok o‘tkazadigan o‘tkazgichning qarshiligiga aytiladi.

O‘tkazgichning qarshiligi uning geometrik o‘lchamlariga va material turiga bog‘liq bo‘lgan kattalikdir. O‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasi qancha katta bo‘lsa, erkin elektronlar yugurishi uchun shuncha keng yo‘lakcha qilib qo‘yilgan va bu elektronlar bir-biriga turtilmasdan shuncha bemalol yugurishadi deb fikr yuritsak, u holda qarshilik o‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasiga teskari proporsional degan xulosaga kelamiz. O‘tkazgich uzunligi qancha uzun bo‘lsa, erkin elektronlar bu uzun yo‘lda shuncha ko‘p kristal panjaralaridagi tugunlar bilan to‘qnashadi deb fikr yuritsak, u holda qarshilik o‘tkazgichning uzunligiga to‘g‘ri proporsional degan xulosaga kelamiz.

O‘tkazgich qarshiligi o‘tkazgichning geometrik o‘lchamlariga va materila turiga quyidagicha bog‘langan:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \qquad (10.9)$$

Bu yerda: ℓ – o‘tkazgich uzunligi; S – o‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasi; ρ – o‘tkazgichning solishtirma qarshiligi bo‘lib, har xil materiallar uchun uning son qiymati turlichadir. Solishtirma qarshilikning son qiymatlari har xil materiallar uchun ilovada berilgan. Solishtirma qarshilikning XBSdagi o‘lchov birligi $[\rho] = [\Omega \cdot m]$ bo‘lib, lekin ba’zida $\left[\frac{\Omega \cdot m}{sm^2}\right]$ va $\left[\frac{\Omega \cdot m}{mm^2}\right]$ o‘lchov birliklaridan ham foydalaniladi. Ular orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘ladi:

$$1\,\frac{\Omega \cdot m}{sm^2} = 10^4\ \Omega \cdot m, \qquad 1\,\frac{\Omega \cdot m}{mm^2} = 10^6\ \Omega \cdot m$$

Solishtirma qarshilikka teskari kattalikka ***solishtirma o‘tkazuvchanlik*** deyiladi.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad (10.10)$$

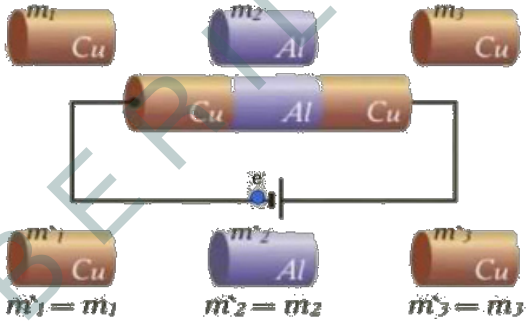
XBSdagi solishtirma o‘tkazuvchanlikning o‘lchov birligi $[\sigma] = \left[\Omega^{-1} \cdot m^{-1}\right] = Sm/m$ bo‘ladi.

Metallarning elektron o‘tkazuvchanligini tekshirishga oid tajribalar:

SINOV UCHUN BERILGAN

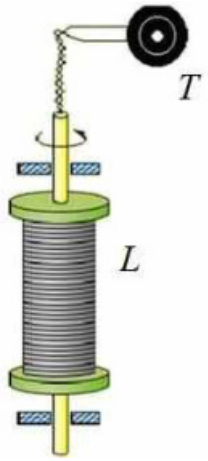
Metallarda elektr tokini elektronlar tashiydi degan tushunchaga birdaniga kelingan emas. XX asrning boshlarida o‘tkazilgan bir qancha tajribalar natijasida bu fikr o‘z isbotini topgan. Shu tajribalardan ba’zilari bilan tanishib o‘tamiz.

1) Rikke tajribasi. 1901-yilda nemis fizigi K.Rikke ushbu tajribani o‘tkazdi. U oldindan tarozida juda aniq tortilgan uchta slindrik – ikkita mis va bitta alyuminiydan yasalgan o‘tkazgichlar olib, ularning silliqlangan yuzalarini bir-biriga jips qilib taxladi (10.4-rasm). So‘ngra slindrlarni shu jips holatda tutib ulardan bir yil davomida shahar tramvay tarmog‘ini ta’minlovchi katta tok o‘tib turdi. Bu davr ichida esa slindr o‘tkazgichlar orqali taxminan *3,5 mln. C* zaryad o‘tdi. Bir yildan so‘ng o‘tkazgichlar tokdan ajratilib, so‘ng bu slindrlarni o‘ta aniq – *0,03 mg* aniqlikda tarozida massalarini ikkinchi marta o‘lchadi. Tajriba natijasi shuni ko‘rsatdiki, ularning har birining massasi bir yil oldingi massasiga teng ekan, ya’ni tok o‘tish natijasida massalar o‘zgarmabdi. Tegib turuvchi kontakt yuzalarni mikroskop bilan kuzatilganda bir metallning ikkinchisiga diffuziya bo‘lib kirishishi ham sodir bo‘lmagani aniqlandi.



10.4-rasm

2) Mandelshtam-Papaleksi tajribasi. Metallardagi tok tashuvchilar tabiatini o‘rganish uchun fizik olimlar L.I.Mandelshtam va N.D.Papaleksilar 1913-yilda ajoyib tajriba o‘tkazishdi. Tajribaning g‘oyasi shundaki, tez harakatlanayotgan o‘tkazgich birdaniga to‘xtatilganda hosil bo‘ladigan elektr tokini sezishdir. Agar biror tezlik bilan ilgarilanma harakat qilayotgan metall sterjen keskin to‘xtatilsa, bu sterjen bilan harakatlanayotgan erkin elektronlar inersiya bo‘yicha harakatini davom ettiradi va bu sterjenda qisqa muddatli tok paydo bo‘lishiga olib keladi. Mandelshtam va Papaleksi tajribasi shu inersiya xossasidan foydalanib amalga oshirildi. Uchlari *T* telefon trubkasiga ulangan simli g‘altak *L* o‘z o‘qi atrofida tez buralma tebranadi (10.5-rasm). Bunda zanjirda telefon trubkasida tovush hosil qiladigan tok paydo bo‘ladi. Bu tajriba metallardagi zaryad tashuvchilarning inersion harakati mavjudligini tasdiqladi.

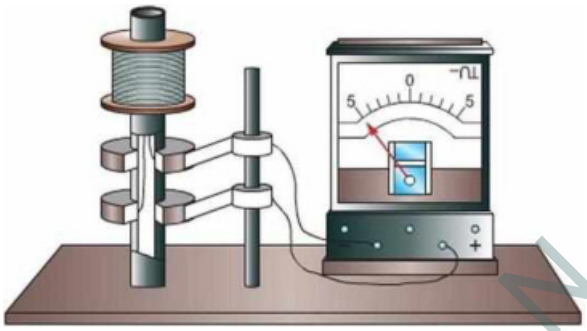


10.5-rasm

3) Styuart-Tolmen tajribasi. Mandelshtam-Papaleksi tajribasiga o‘xshash tajribani 1916-yilda amerikalik fiziklar T.Styuart va R.Tolmenlar o‘tkazishdi. Ularning tajriba sxemasi 10.6-rasmda tasvirlangan. Ingichka simdan yasalgan ko‘p o‘ramli – cho‘lg‘amining umumiy uzunligi *500 m* bo‘lgan g‘altakni katta tezlikda – g‘altak gardishining tezligi *300 m/s* tezlikda aylantirildi. G‘altakdagi o‘ralgan

SINOV UCHUN BERILGAN

o‘tkazgich uchlari sirpanuvchi kontakt orqali sezgir galvanometrga ulangan. Shiddat bilan aylanayotgan maxsus qurilma yordamida keskin tormozlanganda galvonametr qisqa muddatli tok paydo bo‘lganini ko‘rsatgan. Undan tashqari tokning yo‘nalishi manfiy zaryadli zarralarning inersion harakatiga mos kelar edi. Bu tajriba natijasida zaryad tashuvchilarning solishtirma zaryadi aynan elektronnikiga tengligi, ya’ni $\frac{q}{m} \approx \frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$ ekanligi aniqlandi. Shunday qilib, metallarda tok tashuvchilar faqat elektronlar bo‘lishi mumkinligi ma’lum bo‘ldi.



10.6-rasm

4) Drudening klassik-elektron nazariyasi. 1900-yilda nemis fizigi P.Drude metallardagi elektr toki tashqi elektr maydoni ta’siridagi erkin elektronlarning kristall panjara oralig‘idagi tartibli harakatidan iborat degan tushunchaga asoslanib metallar elektr o‘tkazuvchanligi nazariyasini yaratdi. Uning nazariyasi asosida quyidagi farazlar yotadi:

- metallardagi erkin elektronlar o‘zlarini xuddi ideal gaz molekulalari kabi tutadi;
- metallardagi erkin elektronlar Nyutonning klassik mexanikadagi qonunlariga bo‘ysunadi;
- erkin elektronlar o‘zlarining xaotik harakatlarida bir-birlari bilan emas, balki kristall panjara ionlari bilan to‘qnashadi;
- elektronlar ionlar bilan to‘qnashganda o‘zlarining kinetik energiyasini ionlarga beradi.

Albatta, bu farazlar hodisaning haqiqy manzarasini ochib bera olmaydi (elektronlar harakati kvant mexanika qonunlariga bo‘ysunadi). Shunga qaramasdan, Drudening klassik-elektron nazariyasi tok qonunlarini tushuntirishga imkon berdi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Tok deb nimaga aytiladi? Tok kuchining formulasi va o‘lchov birligi qanday?*
2. *Tokning yo‘nalishi deb nimaga aytiladi?*
3. *Metall o‘tkazgichdagi zaryadli zarralar harakati, tok yo‘nalishi hamda elektr maydon kuchlanganlik yo‘nalishi haqida aytib bering.*
4. *Elektr qarshilik va elktr o‘tkazuvchanlikni tushuntiring.*
5. *O‘tkazgichning elektr qarshiligi qanday kattaliklarga bog‘liq?*
6. *Metall o‘tkazgichlarda elektronlarning issiqlik harakati teligi va dreyf tezligi tartibi qanday? Normal sharoitda ular necha marta farq qiladi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

7. Rike, Mandelshtam-Papaleksi tajribalarini aytib bering.
8. Styuart-Tolmen tajribasini aytib bering.
9. Drude nazariyasini aytib bering.

Masala yechish:

1. *Zanjirdagi tok kuchi 0,5 A bo'lsa, 9 minutda necha kulon zaryad oqib o'tadi?*

A) 540 B) 270 C) 27 D) 18

Berilgan:	Yechilishi:
$t = 9\,\text{min}$	Tok kuchini aniqiqlash formulasidan foydalanamiz:
$I = 0,5A$	$I = \frac{q}{t} \rightarrow q = I \cdot t$
$q = ?$	$q = I \cdot t = 540 \cdot \frac{1}{2} = 270C$

Javob: B)

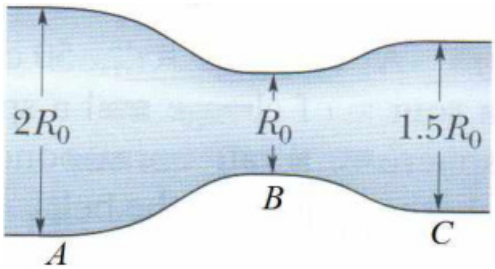
2. *Agar o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi 10 s da 0 dan 5 A gacha chiziqli ortgan bo'lsa, shu vaqt ichida o'tkazgich ko'ndalang kesimidan qancha zaryad oqib o'tgan (C)?*

Berilgan:	Yechilishi:
$t = 10\,s$	Bu masalada tok kuchiasta oshib borganligi uchun zaryad miqdorini aniqlashda tok kuchining o'rtacha qiymatini olamiz:
$I_1 = 0A$	$q = \bar{I} \cdot t = \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot t = \frac{0+5}{2} \cdot 10 = 25C$
$I_2 = 5A$	
$q = ?$	

Javob: 25 C

3. *Rasmdagi har xil kesimlarga ega bo'lgan o'tkazgichdan o'zgarmas I tok o'tmoqda. Berilgan A, B, C kesimlarda tok zichliklari qanday nisbatda bo'ladi?*

Berilgan:	Yechilishi:
$I = const$	Kesimlardagi yuzalarni aniqlaymiz. Bunda $S = \pi R^2$ deb olamiz.
$R_A = 2R$	$S_1 = \pi R_1^2 = 4\pi R^2 = 4S$
$R_B = R$	$S_2 = \pi R_2^2 = \pi R^2 = S$
$R_C = 1,5R$	$S_3 = \pi R_3^2 = 2,25\pi R^2 = \frac{9}{4}S$
$J_A : J_B : J_C = ?$	



Tok zichliklarini aniqlaymiz. Bunda $J = \frac{I}{S}$ *deb olamiz.*

SINOV UCHUN BERILGAN

$$J_1=\frac{I}{S_1}=\frac{I}{4S}=\frac{J}{4},\quad J_2=\frac{I}{S_2}=\frac{I}{S}=J,\quad J_3=\frac{I}{S_3}=\frac{I}{\frac{9}{4}S}=\frac{4J}{9}$$

Endi tok zichliklarini nisbatini aniqlaymiz.

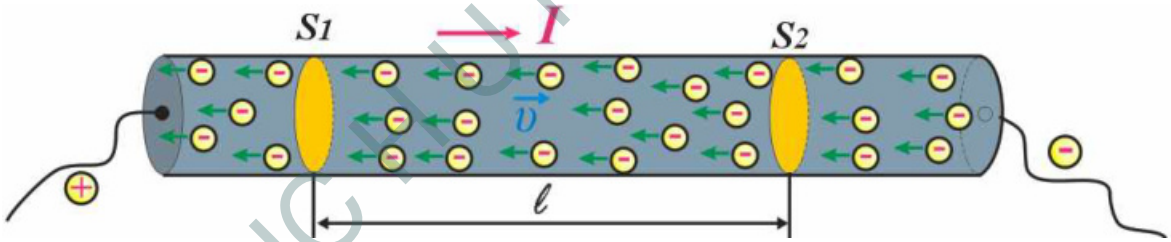
$$J_A:J_B:J_C=\frac{J}{4}:J:\frac{4J}{9}=\frac{1}{4}:1:\frac{4}{9}=9:36:16$$

Javob: $J_A:J_B:J_C=9:36:16$

§ 11. TOKLI O‘TKAZGICH ICHIDAGI DREYF HARAKAT VA ELEKTR MAYDON KUCHLANGANLIGI. ELEKTR QARSHILIKNING TEMPERATURAGA BOG‘LIQLIGI.

O‘tkazgichda elektronlarning tartibli harakat tezligi:

O‘tkazgich ulariga potensiallar farqi berilganda, o‘tkazgich ichida elektr maydoni vujudga keladi va bu maydon erkin elektronlarni bir tarafga tartibli ko‘chira boshlaydi. Natijada dreyf harakat kuzatiladi. Hisob-kitoblarning ko‘rsatishicha ushbu dreyf harakat tezligi juda kichik bo‘lib, u elektronlarning issiqlik harakatidagi tezligidan *5* tartibiga kichik bo‘lar ekan. Elektronlarning o‘tkazgich ichida dreyf tezligini miqdoriy baholovchi formulani keltirib chiqaraylik (11.1-rasm).



11.1-rasm

Biror Δt vaqt oralig‘ida o‘tkazgichning S_1 ko‘ndalang kesim yuzasidan o‘tgan elektronlar ℓ yo‘lni bosib o‘tib S_2 yuzasidan ham o‘tadi. S_1 va S_2 kesim oralig‘idagi hajm $V=S\ell=S\vartheta\Delta t$ ga, bu hajmdagi elektronlar soni esa $N=nV=nS\vartheta\Delta t$ ga teng bo‘ladi. Tok kuchining formulasidan foydalanib dreyf tezlikni topish mumkin.

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{Ne}{\Delta t}=\frac{nS\vartheta\Delta te}{\Delta t}=nS\vartheta e,\quad\rightarrow\quad \vartheta=\frac{I}{enS}=\frac{J}{en}$$

Demak, o‘tkazgich ichidagi elektronlarning tartibli harakat tezligi quyidagi formuladan aniqlanar ekan:

$$\boxed{\vartheta=\frac{I}{enS}=\frac{J}{en}}\qquad (11.1)$$

Bu yerda: n – o‘tkazgichdagi erkin elektronlar konsentratsiyasi bo‘lib, uning qiymati metall turiga bog‘liq;

S – o‘tkazgichning ko‘ndalang kesim yuzasi;

$e=1{,}602\cdot10^{-19}\,C$ – elementar zaryad birligi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektronning o‘tkazgichdagi dreyf va issiqlik harakatlarini taqqoslash hamda ulat orqasidagi farqni to‘g‘ri anglab olish uchun ushbu masalani yechib ko‘raylik.

Masala: Ko‘ndalang kesim yuzasi $1mm^2$ bo‘lgan o‘tkazgichdan $1A$ tok o‘tayotgan bo‘lsa, elektronlarning dreyf harakat tezligi qanday? O‘tkazgichdagi erkin elektronlar konsenetratsiyasini $n=10^{28}\ m^{-3}$ deb oling. Chiqqan natijani xona temperaturasidagi issiqlik harakat tezligi bilan solishtiring.

Yechish:

Elektronlarning dreyf tezligi yuqorida topilgan formulaga ko‘ra

$$\vartheta_{dr}=\frac{I}{enS}=\frac{1}{1,6\cdot10^{-19}\cdot10^{28}\cdot10^{-6}}=6,25\cdot10^{-4}\,m/s=0,625\,mm/s$$

bo‘ladi. Issiqlik harakatidagi tezlik esa molekulyar kinetik nazariyaga ko‘ra

$$\vartheta_{iss}=\sqrt{\frac{3kT}{m_0}}=\sqrt{\frac{3\cdot1,38\cdot10^{-23}\cdot290}{9,1\cdot10^{-31}}}\approx115000\,m/s=115\,km/s$$

ga teng bo‘ladi. Bularning nisbati $\frac{\vartheta_{iss}}{\vartheta_{dr}}=\frac{115000}{0,000625}\approx1,84\cdot10^{8}=184\,m\ln.$ ga teng bo‘ladi.

Demak, yuqoridagi masalada elektronlarning tartibsiz issiqlik harakatidagi tezligi tartibli dreyf tezligidan *184 mln* marta katta ekan. Lekin, shuncha katta tezlikda harakatlanishi bilan ham ular betartib bo‘lgani uchun tokni hosil qilolmas ekan. “Elektronlarning tartibli harakatdagi tezligi shunchalik kichik ekan, nima uchun tokni yoqishimiz bilan butun binoning hamma chiroqlari birdan yonadi yoki tranformatordan tokni qo‘shganda butun qishloqdagi elektr chiroqlari shu zahotiyoq baravar yonadi” degan savol tug‘iladi. Bunga javob shuki, tok qo‘shilganda o‘tkazgich ichida elektr maydoni vujudga keladi va bu maydon yorug‘lik tezligida tarqalib barcha o‘tkazgichlar ichidagi elektronlarni deyarli bir vaqtda harakatga keltiradi.

O‘tkazgich ichida elektr maydon kuchlanganligi:

O‘tkazgichdan tok o‘tayotgan bo‘lsa, uning ichida zaryadli zarralarni harakatga keltirayotgan elektr maydoni mavjud bo‘ladi. Chunki o‘tkazgichni tok manbaiga ulaganda (+) qutbdan (-) qutbga yo‘nalgan elektr maydoni paydo bo‘ladi. Elektr maydoni zaryadni, ya’ni erkin elektroblarni potensiali katta bo‘lgan nuqtadan potensiali kichik bo‘lgan nuqtaga ko‘chirishga majbur qiladi. Shunda elektr toki paydo bo‘ladi.

Biror ℓ uzunlikdagi o‘tkazgichning uchlaridagi potensiallar farqi U bo‘lsa, o‘tkazgich ichida elektronlar harakatiga E elektr maydon sababchi bo‘ladi. Elektr maydon kuchlanganligining son qiymati

$$E=\frac{U}{l}=\frac{IR}{l}=\frac{I\rho\ell}{\ell S}=\rho\frac{I}{S}=\rho J$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Buyuk nemis fizigi Om Georg Simon 1787-yil 16-mayda Bavariya qirolligining Erlangen shag‘rida dunyoga kelgan. U tok kuchi, kuchlanish va qarshilik orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi qonunni fizikaga nazariy jihatdan kirgizdi va o‘z tajribalarida isbotladi. Hozirda elektr qarshiligining nomi uning nomi bilan “Om” deb va o‘tkazuvchanlikning birligi esa uning familiyasi bilan “Simon” deb nomlanadi. Om qonuni dunyo olimlari tomonidan tan olinadi va London qirollik jamiyatining 1841-yil 30-noyabrda yig‘ilishida Kopli medali bilan taqdirlanadi. U hayoti davmida qilgan ishlari, maqolalarini 1827-yilda bitta kitob (Dier galvanische Kette, mathematisch bearbeitet) qilib chop etadi, so‘ngra bu kitob 1841-yilda mnglizchaga, 1847-yil fransuzchaga, 1860-yil esa italyanchaga tarjima qilinadi. U Furening issiqlik tarqalish hodisalari bilan ham shug‘ullangan. U 1854-yil 6-iyulda Germaniyaning Myunxen shahrida 76 yoshida olamdan o‘tadi.



Om Georg Simon (1787–1854)

ga teng bo‘lib, yo‘nalishi elektronlar haraktiga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi *(10.1-rasm)*.

Demak, tokli o‘tkazgich ichida elektr maydon kuchlanganligining son qiymati quyidagi formuladan aniqlanar ekan:

$$E = \rho \frac{I}{S} = \rho J \qquad (11.2)$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, metall o‘tkazgichlar ichida elektr maydon kuchlanganligi mavjud va bu maydon erkin elektronlarni dreyf harakatga keltiradi. Kuchlanganlikning kattaligi material turiga va o‘tkazgichning ko‘ndalang yuzasiga bog‘liq bo‘lar ekan.

Elektr qarshiligining temperaturaga bog‘liqligi:

Ma’lumki, o‘tkazgich metallarning metallmaslardan farqi tashqi qobig‘idagi elektronlarini osongina berib yuborishida. Metallar eng tashqi elektron qobig‘idagi elektronlar yadroga juda zaif bog‘langani sababli, ular osongina bog‘ni uzib metall kristal panjaralari orasidagi bo‘shliq bo‘ylab daydib yuradi. Bu elektronlar erkin elektronlar deyilib, tok hosil bo‘lishida asosiy zaryad tashuvchilardir. Ana shu erkin elektronlar konsentratsiyasi katta bo‘lgan o‘tkazgichlarning tok o‘tkazuvchanligi yaxshi bo‘ladi. Erkin elektronlarni klassik fizikada elektron gaz deb ham, ataladi va birinchi yaqinlashishda unga ideal gaz qonunlarini qo‘llash mumkin deb hisoblanadi. Erkin elektronlar qotib qolgan bo‘lmasdan, balki issiqlik harakatida ishtirok etib, betartib xaotik harakat qiladi, kristall tugunlaridagi atomlar bilan to‘qnashganda molekulalar kabi qaraladi. O‘tkazgich temperaturasi oshirilganda, erkin elektronlarning betartib harakati ham kuchayib boradi. Natijada ushbu betartiblik ularning bir tomonga qiladigan tartibli harakatiga, ko‘chki hosil bo‘lishiga xalaqit bera boshlaydi. Demak, bundan o‘tkazgichtemperaturasi oshirilganda uning elektr qarshiligi oshib, tok o‘tkazish xususiyati pasayib boradi

SINOV UCHUN BERILGAN

deyish mumkin. Hisob-kitoblarning ko‘rsatishicha qarshilik va solishtirma qarshilik temperaturaga chiziqli bog‘langan ekan.

Solishtirma qarshilik va elektr qarshilikning temperaturaga bog‘liqligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t), \qquad R = R_0 (1 + \alpha t) \tag{11.3}$$

Bu yerda: ρ_0, R_0 – o‘tkazgichning 0^0C temperaturadagi solishtirma qarshiligi va elektr qarshiligi; ρ, R – o‘tkazgichning t^0C temperaturadagi solishtirma qarshiligi va elektr qarshiligi; α – qarshilikning temperaturaviy koeffitsienti, $[\alpha] = [{}^0C^{-1}]$.

Hamma metallarda α ning qiymati musbat, chunki qizdirilganda ularning qarshiligi ortadi. Toza metallarning temperatura koeffitsiyentlari bir-biridan kam farq qiladi va ularni taxminan $0{,}004\ C^{-1}$ (ideal gazlardagi hajm va bosimning chiziqli oshish koeffitsi-yentlari $\frac{1}{273^0 C}$ atrofida) bo‘ladi deb hisoblash mumkin. Metall qotishmalarning solishtirma qarshiligi toza metallarnikidan ancha katta, temperaturaviy koeffitsiyentlari esa birmuncha kichik bo‘ladi. Ba’zi qotishmlarning temperaturaviy koeffitsiyentlari ancha kichik bo‘lganligidan ularning solishtirma qarshiliklari deyarli temperaturaga bog‘liq bo‘lmaydi.

Kuchli qizish bilan ishlaydigan har qanday elektr asbobining tokka ulangan paytdagi qarshiligi va undan o‘tayotgan tok kuchining qiymati uning ishchi holatidagidan farq qiladi. Ishchi holatda ishlayotganda elektr asboblarining qarshiligi oshib, undan o‘tayotgan tok kuchi esa kamayadi. Bu farq hattoki bir necha marta bo‘lishi mumkin.

Ba’zida masalalar yechishda qarshilikning 0^0C dan farq qiluvchi biror temperatura-dagi qiymati berilib, boshqa bir temperaturadagi qiymati so‘raladi. Buni yechish uchun dastlab o‘tkazgichning t_1 temperaturadagi qarshiligi $R_1=R_0(1+\alpha t_1)$ dan uning 0^0C dagi qarshiligi $R_0 = \frac{R_1}{1+\alpha t_1}$ ni topib olib, uni t_2 temperaturadagi qarshiligi R_2 ga qo‘yib, so‘ngra

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2) = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1}(1 + \alpha t_2) = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} R_1$$

ni hosil qilamiz.

Demak, agar o‘tkazgichning qarshiligi t_1 temperaturada R_1 bo‘lsa, t_2 temperaturadagi qarshiligi R_2 quyidagicha bo‘lar ekan:

$$R_2 = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} R_1 \tag{11.4}$$

Ba’zi hollarda esa o‘tkazgichning qarshiligining necha marta ortganligi berilib, uning necha gradusgacha qizdirilganligi so‘raladi. Shuni holni araylik.

SINOV UCHUN BERILGAN

O‘tkazgichning t^0C dagi qarshiligi $R = R_0(1+\alpha t)$ dan $1+\alpha t = \frac{R}{R_0} = k$ bundan esa $t = \frac{k-1}{\alpha}$ kelib chiqadi.

Demak, 0^0C temperaturadagi o‘tkazgichni quyidagi gradusgacha qizdirganda uning qarshiligi k marta ortib ketar ekan.

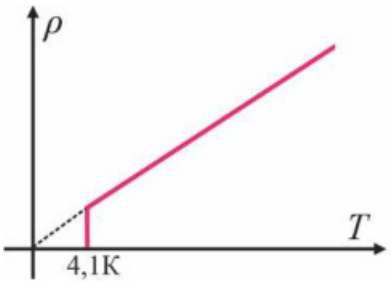
$$t = \frac{k-1}{\alpha} \qquad (11.5)$$

Shuni eslatib o‘tish kerakki, o‘tkazgich isitilganda uning qarshiligi necha marta oshsa, undan o‘tayotgan tok kuchi shuncha marta kamayadi. Demak, o‘tkazgichlardagi (ayniqsa elektr lampalari va plita spirallaridagi) tok kuchi ishchi rejimida sovuq holatdagidan kam bo‘lar ekan. Metallar qarshiligining temperaturaga bog‘lanishiga asoslanib qarshilik termometrlari yasaladi. Ularni qarshilik termoparalari deb ham ataladi. Ular tmperaturani gradusning mingdan bir ulushiga qadar aniqlikda o‘lchashga imkon beradi.

Yana shuni qayd qilib o‘tish kerakki, ko‘mir va elektrolitlar, shuningdek toz yarim o‘tkazgichlar (bu haqda keyingi bobda tanishamiz) uchun α koefitsient manfiydir. Chunki, ularni qizdirilganda qarshiigi kamayadi.

Ayrim sof metallarda solishtirma qarshilik absalyut nolga yaqin temperaturalarda keskin nolga aylanishi ma’lum bo‘ldi *(11.2-rasm)*. Bu hodisa o‘ta o‘tkazuvchanlik deb nomlanib, uni birinchi bo‘lib 1911 yilda gollandiyalik fizik Kamerling–Onnes tajriba asosida kashf qildi. U simobni suyuq geliyda sovitganda dastlab simobning qarshiligi $\rho = \rho_0(1+\alpha t)$ formulaga muvofiq kamayib borib, temperatura 4,1 K ga yetganda sakrab birdaniga nolga tushib qolganligi aniqlandi.

Agar o‘ta o‘tkazuvchan holatda bo‘lgan xalqa shaklidagi o‘tkazgichda tok hosil qilinsa, istalgancha uzoq vaqt undagi tokning qiymati o‘zgarmay qolar ekan. Kamerling–Onnes 7 *K* temperaturadagi qo‘rg‘oshinda EYuK ta’siri to‘xtagandan keyin ham 4 sutka davomida elektr toki o‘tib turganini kuzatdi.



11.2-rasm

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Metall o‘tkazgichdagi zaryadli zarralar harakati, tok yo‘nalishi hamda elektr maydon kuchlanganlik yo‘nalishi haqida aytib bering.*
2. *O‘tkazgich ichidagi dreyf harakat tezligi formulaini yozing?*
3. *Elektr qarshilikni material turiga va geometrik o‘lchamlarga bog‘liqlik formulasini yozing.*
4. *Elektr qarshilikni tempereturaga bog‘liqlik formulasini yozing.*

SINOV UCHUN BERILGAN

5. Temperatura oshganda elktr qarshilik ortishi sababini tushuntiring.
6. O‘ta o‘tkazuvchanlik nima? Uning asoschisi kim?

Masala yechish:

1. *Massasi 0,27 kg, ko‘ndalang kesim yuzi 2,8 mm² bo‘lgan aluminiy simning qarshiligi necha om? Aluminiy zichligi 2,7·10³ kg/m³, solishtirma qarshiligi 2,8·10⁻⁸ Ω·m.*

A) 2,8 B) 0,36 C) 3,6 D) 28

Berilgan:

$m = 0,27\ kg$
$S = 2,8 \cdot 10^{-6}\ m^2$
$\rho = 2,7 \cdot 10^3\ kg/m^3$
$\rho_0 = 2,8 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

$R = ?$

Yechilishi:

$$R = \rho \frac{l}{S}\ (1), \quad V = S \cdot l = \frac{m}{\rho}\ (2),$$

$$l = \frac{m}{\rho S}(3), \quad 3 \Rightarrow 1 \quad R = \rho_0 \frac{m}{\rho S^2}$$

$$R = 2,8 \cdot 10^{-8} \frac{0,27}{2,7 \cdot 10^3 \cdot 2,8 \cdot 2,8 \cdot 10^{-12}} = 0,36\ \Omega$$

Javob: *B) 0,36 Ω*

2. *Ko‘ndalang kesimi 1 mm² bo‘lgan nikelin simdan yasalgan reostatga ulangan ampermetr 2,62 A ni, voltmetr esa 220 V ni ko‘rsatadi (ρ_{Ni}=42·10⁻⁸ Ω·m). Reostat simining uzunligi qanday (m)?*

Berilgan:

$S = 1 мм^2 = 1 \cdot 10^{-6}\ m$
$I = 2,62\ A$
$U = 220\ B$
$\rho_0 = 42 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

ℓ-?

Yechilishi:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}\ (1) \qquad R = \frac{U}{I}\ (2) \quad 2 \Rightarrow 1$$

$$\frac{U}{I} = \rho \frac{\ell}{S}\ (3) \quad \ell = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot I}$$

$$\ell = \frac{220 \cdot 10^{-6}}{42 \cdot 10^{-8} \cdot 2,62} = 200\ m$$

Javob: *200 m*

3. *20A o‘zgarmas tok o‘tayotgan, ko‘ndalang Kesim yuzi 1 mm² bo‘lgan mis sim ichidagi elektr maydon kuchlanganligi qanday (V/m)? Misning solishtirma qarshiligi 1,7·10⁻⁸ Ω·m.*

A) 0,17 B) 0,34 C) 1,7 D) 3,4 E) 17

Berilgan:

$I = 20 A$
$S = 10^{-6}\ m^2$
$\rho_0 = 1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

$E = ?$

Yechilishi:

$$E = \frac{U}{l}, \rightarrow U = El. \rightarrow I = \frac{US}{\rho l} = \frac{ES}{\rho} \quad E = \frac{I\rho}{S}$$

$$E = \frac{20 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}}{\cdot 10^{-6}} = 34 \cdot 10^{-2} = 0,34\ \frac{V}{m}$$

Javob: *0,34 V/m*

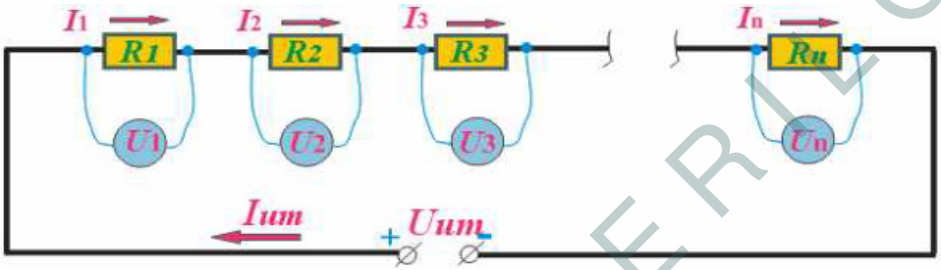
SINOV UCHUN BERILGAN

§ 12. ELEKTR QARSHILIKLARNI KETMA-KET VA PARLLEL ULASH

Qarshiliklarni ulashning ikki turi bor: 1) ketma-ket ulash; 2) parallel ulash. Bunday ulashlarda tok kuchi, kuchlanish va ummiy qarshilik qanday hisoblanishini qarab ko‘raylik.

O‘tkazgichlarni ketma-ket ulash:

Qarshiliklarni quyida rasmdagidek ulash ketma-ket ulash hisoblanadi Bunda 1-qarshilikning iziga 2-qarshilik, 2-qarshilikning iziga 3-qarshilik va hokoza ulanib, 1-va *n*- qarshiliklar o‘zgarmas tok manbaining mos holda (+) va (-) qutblariga ulanadi (12.1-rasm).



12.1-rasm

Qarshiliklarni ketma-ket ulaganda 1-qarshilikning boshi (kirish nuqtasi) manbaning (+) qutbiga, oxirgi *n*-qarshilikning oxiri (chiqish nuqtasi) esa manbaning (-) qutbiga ulangan bo‘ladi *(12.1-rasm)*. Manbaning (+) qutbidan chiqgan zaryad (aslida esa manbaning (-) qutbidan elektron chiqadi) *1-, 2-, 3-, ...n-* qarshiliklar orqali o‘tib manbaning (-) qutbiga (aslida esa manbaning (+) qutbiga elektronlar yetib keladi) to‘la-to‘kis yetib keladi. Hech qanday tarmoqlanish bo‘lmagani sababli har bir qarshilikda vaqt birligi ichida teng miqdordagi zaryad oqib o‘tadi. Demak, ulardagi tok kuchlari teng, ya’ni $I_{um} = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$ bo‘lar ekan. Bunga har bir istemolchi qarshilikdan keyin ampermetr ulaganda ularning ko‘rsatishlari bir xil chiqishidan ham bilib olish mumkin.

Tashqaridan berilgan umumiy kuchlanish barcha qarshiliklarga taqsimlanib, singib ketgani sababli $U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n$ bo‘ladi. Bunga har bir istemolchi qarshilikga parallel qilib ulangan volrmetrlar ko‘rsatishlari yig‘indisi tok manbaining kuchlanishiga teng chiqishidan ham bilib olish mumkin.

Umumiy qarshilik esa

$$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n, \rightarrow I\,R = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3 + ...I_nR_n \;/:I \rightarrow$$
$$R_{um} = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, qarshiliklarni ketma-ket ulaganda umumiy tok, umumiy kuchlanish va umumiy elektr qarshilik formulalari ushbu

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I_{um} = I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n$$
$$U_{um} = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n \qquad (12.1)$$
$$R_{um} = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$$

ko‘rinishda bo‘lar ekan.

Tok kuchlarining bir xil bo‘lishi – bu zaryad saqlanish qonunining natijasidir. Kuchlanishning iste’molchi qarshiliklarga taqsimlanib ketishi esa energiya saqlanish qonunining natijasidir. Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, qarshiliklar ketma-ket ulanganda hosil bo‘ladigan umumiy qarshilik berilgan qarshiliklar ichida eng katta qarshilikdan ham kattaroq bo‘lar ekan.

Agar bir xil qarshiliklarni o‘zgarmas tok tarmog‘iga ketma-ket qilib ulansa, ularning har birini R ga teng deb olamiz. Umumiy qarshilik $R_{um} = R + R + R + ... + R = nR$ bo‘ladi.

Binobqrin, n ta bir xil qarshilik ketma-ket ulanganda hosil bo‘lgan umumiy qarshilik quyidagicha bo‘lar ekan:

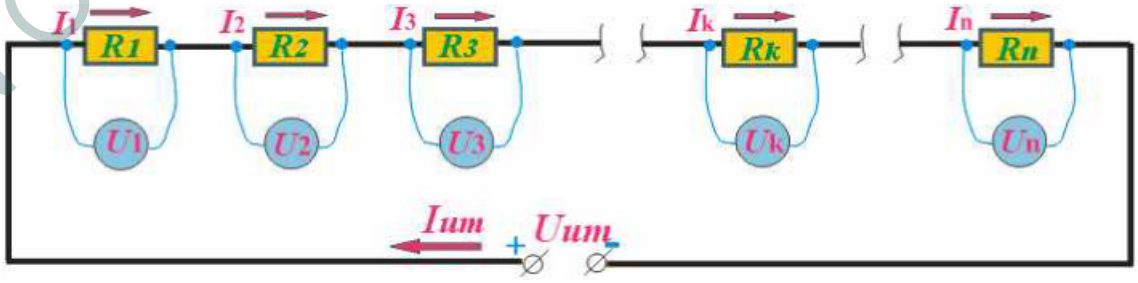
$$R_{um} = nR \qquad (12.2)$$

Ketma-ket qilib n ta qarshilik ulangan bo‘lib, ulardan ixtiyoriy 1- yoki 2-yoki 3- qarshilikdagi, umuman olganda shu qarshiliklar orasida ixtiyoriy bittasi, ya’ni k-qarshilikdagi kuchlanish tushuvini aniqlashimiz kerak bo‘lsin. Ixtiyoriy iste’molchidagi kuchlanish tushuvi o‘sha iste’molchi va undan o‘tayotgan tok kuchining ko‘paytmasiga teng bo‘ladi (12.2-rasm).

$$U_k = I_k \cdot R_k = I_{um} \cdot R_k = \frac{U_{um}}{R_{um}} \cdot R_k = \frac{R_k}{R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_k + ... + R_n} U$$

Demak, U kuchlanish manbaiga ketma-ket qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k- $(1<k<n)$ qarshilikdagi kuchlanish tushuvi quyidagicha bo‘lar ekan (12.2-rasm):

$$U_k = \frac{R_k}{R_1 + R_2 + R_3 + ...R_k ... + R_n} U \qquad (12.3)$$



12.2-rasm

Formuladan ko‘rinib turibdiki, kuchlanish tushuvi katta qarshilikda ko‘proq, kichik qarshilikda kamroq bo‘lar ekan, ya’ni umumiy qarshilikni hosil qilishda

SINOV UCHUN BERILGAN

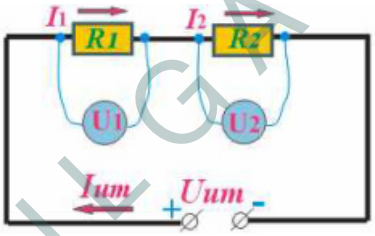
qo‘shgan hissasiga qarab kuchlanish tushuvi sodir bo‘lar ekan. Qarshiliklar qanday nisbatda bo‘lsa, ularda tushadigan kuchlanishlar ham shunday nisbatda bo‘ladi.

$$U_1 : U_2 : U_3 : ... U_n = R_1 : R_2 : R_3 : ... R_n \qquad (12.4)$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (12.5)$$

deb yozish mumkin.



12.3-rasm

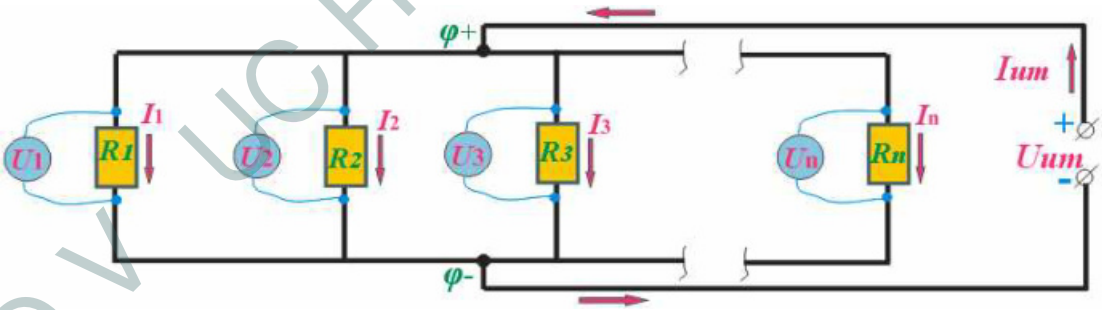
Masalalar yechishda eng ko‘p duch keladigan hol – bu ketma-ket ulangan ikkita qarshiliklarning har biridagi kuchlanish tushuvlarini aniqlash masalasidir. Bu masalani yuqorida tanishib o‘tgan ixtiyoriy *k*-qarshilikdagi kuchlanish tushuvini aniqlash formulasidan osongina aniqlay olamiz.

U kuchlanish manbaiga ketma-ket qilib ulangan R_1 va R_2 qarshiliklarning har biridagi kuchlanish tushuvlari quyidagiga teng bo‘ladi (12.3-rasm):

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \ , \qquad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \qquad (12.6)$$

O‘tkazgichlarni parallel ulash:

Qarshiliklarni quyida rasmdagidek ulash parallel ulash hisoblanadi. Bunda hamma qarshiliklarning bir uchi manbaning (+) qutbiga, 2-uchlari esa manbaning (-) qutbiga to‘g‘ridan to‘g‘ri ulanadi.



12.4-rasm

Hamma qarshiliklarning tepadagi 1-uchlari to‘g‘ridan to‘g‘ri manbaning (+) qutbiga ulangan. Shuning uchun, bu uchlarning hammasida bir xil manbaning (+) qutbining potensialiga teng bo‘lgan φ_+ potensial hosil bo‘ladi. Hamma qarshiliklarning pastki 2-uchlari to‘g‘ridan to‘g‘ri manbaning (-) qutbiga ulangan. Shuning uchun bu uchlarning hammasida bir xil manbaning (-) qutbining potensialiga teng bo‘lgan φ_- potensial hosil bo‘ladi *(12.4-rasm)*. Har bir qarshilikdagi potensiallar farqi o‘zaro teng bo‘ladi va bu potensiallar farqi manbaning kuchlanishiga teng, ya’ni $\varphi_+ - \varphi_- = U$ bo‘ladi. Demak, qarshiliklarning hammasidagi kuchlanishlar bir xil va manbaning kuchlanishiga teng, ya’ni

$$U_{um} = U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n$$

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘ladi. Buni har bir istemolchi qarshilikga parallel qilib ulangan voltmetr ko‘rsatishlari bir xil chiqishidan ham bilib olish mumkin.

Manbaning (+) qutbidan chiqqan zaryad (aslida manbaning (-) qutbidan elektronlar chiqadi) barcha qarshiliklarga bo‘linib tarqalib ketadi va qarshiliklarning pastki uchlaridan chiqgach qo‘shilib manbaning (-) qutbiga yetib boradi (aslida esa elektronlar manbaning (+) qutbiga yetib boradi). Demak, tarmoqlanmagan qismdagi zaryad barcha qarshiliklarga taqsimlanib ketgandan keyin tok kuchi

$$I_{um} = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$$

bo‘ladi. Buni har bir istemolchi qarshilikdan keyin ulangan volrmetrlar ko‘rsatishlari yig‘indisi tarmoqlanmagan qismiga ulangan ampermetr ko‘rsatishiga teng chiqishidan ham bilib olish mumkin. Bu zaryadning saqlanish qonuni natijasidir.

Qarshiliklar sistemasining umumiy qarshiligi

$$I_{um} = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n\ , \ \rightarrow \ \frac{q_{um}}{R_{um}} = \frac{q_1}{R_1} + \frac{q_2}{R_2} + \frac{q_3}{R_3} + ... + \frac{q_n}{R_n} / :q, \ \rightarrow$$

$$\frac{1}{R_{um}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, qarshiliklarni parallel ulaganda umumiy tok kuchi, umumiy kuchlanish va umumiy qarshilik formulalari ushbu

$$\begin{aligned} I_{um} &= I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n \\ U_{um} &= U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n \\ \frac{1}{R_{um}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n} \end{aligned} \qquad \textbf{(12.7)}$$

ko‘rinishdabo‘lar ekan.

Qarshiliklar parallel ulanganda hosil bo‘ladigan umumiy qarshilik berilgan qarshiliklar ichida eng kichik qarshilikdan ham kichikroq bo‘ladi.

Agar bir xil qarshiliklarni o‘zgarmas tok tarmog‘iga parallel qilib ulansa, ularning har birini R ga teng deb olamiz. Umumiy qarshilik esa

$$\frac{1}{R_{um}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + ... + \frac{1}{R} = \frac{n}{R}, \ \rightarrow \ R_{um} = \frac{R}{n}$$

bo‘ladi.

Demak, n ta bir xil qarshilik parallel ulansa, umumiy qarshilik quyidagicha bo‘lar ekan:

$$R_{um} = \frac{R}{n} \qquad \textbf{(12.8)}$$

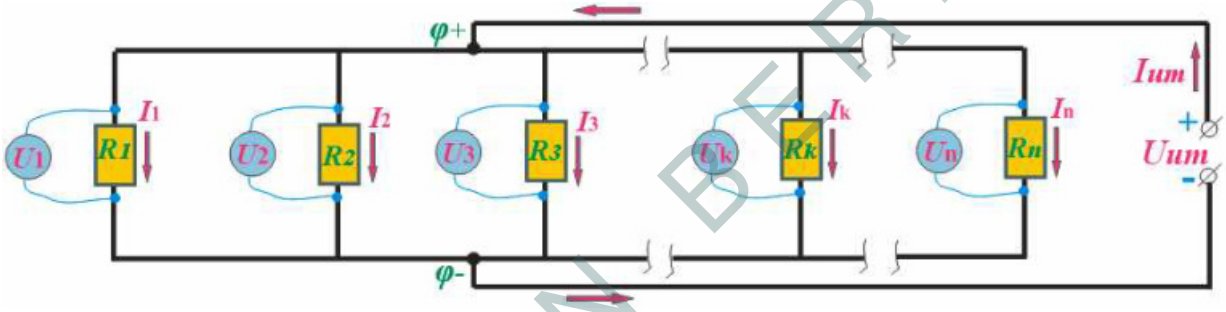
SINOV UCHUN BERILGAN

Agar R_1 va R_2 qarshiliklar parallel ulansa, umumiy qarshilik quyidagicha bo‘ladi:

$$R_{um} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (12.9)$$

Parallel qilib n ta qarshilik ulangan bo‘lib, ulardan ixtiyoriy 1- yoki 2-yoki 3-qarshilikdagi, umuman olganda shu qarshiliklar orasida ixtiyoriy bittasi, ya’ni k-qarshilikdagi tok kuchini aniqlashimiz kerak bo‘lsin. Ixtiyoriy iste’molchidan o‘tayotgan tok kuchi Om qonuniga ko‘ra o‘sha iste’molchidagi kuchlanish tushuvining shu iste’molchi qarshiligiga nisbatiga teng bo‘ladi (12.5-rasm).

$$I_k = \frac{U_k}{R_k} = \frac{U_{um}}{R_k} = \frac{I_{um} R_{um}}{R_k} = \frac{1}{R_k\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_k} + \ldots + \frac{1}{R_n}\right)} I$$



12.5-rasm

Demak, agar zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok kuchi I ga teng bo‘lsa, manbaga parallel qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k-$(1<k<n)$ qarshilikdagi tok kuchi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$I_k = \frac{1}{R_k\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_k} + \ldots + \frac{1}{R_n}\right)} I \qquad (12.10)$$

Formuladan ko‘rinib turibdiki, tok kuchi kichik qarshilikda ko‘proq, katta qarshilikda
esa kamroq bo‘lar ekan, ya’ni tarmoqlanmagan qismdagi tok qarshiliklarga teskari proporsional holda taqsimlanar ekan. Qarshiliklar qanday nisbatda bo‘lsa, ulardan o‘tadigan toklar teskari nisbatda bo‘ladi.

$$I_1 : I_2 : I_3 : \ldots I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \ldots \frac{1}{R_n} \qquad (12.11)$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_2}{R_1} \qquad (12.12)$$

deb yozish mumkin.

SINOV UCHUN BERILGAN

Masalalar yechishda eng ko‘p duch keladiganimiz – parallel ulangan ikkita qarshiliklarning har biridan o‘tadigan tok kuchlari so‘ralishidir.

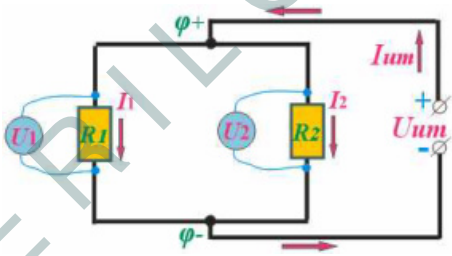
Yuqorida keltirib chiqarilgan formuladan foydalanamiz. Tok kuchlari

$$I_1 = \frac{1}{R_1\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)} I = \frac{R_1R_2}{R_1(R_1+R_2)} I = \frac{R_2}{(R_1+R_2)} I \quad \text{va}$$

$$I_2 = \frac{1}{R_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)} I = \frac{R_1R_2}{R_2(R_1+R_2)} I = \frac{R_1}{(R_1+R_2)} I$$

bo‘ladi.

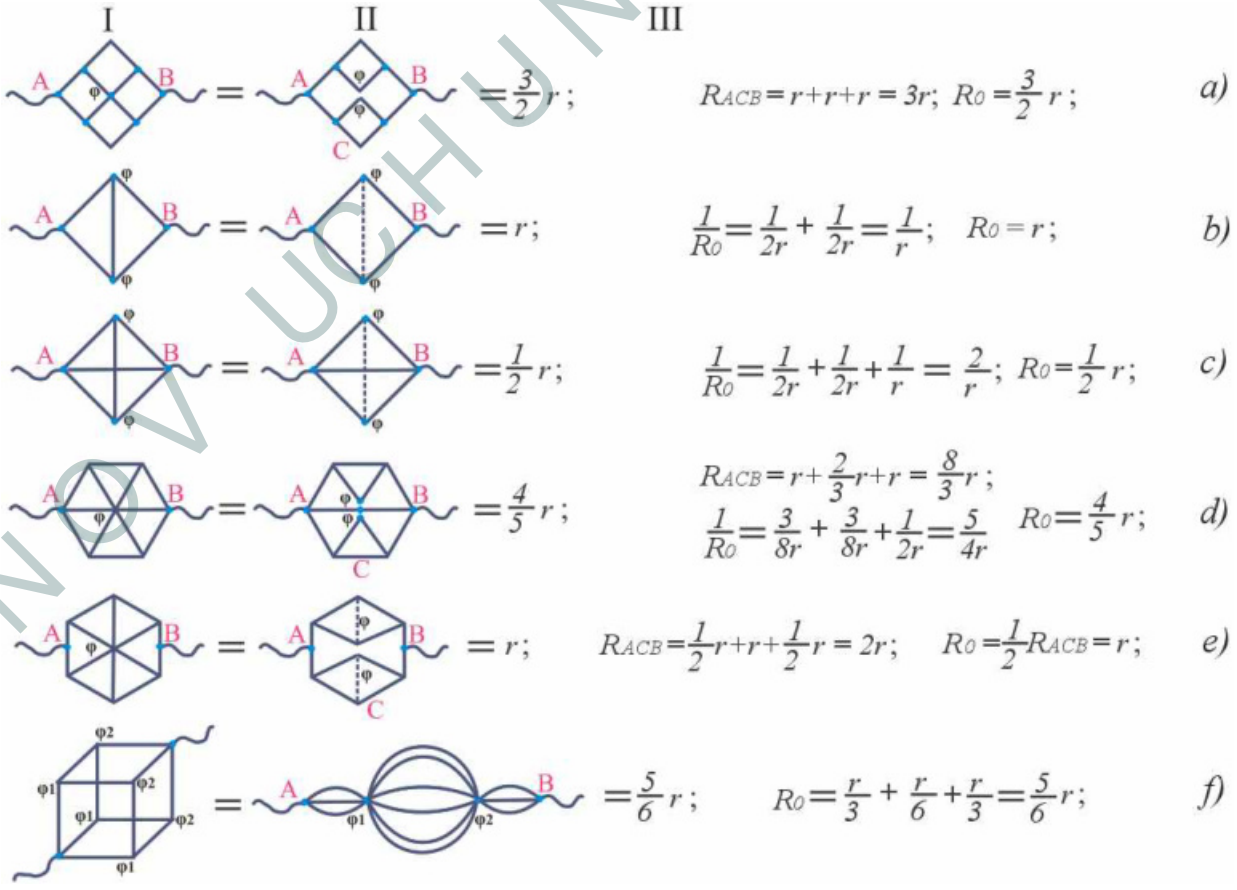
Demak, agar zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok kuchi I ga teng bo‘lsa, manbaga parallel qilib ulangan R_1 va R_2 qarshiliklarning har biridan o‘tadigan tok kuchlari quyidagicha bo‘lar ekan (12.6-rasm):



12.6-rasm

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2} I, \qquad I_2 = \frac{R_1}{R_1+R_2} I \qquad \textbf{(12.13)}$$

Turli zanjirlarda natijaviy qarshilikni topish:



12.7-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektrostatika bobidan bizga ma’lumki, turli zaryadlangan jismlarni tekkizganda ulardagi zaryad almashinuvi toki ularning potensiallari tenglashguncha sodir bo‘ladi. Boshqacha aytganda elektr maydoni zaryadni katta potensialli nuqtadan kichik potensialli nuqtaga ko‘chirishga intiladi, potensiallar tenglashganda esa zaryadlar harakati yuzaga kelmaydi. Chunki, teng potensialli nuqtada zaryadga qarama-qarshi tomonga yo‘nalgan va miqdori teng bo‘lgan kulon kuchi ta’sir qiladi. Mana shu sanab o‘tilganlarni bilgan holda murakkab tuzilishga ega bo‘lgan elektr zanjirlarining umumiy qarshililarini ham osongina hisoblab topish mumkin. Buning uchun sxemadagi potensiali bir xil bo‘lgan nuqtalarni topib, ularni qo‘shish mumkin, yoki bitta nuqtanbi ikkita teng potensialli nuqtaga ajratib sxemani soddaroq holga keltirish mumkin. Quyidagi 12.7-rasmda mana shunday murakkab sxemalar va ularni teng potensialli nuqtalarga ajratish orqali soddaroq ekvivalent sxemaga keltirish hamda umumiy elektr qarshilikni aniqlashga doir namunalar keltirilgan. Bunda har ikki nuqtasi orasida bitta o‘tkazgich bor deb hisoblaymiz va uni zveno deb ataymiz.

Har bir zvenosining qarshiligi r ga teng bo‘lgan yuqoridagi 12.7-rasmda tasvirlangan va simdan yasalgan turli geometrik shakllarning natijaviy to‘la qarshiligi R ni topish shu rasmning o‘zida berilgan. Rasmdagi har bir shakllardagi ulanish sxemalari murakkab bo‘lgani bilan ularni yechish uchun simmetriyadan foydalanamiz. Ma’lumki, zaryad potensiali katta nuqtadan potensiali kichik bo‘lgan nuqtaga oqadi. Agar ikki nuqtaning potensiali teng bo‘lsa, bu nuqtalarni birlashtirish yoki ularni orasidagi mavjud zvenoni olib tashlash bilan sxema qarshiligi o‘zgarib qolmaydi. Rasmda *I* raqami bilan murakkab shakl, *II* raqami bilan soddalashgan shakl, *III* raqami bilan esa to‘la qarshilik R_0 ni topish, ya’ni masalani yechish yo‘li ko‘rsatilgan. Teng potensialli nuqtalar φ bilan ko‘rsatilgan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Ketma-ket ulash deb nimga aytiladi? Bunda umumiy tok kuchi, kuchlanish va qarshiliklar qanday bo‘ladi?*
2. *Parallel ulash deb nimga aytiladi? Bunda umumiy tok kuchi, kuchlanish va qarshiliklar qanday bo‘ladi?.*
3. *Ketma-ket ulangan qarshiliklarga tushadigan kuchlanishlar qanday nisbatda bo‘ladi? Ikkita qarshilikning har biriga tushadigan kuchlanishlarni yozing.*
4. *Parallel ulangan qarshiliklarning har biridan o‘tadigan tok kuchlari qanday bo‘ladi? Ikkita qarshilikning har biridan o‘tadigan tok kuchlarini yozing.*

Masala yechish:

1. *Qarshiliklari teng bo‘lgan ikkita thermistor o‘zgarmas kuchlanish manbaiga ketma-ket ulandi. Termistorlardan birini sovitisn natijasida undagi kuchlanishning tushuvi 1,5 marta ortgan bo‘lsa, uning (termistorning) qarshiligi necha marta ortgan?*

SINOV UCHUN BERILGAN

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

Berilgan:	*Yechilishi:*
$R_1 = R_2 = R$ $U_1' = 1,5U_1$	1) *Holda:* $R_{um} = R_1 + R_2 = 2R \quad U_0 = IR_{um} = 2IR$ $U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2$
$\frac{R_1'}{R_1} = ?$	2) *Holda:* $U_1' = IR_1' \quad U_2 = IR_2$ $U_1' = 1,5U_1 \Rightarrow IR_1' = 1,5IR_1 \quad R_1' = 1,5R$

Javob: *A)*

2. *2R va R qarshiliklar zanjirga ketma-ket ulangan. Voltmetr 2R qarshilikka ulanganda, R qarshilikka ulangandagiga nisbatan 1,5 marta katta kuchlanishni ko‘rsatadi. Voltmetrning qarshiligi R qarshilikdan necha marta katta? Manbadan o’tuvchi tok o‘zgarmas deb hisoblang.*

A) 3 B) 2 C) 1,5 D) 4 E) bir xil

Berilgan:	*Yechilishi:*
$R_1 = 2R$ $R_2 = R$ $U_1 = 1,5U_2$	1) $R_{um1} = \frac{2R_V \cdot R}{R_V + 2R}$ $U_1 = IR_{um1}$; 2) $R_{um2} = \frac{R_V \cdot R}{R_V + R}$ $U_2 = IR_{um2}$ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{IR_{um1}}{IR_{um2}} = \frac{2R_V R(R_V + R)}{(R_V + 2R)R_V R} = \frac{2R_V + 2R}{R_V + 2R} = \frac{3}{2}$
$\frac{R_V}{R} = ?$	$4R_V + 4R = 3R_V + 6R, \rightarrow 2R = R_V, \rightarrow \frac{R_V}{R} = 2$

Javob: *B) 2*

3. *Ichki garshiligi 2800 Ω bo‘lgan voltmetr elektr tarmog‘iga ulanganda, 220 V kuchlanishni ko‘rsatdi. Voltmetrga necha Om qarshilik ketma-ket ulansa, u 112 V ni ko‘rsatadi?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$R_V = 2800\ \Omega$ $U_V = 112\ V$ $U = 220V$	$U = U_V + U_{sh}$ $I = \frac{U_{sh}}{R_{sh}} = \frac{U - U_V}{R_{sh}}, \rightarrow R_{sh} = \frac{108}{112} \cdot 2800 = 2700\ \Omega$ $R_{sh} = \frac{(U - U_V)R_V}{U_V}$
$R_{sh} - ?$	

Javob: *2700 Ω*

§ 13. ELEKTR O‘LCHOV ASBOBLARI. ELEKTR O‘LCHOV ASBOBLARINING O‘LCHASH CHEGARALARINI OSHIRISH

Ampermetr. Ampermetr yordamida o‘lchash chegarasini oshirish:

Tok kuchi ampermetr asbobi bilan o‘lchanadi *(13.1-rasm)*. Ampermetr qarshilikga ketma-ket qilib ulanadi. Ampermetr yordamida tok kuchini o‘lchashdan maqsad, ampermetr ulanmagan holatda qanaqa jarayon sodir bo‘lsa, ulangandan keyin ham deyarli xuddi o‘sha jarayonga ega bo‘lish, boshqacha

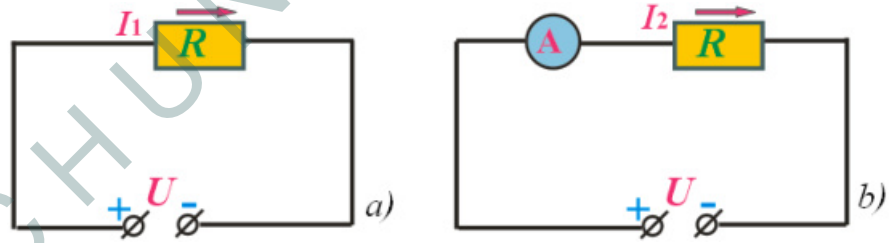
SINOV UCHUN BERILGAN

aytganda ampermetr yordamida haqiqiy tok kuchini olishdir. Ampermetr ulanmagan vaqtda tarmoqdagi tok kuchi $I_1 = \frac{U}{R}$ bo‘lsa, ampermetr ulanganda esa tok kuchi $I_2 = \frac{U}{R + r_A} = \frac{R}{R + r_A}\frac{U}{R} = \frac{R}{R + r_A} I_1$ bo‘ladi *(13.2-rasm)*. Ampermetrning ham ichki qarshiligi bo‘lganligi sababli har doim $I_2 < I_1$ bo‘ladi. Chunki, har doim $\frac{R}{R + r_A} < 1$ bo‘ladi. Shuning uchun I_1 va I_2 tok kuchlari orasidagi farqni oshirib yubormaslikka, ya’ni $I_2 < I_1$ bo‘lsa ham $I_2 \approx I_1$ natijaga ega bo‘lishga intilishimiz kerak. I_1 va I_2 tok kuchlari orasidagi farqni oshirib yubormaslik uchun esa ampermetrning ichki qarshiligi r_A ni mumkin qadar kichikroq ($r_A << R$) qilib tanlash kerak bo‘ladi. Ampermetrni hech qachon tok tarmog‘iga parallel qilib ulab bo‘lmaydi. Chunki, ampermetr qarshilikka parallel ulanganda uning ichki qarshiligi ancha kichik bo‘lgani sababli undan ancha katta tok o‘tadi va ushbu tokka o‘zi dosh bera olmasdan kuyib qolishi, ishdan chiqishi mumkin.

Ko‘p hollarda har xil tok kuchlari bilan ishlaganda ularni o‘lchash uchun har xil ampermetrlar kerak bo‘ladi. Masalan, katta toklarni o‘lchashda ampermetrdan foydalanilsa, kichik toklarni o‘lchashda esa milliampermetrdan foydalaniladi. Agar ixtiyorimizda faqat bitta, aytaylik faqat milliampermetr bo‘lsa unda nima qilamiz?



13.1-rasm



13.2-rasm

–Bunda milliampermetrni katta tok kuchiga ulansa, asbob kuyib ishdan chiqib qoladi. Maqsadimizga erishish uchun tanlagan milliampermetrimizning o‘lchash chegarasini oshirishimiz kerak bo‘ladi. Ampermetrning o‘lchash chegarasini oshirish uchun unga parallel holda shunt ulanadi. Qo‘shimcha ulanadigan shuntning qarshiligini keltirib chiqaraylik. Ampermetrdan o‘tayotgan tok kuchi $I_A = \frac{R_{sh}}{R_{sh} + r_A} I$ bo‘ladi. Bundan

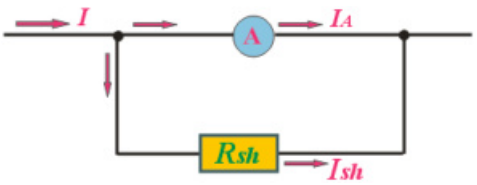
$$n = \frac{I}{I_A} = \frac{R_{sh} + r_A}{R_{sh}}, \quad \rightarrow \quad n R_{sh} = R_{sh} + r_A, \quad \rightarrow \quad R_{sh} = \frac{r_A}{n - 1}$$

ekanligi kelib chiqadi.

Demak, ampermetrning o‘lchash chegarasini oshirish uchun qo‘shimcha ulanadigan shuntning qarshiligi quyidagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$R_{sh} = \frac{r_A}{n-1}, \qquad n = \frac{I}{I_A} \qquad \textbf{(13.1)}$$



13.3-rasm

Bu yerda: n – sezgirlik koeffitsienti;

r_A – ampermetrning ichki qarshiligi;

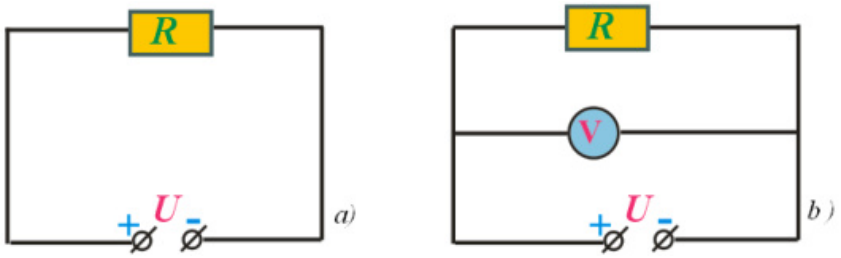
R_{sh} – shuntning qarshiligi.

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, shuntning qarshiligi har doim ampermetrning ichki qarshiligidan kichik, ya’ni $R_{sh} < r_A$ bo‘lar ekan. Chunki, tarmoqlanmagan qismdagi *I* tokning katta qismi shunt orqali o‘tib, ampermetrdan esa faqatgina mo‘ljaldagi (ampermetrning eng katta ko‘rsatishidan oshib ketmagan) tok o‘tishi kerak. Shundagina ampermetrni kuyishdan saqlab qolish mumkin. Masalan, ampermetr faqat $I_A = 10\ mA$ gacha tok kuchini o‘lchashga mo‘ljallangan bo‘lib, uni tarmoqdagi tok kuchi $I = 100\ mA$ tokka ulash kerak bo‘lsa, shuntning qarshiligini shunday tanlanish kerak bo‘ladiki, bunda ampermetrdan mo‘ljaldagi *10 mA* tok o‘tib, qolgan *90 mA* tok esa shunt orqali o‘tish kerak. Shundagina ampermetrni kuyishdan saqlab qolamiz.

Voltmetr. Voltmetr yordamida o‘lchash chegarasini oshirish:

Kuchlanish voltmetr asbobi bilan o‘lchanadi *(13.4-rasm)*. Voltmetr qarshilikkka parallel qilib ulanadi. Voltmetrning ichki qarshiligi mumkin qadar katta qilib tanalanadi. Odatda, voltmetrning ichki qarshiligi iste’molchilar qarshiliklaridan ancha katta qilib tanlanadi. Chunki, voltmetr qarshilikka paralle ulangani uchun undagi kuchlanish manbaning kuchlanishiga teng bo‘ladi. Voltmetrda katta quvvat ajralib chiqib asbobni ishdan chiqarib qo‘ymasligi hamda energiya isrofi oshib ketmasligi uchun $P_V = \frac{U^2}{R_V}$ formulaga binoan ichki qarshilik yetarlicha katta bo‘lishi kerak. Boshqacha aytganda, voltmetrning ichki qarshiligi undan foydalanish mo‘ljallangan elektr jihozlari qarshiligidan, misol uchun uy ro‘zg‘orda ishlatiladigan elektr jihozlar qarshiligidan ancha katta qilib tanlanadi. Voltmetrning ichki qarshiligi uning pasportida yozilgan bo‘ladi (*13.5-rasm)*.


13.4-rasm



13.5-rasm

Hech qachon voltmetrni tok tarmog‘iga ketma-ket qilib ulab bo‘lmaydi. Chunki, bunda uning ichki qarshiligi ancha katta bo‘lgani sababli manbaning barcha kuchlanishini o‘zi yutib yuboradi va iste’molchiga tushadigan kuchlanish

SINOV UCHUN BERILGAN

juda kichik bo‘lib qoladi. Natijada, iste’molchining ishchi jarayoni butunlay o‘zgarib ketadi. Masalan, elektr lampasi va voltmetr ketma-ket qilib *220 V* tok tarmog‘iga ulansa, voltmetrga *220 V*, lampaga esa *20 V* kuchlanish tushib qoladi va lampa arang cho‘g‘lanadi.

Ko‘p hollarda har xil kuchlanishlar bilan ishlaganda ularni o‘lchash uchun har xil voltmetrlar kerak bo‘ladi. Agar ixtiyorimizda faqat bitta, aytaylik o‘rtacha kuchlanishlarni o‘lchashga mo‘ljallangan voltrmetr bo‘lsa unda nima qilamiz?

–Bunda voltmetrni katta kuchlanishga ulansa, asbob kuyib ishdan chiqib qoladi. Maqsadga erishish uchun tanlagan voltmetrimizning o‘lchash chegarasini oshirishimiz kerak bo‘ladi. Voltmetrning o‘lchash chegarasini oshirish uchun unga ketma-ket qilib qo‘shimcha qarshilik ulanadi. Qo‘shimcha ulanadigan qarshilikni keltirib chiqaraylik. Voltmetrdagi kuchlanish $U_V = \frac{r_V}{R_q + r_V} U$ ga teng bo‘ladi. Bundan

$$n = \frac{U}{U_V} = \frac{R_q + r_V}{r_V}, \quad \rightarrow \quad n r_V = R_K + r_V, \rightarrow \quad R_q = (n-1) r_V$$

ekanligi kelib chiqadi.

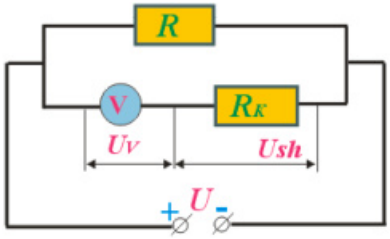
Demak, o‘lchash chegarasini oshirish uchun voltmetrga qo‘shimcha ulanadigan qarshilik quyidagicha bo‘lar ekan:

$$R_q = (n-1) r_V, \quad n = \frac{U}{U_V} \qquad \textbf{(13.2)}$$

Bu yerda: n – sezgirlik koeffitsienti,

r_V – voltmetrning ichki qarshiligi,

R_q – ulangan qo‘shimcha qarshilik.



13.6-rasm

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, qo‘shimcha qarshilik har doim voltmetrning ichki qarshiligidan katta, ya’ni $R_q > r_V$ bo‘lar ekan. Chunki, manbadagi U kuchlanishning katta qismi qo‘shimcha qarshilikka tushib, voltmetrga esa faqatgina mo‘ljaldagi (voltmetrning eng katta ko‘rsatishidan oshib ketmagan) kuchlanish tushishi kerak. Shundagina voltmetrni kuyishdan saqlab qolish mumkin. Masalan, voltmetr faqat $U_V = 100\ V$ gacha kuchlanishni o‘lchashga mo‘ljallangan bo‘lib, uni kuchlanishi $U = 1000V$ bo‘lgan manbaga ulash kerak bo‘lsa, qo‘shimcha qarshilikning qarshiligi shunday tanlanish kerakki, bunda voltmetrga mo‘ljaldagi *100V* kuchlanish tushib, qolgan *900V* kuchlanish esa qo‘shimcha qarshilikka tushishi kerak bo‘ladi. Shundagina voltmetrni kuyishdan saqlab qolgan bo‘lamiz.

Endi ampermetr, voltmetr ichki qarshiliklari va ularning o‘lchash chegarasini oshirish uchun foydalaniladigan qarshiliklarning kattaliklarini taxminan bo‘lsa-da miqdoriy baholaylik. Uy ro‘zg‘orda, kundalik turmushda ishlatiladigan elektr

SINOV UCHUN BERILGAN

jihozlari (cho‘g‘lanma lampa, televizor, muzlatkich, konditsioner, chang yutkich va b.) ning elektr qarshiliklari *100 – 1000 Ω* oralig‘ida bo‘ladi. Masalan, quvati *100 W* bo‘lgan cho‘g‘lanma lampa qarshiligi *484 Ω* ga teng. Keling, biz *R=100 Ω* qarshilikli elektr jihozini tanlaylik. Undagi tok kuchini o‘lchash uchun ulanadigan ampermetrning qarshiligi yuz martalab kichik bo‘lish kerak. Shuning uchun $r_A = R/100 = 1\ \Omega$ deb olaylik. Agar bu ampermetrning ham o‘lchash chegarasini oshirish kerak bo‘lsa, unga ulanadigan shuntning qarshiligi yanada kichik bo‘ladi. Aytaylik, 10 marta katta tokka ulamoqchi bo‘lsak, shuntning qarshiligi 9 marta kichik bo‘lishi kerak, ya’ni $R_{sh} = r_A/9 = 1/9\ \Omega$ bo‘ladi. Endi *R=100 Ω* qarshilikli elektr jihozidagi kuchlanishni o‘lchamoqchi bo‘lsak, unga ulanadigan voltmetrning qarshiligi yuz martalab katta bo‘lishi kerak. Shuning uchun $r_V = 100R = 10k\,\Omega$ deb olaylik. Agar bu voltmetrning ham o‘lchash chegarasini oshirish kerak bo‘lsa, unga ulanadigan qo‘shimcha qarshilik yanada katta bo‘ladi. Aytaylik, 10 marta katta kuchlanishga ulamoqchi bo‘lsak, qo‘shimcha qarshilik 9 marta katta bo‘lishi kerak, ya’ni $R_q = 9r_V \approx 90\ k\Omega$ bo‘ladi. Taqqoslaydigan bo‘lsak, ampermetr va voltmetrlarning ichki qarshiliklari

$$\frac{r_V}{r_A} = \frac{100R}{R/100} = 10^4 = 10\ 000$$

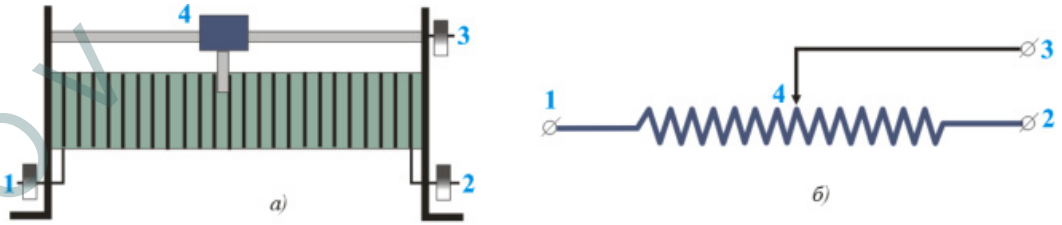
marta farq qilar ekan. Ampermetr va voltmetrga ulanadigan qarshiliklar esa

$$\frac{R_q}{R_{sh}} = \frac{9r_V}{r_A/9} = 81\frac{r_V}{r_A} = 81\cdot 10^4 = 810\ 000$$

marta farq qilar ekan.

Reostat. Reostat yordamida tok kuchi va kuchlanishni o‘zartirish:

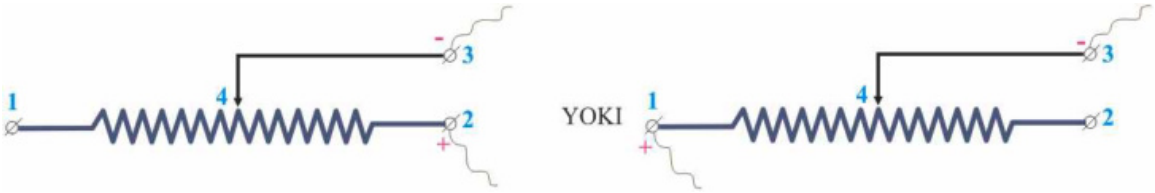
Tok kuchi yoki kuchlanishni o‘zgartirishga mo‘ljallangan asbob reostat deb ataladi.



13.7-rasm

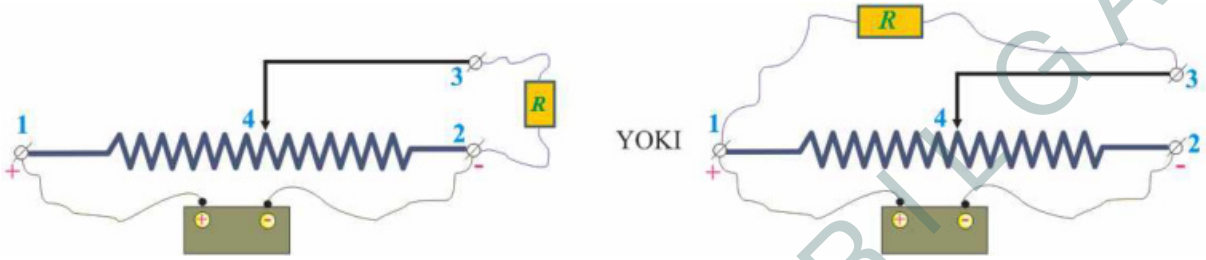
Reostatlar qo‘llanilishiga qarab slindrga o‘ralgan aniq qarshilikli nikel yoki nixrom simlar cho‘lg‘amidan iborat bo‘ladi. 13.7-a,b rasmlarda rolik kontaktli reostatlardan birining umumiy ko‘rinishi hamda sxematik ko‘rinishi keltirilgan. Reostatlar tok kuchini o‘zgartirish uchun rostlovchi, kuchlanishni o‘zgartirish uchun esa potensiometr ko‘rinishida zanjirga ulanadi.

SINOV UCHUN BERILGAN



13.8-rasm

Agar reostat 2–3 yoki 1–3 qisqichlari orqali zanjirga ketma-ket ulanib, 4 kontaktni siljitish bilan qarshiligi o‘zgartirilsa, zanjirdagi tokning kuchi o‘zgaradi *(13.8- rasm)*. Bu holatda reostatdan rostlovchi sifatida foydalanilmoqda.



13.9-rasm

Reostat potensiometr ko‘rinishida zanjirga ulanganda uning 1–2 qisqichi manbaga, 2–3 yoki 1–3 qisqichlari iste’molchiga ulanib, sirpanuvchi kontakt 4 vaziyatini o‘zgartirish bilan kuchlanish o‘zgartiriladi *(13.9- rasm)*.

Har bir reostatning eng katta qarshiligi va yo‘l qo‘yilishi ruxsat etilgan eng katta tok kuchi bo‘lib, ular reostatning pasportiga yozilgan bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Ampermetrning vazifasi nima? U tok tarmog‘iga qanday ulanadi va nima uchun?*
2. *Ampermetrning o‘lchash chegarasi qanday oshiriladi? Bunda ulanadigan shuntning qarshiligini aniqlash formulasini yozing.*
3. *Voltmetrning vazifasi nima? U tok tarmog‘iga qanday ulanadi va nima uchun?*
4. *Voltmetrning o‘lchash chegarasi qanday oshiriladi? Bunda ulanadigan qo‘shimcha qarshilikni aniqlash formulasini yozing.*
5. *Sezgirlik koeffitsiyenti nima? Uning toku kuchi yoki kuchlanish orqali ifodalanadigan formulalarini yozing.*

Masala yechish:

1. *Shuntning R qarshiligi ampermetrning qarshiligidan 5 marta kichik. Agar ampermetr 100 mA tokni ko‘rsatayotgan bo‘lsa, magistraldagi tok kuchi I qanday (mA)?*

Berilgan:

$R = \frac{R_A}{5}$

$I_A = 200mA$

I-?

Yechilishi:

$R_{sh} = R$

$R_{sh} = \frac{R_A}{n-1}$

$I = I_A + I_{sh}$

$I_A R_A = I_{sh} R_{sh}$

$I_A R_A = \frac{I_{sh} R_{sh}}{5}$

$I_{sh} = 5I_A \quad I = I_A + 5I_A = 6I_A$

$I = 6 \cdot 100 = 600\ mA$

SINOV UCHUN BERILGAN

Javob: *600 mA*

2. *Ikkita bir xil shuntlardan biri ampermetrga ulansa, uning bo'lim qivmati 2 marta ortadi. Agar ikkala shunt ampermetrga parallel ulansa, uning bo'lim qiymati necha marta ortadi?*

A) 3 B) 4 C) 5 D) 2,5 E) 1,5

Berilgan:

$I_{sh} = I_A$

$I_n = 2I_A$

$n_1=2$

$n_2=?$

Yechilishi:

$\frac{I}{I_A} = n\ I = I_A + I_{sh} + I_{sh} = 3I_{sh}$

$n_2 = \frac{I}{I_A} = 3$

Javob: *A)* 3

3. *Sxemada R_1 =800 Ω, R_2 =1000 Ω va shu zanjirning umumiy qarshiligi 480 Ω bo'lsa, voltmetrning o'lchash chegarasi necha marta oshinlgan?*

Berilgan:

$R_1 = 800\ \Omega$

$R_2 = 1000\ \Omega$

$R_{um} = 1000\ \Omega$

$\frac{U}{U_V} - ?$

Yechilishi:

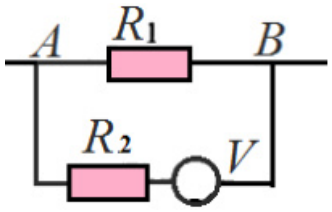
$I = \frac{U_V}{R_V}$, $U=U_2 + U_U$, $R_V = 200\Omega$

$I = \frac{U_V+U_{sh}}{R_V+R_{sh}}$, $\rightarrow$ $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2+R_U}$

$\frac{U}{U_V} = \frac{R_V+R_{sh}}{R_V}$, $\rightarrow$ $\frac{U}{U_V} = \frac{U_2+U_U}{U_U} =$

$\frac{U_2}{U_U} + 1$, $\rightarrow$ $\frac{U}{U_V} = \frac{R_2}{R_U} + 1$

$\frac{U}{U_V} = \frac{1000}{200} + 1 = 6$



Javob: *6*

§ 14. ELEKTR TOKINING ISHI. JOUL-LENS QONUNI. ELEKTR QUVVATI.

Elektr tokining ishi va quvvatini aniqlash uchun Joul-Lens qonuni:

O'tkazgichdan elektr toki o'tganda zaryadlar potensiali katta bo'lgan nuqtadan potensiali kichik bo'lgan nuqtaga ko'chadi. Boshqacha aytganda, o'tkazgich ichidagi elektr maydoni erkin zaryadlarni katta potensialli nuqtadan kichik potensialli nuqtaga ko'chiradi. Lekin, bu ko'chirish jarayonida erkin elektronlar va kristall panjara tugunlari orasida sodir bo'ladigan noelastik to'qnashuvlar natijasida energiya sarfi bo'ladi, ya'ni elektr maydoni zaryadni o'tkazgich bo'ylab ko'chirishda ish bajaradi. Bu bajarilgan ish esa issiqlik tarzida namoyon bo'ladi va o'tkazgichlarning qizishiga sabab bo'ladi.

O'tkazgich uchlaridaga potensiallar ayirmasi – kuchlanish U ga teng bo'lganda elektr maydoni biror q elektr zaryadini potensiali katta bo'lgan nuqtadan potensiali kichik bo'lgan nuqtaga ko'chirib $A=qU$ ga teng ish bajaradi (chunki, zaryadni ko'chirish jarayonida U kuchlanish o'zgarmas saqlanadi, kondensatorni zaryadlash

SINOV UCHUN BERILGAN

jarayonida esa kuchlanishning qiymati *0* dan *U* gacha chiziqli ortib borgani uchun ½ koeffitsiyent kiritilgan edi). Bunda ko‘chiriib o‘tkazilgan zaryadni *I* tok kuchi va *t* zaryadning o‘tish vaqti orqali ifodalansa, u holda zaryadni katta potensialli nuqtadan kichik potensialli nuqtaga ko‘chirishda elektr tokining bajargan ishi quyidagicha bo‘ladi:

$$A = qU = IUt \qquad (14.1)$$

Yuqoridagi formulani zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan foydalanib, yana boshqa ko‘rinishlarda ham ifodalash mumkin.

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t \qquad (14.1a)$$

Energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ra elektr tokining bajargan ishi atrofdagi energiya o‘zgarishiga teng bo‘lishi kerak. Boshqacha aytganda, elektr tokining bajargan ishi issiqlikka aylanadi, ya’ni tokning bajargan ishi o‘tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga teng bo‘ladi. Yuqoridagi formulani quyidagicha yozish ham mumkin:

$$Q = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t \qquad (14.2)$$

Yuqoridagi formulani J.N.Joul va E.X.Lenslar alohida-alohida topganliklari uchun ularning sharafiga ***Joul-Lens qonuni*** deyiladi.

Joul-Lens qonuni: O‘tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdori o‘tkazgichdagi tok kuchi kvadrati, o‘tkazgich qarshiligi va tok o‘tib turish vaqtlari ko‘paytmasiga tengdir.

Bu qonuni ingliz olimi J.N.Joul (1818–1889) va rus fizigi E.X.Lens (1804–1865) bir-biridan bexabar holda tokning issiqlik ta’sirini o‘rganish borasida ko‘p bor o‘tkazilgan tajribalar natijasida 1843-yilda kashf qilishgan.

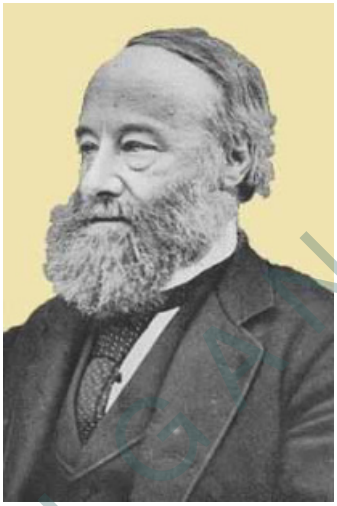
Elektr zanjirining biror qismida elektr energiyasining boshqa turdagi energiyasiga aylanish tezligini, jadalligini xarakterlovchi kattalikka *elektr tokining quvvati* deyiladi. U holda elektr tokining quvvati *P* deb tok o‘tib turgan *t* vaqtda bajarilgan *A* ishga yoki shu vaqtda o‘tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdori *Q* ga aytiladi.

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Q}{t}, \qquad P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R} \qquad (14.3)$$

Uy ro‘zg‘orida, kundalik turmushda ishlatiladigan barcha elektr jihozlari *220 V* kuchlanishga mo‘ljallangan bo‘lib, ularni pasportiga foydalanish tavsiya etiladigan kuchlanish va hosil bo‘ladigan quvvat yozib qo‘yilgan bo‘ladi. Bu degani ularni *220 V* kuchlanishga ulaganda paspotiga yozilgan quvvat bilan ishlaydi deganidir.

SINOV UCHUN BERILGAN

Taniqli ingliz olimi Jeyms Preskott Joul 1818-yil 24-dekabrda Angliyaning Solford shahrida dunyoga kelgan. U dunyo tanigan olim bo‘lib, termodinamikaning oyoqqa turishida katta hissa qo‘shgan, o‘z tajribalarida energiyaning saqlanish qonunini asoslab bergan hamda elektr tokining issiqlik ta’sirini o‘rganib, o‘tkazgichda ajraladigan issiqlik tok kuchi kvadratiga proporsional ekanini ko‘rsatib bergan. O‘sha paytlarda issiqlik miqdori kaloriyada, mexanik ish va energiya ergda o‘lchangan bo‘lib, issiqlik va energiyalar boshqa-boshqa kattaliklar deb qaralgan. Jismlar isganda teplorod deb nomlanadigan ko‘rinmas suyuqligi jismga kiradi, soviganda esa undan chiqib ketadi deb qaralgan. Joul bu uchala kattalikning ayni bir o‘lchamdosh kattaliklar ekanini va ular biri-biriga aylanishi mumkinligini ko‘rsatib berdi. Joul buyuk xizmatlari uchun 1852-yil Qirollik medali, 1866-yil Kopli medali, 1880-yil Albert medallari bilan taqdirlangan. U 1889-yil 11-oktyabrda Angliyaning Seyl (hozirgi Manchester) shahrida 70 yoshida olamdan o‘tadi.



Jeyms Preskott Joul (1818–1889)

Masalan, cho‘g‘lanma lampa sokoliga *220 V, 100 W* deb yozilgani uni *220 V* kuchlanishga ulaganda *100 W* quvvat bilan yonishini anglatadi. Qishloq joylarda, chekka aholi punktlarida oqshom paytlari hamma xonadonlar baravariga barcha elektr jihozlaridan foydalangani uchun kuchlanish sezilarli pasayib ketadi. Aytaylik, bunda kuchlanish *200 V* gacha pasaysa, lampochka ham avvalgi quvvat bilan yonmaydi. Kuchlanish *1,1* marta kamaygani uchun $P=\frac{U^2}{R}$ formulaga ko‘ra quvvat *1,21* marta kamayadi, ya’ni cho‘g‘lanma lampa endi $\frac{100}{1,21}W\approx 82,64\,W$ ga teng quvvat bilan yonadi.

Yana shuni ham alohida eslatib o‘tish kerakki, xonadonlarga mo‘ljallangan hamma elektr jihozlari bir xil kuchlanishga mo‘ljallangani uchun $P=\frac{U^2}{R}$ formulaga ko‘ra quvvat va qarshilik o‘zaro teskari bog‘lanishga egadir. Boshqacha aytganda, quvvati katta bo‘lgan elektr jihozining qarshiligi kichik va aksincha bo‘ladi. Masalan, quvvati *100 W* bo‘lgan cho‘g‘lanma yoritish chirog‘ining elektr qarshiligi $R=\frac{U^2}{P}=\frac{220^2}{100}=484\,\Omega$ ga, quvvati *200 W* bo‘lgan cho‘g‘lanma yoritish chirog‘ining elektr qarshiligi $R=\frac{U^2}{P}=\frac{220^2}{200}=242\,\Omega$ ga teng bo‘ladi. Quvvati *10 W* bo‘lgan zamonaviy akva yorititsh chirog‘ining elektr qarshiligi esa $R=\frac{U^2}{P}=\frac{220^2}{10}=4840\,\Omega=4,84\,k\Omega$ ga teng bo‘ladi.

Agar bir nechta turli elektr qarshiliklari ketma-ket qilib ulangan bo‘lsa, ularning har birida biror vaqt oralig‘ida ajralgan issiqlik miqdorlari qanday nisbatda bo‘lishini tekshirib ko‘raylik. Ketma-ket ulanganda $Q=I^2R\Delta t$ formulaga ko‘ra barcha qarshiliklarda tok kuchi teng bo‘lgani uchun ularda ajralgan issiqlik miqdorlari faqat ularning elektr qarshiligiga bog‘liq bo‘lib qolar ekan, ya’ni $Q\sim R$

SINOV UCHUN BERILMAN

bo‘ladi. Demak, qarshiliklar qanday nisbatda bo‘lsa, ularda ajralgan issiqlik miqdorlari ham shunday nisbatda bo‘lar ekan.

$$Q_1 : Q_2 : Q_3 : ... Q_n = R_1 : R_2 : R_3 : ... R_n \qquad (14.4)$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (14.4a)$$

deb yozish mumkin.

Agar bir nechta turli elektr qarshiliklari o‘zaro parllel ulangan bo‘lsa, ularning har birida biror vaqt oralig‘ida ajralgan issiqlik miqdorlari qanday nisbatda bo‘lishini tekshirib ko‘raylik. Parallel ulanganda $Q = \frac{U^2}{R}\Delta t$ formulaga ko‘ra barcha qarshiliklarda kuchlanishlar teng bo‘lgani uchun ularda ajralgan issiqlik miqdorlari faqat ularning qarshiligiga bog‘liq bo‘lib qolar ekan, ya’ni $Q \sim \frac{1}{R}$ bo‘ladi. Demak, qarshiliklar qanday nisbatda bo‘lsa, ularda ajralgan issiqlik miqdorlari teskari nisbatda bo‘lar ekan.

$$Q_1 : Q_2 : Q_3 : ... Q_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : ... \frac{1}{R_n} \qquad (14.5)$$

Yuqoridagi formulani ikkita qarshilik uchun

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1} \qquad (14.5a)$$

deb yozish mumkin.

Qarshiliklar sistemasining ish bajarish vaqtini aniqlash masalasi:

Ko‘p hollarda masalalar yechish jarayonida bir necha qarshiliklar biror ishni bajarish vaqtlari berilib, ular birgalikda shu ishni bajarish vaqti so‘raladi. Masalan, bir necha elektr plitalaridagi spirallarning choyni qaynatish vaqtlari berilib, shu spirallar birga bo‘lgan holdagi choyni qaynatish vaqti so‘ralishi mumkin. Shu masalani qarab chiqaylik.

Har bir spiralni U kuchlanish manbaiga alohida-alohida ulaganda ularda ajralgan issiqlik miqdorlari

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1}t_1,\ Q_2 = \frac{U^2}{R_2}t_2,\ Q_3 = \frac{U^2}{R_3}t_3, ...,\ Q_n = \frac{U^2}{R_n}t_n$$

bo‘ladi. Bundan qarshiliklarni aniqlasak

$$R_1 = \frac{U^2}{Q_1}t_1,\ R_2 = \frac{U^2}{Q_2}t_2,\ R_3 = \frac{U^2}{Q_3}t_3, ...,\ R_n = \frac{U^2}{Q_n}t_n$$

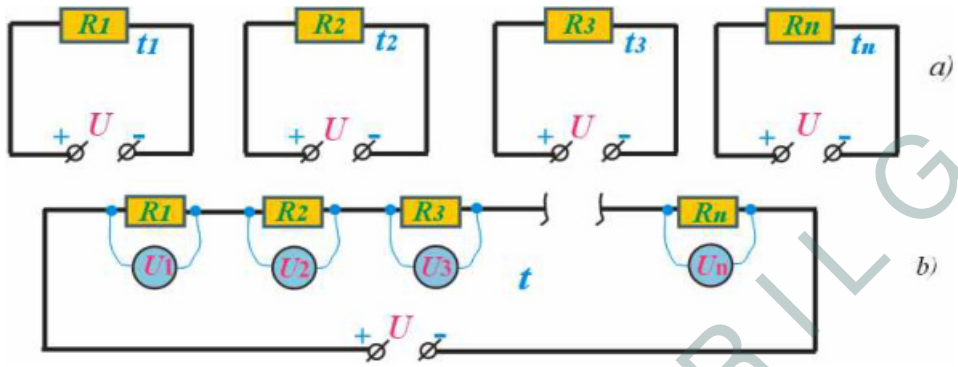
bo‘ladi (14.1-a,rasm va 14.2-a,rasm). Barcha spirallarni ketma-ket yoki parallel qilib yana o‘sha U kuchlanish manbaiga ulaganda ajralgan issiqlik miqdorlari

SINOV UCHUN BERILGAN

$Q = \frac{U^2}{R_{um}} t$ bo‘ladi. Barcha holatlarda ham issiqlik miqdoralari aynan suvni qaynatishga sarflanayotgan bo‘lgani uchun bu issiqlik miqdorlari o‘zaro teng, ya’ni

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \ldots = Q_n = Q_{suv} = c\,m\,\Delta t$$

bo‘ladi. Shularni bilgan holda so‘ralgan vaqtni ketma-ket va parallel holatlar uchun alohida-alohida qarab chiqamiz aniqlaymiz.



14.1-rasm

Dastlab, ketme-ket ulangan hol uchun qaraylik (14.1-rasm). Umumiy qarshilikni qarshiliklar orqali ifodalab, so‘ralgan kattalikni topamiz. Hisoblashlardan so‘ng biz

$$Q = \frac{U^2}{R_{um}} t = \frac{U^2}{R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n} t = \frac{U^2}{\frac{U^2}{Q_1} t_1 + \frac{U^2}{Q_2} t_2 + \frac{U^2}{Q_3} t_3 + \ldots + \frac{U^2}{Q_n} t_n} t = \frac{Q U^2}{(t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n) U^2} t =$$

$$= \frac{Q}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n} t, \quad \rightarrow \quad t = t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n$$

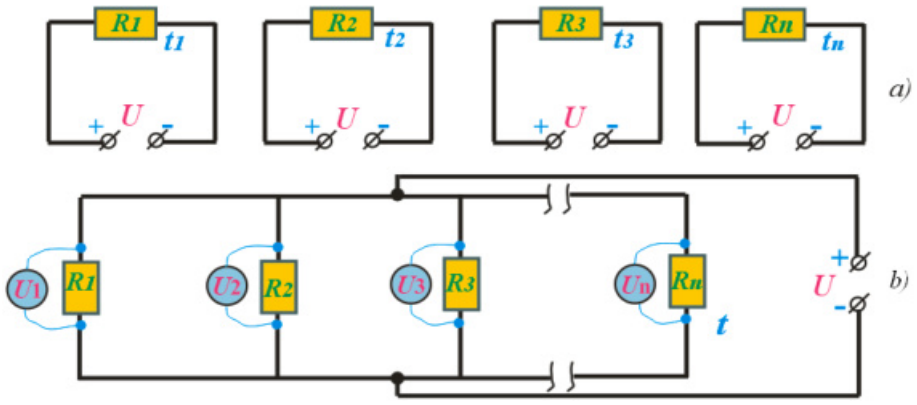
natijaga erishamiz.

Endi parallel hol uchun qaraylik (14.2-rasm). Umumiy qarshilikni qarshiliklar orqali ifodalab, so‘ralgan kattalikni topamiz. Hisoblashlardan so‘ng biz

$$Q = \frac{U^2}{R_{um}} t = \left(\frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \frac{U^2}{R_2} + \ldots + \frac{U^2}{R_n} \right) t = \left(\frac{Q_1}{t_1} + \frac{Q_2}{t_2} + \frac{Q_3}{t_2} + \ldots + \frac{Q_n}{t_n} \right) t =$$

$$= \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_2} + \ldots + \frac{1}{t_n} \right) Q\,t, \quad \rightarrow \quad \frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} + \ldots + \frac{1}{t_n}$$

natijaga erishamiz.



14.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi chiqqan natijalarni umumlashtirib formula sifatida yozamiz.

Agar choyni birinchi spiral t_1 vaqtda, ikkinchi spiral t_2 vaqtda va hokoza n-spiral t_n vaqtda qaynatsa, ular katma-ket ulanganda birgalikda shu choyni quyidagicha vaqtda qaynatadi (14.1-rasm).

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n \qquad (14.6)$$

Agar choyni birinchi spiral t_1 vaqtda, ikkinchi spiral t_2 vaqtda va hokoza n-spiral t_n vaqtda qaynatsa, ular parallel ulanganda birgalikda shu choyni quyidagicha vaqtda qaynatadi (14.2-rasm).

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} + \ldots + \frac{1}{t_n} \qquad (14.7)$$

Shuni ham alohida eslatib o‘tish kerakki, yuqoridagi formulalarni keltirib chiqarishda spirallardan idishni va atrof havoni isitishga ketgan issiqliklarni e’tiborsiz qoldirdik, ya’ni spirallarning FIKni *100%* deb oldik. Agar realroq hol uchuin ularning FIK lari ma’lum bo‘lsa, u holda buni ham hisobga olish kerak bo‘ladi. Bunday holda yuqoridagi formulaga FIKlari ham qatnashish kerak bo‘ladi. Bu esa masalani biroz murakkablashtiradi.

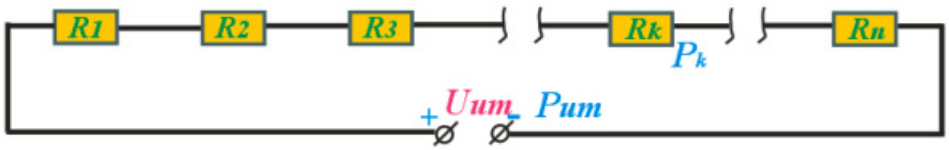
Demak, umuman olganda iste’molchilarni ketma-ket yoki parallel qilib ulanganda biror ishni bajarish vaqtini topish formulalari xuddi elektr qarshiliklarni ketma-ket yoki parallel qilib ulangan holda umumiy qarshilikni aniqlash formulalariga o‘xshash bo‘lar ekan. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, ixtiyoriy tartibda aralash qilib ulangan iste’molchilar uchun ham umumiy ish bajarish vaqtini aniqlash masalasi xuddi aralash ulangan elektr qarshiliklarining umumiy qarshiligini aniqlash masalasiga o‘xshash bo‘ladi.

Iste’molchilarni ketma-ket va parallel ulanganda quvvat:

Bizga o‘zgarmas kuchlanish manbaiga o‘zaro ketma-ket yoki parallel ulangan n ta turli iste’molchilar berilgan bo‘lib, bu iste’molchilarning ixtiyoriy bittasi, aytaylik $k(1<k<n)$-istemolchidagi quvvatni hamda zanjirdagi umumiy quvvatni aniqlash so‘ralgan bo‘lsin. Masalani ikki xil hol uchun qarab ko‘ramiz: *a)* iste’molchilarning qarshiliklari ma’lum; *b)* iste’molchilarning quvvatlari ma’lum. Bularning har birini ketma-ket va parallel ulashlarga tekshiramiz.

I) Iste’molchilar ketma-ket ulanganda.

a.1) Iste’molchilarning qarshiliklari ma’lum.



14.3-rasm

Ixtiyoriy k- qarshilikdagi quvvatni topamiz (14.3-rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

$$P_K = I_k{}^2 \cdot R_k = I^2 \cdot R_k = \left(\frac{U_{um}}{R_{um}}\right)^2 R_k = \frac{R_K}{(R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n)^2} U_{um}^2$$

Umumiy quvvatni topamiz.

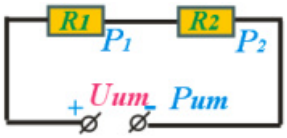
$$P_{um} = P_1+P_2+P_3+\ldots+P_n = \frac{U^2}{(R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n)^2}(R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n) = \frac{U_{um}^2}{R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n}$$

Demak, o‘zgarmas U kuchlanish manbaiga ketma-ket qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k- qarshilikdagi quvvat P_k va umumiy quvvat P_{um} quyidagicha bo’lar ekan:

$$\begin{cases} P_k = I^2 R_k = \dfrac{R_k}{(R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n)^2} U_{um}^2 \\ P_{um} = P_1+P_2+P_3+\ldots+P_n = \dfrac{U_{um}^2}{R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n} \end{cases} \quad \textbf{(14.8)}$$

a.2) Iste’molchi qarshiliklar 2ta.

Bundan oldingi topilgan formuladan foydalanib, iste’molchilarning har biridagi quvvatni va umumiy quvvatni osongina chiqarishimiz mumkin.

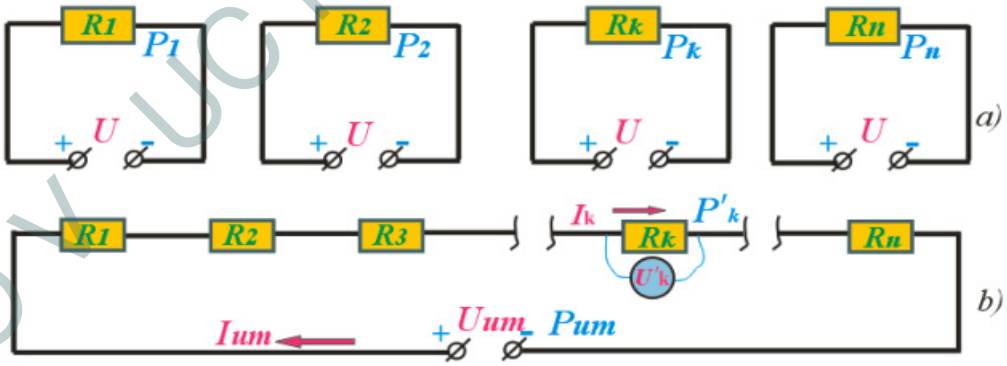


14.4-rasm

Agar qarshiliklar ikkita bo‘lsa, har bir qarshilikdagi quvvat va umumiy quvvat quyidagicha bo‘ladi (14.4-rasm):

$$P_1 = \frac{R_1}{(R_1+R_2)^2} U_{um}^2, \quad P_1 = \frac{R_2}{(R_1+R_2)^2} U_{um}^2, \quad P_{um} = \frac{U_{um}^2}{R_1+R_2} \quad \textbf{(14.9)}$$

b.1) Iste’molchilarning quvvatlari ma’lum.



14.5-rasm

14.5-rasmda keltirilgan iste’molchilar alohida-alohida ulangan hol uchun quvvatlarni yozamiz.

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2}, \quad P_3 = \frac{U^2}{R_3}, \quad \ldots\ldots \quad P_n = \frac{U^2}{R_n}$$

Bulardan iste’molchilarning qarshiliklarini quvvatlari orqali yozamiz.

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1}, \quad R_2 = \frac{U^2}{P_2}, \quad R_3 = \frac{U^2}{P_3}, \quad \ldots\ldots \quad R_n = \frac{U^2}{P_n}$$

Umumiy quvvatni topish formulasini chiqaramiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$P_{um}=\frac{U^2}{R_{um}},\ \rightarrow\ \frac{1}{P_{um}}=\frac{R_{um}}{U^2}=\frac{R_1+R_2+R_3+...+R_n}{U^2}=\frac{R_1}{U^2}+\frac{R_2}{U^2}+\frac{R_3}{U^2}+...+\frac{R_n}{U^2}=$$
$$=\frac{1}{P_1}+\frac{1}{P_2}+\frac{1}{P_3}+.....+\frac{1}{P_n}$$

k- iste'molchidagi quvvatni topamiz.

$$P'_K=I'^2_k R_k=I^2_{um}R_k=\left(\frac{P_{um}}{U}\right)^2\frac{U^2}{P_k}=\frac{P^2_{um}}{P_K}$$

k- iste'molchidagi kuchlanishni topamiz.

$$U'_K=I'_k R_k=I R_k=\frac{P_{um}}{U}\frac{U^2}{P_k}=\frac{P_{um}}{P_K}\cdot U$$

Umumiy tok kuchini topamiz.

$$I_{um}=I_1=I_2=....=I_n=\frac{P_{um}}{U}$$

Shunday qilib, ayni bir U kuchlanishga ulanganda $P_1,P_2,P_3,...P_n$ quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni ketma-ket qilib o'sha U kuchlanishga ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um}, ixtiyoriy *k*- iste'molchidagi quvvat P'_k, ixtiyoriy *k*-iste'molchidagi kuchlanish U'_k, tarmoqdagi umumiy tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$\frac{1}{P_{um}}=\frac{1}{P_1}+\frac{1}{P_2}+\frac{1}{P_3}+.....+\frac{1}{P_n},\qquad P'_k=\frac{P^2_{um}}{P_k}$$
$$U'_k=\frac{P_{um}}{P_k}\cdot U,\qquad I_{um}=I_1=I_2=....=I_n=\frac{P_{um}}{U}\qquad \textbf{(14.10)}$$

Shuni ta'kidlash kerakki, iste'molchilar ketma-ket ulanganda hosil bo'ladigan natijaviy quvvat har bir iste'molchi pasportida yozilgan quvvatlarning eng kichigidan ham kichikroq chiqadi.

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, quvvatlar ketma-ket ulangandan keyin katta quvatli iste'molchi kam quvvat bilan ishlaydi va aksincha bo'lar ekan.

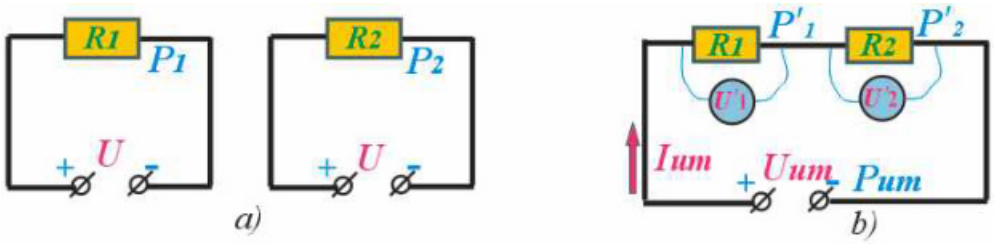
$$P'_1:P'_2:P'_3:...Q_n=\frac{1}{P_1}:\frac{1}{P_2}:\frac{1}{P_3}:...\frac{1}{P_n}\qquad \textbf{(14.11)}$$

Xuddi shuningdek, iste'molchilardagi kuchlanishlar ham dastlab quvvati katta bo'lgan iste'molchida kichik va aksincha bo'lar ekan.

$$U'_1:U'_2:U'_3:...U_n=\frac{1}{P_1}:\frac{1}{P_2}:\frac{1}{P_3}:...\frac{1}{P_n}\qquad \textbf{(14.12)}$$

b.2) Iste'molchi quvvatlar 2ta.

SINOV UCHUN BERILGAN



14.6-rasm

Buni yuqoridagi formulalarning iste'molchilar soni 2ta bo'lgan xususiy holi deyish mumkin.

Bunda umumiy quvvat

$$\frac{1}{P_{um}}=\frac{1}{P_1}+\frac{1}{P_2}=\frac{P_1+P_2}{P_1P_2},\quad\rightarrow\quad P_{um}=\frac{P_1P_2}{P_1+P_2}$$

bo'ladi.

Iste'molchilarning har biridagi quvvat

$$P'_1=\frac{P^2_{um}}{P_1}=\frac{1}{P_1}\left(\frac{P_1P_2}{P_1+P_2}\right)^2=\left(\frac{P_2}{P_1+P_2}\right)^2P_1 \text{ va } P'_2=\frac{P^2_{um}}{P_2}=\frac{1}{P_2}\left(\frac{P_1P_2}{P_1+P_2}\right)^2=\left(\frac{P_1}{P_1+P_2}\right)^2P_2$$

bo'ladi.

Iste'molchilarning har biridagi kuchlanish

$$U'_1=\frac{P_{um}}{P_1}U=\frac{1}{P_1}\frac{P_1P_2}{P_1+P_2}U=\frac{P_2}{P_1+P_2}U \text{ va } U'_2=\frac{P_{um}}{P_2}U=\frac{1}{P_2}\frac{P_1P_2}{P_1+P_2}U=\frac{P_1}{P_1+P_2}U$$

bo'ladi.

Demak, ayni bir U kuchlanishga ulanganda P_1 va P_2 quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni o'sha U kulanishga ketma-ket qilib ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um}, har bir iste'molchidagi quvvat P'_1 va P'_2, har bir iste'molchidagi kuchlanish U'_1 va U'_2, tarmoqdagi tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_{um}=\frac{P_1\cdot P_2}{P_1+P_2},\quad P'_1=\left(\frac{P_2}{P_1+P_2}\right)^2\cdot P_1,\quad P'_2=\left(\frac{P_1}{P_1+P_2}\right)^2\cdot P_2,$$
$$U'_1=\frac{P_2}{P_1+P_2}\cdot U,\quad U'_2=\frac{P_1}{P_1+P_2}\cdot U,\quad I_{um}=I_1=I_2=\frac{P_{um}}{U} \qquad \textbf{(14.13)}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, quvvatlar ketma-ket ulangandan keyin katta quvatli iste'molchi kam quvvat bilan ishlaydi va aksincha bo'lar ekan.

$$\frac{P'_1}{P'_2}=\frac{P_2}{P_1} \qquad \textbf{(14.14)}$$

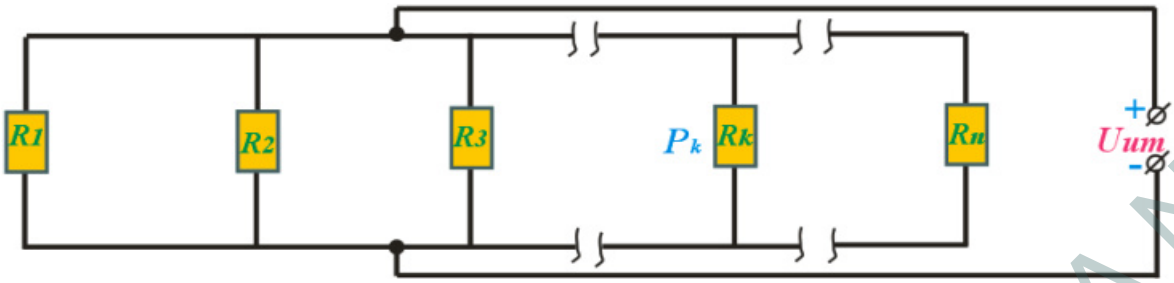
Xuddi shuningdek, iste'molchilardagi kuchlanishlar ham dastlab quvvati katta bo'lgan iste'molchida kichik va aksincha bo'lar ekan.

$$\frac{U'_1}{U'_2}=\frac{P_2}{P_1} \qquad \textbf{(14.15)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

II) Iste'molchilar parallel ulanganda.

a.1) Iste'molchilarning qarshiliklari ma'lum.



14.7-rasm

Qarshiliklar parallel ulanganda barcha qarshiliklarda kuchlanishlar teng bo'lgani uchun ixtiyoriy *k*- qarshilikdagi quvvat

$$P_k = \frac{U_k^2}{R_k} = \frac{U^2}{R_k}$$

bo'ladi. To'la quvvat esa barcha qarshiliklardagi quvvatlar yig'indisiga tengdir.

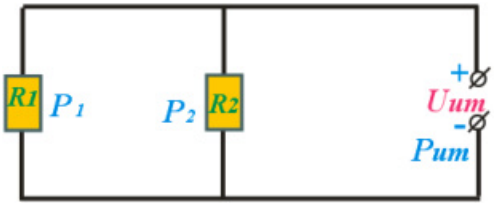
$$P_{um} = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \frac{U^2}{R_3} + \ldots + \frac{U^2}{R_n} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}\right)U^2$$

Demak, o'zgarmas U kuchlanish manbaiga parallel qilib ulangan n ta qarshilikning ixtiyoriy k- qarshilikdagi quvvat P_k va umumiy quvvat P_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_k = \frac{U^2}{R_k}, \qquad P_{um} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}\right)U^2 \qquad \textbf{(14.16)}$$

a.2) Iste'molchi qarshiliklar 2ta.

Bundan oldingi topilgan formuladan foydalanib, iste'molchilarning har biridagi quvvatni va umumiy quvvatni osongina chiqarishimiz mumkin (14.8-rasm).



14.8-rasm

Demak, agar qarshiliklar ikkita bo'lsa, har biridagi quvvat P_1 va P_2 va umumiy quvvat P_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2}, \quad P_{um} = P_1 + P_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot U^2 \qquad \textbf{(14.17)}$$

b.1) Iste'molchilarning quvvatlari ma'lum.

Qarshiliklar parallel ulanganda barcha qarshiliklarda kuchlanishlar teng bo'ladi, ya'ni

$$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_k = \ldots = U_n$$

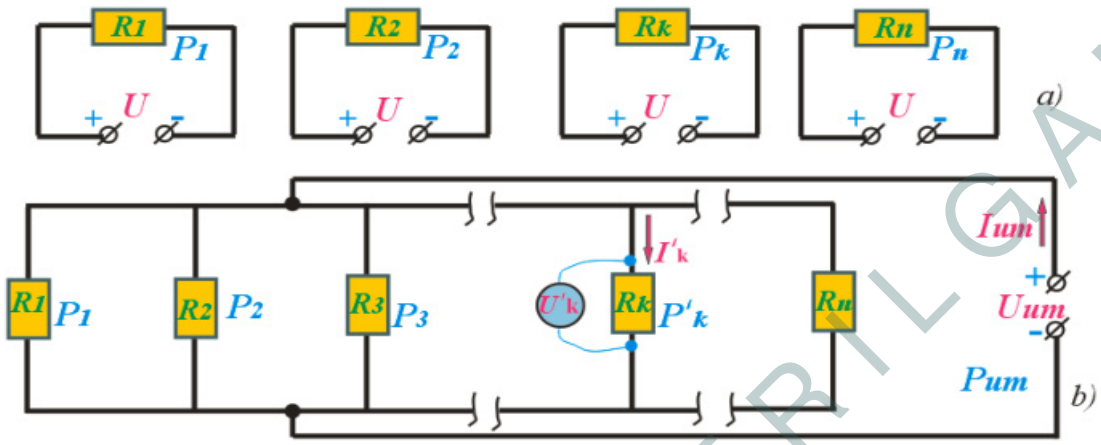
bo'ladi (14.9-rasm). Tok kuchi esa tarmoqlanib ketgani bois

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I = I_1 + I_2 + ... + I_k + ... + I_n$$

bo‘ladi. Umumiy quvvat

$$P_{um} = (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... \frac{1}{R_k} + ... + \frac{1}{R_n})U^2 = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + ... \frac{U^2}{R_k} + ... + \frac{U^2}{R_n} = P_1 + P_2 + ... + P_k + ... P_n$$



14.9-rasm

bo‘ladi. Ixtiyoriy *k*-iste’molchigi quvvat

$$P'_k = \frac{U_k}{R_k} = \frac{U}{R_k} = P_k$$

bo‘ladi. Ixtiyoriy *k*-iste’molchigi tok kuchi

$$I'_k = \frac{P'_k}{U_k} = \frac{P_k}{U} = I_k$$

bo‘ladi. Umumiy tok kuchi esa quvvat orqali

$$I_{um} = \frac{P_{um}}{U}$$

ko‘rinishda yoziladi.

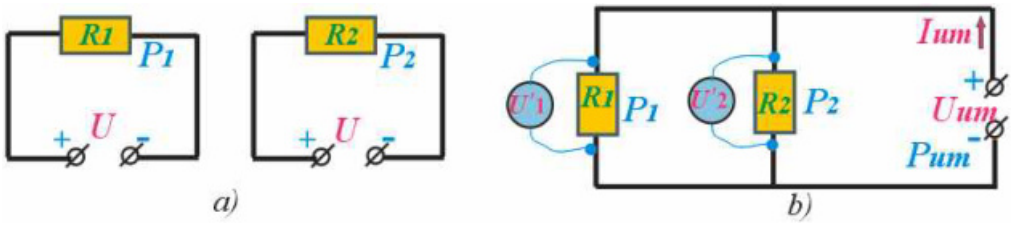
Demak, ayni bir U kuchlanishga ulanganda P_1, P_2, P_3, ... P_n quvvatlar hosil qiladigan iste’molchilarni parallel qilib o‘sha U kuchlanishga ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um}, ixtiyoriy k-iste’molchidagi quvvat P'_k, ixtiyoriy k-iste’molchidagi kuchlanish U'_k, ixtiyoriy k-iste’molchidagi tok kuchi I_k, tarmoqdagi umumiy tok kuchi I_{um} quyidagicha bo‘lar ekan (14.10-rasm):

$$\begin{array}{lll} P_{um} = P_1 + P_2 + P_3 + ... + P_n, & & P'_k = P_k \\ U'_k = U, & I'_k = \frac{P_k}{U}, & I_{um} = \frac{P_{um}}{U} \end{array} \qquad \textbf{(14.18)}$$

b.2) Iste’molchi quvvatlar 2ta.

Parallel ulangan ikkita qarshilik parallel ulangan n ta qarshilikning xususiy holidir. Bundan oldingi formuladan $n=2$ deb foydalansak, quyidagi formulalarga ega bo‘lamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN



14.10-rasm

Ayni bir U kuchlanishga ulanganda P_1 va P_2 quvvatlar hosil qiladigan iste'molchilarni parallel qilib o'sha U kuchlanishga ulanganda, tarmoqdagi umumiy quvvat P_{um}, har bir iste'molchidagi quvvat P'_1 va P'_2, har bir iste'molchidagi kuchlanish U'_1 va U'_2, har bir iste'molchidan o'tadigan tok kuchi I'_1 va I'_2 tarmoqdagi tok kuchi I_{um} quyidagicha bo'lar ekan:

$$P_{um} = P_1 + P_2, \quad \begin{cases} P'_1 = P_1 \\ P'_2 = P_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} U'_1 = U_1 \\ U'_2 = U_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} I'_1 = \dfrac{P_1}{U} \\ I'_2 = \dfrac{P_2}{U} \end{cases}, \quad I_{um} = \frac{P_{um}}{U} \qquad \textbf{(14.19)}$$

Biz yuqorida quvvat uchun keltirib chiqargan formulalarning barchasi xususiy formulalar bo'lib, ularni yaxshi o'zlashtirish hisob ishlarini engillatishga xizmat qiladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Joul-Lens qonunini ta'riflang va uning formulasini yozing.*
2. *Joul-Lens formulasidan quvvat uchun qanday formulalarni keltirib chiqarish mumkin?*
3. *Spirallarni ketma-ket va parallel ulanganda suvning qaynash vaqtlari qanday aniqlanadi?*
4. *Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar ketma-ket ulanganda natijaviy quvvat qanday bo'ladi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.*
5. *Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar ketma-ket ulanganda ularning har biri qanday quvvat bilan ishlaydi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.*
6. *Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar o'zaro parallel ulanganda natijaviy quvvat qanday bo'ladi?Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.*
7. *Quvvatlari ma'lum bo'lgan iste'molchilar o'zaro parallel ulanganda ularning har biri qanday quvvat bilan ishlaydi? Javobni ikkita iste'molchi uchun yozing.*

Masala yechish:

1. *Qarshiliklari 150 Ω va 90 Ω bo'lgan rezistorlar tok manbaiga ketma-ket ulangan. Ikkinchi rezistorda 18 kJ issiqlik ajralganda, birinchi rezistorda necha kJ issiqlik ajraladi?*

A) 10 B) 20 C) 30 D) 90 E) 150

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	Yechilishi:
$R_1 = 150\ \Omega$	*Joul-Leyns qonuniga ko‘ra Zanjirdan ajraluvchi issiqlik*
$R_2 = 90\ \Omega$	*miqdori*
$Q_2 = 18000\ J$	$Q_1 = I^2 R_1 t$ *va* $Q_2 = I^2 R_2 t$
	Bunda har bir o‘tkazgichdagi tok kuchi bir xil ekanligini
$Q_1 = ?$	*etiborga olsak va ifodalarni umumlashtirib*

$$Q_1 = \frac{Q_2 R_1}{R_2} = 30\ kJ \quad (C)$$

Javob: *C)*

2. *Zanjirning kuchlanish 200 V bo‘lgan qismida tok 16 kJ ish bajarganda, bu qismdan nechta elektron oqib o‘tgan bo‘ladi?*

Berilgan:	Yechilishi:
$A = 16000\ J$	*Elektr tokining bajargan ishi ifodasidan*
$U = 200\ V$	$A = IUt$
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ Kl$	*ekanligini bilamiz. Tok kuchi ifodasi*
$n = ?$	$I = \frac{q}{t} = \frac{en}{t}$
	eaknligini etiborga olsak,

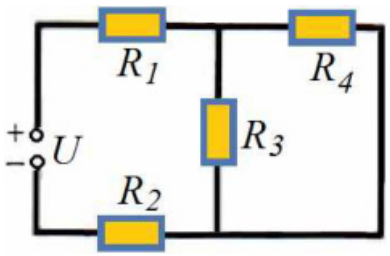
$$A = \frac{en}{t} Ut = enU$$

bo‘ladi. Bundan esa $n = \frac{A}{eU} = 5 \cdot 10^{20}$ *ta degan natija chiqadi.*

Javob: *$5 \cdot 10^{20}$ ta*

3. *Agar elektr qarshiligi R bo‘lgan isitkich spirali idishdagi suvni 8 min vaqtda qaynatsa, u holda spirallari rasmdagi kabi ulangan isitkich o‘sha suvni qancha vaqtda qaynatadi? Elektr energiyasining hammasi suvni isitishga sarflanadi deb hisoblang.*

Berilgan:	Yechilishi:
$R_1 = R_2 = R$	R_3 va R_4 rezistorlar o‘zaro parallel.
$R_3 = R_4 = 2R$	$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = R$
$t_1 = 8\,\text{min}$	R_1 , R_{34} , va R_2 rezisporlar ketma-
$t_2 = ?$	ket ulangan.



$$R_{um} = R_1 + R_2 + R_{34} = R + R + R = 3R$$

Dastlabki quvvat $P_1 = \frac{U^2}{R}$ *bo‘lgan bo‘lsa, keyingi quvvat esa* $P_2 = \frac{U^2}{3R} = \frac{P_1}{3}$ *bo‘ladi. Demak, quvvat 3 marta kamaymoqda, bundan esa qaynatish vaqti 3 marta uzayib ketadi degan xulosa kelib chiqadi.*

SINOV UCHUN BERILGAN

$$Q = P_1 t_1 = P_2 t_2, \ \rightarrow \ t_2 = \frac{P_1}{P_2} t_1 = 3t_1 = 24\,\text{min}$$

Javob: *24 min*



§ 15. TO‘LIQ ZANJIR UCHUN OM QONUNI. TO‘LIQ ZANJIR UCHUN JOUL-LENS QONUNI

Doimiy tok manbalari:

O‘tkazgichlarda elektr tokini vujudga keltirish uchun bu o‘tkazgich ichida elektr maydonini hosil qilish kerak bo‘ladi. Bu vazifani esa tok manbalari bajaradi.

Tok manbalari turli-tuman bo‘lib, ularning barchasida ikkita joyga musbat va manfiy zaryadlarni ajratish ishi bajariladi. Ajratilgan zaryadlar manbaning qutblarida to‘planadi. Qutb – bu manbaning iste’molchilar klemmalariga ulanadigan joyidir. Tok manbalarining hammasida ikkita qutb bo‘lib, bu qutblarning birida musbat va ikkinchisida esa manfiy zaryadlar to‘planadi. Bu qutblar orasida ichki elektr maydon mavjud bo‘lib, qutblar biror o‘tkazgich orqali bir-biriga ulanganda esa tashqi elektr maydoni paydo bo‘ladi. O‘tkazgich ichida hosil bo‘lgan elektr maydoni erkin elektronlarni o‘tkazgich bo‘ylab ko‘chirishi natijasida elektr toki hosil bo‘ladi.

Tok manbalarida zaryadlarni qutblarga ajratish jarayonida mexanik, ximiyaviy, yorug‘lik, ichki va boshqa turdagi energiyalar elektr energiyasiga aylanadi. Demak, elektr energiyasi bashqa turdagi energiya hisobiga olinar ekan.

Masalan, elektrofor mashinasida mexanik energiya, termoelementda ichki energiya, fotoelementda yorug‘lik energiyasi, akkumlyator va galvanik elementlarda esa ximiyaviy energiyalar elektr energiyasiga aylanadi.

Hamma galvanik elementlarda elektrodlar yemirilib eritma sarf bo‘ladi. Shuning uchun, ma’lum vaqt o‘tgach elektrodlar almashtirib turiladi.

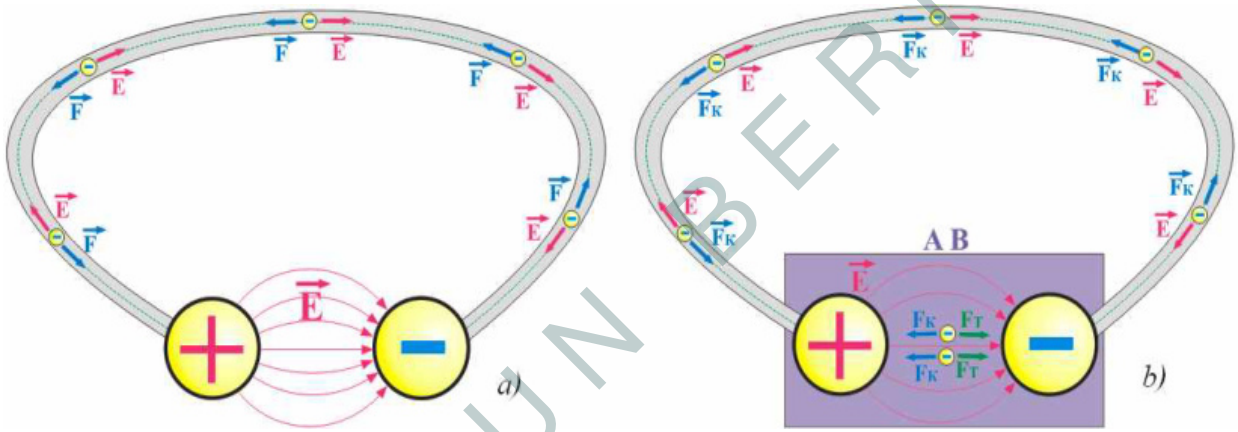
Akkumlyatorlarda esa elektrodlar yemirilmaydi. Eng ko‘p ishlatiladigan akkumlyator sulfat kislota eritmasiga botirilgan ikkita qo‘rg‘oshin plastina(elektrod)dir. Akkumlyator tok manbai bo‘lishi uchun uni avval zaryadlash kerak. Buning uchun esa akkumlyatorni boshьia tok manbaiga ulab zaryadlash kerak bo‘ladi. Zaryadlashda akkumlyatorning (+) va (-) qutblarini tok manbasining xuddi shu ishorali qutblariga ulash kerak bo‘ladi. Zaryadlash jarayonida elektr toki ish bajarib akkumlyatorning ximiyaviy energiyasini oshiradi. Razryadlanish jarayonida esa akkumlyator biror iste’molchiga ulanadi, bunda ximiyaviy energiya elektr energiyasiga aylanadi.

Manbaning EYuK:

Ikkita sharcha turli ishorali zaryadlar bilan bir xil miqdorda zaryadlangan bo‘lsin. Ularni bir-biriga tekkizilganda Kulon kuchlari ta’sirida bu sharchalar tezda neytrallashadi. Manfiy zaryadlangan sharchadagi ortiqcha elektronlar Kulon

SINOV UCHUN BERILGAN

kuchlari bo‘yicha va elektr maydon kuch chiziqlariga qarama-qarshi yo‘nalishda musbat zaryadli sharchaga tomon harakatlanadi (15.1-a,rasm). Musbat zaryadli sharchaga etib kelgan elektronlar etishmayotgan elektronlarni to‘ldirib neytrallashadi. Musbat va manfiy zaryadli Sharchalar sim bilan tutashtirilganda qisqa vaqt davomida simlarda elektr toki paydo bo‘ladi. Sharchalar neytrallashganda esa tok o‘tishi ham to‘xtaydi. Har doim tok oqib turishi uchun har doim sharchalarda musbat va manfiy zaryadlar mavjud bo‘lishi kerak. Buning uchun tashqi biror kuch elektronlarni (+) qutbdan sug‘urib olib, ularni Kulon kuchlari yo‘nalishiga qarama-qarshi va elektr maydon yo‘nalishi bo‘yicha (-) qutbga ko‘chirib ish bajarish kerak (15.1-b,rasm). Shundagina har doim (+) va (-) qutblar orasida potensiallar mavjud bo‘ladi va yopiq sistemada tok beto‘xtov aylanadi.



15.1-rasm

Kulon kuchidan tashqari barcha kuchlar tashqi kuch bo‘lishi mumkin. Masalan, galvanik elementlarda ximiyaviy kuchlar Kulon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Tashqi kuchlarning zaryadlarga ta’sirini ***elektr yurituvchi kuch (EYuK)*** deyiladi.

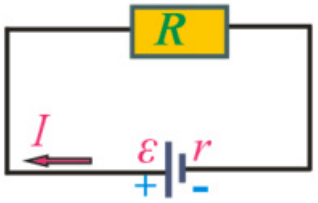
Berk konturdagi EYuK miqdor jihatidan tashqi kuchlarning birlik musbat zaryadni berk kontur bo‘ylab ko‘chirishda bajargan ishiga tengdir.

$$\varepsilon = \frac{A_{tash}}{q} \qquad \textbf{(15.1)}$$

Zanjir ochiq bo‘lganda manbaning EYuK uning qutblaridagi potensiallar ayirmasiga teng bo‘ladi. Shuning uchun ham EYuK xuddi kuchlanish kabi voltlarda o‘lchanadi.

To‘liq zanjir uchun Om qonuni. EYuK va ichki qarshilikni aniqlash:

Tok manbaiga biror R rezistor ulab yopiq zanjir hosil qilaylik (15.2-rasm). Tok manbasining EYuK ε va ichki qarshiligi r bo‘lsin. Generatorlarda ichki qarshilik r deganda cho‘lg‘amlar-ning qarshiligi, galvanik elementlarda esa elektrolit eritmasi va elektrodlar



15.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

qarshiligi tushuniladi. Yopiq zanjirda tarmoqlanish bo‘lmagani uchun berk zanjirda tashqi R va ichki r qarshiliklardan o‘tuvchi bitta I tok kuchi mavjud bo‘ladi.

Om qonunini yopiq zanjir uchun tatbiq qilganda yopiq zanjirdagi tok kuchi I ni EYuK ε va yopiq zanjirning to‘la qarshiligi $(R+r)$ bilan bog‘laydi. Bunda zanjirning tashqi va ichki qismlaridagi kuchlanish tushuvlari yig‘indisi manbaning EYuKni beradi.

$$\varepsilon = U_R + U_r = I R + I r \qquad (15.2)$$

Yuqoridagi formuladan to‘liq zanjirning tashqi va ichki qismidagi kuchlanish tushuvlarini yozishimiz mumkin.

$$U_R = I R, \qquad U_r = I r \qquad (15.3)$$

Yopiq zanjirdagi tok kuchini aniqlashimiz mumkin.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \qquad (15.4)$$

Yuqoridagi formula yopiq zanjir uchun Om qonunining matematik ifodasi bo‘lib, uni quyidagicha ta’riflash mumkin:

Yopiq zanjirdan o‘tayotgan tokning kuchi manbaning EYuKiga to‘g‘ri proporsional va zanjirning to‘la qarshiligiga teskari proporsionaldir.

Agar tok manbaining klemmalari sim bilan tutashtirilsa, bunda qisqa tutashuv sodir bo‘ladi. Qisqa tutashuvda hosil bo‘ladigan tok kuchi eng katta qiymatga ega bo‘lib, manbani biror iste’molchiga ulaganda har doim zanjirda qisqa tutashuv tokidan kichik tok hosil bo‘ladi.

Qisqa tutashuvdagi tok kuchi quyidagicha bo‘ladi:

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{r}, \qquad I < I_0 \qquad (15.5)$$

Tok manbaining ichki qarshiligi va EYuKining aniq qiymatini biror o‘lchash ishlari orqali topib bo‘lmaydi. Ularni ixtiyorimizda ikkita turli qarshiliklar, voltmetr va ampermetr bo‘lsagina, hisob-kitob orqali topish mumkin bo‘ladi (15.3-rasm). Bu yerda ampermetrning qarshiligini manbaning ichki qarshiligidan ham nihoyatda kichik bo‘lgani uchun e’tiborga olmaymiz. Manbaga R_1 qarshilik ulanganda $I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$ tok kuchi, R_2 qarshilik ulanganda esa $I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$ tok kuchi vujudga keladi. Bularning nisbatidan manbaning ichki qarshiligini topish mumkin.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 + r}{R_1 + r}, \quad \rightarrow \quad I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r, \quad \rightarrow \quad r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}$$

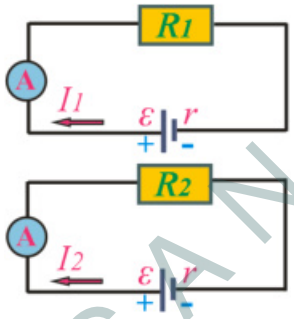
Manbaning EYuKini esa $\varepsilon = I_1 (R_1 + r)$ yoki $\varepsilon = I_2 (R_2 + r)$ formulalardan ixtiyoriy biridan aniqlash mumkin. Natijada

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r) = I_1\left(R_1 + \frac{I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 - I_1}\right) = I_1\frac{I_2R_1 - I_1R_1 + I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 - I_1} = \frac{R_1 - R_2}{I_2 - I_1}I_1I_2$$

bo‘ladi.

Demak, agar manbaga R_1 qarshilik ulaganda I_1 tok kuchi vujudga kelsa, R_2 qarshilik ulaganda esa I_2 tok kuchi vujudga kelsa, manbaning EYuK va ichki qarshiligi quyidagicha bo‘ladi (15.3-rasm):



15.3-rasm

$$\varepsilon = \frac{R_1 - R_2}{I_2 - I_1}I_1I_2, \qquad r = \frac{I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 - I_1} \qquad \textbf{(15.6)}$$

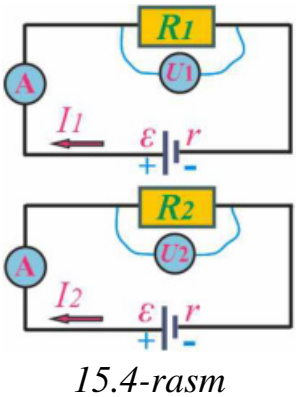
Agar ixtiyorimizda ampermetr va voltmetr bo‘lsa ham tok manbaining EYUKini va ichki qarshiligini aniqlashimiz mumkin. Bunda ampermetrning qarshiligini manbaning ichki qarshiligidan ham nihoyatda kichik bo‘lgani uchun e’tiborga olmaymiz. Voltmetrning ichki qarshiligi esa ulanadigan R_1 va R_2 qarshiliklardan nihoyatda katta bo‘lgani uchun voltmetr orqali o‘tadigan tokni e’tiborga olmaymiz (15.4-rasm). Manbaning EYuK va ichki qarshiligini oldingi formuladan keltirib chiqarish mumkin. Bunda EYuK uchun

$$\varepsilon = \frac{R_1 - R_2}{I_2 - I_1}I_1I_2 = \frac{R_1I_1I_2 - R_2I_2I_1}{I_2 - I_1} = \frac{U_1I_2 - U_2I_1}{I_2 - I_1}$$

hamda ichki qarshilik uchun

$$r = \frac{I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 - I_1} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$$

natijalarga ega bo‘lamiz. Manbaga ulangan noma’lum qarshiliklarni esa voltmetr va ampermetrlarning ko‘rsatkichlari nisbatidan aniqlash mumkin, ya’ni $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$ va $R_2 = \frac{U_2}{I_2}$ bo‘ladi.



15.4-rasm

Demak, agar manbaga biror qarshilik ulanganda zanjirda I_1 tok kuchi vujudga kelib o‘tkazgichdagi kuchlanish tushuvi U_1 bo‘lsa, boshqa bir qarshilik ulanganda esa zanjirda I_2 tok kuchi vujudga kelib o‘tkazgichdagi kuchlanish tushuvi U_2 bo‘lsa, manbaning EYuK, ichki qarshiligi hamda ulangan qarshiliklar quyidagicha bo‘lar ekan (15.4-rasm):

$$\varepsilon = \frac{U_1I_2 - U_2I_1}{I_2 - I_1}, \quad r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}, \quad R_1 = \frac{U_1}{I_1}, \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2} \qquad \textbf{(15.7)}$$

To‘liq zanjir uchun Joul-Lens qonuni. Manbaning FIK:

Odatda, tok manbalarini biror tashqi iste’molchiga ulanganda iste’molchi ham tok manbasining o‘zi ham qiziydi. Shuning uchun elektr energiyasi tashqi ulangan

SINOV UCHUN BERILGAN

iste'molchida ham tok manbasining ichida ham isiqlikka aylanadi deyish mumkin. Shning uchun, energiyaning saqlanish qonuniga asosan, tashqi kuchlarning zaryadni berk kontur bo'ylab ko'chirishda bajargan ishi to'liq zanjirda ajralgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

$$A_{tash} = Q_{to'liq} \qquad (15.8)$$

Endi tashqi kuchlarning bajargan ishni aniqlaylik. EYuK tashqi kuchlarning bajargan ishi ekanligidan va to'liq zanjir uchun Om qonunidan foydalanamiz.

$$\varepsilon = \frac{A_{tash}}{q}, \rightarrow A_{tash} = \varepsilon q = \varepsilon I \Delta t, \rightarrow A_{tash} = \varepsilon I \Delta t = I(R+r) I \Delta t = I^2 (R+r)\Delta t, \rightarrow$$

$$A_{tash} = \varepsilon I \Delta t = \varepsilon \frac{\varepsilon}{R+r}\Delta t = \frac{\varepsilon^2}{R+r}\Delta t$$

Demak, to'liq zanjirda bajarilgan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A_{tash} = I^2 (R+r)\Delta t = \frac{\varepsilon^2}{R+r}\Delta t = I\,\varepsilon\,\Delta t \qquad (15.9)$$

Yuqorida topilgan formula to'liq zanjir uchun Joul-Lens qonunining matematik ifodasidir. Joul-Lens qonunini quvvat uchun yozsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$P_{to'liq} = I^2 (R+r) = \frac{\varepsilon^2}{R+r} = I\,\varepsilon \qquad (15.10)$$

To'liq zanjirda ajralgan issiqlik miqdori manba ichida ajralgan Q_r issiqlik va manba tashqarisida ajralgan Q_R issiqlik miqdorlari yig'indisiga teng bo'ladi.

$$Q_{to'liq} = Q_r + Q_R \qquad (15.11)$$

Endi shulardan manba ichida issiqlik ajralgan va manba tashqarisida ajralgan issiqlik miqdorlarini yozamiz.

$$Q_{to'liq} = A_{tash} = \varepsilon I \Delta t = I(R+r) I \Delta t = I^2 (R+r)\Delta t = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t = Q_R + Q_r$$

Manba ichida va tashqarisida ajralgan issiqlik miqdorlari

$$Q_r = I^2 r \Delta t, \quad Q_R = I^2 R \Delta t \qquad (15.12)$$

ko'rinishda bo'lar ekan. To'liq zanjirda ajralgan quvvat manba ichida ajralgan P_r quvvat va manba tashqarisida ajralgan P_R quvvatlar yig'indisiga teng bo'ladi.

$$P_{to'liq} = P_r + P_R \qquad (15.13)$$

Manba ichida va tashqarisida ajralgan quvatlar esa quyidagicha bo'ladi:

$$P_r = I^2 r, \quad P_R = I^2 R \qquad (15.14)$$

Tok manbasidan foydalanishdan maqsad, manba hosil qilgan elektr energiyasidan esa biror iste'molchiga ulab ko'zlangan maqsadga erishishdir. Masalan, akkumlyator batareyasini lampaga ulab yorug'ligidan foydalanamiz yoki elektroplitaga ulab issiqligidan foydalanamiz. Nima bo'ganda ham biz manba tashqarisiga chiqqan energiyadan foydalanamiz, manba ichida ajralgan energiyadan esa foydalanishning iloji yo'q. Shuning uchun, manba tashqarisida

SINOV UCHUN BERILGAN

ajralgan energiya – bu ko‘zda tutilgan, reja qilingan, maqsad qilingan ish bo‘lib, uni ***foydali ish*** deb ataymiz. Manba ichida ajralgan energiya esa – bu rejada bo‘lmagan, ko‘zda tutilmagan, maqsaddan adashgan ish bo‘lib, uni ***isrof bo‘lgan ish*** deb ataymiz. Chunki, rejamiz akkumlyatorning o‘zini qizdirish emas, balki bu energiyani tashqariga chiqarib iste’molchiga yetkazib berishdan iboratdir.

Tok manbasida ajralgan jami energiyaning qanday qismi maqsad sari yo‘nalayotganini bildiruvchi kattalikka tok manbasining FIK deyiladi.

O‘zgarmas tok manbaining FIKini aniqlaylik.

$$\eta=\frac{Q_{foyd}}{Q_{to'liq}}\cdot 100\%=\frac{Q_R}{Q_{to'liq}}\cdot 100\%=\frac{I^2R\Delta t}{I^2\left(R+r\right)\Delta t}\cdot 100\%=\frac{R}{R+r}\cdot 100\%;\quad \eta=\frac{Q_{foyd}}{Q_{to'liq}}\cdot 100\%=$$

$$=\frac{Q_R}{Q_{to'liq}}\cdot 100\%=\frac{IU_R\Delta t}{I\varepsilon\Delta t}\cdot 100\%=\frac{U_R}{\varepsilon}\cdot 100\%$$

Demak, o‘zgarmas tok manbaining FIKi quyidagicha bo‘lar ekan.

$$\eta=\frac{Q_R}{Q_{to'liq}}\cdot 100\%=\frac{U_R}{\varepsilon}\cdot 100\%=\frac{R}{R+r}\cdot 100\% \qquad \textbf{(15.15)}$$

Yuqoridagi formuladan ham ko‘rinib turibdiki, tashqi qarshilik kattalashib borgan sari FIK ham ortib borara ekan. Cheksiz katta qarshilikka ulanganda FIKning qiymati taxminan $\eta\approx 100\%$ bo‘ladi. Masalan, tok manbasini voltmetrga ulaganda, voltmetrning qarshiligi manba ichki qarshiligidan nihoyatda katta bo‘lgani uchun voltmetr taxminan $U_R\approx\varepsilon$ ni ko‘rsatadi.

O‘zgarmas tok manbaiga tashqi qarshili ulaganda hosil bo‘ladigan jami quvvatning biror qismi manbaning o‘zini qizitadi, yana qandaydir qismi tashqariga chiqadi. Tok manbaiga har qanday tashqi qarshilik ulaganda ham tashqariga chiqqan quvvatning qiymati bir xil bo‘lavermaydi. Bu tashqariga chiqqan quvvat foydali quvvat bo‘lib, mana shu foydali quvvatni mumkin qadar oshirishimiz kerak bo‘ladi. Tashqariga chiqqan quvvat maksimal bo‘ladigan tashqi qarshilikni va bu maksimal quvvatning qiymatini aniqlaylik.

Manba tashqarisida ajralgan quvvat uchun

$$P_R=I^2R=\frac{R}{\left(R+r\right)^2}\varepsilon^2$$

formuladan foydalanamiz. Bu yerda ε va r kattaliklar o‘zgarmas sonlardir. Shuning uchun, tashqi quvvat faqat R ga bog‘langan bir o‘zgaruvchili funksiya ekan. Funksiya o‘zining eng katta yoki eng kichik qiymatlariga o‘zgaruvchi bo‘yicha olingan hosilasi nolga teng bo‘lganda erishishini matematikadan yaxshi bilamiz. Demak, tashqi quvvatdan tashqi qarshilik bo‘yicha olingan hosilani nolga tenglab maqsadga erishish mumkin ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$P'_R=\left(\frac{R}{(R+r)^2}\varepsilon^2\right)'=\varepsilon^2\frac{1\cdot(R+r)^2-2(R+r)\cdot R}{(R+r)^4}=\varepsilon^2\frac{R+r-2R}{(R+r)^3}=\varepsilon^2\frac{r-R}{(R+r)^3}=0,\ \rightarrow\ R=r$$

Demak, $R=r$ da eng katta tashqi quvvatga ega bo‘lar ekanmiz. Bunda tashqi quvvatning qiymati

$$P_R(r)=\frac{r}{(r+r)^2}\varepsilon^2=\frac{\varepsilon^2}{4r}$$

ga teng qiymatga erishar ekan.

Shunday qilib, tashqi qarshilikning tashqi zanjirda eng katta quvvat ajraladigan qiymati va bunda tashqi quvvat nimaga quyidagiga teng bo‘lar ekan:

$$R=r\ \ da\ \ P_R=\frac{\varepsilon^2}{4r}\ \ bo'ladi \qquad (15.16)$$

Yuqoridagi formuladan savol tug‘iladi. $R=r$ da tashqi zanjirdagi quvvat o‘zining maksimal $P_R=\frac{\varepsilon^2}{4r}$ qiymatiga erishar ekan, u holda $R<r$ da yoki $R>r$ da quvvat qanday bo‘ladi? – Bunda quvvatning qiymatlari $\frac{\varepsilon^2}{4r}$ dan ko‘ra kichikroq bo‘ladi. Quvvatning $P_R<\frac{\varepsilon^2}{4r}$ bo‘lgan har bir qiymatiga qarshilikning $R<r$ va $R>r$ bo‘lgan ikkitadan qiymatlari mos keladi. Agar $R_1<r$ va $R_2>r$ bo‘lgan qarshiliklarning ma’lum qiymatlarida tashqi zanjirda bir xil quvvatlar ajralishi ma’lum bo‘lsa, u holda manbaning ichki qarshiligi r ni aniqlash mumkin.

Manbaga R_1 qarshilik ulagandagi tashqi quvvat

$$P_{R1}=\frac{R_1}{(R_1+r)^2}\varepsilon^2$$

ga, R_2 qarshilik ulagandagi tashqi quvvat esa

$$P_{R2}=\frac{R_2}{(R_2+r)^2}\varepsilon^2$$

ga teng bo‘ladi. Masala shartiga ko‘ra $P_{R1}=P_{R2}$ ekanligini e’tiborga olsak,

$$\frac{R_1}{(R_1+r)^2}\varepsilon^2=\frac{R_2}{(R_2+r)^2}\varepsilon^2,\ \rightarrow\ \frac{R_2+r}{R_1+r}=\frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1}},\ \rightarrow\ R_2\sqrt{R_1}+r\sqrt{R_1}=R_1\sqrt{R_2}+r\sqrt{R_2},\ \rightarrow$$

$$r\left(\sqrt{R_2}-\sqrt{R_1}\right)=R_2\sqrt{R_1}-R_1\sqrt{R_2},\ \rightarrow\ r\left(\sqrt{R_2}-\sqrt{R_1}\right)=\sqrt{R_1R_2}\left(\sqrt{R_2}-\sqrt{R_1}\right),\ \rightarrow\ r=\sqrt{R_1R_2}$$

so‘ralgan kattalika ega bo‘lamiz.

Shunday qilib, agar tok manbasiga R_1 va R_2 qarshiliklar ulanganda bu qarshiliklardagi quvvatlarlar bir xil bo‘lsa, manbaning ichki qarshiligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$r=\sqrt{R_1R_2} \qquad (15.17)$$

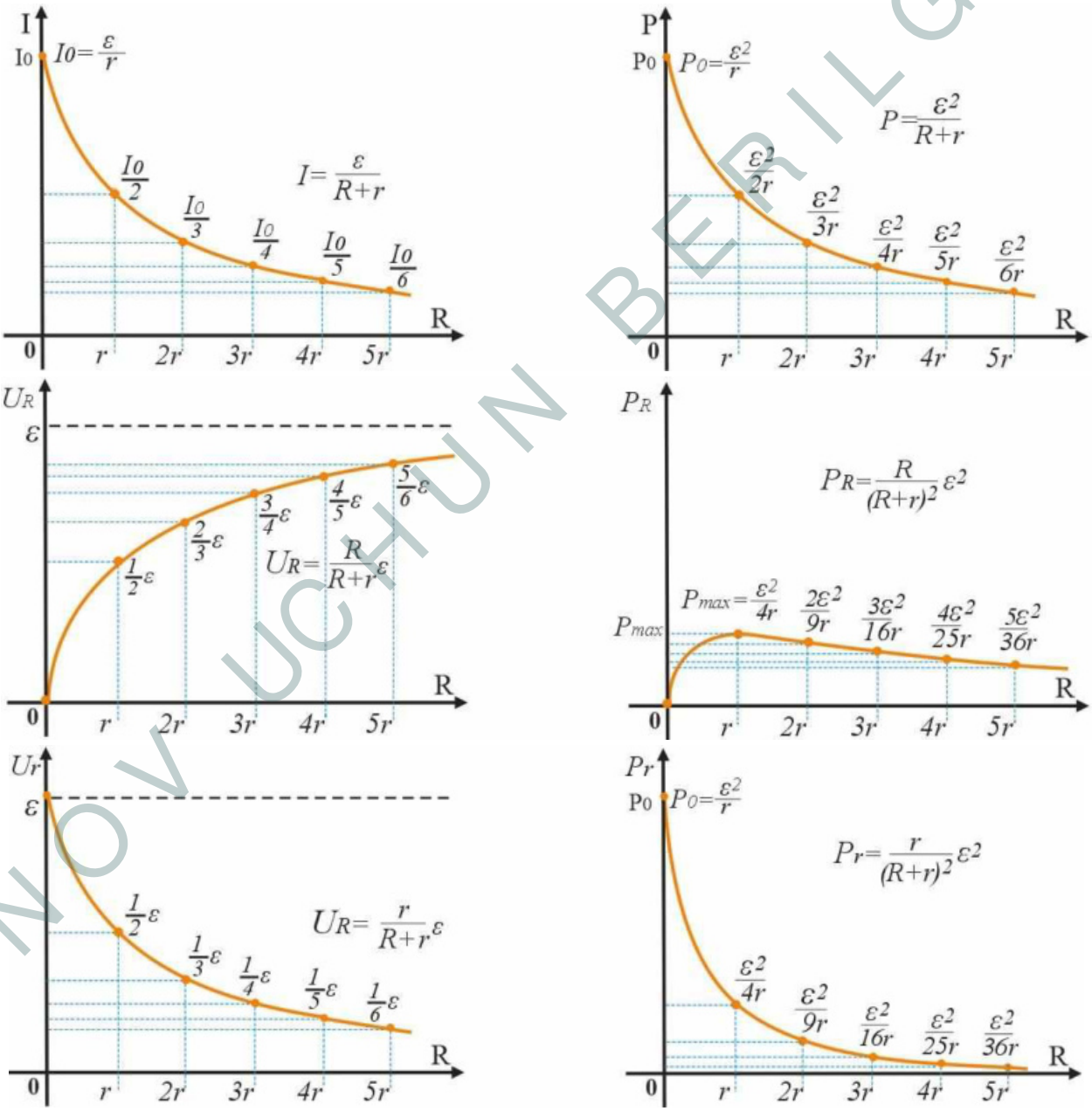
SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, tok manbaining ichki qarshiligi R_1 va R_2 qarshiliklarning o‘rta arifmetigiga teng bo‘lar ekan. Masalan, tashqi qarshiliklarning

$$\begin{cases} R_1 = r/2 \\ R_2 = 2r \end{cases}, \begin{cases} R_1 = r/3 \\ R_2 = 3r \end{cases}, \begin{cases} R_1 = r/4 \\ R_2 = 4r \end{cases}, \ldots, \begin{cases} R_1 = r/n \\ R_2 = nr \end{cases}$$

ga teng bo‘lgan qiymatlarida tashqi zanjirda $\frac{2\varepsilon^2}{9r}, \frac{3\varepsilon^2}{16r}, \frac{4\varepsilon^2}{25r}, \ldots, \frac{n\varepsilon^2}{(n+1)^2 r}$ qiymatli bir xil quvvatlar ajralar ekan.

Elektr kattaliklarning tashqi qarshilikka bog‘liqligi:



15.5-rasm

Endi biror berilgan tok manbasini o‘zgaruvchan tashqi qarshilikka ulaganda tok kuchi, kuchlanish, quvvat kabi kattaliklar qanday o‘zgarishini tekshirib ko‘raylik.

SINOV UCHUN BERILGAN

Bizga EYuK ε va ichki qarshiligi r bo‘lgan doimiy tok manbasi berilgan bo‘lib, bu manbaga ulash uchun esa ixtiyorimizda $R = r, 2r, 3r, 4r, 5r, ..., nr$ qarshiliklar bo‘lsin. Bu qarshiliklarni navbatma-navbat tok manbasiga ulab so‘ralgan kattaliklarning qiymatlarini hisoblab boramiz. Hisob-kitob natijasida esa 15.5-rasmlardagi grafiklarga ega bo‘lamiz. Kattaliklarni ifodalaydigan formulalar ham rasmlarning o‘zida tasvirlangan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *EYuK deb nimaga aytiladi?*
2. *EYuK, potensial va kuchlanishning o‘lchov birligi bir xil. Ularni farqini aytib bering.*
3. *To‘liq zanjir uchun Om qonunining matematik ifodasini yozing? Bu zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan qanday farq qiladi?*
4. *Ichki qarshiligi va EYuKi noma’lum bo‘lgan manbaning EYuKi va ichki qarshiligini aniqlashning qanday usullari bor?*
5. *Manbaning ichidagi va tashqarisidagi kuchlanish tushuvi ifodalarini yozing.*
6. *Qisqa tutashuv nima? Qisqa tutashuv tokini yozing.*
7. *Manbaning ichidagi va tashqarisidagi sarflangan quvvat ifodalarini yozing.*
8. *Qanday shart bajarilganda tashqi zanjirdagi quvvat maksimal bo‘ladi?*
9. *Manbaning FIKi deb nimaga aytiladi? FIKning formulasini yozing. FIK qachon masimal bo‘ladi?*

Masala yechish:

1. *EYuKi 2,5 V bo‘lgan elementdan lampochka yonganda, zanjirdagi tok kuchi 0,2 A ga teng bo‘ldi. 2 minut ichida elementda chet kuchlar bajargan ishni toping (J).*

A) 40 B) 50 C) 60 D) 70 E) 80

Berilgan:

$\varepsilon = 2,5\ B$

$I = 0,2\ A$

$t = 2\min = 120\ s$

$A = ?$

Yechilishi:

$\varepsilon = \frac{A}{q} \quad I = \frac{q}{t} \quad q = It$

$\varepsilon = \frac{A}{It} \quad A = \varepsilon It$

$A = 2,5V \cdot 0,2A \cdot 120s = 60\ J$

Javob: *C) 60 J*

2. *EYuK 5 V va ichki qarshiligi 0,2 Ω bo‘lgan manba qarshiligi 4,8 Ω bo‘lgan o‘tkazgichga ulandi. O‘tkazgichdagi kuchlanishning tushuvi qanday (V)?*

A) 10 B) 1 C) 2,8 D) 4,8 E) 5

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$R = 4{,}8\ \Omega$ $r = 0{,}2\ \Omega$ $\varepsilon = 5\ V$ $U = ?$	$I = \frac{\varepsilon}{r+R}$, $\rightarrow$ $\frac{U}{R} = \frac{\varepsilon}{R+r}$ $I = \frac{U}{R}$, $\rightarrow$ $U = \frac{R \cdot \varepsilon}{R+r} = \frac{4{,}8 \cdot 5}{5} = 4{,}8\ V$ ***Javob:*** *D)*

3. *Berk zanjir tok manbai va tashqi qarshilikdan iborat. Tok manbaininig ichki qarshiligi r, EyuK ε hamda tashqi qarshilik R ga teng. Agar tasqh qarshilini nR bo'lgan boshqa qarshilik bilan almashtirilsa, u holda manbaning FIK necha marta oshadi? Agar R=r bo'lsa formula qanday ko'rinish oladi?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
ε, r $R_1 = R$ $R_2 = nR$ $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$	*Ikkala hol uchun manabaning FIKlarini yozamiz va ularni nisbatini olamiz.* $\begin{cases} \eta_1 = \frac{R_1}{R_1+r} \cdot 100\% = \frac{R}{R+r} \cdot 100\% \\ \eta_2 = \frac{R_2}{R_2+r} \cdot 100\% = \frac{nR}{nR+r} \cdot 100\% \end{cases}$; $\Rightarrow \frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{\frac{nR}{nR+r} \cdot 100\%}{\frac{R}{R+r} \cdot 100\%} = \frac{n(R+r)}{nR+r}$

Agar R=r bo'lsa, yuqoridagi nisbat

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{n(R+r)}{nR+r} = \frac{n(r+r)}{nr+r} = \frac{2n}{n+1}$$

ko'rinishga o'tadi.

Javob: $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{n(R+r)}{nR+r}$; $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{2n}{n+1}$

§ 16. DOIMIY TOK MANBALARINI KETMA-KET VA PARALLEL ULASH

Tok manbalarini ham xuddi o'tkazgichlarni ulagandagi kabi ketma-ket va parallel ulash mumkin. Bunda natijaviy EYuK, tok kuchi va to'la qarshilikni topish masalasi bizni qiziqtiradi.

Tok manbalarini ketma-ket ulash:

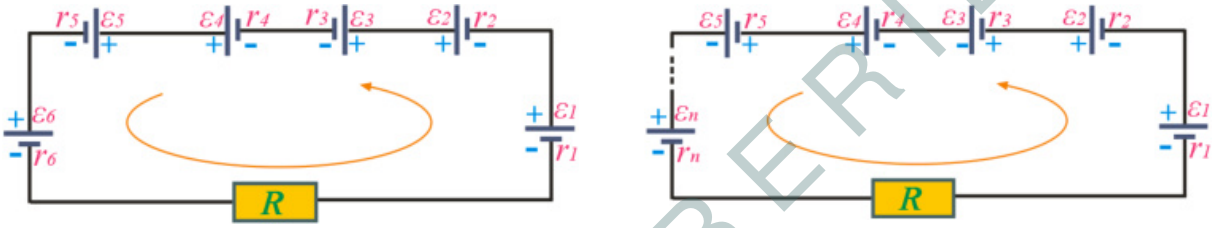
Tok manbalarini birining iziga ikkinchisini, ikkinchisining iziga uchinchisi va hokoza qilib ulashga ***ketma-ket ulash*** deyiladi. Bashqacha aytganda, manbalarni ketma-ket ulaganda tarmoqlanish bo'lmaydi.

Bir nechta tok manbalari va tashqi qarshilik ketma-ket qilib ulangan bo'lsin. Konturni aylanib chiqishda ixtiyoriy biror bir yo'nalishni musbat yo'nalish deb qa'bul qilamiz. Masalan, soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishni musbat yo'nalish deb qa'bul qilamiz va shu yo'nalishda tokni yuzaga keltiruvchi manbalarning EYuKlarini musbat ($\varepsilon > 0$) ishorali deb olamiz, soat strelkasi

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘yicha tokni yuzaga keltiruvchi manbalarning EYuKlarini esa manfiy ($\varepsilon<0$) ishorali deb olamiz. Boshqacha aytganda berk konturni soat strelkasiga qarama-qarshi yo‘nalishda aylanib chiqishda manbaning (-) qutibidan (+) qutbiga o‘tilsa, ($\varepsilon>0$) deb va aksincha ($\varepsilon<0$) deb olamiz (16.1a-rasm). Bunda natijaviy EYuK, umumiy qarshilik va berk konturdagi tok kuchi quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} \varepsilon_{um} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 - \varepsilon_5 + \varepsilon_6 \\ R_{um} = R + r_{um} = R + r_1 + r_2 + \ldots + r_6 = R + \sum_{i=1}^{6} r_i \\ I = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{cases} \qquad (16.1)$$



16.1-rasm

Agar ketma-ket ulangan barcha manbalar bir xil ulangan bo‘lsa (bir xil yo‘nalishda tok yuzaga keltirsa), bu manbalarning natijaviy EYuK ularning algebraik yig‘indisiga teng bo‘ladi (16.1b-rasm).

$$\begin{cases} \varepsilon_{um} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \ldots + \varepsilon_n = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i \\ R_{um} = R + r_{um} = R + r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n = R + \sum_{i=1}^{n} r_i \\ I = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{cases} \qquad (16.2)$$

Agar n ta bir xil manbalar bir xil tartibda ketma-ket ulangan bo‘lsa, natijaviy EYuK quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} \varepsilon_{um} = \varepsilon + \varepsilon + \varepsilon + \ldots + \varepsilon = n\varepsilon \\ R_{um} = R + r_{um} = R + r + r + r + \ldots + r = R + nr \\ I = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} = \dfrac{n\varepsilon}{R + nr} \end{cases} \qquad (16.3)$$

Agar batareyalar sistemasining qarshiligi tashqi qarshilikdan ancha kichik ($nr << R$) bo‘lsa, batareyalarni ketma-ket ulash foydalidir, ya’ni bunda maksimal tok kuchi olish mumkin.

SINOV UCHUN BERILGAN

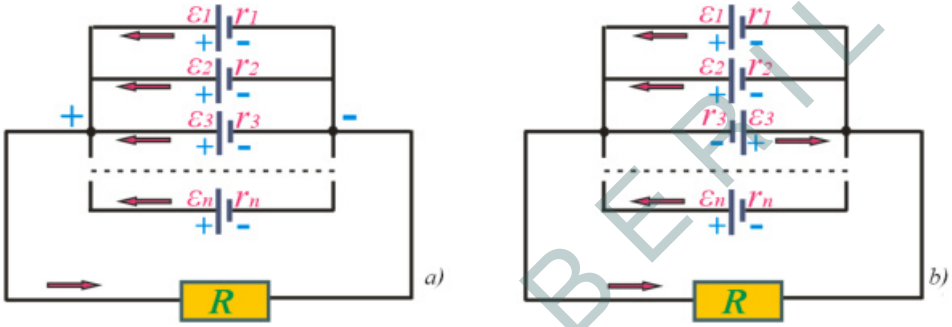
$$I \approx \frac{n\varepsilon_0}{R} \qquad (16.4)$$

Tashqi qarshilik manbaning ichki qarshiligidan ancha kichik $(R \ll r)$ bo‘lsa, batareyalarni ketma-ket ulash foydasizdir, ya’ni bunda olinadigan tok kuchi bitta manbaning qisqa tutashuv tokiga teng bo‘ladi.

$$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr} \approx \frac{n\varepsilon}{nr} = \frac{\varepsilon}{r} = I_0 \qquad (16.5)$$

Tok manbalarini parallel ulash:

Tok manbalarinining (+) qutblari bitta tugunga, (-) qutblari bitta tugunga ulansa, bunday ulashga ***parallel ulash*** deyiladi.



16.2-rasm

Tok manbalarini parallel ulaganda, batareyalar sistemasining natijaviy EYuK, umumiy qarshilik va tashqi qarshilikdagi tok kuchi quyidagicha bo‘ladi (16.2a-rasm):

$$\begin{cases} \dfrac{\varepsilon_{um}}{r_{um}} = \dfrac{\varepsilon_1}{r_1} + \dfrac{\varepsilon_2}{r_2} + \dfrac{\varepsilon_3}{r_3} + \ldots + \dfrac{\varepsilon_n}{r_n} \\ R_{um} = R + r_{um} \\ \dfrac{1}{r_{um}} = \dfrac{1}{r_1} + \dfrac{1}{r_2} + \dfrac{1}{r_3} + \ldots + \dfrac{1}{r_n} \\ I = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{cases} \qquad (16.6)$$

Agar tok manbalaridan birortasining qutblari almashtirib ulansa, o‘sha manba uchun $\varepsilon < 0$ deb olinadi (16.2b-rasm):

$$\begin{cases} \dfrac{\varepsilon_{um}}{r_{um}} = \dfrac{\varepsilon_1}{r_1} + \dfrac{\varepsilon_2}{r_2} - \dfrac{\varepsilon_3}{r_3} + \ldots + \dfrac{\varepsilon_n}{r_n} \\ R_{um} = R + r_{um} \\ \dfrac{1}{r_{um}} = \dfrac{1}{r_1} + \dfrac{1}{r_2} + \dfrac{1}{r_3} + \ldots + \dfrac{1}{r_n} \\ I = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{cases} \qquad (16.7)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar n ta bir xil manba parallel ulansa, natijaviy EYuK, umumiy qarshilik va tashqi qarshilikdagi tok kuchi quyidagicha bo‘ladi:

$$\varepsilon_{um}=\varepsilon,\quad R_{um}=R+r_{um}=R+\frac{r}{n},\quad I=\frac{\varepsilon_{um}}{R_{um}}=\frac{\varepsilon}{R+\frac{r}{n}}=\frac{n\varepsilon}{nR+r} \tag{16.8}$$

Agar bir xil manbalar ketma-ket ulansa, yuqoridagi formula qanday ko‘rinish olishini ko‘raylik. Bunda

$$\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=\ldots=\varepsilon_n=\varepsilon$$

bo‘ladi. Natijaviy EYuK esa

$$\frac{\varepsilon_{um}}{r_{um}}=\frac{\varepsilon_1}{r_1}+\frac{\varepsilon_2}{r_2}+\frac{\varepsilon_3}{r_3}+\ldots+\frac{\varepsilon_n}{r_n}=\frac{\varepsilon}{r_1}+\frac{\varepsilon}{r_2}+\frac{\varepsilon}{r_3}+\ldots+\frac{\varepsilon}{r_n}=\varepsilon\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}+\ldots+\frac{1}{r_n}\right)=\varepsilon\frac{1}{r_{um}},\ \rightarrow\ \varepsilon_{um}=\varepsilon$$

bo‘ladi.

Demak, agar n ta parallel ulangan manbaning EYuKlari teng bo‘lsa, u holda natijaviy EYuK quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\varepsilon_{um}=\varepsilon \tag{16.9}$$

Ichki qarshiliklari bir xil EYuKlari esa har xil bo‘lgan manbalarni ko‘raylik. Bunda

$$r_1=r_2=r_3=\ldots=r_n=r$$

bo‘ladi. Shuning uchun, batareyalar sistemasining umumiy ichki qarshiligi

$$r_{um}=\frac{r}{n}$$

bo‘ladi. Natijaviy EYuK esa

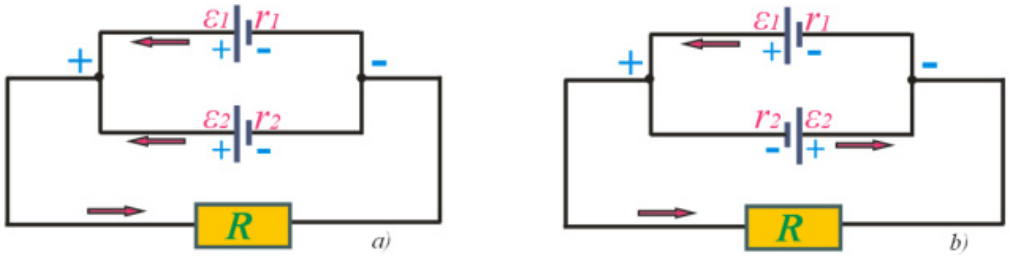
$$\frac{\varepsilon_{um}}{r_{um}}=\frac{\varepsilon_1}{r_1}+\frac{\varepsilon_2}{r_2}+\frac{\varepsilon_3}{r_3}+\ldots+\frac{\varepsilon_n}{r_n}=\frac{\varepsilon_1}{r}+\frac{\varepsilon_2}{r}+\frac{\varepsilon_3}{r}+\ldots+\frac{\varepsilon_n}{r}=\frac{1}{r}\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\ldots\varepsilon_n\right),\ \rightarrow\ \frac{\varepsilon_{um}}{r/n}=$$

$$=\frac{1}{r}\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\ldots\varepsilon_n\right),\ \rightarrow\ \varepsilon_{um}=\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\ldots+\varepsilon_n}{n}$$

bo‘ladi.

Demak, agar n ta parallel ulangan manbaning ichki qarshiliklari teng bo‘lsa, u holda natijaviy EYuK quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\varepsilon_{um}=\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\ldots+\varepsilon_n}{n} \tag{16.10}$$



16.3-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar ikkita o‘zaro parallel ulangan turli manbalar tashqi manbaga ulansa, natijaviy EYuK quyidagicha bo‘ladi (16.3a-rasm):

$$\varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2} \qquad (16.11)$$

Agar yuqoridagi formulani EYuKlari turlicha, lekin ichki qarshiliklari bir xil bo‘lgan manbalar uchun qo‘llasak, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$\varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \qquad (16.11a)$$

Agar ikkita o‘zaro teskari parallel ulangan turli manbalar tashqi manbaga ulansa, natijaviy EYuK quyidagicha bo‘ladi (16.3b-rasm):

$$\varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2} \qquad (16.12)$$

Agar yuqoridagi formulani EYuKlari turlicha, lekin ichki qarshiliklari bir xil bo‘lgan manbalar uchun qo‘llasak, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$\varepsilon_{um} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \qquad (16.12a)$$

Manbalarni ulash bilan bog‘liq bo‘lgan masalalarga Kirxgof qonunilarini o‘rganishda ko‘p duch kelamiz. Unda aralash ulashlarda ham ixtiyoriy manbadan o‘tuvchi tok kuchini va undagi kuchlanish tushuvini aniqlash mumkin bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Manbalarni ketma-ket ulash deb nimaga aytiladi? Bunda umumiy EYuK qanday bo‘ladi?*
2. *Manbalar ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va umumiy tok kuchi qanday aniqlanadi? Bir xil manbalar uchun qanday bo‘ladi?*
3. *Manbalarni parallel ulash deb nimaga aytiladi? Bunda umumiy EYuK qanday bo‘ladi?*
4. *Manbalar parallel ulanganda umumiy qarshilik va umumiy tok kuchi qanday aniqlanadi? Bir xil manbalar uchun qanday bo‘ladi?*
5. *To‘g‘ri va teskari parallel ulangan ikkita manbaning natijaviy EYuK qanday bo‘ladi? Ichki qarshiliklar bir xil bo‘lganda bu formula qanday bo‘ladi?*
6. *EYuKlari va qarshiliklari turlicha bo‘lgan doimiy tok manbalari o‘zaro parallel ulanganda umumiy EYuK nimaga teng bo‘ladi. Agar ular teskari ulansa-chi?*
7. *EYuKlari turlicha va qarshiliklari bir xil bo‘lgan doimiy tok manbalari o‘zaro parallel ulanganda umumiy EYuK nimaga teng bo‘ladi. Agar ular teskari ulansa-chi?*

Masala yechish:

1. *Rasmdagi tok manbalarining EYuKlari* $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 12V$ *va ichki qarshiliklari* $r_1 = 0{,}16\Omega$, $r_2 = 0{,}12\Omega$ *ga teng. Tok manbalari va R qarshilik ketma-ket ulangan.*

SINOV UCHUN BERILGAN

R qarshilikning qanday qiymatida manbalardan birining qutblarida potensiallar farqi nolga teng bo'ladi? Bu qaysi tok manbasi?

Berilgan:

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 12V$

$r_1 = 0{,}16\Omega$

$r_2 = 0{,}12\Omega$

$U = 0$

$R = ?$

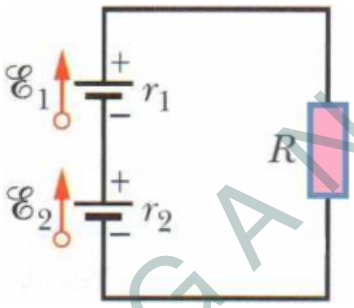
Yechilishi:

Aytaylik, 1-manba qutblarida kuchlanish nolga teng.

$$U_1 = \varepsilon_1 - Ir_1, \ \rightarrow \ \varepsilon_1 = Ir_1 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2} r_1, \rightarrow$$

$$R = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{\varepsilon_1} r_1 - (r_1 + r_2) = \frac{\varepsilon_1 r_1 + \varepsilon_2 r_1 - \varepsilon_1 r_1 - \varepsilon_1 r_2}{\varepsilon_1} =$$

$$= \frac{\varepsilon_2 r_1 - \varepsilon_1 r_2}{\varepsilon_1} = r_1 - r_2 = 0{,}16 - 0{,}12 = 0{,}04\Omega$$



Demak, bunda olingan javob musbat bo'lgani uchun shu javobni olamiz. Agar manfiy son hosil bo'lganda edi, u holda hisob-kitobni 2-manba uchun davom ettirar edik. Shuni ham alohida eslatib o'tish kerakki, bunday masalalarda tok manbalarining faqat bittasida qutblardagi potendiallar farqi nolga teng bo'ladi. Shunday qilib, berilgan masalada R=40 mΩ bo'lganda 1-manba qutblarida potensiallar farqi nolga aylanar ekan.

Javob: *R=40 mΩ*

§ 17. ELKTR ZANJIRLARI UCHUN KIRXGOF QONUNLARI VA ULARDAN KELIB CHIQADIGAN NATIJALAR

Agar elektr zanjirlari tarmoqlangan bo'lsa, bu zanjirlarning alohida qismlaridan o'tayotgan tok kuchlari miqdori va yo'nalishlari har xil bo'lgani uchun ularni to'g'ridan-to'g'ri Om qonuni bo'yicha hisoblash juda qiyindir. Bunday murakkab vaziyatdan qutulishni birinchi bo'lib 1847-yilda nemis fizigi Kirxgof tomonidan yaratilgan ikkita qonun asosida oson hal etish mumkin.

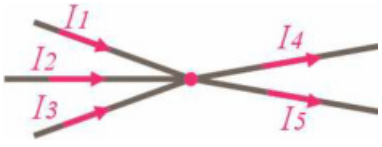
Kirxgof qonunlari:

Kirxgofning 1-qonuni: elektr zanjririning tugunida uchrashgan toklarning algebraik yig'indisi nolga teng, ya'ni tugunga kelayotgan toklar yig'indisi tugundan ketuvchi toklar yig'indisiga teng bo'ladi (17.1-rasm).

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0 \quad yoki \quad I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \qquad \textbf{(17.1)}$$

Bu yerda: n – tugunda uchrashgan toklar soni bo'lib, $n \geq 3$ bo'lgandagina tugun hosil bo'ladi.

Kixgofning 1-qonuni tugunda uchrashuvchi toklarga taalluqli bo'lgani uchun ham bu qonuni ***tugunlar qonuni*** deb ham ataladi. Kirxgofning 1-qonuni zaryadlar saqlanish qonuning natijasidir.



17.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Kirxgofning 2-qonuni: Tarmoqlangan elektr zanjirining ixtiyoriy berk konturidagi tok manbalarining EYuKlari yig‘indisi har doim qarshiliklardagi kuchlanish tushuvlari yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i=\sum_{i=1}^{n}U_i \quad yoki \quad \sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i=\sum_{i=1}^{n}I_iR_i \qquad (17.2)$$

Bu yerda tok manbalarining ichki qarshiliklaridagi kuchlanish tushuvlari ham hisobga olinishi kerak.

Kirxgofning 2-qonuni tarmoqlangan elektr zanjririning iyotiyoriy berk konturi uchun bo‘lib, shuning uchun bu qonunni ***konturlar qonuni*** deb ham ataladi. Kirxgofning 2-qonuni energiya saqlanish qonuning natijasidir.

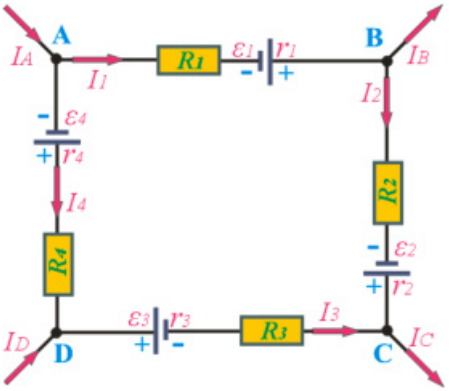
Kirxgofning 2-qonunidan foydalanishda quyidagi shartlarga amal qilish kerak bo‘ladi:

1. yo‘nalishi tanlangan aylanish yo‘nalishi bilan mos tushgan toklarni musbat toklar, teskari yo‘nalganlarini esa manfiy toklar deb olinadi;

2. konturni tanlangan yo‘nalishda aylanib chiqishda tok manbasining (-) qutbidan (+) qutbiga o‘tilsa, manbaning EYuK musbat ($\varepsilon>0$) deb, aksincha manfiy ($\varepsilon<0$) deb olinadi.

Masalan, 17.2-rasmda tasvirlangan tarmoqlangan elektr zanjirining $ABCDA$ berk konturi uchun Kirxgofning 1- va 2-qonuni quyidagicha yoziladi:

$$A:\ I_A-I_1-I_4=0, \qquad B:\ I_1-I_B-I_2=0$$
$$C:\ I_2+I_3-I_C=0 \qquad D:\ I_D+I_4-I_3=0$$
$$ABCD:\ \varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3-\varepsilon_4=I_1(R_1+r_1)+I_2(R_2+r_2)-$$
$$-I_3(R_3+r_3)-I_4(R_4+r_4)$$

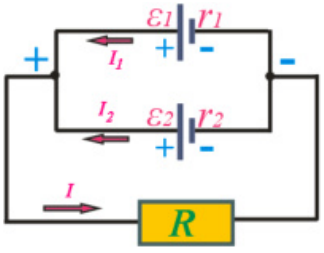


17.2-rasm

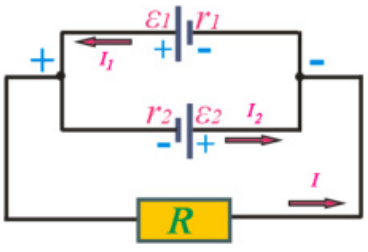
Shunday qilib, Kirxgofning ikkita qonunidan foydalanib, har qanday murakkab tarmoqli elektr zanjiridagi noma’lum kattaliklarni ham hisoblab topish mumkin ekan.

Kirxgof qonunlaridan kelib chiqadigan natijalar:

Kirxgof qonunlaridan foydalanib ko‘p uchraydigan masalalardan ba’zilari uchun xususiy formulalar chiqarishimiz mumkin.



a)



b)

17.3-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

O‘zaro parallel ulangan ikkita turli manbani tashqi R qarshilikka ulaganda har bir elementdan o‘tuvchi tok kuchlari quyidagicha bo‘ladi (17.3-a,rasm):

$$\begin{cases} \varepsilon_{um} = \dfrac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} \\ R_{um} = R + r_{um} = R + \dfrac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \\ I_{um} = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{cases} \qquad \begin{cases} I_1 = \dfrac{\varepsilon_1 - I \cdot R}{r_1} \\ I_2 = \dfrac{\varepsilon_2 - I \cdot R}{r_2} \\ I_{um} = I_1 + I_2 \end{cases} \qquad (17.3)$$

O‘zaro teskari parallel ulangan ikkita turli manbani tashqi R qarshilikka ulaganda har bir elementdan o‘tuvchi tok kuchlari quyidagicha bo‘ladi (17.3-b,rasm):

$$\begin{cases} \varepsilon_{um} = \dfrac{\varepsilon_1 \cdot r_2 - \varepsilon_2 \cdot r_1}{r_1 + r_2} \\ R_{um} = R + r_{um} = R + \dfrac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \\ I_{um} = \dfrac{\varepsilon_{um}}{R_{um}} \end{cases} \qquad \begin{cases} I_1 = \dfrac{\varepsilon_1 - I \cdot R}{r_1} \\ I_2 = \dfrac{\varepsilon_2 + I \cdot R}{r_2} \\ I_{um} = I_1 - I_2 \end{cases} \qquad (17.4)$$



17.4-rasm

17.4-rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgofning 2-qonuni quyidagicha bo‘ladi:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I \cdot (R_1 + R_2 + r_1 + r_2), \qquad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I \cdot (R_1 + R_2 + r_1 + r_2) \qquad (17.5)$$



17.5-rasm

17.5-a,rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgofning ikkala qonunidan foydalanib tok kuchlarini aniqlash mumkin. Rasmdagi yuqorigi I-kontur, pastki II –kontur va tashqi kontur uchun Kirxgofning 2-qonunini qo‘llab,

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 + I R, \quad \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I_1 r_1 - I_2 r_2$$

formulalarni, Kirxgofning 1-qonunini tugun uchun qo‘llab, $I = I_1 + I_2$ formulani hosil qilish mumkin. $I = I_1 + I_2$ formulani I- va II –konturlar uchun chiqarilgan

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 + I R$$

formulalarga qo‘yib,

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\begin{cases}\varepsilon_1 = I_1 r_1 + (I_1 + I_2)R = I_1(r_1 + R) + I_2 R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 + (I_1 + I_2)R = I_1 R + I_2(r_2 + R)\end{cases}$$

sistemaga ega bo‘lamiz. Sistemaning 1-tenglamasidan

$$I_2 = \frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{r_1 + R}{R} I_1$$

ni topib, uni 2-tenglamaga qo‘ysak,

$$\varepsilon_2 = I_1 R + I_2(r_2 + R) = I_1 R + \left(\frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{r_1 + R}{R} I_1\right)(r_2 + R)$$

tenglama hosil bo‘ladi. Buni ikkala tomonini R ga ko‘paytirsak,

$$\varepsilon_2 R = I_1 R^2 + \varepsilon_1(r_2 + R) - (r_1 + R)(r_2 + R) I_1, \;\rightarrow\; \varepsilon_2 R - \varepsilon_1(r_2 + R) =$$

$$= \left(R^2 - r_1 r_2 - (r_1 + r_2)R - R^2\right) I_1, \;\rightarrow\; \left(r_1 r_2 + (r_1 + r_2)R\right) I_1 = \varepsilon_1(r_2 + R) - \varepsilon_2 R, \;\rightarrow$$

$$\rightarrow \quad I_1 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

1-manbadan o‘tuvchi tok kuchi kelib chiqadi. 2-manbadan o‘tuvchi tok kuchi uchun esa

$$I_2 = \frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{r_1 + R}{R} I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{r_1 + R}{R} \cdot \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} =$$

$$= \frac{\varepsilon_1 r_1 R + \varepsilon_1 r_1 r_2 + \varepsilon_1 r_2 R - \varepsilon_1 r_1 r_2 - \varepsilon_1 r_2 R - \varepsilon_1 r_1 R - \varepsilon_1 R^2 + \varepsilon_2 r_1 R + \varepsilon_2 R^2}{R(r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R)} = \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

ifoda kelib chiqadi. Qarshilikdagi tok kuchi uchun

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} + \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_1 R - \varepsilon_2 R + \varepsilon_2 r_1 + \varepsilon_2 R - \varepsilon_1 R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} =$$

$$= \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

kelib chiqadi.

Shunday qilib, 17.5-a,rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kxgoff qonunlarii va tok kuchlari quyidahicha bo‘lar ekan:

$$\begin{cases}\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 + I R \\ \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I_1 r_1 - I_2 r_2 \\ I = I_1 + I_2\end{cases}$$

yoki

$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I_2 = \dfrac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I = \dfrac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \end{cases} \qquad \textbf{(17.6)}$$

Yuqoridagi formuladan foydalanib manbalarning biridagi tok kuchi (yoki shu manba qutblaridagi kuchlanish) nolga aylanadign holni aniqlashimiz mumkin. Ikkala manbadan qaysining EyuKi kichik bo‘lsa, shu manbadan o‘tadigan tok

SINOV UCHUN BERILGAN

nolga aylanish ehtimoli mavjud. Aytaylik, $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ bo‘lsin, I_2 tok kuchi $\varepsilon_2 r_1 = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R$ da nolga aylanadi. Bundan esa tashqi qarshilikning qiymati

$$R = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} r_1 \qquad (17.7)$$

bo‘lganda $I_2 = 0$ yoki $U_2 = 0$ ekanligi kelib chiqadi. Bunda $I = I_1$ bo‘lib, tok 17.5-a,rasmdagi yuqorgi konturda aylanadi.

17.5-b,rasm rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgofning ikkala qonunidan foydalanib tok kuchlarini aniqlash mumkin. Rasmdagi yuqorigi I-kontur, pastki II –kontur va tashqi kontur uchun Kirxgofning 2-qonunini qo‘llab,

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 - I R, \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_1 r_1 + I_2 r_2$$

formulalarni, Kirxgofning 1-qonunini tugun uchun qo‘llab, $I = I_1 - I_2$ formulani hosil qilish mumkin. $I = I_1 - I_2$ formulani I- va II –konturlar uchun chiqarilgan

$$\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R, \quad \varepsilon_2 = I_2 r_2 - I R$$

formulalarga qo‘yib,

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = I_1 r_1 + (I_1 - I_2) R = I_1 (r_1 + R) - I_2 R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 - (I_1 - I_2) R = -I_1 R + I_2 (r_2 + R) \end{cases}$$

sistemaga ega bo‘lamiz. Sistemaning 1-tenglamasidan

$$I_2 = \frac{r_1 + R}{R} I_1 - \frac{\varepsilon_1}{R}$$

ni topib, uni 2-tenglamaga qo‘ysak,

$$\varepsilon_2 = -I_1 R + I_2 (r_2 + R) = -I_1 R + \left(\frac{r_1 + R}{R} I_1 - \frac{\varepsilon_1}{R} \right) (r_2 + R)$$

tenglama hosil bo‘ladi. Buni ikkala tomonini R ga ko‘paytirsak,

$$\varepsilon_2 R = -I_1 R^2 + (r_1 + R)(r_2 + R) I_1 - \varepsilon_1 (r_2 + R), \ \rightarrow \ \varepsilon_2 R + \varepsilon_1 (r_2 + R) =$$

$$= \left(-R^2 + r_1 r_2 + (r_1 + r_2) R + R^2 \right) I_1, \ \rightarrow \ \left(r_1 r_2 + (r_1 + r_2) R \right) I_1 = \varepsilon_1 (r_2 + R) + \varepsilon_2 R, \ \rightarrow$$

$$\rightarrow \ I_1 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

1-manbadan o‘tuvchi tok kuchi kelib chiqadi. 2-manbadan o‘tuvchi tok kuchi uchun esa

$$I_2 = \frac{r_1 + R}{R} I_1 - \frac{\varepsilon_1}{R} = \frac{r_1 + R}{R} \cdot \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} - \frac{\varepsilon_1}{R} =$$

$$= \frac{\varepsilon_1 r_1 r_2 + \varepsilon_1 r_2 R + \varepsilon_1 r_1 R + \varepsilon_1 R^2 + \varepsilon_2 r_1 R + \varepsilon_2 R^2 - \varepsilon_1 r_1 R - \varepsilon_1 r_1 r_2 - \varepsilon_1 r_2 R}{R (r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R)} = \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_1) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

ifoda kelib chiqadi. Qarshilikdagi tok kuchi uchun

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I = I_1 - I_2 = \frac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} - \frac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_1) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_1 R + \varepsilon_2 R - \varepsilon_2 r_1 - \varepsilon_2 R - \varepsilon_1 R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} =$$

$$= \frac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R}$$

kelib chiqadi.

Shunday qilib, 17.5-b,rasmda tasvirlangan zanjir uchun Kirxgoff qonunlarii va tok kuchlari quyidahicha bo‘lar ekan:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = I_1 r_1 + I R \\ \varepsilon_2 = I_2 r_2 - I R \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_1 r_1 + I_2 r_2 \\ I = I_1 - I_2 \end{cases}$$

yoki

$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{\varepsilon_1 r_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I_2 = \dfrac{\varepsilon_2 r_1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_1) R}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \\ I = \dfrac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 R + r_1 r_2 + r_2 R} \end{cases} \quad \textbf{(17.8)}$$

Yuqoridagi formuladan k‘rinib turibdiki, manbalardan har doim tok o‘tar ekan, $I_1 > 0$, $I_2 > 0$ bo‘ladi. Lekin, tashqi R qarshilikdan tok o‘tmaslik ehtimoli mavjud. Buning uchun $I=0$, ya’ni

$$\varepsilon_1 r_2 = \varepsilon_2 r_1, \ \rightarrow \frac{\varepsilon_1}{r_1} = \frac{\varepsilon_2}{r_2}$$

bo‘lish kerakligi kelib chiqadi. Ana shunda $I = 0$ yoki $U_R = 0$ va $I_1 = I_2$ bo‘ladi.

Demak, 17.5-b,rasm rasmda tasvirlangan zanjir uchun quyidagi shart bajarilganda R qarshilikdan tok o‘tmas ekan.

$$\frac{\varepsilon_1}{r_1} = \frac{\varepsilon_2}{r_2} \quad \textbf{(17.9)}$$



a) *b)*

17.6-rasm

Akkumlyator zaryadsizlanayotgan vaqtda uning qutblaridagi kuchlanish manbaning EYuKdan kichik bo‘ladi. Chunki, manbaning ichki qarshiligi hisobiga manba ichida kuchlanish tushuvi sodir bo‘ladi.

17.6-rasm akkumlyatorning zaryadsizlanish jarayoni bo‘lib, bunda voltmetrning ko‘rsatishi quyidagicha bo‘ladi:

$$U = \varepsilon - I r, \quad U = \varepsilon - I(R + r) \quad \textbf{(17.10)}$$



a) *b)*

17.7-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Akkumlyator zaryadlanayotgan vaqtda zaryadlovchi tok yo‘nalishi manbaning (+) qutbi tomon yo‘nalishi kerak, ya’ni zaryadlovchi manba qutblari akkumlyator manbasi qutblariga mos holda ulanadi. Undan tashqari manbaning qutblaridagi kuchlanish manbaning EYuKdan katta bo‘lishi shart. Chunki, manba zaryadlovchi qurilma qutblaridagi potensial manba qutblaridagi potensialdan katta bo‘lgan taqdirdagina, manbaga majburan zaryad kiritish mumkin.

17.7-rasm akkumlyatorning zaryadlanish jarayoni bo‘lib, bunda voltmetrning ko‘rsatishi quyidagicha bo‘ladi:

$$U = \varepsilon + I r\,, \quad U = \varepsilon + I\left(R + r\right) \tag{17.11}$$

Agar akkumlyatorni zaryadlash paytida tok kuchi I_z, akkumlyator qutblaridagi kuchlanish U_z va razryadlanish (zaryadsizlanish) paytida toki kuchi I_r, akkumlyator qutblaridagi kuchlanish U_r ma’lum bo‘lsa, u holda akkumlyatorning EYuKi va ichki qarshiligini aniqlash mumkin. Zaryadlanish va razryadlanish paytidagi akkumlyator qutblaridagi kuchlanishlar

$$\begin{cases} U_z = \varepsilon + I_z r \\ U_r = \varepsilon - I_r r \end{cases}$$

bo‘ladi. Bularni biridan ikkinchisini ayirib,

$$U_z - U_r = I_z r + I_r r, \;\rightarrow\; r = \frac{U_z - U_r}{I_z + I_r}$$

Akkumlyatorning ichki qarshiligini topiladi. Topilgan bu qiymatni sistemadagi tenglamalardan ixtiyoriy bittasiga, aytaylik ikkinchisiga qo‘yib,

$$\varepsilon = U_r + I_r r = U_r + I_r \frac{U_z - U_r}{I_z + I_r} = \frac{U_r I_z + U_z I_r}{I_z + I_r}$$

Akkumlyatorning EYuKini aniqlanadi.

Shunday qilib, akkumlyatorning zaryadlanish va razryadlanish paytidagi tok kuchi va qutblardagi kuchlanishlar ma’lum bo‘lsa, akkumlyatorning EYuK va ichki qarshiligini aniqlash mumkin ekan.

$$\varepsilon = \frac{U_r I_z + U_z I_r}{I_z + I_r}\,, \quad r = \frac{U_z - U_r}{I_z + I_r} \tag{17.12}$$

Yuqoridagi biz keltirib chiqargan barcha xususiy formulalar Kirxgof qonunlari natijasi bo‘lib, bu qonunlar orqali ixtiyoriy murakkab zanjirdagi noma’lum kattaliklarni anniqlash mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Kirxgofning 1-qonunini aytib bering va formulasini yozing.*
2. *Kirxgofning 2-qonunini aytib bering va formulasini yozing.*
3. *Kirxgof qonunlari qaysi saqlanish qonunlari natijasi?*
4. *Akkumlyator zaryadlanish paytida qutblardagi kuchlanish qanday?*
5. *Akkumlyator razryadlanish paytida qutblardagi kuchlanish qanday?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Masala yechish:

1. Rasmdagi zanjirda *d* va *c* nuqtalar orasidagi potensiallar farqi $\varphi_d - \varphi_c$ nimaga teng? Bunda ideal batareyalarning EYuKlari $\varepsilon_1 = 4V, \varepsilon_2 = 1V$ ga, tashqi qarshiliklar esa $R_1 = R_2 = 10\Omega$ va $R_3 = 8\Omega$ ga teng.

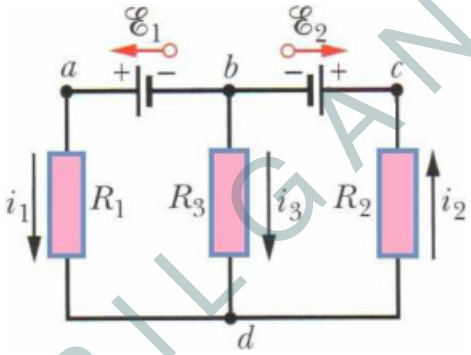
Berilgan:

$\varepsilon_1 = 4V$
$\varepsilon_2 = 1V$
$R_1 = 10\Omega$
$R_2 = 10\Omega$
$R_3 = 8\Omega$

$\varphi_d - \varphi_c = ?$

Yechilishi:

Kirxgoff qonunlaridan foydalanib ishlaymiz. Bunda *d* tugan uchun hamda chap va o'ng tomondagi kon-turlar uchun tenglamalar tuzamiz.



$$\begin{cases} i_2 = i_1 + i_3 \\ \varepsilon_1 = i_1 R_1 - i_3 R_3 \\ \varepsilon_2 = -i_2 R_2 - i_3 R_3 \end{cases} ; \Rightarrow \begin{cases} i_3 = i_2 - i_1 \\ 4 = 10 i_1 - 8(i_2 - i_1) \\ 1 = -10 i_2 - 8(i_2 - i_1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4 = 10 i_1 - 8 i_2 + 8 i_1 \\ 1 = -10 i_2 - 8 i_2 + 8 i_1 \end{cases} ; \Rightarrow \begin{cases} 9 i_1 - 4 i_2 = 2 \\ 8 i_1 - 18 i_2 = 1 \end{cases} ; \Rightarrow \begin{cases} i_1 = \frac{16}{65} A \\ i_2 = \frac{7}{130} A. \end{cases} \quad i_3 = i_2 - i_1 = \frac{7}{130} - \frac{16}{65} = -\frac{25}{130} = -\frac{5}{26} A$$

d va *c* nuqtalar orasidagi potensiallar farqi $\varphi_d - \varphi_c = U_2$ bo'ladi. Bu esa

$$U_2 = i_2 R_2 = \frac{7}{130} \cdot 8 = \frac{28}{65} V \approx 0{,}43V$$

bo'ladi.

Javob: *0,43 V*

II BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: №1.
O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligini aniqlash.

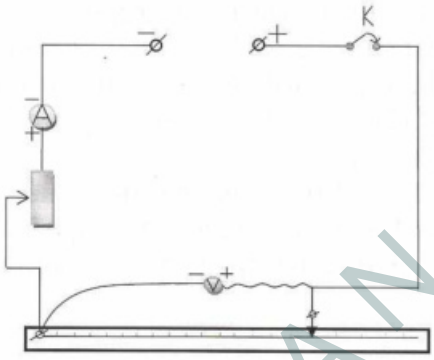
Ishning maqsadi: O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligini aniqlashni o'rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: Laboratoriya universal ta'minlash,ampermetr, voltmeter, reostat,turli qarshilikli simlar to'plami va ulash simlari.

NAZARIY QISM

SINOV UCHUN BERILGAN

O`tkazgichning qarshiligi uning moddasining turiga, geometrik o`lchamlariga , temperaturasiga bog`liq bo`ladi. O`tkazgichning uzunligi , ko`ndalang kesim yuzi S bo`lsa uning qarshiligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:



$$R = \rho\frac{l}{S} \qquad (1)$$

Bu yerda ρ o`tkazgichning solishtirma qarshiligi bo`lib, u o`tkazgichning moddasini turiga bog`liq:

$$\rho = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot u}{4 \cdot l \cdot I} \qquad (2)$$

Ishni bajarish tartibi.

1. laboratoriya ishi yo`riqnomasi bilan tanishib chiqing.
2. Chizg`ich va mikrometr yordamida o`tkazgichni uzunligi va diametrini aniqlang.
3. Maxsus qisqichlar yordamida berilgan uzunlikdagi o`tkazgichni elektr tarmog`iga ulang,
4. Kalitni ulang va o`tkazgichdagi tok kuchi va kuchlanishni o`lchang.
5. Olingan natijalar asosida o`tkazgichning solishtirma qarshiligini hisoblang.
6. Tajribani 3-4 marta o`tkazib, olingan qiymatlarni jadvalga kiriting.
7. Solishtirma qarshilikning o`rtacha qiymatini aniqlang.

$$\rho_{o`r} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \cdots \rho_n}{n}$$

8. Absolyut xatolikni quyiodagi formuladan aniqlaymiz

$$\Delta\rho = \rho_{o`r} - \rho$$

9. Absolyut xatolikni o`rtachasini aniqlang
10. O`lchashning nisbiy xatoligini aniqlang

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho_{o`r}}{\rho_{o`r}} \cdot 100\%$$

11. Tajriba natijasini quyidagicha ifodalang

$$\rho = \rho_{o`r} \pm \Delta\rho_{o`r}$$

12. Bu qanday modda ekanligini aniqlang

SINOV UCHUN BERILGAN

№	$d\ [mm]$	$S\ [mm^2]$	$l\ [m]$	$U\ [V]$	$R_i[\Omega]$	$\rho_i\left[\frac{\Omega \cdot mm}{m}\right]$	$\bar{\rho}$	$\Delta\rho_i$	$\overline{\Delta\rho}$	$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta\rho}}{\bar{\rho}} \cdot 100\%$
1										
2										
3										
$\rho = \bar{\rho} \pm \overline{\Delta\rho}$										

Nazorat uchun savollar.

1. To'g'ri geometrik shaklga ega bo'lgan o'tkazgichlar uchun qarshilikni hisoblash formulasini yozing uni tushuntiring.
2. O'tkazgichning solishtirma qarshiligi deb nimaga aytiladi? U qanday kattaliklarga bog'liq?

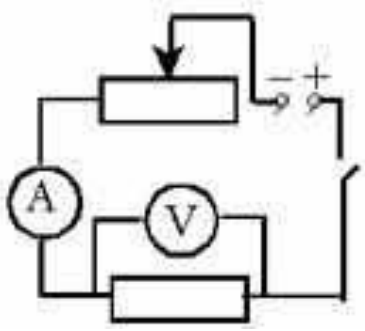
Laboratoriya ishi: №2.
Om qonunini o'rganish.

Ishning maqsadi: Zanjirning bir qismi uchun Om qonunini o`rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: tok manbayi , ampermetr, voltmeter, rezistorlar to`plami, kalit va ulovchi similar.

NAZARIY QISM

Tok kuchi bilan zanjirning bir qismi –o`tkazgich uchlaridagi kuchlanish va shu o`tkazgich qarshiligi orasidagi bog`lanish nemis olimi Georg Om sharafiga Om qonuni deb ataladi.



O`tkazgichdagi tok kuchi uning uchlari orasidagi kuchlanishga to`g`ri proporsional, o`tkazgichning qarshiligiga teskari proporsionaldir:

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

1 Ω deb shunday o`tkazgichning qarshiligi qabul qilinganki,uning uchlaridagi kuchlanish 1 V bo`lganda undan 1 A tok kuchi o`tadi. Ya`ni :

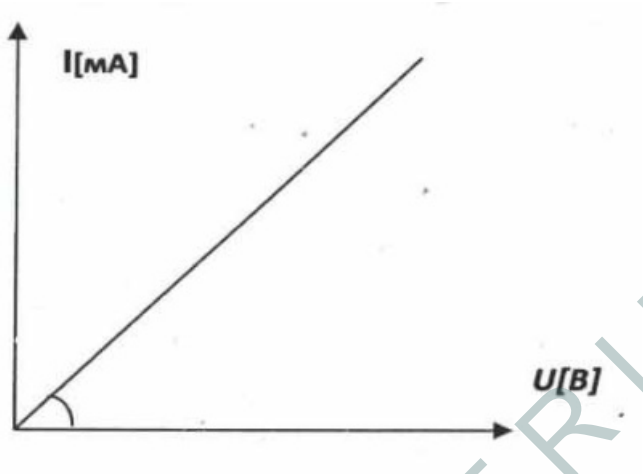
$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

Ishni bajarish tartibi

1. Yoriqnoma bilan tanishib elektr zanjirni yig`amiz.
2. Jadval tuzib olamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

3. Kuchlanishni 0 dan 8 V gacha oshiramiz.
4. Ampermetr va voltmetrni ko`rsatishini aniqlab, jadvalga kiritamiz.
5. Tok kuchi va kuchlanish orasidagi bog`lanish grafigini chizamiz.
6. Natijalarni tahlil qiling va xulosa chiqaring.



№	$U\ [V]$	$I_i \cdot 10^{-3}[A]$	$R_i[\Omega]$	$\bar{R}$	ΔR_i	$\overline{\Delta R}$	$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta R}}{\bar{R}} \cdot 100\%$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
$R = \bar{R} \pm \overline{\Delta R}$							

Nazorat savollari

1.Ampermetr reostatga qanday ulanadi?

2.Reostatdagi kuchlanish qanday o`lchanadi?

3.Om qonunini formulasi qanday ifodalaniladi?

4.Reostat surgichi surilganda zanjirdagi tok kuchi nima sababdan o`zgaradi?

Laboratoriya ishi: №3.
O'tkazgichlarni ketma-ket, parallel va aralash ulash.

Ishning maqsadi: Rezistorlarni ketma-ket va parallel ulashni amalda o`rganish va natijalarni ommetr yordamida tekshirish.

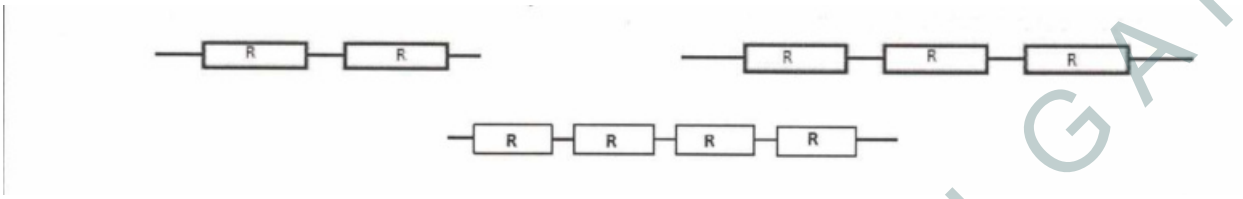
SINOV UCHUN BERILGAN

Kerakli asbob va jihozlar: Ampermetr, voltmetr, turli rezistorlar, reostat, o‘zgarmas tok manbai, ulovchi simlar.

NAZARIY QISM

O`tkazgichlarni ketma-ket, parallel va aralash ulash mumkin.

ketma-ket ulanganda o`tkazgichlar bir birini orqasidan ulanib ketiladi

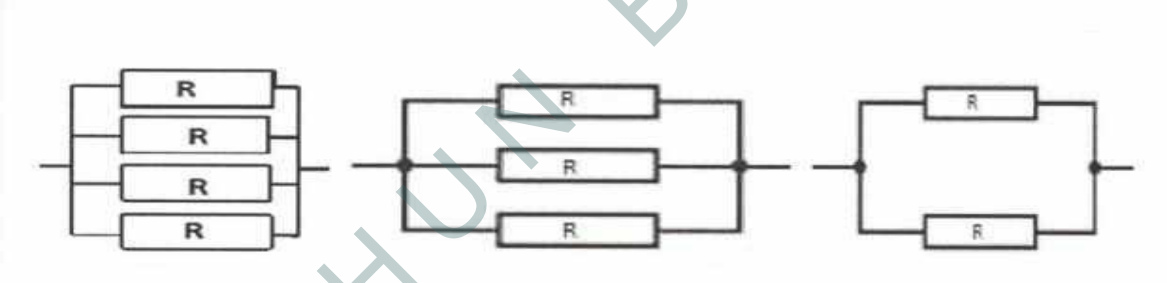


1-rasm

Bunday ulashda zanjirning umumiy qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{um} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

O`tkazgichlar parallel ulanganda ularning bir uchi bitta nuqtaga, ikkinchi uchi esa ikkinchi nuqtaga ulanadi:



2-rasm

Bunday ulashda zanjirdagi umumiy qarshilik quyidagi formuladan topiladi:

$$\frac{1}{R_{nap}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

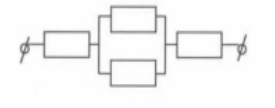
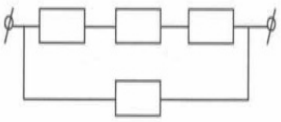
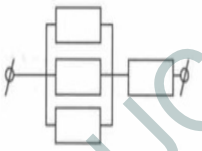
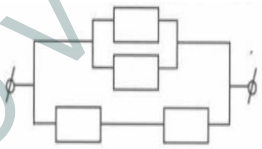
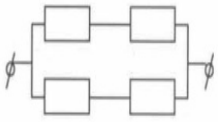
Ishning borishi:

1. Rezistorlarni ketma-ket, parallel va aralash uchun elektr zanjiri tuzamiz.
2. Nazariy hisoblashlar uchun ketma –ket , parallel, aralsh ulashlar uchun umumiy formulalarni keltirib chiqaramiz.
3. Ommetr yordamida umumiy qarshilik qiymatlarini tajriba va nazariy qiymatlari bilan taqqoslaymiz.
4. Ikkinchi zanjirni tuzamiz va u uchun ham tajribadagi va nazariyadagi qiymatlarini taqqoslaymiz.
5. Tajribani oltita sxema uchun o`tkazamiz.

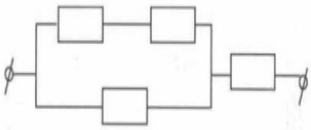
SINOV UCHUN BERILGAN

Ketma-ket ulash				
R	R_i	R_1	R_2	R_3
R_i				
R (1-2)				
R (1-3)				
R (1-4)				
R1.4				
R2.3				
R3.4				

Parallel ulash				
R	R_i	R_1	R_2	R_3
R_i				
R (1-2)				
R (1-3)				
R (1-4)				
R1.4				
R2.3				
R3.4				

№	$R_1 = 208\ \Omega;\ R_2 = 208\ \Omega;\ R_3 = 204\ \Omega;\ R_4 = 204\ \Omega$		
		Nazariyadagi qiymat	**Tajribadagi qiymat**
1			
2			
3			
4			
5			

SINOV UCHUN BERILGAN

6			

Laboratoriya ishi: №4.
Tok manbaining EYuK va ichki qarshiligini aniqlash.

Ishning maqsadi: 1. Berk zanjir uchun Om qonunini o'rganish. 2. Kirxgofning II qoidasini tajribada o'rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: O‘zgarmas tok manbai, elektr qarshiliklar, ampermetr, voltmetr.

NAZARIY QISM

Elektr zanjirda tok bo'lishi uchun, albatta, tashqi kuchlar (Kulon kuchi bundan istisno) zaryadni ko'chirishda ish bajarishi kerak. Tashqi kuchlarga kimyoviy reaksiyada moddani musbat va manfiy ionlarga ajratuvchi, yarim o'tkazgichda teshiklar hosil qiluvchi va sh.k. kuchlarni kiritish mumkin. Sodda qilib, tashqi kuchlarning hammasini *elektryurituvchi kuch* deyiladi. Uni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\varepsilon = A_{b.k} / q \qquad (1)$$

bunda: ε — elektr yurituvchi kuch; A_{bk} — begona kuch; q — zaryad.

To'liq zanjir uchun Om qonunini tashqi kuch (EYUK) orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \qquad (2)$$

Ko'rinib turibdiki, butun zanjirdagi tok kuchi zanjirdagi EYUK ning shu zanjir to'liq qarshiligiga nisbatiga teng. Tok kuchi uch kattalikka, ya'ni EYUK ε ga, zanjirning ichki va tashqi qismlarining qarshiliklari R va r ga bog'liq. Agar tok manbaining ichki qarshiligi zanjirning tashqi qismining qarshiligidan juda kichik (R»r) bo'lsa, ichki qarshilik tok kuchini sezilarli kamaytirmaydi. U holda tok manbaining qisqichlaridagi kuchlanish EYUK ga taxminan teng, ya'ni

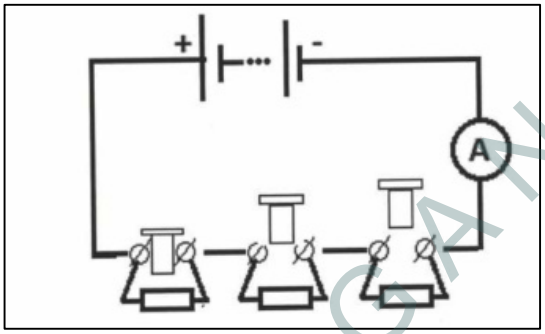
$$U = IR \approx \varepsilon \qquad (3)$$

Endi zanjirning qarshiligini quyidagi shaklda yozish mumkin:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$R = \varepsilon / I = U / I \qquad (4)$$

Odatda, tok manbaining ichki qarshiligi juda kichik bo'ladi, ya'ni $R \gg r$. Bu holda ε ning U dan farqi foizning o'ndan bir ulushidan ortmaydi, shuning uchun EYUK ni o'lchash xatoligi kuchlanishni o'lchash xatoligiga teng. Tok manbaining ichki qarshiligini bilvosita o'lchash mumkin, buning uchun ampermetr va voltmetrning zanjir berk holatidagi ko'rsatishlari qayd qilinadi. EYUKni berk zanjir uchun Om qonuni ifodasidan topiladi:



$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \Rightarrow \varepsilon = U + Ir \qquad (5)$$

bu yerda $U=IR$ — tashqi zanjirning kuchlanishi. U holda tok manbaining ichki qarshiligini quyidagicha yozish mumkin:

$$r = (\varepsilon - U)/ I \qquad (6)$$

Demak, berk zanjirga ulangan tok manbaining EYUK va ichki qarshiligini tajribada aniqlangan natijalar asosida o'rganish hamda aniqlash mumkin ekan.

Kalit (K) uzuq bo'lganda tok manbaining EYUKtashqi zanjirning kuchlanishiga teng bo'ladi. Tajribada tok manbai voltmetrga kalitsiz ulab qo'yilgan, chunki voltmetr qarshiligining tok manbaining r ichki qarshiligiga nisbati juda katta. Zanjirdagi tok kuchini o'lchashda ko'zguli mikroampermetrlardan foydalanilsa, tajribada topilgan natijalarning aniqligi ortadi.

Ishning bajarish tartibi:

1. Laboratoriya ishining yo'riqnomasini o'qib o'rganing va elektr sxemasini tuzing.
2. Qarshiliklar magazinidan shtekerni chiqarib va ko`rsatilgan sxemadagi rezistorlar to`plamiga turli kombinatsiyalarda ulanadi..
3. Har bir holat uchun ampermetrdan tok kuchinig qiymatlari yozib boriladi.
4. Quyidagi formuladan manbaning ichki qarshiligi va manbaning EYuK ni aniqlaymiz:

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{n\,(I_1 - I_2)} \quad , \quad \varepsilon = \frac{I_1 \cdot I_2\,(R_2 - R_1)}{n(I_1 - I_2)}$$

5. Tajribadagi olingan qiymatlarni jadvalga kiritamiz.
6. Tajribada olingan kattalik uchun absolyut va nisbiy xatoliklarni hisoblaymiz.
7. Tajribada hisoblangan natijalarni jadvalga kiritamiz.

1-jadval

SINOV UCHUN BERILGAN

№	$I\ [A]$	$R\ [\Omega]$	$\varepsilon_i [B]$	$\bar{\varepsilon}$	$\Delta\varepsilon_i$	$\overline{\Delta\varepsilon}$	$\delta = \frac{\overline{\Delta\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}} \cdot 100\%$
1							
2							
3							
$\varepsilon = \bar{\varepsilon} \pm \overline{\Delta\varepsilon}$							

2- jadval

№	$I\ [A]$	$R\ [\Omega]$	$r_i [\Omega]$	$\bar{r}$	Δr_i	$\overline{\Delta r}$	$\delta = \frac{\overline{\Delta r}}{r} \cdot 100\%$
1							
2							
3							
$r = \bar{r} \pm \overline{\Delta r}$							

Nazorat savollari

1. Tok manbaining elektr yurituvchi kuchi deb nimaga aytiladi?
2. Kuchlanishning EYUKdan qanday farqi bor?
3. Nima uchun kalit uzuq va berk bo'lgan hollarda voltmetrning ko'rsatishlari har xil bo'ladi?
4. Tok manbaining EYUK ni oichash aniqligini qanday qilib orttirish mumkin?

II BOBGA DOIR TESTLAR

1. *8,9 kg* massali ko‘ndalang kesim yuzi 1 mm^2 bo‘lgan mis simning qarshiligi necha Ω bo‘ladi? Misning zichligi *8,9 g/sm*^{3}, solishtirma qarshiligi *1,7·10*$^{-8}$ *Ω·m*.

A) 8,9 B) 17 C) 34 D) 44,5

2. Har bir metrining massasi *78 kg* bo‘lgan po‘lat relsning necha metri *0,012 Ω* qarshilikka ega bo‘ladi? Po‘latning zichligi *7,8 g/cm*^{3}, solishtirma qarshiligi *l,2·10*$^{-7}$ *Ω·m*.

A) 1200 B) 1000 C) 100 D) 780 e) 10

3. Agar o‘tkazgichdan o‘tayotgan tok kuchi *10 s* da 0 dan *5 A* gacha chiziqli ortgan bo‘lsa, shu vaqt ichida o‘tkazgich ko‘ndalang kesimidan qancha zaryad oqib o‘tgan (*C*)?

A) 0,5 B) 2,5 C) 2 D) 25

SINOV UCHUN BERILGAN

4. Kesim yuzi *1* mm^2 bo‘lgan po‘latdan tayyorlangan, tomonlari *1 m* va *2 m* bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi elektr zanjirning *A* va *B* nuqtalari orasidagi to‘liq qarshilikni toping (Ω). Po‘latning solishtirma qarshiligi $1{,}2 \cdot 10^{-7}\ Om \cdot m$.

A) 0,1 B) 0,2 C) 1 D) 2 E) 3

5. Ichki qarshiligi *880* Ω bo‘lgan galvanometrning sezgirligini *11* marta kamaytirish uchun shuntning qarshiligi qanday bo‘lishi kerak (Ω)?

A) 80 B) 88 C) 440 D) 1760 E) 9680

6. Simni cho‘zib, uch marta uzaytirilsa, qarshiligi necha marta ortadi?

A) 9 B) 4 C) 2 D) 3

7. Massalari teng bo‘lgan bir xil metalldan ikkita sim tayyorlandi. Ulardan biri ikkinchisidan 3 marta uzun. Bu simlarning qarshiliklari R_1 va R_2 orasidagi munosabatni aniqlang.

A) $R_1=3R_2$ B) $R_2=9R_1$. C) $R_1=R_2$ D) $R_2=3R_1$

8. Uzunligi *1 km* bo‘lgan mis simning qarshiligi *75,65* Ω. Simning og‘irligi necha nyuton? Misning zichligi $8{,}9 \cdot 10^3\ kg/m^3$, solishtirma qarshiligi $1.7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$.

A) 225 B) 45 C) 83 D) 118 E) 20

9. Rux va nikelindan qilingan simlar bir xil massaga va qarshilikka ega. Qaysi sim uzunroq va necha marta uzun? Ruxning zichligi $7 \cdot 10^3\ kg/m^3$, solishtirma qarshiligi $6 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$, nikelinning zichligi $8{,}41 \cdot 10^3\ kg/m^3$, solishtirma qarshiligi $42 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$.

A) uzunliklari bir xil. B) rux sim 8,41 marta uzun.
C) rux sim 2,9 marta uzun. D) nikelin sim 2,9 marta uzun.
E) nikelin sim 8,41 marta uzun

10. Elektr spiraldan *6 A* tok o‘tmoqda. Agar spiralning chorak qismi kesib tashlansa, undan necha amper tok o‘tadi?

A) 12 B) 10 C) 4,5 D) 8 E) 18

11. Ko‘ndalang kesimi *150* mm^2, solishtirma qarshiligi $2{,}8 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$ bo‘lgan *150 km* uzunlikdagi simdan o‘zgarmas elektr toki uzatish liniyasi tortilgan. Agar tok kuchi 100 A bo‘lsa, liniyaaagi kuchlanish tushuvi necha volt bo‘ladi?

A) 280 B) 5600 C) 2800 D) 560 E) 1400

12. Aluminiy o‘tkazgichdan o‘tayotgan tok zichligi $2 \cdot 10^6\ A/m^2$ bo‘lsa, o‘tkazgich ichidagi maydon kuchlanganligi necha *V/m* bo‘ladi? Aluminiyning solishtirma qarshiligi $2 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$.

A) 10^{-2} B) $4 \cdot 10^{-3}$ C) 0 D) $4 \cdot 10^{-4}$ E) $4 \cdot 10^{-2}$

SINOV UCHUN BERILGAN

13. Qarshiliklari teng bo‘lgan ikkita termistor o‘zgarmas kuchlanish manbaiga ketma-ket ulandi. Termistorlardan biri qizdirilganda, zanjirdagi tok kuchi *1,5* marta ortgan bo‘lsa, uning qarshiligi necha marta kamaygan?

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

14. *6,3 V* kuchlanishga mo‘ljallangan lampachalardan nechtasini ketma-ket ulab, *220 V* kuchlanishli tarmoqqa ulash mumkin?

A) 8 B) 17 C) 24 D) 25 E) 35

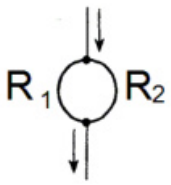
15. Ketma-ket ulangan *R* va *2R* qarshiliklardan o‘zgarmas tok o‘tmoqaa. Voltmetr *2R* qarshilikka ulanganda, *R* qarshilikka ulangandagiga nisbatan 1,8 marta ko‘p kuchlanishni ko‘rsatdi. Voltmetrning qarshiligi *R* qarshilikdan necha marta katta?

A) 1,8 B) 8 C) 3,6 D) 16 E) 5,4

16. Simdan yasalgan *ABCD* rombning *A* va *C* nuqtalari orasidagi qarshilikni toping. Rombning *a* tomonlari va *AC* diagonalining qarshiliklari bir xil bo‘lib *R* ga teng.

A) 5R/11 B) R/2 C) 9R/2 D) 11R/5 E) 9R

17. Solishtirma qarshiligi ρ va ko‘ndalang kesim yuzi *S* bo‘lgan bir jinsli simdan radiusi *r* bo‘lgan halqa yasalgan va u diametral qarama-qarshi ikki nuqtasidan zanjirga ulangan. Shu nuqtalar orasidagi qarshilikni aniqlang.



A) $R = \frac{1}{2}\rho\frac{\pi r}{S}$ B) $R = 2\rho\frac{\pi r}{S}$ C) $R = \rho\frac{\pi r}{S}$

D) $R = 2\rho\frac{2\pi r}{S}$ E) $R = \frac{1}{4}\rho\frac{\pi r}{S}$

18. Qarshiligi *R* bo‘lgan sim to‘rtta teng qismga qirqildi va to‘rttala qism uzunligi bo‘yicha birga eshib qo‘yildi. Bunday simning qarshiligi qanday bo‘ladi?

A) R/32 B) R/12 C) R/16 D) R/4 E) R/2

19. Ichki qarshiligi *880 Ω* bo‘lgan galvanometrning sezgirligini 11 marta kamaytirish uchun shuntning qarshiligi qanday bo‘lishi kerak (Om)?

A) 80 B) 88 C) 440 D) 1760 E) 9680

20. Voltmetrning ichki qarshiligi *2 kΩ* bo‘lib, u *10 V* ni o‘lchashga mo‘ljallangan. Ushbu voltmetrga qanday qo‘shimcha qarshilik (*kΩ*) ulanganda, u bilan *100 V* kuchlanishni o‘lchash mumkin bo‘ladi?

A) 0,2 B) 5 C) 12 D) 18 E) 20

SINOV UCHUN BERILGAN

21. *20 V* kuchlanish o‘lchashga mo‘ljallangan voltmetr bilan *160 V* kuchlanishni o‘lchash uchun unga qanday qarshilik ulash kerak (*Ω*)? Voltmetrning ichki qarshiligi *400 Ω* ga teng.

A) 2400 B) 2500 C) 2600 D) 2700 E) 2800

22. *R* va *2R* qarshiliklar o‘zgarmas kuchlanish manbaiga parallel ulangan. *R* qarshilikda *100 J* issiqlik miqdori ajralganda, *2R* qarshilikda qancha issiqlik miqdori ajraladi (*J*)?

A) 400 B) 200 C) 100 D) 50 E) 25

23. Tok kuchi necha amper bo‘lganda zanjirning qarshiligi *2 Ω* bo‘lgan qismida *3 s* da *54 J* issiqlik ajraladi?

A) 18 B) 9 C) 3 D) 6 E) TJY

24. Uchlaridagi kuchlanish *3 V* bo‘lgan qo‘zg‘almas o‘tkazgichdan *12 C* zaryad o‘tganda necha joul issiqlik ajralib chiqadi?

A) 0,25 B) 2 C) 4 D) 36 E) 108

25. Xona ketma-ket ulangan 5 ta lampa bilan yoritilgan bo‘lsin. Agar lampalar bittaga kamaytirilsa, elektr energiya sarfi qanday o‘zgaradi?

A) o‘ zgarmaydi B) kamayadi C) ortadi
D) ortishi ham mumkin, kamayishi ham E) TJY

26. Qarshiliklari *150 Ω* va 90 *Ω* bo‘lgan rezistorlar tok manbaiga ketma-ket ulangan. Ikkinchi rezistorda 18 kJ issiqlik ajralganda, birinchi rezistorda necha kJ issiqlik ajraladi?

A) 10 B) 20 C) 30 D) 90 E) 150

27. Elektr choynak ikkita isitish elementiga ega. Agar tarmoqqa birinchi elementning o‘zi ulansa, suv *1 soat*da qaynaydi. Ikkinchisi ulansa, suv *0,5 soat*da qaynaydi. Har ikki element bir vaqtda (parallel) ulansa, suv necha minutda qaynaydi?

A) 15 B) 20 C) 25 D) 30 E) 28

28. Elektr zanjir qarshiligi 2 Om bo‘lgan rezistor va EYuKi *6 V*, ichki qarshiligi 1 *Ω* bo‘lgan tok manbaidan iborat. Zanjirdagi tok kuchi necha amperga teng?

A) 18 B) 6 C) 3 D) 2 E) 1

29. EYuK *3 V* va ichki qarshiligi *0,6 Ω* bo‘lgan batareyaning qisqichlarini qarshiligi juda kichik bo‘lgan metall o‘tkazgich bilan tutashtirsak, undagi tok kuchi qanday (*A*) bo‘ladi?

A) 5 B) 1,8 C) 0,6 D) 0,3 E) 0,2

30. Tok manbaining EYuKi *9 V*, ichki qarshiligi *0,5 Ω*. Shu manbaga ulangan, qarshiligi *4 Ω* bo‘lgan rezistordagi kuchlanishning tushishi qanday

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 1 B) 4,5 C) 9 D) 8,5 E) 8

31. Tok manbaiga ulangan reostatning qarshiligi manbaning ichki qarshiligiga teng. Reostat qarshiligi necha marta kamayganda, undagi kuchlanish 2,5 marta kamayadi?

A) 4 B) 3 C) 2,5 D) 2 E) 1,5

II BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Diodda anod kuchlanishi *200 V* ga teng. Anodga nechta electron yetib borganda, elektr maydon *1,6 J* ish bajaradi? $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$.

2. Elektr maydonda elektronning tezligi $1 \cdot 10^7$ *m/s* dan $5 \cdot 10^7$ *m/s* gacha oshdi. Boshlang‘ich va oxirgi nuqtalar orasidagi potensialla ayirmasi qanday (*kV*)? Elektron zaryadining massasiga nisbati $1{,}76 \cdot 10^{11}$ *C/kg*.

3. Elektron, elektr maydonidagi ikki nuqta orasida ko‘chganda, $v = 3 \cdot 10^7$ *m/s* tezlikka ega bo‘ldi. Bu ikki nuqta orasidagi potensiallar farqi qanday (*V*)? electron zaryadi $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$, massasi $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31} kg$. Elektronning dastlabki tezligi nolga teng.

4. Mis simdan o‘tayotgan tokning zichligi *1 A/mm*^{2} ga teng. Simdagi elektr maydon kuchlanganligi qanday (*V/m*)? Misning solishtirma qarshiligi $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ *Ω·m*.

5. Rux sulfat solingan elektrolitik vannada tok kuchi chiziqli *I=(2+0,02t) A* qonun bo‘vicha o‘zgaradi. elektrolit orqali *5 min* ichida o tgan elektr zaryadni aniqlang (*C*).

6. Avtomobil elektrodvigatel-starteri akkumulatorlar batareyasidan *180 A* tokda *5 s* ishladi. Avtomobil yurgandan keyin, generator akkumulatorni *5 A* tok bilan zaryadlay boshladi. Necha minutdan so‘ng batareyaning ilgarigi holati tiklanadi?

7. O‘tkazgichdan o‘tayotgan tok kuchi *1,6 μA* bo‘lganda, o‘tkazgichning ko’ndalang kesim yuzidan *1 ns* da nechta elektron oqib o‘tadi? elektron zaryadi $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$.

8. Qarshiliklari teng bo‘lgan ikkita termistor o‘zgarmas kuchlanish manbaiga ketma-ket ulandi. Termistorlardan biri qizdirilganda, zanjirdagi tok kuchi *1,5* marta ortgan bo‘lsa, uning qarshiligi necha marta kamaygan?

9. Qarshiligi *R* bo‘lgan sim to‘rtta teng qismga qirqildi va to‘rttala qism uzunligi bo‘yicha birga eshib qo‘yildi. Bunday simning qarshiligi qanday bo‘ladi?

10. O‘zgarmas kuchlanish manbaiga ulangan *R* qarshilikli o‘tkazgichga *2R* qarshilikli o‘tkazgich parallel ulansa, *R* o‘tkazgichdagi tok kuchi necha marta kamayadi?

SINOV UCHUN BERILGAN

11. Ampermetrning ichki qarshiligi *9,9 Ω* bo‘lib, u *0,1 A* gacha tokni o‘lchashga mo‘ljallangan. Shu ampermetr bilan *10 A* gacha tokni o‘lchash uchun unga necha omli shunt ulash kerak?

12. Ikkita bir xil shuntlardan biri ampermetrga ulansa, uning bo‘lim qivmati 2 marta ortadi. Agar ikkala shunt ampermetrga parallel ulansa, uning bo‘lim qiymati necha marta ortadi?

13. Voltmetrning ichki qarshiligi *2 k Ω* bo‘lib, u *10 V* ni o‘lchashga mo‘ljallangan. Ushbu voltmetrga qanday qo‘shimcha qarshilik (*kΩ*) ulanganda, u bilan *100 V* kuchlanishni o‘lchash mumkin bo‘ladi?

14. Elektr choynak ikkita isitish elementiga ega. Agar tarmoqqa birinchi elementning o‘zi ulansa, suv *1 soat*da qaynaydi. Ikkinchisi ulansa, suv *0,5 soat*da qaynaydi. Har ikki element bir vaqtda (parallel) ulansa, suv necha minutda qaynaydi?

15. Akkumulatorga ulangan reostat qarshiligi akkumulatorning ichki qarshiligiga teng. Agar reostat qarshiligi 2 marta kamaysa, undagi kuchlanish necha marta kamayadi?

16. Qarshiligi *330 Ω* bo‘lgan isitkichdan o‘tayotgan tokning kuchi necha amper bo‘lganda 0°C temperaturali *1 g* muz *1 s* da erib ketadi? Muzning solishtirma erish issiqligi $3{,}3 \cdot 10^5$ *J/kg*.

17. Galvanik elementga voltmetr ulanganda u *1,2V* ni ko‘rsatdi, elementni qarshiligi *2 Ω* bo‘lgan sim bilan tutashtirilgach esa votmetr *1V* ni ko‘ratdi. Elementning ichki qarshiligini toping.

18. EyuKi *12 V* bo‘lgan batareyaga *2 Ω* qarshilik ulanganda zanjirdagi tok *5A* bo‘lsa, batareyaninng qisqa tutashuv tokini aniqlang.

19. Batareya qutblaridagi potensiallar farqi *110 V* bo‘lganda *5A* tok kuchi hosil qilish uchun EYuKi *2V* dan va ichki qarshiligi *0,2 Ω* dan bo‘lgan akkumlyatorlarning nechtasini ketma-ket ulash kerak?

20. EYuK lari *1,9V* va *1,1V*, ichki qarshiliklari *0,8 Ω* va *0,1 Ω* bo‘lgan ikkita element o‘zaro parallel ulanib, *10 Ω* tashqi qarshilikka ulangan. Zanjirning tashqi qismidagi tok kuchini aniqlang.

21. Qarshiligi *0,16 Ω* bo‘lgan ampermetrga qarshiligi *0,04 Ω* bo‘lgan shunt ulangan. Ampermetr *8A* ni ko‘rsatadi. O‘tkazgichdagi tok kuchini aniqlang.

22. Qarshiligi *0,4 Ω* bo‘lgan ampermetr *5A* tok kuchinni o‘lchashga mo‘ljallangan. Shu ampermetr bilan *100 A* tok kuchini o‘lchash uchun unga qanday shunt ulash kerak?

SINOV UCHUN BERILGAN

23. Qarshiligi *200 Ω* bo‘lgan voltmetr shkalasining bo‘limi qiymati *20* marta ortishi uchun unga qanday qo‘shimcha qarshilik ulash kerak?

24. Quvvatlari *60 W* va *90 W* bo‘lgan ikkita elektr lampasi *127 V* kuchlanishga mo‘ljallangan. Ularninng qaysining qarshiligi katta va necha marta katta?

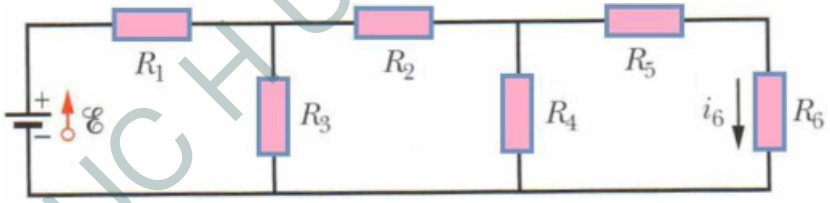
25. Massasi *900 kg* bo‘lgan lift o‘rtacha *0,44 m/s* tezlik bilan ko‘tariladi. Motor qisqichlaridagi kuchlanish *220 V* ga teng, uning *FIK 90%*. Motor sarflayotgan quvvat va tok kuchini aniqlang.

26. Quvvati *600 W* bo‘lgan elektr isitkich *120 V* kuchlanishga mo‘ljallangan. Isitkich yasalgan nikelin simning ko‘ndalang kesimi yuzasi *0,2* mm^2 bo‘lsa, bunday simdan qanday uzunlik olish kerak? Nikelin uchun solishtirma qarshilik $4 \cdot 10^{-7}$ $\Omega \cdot m$.

27. EyuK *12 V* bo‘lgan batareyaning qisqa tutashuv toki *5A* bo‘lsa, batareya zanjirida ajraluvchi eng katta quvvatni aniqlang.

28. Quvvatlari *100 W* va *200 W* bo‘lgan xonadon chiroqlari ketma-ket holda ulanib, so‘ng ularni *220 V* lik xonadon tarmog‘iga ulansa, bu lampalarning har biri qanday quvvat bilan yonadi?

29. Rasmda R_6 rezistordagi qarshilik $i_6 = 1,4\,A$ ga va qarshiliklar $R_1 = R_2 = R_3 = 2\Omega$, $R_4 = 16\Omega, R_5 = 8\Omega$ va $R_6 = 4\Omega$ ga teng. Ideal batareyaning EYuK nimaga teng?



30. Xonadonlarga yoritish uchun qo‘yiladigan *75 W* lik cho‘g‘lanma lampaning ishchi holatda elektr qarshiligi nimaga teng? *150 W* lik lampochkaniki-chi?

31. Batareya qisqichlariga ichki qarshiligi *2 Ω* bo‘lgan ampermetr ulanganda *5 A* tokni ko‘rsatdi. Shu batareyaga ichki qarshiligi *15 Ω* bo‘lgan volmetr ulanganda esa *12 V* kuchlanishni ko‘rsatdi. Bu batareyaning qisqa tutashuv toki nimaga teng?

SINOV UCHUN BERILGAN

III BOB. TURLI MUHITLARDA ELEKTR TOKI



Odingi bobda faqat metallarda elektr toki bilan tanishdik. Metallarda zaryad tashuvchilar faqat erkin elektronlar ekanini bilib oldik. Ushbu bobda esa metall bo‘lmagan muhitlarda yoki umuman muhitsiz vakuumda elektr toki nima hisobiga paydo bo‘lishi bilan tanishamiz. Jumladan, suyuqlikda elektr toki, yarimo‘tkazgichlarda elektr toki, gazlarda elektr toki va vakuumda elektr toki mavzulari bilan tanishamiz. Undan tashqari yarimo‘tkazgichlar va ularning turli xossalari hamda texnikadagi o‘rni bilan ham tanishamiz.

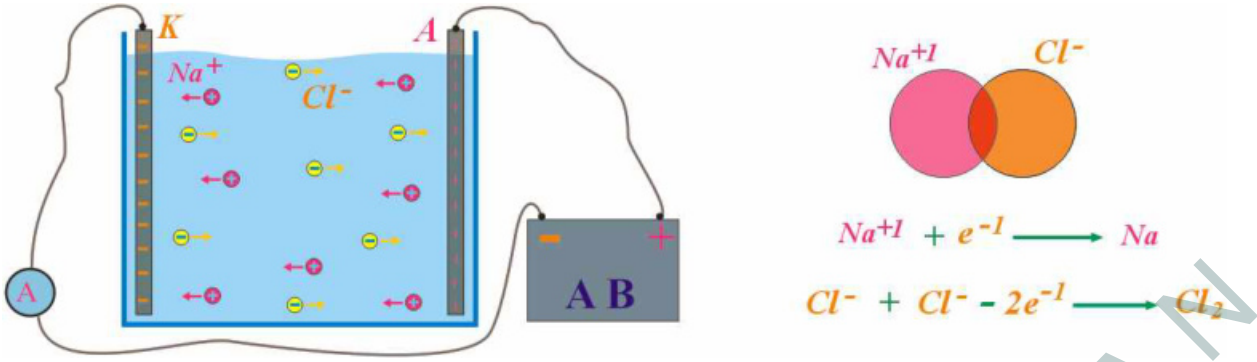
§ 18. SUYUQLIKLARDA ELEKTR TOKI. ELEKTROLIZ UCHUN FARADEY QONUNLARI.

Elektroliz hodisasi:

Musbat va ionlardan tashkil topgan suyuqlikka ***elektrolit*** deyiladi. Boshqacha aytganda ionli o‘tkazuvchanlika ega bo‘lgan eritmalarga ***elektrolitlar*** deyiladi. Manbaning (+) qutbiga ulangan elektrodni ***anod (A)*** deb, (-) qutbiga ulangan elektrodni esa ***katod (K)*** deb ataladi. Eritmadan tok o‘tganda eruvchi (tuz, ishqor, kislota vab .) molekulalarining musbat va manfiy ionlarga ajralish jarayoniga ***elektrolitik dissotsatsiyalanish*** deyiladi. Elektrolitik dissotsatsiyalanishga teskari jarayon (musbat va manfiy ionlarning qo‘shilib neytral molekulaga aylanishi) ***rekombinatsiyalanish*** deyiladi. Anodga tomon harakatlanuvchi ionlarni ***anionlar*** deyiladi. Anionlar manfiy zaryadlangan ionlardir. Katodga tomon harakatlanuvchi ionlarni ***kationlar*** deyiladi. Kationlar musbat zaryadlangan ionlardir. Suyuqliklarda elektr toki teng miqdordagi musbat va manfiy ionlarning qarama-qarshi tomonga qiladigan tartibli harakatidan iborat. Masalan, mis sulfat ($CuSO_4$) suvda eritilganda musbat (Cu^+) va manfiy $\left(SO_4^-\right)$ ionlarga ajraladi, ya’ni elektrolitik dissotsatsiyalanish sodir bo‘ladi. Eritmani tok manbaiga ulanganda Cu^+ ioni manfiy qutbga ulangan plastina (katod) ga tomon harakatlanib unga yopishadi, SO_4^- ioni esa manfiy qutbga ulangan plastina (anod) ga tomon harakatlanadi. Plastinalarni ***elektrodlar*** deyiladi. Elektrolitdan tok o‘tganda elektrodlarda modda ajralish hodisasiga ***elektroliz*** deyiladi.

Osh tuzi ($NaCl$) kristalini ampermetr orqali tokka ulanganda ampermetr nolni ko‘rsatadi. Toza distillangan suvga plastina tushirib ampermetr orqali tokka ulanganda ham ampermetr nolni ko‘rsatadi. Endi osh tuzi kristalini suvga eritsak, ampermetr tok o‘tayotganligini ko‘rsatadi. Bunda osh tuzi molekulasi elektr maydoni ta’sirida Na^+ va Cl^- ionlariga ajraladi, ya’ni elektrolitik dissotsatsiya-

SINOV UCHUN BERILGAN



18.1-rasm

lanish hodisasi ro‘y beradi. Na^+ ioni kation sifatida katodga tomon harakatlanadi. Katodga yetib borgach katoddan etishmayotgan bitta elektronni o‘ziga qa’bul qilib neytral *Na* atomiga aylanadi. Cl^- ioni anion sifatida anodga tomon harakatlanadi. Anodga yetib borgach anodga o‘zidagi ortiqcha bitta elektronni berib neytral *Cl* atomiga aylanadi va shu zahoti ikkita neytral *Cl* atomlari birikib Cl_2 molekulasini hosil qiladi. Bu molekula esa gaz bo‘lib uchib chiqib ketadi (18.1-rasm).

Faradeyning elektroliz qonunlari:

1833 yilda ingliz fizigi M.Faradey tajribalar natijasiga asosan elektrolizning ikkita qonunini kashf qildi. Bu qonunlar keyinchalik uning nomi bilan Faradey qonunlari deb atala boshlandi.

Faradeyning 1-qouni: Elektroliz vaqtida elektrodlarda ajralgan moddaning massasi elektrolit orqali o‘tayotgan zaryad miqdoriga to‘g‘ri proporsionaldir.

Faradeyning 1-qounining matematik ifodasi quyidagicha bo‘ladi:

$$m = k\,q \qquad (18.1)$$

Bu yerda: *m* – elektrodda ajralgan massa, *q* – elektrolitdan o‘tgan zaryad miqdori, *k* –proporsionallik koeffitsienti bo‘lib, u elektrodlarning shakliga ham elektrodlar orasidagi maga ham, tok kuchiga ham, temperaturaga ham bog‘liq bo‘lmasdan, faqatgina moddaning turiga bog‘liq bo‘lgan kattalik bo‘lib, moddaning ***elektroximiyaviy ekvivalenti*** deb ataladi.

Moddaning elektroximiyaviy ekvivalenti elektrolitdan *1 C* zaryad o‘tganda elektrodda qancha massa ajralishini bildiradi.

$$k = \frac{m}{q} \qquad (18.2)$$

Moddaning elektroximiyaviy ekvivalenti *kg/C* larda o‘lchanadi.

Faradeyning 1-qounini $q=It$ formuladan foydalanib, quyidagi ko‘rinishda yozish ham mumkin:

$$m = k\,I\,t \qquad (18.3)$$

Yuqoridagi formulaga asosan, Faradeyning 1-qounini quyidagicha ta’riflash ham mumkin:

SINOV UCHUN BERILGAN

Angliyalik fizik-eksperimentator va ximik Makl Faradey 1791-yil 22-sentyabrda Angliyada London yaqinilagi Nyungton-Batts shaharchasida temirchi oilasida tug‘ilgan. U London qirollik jamiyati va ko‘plab ilmiy muassasalarning a’zosi bo‘lgan, shuningdek Peterburg fanlar akademiyasining ham chet ellik faxriy a’zosi bo‘lgan. Faradey hozirgi zamon barcha elektr jihozlari ishlab chiqarilishi asosida yotuvchi qonuni – elektromagnit induksiya qonunini kashf edi, elektrodvigatelning dastlabki modelini yaratdi. U qilgan ishlari ichida birinchi bo‘lib transformator, tokning ximiyaviy ta’siri, elektroliz qonunlari, magnit maydonining yorug‘likka ta’siri, diamagnetizm va boshqalar edi. Faradey fanga ion, katod, anod, elektrolit, dielektrik, diamagnetizm, paramagnetizm kabi terminlarni kiritgan. U elektromagnit maydon nazariyasi asoschisi bo‘lib, keyin buni Maksvell umumlashtirgan. Faradey 1867-yili 25-avgustda Buyuk Britaniyaning Midleks shahrida Xemton-kort saroyida vafot etgan.



Maykl Faradey (1791–1867)

Elektroliz vaqtida elektrodlarda ajralgan moddaning massasi tok kuchiga va tokning o‘tib turish vaqtiga to‘g‘ri proporsionaldir.

Faradeyning 2-qonuni: Moddalarning elektroximiyaviy ekvivalenti ularning ximiyaviy ekvivalentiga to‘g‘ri proporsionaldir.

Faradeyning 2-qounining matematik ifodasi quyidagicha bo‘ladi:

$$k = \frac{1}{F}\frac{M}{n} \qquad (18.4)$$

Bu yerda: $F = eN_A = 96500\ [C/mol]$ – Faradey doimiysi bo‘lib, bir mol modda ajralganda o‘tgan zaryad miqdorini bildiradi, M – elektrodda ajralgan moddaning atom holidagi molyar massasi, n – elektrodda ajralgan moddaning valentligi.

Faradeyning ikkita qonunini birlashtirsak, elektrodda ajralgan massa uchun quyidagi formulani yozish mumkin bo‘ladi:

$$m = \frac{1}{F}\frac{M}{n} I t \qquad (18.5)$$

Turli moddalarning elektroximiyaviy ekvivalentlari qiymatlari turlicha bo‘lib, uning qiymatlari ilovada keltirilgan.

Elektrolitdan o‘tadigan tok kuchi manbaning kuchlanishiga, eritma konsentratsiyasi (erigan tuz, ishqor, kislota miqdori) ga, elektrodlarning aktiv yuzasiga to‘g‘ri proporsional bo‘lib, elektrodlar orasidagi masofaga teskari proporsional va quyidagicha bo‘ladi:

$$I \sim U, \quad I \sim n, \quad I \sim S, \quad I \sim t, \quad I \sim 1/d \qquad (18.6)$$

Eritmaning muzlash va qaynash temperaturalari oralig‘ida harorat ortishi bilan elektrolitning qarshiligi kamayib, o‘tkazuvchanligi oshadi.

Elektrolitlarda elektr toki teng miqdorda manfiy va musbat ionlar harakatidan hosil bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I_{um} = I_{(+)} + I_{(-)} = 2I_{(+)} = 2I_{(-)} \quad (18.7)$$

Elektrolizning texnikada qo‘llanilishi:

Elektroliz yordamida metall buyumlar sirtiga boshqa metalni silliq yupqa qilib qoplash ***galvonastegiya*** deyiladi. Metallarni zanglash va turli korroziyadan saqlash uchun yoki bezak berish uchun ularning sirti nikel, xrom, oltin va kumush suvi yuritiladi.

Buyumlarning shaklini qayta tiklash uchun uning sirtida bir nech millimetr qalinlikda metall qatlami hosil qilinadigan elektrolizga ***galvanoplastika*** deyiladi. Bu usuldan buyumlar, tanga va medallardan nusxa ko‘chirishda foydalaniladi. Buning uchun avvali biror plastik materialdan (masalan, mumdan) predmatning nusxasi olinadi. So‘ngra bu nusxaning yuzi elektr toki o‘tkazadigan yupqa modda bilan qoplanadi va uni katod sifatida elektrolitik vannaga joylanadi. Vannadan tol o‘tganda nusxani metallning qalin qatlami qoplaydi. Galvanoplastika usuli bilan arxeologik qazilmalarda topilgan qimmatbaho taqinchoqlarning aniq nusxasi, grampastinkalar ishlab chiqarish uchun shtamplar va hokozalar tayyorlanadi.

Elektroliz yo‘li bilan ximiyaviy toza metal olish ***metallarni rafinlash*** deyiladi. Tabiiy rudalar tarkibidan toza mis, toza oltin va boshqa toza metallar ajratib olish maqsadida elektrolizning bu turidan foydalaniladi. Masalan, metall erituvchi pechdan olingan metallurgiya misining tarkibida odatda turli xil aralashmalar bo‘ladi. Misni boshqa moddalardan tozalash ucun metallurgiya misining ulkan listlari (varaqlari) mis sulfat eritmasiga tushiriladi va tok manbaining musbat qutbiga ulanadi. Katod sifatida sof misdan qilingan yupqa list olinadi.

Elektroliz paytida anod bo‘lib xizmat qiladyotgan metall tok zichligi ko‘p joyda ko‘p eriydi. Metallning g‘adir-budur sirtining uchli, do‘nglik joylarida elektr maydon kuchli bo‘lgani bois, bu joydan chiquvchi tok zichligi ham katta bo‘ladi. Shuning uchun do‘nglik joylar tez yedirilib silliqlanib qoladi. O‘yiq joylar esa yemirilmaydi. Elektrolizning bunday tatbiqi ***elektrolitik silliqlash*** deyiladi.

Elektroliz hodisasidan ***elektrometallurgiya***da ham foydalaniladi. Bunda erigan rudalardan alyuminiy, natriy, magniy, berilliy va boshqa metallar ajratib olinadi. Vannaning tubi va ko‘mir elektrodlar orasida elektr yoyi yoqiladi. Bunda temperatura 2500 K dan ortadi. Yoy alangasida ruda eriydi va molekulalarning elektrolitik dissotsatsiyasi bo‘ladi. Dissotsatsiyalangan erigan ruda orqali elekt toki o‘tkazilganda vanna tubiga metall molekulalari cho‘kadi. Erigan metall vannaning qiya tubi orqali maxsus kovshlarga oqib tushadi.

Vodorod atomi o‘rnida atom massasi 2ga teng bo‘lgan vodorod izotopiga deyteriy (D) deyiladi. Bu izotop kislorod bilan birikkanda og‘ir suv (D_2O) olinadi. Tabiiy suv tarkibida juda kam miqdorda bo‘lsa ham og‘ir suv bo‘ladi. Elektroliz yordamida suvning tarkibidan og‘ir suvni ajratib olish mumkin ekan. Og‘ir suv

SINOV UCHUN BERILGAN

molekulasi oddiy suvnikidan og‘ir bo‘lgani uchun elektroliz jarayonida uning harakatchanligi past bo‘ladi. Shuning uchun ham elektroliz jarayonida ajralgan gazlarda engil vodorod yoki oddiy suv molekulalari bo‘lib, elektrolitda esa og‘ir suvning konsentratsiyasi qoladi. Natijada, elektroliz yo‘li bilan D_2O ning konsentratsiyasi ko‘p bo‘lgan suv olinadi. Bunga ***og‘ir suv olish*** deyiladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektroliz deb nimaga aytiladi? Anion va kation deganda nimani tushunasiz?*
2. *Elektrolit, elektrod tushunchalariga ta’rif keltiring.*
3. *Suyuqliklarda elektr toki qanday hosil bo‘ladi?Elektroximiyaviy ekvivalent nimani anglatadi?*
4. *Faradey qonunlarini aytib bering. Faradey soni nimani anglatadi?*
5. *Elektroliz jarayonidagi tok kuchi nimalarga bog‘liq?*
6. *Elektrolizning texnikada qo‘llanishini aytib bering.*

Masala yechish:

1. *Elektroliz vaqtida biror kesim orqali 1 sekundda musbat ionlar 1,5 C, manfiy ionlar 2,5 C zaryad olib o‘tgan. Tashqi zanjirdagi tok kuchi qanday (A)?*

A) 3,5 B) 4 C) 1 D) 1,5 E) 2,5

Berilgan:	*Yechilishi:*
$t=1s,\ q_1=1,5\ C$	$I=\frac{q_1+q_2}{t}=4A$
$q_2=2,5\ C$	$I=4\ A$
I-?	

Javob: *B) 4.*

2. *$AgNO_3$ eritmasi to‘latilgan vannadan 10 mA tok o‘tmoqda. 1 s davomida katodda qancha kumush atomi ajraladi?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
I=0,01 A	*$AgNO_3$ ning molyar massasi* $m_k=62\cdot10^{-3}\ kg/mol$
t=1 s, n=1	*Bundan*
	$m=kIt=\frac{1}{F}\frac{\mu}{n}It=\frac{1}{96500}\frac{62\cdot10-3}{1}10^{-2}=6,25\cdot10^{-9}\ kg$
m-?	$m=6,25\cdot10^{-9}\ kg$

Endi kumush atomlarini aniqlaymiz.

$$N=\frac{m}{\mu}N_A=\frac{6,25\cdot10^{-9}\ kg}{62\cdot10^{-3}\ kg/mol}\cdot6\cdot10^{23}\ mol^{-1}=6\cdot10^{17}\ ta$$

Javob: $6\cdot10^{17}\ ta$

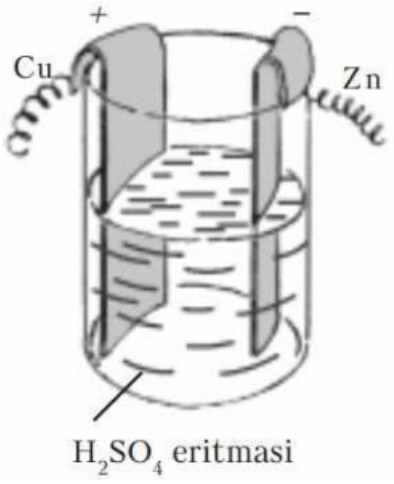
SINOV UCHUN BERILGAN

§ 19. GALVANIK ELEMENT. DANIYEL ELEMENTI. AKKUMLYATORLAR.

Zamonaviy akkumlyetorlar haqida gap boshlashdan oldin ularning paydo bo‘lish tarixiga bir nazar tashlaymiz. Dastlabki yaratilgan doimiy tok manbailaridan bo‘lmish Galvanik elementi hamda Daniyel elementi haqida tanishib olamiz.

Galvanik element:

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 manbayi 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.



19.1-rasm

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.

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 (19.1- rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

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. Shuning uchun ham amalda Volta elementidan farqli ravishda birinchi va ikkinchi jins o‘tkazgichlari boshqacha tanlangan elementdan, masalan, Daniyel elementidan foydalaniladi

Daniyel elementi:

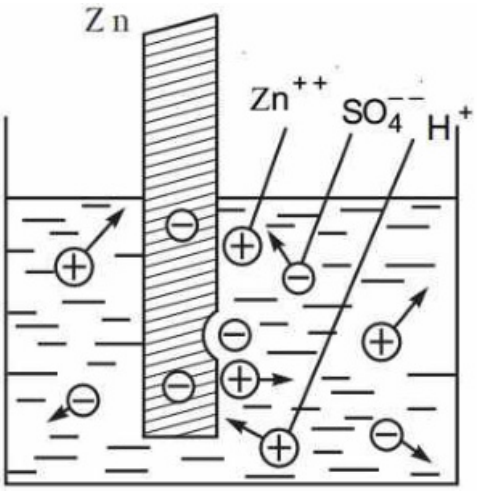
Daniyel elementi ingliz olimi va ixtirochisi J. Daniyel tomonidan 1836- yilda ixtiro qilingan bo‘lib, birinchi barqaror o‘zgarmas tok manbayi hisoblanadi. Bu elementda anod vazifasini $CuSO_4$ mis kuporosi eritmasiga botirilgan mis elektrod, katod vazifasini $ZnSO_4$ rux kuporosi eritmasiga botirilgan 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. 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 (19.2-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. Òezda 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 erituvchining tabiatiga hamda eritma konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘lgan muayyan bir potensiallar farqi mos keladi.

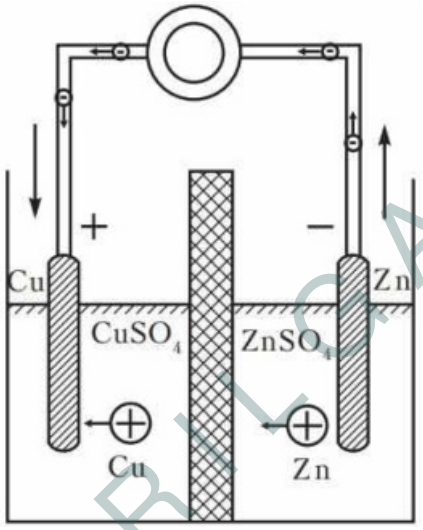
Shuni qayd etish kerakki, elektrolitlar bilan yondoshgan barcha metallar manfiy, elektrolitlar esa musbat zaryadlanadi. Daniyel elementi misolida galvanik elementning berk zanjirida zaryadlarning harakati qanday bo‘lishini va bu harakat qanday saqlanib turishini ko‘rib chiqaylik. Bu maqsadda Daniyel elementining sxematik tasviridan foydalanamiz (19.3- rasm). O‘ng kamerada rux elektrod $ZnSO_4$ tuzining eritmasiga, chap kamerada mis elektrod $CuSO_4$ tuzining eritmasiga tushirilganligi, kameralar g‘ovak to‘siq bilan ajratilganligi rasmdan ko‘rinib turibdi. Element ochiq bo‘lganda (elektrodlar bir-biriga ulanmaganda) har bir

SINOV UCHUN BERILGAN

elektrod bilan unga yondoshgan elektrolit orasida muvozanat holat o‘rnatilgan bo‘lib, yuqorida qayd etilganidek, bu holatga mos potensiallar farqi vujudga keladi.



19.2-rasm



19.3-rasm

Endi mis va rux elektrodlarni sim o‘tkazgich vositasida bir-biri bilan tutashtiraylik (19.3- rasmga 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 potensiallar farqi yuzaga keladi. Shu sababli zanjirning tashqi qismida elektronlar past potensialli rux elektroddan yuqori potensialli 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 eletkronlar bilan birikadi va neytral atom ko‘rinishida elektrodda o‘tiradi. Shunday qilib, rux elektrodning erishi va mis atomlarining mis elektrodda ajralishi bu elektrodlar orasidagi potensiallar 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:

$$Zn^{++} + SO_4^{--} \rightarrow ZnSO_4$$

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

SINOV UCHUN BERILGAN

$ZnSO_4$ning konsentratsiyasi to‘yinish holatigacha ko‘tarilib, eritmadan tubiga $ZnSO_4$ kristallari cho‘ka boshlaydi, chap kamerada esa $CuSO_4$ ning konsentratsiyasi juda kamayib ketishi va, oqibatda elementning EYK nolgacha 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 elektroddan mis eletkrodga tomon, elektrolitda manfiy ionlar (SO_4^{--} – anionlar) mis elektroddan rux elektrodga tomon, musbat ionlar (Cu^{++} va Zn^{++} – kationlar) rux elektroddan 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.

Akkumlyatorlar:

Galvanik elementlar uchun zararli bo‘lgan qutblanish hodisasidan 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 metalldan yasalgan. Ammo bunday elementdan biroz vaqt davomida tashqi manbadan o‘zgarmas 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‘zgarmas tok manbayidan tok o‘tkazish zarur ekan. Bu jarayonni elementni zaryadlash deb ataladi.

Qutblanish hodisasidan foydalanadigan Plante elementi va shu kabilar ikkilamchi elementlar yoki akkumulatorl a r 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) elektrodlarning qutblanishi turg‘un bo‘lishi va 2) akkumulatorda bo‘ladigan jarayonlar qaytuvchan bo‘lishi zarur. Birinchi shart akkumulator ishlatilmaganda uning o‘z-o‘zidan razryadlanmasligi uchun zarurdir.

SINOV UCHUN BERILGAN

Ikkinchi shart esa, akkumulatorning kelgusida ishga yaroqsiz qilib qo‘yadigan o‘zgarishlar bo‘lmasligi uchun zarurdir.

Plante elementining zaryadlanishida qanday jarayonlar 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 PbSO4 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

$$PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + 2H_2SO_4$$

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

$$PbSO_4 + 2H \rightarrow Pb + H_2SO_4$$

reaksiyaga kirishib, $PbSO_4$ qo‘rg‘oshin sulfatni Pb metallga aylantiradi. Shunday qilib, akkumulator zaryadlanganda elektrodlarning 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 akkumulatordan olish mumkin bo‘lgan eng katta elektr miqdori akkumulator sig‘imi deb ataladi. Bu kattalik ampersoatlarda o‘lchanadi. 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.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Galvani elementi qanday tuzilgan? Uning qanday ishlashini ayting.*
2. *Daniyel elementi qanday tuzilgan? Uning qanday ishlashini ayting.*
3. *Volta elementi qanday ishlaydi.*
4. *Elektrodlarning qutblanishi deganda nimani tushunasiz? Uning zararli va foydali tomonlari nimalardan iborat?*
5. *Akkumulator qanday asbob? Akkumulatorni zaryadlash va razryadlash qanday*

SINOV UCHUN BERILGAN

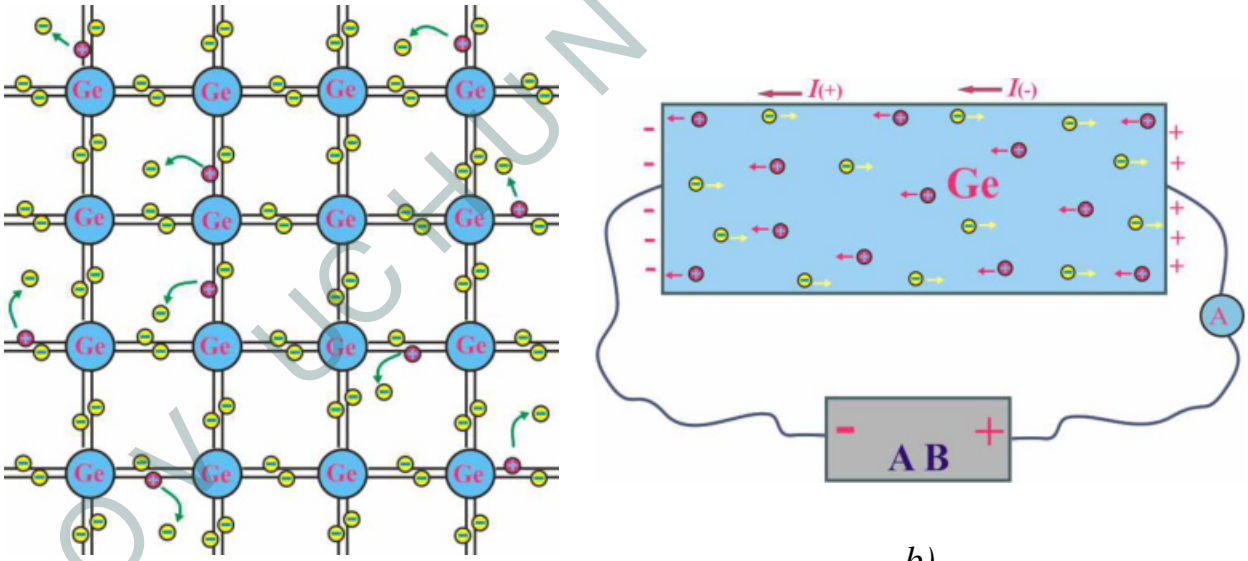
amalga oshiriladi?
6. Akkumulatorlar qayerlarda ishlatiladi?

§ 20. YARIM O‘TKAZGICHLARDA ELEKTR TOKI.

Yarim o‘tkazuvchilar deb ataluvchi elementlar D.I.Mendeleev jadvalida ixcham gruppani tashkil qiluvchi 12ta ximiyaviy edementdan iborat bo‘lib, undan tashqari ko‘pgina anorganik va organik birikmalar ham kiradi. Fizikada faqat yarimo‘tkazgichlar bilan shug‘ullanuvchi bo‘lim bo‘lib, uni yarimo‘tkazgichlar fizikasi deyiladi. Zamonaviy texnika muvaffaqiyatlarini yarim o‘tkazgichlar fizikasisiz tasavvur qilib bo‘lmaydi.

Sof yarim o‘tkazgich:

Ximiyaviy elementlarning Mendeleev davriy sistemasida Germaniy (*Ge*), kremniy (*Si*), indiy (*In*), galliy (*Ga*), mishyak (*As*), fosfor (*P*), surma (*Sb*) kabi elementlar borki, ular elektr xossalariga ko‘ra o‘tkazgichlar va dielektriklar oralig‘ida turadi. Bu elementlar juda past temperaturalarda o‘zini dielektrik kabi tutadi. Temperatura ortib borgan sari tok o‘tkazgich xususiyati ham tobora o‘tkazgichlarga o‘xshab boradi. Shuning uchun ham bu elementlarni elektr xossalariga ko‘ra ***yarim o‘tkazgichlar*** deyiladi.



a) *b)*

20.1-rasm

Keling, IV-gruppada joylashgan germaniy (*Ge*) yoki kremniy (*Si*) sof yarim o‘tkazgichlaridan birining, masalan germaniyning elektr xossalarini tekshirib ko‘raylik. Davriy sistemaning 32-katagida turuvchi bu elementda 32ta elektron bo‘lib, shulardan 28tasi ichki elektron qobiqlarda, 4tasi esa tashqi qobiqda joylashgan. Shuning uchun ham germaniy davriy sistemada IV-gruppadan o‘rin olgan. Boshqacha aytganda uning valentligi 4ga teng, 4ta tashqi elektronlar orqali qo‘shni atomlar bilan bog‘ hosil qilishi mumkin. Sof germaniyda har bir atom atrofidagi 4ta germaniy atomi bilan valentlik elektronlari orqali kovalent bog‘ (juft

SINOV UCHUN BERILGAN

bog‘) hosil qiladi. Juda past temperaturalarda sof yarim o‘tkazgich umuman tok o‘tkazmaydi. Chunki uning tok tashuvchi erkin elektronlari yo‘q, 4ta valentlik elektronlari ham o‘z o‘rnida mahkam turibdi. Temperatura ko‘tarilgan sari o‘tkazgichlardan farqli ravishda sof yarim o‘tkazgichlarning elektr qarshiligi kamayib, o‘tkazuvchanligi yaxshilanadi, ya’ni undan o‘tadigan tok kuchi ortadi. Chunki, kovalent bog‘lanishdagi valentlik elektronlari yadroga zaifroq bog‘langanligi sababli issiqlik ta’sirida bu elektronlar yadrodan uzilib erkin elektronlarga aylanadilar. Uzilgan elektron butun kristal panjaralari oralab betartib, xaotik harakat qiladilar. Elektronning joyida esa bo‘shab qolgani tufayli elektron yetishmovchiligi paydo bo‘ladi. Bu bo‘sh, vakant joyni ***kovak*** deb ataymiz. Kovaklar $+e$ zaryadga ega. Agar sof yarim o‘tkazgichga elektr maydoni ta’sir ettirilsa, elektronlar (+) qutbga tomon, kovaklar esa (-) qutbga tomon harakatlana boshlaydilar (20.1-rasm).

Sof yarim o‘tkazgichda elektr toki kovak va elektronlarning harakati tufayli sodir bo‘ladi.

Kovaklar soni elektronlar soniga teng bo‘lgani uchun ular harakati tufayli hosil bo‘lgan tok kuchlari ham teng bo‘ladi.

$$I_{KOV} = I_{EL} \qquad \textbf{(20.1)}$$

Sof yarim o‘tkazgichda umumiy elektr toki quyidagicha bo‘ladi:

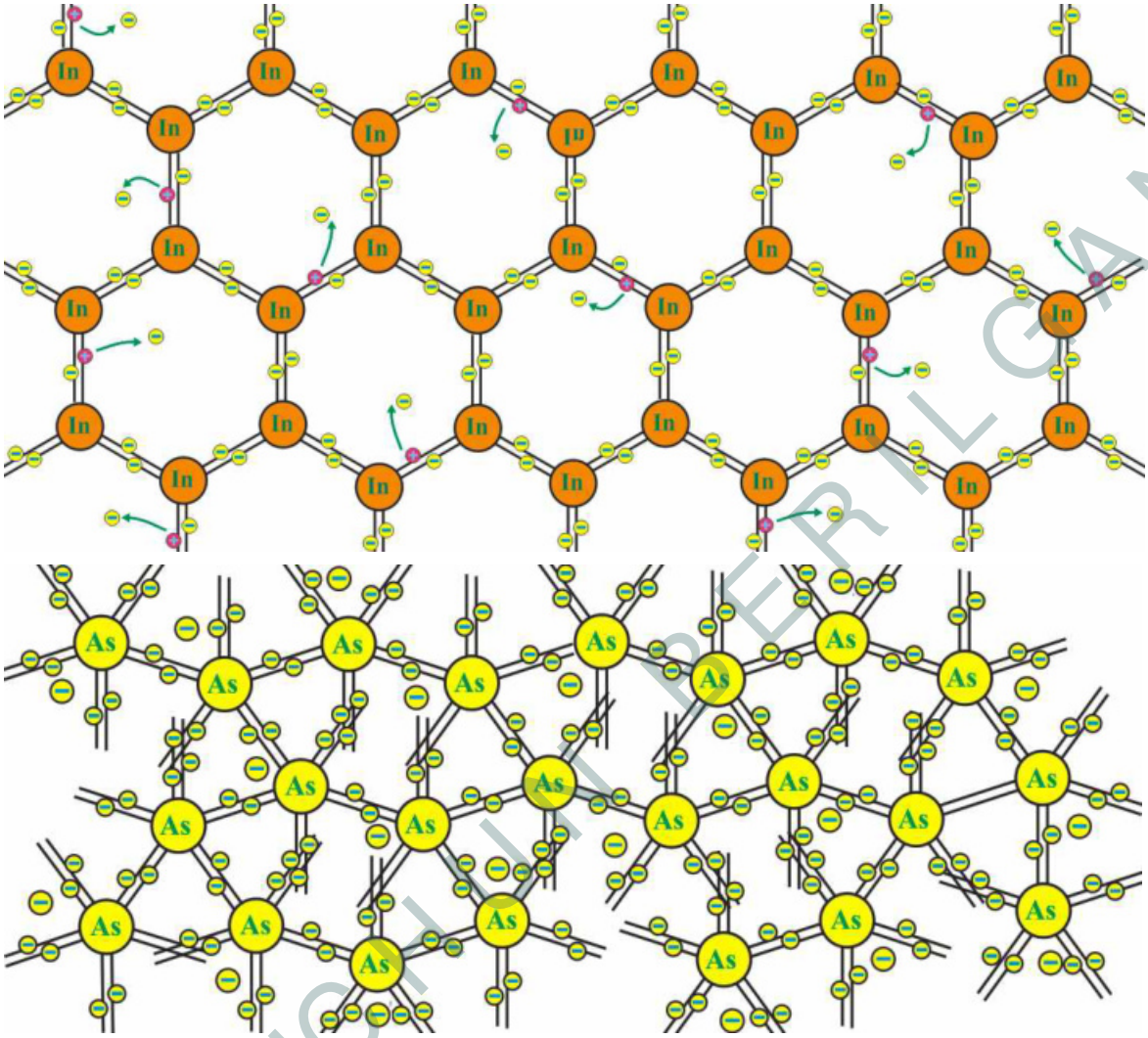
$$I_{um} = I_{kov} + I_{el} = 2I_{kov} = 2I_{el} \qquad \textbf{(20.2)}$$

Agar biz sof yarimo‘tkazgichni IV-gruppadan emas, balki III-gruppa yoki V-gruppadan tanlasak, nima bo‘lardi? Masalan, III-gruppadagi indiy (*In*) yoki V-gruppadagi mishyak (*As*) elementlarini olsak, bu sof yarim o‘tkazgichlarning valentlik elektronlari 3 yoki 5 ga teng bo‘lgani uchun ularning tashqi qobiqlarida 3 ta yoki 5 ta valentlik elektronlari bor. Demak, har bir indiy atomining 3 ta, mishyak elementining esa 5 ta qo‘shnisi bo‘lib, shular bilan valentlik elektronlari orqali kovalent bog‘lar hosil qiladi (20.2-rasm). IV-gruppadagi element kabi III-gruppa yoki V-gruppa elementlari ham past temperaturalarda o‘zini dielektrik kabi tutib, temperatura ko‘tarilgan sari o‘tkazuvchanlik yaxshilanib boradi. Indiy atomi valentlik bog‘lari tekislikda bo‘lgani uchun chiroyli tasvirlangan. Mishyak atomi esa qo‘shni atomlar bilan fazoviy yacheyka hosil qilgani uchun tekislikda tasviri chalkashlikka ega. Lekin, indiy yoki mishyakni asosiy tarkib sifatida ishlatib bo‘lmaydi. Cunki ular germaniy yoki kremniy kabi mustahkam qattiq holatda bo‘lmaydi. Shuning uchun, III-gruppa yoki V-gruppa elementlaridan ko‘proq aralashma sifatida foydalaniladi.

Sof yarim o‘tkazgichlarning solishtirma qarshiligi juda katta $\left(\sim 10^{-3}\,\Omega\cdot m\right)$ bo‘lib, bu sof yarim o‘tkazgichga atigi *0,001%* miqdorda III-gruppa yoki IV-gruppa elementlari-dan aralashtirilsa, hosil bo‘lgan aralashmali

SINOV UCHUN BERILGAN

yarimo‘tkazgichning solishtirma qarshiligi 10^5 marta, ya’ni $\left(\sim 10^{-8}\,\Omega\cdot m\right)$ gacha oshadi.



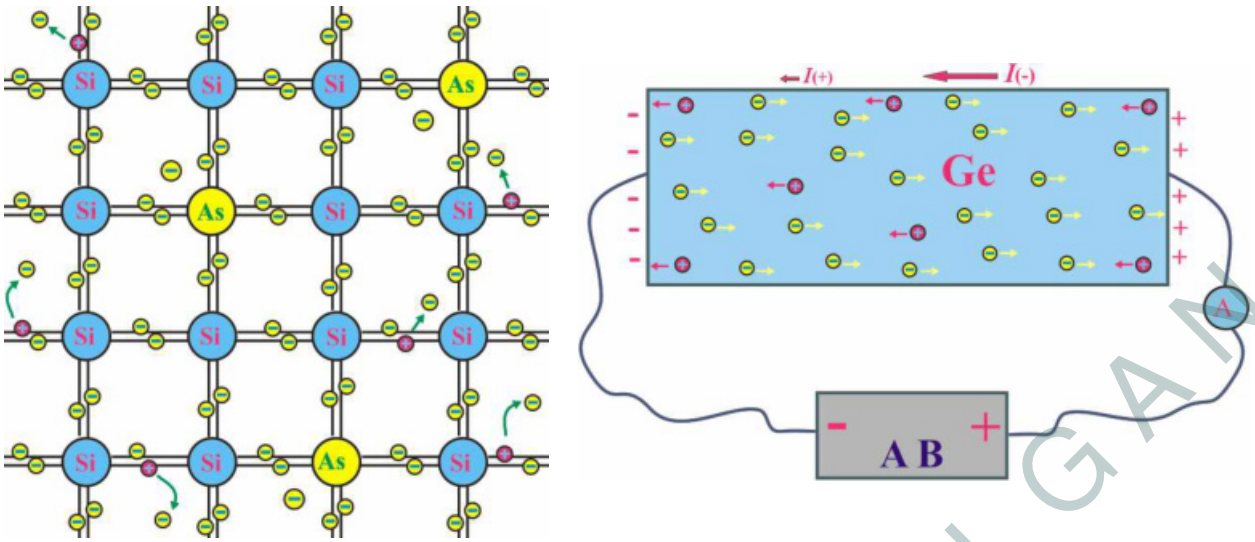
20.2-rasm

Sof yarimo‘tkazgichga boshqa yarimo‘tkazgichdan juda oz miqdorda qo‘shilsa (masalan, germaniyga fosfor yoki kremniyga indiy elementidan umumiy atom sonining *0,001%* miqdorida aralashtirilsa) yarimo‘tkazgichning solishtirma qarshiligi keskin kamayib, uning elektr o‘tkazuvchanligi keskin ortadi. Bunda aralashtirilayotgan yarimo‘tkazgichning valentligi farq qilish kerak. Bunday aralashmali yarimo‘tkazgichlar ikki tipda bo‘lishi mumkin.

n-tipdagi yarimo‘tkazgich:

IV-gruppada joylashgan germaniy (*Ge*) yoki kremniy (*Si*) kristaliga V-gruppadagi mishyak (*As*) yoki fosfor (*P*) yoki surma (*Sb*) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda aralashtirilgan bo‘lsin. Aytaylik, kremniy (*Si*) kristaliga oz miqdorda mishyak (*As*) aralashtirilgan bo‘lsin. Bunday aralashmali yarim o‘tkazgichda qanday jarayon kechadi?

SINOV UCHUN BERILGAN



a) *b)*

20.3-rasm

Mishyak atomi juda oz miqdorda aralashtirilgani uchun asosiy struktura kremniyning 4 talik strukturasi bo‘lib qolaveradi, ya’ni mishyak kremniy strukturasiga ta’sir qilmaydi. Mishyak atomi o‘zining 5 ta valentlik elektronidan 4 tasi orqali 4 ta qo‘shni kremniy atomlari bilan kovalent bog‘ hosil qiladi. Beshinchi elektroni esa kovalent bog‘lanishda ishtirok etmaydi. Shuning uchun, bu elektron ozgina tashqi ta’sir natijasida erkin elektronga aylanishi mumkin. Har bitta mishyak atomi bitadan erkin elektron hosil qiladi. Shuning uchun, elektronini beradigan bunday aralashmali o‘tkazgich ***donor (beruvchi) aralashma*** deyiladi. Donor aralashmali yarim o‘tkazgichda elektr toki elektronlar harakatidan sodir bo‘lganligi tufayli bunday tipdagi yarim o‘tkazgichlar ***n-tipdagi yarim yarim o‘tkazgichlar*** deyiladi. Bu yerda: *n – negative* so‘zidan olingan bo‘lib, manfiy degan ma’noni bildiradi (20.3-rasm).

n-tipdagi yarim o‘tkazgichlarlarda kovalent bog‘da ishtirok etmagan erkin elektrondan tashqari issiqlik harakati tufayli ham teng miqdordagi elektron-kovak juftliklari paydo bo‘ladi. Lekin, umumiy elektronlar soni baribir umumiy kovaklar sonidan ko‘pligicha qolaveradi.

n-tipdagi yarim o‘tkazgichlarlarda elektronlar asosiy zaryad tashuvchilar, kovaklar esa noasosiy zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

n-tipdagi yarim o‘tkazgich kristaliga elektr maydoni ta’sir qilganda, asosiy tok tashuvchi elektronlar va noasosiy tok tashuvchi kovaklar qarama-qarshi tomonga harakatlanib, umumiy tokni hosil qiladi. Lekin, elektronlar harakatidan hosil bo‘layotgan tok kovaklar harakatidan hosil bo‘layotgan tokka qaraganda ancha katta bo‘ladi.

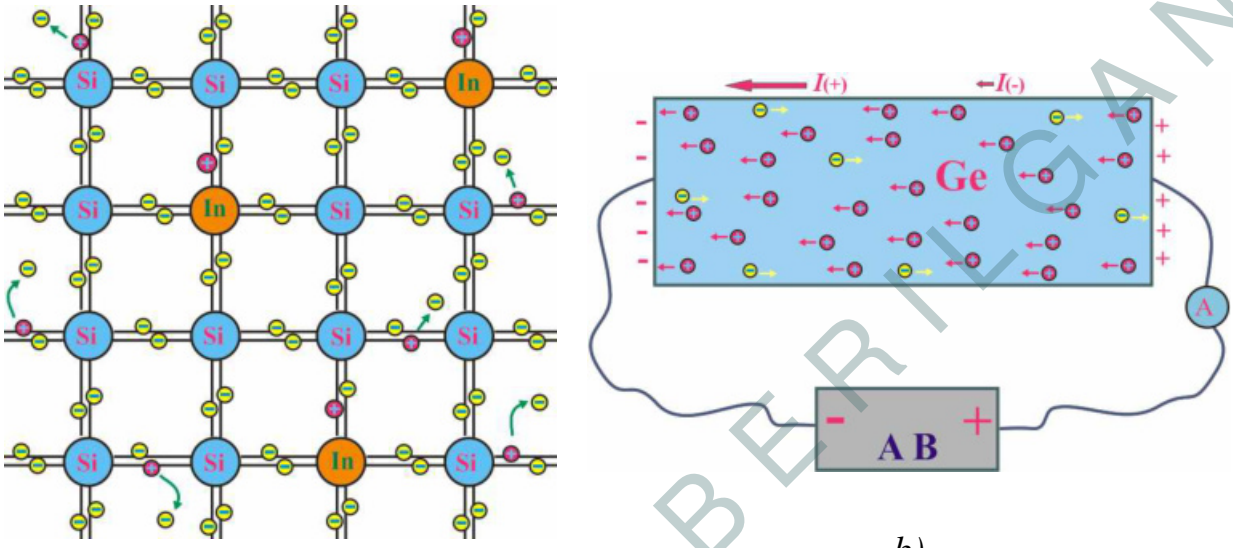
$$I_{EL} >> I_{KOV}, \qquad I_{um} = I_{EL} + I_{KOV} \approx I_{EL} \tag{20.3}$$

Shunday qilib, *n*-tipdagi yarim o‘tkazgichdagi tok deyarli elektronlar harakatidan yuzaga kelar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

p-tipdagi yarimo‘tkazgich:

IV-gruppada joylashgan germaniy (*Ge*) yoki kremniy (*Si*) kristaliga III-gruppadagi indiy (*In*) yoki galliy (*Ga*) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda aralashtirilgan bo‘lsin. Aytaylik, kremniy (*Si*) kristaliga oz miqdorda indiy (*In*) aralashtirilgan bo‘lsin. Bunday aralashmali yarim o‘tkazgichda qanday jarayon kechadi?



a) *b)*

20.4-rasm

Indiy atomi juda oz miqdorda aralashtirilgani uchun asosiy struktura kremniyning 4 talik strukturasi bo‘lib qolaveradi, ya’ni indiy kremniy strukturasiga ta’sir qilmaydi. Indiy atomi o‘zining 3ta valentlik elektronining hammasini berib, atrofidagi 4 ta qo‘shnisi kremniy atomlaridan 3tasi bilan kovalent bog‘ hosil qiladi. To‘rtinchi qo‘shni kremniy atomi bilan kovalent bog‘ hosil qilish uchun indiy atomida elektron etmaydi. Natijada, elektron etishmayotgan joyda kovak paydo bo‘ladi. Shuning uchun, har bitta indiy atomi bitadan kovak hosil qiladi. Kovak o‘ziga elektron qabul qiluvchi bo‘lgani uchun bunday aralashmali o‘tkazgich ***akseptor (qabul qiluvchi) aralashma*** deyiladi. Akseptor aralashmali yarim o‘tkazgichda elektr toki kovaklar harakatidan sodir bo‘lganligi tufayli bunday tipdagi yarim o‘tkazgichlar ***p-tipdagi yarim yarim o‘tkazgichlar*** deyiladi. Bu erda: *p – positive* so‘zidan olingan bo‘lib, musbat degan ma’noni bildiradi (20.4-rasm).

p-tipdagi yarim o‘tkazgichlarlarda kovalent bog‘ hosil qilishga etmay qolgan elektron o‘rnida hosil bo‘lgan kovaklardan tashqari issiqlik harakati tufayli ham teng miqdordagi elektron-kovak juftliklari paydo bo‘ladi. Lekin, umumiy kovaklar soni baribir umumiy elektronlar sonidan ko‘pligicha qolaveradi.

p-tipdagi yarim yarim o‘tkazgichlarlarda kovaklar asosiy zaryad tashuvchilar, elektronlar esa noasosiy zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

p-tipdagi yarim o‘tkazgich kristaliga elektr maydoni ta’sir qilganda, asosiy tok tashuvchi kovaklar va noasosiy tok tashuvchi elektronlar qarama-qarshi tomonga harakatlanib, umumiy tokni hosil qiladi. Lekin, kovaklar harakatidan hosil bo‘layotgan tok elektronlar harakatidan hosil bo‘layotgan tokka qaraganda ancha katta bo‘ladi.

$$I_{KOV} >> I_{EL}, \qquad I_{um} = I_{KOV} + I_{EL} \approx I_{KOV} \tag{20.4}$$

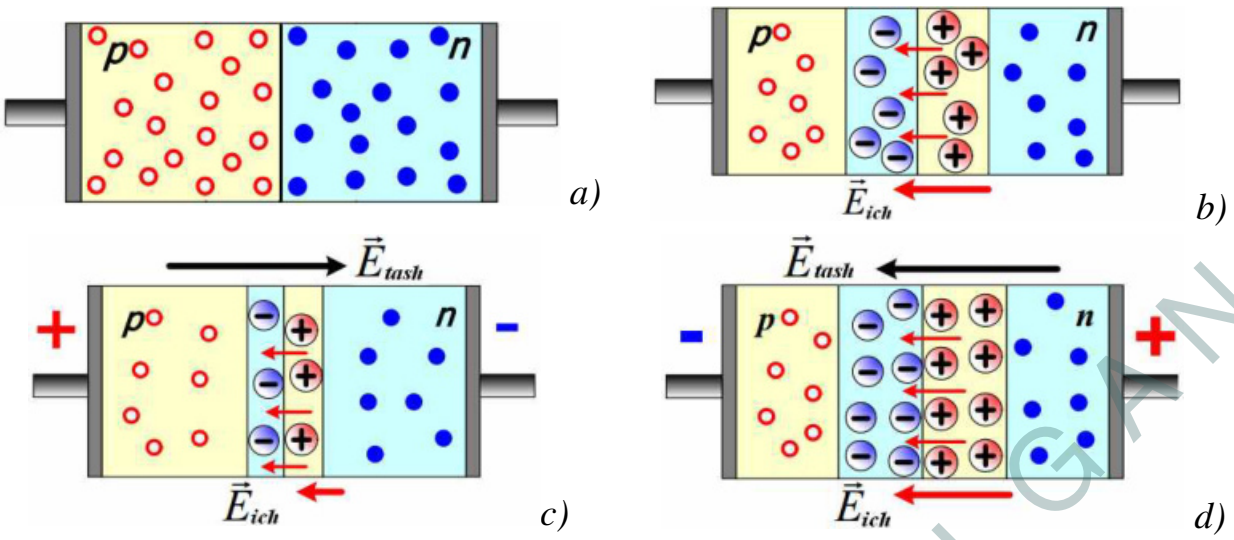
Shunday qilib, *p*-tipdagi yarim o‘tkazgichdagi tok deyarli kovaklar harakatidan yuzaga kelar ekan.

p- n o‘tish hodisasi:

p-tipdagi yarimo‘tkazgich bilan *n*-*n*-tipdagi yarimo‘tkazgichni kontakt holiga keltiraylik (20.5-a,rasm). Bu yarimo‘tkazgichlarni oddiy mexanik yo‘l bilan kontaktga keltirib bo‘lmaydi. Chunki, bu usul yordamida ularni atomlar o‘lchami qadar bir-biriga yaqinlashtirishning iloji yo‘q. Ularni kontaktga keltirishni quyidagicha faraz qilish mumkin: IV-gruppada joylashgan germaniy (*Ge*) yoki kremniy (*Si*) kristalidan bittasi berilgan bo‘lsin. Bu sof yarimo‘tkazgichning birinchi yarmiga III-gruppadagi indiy (*In*) yoki galliy (*Ga*) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda, ikknchi yarmiga esa V-gruppadagi mishyak (*As*) yoki fosfor (*P*) yoki surma (*Sb*) kabi elementlardan bittasidan oz miqdorda aralashtirilgan bo‘lsin. Ana shunda *p*-tipdagi va *n*-tipdagi yarimo‘tkazgichlar eng ideal kontakt holiga keltirilgan deb tasavvur qilish mumkin bo‘ladi. Undan tashqari bu aralashmali yarim o‘tkazgichlardan birini eritib ikkinchisining ustiga quyib yopishtirish orqali ham ulardan kontakt hosil qilish mumkin.

p-tipdagi va *n*-tipdagi yarimo‘tkazgichlar kontaktga keltirish onida ($t=0$) dastlab *p*-sohadagi kovaklar konsentratsiyasi *n*-sohadagidan ancha ko‘p, va aksincha, *n*-sohadagi elektronlar konsentratsiyasi *p*-sohadagidan ancha ko‘p bo‘ladi (20.5-a,rasm). Diffuziya hodisasi tufayli *p*-sohadagi kovaklar *n*-sohaga va aksincha *n*-sohadagi elektronlar esa *p*-sohaga o‘ta boshlaydi. Bu asosiy zaryad tashuvchilarning qarma-qarshi tomonga harakati tufayli ***diffuziya toki*** deb nomlanuvchi tok paydo bo‘ladi. Boshqacha aytganda, diffuziya toki tok tashuvchilarning asosiy sohadan noasosiy sohaga o‘tishida paydo bo‘ladi. Vaqt o‘tishi bilan *n*-sohadagi kovaklar va *p*-sohadagi elektronlar konsentratsiyasi orta boshlaydi. Natijada, xaotik harakat tufayli *n*-sohadagi kovaklar *p*-sohaga, *p*-sohadagi elektronlar esa *n*-sohaga (dastlab kelgan joyiga) qaytib o‘tib qolishi ham mumkin. Bunda ***dreyf toki*** deb ataladigan tok hosil bo‘ladi. Boshqacha aytganda, dreyf toki tok tashuvchilarning noasosiy sohadan asosiy sohaga o‘tishida paydo bo‘ladi. Kontakt hosil qilingan paytdan boshlab diffuzion tok kamayib, dreyf tok esa ortib boradi. Ma’lum bir vaqt o‘tgandan keyin bu toklar miqdor jihatidan tenglashadi va kontakt chegarasida dinamik (harakatli) muvozonat qaror topadi. Ana shu hodisaga *p*-*n* o‘tish hodisasi deyiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN



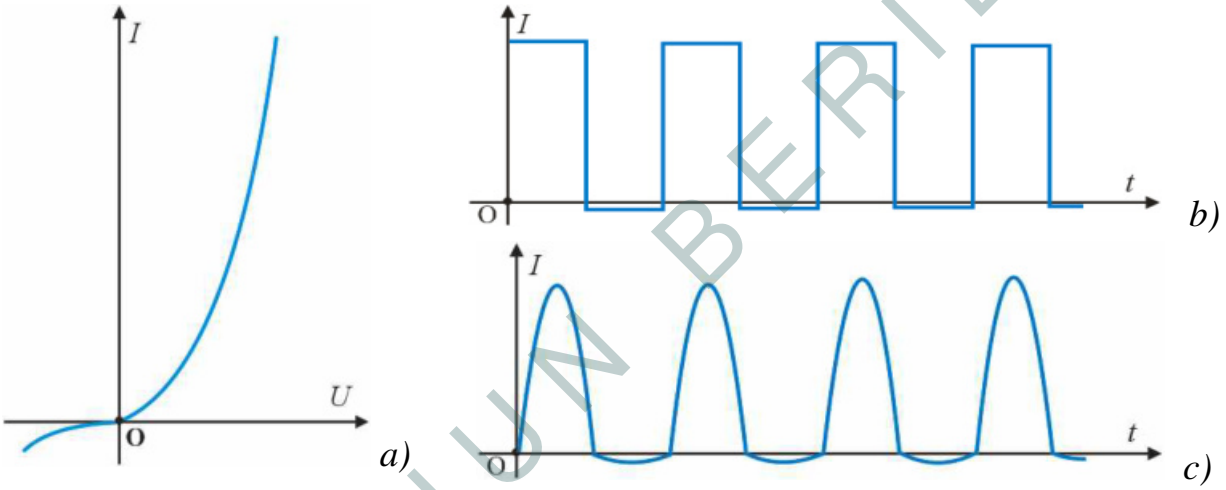
20.5-rasm

p-tipdagi va *n*-tipdagi yarimo‘tkazgichlar kontaktga keltirish onidan (*t=0*) boshlab *p*-sohadagi kovaklar, *n*-sohadagi elektronlar konsentratsiyasi kamaya boshlaydi. Bitta kovak *n*-sohaga o‘tganda *p*-sohada kovak yetishmasligi tufayli bitta manfiy ion paydo bo‘ladi. Xuddi shunigdek, bitta elektron *p*-sohaga o‘tganda *n*-sohada elektron yetishmasligi tufayli bitta musbat ion paydo bo‘ladi. Lekin bu ionlar kontakt chegarasida hosil bo‘ladi. Vaqt o‘tishi bilan *p*-sohada manfiy ionlar soni, *n*-sohada esa musbat ionlar soni ortib boradi. Ma’lum vaqtdan keyin kontakt chegarasida xuddi kondensator qoplamalari kabi qarama-qarshi ioshrali ionlar hosil bo‘lib, bunda mubat qoplamadan manfiy qoplamaga yo‘nalgan ichki $\vec{E}_{ich}$ elektr maydoni hosil bo‘ladi. Bu elektr maydoni diffuziya tokini tormozlash, dreyf tokini tezlashtirish xususiyatiga ega. Boshqacha aytganda, bu $\vec{E}_{ich}$ maydon noasosiy tok tashuvchilar uchun doimo ochiq bo‘lib, asosiy zaryad tashuvchilar uchun esa potensial to‘siq vazifasini o‘taydi (20.5-b,rasm). O‘tkazgichlar kontakt holiga keltirilgan ondan boshlab potensial to‘siq kuchaya boshlaydi va dinamik muvozonat paytida esa bu to‘siq o‘zining eng maksimal qiymatiga erishadi. Shuning uchun ham ma’lum bir vaqtdan keyin diffuzion va dreyf toklari miqdor jihatidan tenglashadi va kontakt chegarasida dinamik (harakatli) muvozonat qaror topadi. Dinamik muvozonat qaror topgan paydta *p*-sohadagi kovaklar, *n*-sohadagi elektronlar konsentratsiyasi o‘zining eng kichik qiymatiga erishadi va bundan ham kamayishiga potensial to‘siq yo‘l qo‘ymaydi.

Dinamik muvozonat paytida potensial to‘siq ma’lum bir qalinlikka ega bo‘ladi (20.5-b,rasm). Agar dinamik muvozonat holida turgan *p-n* yarim o‘tkazgichlari tashqi manbaga ulansa, nima hodisa ro‘y berishi mumkin? Agar *p*-yarimo‘tkazgich manbaning (+) qutbiga, *n*-yarimo‘tkazgich esa manbaning (-) qutbiga ulansa, bunday ulanish ***to‘g‘ri ulanish*** deyiladi (20.5-c,rasm). Bunda tashqi manbaning $\vec{E}_{tash}$ elektr maydoni chegaradagi potensial to‘siqning $\vec{E}_{ich}$ ichki maydoniga

SINOV UCHUN BERILGAN

qarama-qarshi yo‘naladi va bu to‘siq enini qisqarishiga olib keladi. Natijada, dreyf toki kamayib, diffuzion toki oshadi. Agar *p*- yarimo‘tkazgich manbaning (-) qutbiga, *n*-yarimo‘tkazgich esa manbaning (+) qutbiga ulansa, bunday ulanish ***teskari ulanish*** deyiladi (20.5-d,rasm). Bunda tashqi manbaning $\vec{E}_{tash}$ elektr maydoni chegaradagi potensial to‘siqning $\vec{E}_{ich}$ ichki maydoni bilan bir xil yo‘naladi va bu to‘siq enini kengayishiga olib keladi. Natijada, dreyf toki oshib diffuzion toki esa kamayadi. Lekin, dreyf tokini noasosiy zaryad tashuvchilar hosil qilgani uchun teskari ulanishdagi tok kuchi to‘g‘ri ulanishdagi tok kuchiga nisbatan ming martalab kichik bo‘ladi. Shuning uchun ham kontakt holatga keltirilgan *p-n* yarim o‘tkazgichlari tokni faqat bir tomonga o‘tkazish xususiyatiga ega. Diodlarning ishlashi *p-n* o‘tish hodisasiga asoslangan.



20.6-rasm

Diod uchun volt-amper xarakteristikasi 20.6-a,rasmda tasvirlangan. Agar diodni uchlarini o‘zgarmas tok manbaining qutblariga teng vaqtlar ichida almashtirib ulab turilsa, 20.6-b,rasmdagi grafik bo‘yicha tok o‘tadi. Agar diodni uchlarini o‘zgaruvchan tok manbaining qutblariga ulansa, bu tok manbaining qutblari avtomatik ravishda alamashib turgani bois 20.6-c,rasmdagi grafik bo‘yicha tok o‘tadi.

Zonalar nazariyasi haqida tushuncha:

p-tipdagi

Mavzu yuzasidan savollar:

1. Yarim o‘tkazgich elementlariga misollar keltiring.
2. Sof yarim o‘tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda tok qanday hosil bo‘ladi?
3. p-tipdagi yarim o‘tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda tok qanday hosil bo‘ladi?
4. n-tipdagi yarim o‘tkazgich deb nimaga aytiladi? Ularda tok qanday hosil bo‘ladi?
5. Donor aralashma nima? Akseptor aralashma-chi?
6. p-n o‘tish hodisasini tushuntiring.

SINOV UCHUN BERILGAN

7. Diffuziya toki nima? Dreyf toki-chi?
8. To‘g‘ri ulash nima? Teskari ulash-chi? Ular qaysi toklar tufayli hosil bo‘ladi?
9. Diod nima? Diodning ishlashh prinsipi nimaga asoslangan? Diodning vazifasi nima?

Masala yechish:

1. *Toza yarimo‘tkazgichdan elektronlarning tartibli harakati tufayli 1 mA tok o‘tmoqda. Yarimo‘tkazgichdan o‘tayotgan to‘la tok kuchi qanday (mA)?*

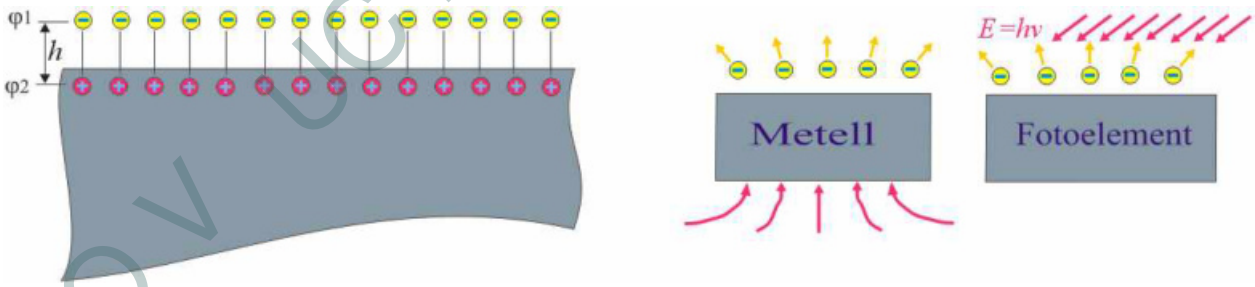
A) 0 B) 0,5 C) 1 D) 2 E) 3

Berilgan:	*Yechilishi:*
$I_e=10^{-3}A$	*Toza yarim o‘tkazgichda elektronlarning harakati tufayli hosil bo‘lgan tok* $I_e=10^{-3}A$. *Bundan, to‘la tok* $I_T = I_e+I_{kovak}$ *(bu erda* $I_e= I_{kovak}$ *)*
I_T-?	$I_T=2\ I_e=2mA$
	Javob: I_T *=2mA*

§ 21. VAKUUMDA ELEKTR TOKI

Elektron emissiya:

Metall atomlarining tashqi qavatidagi valentlik elektronlari yadroga ancha zaif bog‘langan bo‘ladi. Shu boisdan ham bu elektronlar u yoki bu atomga tegishli bo‘lmasdan, balki butun kristalga, kristaldagi barcha atomlarga tegishli bo‘ladi. Metalldagi erkin elektronlar soni valentlik elektronlarini atomlar soniga ko‘paytmasiga teng bo‘ladi.



21.1-rasm

Erkin elektronlar metall ichida issiqlik harakatida ishtirok etadi va kristal panjaralari oralab taxminan $\vartheta \approx 100\,km/s$ tezlikda xaotik harakat bilan daydib yuradi. Kristal panjaralarida o‘tirgan atomlar esa tugun atrofida fazoviy tebranma harakat qiladi. Erkin elektronlar harakati davomida tugundagi atomga kelib urilishi ham yoki tugunlardagi atomlar oralab o‘tib ketishi ham mumkin. Metall sirtiga kelib qolgan erkin elektron atomlar orasidan sakrab kristal panjaralardan tashqariga chiqishi va mutlaqo erkin bo‘lib qolishi ham mumkin (21.1-rasm). Lekin, bunga yetarlicha katta tezlik kerak bo‘ladi. Chunki, elektron kristalldan tashqariga chiqqanda kristallda elektron yetishmovchiligi paydo bo‘ladi va kristal sirti $+e$

SINOV UCHUN BERILGAN

zaryadga bo‘ladi. Bu zaryadning elektr maydoni esa uchib chiqqan elektronni tormazlaydi va kristall sirtini tark yetib ketishga yo‘l qo‘ymaydi. Xuddi osmonga otilgan tosh biror balandlikka ko‘tarilib qaytib tushgani kabi metall sirtida ham mikrosakrashlar bo‘ladi. Metall sirtining har *1 sm²* yuzasidan sekundiga trillionlab elektronlar kristal sirtidan tashqariga uchib chiqib va yana qaytib tushib turadi, ya’ni trillionlab mikrosakrashlar sodir bo‘ladi. Bu mikrosakrash balandligini $\frac{m_e\vartheta^2}{2}=\frac{ke^2}{r}$ dan topish mumkin. Unga ko‘ra mikrosakrash balandligi $h=r=\frac{2k}{m_e}\left(\frac{e}{\vartheta}\right)^2\sim 0{,}05\ mkm$ tartibida bo‘ladi. Metallning sirti (+) ishora bilan, sakrab chiqqan elektronlar esa (-) ishora bilan zaryadlangan kondensator qoplamalariga o‘xshash bo‘ladi. Bu qatlamlar orasida $\Delta\varphi=\varphi_1-\varphi_2$ potensiallar farqiga ega bo‘lgan taxminan bir jinsli elektr maydoni hosil bo‘lib, bu maydon metall sirtidan uchib chiqqan elektronlarni tormozlash xususiyatiga ega bo‘ladi (21.1-rasm). Uchib chiqayotgan elektronning kinetik energiyasi shunday qiymatga ega bo‘lish kerakki, bu energiyaga teng ish bajarilganda tormozlovchi elektr maydonini butunlay yengib chiqa olsin.

Elektronning metall sirtini butunlay uzib chiqib ketishi uchun kerak bo‘lgan energiyaga metall sirtidan elektronning chiqish ishi deyiladi.

$$A_{chiq}=\frac{m\vartheta_0^2}{2}=e\left(\varphi_1-\varphi_2\right) \qquad \textbf{(21.1)}$$

Turli metallar uchun elektronning chiqish ishi turlicha bo‘lib, deyarli barcha metallar uchun chiqish ishining qiymati $A_{chiq}>1\,eV$ bo‘ladi. Odatdagi xona temperaturasida metalldagi elektronning o‘rtacha kinetik energiyasi $E_k\sim 0{,}04\,eV$ ga yaqin bo‘lib, hatto *0,1 eV* energiyali elektronlar soni jami erkin elektronlarning juda kam qismini tashkil etadi. Shuning uchun, odatdagi temperaturalarda issiqlikdan elektron chiqishi umuman sodir bo‘lmaydi. Ko‘pchilik metallarda ancha yuqori, ya’ni *2000 K* temperaturadan baland temperaturalarda elektronlarning issiqlik harakatidan chiqishi sodir bo‘lar ekan.

Qizdirilgan metall sirtidan elektronning chiqish hodisasiga termoelektron emissiya hodisasi deyiladi.

Umuman olganda, elektronlar chiqish uchun kerak bo‘lgan energiyani faqat isitish tufayli emas, balki turli yo‘llar bilan berish mumkin. Masalan, yorug‘lik, ultrabinafsha, rentgen nurlari bilan yoritish, α- nurlari bilan bombordimon qilish, kuchli elektr maydoni yordamida sug‘urib olish va hokoza. Metall ichidagi erkin elektronni yorug‘lik ta’sirida chiqarishga ***fotoelektron emissiya*** deb, issiqlik ta’srida chiqarishga ***termoelektron emissiya*** deb, kuchli elektr maydoni ta’sririda chiqarishga esa ***avtoelektron emissiya*** deb ataladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

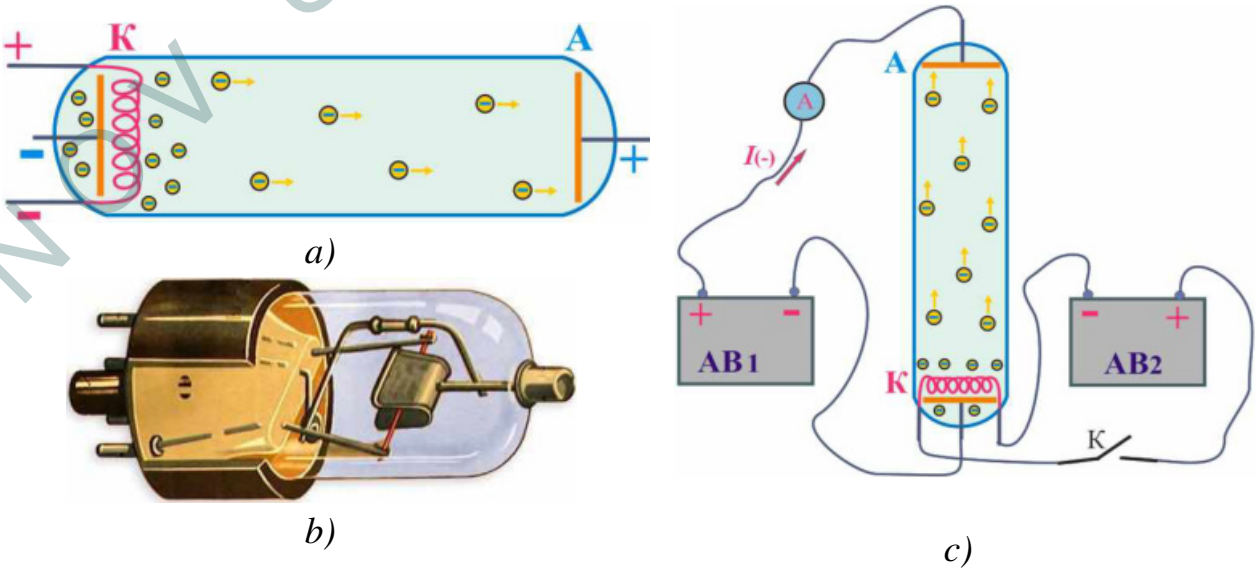
Elektronga uzatilgan umumiy energiya chiqish ishiga va elektronning maksimal kinetik energiyasiga sarf bo‘ladi.

$$E = A_{chiq} + \frac{m_e \vartheta_{max}^2}{2} \quad yoki \quad h\nu = A_{chiq} + \frac{m_e \vartheta_{max}^2}{2} \qquad (21.2)$$

Ikki elektrodli elektron lampa–diod:

Termoelektron emissiyani kuzatish uchun ichida ikkita elektrodi bo‘lgan vakuumli lampadan foydalanish mumkin. Elektrodlardan biri erish temperaturasi yuqori bo‘lgan metal(volfram, molibden va b.) dan va tok bilan qizdiriladigan elektrod bo‘lib, uni ***katod*** deyiladi. Ikkinchi elektrod esa katoddan chiqqan elektronlarni o‘zida to‘playdigan sovuq elektrod bo‘lib, uni ***anod*** deyiladi (21.2,a-rasm). 21.2,b-rasmda vakuumli diod tasvirlangan. 21.2,c-rasmda vakuumli lampaga kalitlar orqali o‘zgaruvchan kuchlanishga ega bo‘lgan ikkita akkumlyatorlar batareyasi AB_1 va AB_2 ulangan. Batareyalardan biri AB_1 katod va anod orasiga har xil potensiallar ayirmasi berib, bu elektrodlar orasidagi fazoda kuchli yoki kuchsiz elektr maydoni hosil qilish imkoniga ega. Batareyalardan ikkinchisi AB_2 katodni yuqori temperaturagacha qizdirib, katod sirtidan tormoelektronlarni bug‘laydi va katod atrofida elektronlar buluti hosil bo‘ladi. AB_2 batareyaning kuchlanishi qancha katta bo‘lsa, katod atrofidagi elektronlar buluti ham shuncha quyuqlashadi. Bu termoelektronlar AB_1 batareya hosil qilgan elektr maydoni yordamida anodga tomon yo‘naltiriladi.

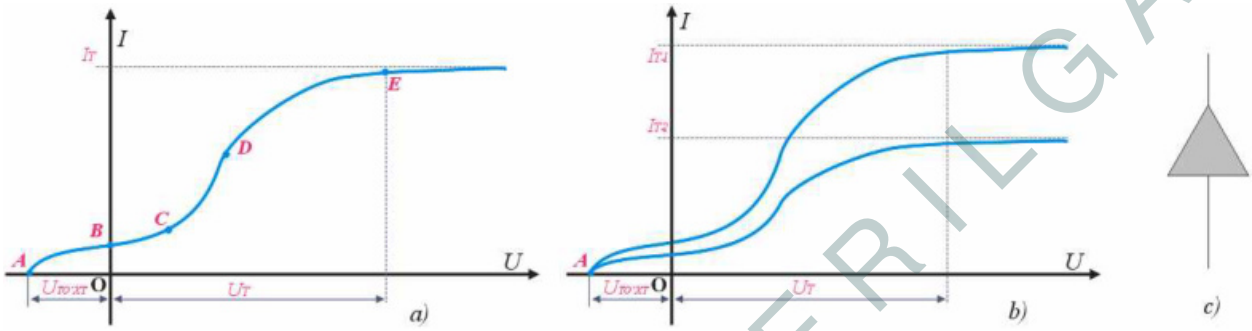
Dastlab, K_1 kalit ulangan K_2 kalit uzuq holatni qaraylik. Bunda, katod tok manbaidan ajratilgan bo‘lgani uchun u sovuq holatda bo‘ladi va o‘zidan elektronlar chiqarmaydi. Shuning uchun, katod va anod orasidagi vakuumda tok tashuvchi zaryadli zarralar bo‘lmaydi. Natijada, K_1 kalit ulangan bo‘lsa ham zanjirdagi milliampermetr *mA* nolni ko‘rsatadi.



21.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi K_2 kalitni ulasak, katod asta-sekin qiziy boshlaydi. Temperatura etarlicha ko‘tarilganda termoelektron emissiya hodisasi tufayli katod metali o‘zidan elektronlarni bug‘lay boshlaydi. Bug‘langan elektronlar katod atrofida elektronlar bulutini hosil qiladi. K_1 kalit ulangan, lekin AB_1 batareya kuchlanishi nol bo‘lsa ham milliampermetr mA zanjirda oz bo‘lsa-da tok o‘tayotganligini ko‘rsatadi. Bunga sabab, katoddan bug‘langan elektronlarning qandaydir ozgina qismi xaotik harakat tufayli anodga borib tushib turadi. Bu holat 21.3,a-rasmdagi B nuqtaga to‘g‘ri kelib, bunda zanjirdagi tok kuchi I_{OB} qiymatga teng bo‘ladi.



21.3-rasm

Endi AB_1 batareya kuchlanishi asta-sekin oshirila boshlansa, 20.3-a,rasmda ko‘rsatilgan $BCDE$ egri chizig‘a ega bo‘lamiz. Zanjirdagi tok kuchi oshishi D nuqtadan boshlab sekinlasha boshlaydi. Batareya kuchlanishini qanchalik oshirmaylik tok kuchining qiymati I_T dan oshmaydi. Tok kuchining bu qiymatiga ***to‘yinish toki*** deyiladi. Bunda vaqt birligida katodda qancha elektron bug‘lanayotgan bo‘lsa, shu vaqt ichida o‘sha elektronlarning hammasi anodga etib kelmoqda.

To‘yinish tokining qiymatini yanada oshirish uchun AB_2 batareyaning kuchlanishini oshirish kerak, ya’ni ionlantirgich quvvatini oshirish kerak bo‘ladi. Shunda vaqt birligida katoddan ko‘proq elektronlar bug‘lanadi va zanjirdagi tok kuchi ham oshadi. Bunda to‘yinish tokining qiymati kattaroq bo‘ladi. 20.3, b-rasmda katod kuchsiz va kuchli qizdirilgan ikki holat uchun volt-amper xarakteristika berilgan. Bu ikki holatga mos to‘yinish toklarining qiymatlari I_{T1} va I_{T2} bo‘lib, ular ayni bir U_T qiymatdan boshlanadi.

AB_1 batareya kuchlanishi nol bo‘lganda ham zanjirda I_{OB} qiymatga teng tok kuchi bor edi. Zanjirda tok kuchi nol bo‘lishi uchun nima qilish kerak degan savol tug‘iladi. Buning uchun AB_1 batareya kuchlanishi tormozlovchi xususiyatga ega bo‘lishi kerak. Boshqacha aytganda AB_1 batareyaning (-) qutbi anodga, (+) qutbi esa katodga ulanishi kerak, ya’ni batareya qutblari almashtirib ulanishi kerak. Batareyaga biror manfiy potensial berilganda katoddan bug‘langan eng tez elektronlar ham anodgacha yetib kela olmaydi, ya’ni termoelektronning maksimal kinetik energiyasi elektr maydoniga qarshi harakatlanishga sarf bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\frac{m_e \vartheta_{max}^2}{2} = eU_T \qquad (21.3)$$

Bu yerda: $U_T - AB_1$ batareyanig tormozlovchi potensiali.

21.3-a, b rasmda vakuum uchun volt-amper xarakteristika grafigi tasvirlangan.

Ikki elektrodli elektron lampalar tokni bir tomonga o‘tkazish xususiyatiga ega. Termoelektronlar katoddan anodga tomon harakatlanada, lekin anoddan katodga tomon harakatlanmaydi. Shuning uchun, tok anoddan katodga tomon o‘tadi, katoddan anodga tomon esa o‘tmaydi. Tokni bir tomonga o‘tkazuvchi qurilmani ***diod*** deb ataladi. 21.3-c, rasmda diodning sxematik tasviri berilgan. Bundan tashqari diodlar o‘zgaruvchan tokni to‘g‘irlash, o‘zgarmas tokka aylantirish vazifasida ham qo‘llaniladi. Lampali diodlar o‘tgan asrning oxirgi o‘n yilliklarigacha mikroelektronika va radiotexnikada qo‘llanilgan bo‘lib hozirgi kunda uning vazifasini yarimo‘tkazgichli diolar va tranzistorlar egallagan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Termoelektron emissiya hodisasi deb nimaga aytiladi?*
2. *Termoelektron emissiya hodisasi uchun energiyaning saqlanish qonunini yozing.*
3. *Chiqish ishi, maksimal kinetik energiya va to‘xtatuvchi potensial nima?*
4. *Termoelektronning maksimal tezligi qanday aniqlanadi?*
5. *To‘xtatuvchi yoki tormozlovchi potensial nima?*
6. *To‘yinish toki nima? Sababini tushuntiring.*
4. *Termoelektron emissiya hodisasi uchun volt-amper xarakteristikasini chizing.*

Masala yechish:

1. *Agar katoddan har sekundda* $5 \cdot 10^{16}$ *ta elektron ajralib chiqayotgan bo‘lsa, anod zanjiridagi tok qanday (mA)?*

A) 5 B) 8 C) 9 D) 10 E) 11

Berilgan:

$N=5\cdot10^{16}$

$t=1\ s$

$e=1{,}6\cdot10^{-19}\ C$

I-?

Yechilishi:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t} = 8\ mA$$

$I=8\ mA$

Javob: *B) 8.*

2. *Televizor trubkasida anoddan ekrangacha bo‘lgan masofani elektronlar 4 ns da o‘tadi. Kineskopdagi tezlashtiruvchi kuchlanish necha kV? Anoddan ekrangacha bo‘lgan masofa 30 cm. Boshlang‘ich tezlik nol.* $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ kg$, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$.

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$t=4\cdot10^{-9}s$, $\upsilon_0=0$	*Bu yerda elektronlar tezlanish bilan harakatlanadi.* $S=\frac{\upsilon^2-\upsilon_0{}^2}{2a}$ *va* $S=\upsilon_0 t+\frac{at^2}{2}$ *dan* $a=\frac{2S}{t^2}$ $\upsilon=\frac{2S}{t}$ *bo'ladi, endi*
$S=3\cdot10^{-1}m$	
$m_A=9{,}1\cdot10^{-31}kg$	*energiyaning saqlanish qoninidan* $\frac{m\upsilon^2}{2}=eU$ *bo'ladi.*
$e=1{,}6\cdot10^{-16}\ C$	
U-?	$U=\frac{m_e 4S^2}{2et^2}=16000V=16\ kV$

Javob: *16.*

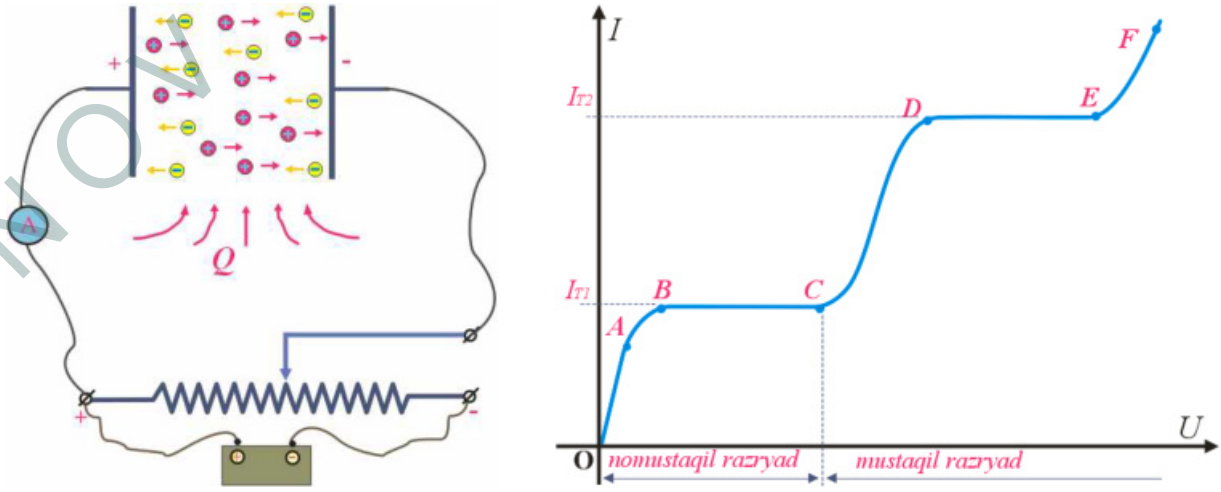
§ 22. GAZLARDA ELEKTR TOKI. RAZRYAD VA UNING TURLARI.

Gaz razryadi:

Agar atom neytral bo'lmasa (elektron etishmasa yoki ortiqcha bo'lsa), bunday atom ***ion*** deyiladi. Agar elektron ortiqcha bo'lsa, manfiy ion deb, elektron yetishmasa musbat ion deb ataymiz.

Gaz molekulalari bir-biri bilan to'qnashganda, agar to'qnashuv yetarlicha kuchli bo'lsa, atomdagi birorta atom tashqariga chiqib ketadi yoki qo'shni atomga o'tib ketadi, ya'ni neytral molekulaning ionlanishi sodir bo'ladi. Xona temperaturasida havo molekulalarining issiqlik harakati tufayli o'zaro to'qnashuvi bu molekulalarni ionlantirishga yetarli emas. Demak, bu molekulalarni ionlantirish uchun tashqi qo'shimcha ta'sir kerak.

22.1-a,rasmdagi zanjirni yig'aylik. Dastlab ampermetr nolni ko'rsatadi. Chunki, xona temperaturasida kondensator qoplamalari orasidagi havo dielektrik hisoblanadi. Agar qoplamalar orasidagi havoni gaz alangasida qizdirsak yoki qoplamalar oralig'ini ultrabinafsha nurlari bilan yoritsak, ampermetr tok o'tayotganini ko'rsatadi. Kuchlanishni oshirib borish bilan tok kuchi ham orta boradi. Kuchlanishni esa reostat jilgichini o'ngga surish orqali oshirish mumkin.



a) *b)*

22.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Gazlarda tok o‘tish hodisasiga ***gaz razryadi*** deyiladi. 22.1-a,rasmdagi keltirilgan gaz razryadini 22.1-b,rasmdagi keltirilgan volt-amper xarakteristikasi bilan tushuntiramiz.

OA – kuchlanish oshib borishi bilan tok kuchi proporsional holda oshadigan oraliq. Kuchlanish qancha ko‘p oshsa, shuncha ko‘p ionlar qoplamalarga yetib boryapti. Bu oraliq kichik kuchlanishlarda kuzatiladi.

AB – tok ortishi sekinlashadi;

BC – tok oshishi to‘xtaydi. Ionlantirgich orqali vaqt birligi ichida nechta ion hosil qilinsa, shu vaqt ichida hamma ionlar qoplamalarga yetib boryapti;

CD – tok oshishi yana kuzatiladi. Qoplamalar orasida elektronlarning ikki to‘qnashuv orasida elektr maydonidan oladigan $W = eE\lambda$ energiyasi atom bilan to‘qnashganda undan elektronni urib chiqarishga yetadi. Bu oraliqda ionlar atomlar bilan to‘qnashganda undan elektron urib chiqara olmaydi. Chunki, ionlarning o‘lchami elektron o‘lchamidan ancha katta bo‘lgani uchun ionlarning erkin yugurish yo‘li elektronlarnikidan ancha kichik va bu erkin yugurish yo‘lida oladigan energiyasi ham ancha kichik bo‘ladi. Shu boisdan ham elektronlarning energiyasi neytral atomni ionlashtirishga yetarli bo‘lgan vaqtda ionlarniki esa ionlashtirish energiyasidan ko‘p marta kichik bo‘ladi. Grafikning bu qismida tok kuchi yana oshishiga sabab ionlantirgichdan tashqari erkin elektronlar ham yo‘l-yo‘lakay qo‘shimcha ionlashtirgich vazifasini bajaryapti. Shuning uchun ham bunday ionlanishni ***zarbdan ionlanish*** deb ataladi;

DE – tok oshishi yana to‘xtaydi. Qoplamalar orasidagi hamma atomlar to‘liq ionlangan bo‘lib, ularning hammasi tok tashishda ishtirok etmoqda;

E – bu nuqtadan boshlab kuchlanish oshirilsa, tok oshishi yana kuzatiladi. Qoplamalar orasidagi barcha atomlar ionlangan bo‘lsa tokning yana oshishi nima evaziga sodir bo‘lmoqda degan savol tug‘iladi. Bunda musbat ionlar erkin yugurish yo‘lida shunday bir energiyaga erishadiki, ular katodga borib urilganda katod sirtidan elektronlarni urib chiqara oladi, ya’ni musbat ionlarning energiyasi chiqish ishiga tenglashadi. Katoddan elektronlarning bunday urib chiqarilish hodisasiga ***ikkilamchi elektron emissiya*** deyiladi. Bundan tashqari elektr maydoni juda ortib ketganda katoddagi elektronni sug‘utib olish ham mumkin. Bunda hosil bo‘lgan elektronlar ***avtoelektronlar*** deb ataladi.

Shunday qilib, gazlarda elektr toki musbat ionlar, manfiy ionlar hamda elektronlarning tartibli harakati tufayli sodir bo‘ladi. Musbat ionlar harakatidan hosil bo‘lgan tok kuchi manfiy ionlar va elektronlar harakatidan hosil bo‘lgan tok kuchlari yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$I_{uM} = I_{(+)} + I_{(-)} + I_{el}, \qquad I_{(+)} = I_{(-)} + I_{el} \tag{22.1}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Ionlarning ikki to‘qnashuv orasida bosib o‘tgan masofasiga ***erkin yugurish yo‘li*** deyiladi. Erkin yugurish yo‘lida elektronlarning elektr maydoni tomonidan oladigan energiyasi quyidagicha bo‘ladi.

$$W = eE\lambda \qquad (22.2)$$

Nomustaqil va mustaqil razryadlar:

22.1-b,rasmdagi grafikning *OC* qismi nomustaqil razryad deyiladi. Chunki, bu oraliqda razryad faqat tashqi ionlantiruvchi ta’sir evaziga sodir bo‘ladi. Tashqi ta’sir to‘xtatilganda esa zanjirdan tok o‘tishi ham to‘xtaydi, ya’ni ampermetr nolni ko‘rsatadi.

Faqat tashqi ionlantiruvchi ta’sir tufayli amalga oshadigan razryadga nomustaqil razryad deyiladi.

22.1-b,rasmdagi grafikning *CF* qismi mustaqil razryad deyiladi. Chunki, bu oraliqda qoplamalar oralig‘ini ionlantiruvchi alanga o‘chirilganda yoki yorituvchi ultrabinafsha nurlari bilan yoritilish to‘xtatilganda ham zanjirdan tok o‘tishi sodir bo‘laveradi. Chunki, (-) qoplamaga etib kelgan (+) ionlar shu qadar energiyaga egaki, ular bemalol qoplama sirtidan elektronni urib chiqara oladi. Bu avtoelektronlar esa tashqi ta’sirsiz ham o‘z erkin yugurish yo‘lida energiya jamg‘argan energiyasi hisobiga neytral molekulalarni elektron, mubat va manfiy ionlarga aylantirib qo‘shimcha tok hosil qiladi. Buni xuddi tog‘ boshidan tushayotgan qor ko‘chkisiga o‘xshatish mumkin. Hisob-kitoblarga ko‘ra har bir avtoelektron (+) qoplamaga yetib kelguncha o‘n minglab musbat va manfiy ionlar juftini hosil qilish mumkin ekan.

Tashqi ionlantiruvchi ta’sir to‘xtatilganda ham sodir bo‘ladigan razryadga mutaqil razryad deyiladi.

Mastaqil razryad ham o‘z navbatida bir necha turlarga bo‘linadi.

Mustaqil razryadning turlari:

1) Toj razryad. Atmosfera bosimida bir jinsli bo‘lmagan kuchli elektr maydoni mavjud bo‘lgan hollarda havoda kuzatiladi. Masalan, toj razryad qorong‘u tunda yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyasi atrofida yoki qorong‘ulashtirilgan xonada ham yuqori kuchlanishga ulangan simlar atrofida xuddi Quyosh tojiga o‘xshash nurlanish kuzatiladi. Undan tashqari toj razryadi uchlik simlar atrofida, kema machtalarining uchlarida, daraxtning uchlarida ham kuzatiladi. Toj razryad quyidagicha sodir bo‘ladi: yuqori kuchlanishli sim atrofida hosil bo‘lgan musbat ionlar manfiy sim tomonga harakatlanadi va undan



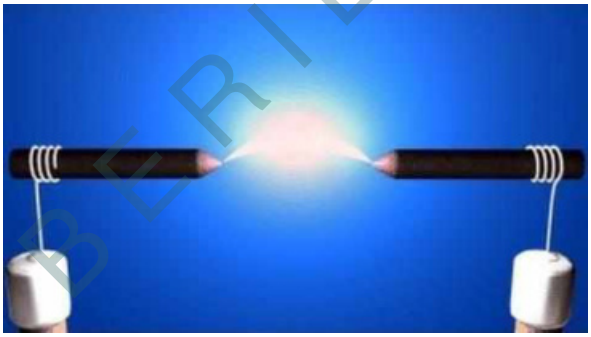
22.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

elektronlarni uib chiqaradi, bu elektronlar ham o‘z navbatida gaz molekulalarini ionlashtiradi. Bu jarayonda nurlanish sodir bo‘ladi.

Toj razryadi kuzatilishi uchun egrilik radiusi katta bo‘lgan sim va sim uchlari bo‘lishi yetarli. Bunda ikkinchi elektrod bo‘lishi shart emas. Uning vazifasini Yer yoki Yerga ulangan istalgan simlar bajaradi. Toj razryad elektr maydoni *30 000 V/m* ga yetganda kuzatiladi. Toj razryadi barqaror emas va o‘tkazgich yaqinida turli vaqtlarda hosil bo‘ladigan juda ko‘p mikrorazryadlardan tashkil topgan (22.2-rasm). Toj razryadidan sanoat gazlarini mayda zarrachalardan tozalovchi elektr filtr vositasida foydalaniladi.

2) Uchqunli razryad. Bu razryad ham toj razryad kabi barqaror bo‘lmagan razryad xarakteriga ega. Agar toz razryadi faqat eletktrlangan o‘tkazgichlar yaqinida ro‘y bersa, uchqun razryad esa o‘tkazgichlar orasidagi masofa katta bo‘lganda ham ro‘y berishi mumkin. Atmosfera bosimida elektrodlar orasidagi elektr maydoni juda kuchli $(E \sim 3000\,kV/m)$ bo‘lganda zarbdan ionlanish natijasida qiqa vaqtli razryad – uchqun vujudga keladi (22.3-rasm).



22.3-rasm

Uchqunli razryad ravshan nurlanuvchi egri-bugri tarmoqlangan kanal ko‘rinishida bo‘lib, u orqali kuchi juda katta bo‘lgan qisqa vaqli tok impulsi o‘tadi. Chaqmoq (yashin) bunga misol bo‘ladi. Katta chaqmoqlarda yashinning uzunligi 10 km gacha, kanalining diametri *40 sm* gacha, tok kuchi esa 10 kA gacha yetishi mumkin. Bunda impuls davomiyligi 10^{-4} *s* bo‘ladi (22.4-rasm). Har qaysi chaqmoq bitta kanaldan ketma-ket keladigan bir nechta impulsdan iborat bo‘ladi. Uchqun kanalidagi gazning temperaturasi juda yuqori – *10 000 K* gacha yetadi. Bunda gazning tezda kuchli qizishi bosimning keskin ortishiga va tovush to‘lqinlarining paydo bo‘lishiga olib keladi. Shuning uchun ham chaqmoq chaqqandan keyin momaqaldiroqning kuchli gumburlashi eshitiladi. Chaqmoq kanalida temperaturaning keskin ortishi ozon (O_3) gazining paydo bo‘lishiga sharoit yaratadi .



22.4-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

3) Yoy razryad (elektr yoyi). Bu razryad turli gazlarda bosimi atmosfera bosimining o‘nli ulushlaridan tortib to bir necha ming atmosferagacha bo‘lgan bosimda ro‘y beradi. Yoy razryadi gaz razryadlari ichida amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega bo‘lgan razryaddir.



22.5-rasm

Elektr yoyini hosil qilish uchun ikkita ko‘mir sterjen olib, ularga *40 – 50 V* kuchlanish beriladi va avval ularning uchlari bir-biriga tekkiziladi. Bunda ikkala sterjenning uchlari orasida birdaniga ko‘zni qamashtirarli darajada ravshan nurlanish sodir bo‘ladi. So‘ng elektrodlarni bir-biridan biroz uzoqlashtirilsa, ular orasida yoy shaklida kuchli yorug‘lik beruvchi ***elektr yoyi*** deb ataluvchi mustaqil gaz razryadi hosil bo‘ladi. Elektr yoyini birinchi bo‘lib rus akademigi V.V.Petrov 1802-yilda kashf qilgan.

Yoy razryadida temperaturaning $2500-4000^0C$ gacha ko‘tarilishi metallurgiyada yoy razryadidan issiqlik oladigan elektr pechlarida, metallarni payvand qilishda qo‘llaniladi (21.5-rasm). Yoy razryadi juda kuchli yorug‘lik manbaidir. Undan projektorlarda, proyeksion apparatlarda va kino apparatlarida foydalaniladi.

4) Miltillama razyad. Bu razryad past bosimlarda, ya’ni bosim millimetr simob ustunining o‘ndan bir, yuzdan bir ulushlarida hosil bo‘ladi. Miltillama razryadni hosil qilish uchun ikki tomoniga eletrodlar kavsharlangan va havosi so‘rib olingan shisha naycha olib, elektrodlarni kuchlanishi bir necha yuz voltli o‘zgarmas tok manbaiga ulaymiz (22.6-rasm).



22.6-rasm

Naydagi havoning nurlanish xarakteri uning siyraklanish darajasiga bog‘liq bo‘ladi. Dastlab, elektrodlar oraida “ipsimon” gaz razryadi hosil bo‘ladi, so‘ngra nay ichidagi barcha havo qizg‘ish rangda yorug‘lik chiqaradi. Bunday miltillama razryad musbat ionlar katoddan urib chiqargan elektronlarning gaz molekulalarini zarb bilan ionlanish tufayli hosil bo‘ladi. Naydagi gaz o‘zgartirilganda nurlanishning rangi ham o‘zgarar ekan. Masalan, argon ko‘k rang, neon qizil rang, geliy esa sariq rangli nurlanish beradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Miltillama razryadda ionlar konsentrasiyasi, shuningdek neytral atomlar soni kam bo‘lgani uchun gazda ajraladigan issiqlik miqdori uncha katta bo‘lmaganligidan nurlanish sovuq nurlanishdan iborat bo‘ladi. Miltillama razryaddan nurlanuvchi reklamalarda keng qo‘llanadigan gaz-yorug‘lik naylarini yaratishda kunduzgi yorug‘lik lampalarida ishlatiladi.

Plazma haqida tushuncha:

Barcha molekulalari va atomlari yoki ko‘pchiik qismi ionlangan gaz ***plazma*** deyiladi. Plazma – bu musbat ionlar, elektronlar va ionlanmagan molekula va atomlarning aralashmasidan iborat. Ionlanish darajasiga qarab kuchsiz ionlangan, o‘rtacha ionlangan, to‘la ionlangan plazmalar bo‘ladi. Zaryadlangan zarralarning tezligiga qarab, past temperaturali va yuqori tmperaturali plazmalarga ajratiladi.

Past temperaturali yoki sovuq plazma deb temperaturasi 10^5 K dan oshmaydigan plazmaga aytiladi. Temperaturasi 10^5 K dan yuqori bo‘lgan plazmalarga yuqori temperaturali yoki qaynoq plazmalar deyiladi. Gaz razryadli plazma odatda sovuq plazmaga to‘g‘ri keladi. Qaynoq plazmada molekulalar katta tezlikda harakatlanadi va ularni ionlantirish uchun kerakli energiyaga ega bo‘ladi.

Plazmalar umumiy holda neytraldir. Plazmalarning elektr o‘tkazuvchanligi keng oraliqda o‘zgaruvchan. Issiq plazmaning elektr o‘tkazuvchanligi metallarnikiga yaqin, kuchsiz ionlangan plazmaning o‘tkazuvchanligi esa metallarnikidan o‘n ming marta kichik bo‘ladi. Yer atmosferasinning yuqori qatlami doimiy ionlantirgich (Quyoshdan keladigan ultrabinafsha, rentgen nurlari va boshqa zaryadli zarralar oqimi) ta’sirida kuchsiz ionlangan plazmani tashkil etadi va u qatlam ionosfera deb ataladi.

Plazma bilan kundalik hayotimizda ham duch kelib turamiz. Gulxan alangasi, reklama trubkalari, kunduzgi yorug‘lik lampalari bularning hammasi kuchsiz sovuq plazmadir.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Gaz razryadi qanday hosil bo‘ladi? Gazda tok qanday zarralarning harakatidan paydo bo‘ladi?*
2. *Gaz uchun volt-amper xarakteristikasini chizing va tushantiring.*
3. *Erkin yugurish yo‘li va bunda zaryadli zarrra olgan energiyani yozing.*
4. *Mustaqil va nomustaqil razryadla deb nimaga aytiladi?*
5. *Mustaqil razryadlarning turlarining sanab bering va ularni tushuntiring.*

Masala yechish:

1. *Gazdagi razryad paytida manfiy ionlar harakatidan 10 mA tok, elektronlar harakatidan 30 mA tok vujudga kelgan bo‘lsa, musbat ionlar harakatidan qanday tok paydo bo‘ladi. Gaz razryadi paytidagi umumiy tok kuchi nimaga teng bo‘ladi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:

$I_- = 10\ mA$

$I_e = 30\ mA$

$I_+ = ?$

$I_{um} = ?$

Yechilishi:

Ma'lumki, gazdagi razryadni manfiy ion, musbat ion va elektronlar harakati hosil qiladi.

$$I_{um} = I_- + I_+ + I_e$$

Lekin, musbat ionlar harakatidan hosil bo'lgan tok kuchi magiy ionlar hamda elektronlar harakatidan hosil bo'lgan tok kuchiga teng.

$$I_+ = I_- + I_e = 10mA + 30mA = 40\ mA$$

Umumiy tok kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$I_{um} = I_- + I_+ + I_e = 10mA + 30mA + 40mA = 80mA$$

Javob: $I_+ = 40mA;\ I_{um} = 80mA$

III BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 5.
Misning elektrokimyoviy ekvivalentini aniqlash.

Ishning maqsadi: Elektroliz hodisasini o'rganish. Faradeyning birinchi qonunini tajribada o'rganish. Misning elektrokimyoviy ekvivalentini aniqlashni o'rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: O'zgarmas tok manbai, elektron tarozi va sekundomer, reostat, elektrolitik vanna, distillangan suv, mis kuporosining eritmasi, elektrodlar, o'zgarmas tok ampermetri va voltmetri, ulovchi simlar va boshqa yordamchi aslahalar.

NAZARIY QISM

Faradeyning 1-qonuniga ko'ra, elektrolitdan elektr toki o'tganda elektrodda ajralib chiqqan moddaning m massasi I tok kuchiga va tokning o'tish vaqti t ga proporsionaldir:

$$m = kIt = kq \qquad (1)$$

Tenglama (1) ga asosan elektrokimyoviy ekvivalent koeffitsienti SI o'lchov sistemasida kg/C da o'lchanadi. Agar elektrolitlardan o'tgan I tok kuchi va tokning o'tish vaqti hamda elektroliz jarayonida ajralib chiqqan moddaning m massasi ma'lum bo'lsa, moddaning elektrokimyoviy ekvivalenti quyidagicha aniqlanadi:

$$k = m/It \qquad (2)$$

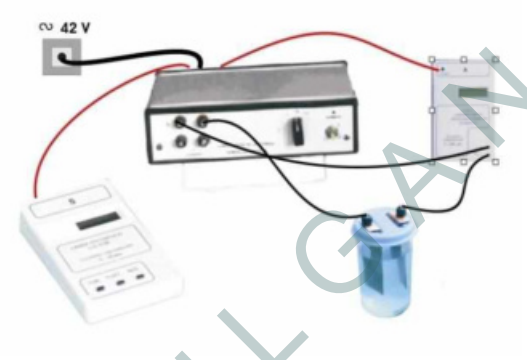
Ishni bajarish tartibi

SINOV UCHUN BERILGAN

1. Laboratoriya ishining yo'riqnomasini o'qib o'rganing va o'qituvchi savollariga javob berib, ishni bajarishga ruxsat oling.

2. Katod vazifasini o'taydigan mis elektrodning m_t massasini JW – 1 rusumli elektron tarozida tortib aniqlang.

E s 1 a t m a . Elektrod tortilishidan oldin quritilishi shart!



3. Mis kuporosidan m massasini tarozida tortib oling va uni distillangan suvda eritib eritma tayyorlang.

4. Mis kuporosi eritmasiga mis elektrodlarini tushirib, ularni qo'zg'almaydigan qilib mahkamlang.

5. Tajriba boshlangan t vaqtni belgilang va shu zahotiyoq kalitni ulang hamda reostat yordamida tok kuchi kattaligini 1,5A qiymatda o'zgartirmay saqlang. Ampermetr ko'rsatgan I tokni belgilang va uni yozib oling.

6. Tajribada aniqlangan natijalarni jadvalga kiriting.

№	Tok kuchi *I*, A	Vaqt t, s	m_1 mg	m_2 mg	m_2-m_1= Δm (mg)	k mg/C	$\bar{k}$ mg/C	Δk mg/C	$\overline{\Delta k}$ mg/C	ε
1										
2										
3										

7. 15-20 minut vaqt davomida elektrolitdan tok o'tgandan keyin kalitni uzing va t_2 vaqtni belgilab qo'ying. Elektrolitdan tok o'tgan vaqtni hisoblang.

8. Katodni eritmadan chiqaring va uni quriting. Katodda ajralib chiqqan mis massasini aniqlash uchun mis o'tirib qolgan elektrodni JW –1 elektron tarozida torting va $\Delta m = m_2 - m_t$ ifodadan, ya'ni jarayonda elektrodda ajralib chiqqan misning Δm massasini hisoblang.

9. Tajriba natijalari asosida (2) tenglamadan foydalanib, misning κ elektrokimyoviy ekvivalentini hisoblab toping.

10. Tajribani takrorlang va xatoliklarini hisoblang.

11. Natijani $k \pm \overline{\Delta k}$ ko'rinishda yozing.

Nazorat savollari

1. Elektroliz deb nimaga aytiladi?

SINOV UCHUN BERILGAN

2.Faradeyning I,II, qonunlarini formulalarini yozing.
3. Suyuqliklarda elektr tokini nimalar tashiydi?
4.Faradey sonining fizik ma`nosi nimani angalatadi?

III BOBGA DOIR TESTLAR

1. Quyida bayon qilingan fikrlarning qaysilari noto‘g‘ri:
1) elektrolitlarda tok erkin elektronlar oqimidan iborat bo‘ladi;
2) distillangan suv elektrolit emas;
3) turli ishorali zaryadlangan ionlarning birlashuvi natijasida zaryadsiz zarra hosil bo lishi molizatsiya deyiladi;
4) ionlarga ajralgan molekulalar sonining erigan moddaning barcha molekulalari soniga nisbati dissosiatsiya koeffitsienti deb ataladi;
5) elektr tokini o‘tkazuvchi suyuqliklar elektrolitlar deb ataladi?
A) 1, 5 B) 2 C) 1 D) 3, 4 E) 2, 5

2. Temperatura ortishi bilan elektrolitlarning o‘tkazuvchanligi qanday o‘zgaradi?
A) ortadi B) kamayadi
C) elektrolitning miqdoriga bog‘liq D) o‘zgarmaydi

3. Agar kuchlanishni o‘zgartirmasdan, vanna elektrodlari orasidagi masofani orttirsak, tok kuchi qanday o‘zgaradi?
A) modda turiga qarab ortishi yoki kamayishi mumkin.
B) ortadi. C) kamayadi. D) o‘zgarmaydi.

4. Elektroliz vaqtida ajralgan modda miqdori nimalarga bog‘liq?
A) kuchlanishga B) tok kuchiga C) qarshilikka
D) elektrolitdan o‘tgan zaryad miqdoriga E) vaqtga

5. $CuSO_4$eritmasidan 0,3 s davomida 1000 A tok o‘tsa katodda qancha mis ajralib chiqadi? Misning eiektrokimyoviy ekvivalenti $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ kg/C.
A) 0,1g B) 0,1 kg C) 1 g D) 1 kg E) 3,3 t

6. Ma’lumki, *HCl* eritmasini elektroliz qilganda, katodda vodorod, anodda xlor ajraladi. Bunda ajralgan xlorning massasi vodorodnikidan necha marta katta bo‘ladi? Vodorodning molyar massasi *2 g/mol*, xlorniki *36 g/mol*.
A) 72. B) 36 C) 18 D) 9 E) 3

7. $CuSO_4$ va $CuCl_2$ eritmalari solingan vannalar ketma-ket ulanib, ulardan o‘zgarmas tok o‘tkazilgan. Bir xil vaqtda ikkala vannada ajralgan misning massalari (m_1 va m_2) ni solishtiring.
A) $m_1 = 2m_2$ B) $m_2 = 2m_1$ C) $m_1 = m_2$

SINOV UCHUN BERILGAN

D) $m_1 = 4m_2$ *E)* $m_2 = 4m_1$

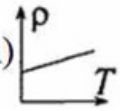
8. Qarshilikning termik koeffitsienti qanday moddalar uchun manfiy?

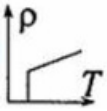
A) elektrolitlar, yarimo‘tkazgichlar. B) elektrolitlar, metallar.
C) metallar. D) dielektriklar. E) metallar, dielektriklar.

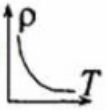
9. Temperatura ortishi bilan yarimo‘tkazgichning qarshiligi ...

A) kamayadi B) o‘zgarmaydi C) ortadi
D) avval ortadi, so‘ngra kamayadi E) avval kamayadi, so‘ng ortadi.

10. Quyidagi rasmlarda solishtirma qarshilikning temperaturaga bog‘lanish grafiklari keltirilgan. Qaysi grafik yarim o‘tkazgichga tegishli?

A) 

Б) 

C) 

Д) 

E) TJY.

11. Yarimo‘tkazgichlarda elektr tokini qanday zarralar oqimi hosil qiladi? Eng to‘la javobni ko‘rsating.

A) kovaklar B) elektronlar va kovaklar.
C) elektronlar va ionlar D) atomlar va elektronlar.
E) ionlar va kovaklar

12. Aralashmasiz yarim o‘tkazgichlar qanday turdagi o‘tkazuvchanlikka ega?

A) elektr tokini o‘tkazmaydilar.
B) teng miqdorda elektron va teshikli o‘tkazuvchanlikka.
C) asosan teshikli o‘tkazuvchanlikka.
D) asosan elektron o‘tkazuvchanlikka.
E) TJY

13. Yarimo‘tkazgichda teshik va elektron uchrashganda nima hosil bo‘ladi?

A) musbat ion. B) manfiy ion.
C) neytral atom. D) musbat va manfiy ionlar.
E) TJY

14. Yarimo‘tkazgichda elektron va teshik uchrashganda qanday hodisa yuz beradi?

A) energiya yutiladi B) musbat ion hosil bo‘ladi.
C) energiya ajraladi D) manfiy ion hosil bo‘ladi.
E) TJY

15. Yarimo‘tkazgichlarda donor aralashmasi bo‘lganda, ... ortadi. Jumladagi nuqtalar o‘rnini to‘ldiring.

A) kovaklar soni. B) erkin pozitronlar soni.

SINOV UCHUN BERILGAN

C) erkin protonlar soni D) erkin elektronlar soni.
E) erkin neytronlar soni

16. Yarimo‘tkazgichlarda akseptor aralashmasi bo‘lganda, ... ortadi. Mazkur jumladagi nuqtalar o‘rnini to‘ldiring.
A) erkin protonlar soni. B) erkin elektronlar soni.
C) kovaklar soni. D) erkin pozitronlar soni.
E) neytronlar soni.

17. Germaniyga aralashma sifatida fosfor qo‘shsak, uning o‘tkazuvchanligi qanday tur o‘tkazuvchanlik bo‘ladi? Fosforda valent elektronlar soni 5 ta.
A) aralashma miqdoriga bog‘liq B) p-turdagi
C) n-turdagi D) xususiy E) haroratga bog‘liq

18. Agar to‘rt valentli germaniy ichiga uch valentli indiy atomlari million germaniy atomiga bir indiy atomi to‘g‘ri keladigan nisbatda kiritilsa, germaniyning elektr o‘tkazuvchanligi qanday o‘zgaradi?
A) dastlabki o‘tkazuvchan likning 10^{-6} qismiga ortadi.
B) dastlabki o‘tkazuvchanlikning 10^{-6} qismiga kamayadi.
C) sezilarli ortadi va teshikli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘ladi.
D) sezilarli ortadi va elektronli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘ladi.
E) sezilarli ortadi va elektronli hamda teshikli o‘tkazuvchanliklari taxminan teng bo‘ladi.

19. Diod qanday vazifani bajaradi?
A) etektr tebranishlar hosil qiladi.
B) o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilaydi.
C) tok kuchini oshiradi. D) kuchlanishni kuchaytiradi.
E) o‘zgarmas tokni o‘zgaruvchan tokga aylantiradi.

20. Tranzistor nimalardan tashkil topgan?
A) emitter, baza va kollektordan B) katod va anoddan
C) baza va emitterdan D) anod, katod va to‘rdan
E) emitter va kollektordan

21. Termoelektron emissiya nima?
A) qizdirilgan qattiq jism sirtidan musbat ionlarning nurlanishi.
B) qizdirilgan qattiq jism sirtidan elektronlarning nurlanishi.
C) atomning elektron va ionga ajralishi.
D) atomlarning elektronlarga parchalanishi.
E) atom yadrosining parchalanishi.

SINOV UCHUN BERILGAN

22. Katoddan birlik vaqtda bug‘lanib chiqayotgan elektronlar soni nimalarga bog‘liq? Eng to‘liq javobni belgilang.

A) katod materialiga, haroratga.
B) katod materialiga, kuchlamshga.
C) haroratga, sirt o‘lchamlariga, tok kuchiga.
D) katod materialiga, sirt o‘lchamlariga, haroratga.
E) Anod materialiga, xaroratga.

23. Vakuumda elektr toki qanday zarrachalarning harakati tufayli vujudga keladi?

A) protonlar B) ionlar C) vakuumda tok bo‘lmaydi
D) elektronlar E) ixtiyoriy zaryadlangan zarachalar.

24. Qaysi muhitlarda tokning issiqlik ta’siri kuzatilmaydi:

1) elektrolitlarda; 2) gazlarda; 3) metallarda;
4) vakuumda; 5) yarimo‘tkazgichlarda?

A) 4 B) 1; 4; 5 C) 3; 4 D) 1; 2 E) 5.

25. Qaysi asboblar o‘zgaruvchan tokni o‘zgarmas tokka aylantirishda asosiy element bo‘ladi?

1) transformator; 2) yarimo‘tkazgichli diod;
3) elektron lampa – diod; 4) tranzistor.

A) 2,3 B) 2,4 C) 1,2 D) 1,2,3 E) 2,3,4

III BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Agar elektroliz vaqtida $CuSO_4$ eritmasidan *100 C* elektr zaryad o‘tgan bo‘lsa, katodda necha gramm mis ajraladi? Misning elektrokimyoviy ekvivalenti *0,329 mg/C* ga teng.

2. Tok kuchi *1 A* bo‘lganda, mis xlorid ($CuCl_2$) ning suvdagi eritmasidan elektroliz usuli bilan *2 soat*da necha gramm mis olish mumkin? Misning elektrokimyoviy ekvivalenti *0,33 mg/C* ga teng.

3. Nikel tuzi eritmasidan o‘tayotgan *10 A* tok *0,5 soat* ichida necha gramm nikel ajratib chiqaradi? Nikelning elektrokimyoviy ekvivalenti $0{,}3\cdot10^{-6}$ *kg/C*.

4. Buyumni nikellash 50 *minut* davom etib, buyumga 0,1 *g* nikel o‘tirdi ($k_{Ni}=0{,}3\ 10^{-6} kg/C$). Elektroliz vaqtidagi tok kuchi necha amper bo‘lgan?

5. Sulfat kislotaning (H_2SO_4) suvdagi eritmasidan 16 C. zaryad o‘tganda ajralib cniqadigan kislorod massasini aniqlang (mg). $N_A = 6\cdot10^{23} mol^{-1}$.

6. Mis kuporosi eritmasidan *10 A* tok o‘tganda, *0,5 minut*da *0,1 g* mis ajralib chiqdi. Misning elektrokimyoviy ekvivalenti qanday (*kg/C*)?

SINOV UCHUN BERILGAN

7. Kumushning elektrokimyoviy ekvivalentini bilgan holda ($k_{Ag} = 1{,}12\ mg/C$,oltinning elektrokimyoviy ekvivalentini (mg/C) toping.Kumush va oltinning nisbiy atom massalari mos ravishda taxminan *108* va *197* ga teng.

8. Xlorid kislota (HCl) ni elektroliz qilishda katodda *2 gramm* vodorod ajralib chiqqan vaqt ichida anodda necha gramm xlor ajralib chiqadi? Vodorodning elektrokimyoviy ekvivalenti $1 \cdot 10^{-8}\ kg/C$, xlorniki esa $37 \cdot 10^{-8}\ kg/C$.

9. Kumushning molyar massasi $108\ g/mol$, valentligi 1 va elektrokimyoviy ekvivalenti *1,08* 10^{-6} *kg/C*. Oltinning molyar massasi $200 g/mol$. Valentligi 1 bo‘lsa, elektrokim-yoviy ekvivalenti qanday (*kg/C*)?

10. Elektrolit vannadan *2,5 A* tok o‘tganda *20 minut* davomid; *1017 mg* ikki valentli metall ajralgan. Metalining massa soni A qanday?

11. Agar *10 kVt soat* energiya sarflangan bo‘lsa, elektroliz vaq tida ajralgan mis massasi qanday (*kg*) bo‘ladi? Vanna klemmalandagi kuchlanish *10 V*. Qurilmaning FIK *75%* Misning elektrokimyoviy ekvivalenti k=*3,3*10^{-7} *kg/Kl*.

12. Sulfat kislotaning suvdagi eritmasi orqali *2 minut* davomida *1 A* tok o‘tkazildi. Bunda ajralib chiqqan vodorod hajmi qancha? Kislorodnikichi? Bu gazlar normal holatda turibdi deb hisoblansi.

13. *1000 kg* alyuminiy olish uchun qancha energiya sarflash kerak? Pechka elektrodlaridagi kuchlanish *10 V*, qurilmaning FIK *0,8* ga teng.

14. Kumushning elektroximiyaviy ekvivalentini hisoblab toping.

15. Mis sulfatning eritmasi elektroliz qilinganda *4 kVt·soat* ish bahariladi. Agar vanna elektroslari orasidagi kuchlanish *6 V* bo‘lsa, ajralib chiqqan mis miqdorini aniqlang.

16. Detalni nikellash vaqtida *2 soat* mobaybida elektrolitik vannadan *2 A* tok o‘tib turadi. Nikelning elektroximiyaviy ekvivalenti $3 \cdot 10^{-7}\ kg/Kl$, zichligi $8{,}9 \cdot 10^{3}\ kg/m^3$. Detalning tashqi yuzi $0{,}4\ m^2$. Qoplamaning qalinligini aniqlang.

17. Agar $U_1 = 0{,}7V$ kuchlanishda dioddan o‘tuvchi tok kuchi $I_1 = 5{,}5\ mA$, $U_2 = -10\ V$ kuchlanishda tok kuchi $I_2 = 0{,}8\ \mu A$ bo‘lsa, kremniyli diodning o‘zgarmas tok uchun to‘g‘ri va reskari yo‘nalishdagi qarshiligini toping.

18. Tranzistorning emitter zanjiridagi tok kuchi $I_1 = 10\ mA$. Baza zanjiridagi tok kuchi esa $I_2 = 500\ \mu A$ ga teng. Kollektor zanjiridagi tok kuchini toping.

19. Umumiy bazali sxemada yig‘ilgan kuchaytirgichda R_H rezistor *500 Ω* ga, qisqichlaridagi kuchlanish *4 V* ga, baza zanjiridagi tok kuchi $200\ \mu A$ ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

Emitter zanjiridagi tok kuchini aniqlang.

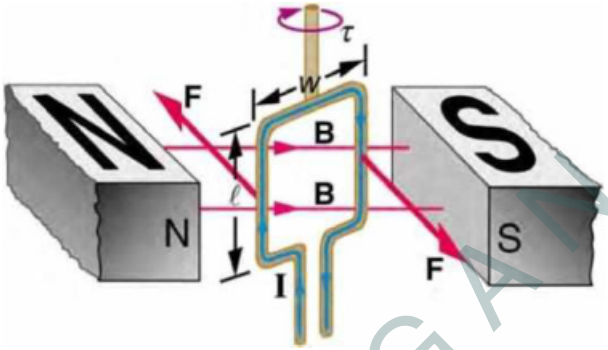
20. Televizorlarda elektron nurli trubkaning anod va katod orasidagi kuchlanish *10 kV* ga, anod zanjiridagi tok kuch esa *300 μA* ga teng. Elektronlarning energiyasini va elektronlar dastasining quvvatini aniqlang. Ekranga *1 s* vaqt ichida nechta elektron yetib keladi?

21. Detallarni elektron usulida payvandlash uchun energiyasi *100 keV* va quvvati $10^7\,Vt$ bo‘lgan elektronlar dastasi ishlatiladi. Dasta ko‘ndalang yuzasidan *1 s* vaqtda o‘tadigan elektronlar sonini aniqlang.

22. Elektronlar oqimi elekrton nurli trubkada *5 kV* kuchlanishli maydonda tezlashtiriladi va so‘ngra og‘diruvchi plastinalar orasiga uchib kiradi. Agar og‘diruvchi plastinalar uzunligi 5 sm, orasidagi masofa *2 sm* bo‘lsa, nurni *5mm* ga og‘dirish uchun og‘diruvchi plastinalarga qanday potensillar farqi qo‘yish kerak bo‘ladi?

SINOV UCHUN BERILGAN

IV BOB. MAGNETIZM



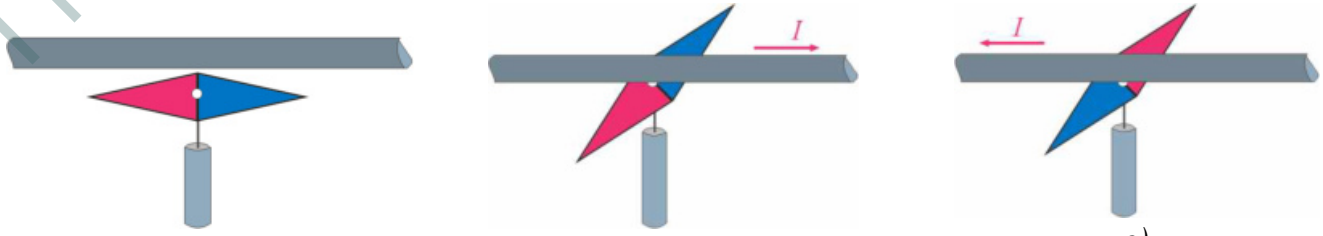
Oddiy magnit hodisalar bizning eramizdan ilgari ham ma'lum bo'lgan. Lekin, elektr toki va magnit hodisalar orasida bog'lanish borligi haqidagi dalillar XVIII asrga tegishlidir. Fransuz fizigi Arago o'zining "Momoqaldiroq va yashin" degan kitobida yashin urgan kemadagi kompaslarning ishdan chiqqanligini va yashin tushgan uydagi po'latdan yasalgan pichoq, sanchiq, qoshiq kabi buyumlarning magnitlanib qolgani haqida yozgan. Oldingi bobda elektr maydoni elektr zaryadlari tomonidan hosil qilinishi bilan, ya'ni elektr maydonini manbasi elektr zaryadlari ekanligi bilan tanishgan edik. Bu bob magnit hodisalariga bag'ishlanar ekan, oldingi bobdagi kabi magnit maydoni ham magnit zaryadlari tomonidan hosil qilinadi degan aniq javobni berishimiz aniq. Lekin, kuzatish va tajribalar hamda zamonaviy hisob-kitoblar tabiatda elektr zaryadlariga o'xshash "magnit zaryadlari" yo'qligini ko'rsatdi. "Unda magnit maydonini manbasi nima?" degan savol bizni qiziqtirib qo'yadi.

Ushbu bobda biz magnit maydonini hosil qiluvchi manbalar, magnit hodisalari, moddalarning magnit xususiyatlari, elektromagnit induksiya hodisasi, elektromagnit induksiya qonuni hamda o'zgaruvchan tok qanday olinishi haqida tanishamiz.

§ 23. MAGNIT HODISALAR. MAGNIT MAYDONNING MAVJUDLIGINI ISBOTLOVCHI TAJRIBALAR

Ersted tajribasi:

Elektr tokining magnit ta'siri 1820 yilda Daniyalik fizik Ersted tomonidan tajriba yo'li bilan aniqlandi va o'rganildi. Erstedning bu yangiligi fizika fanining rivojiga eng katta turtkilardan biri bo'ldi. Bu esa o'z navbatida keyinchalik Bio, Savar, Laplas, Amper, Faradey, Maksvell kabi olimlarning elektromagnetizm ustida ish olib borib uni rivojlanishiga sababchi bo'ldi. Erstedning qanday tajriba o'tkazgani bilan tanishaylik.



a) *b)* *c)*

23.1-rasm

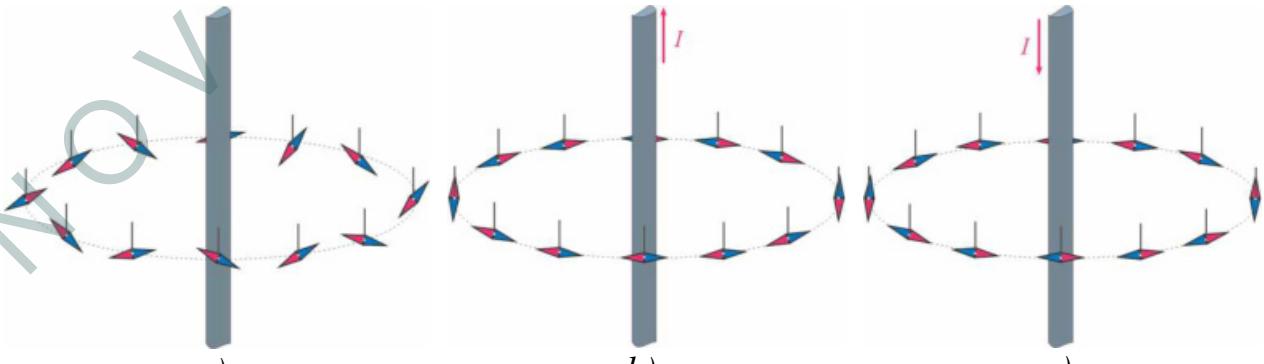
Ersted magnit strelkani tokli o'tkazgich yaqiniga olib keldi va ularning o'zaro ta'sirini o'rgandi. Dastlab o'tkazgichdan tok o'tmayotganda, magnit strelka befarq

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘ladi, ya’ni strelkani qaysi holatga keltirilsa o‘sha vaziyatda turadi (23.1-a,rasm). O‘tkazgich orqali tok o‘tkazilganda esa magnit strelka qat’iy bir holatni egallaydi. Magnit strelkani vaziyatini o‘zgartirmoqchi bo‘lganda yana avvalgi holatiga qaytadi (23.1-b, rasm). Endi o‘tkazgichdan o‘tayotgan tok yo‘nalishini qarama-qarshi tomonga o‘zgartirilsa, magnit strelka 180^0 burchakka burilib qutblari o‘rni almashinib qoladi. Natijada, yangi qat’iy vaziyat qaror topadi (23.1-c,rasm).

Tokli o‘tkazgich vertikal holatda joylashtirilib, bu simdan teng masofalarda parallel iplarga magnit strelkalar osib qo‘yilgan bo‘lsin. Dastlab, o‘tkazgichdan tok o‘tmayotganda, magnit strelkalar befarq bo‘lib ularni joylashuvida biror tartib bo‘lmaydi (23.2-a,rasm). O‘tkazgich orqali tok o‘tkazilganda esa magnit strelkalar qat’iy bir holatni egallab, ular aylana hosil qiladi. Magnit strelkalarni vaziyatini o‘zgartirmoqchi bo‘lganda yana avvalgi holatiga qaytadi (23.2-b, rasm). Endi o‘tkazgichdan o‘tayotgan tok yo‘nalishini qarama-qarshi tomonga o‘zgartirilsa, magnit strelkalar ham 180^0 burchakka burilib qutblari o‘rni almashinib qoladi. Bunda yangi qat’iy vaziyat qaror topadi va ular yana aylana hosil qiladi (23.2-c,rasm).

Ersted tajribasidan ko‘rinadiki, magnit strelkalar tokli o‘tazgichda tok bo‘lgandagina u bilan ta’sirlashar ekan. Boshqacha aytganda, magnit strelkalar tokning hosil qilgan magnit maydoni bilan ta’sirlashdi. Endi Ersted tajribalaridagi tokli magnit srtelkalar o‘rniga boshqa srtelkalar – temir yoki alyuminiy yoki rezina srtelkalar joylashtirilsa, o‘tkazgichdagi tokning qiymati qanchalik katta bo‘lmasin ular o‘zaro ta’sirlashmaydilar. Bundan magnit strelkaning ham o‘z atrofida xususiy magnit maydoni bor degan xulosa kelib chiqadi. Demak, magnit strelka o‘zi hosil qilgan magnit maydoni bilan tokli o‘tkazgich hosil qilgan maydonga ta’sir ko‘rsatar ekan, ya’ni magnit maydoni boshqa bir magnit maydonini uchratganda ular o‘zaro ta’sirlashar ekan.



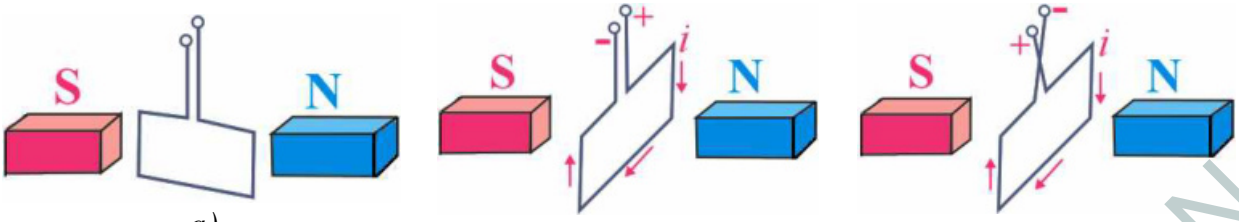
a) *b)* *c)*

23.2-rasm

Ersted tajribasi olimlarni elektr toki o‘tib turgan o‘tkazgich atrofida magnit maydon hosil bo‘ladi degan xulosaga olib keldi. Xuddi shu maydon magnit strelkasiga ta’sir etib uni joylashuv vaziyatini o‘zgartiradi. Boshqacha aytganda,

SINOV UCHUN BERILGAN

tokli o‘tkazgich erkin aylanuvchi magnit strelkalarni o‘z maydoni yo‘nalishiga tushguncha buradi.



a) *b)* *c)*

23.3-rasm

Biz 23.1- va 23.2- rasmlarda tokli o‘tkazgich qo‘zg‘almas bo‘lib, magnit strelkalar erkin turgan holni ko‘rdik. Agar kattaroq qo‘zg‘almas magnittosh olib uning qutblari orasiga erkin aylanuvchi tokli sim ramka joylashtirsak nima bo‘ladi?

– Dastlab sim ramkadan tok o‘tmayotganda, sim ramka befarq bo‘ladi, qaysi holatga keltirsak shu hvaziyatda tinch turadi (23.3-a,rasm). O‘tkazgich orqali tok o‘tkazilganda esa sim ramka qutblar orasida magnit chiziqlariga tik bo‘lgan qat’iy bir holatni egallaydi. Sim ramkanini vaziyatini o‘zgartirmoqchi bo‘lganda yana avvalgi holatiga qaytaveradi (23.3-b, rasm). Endi o‘tkazgichdan o‘tayotgan tok yo‘nalishini qarama-qarshi tomonga o‘zgartirilsa, sim ramka ham 180^0 burchakka burilib qoladi. Natijada yangi qat’iy vaziyat qaror topadi (23.3-c,rasm).

Demak, yuqoridagi barcha tajribalardan shunday xulosa kelib chiqadi: tokli o‘tkazgich va magnit strelka yoki magnittosh biri-birining maydoniga tushishga intilar ekan. Magnit strelka erkin bo‘lganda u burilib tokli o‘tkazgichning maydoni ko‘rsatadi. Sim ramka erkin bo‘lganda esa, u burilib magnittoshning maydonini ko‘rsatadi.

Faqatgina o‘tkazgichdan tok o‘tgandagina uning atrofida magnit maydon paydo bo‘lishi magnit maydonning manbasi – bu elektr toki (harakatlanayotgan elektr zaryadi) ekan degan xulosaga olib keladi. Shunday qilib, Ersted kashfiyoti fizika fanining rivojlanishida katta turtkilardan biri bo‘lib, bu kashfiyot keyinchalik elektromagnetizm sohasida muhim kashfiyotlarni ochilishiga poydevor bo‘ldi.

Toklarning va magnit sterjenning magnit chiziqlari:

Tokli o‘tkazgich magnit maydon hosil qilar ekan, uni qanday ko‘rinishda ekanligini tajribada tekshirib ko‘rish mumkinmi? – Albatta mumkin.

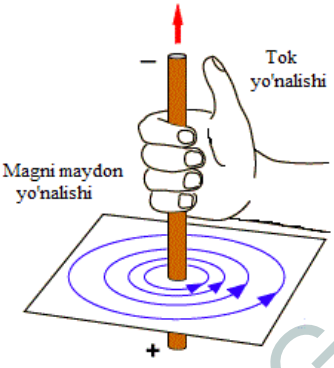
Karton qog‘oz olib uni gorizontal holatda tutamiz. Bu karton qog‘ozni vertikal holatda teshib o‘tuvchi to‘g‘ri tokli o‘tkazgichni joylashtiramiz. Karton qog‘oz ustiga mayda temir qirindi (qipiqlari)ni to‘kamiz. Temir qipiqlari o‘tkazgichdan tok o‘tmaganda hech qanday biror shakl yasamaydi. O‘tkazgichdan tok o‘tkazilganda esa 23.4-a,rasmda ko‘rsatilgani kabi koaksial (o‘qdosh) aylanalar shaklini yasaydi. Chunki, bu aylanalarni ketma-ket tutashtirib chiqilsa, koaksial aylanalar hosil bo‘ladi. Demak, to‘g‘ri tokning magnit maydoni markazi tokli o‘tkazgichda bo‘lgan koaksial aylanalardan iborat ekan (23.4-b,rasm). 23.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

hamda 23.2-rasmdagi Ersted tajribasida ham erkin aylanuvchi magnit strelkalar xuddi shunday to‘g‘ri tok atrofidagi koaksial maydonni hosil qilgan edi.



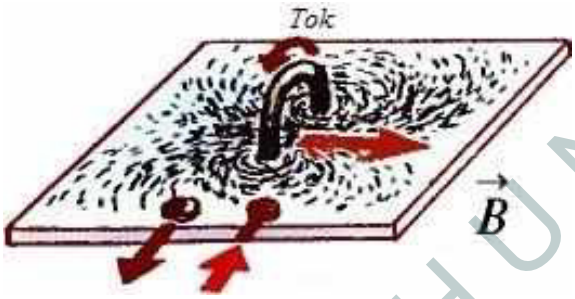
a)



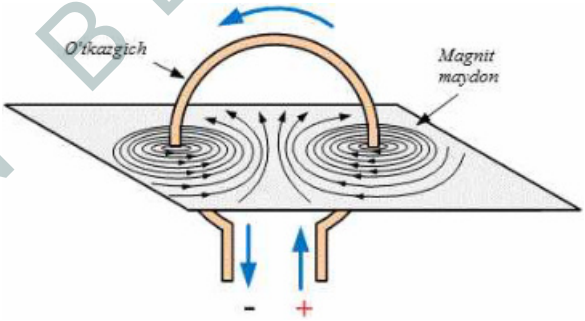
b)

23.4-rasm

Aylanma tokning yo‘nalishini ham temir qipiqlari orqali aniqlash mumkin. Karton qog‘ozni teshib undan aylanma o‘tkazgichni o‘tkazamiz va qog‘oz ustiga temir qipiqlarini sepamiz. O‘tkazgichdan tok o‘tkazilganda 23.5-a,rasmdagi manzara hosil bo‘ladi. Ularni tutashtirib chiqish natijasida 23.5-b,rasmdagi tasvirni olamiz.



a)



b)

23.5-rasm

Magnittosh yoki magnit sterjenlar tabiiy magnit manbai bo‘lib, ular tog‘ jinslari tarkibida qotishma holda uchraydi. Bu qotishmalardan maqsadimizga qarab biror shakl berilib yasaladi. Magnittoshlar xalqasmion, tangasmion, slindrik, prizmatik sterjen shaklida, magnit strelka shaklida yoki taqasimon shakllarda tayyorlanadi (23.6-rasm). Ulardan ba’zilarining maydoni qanday shaklda bo‘lishini tekshirib ko‘raylik.

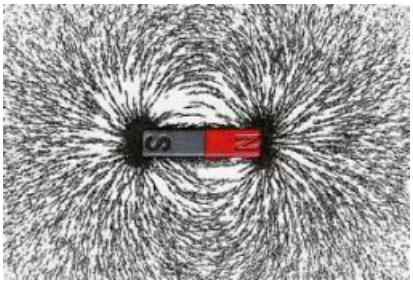


23.6-rasm

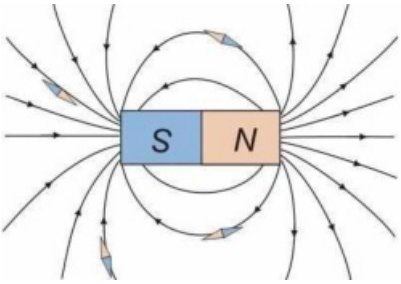
Temir qipiqlari bilan o‘tkazilgan tajriba natijasida 23.7-a,rasmdagi tasvirga ega bo‘lamiz. Agar magnit sterjenning yaqin nuqtalariga erkin aylanuvchi kichkina magnit strelkachalar joylab chiqsak, ular 23.7-b,rasmdagi holatni egallaydilar.

SINOV UCHUN BERILGAN

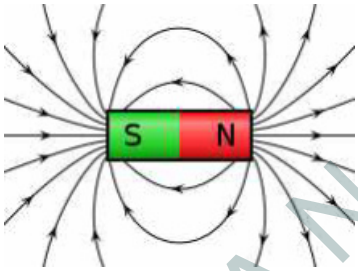
23.7-a,b,rasmdagi shakllarni ketma-ket tutashtirib chiqilsa, 23.7-c,rasmdagi tasvir hosil bo‘ladi.



a)



b)



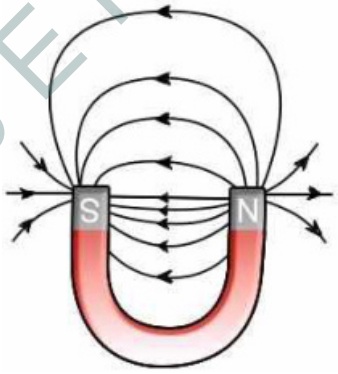
c)

23.7-rasm

Endi taqasimon magnitning maydonini temir qipiqlari yordamida tekshirib ko‘raylik. Taqasimon magnitni karton qog‘oz ustiga qo‘yib, uning atrofiga temir qipiqlarini sochganimizda bu qipiqlar 23.8-a,rasmdagi shaklni hosil qiladi. Agar bu shakllarni ketma-ket tutashtirib chiqilsa, 23.8-b,rasmdagi tasvirga ega bo‘lamiz.



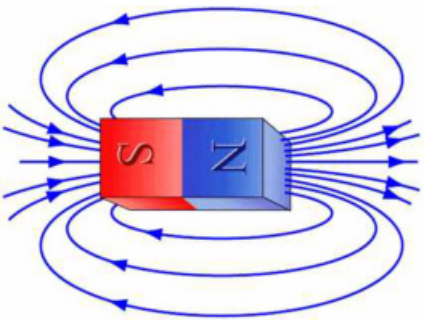
a)



b)

23.8-rasm

Tabiiy magnit manba (magnittosh yoki magnit sterjen) larini ikkita qutb bilan belgilash qa’bul qilingan. Bu qutblarning birini shartli ravishda *N* bilan, ikkinchisini esa *S* bilan belgilanadi. Erkin aylanuvchi magnit strelka Yerning magnit maydoni ta’sirida taxminan meridian chizig‘i bo‘ylab joylashadi. Strelkaning bir uchi shimol tomonni ikkinchi uchi esa janub tomonni ko‘rsatadigan vaziyatni egallaydi. Strelkaning shimolni ko‘rsatadigan uchini shimoliy qutb deyiladi va $N(N-North-shimol)$ harfi bilan belgilanadi. Strelkaning janubni ko‘rsatadigan uchini janubiy qutb deyiladi va $S(S-South-janub)$ harfi bilan belgilanadi. Odatda *N* qutbni ko‘k rangda (shimol sovuq bo‘lgani uchun muzning rangida), *S* qutbni esa qizil rangda (janub issiq bo‘lgani uchun Quyoshning rangida) bo‘yaladi. Magnit kuch chiziqlari magnittosh ichida shimoliy qutbdan janubiy qutbga, magnittosh tashqarisida esa shimoliy qutbdan janubiy qutbga yo‘naladi, ya’ni magnit kuch chiziqlari har doim berk, uyurmaviy bo‘ladi.

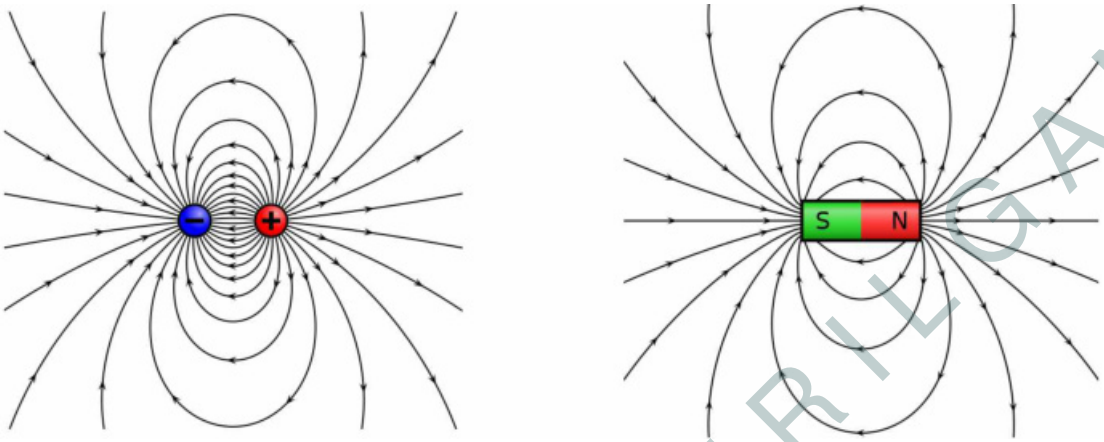


23.9-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

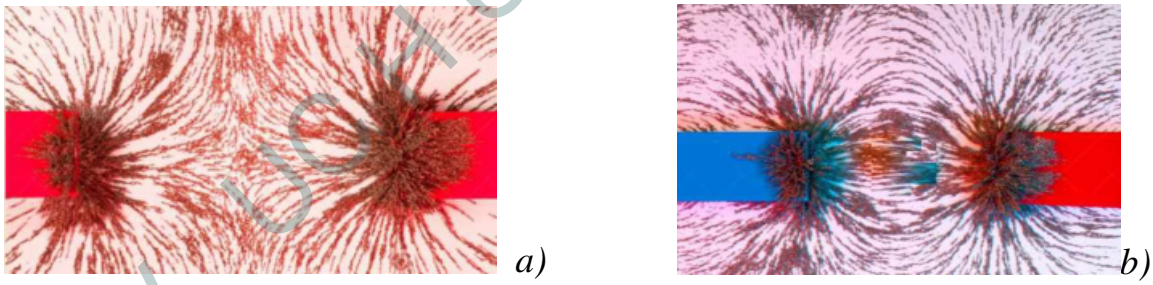
Boshqacha aytganda magnit kuch chiziqlarining boshi va oxiri bo‘lmaydi (23.9-rasm).

23.9-rasmdan ko‘rinadiki, magnit sterjenning magnit maydonini xuddi miqdoran teng va qarama-qarshi ishorali elektr zaryadlarining elektr maydoni shakliga o‘xshatish mumkin ekan (23.10-rasm).



23.10-rasm

Endi tajribamizni davom ettirgan holda ikkita magnit sterjen olib, ularni bir xil qutbi bilan yoki har xil qutbi bilan joylashtirganda ular atrofidagi magnit maydoni qanday ko‘rinishda bo‘lishini tekshirib ko‘ramiz. Buning uchun har doimgidek temir qipiqlari va karton qog‘ozdan foydalanamiz. 23.11-a,rasmda magnilar bir xil qutblari bilan turgandagi, 23.11-b,rasmda esa har xil qutblari bilan turgandagi temir qipiqlari hosil qilgan shakllar berilgan.



a) *b)*

23.11-rasm

Yuqoridgi rasmda temir qipiqlari hosil qilgan shakllarni ketma-ket tutashtirishdan uning magnit maydon kuch chiziqlari hosil bo‘ladi (23.12-rasm).

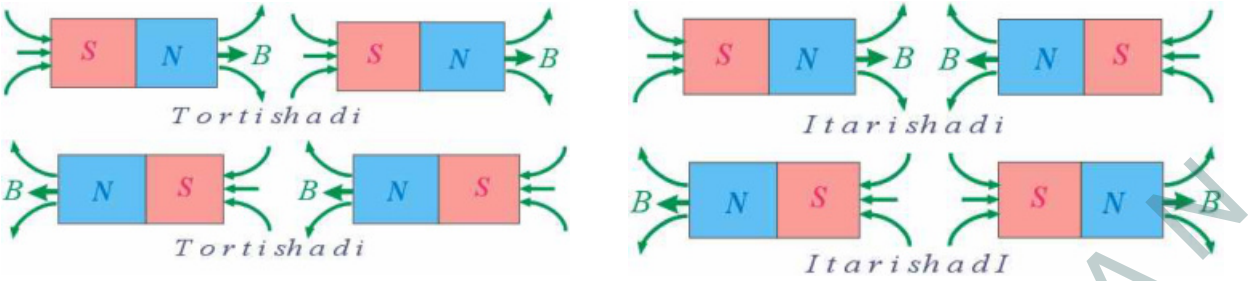


23.12-rasm

Magnit sterjenlarni bir xil qublari bilan yaqinlashtirganda ularning magnit chiziqlari qarama-qarshi yo‘nalgani bois ular itarishadi (23.13-a,rasm). Magnit

SINOV UCHUN BERILGAN

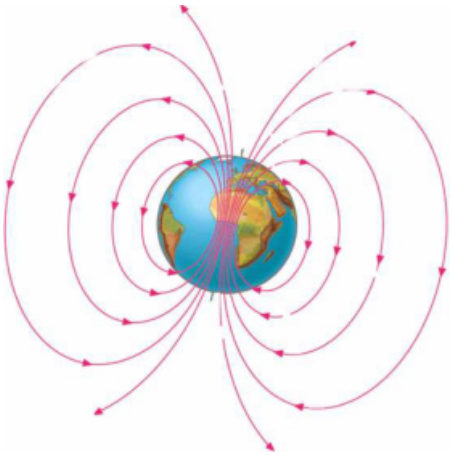
sterjenlarni har xil qublari bilan yaqinlashtirganda ularning magnit chiziqlari yo‘nalishdosh bo‘lgani uchun ular tortishadi (23.13-b,rasm).



a) *b)*

23.13-rasm

Yuqoridagi rasmlardan shunday xulosa kelib chiqadiki, erkin aylanuvchi magnit strelkalar bir-biriga yaqin turganda tortishadigan qutblari bilan, ya’ni har xil qutblari bilan bir-biriga qarab qolar ekan. Ana shunda ularning magnit maydonlari yo‘nalishdosh bo‘ladi. Ersted tajribalarida ham tokli o‘tkazgichning maydonidagi erkin aylanuvchi magnit strelkalar tokning maydoni bo‘yicha tartiblangan edi. Demak, magnit va magnit, magnit va tokli o‘tkazgich, tokli o‘tkazgich va tokli o‘tkazgichlar o‘zaro ta’sirlashganda mumkin qadar bir-birining maydoniga moslashishga intilar ekan. Endi erkin aylanuvchi magnit strelkani Yerning magnit maydoniga erkin joylashtirsak, magnit strelkaning *N* qutbi shimolga qarab qoladi, ya’ni shimolni ko‘rsatadi. Lekin, strelkaning bu *N* qutbini shimol tomondan Yerning janubiy *S* qutbi o‘ziga tortib, strelkani o‘z yo‘nalishiga rostlagan. Shunday qilib, magnit strelka geografik shimolni ko‘rsatgan paytda, aslida u janubiy magnit qutbni ko‘rsatgan bo‘lar ekan. 23.14-rasmda Yerning magnit maydoni tasvirlangan.



23.14-rasm

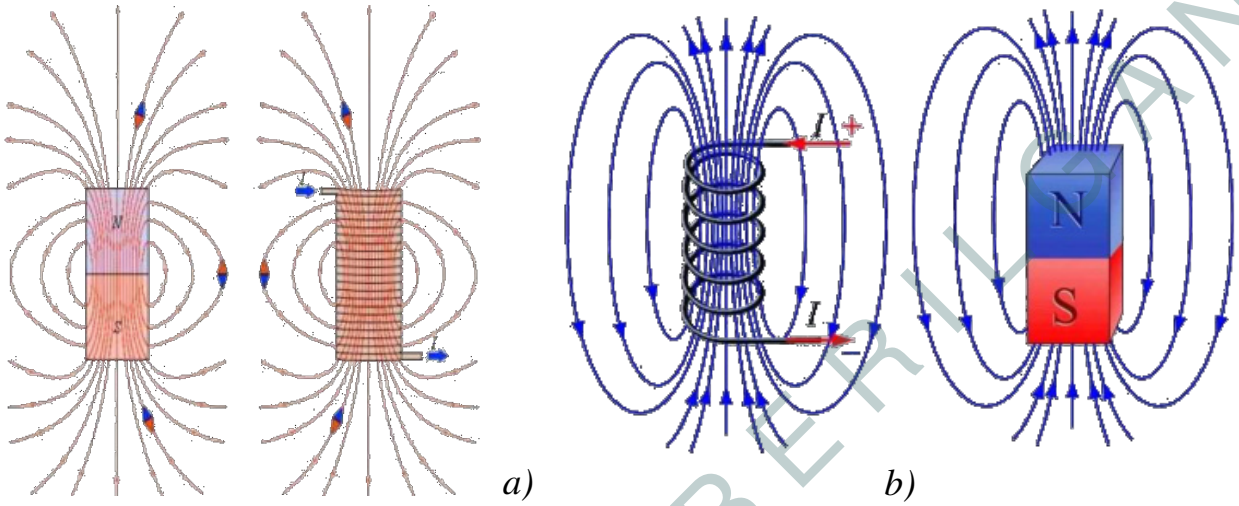
Biz yuqorida 23.5-rasmda aylanma tokning magnit maydonini tekshirgan edik. Endi g‘altakning magnit maydonini tekshirib ko‘raylik. Avvalo g‘altak (yoki solenoid) deb jips qilib o‘ralgan o‘tkazgich sim o‘ramlaridan iborat to‘plamga aytilishini eslatib o‘tamiz (23-15-rasm). Shunga ko‘ra aylanma toklarning yig‘indisi g‘altakni tashkil qilar ekan, tokli g‘altak hosil qilgan magnit maydoni ham aylanma tokning maydoni bilan bir xil bo‘lish kerak degan xulosa kelib chiqadi. Buni tajriba yordamida tekshirib ko‘rish mumkin. 23.7-rasmda magnit sterjenning maydonini tekshirganimiz kabi, tokli g‘altakning ham atrofiga erkin aylanuvchi kichkina magnit strelkalar qo‘yish orqali g‘altak



23.15-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

hosil qilgan maydonni ham tekshirib ko‘rish mumkin (23.16-a,rasm). Keyin bu strelkalar ko‘rsatish yo‘nalishlarini ketma-ket tutashtirib chiqilsa, 23.16-b,rasmdagi tasvirni olamiz. Bu rasmlardan shunday xulosa kelib chiqadiki, magnit strelka hamda tokli g‘altakning magnit maydonlari ayni bir xil ekan. Shunga ko‘ra ayta olamizki, magnit kuch chiziqlarining g‘altakka kiradigan tomonini N qutb deb, g‘altakdan chiqadigan tomonini esa S qutb deb belgilash mumkin.



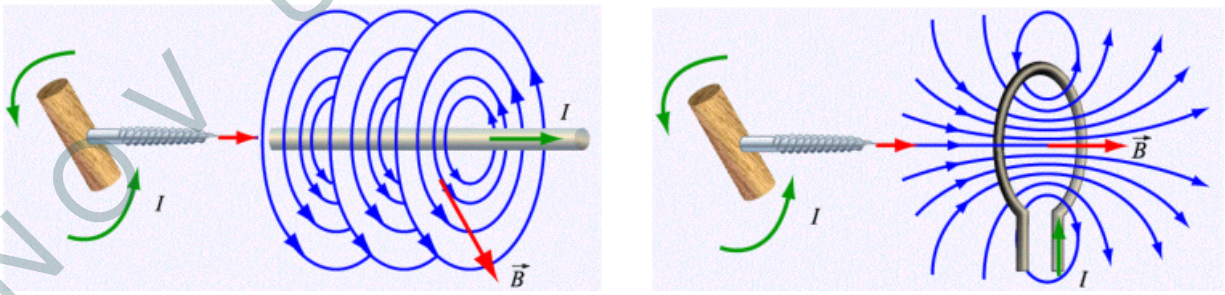
a) *b)*

23.16-rasm

O‘ng parma va o‘ng qo‘l qoidasi:

Ersted tajribasi va mayda temir qipiqlari bilan o‘tkazilgan tajribalar tokli o‘tkazgichning magnit maydoni koaksial aylanalardan iborat ekanligini ko‘rsatadi. Lekin, bu aylanalar yo‘nalishi qaysi yo‘nalishda ekanligi noma’lumligicha qoldi. Magnit maydon yo‘nalishini xalqaro kelishuvga asosan o‘ng parma qoidasiga ko‘ra aniqlash qa’bul qilingan.

O‘ng parma qoidasi to‘g‘ri va aylanma toklar uchun quyidagicha ta’riflanadi (23.17-rasm):



a) *b)*

23.17-rasm

Agar o‘ng parmaning ilgarilanma harakati yo‘nalishi o‘tkazgichdagi to‘g‘ri tok yo‘nalishi bilan bir xil bo‘lsa, u holda parma dastasining aylanish yo‘nalishi magnit induksiya vektorining yo‘nalishi bilan bir xil bo‘ladi.

Agar tokli o‘tkazgich aylanma tok bo‘lsa va tokning aylanish yo‘nalishi bilan o‘ng parmaning aylanish yo‘nalishi bir xil bo‘lsa, u holda parmaning

SINOV UCHUN BERILGAN

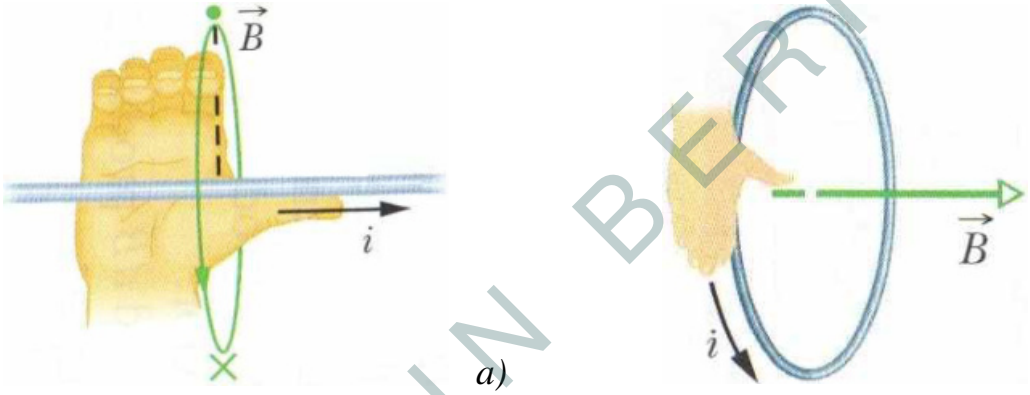
ilgarilanma harakat yo‘nalishi magnit induksiya vektori yo‘nalishi bilan bir xil bo‘ladi.

Lekin, ko‘pchilik g‘arb davlatlarida tokning magnit maydoni yo‘nalishi o‘ng parma qoidasi bilan emas, balki o‘ng qo‘l qoidasi bilan tushuntiriladi.

O‘ng qo‘l qoidasi to‘g‘ri va aylanma toklar uchun quyidagicha ta’riflanadi (23.18-rasm):

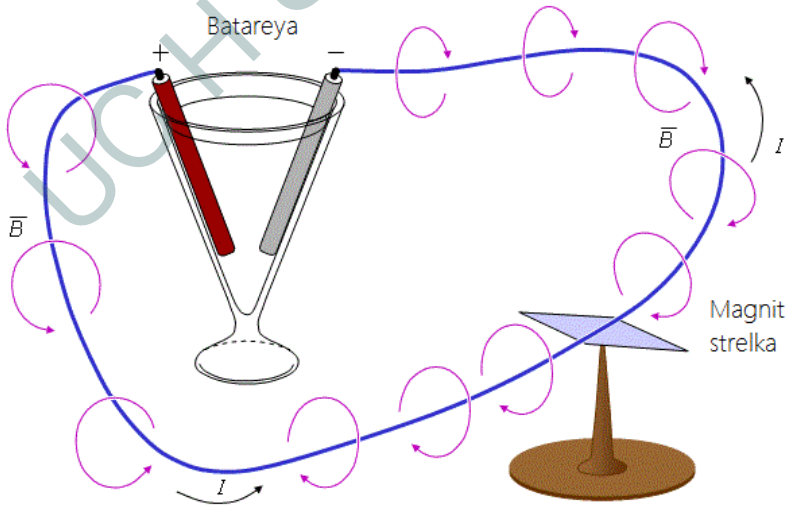
Agar o‘ng qo‘limizning 90^0ga kerilgan bosh barmog‘i to‘g‘ri tok yo‘nalishini ko‘rsatsa, u holda parma dastasining aylanish yo‘nalishi magnit induksiya vektorining yo‘nalishi bilan bir xil bo‘ladi.

Agar o‘ng qo‘limizning to‘rt barmog‘i aylanish yo‘nalishi aylanma tok yo‘nalishini ko‘rsatsa, u holda 90^0ga kerilgan bosh barmog‘imiz magnit induksiya vektori yo‘nalishini ko‘rsatadi.



a) *b)*

23.18-rasm



23.19-rasm

Aslini olganda aylanma tokning magnit maydon yo‘nalishi to‘g‘ri tokning maydon yo‘nalishidan kelib chiqadigan bir xususiy holdir. Umuman olganda esa tokli sim ixtiyoriy egri chiziq shaklida bo‘lsa ham uni juda ko‘p sondagi to‘g‘ri toklar (tok elementlari) yig‘indisi deb tasavvur qilishimiz mumkin. Ana shu elementar toklar hosil qilgan maydonlar qo‘shilishi natijasida ixtiyoriy shakldagi tokli o‘tkazgichning natijaviy magnit maydonini hosil qilish mumkin, shuningdek

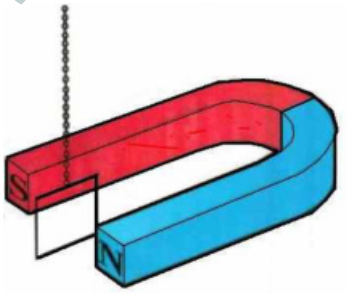
SINOV UCHUN BERILGAN

aylanma tokning ham. 23.19-rasmda ixtiyoriy shakldagi tokli o‘tkazgichning magnit maydoni elementar to‘g‘ri toklar maydoni ko‘rinishida tasvirlangan.

Magnit maydon induksiyasi:

Elektr maydonini qo‘zg‘almas zaryad hosil qilsa, magnit maydonini esa harakatdagi zaryad hosil qiladi. Boshqacha aytganda, elektr maydoni siljiganda magnit maydoni hosil bo‘ladi. Elektr maydonidan farqli ravishda magnit maydoni berk maydondir, ya’ni magnit maydonining na oxiri va na boshi bor. Magnit maydonining miqdoriy xarakteristikasi sifatida, magnit induksiyasi deb ataladigan kattalikdan foydalaniladi. Elektr maydonini tekshirayotganda sinov zaryadidan foydalangan bo‘lsak, magnit maydonni o‘rganayotganda esa tokli berk kontur (simli ramka) dan, ya’ni sinov konturidan foydalanamiz.

Yuzi S bo‘lgan va I tok o‘tayotgan tokli ramkani doimiy magnit qutblari orasiga joylashtiraylik (23.20-rasm). Doimiy magnit va tokli ramkaning magnit maydonlari ta’sirlashib, ramkani vertikal o‘q atrofida buruvchi moment hosil qiladi. Tajribalarning ko‘rsatishicha bu burovchi moment ramkadan o‘tayotgan tok kuchiga, ramka yuziga va maydonning kattaligiga bog‘liq ekan. Magnit maydon yo‘nalishi ramka tekisligiga perpendikulyar bo‘lganda burovchi moment nolga teng, parallel bo‘lganda esa burovchi moment maksimal bo‘lar ekan.



23.20-rasm

Tokli ramkaga ta’sir qiluvchi burovchi momentning maksimal qiymati ramka yuzi va ramkadan o‘tayotgan tok kuchiga proporsional ekan.

$$M_{\max} \sim I \cdot S$$

Turli yuza va tok kuchiga ega bo‘lgan ramkalar uchun ramkaga ta’sir qiluvchi burovchi momentning qiymati ham turlicha bo‘lib, lekin M_{max} ning $I{\cdot}S$ ko‘paytmaga nisbati tokli ramka kiritilgan nuqta uchun o‘zgarmas kattalik ekan. Bu nisbat tashqi magnit maydonni kuch jihatdan xarakterlab, tokli ramka kiritilgan nuqtadagi magnit maydonining induksiyasi deyiladi.

$$B = \frac{M_{\max}}{I \cdot S} \qquad \textbf{(23.1)}$$

Maydonning biror nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada induksiya chiziqlariga parallel joylashtirilgan birlik yuzaga ega bo‘lgan berk konturdan birlik tok kuchi o‘tganda hosil bo‘ladigan burovchi momentga miqdor jihatidan teng bo‘ladi.

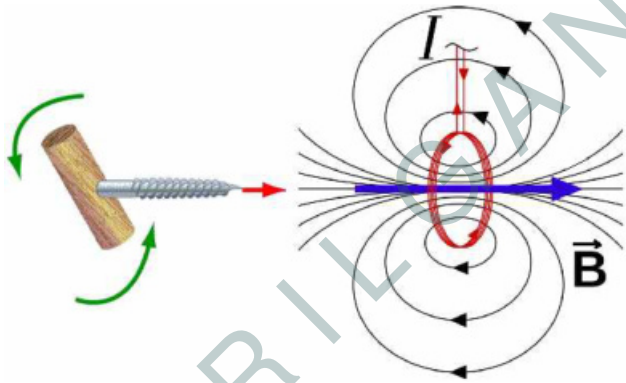
Magnit induksiyasining o‘lchov birligi *Tl* (Tesla) bo‘lib unga quyidagicha ta’rif beriladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

Bir jinsli magnit maydoniga *1 m^2* yuzaga ega bo‘lgan va *1 A* tok o‘tayotgan sim ramka kiritilganda, bu ramkaga maydon tomonidan *1 N·m* maksmal burovchi moment ta’sir qilsa, bu maydonning induksiyasi *1 T* (*Tesla*) ga teng bo‘ladi.

$$\frac{1N \cdot m}{1A \cdot 1m^2} = 1\,T \qquad (23.2)$$

Magnit induksiyasi vektor kattalik bo‘lib, uning yo‘nalishi maydonning tekshirilayotgan nuqtasiga kiritilgan tokli ramkaning muvozonat vaziyatidagi musbat normali yo‘nalishi bilan aniqlanadi. Eslatib o‘tamiz, musbat normal degani ramka yuziga perpendikulyar joylashgan o‘ng parma dastasini ramkadagi aylanma tok yo‘nalishida burash natijasida parma erishgan ilgarilanma harakat yo‘nalishidir (23.21-rasm).



23.21-rasm

Magnit maydonlarni qo‘shishning superpozitsiyasi:

Magnit induksiya vektori miqdor va yo‘nalishga ega bo‘lgan vektor kattalikdir. Shuning uchun bir nechta magnit induksiya vektorlarini qo‘shish uchun ularni yo‘nalishini ham e’tiborga olish kerak bo‘ladi.

Agar magnit maydonini bir necha tokli o‘tkazgichlar va doimiy magnitlar hosil qilayotgan bo‘lsa, fazoning biror nuqtasidagi natijaviy magnit induksiya vektorini topish uchun shu nuqtada har bir tokli o‘tkazgich va doimiy magnitlar hosil qilgan maydon induksiya vektorlari geometrik qo‘shiladi.

Maydonlarni qo‘shishning bunday usuli maydonlar superpozitsiya prinsipi deyiladi.

$$\vec{B}_{nat} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + ... + \vec{B}_n \qquad (23.3)$$

Barcha maydon kuchlanganliklari qo‘shilib, bitta natijaviy maydon kuchlanganlik vektori hosil qilinadi va buni teng ta’sir etuvchi vektor deyiladi. Qo‘shib chiqilgan maydonlarni esa tashkil etuvchilar yoki komponentalar deyiladi.

Maydonlar qo‘shilganda ularning o‘qlardagi proeksiyalari ham qo‘shiladi.

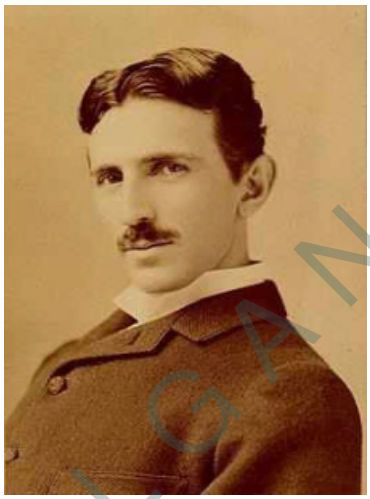
$$\begin{cases} B_x = B_{1x} + B_{2x} + B_{3x} + ... + B_{nx} \\ B_y = B_{1y} + B_{2y} + B_{3y} + ... + B_{ny} \\ B_z = B_{1z} + B_{2z} + B_{3z} + ... + B_{nz} \end{cases} \qquad (23.4)$$

Teng ta’sir etuvchi proeksiyalar orqali quyidagicha bog‘langan:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \qquad (23.5)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Kelib chiqishi Serbiyalik bo‘lgan Serbiyalik bo‘lgan muxandis-fizik, elektrotexnika va radiotexnika sohasida ko‘pdab kashfiyotlar qilgan olim Nikola Tesla 1856-yil 10-iyulda Xorvatiya yaqinidagi Smilyan shaharchasida tug‘ilgan. O‘zi Avstiriya imperiyasida dunyoga kelib, Avstriya-Vengriyada balog‘atga etgan va 1891-yil AQSH fuqaroligini oladt va hayotining so‘nggigacha shu erda yashaydi. Sanoat inqilobida ikkinchi bosqichga o‘tishga imkon beradigan o‘zgaruvchan tokda ishlaydigan ko‘p fazali sistemalar, sinxron va asinxron dvigatellarini yaratilishi o‘z hissasi bilan keng ommaga ma’lumdir. Tesla efir muhiti mavjudligi tarafdori sifatida ham mashhur. Hozirda magnit induksiyasining o‘lchov birligi uning nomi bilan Tesla deb nomlanadi. U yuqori chastotali transformatorni kashf qilgan. SHuningdek, 700Gsdan yuqori chastotali toklar jismlar sirtidan oqishini ixtiro qilgan. 1945-yil 7-yanvarda Nyu-Yorkda vafot etadi.

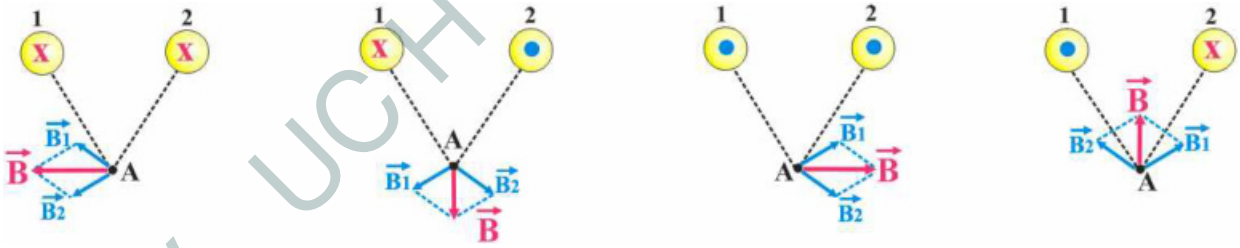


Nikola Tesla (1856–1945)

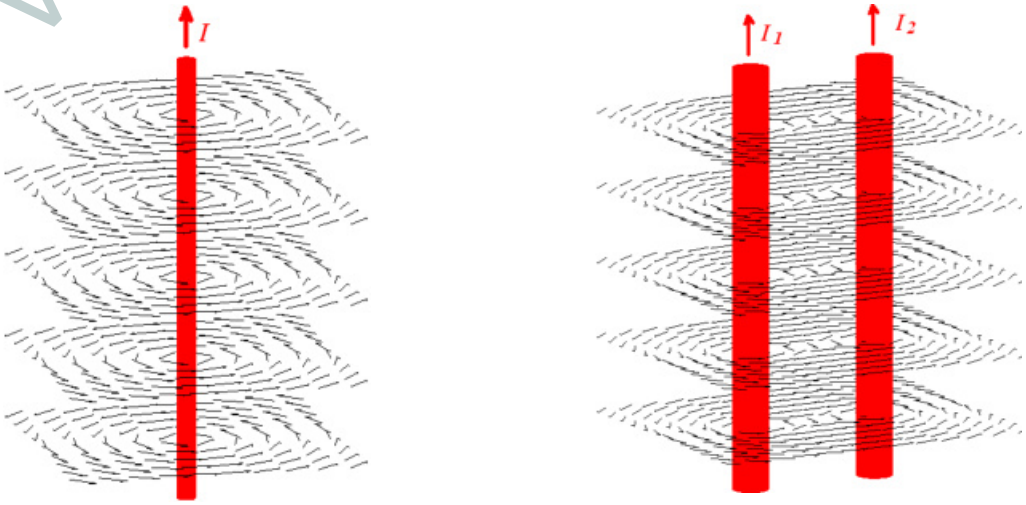
Teng ta’sir etuvchining yo‘naltiruvchi kosinuslari (koordinata o‘qlari bilan hosil qilgan burchak kosinuslari) quyidagicha bo‘ladi:

$$\cos\alpha = \frac{B_x}{B}, \qquad \cos\beta = \frac{B_y}{B}, \qquad \cos\gamma = \frac{B_z}{B} \tag{23.6}$$

Agar biga keluvchi tokni (•) bilan, bizdan ketuvchi tokni esa (×) bilan belgilasak, miqdor jihatidan teng bo‘lgan ikkita tokli o‘tkazgichning o‘tkazgichlardan bir xil uzoqlikdagi A nuqtada xosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganlik yo‘nalishlari quyidagicha bo‘ladi (23.22-rasm):

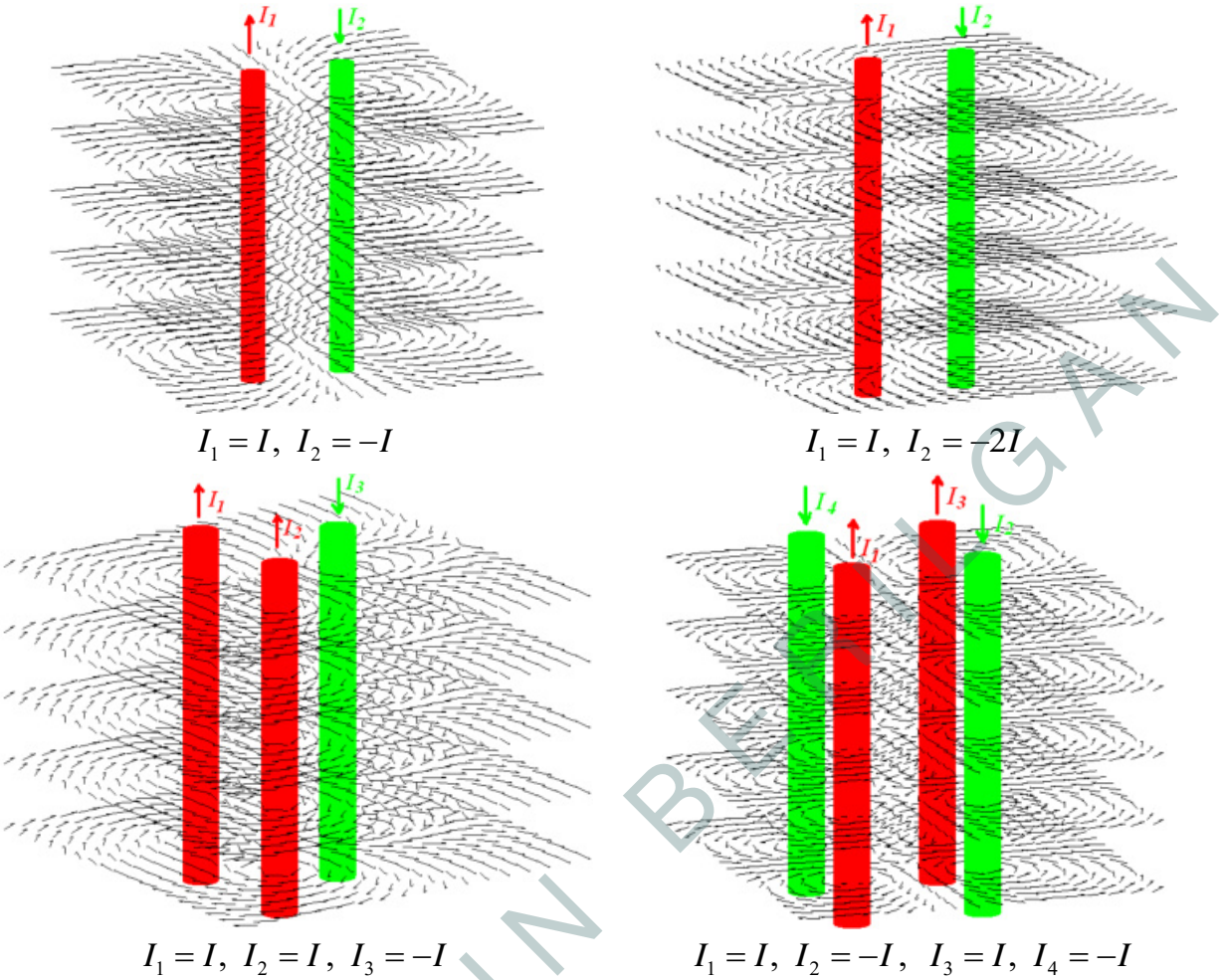


23.22-rasm



I $\qquad\qquad$ $I_1 = I,\ I_2 = I$

SINOV UCHUN BERILGAN



$I_1 = I,\ I_2 = -I$ $\qquad$ $I_1 = I,\ I_2 = -2I$

$I_1 = I,\ I_2 = I,\ I_3 = -I$ $\qquad$ $I_1 = I,\ I_2 = -I,\ I_3 = I,\ I_4 = -I$

23.23-rasm

Temir qipiqlari bilan tajribalar orqali magnit yoki tokli o‘tkazgichning ikki o‘lchamli magnit maydoni tasvirini olish mumkin. Uch o‘lchamli fazoviy tasvirini olish uchun temir qipiqlarini qovushqoqligi ancha yuqori bo‘lgan suyuqlikka solib aralashtiriladi. Bu suyuqlikka magnit sterjen yoki tokli o‘tkazgich joylanganda temir qipiqlar burilib ma’lum bir fazoviy shakllar hosil qiladi. Buni osonroq yo‘l bilan, ya’ni zamonaviy kompyuter dasturlari yordamida ham olish mumkin. 23.23-rasmda tokli o‘tkzgichlar sistemasi hosil qilgan magnit maydonining fazoviy tasvirlaridan namunalar keltirilgan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Ersted o‘tkzgan tajribalarni aytib bering. Tajriba natijalaridan xulosa qiling?*
2. *Temir qipiqlari yordamida o‘tkazilgan tajribalarni gapirib bering. Tajriba natijasida tokli o‘tkazgich va magnittoshning maydoni haqida nima xulosa kelib chiqadi?*
3. *Nima uchun tabiiy magnit qutblari N va S harflari bilan belgilanadi?*
4. *Magnit maydon qanday shakldi bo‘ladi? Tabiatda “Magnit zaryad” mavjudmi?*
5. *O‘ng parma va o‘ng qo‘l qoidasi yordamida to‘g‘ri tok va aylanma toklarning maydonlari qanday tushuntiriladi?*
6. *Magnit maydon induksiyasi birligi nima, uning bir birligi deb nimaga aytiladi?*
7. *Magnit maydonlari qanday qo‘shiladi? Misollar keltiring.*

SINOV UCHUN BEMALGAN

Masala yechish:

1. *Magnit induksiyalari 0,3 T va 0,4 T bo'lgan va o'zaro tik yo'nalgan ikkita bir jinsli magnit maydonlar qo'shilganda, natijaviy maydonning magnit induksiyasi necha tesla bo'ladi?*

A) 0,7 B) 0,1 C) 0,2 D) 0,5 E) 0,6

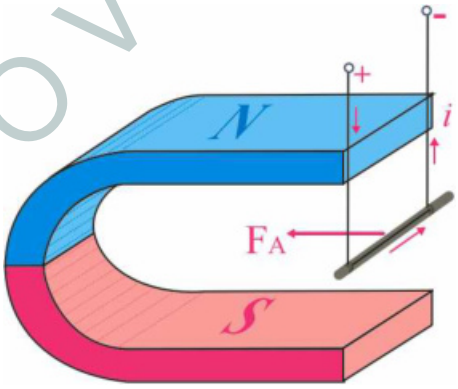
Berilgan	Yechilishi
$B_1=0,3$ T	Pifagor teoremasidan foydalanamiz.
$B_2=0,4$ T	$B_u=\sqrt{B^2+B^2}$
$\alpha=90^0$	$B_u=\{(0.3)^2+(0.4)^2\}^{1/2}=0,5$ T
$B_u=?$	**Javob:** D) 0,5 T

§ 24. AMPER KUCHI VA UNING YO'NALISHI. CHAP QO'L QOIDASI. PARALLEL TOKLARNING O'ZARO TA'SIRI.

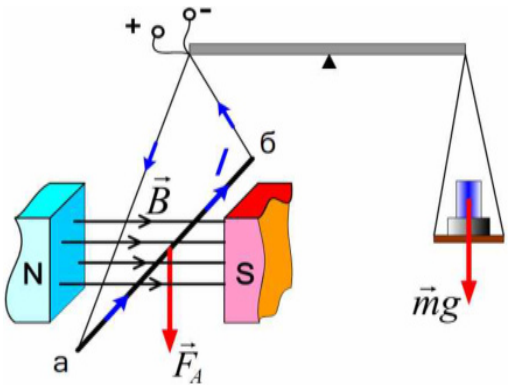
Biz oldingi paragrafda magnit strelkalar va tokli o'tkazgichlar o'z atrofida hosil qilgan magnit maydonlari vositasida bir-birlari bilan ta'sirlashishini o'rgandik. Magnit strelka va tokli o'tkazgichlar o'zaro ta'sirlashar ekan, bu ta'sirni miqdoriy xarakterlaydigan qonun va ta'sir yo'nalishini ko'rsatadigan qoida bormi?

Amper kuchi:

Magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sirini birinchi bo'lib Amper o'rgandi. Gorizontal erkin tokli o'tkazgichni magnit qutblari orasiga joylashtirganda, tokli o'tkazgich qutblar orasiga tomon tortildi (24.1-rasm). O'tkazgichdagi tok kuchining miqdorini oshirganda qutblar orasiga tortilish yanada kuchaydi. Demak, ta'sir kuchi tok kuchiga proporsional ekan. Tokli o'tkazgichning magnit maydonda turgan qism uzunligi oshirilganda ham ta'sir kuchi proporsional holda oshdi. Undan tashqari magnit maydoni qanchalik kuchli bo'lsa ham ta'sir kuchi shuncha ortar ekan.



24.1-rasm



24.2-rasm

Yuqoridagi fikrlarni xulosa qilib, magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sir kuchini quyidagicha yozishimiz mumkin ekan:

$$F_A = B\,I\,\ell\sin\alpha = B_{\perp}I\,\ell \quad [N] \qquad \textbf{(24.1)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $B_{\perp} = B\sin\alpha$ – magnit maydonining tokli o‘tkazgichga perpendikulyar tashkil etuvchisi, α – magnit induksiya yo‘nalishi va tok oqish yo‘nalishi orasidagi burchak.

Magnit maydoni tomonidan tokli o‘tkazgichga ta’sir qiluvchi kuchga Amper kuchi deyiladi.

Yuqoridagi formuladan agar $\alpha=90^0$, ya’ni magnit induksiyasi tokli o‘tkazgichga tik bo‘lsa, u holda magnit maydoni o‘tkazgichga eng katta, maksimal kuch bilan ta’sir qilayotgan bo‘ladi.

$$F_{A.MAX} = B\,I\,\ell \qquad (24.2)$$

Ushbu formuladan magnit induksiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$B = \frac{F_{A.MAX}}{I\,\ell} \qquad (24.3)$$

Yuqoridagi formuladan magnit induksiyasiga boshqacha ta’rif berish ham mumkin bo‘ladi.

Maydonning biror nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashtirilgan o‘tkazgich orqali birlik tok o‘tayotganda uning birlik uzunligiga ta’sir qiluvchi kuchga miqdor jihatidan teng bo‘ladi.

Magnit induksiyasining o‘lchov birligi *Tl* (Tesla) bo‘lib unga quyidagicha ta’rif beriladi:

Bir jinsli magnit maydoniga *1 m* uzunlikka ega bo‘lgan va *1 A* tok o‘tayotgan tokli o‘tkazgich tik holda kiritilganda, bu o‘tkazgichga maydon tomonidan *1 N* kuch ta’sir qilsa, bu maydonning induksiyasi *1 T* (*Tesla*) ga teng bo‘ladi.

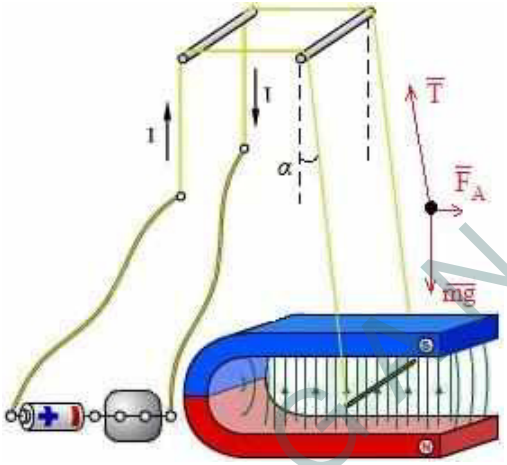
$$\frac{1\,N}{1A\cdot 1m} = 1\,T \qquad (24.4)$$

Amper kuchining kattaligini miqdoriy baholash uchun 24.2-rasmdagidek tajriba o‘tkazamiz. Magnit induksiya chiziqlariga tik holda gorizontal o‘tkazgichni joylashtiramiz. O‘tkazgich yelkalari teng bo‘lgan tarozining bir yelkasiga osilgan va uni ikkinchi yelkasida o‘tkazgich massasiga teng yuk bilan muvozonatlanadi. O‘tkazgichdan tok o‘tkazilganda esa muvozonat buzilib birinchi yelka bosib ketadi. Muvozonatni tiklash uchun esa ikkinchi pallaga qo‘shimcha mg yuk qo‘yiladi. Yelkalar teng bo‘lgani uchun Amper kuchi qo‘shimcha qo‘yilgan yuk og‘irligiga teng, ya’ni $F_A = mg$ bo‘ladi.

Aper kuchini miqdorini aniqlash uchun 24.3-rasmdagi kabi tajriba o‘tkazish ham mumkin. Tokli o‘tkazgichga og‘irlik kuchi mg, Amper kuchi F_A va ipning taranglik kuchi T kuchlari ta’sir qiladi. Statikadan ma’lum uch kuch muvozonati

SINOV UCHUN BERILGAN

haqidagi teoremaga asosan, $tg\alpha = \frac{F_A}{mg}$ formuladan, Amper kuchi $F_A = tg\alpha \cdot mg$ bo‘ladi. Burchakni o‘lchash va ip bilan tokli o‘tkazichni taroziga tortish orqali Amper kuchining qiymatini aniqlash mumkin.



24.3-rasm

Magnit maydoniga kiritilgan tokli o‘tkazgichni maydon bo‘ylab ko‘chirilsa, u holda mexanik ish bajariladi. Agar tokli o‘tkazgichni Amper kuchi bilan ixtiyoriy φ burchak hosil qilib biror d masofaga ko‘chirilsa, bajarilgan ish quyidagicha bo‘ladi:

$$A = \vec{F}_A \cdot \vec{d} = F_A d\cos\varphi = \left(B\,I\,\ell\sin\alpha\right)\cdot\left(d\cos\varphi\right) \qquad \textbf{(24.5)}$$

Agar magnit maydon tok yo‘nalishida ($\alpha=0$) bo‘lsa yoki o‘tkazgichni tok yo‘nalishida ($\varphi=\pi/2$) ko‘chirilsa, bajarilgan ish nolga teng bo‘ladi.

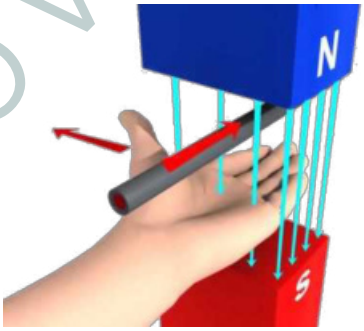
Agar magnit maydon o‘tkazgichga tik ($\alpha=\pi/2$) bo‘lib, o‘tkazgich ham Amper kuchi yo‘nalishida ($\varphi=0$) ko‘chirilsa, bajarilgan ish maksimal bo‘ladi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$A_{max} = B\,I\,\ell\,d \qquad \textbf{(24.6)}$$

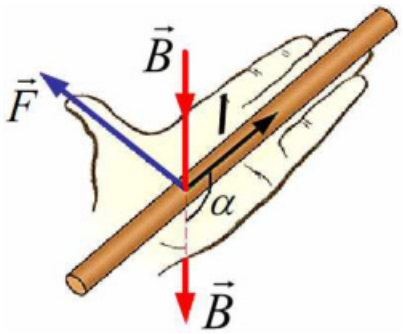
Oldingi boblarda elektr maydoni va Kulon kuchi parallel bo‘lishini ko‘rgan edik. Lekin, Amper kuchining yo‘nalishi magnit maydoni yo‘nalishi bilan mos tushmaydi. Yuqorida topilgan tokli o‘tkazgichga magnit maydoni ta’sir qiladigan kuch formulasi faqatgina Amper kuchining miqdorini aniqlashga yordam beradi.

Chap qo‘l qoidasi:

Amper kuchi vektor kttalik ekan, u yo‘nalishga ega. Amper kuchining yo‘nalishi chap qo‘l qoidasiga asosan aniqlanadi (24.4-a,b,rasm).



a)



b)

24.4-rasm

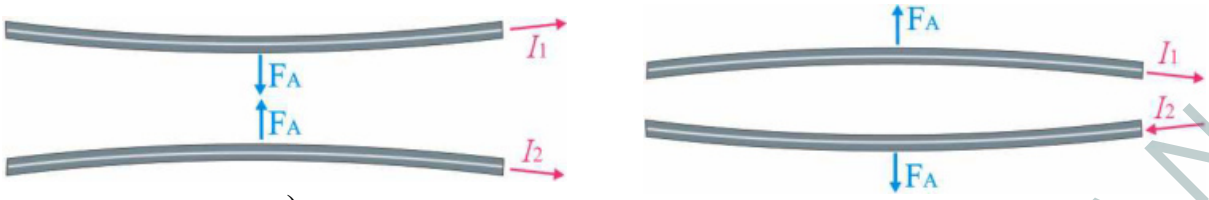
Chap qo‘l qoidasi quyidagicha ta’riflanadi:

Agar chap qo‘limizni induksiya vektorining o‘tkazgichga perpendikulyar bo‘lgan tashkil etuvchisi kaftimizga kiradigan qilib tutib, yoyilagn to‘rt barmoq

SINOV UCHUN BERILGAN

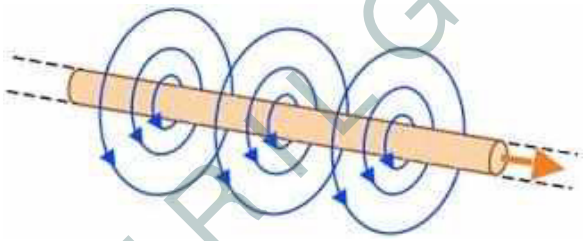
tok yo‘nalishi bo‘yicha ochilsa, 90^0ga kerilgan bosh barmog‘imiz esa o‘tkazgich kesmasiga ta’sir etuvchi kuchning yo‘nalishini ko‘rsatadi.

Parallel toklarning o‘zaro ta’siri:



a) b)

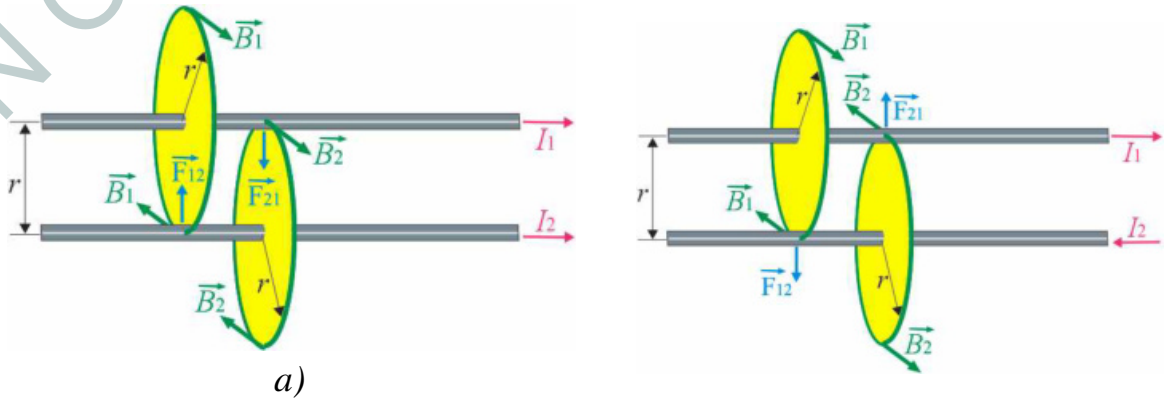
24.5-rasm



24.6-rasm

Tokli o‘tkazgich faqat magnittosh qutblari orasiga kiritilgandagina Amper kuchi ta’sir qilib qolmasdan, balki tokli o‘tkazgich har qanday magnit maydoniga kiritilganda ham bu o‘tkazgichga ta’sir qiluvchi Amper kuchi paydo bo‘ladi. Jumladan, tokli o‘tkazgich boshqa bir tokli o‘tkazgichning maydoniga kiritilganda ham ular o‘zaro ta’sirga kirishadi. O‘zaro parallel toklarning qanday ta’sirlashishi tajribalardan ma’lum. Agar parallel o‘tkazgichlarda toklar bir tomonga yo‘nalgan bo‘lsa, o‘tkazgichlar tortishadi. Agar parallel o‘tkazgichlarda toklar qarama-qarshi tomonga yo‘nalgan bo‘lsa, o‘tkazgichlar itarishadi (24.5-rasm).

Tortishish va itarishish sabablarini esa chap qo‘l qoidasi yordamida osongina tushuntirish mumkin. Ma’lumki, to‘g‘ri tokli o‘tkazgich o‘z atrofida koaksial aylanalar ko‘rinishida magnit maydon hosil qiladi (24.6-rasm). Agar o‘tkazgichlar orasidagi masofa r ga teng bo‘lsa, o‘tkazgichlardan birining hosil qilgan maydon r radiusli aylana bo‘yicha ikkinchisiga perpendikulyar bo‘ladi, ikkinchisiniki ham shu r radiusli aylana bo‘yicha birinchisiga perpendikulyar bo‘ladi. Chap qo‘limizdan foydalanib Amper kuchining yo‘nalishini osongina aniqlashimiz mumkin (24.7-rasm).



a) *b)*

24.7-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Parallel toklarning o‘zaro ta’sir kuchini miqdoriy o‘lchash tajriba yo‘li bilan topilgan. Tajriba natijalariga ko‘ra parallel toklarning o‘zaro ta’sir kuchi har bir o‘tkazgichdagi tok kuchiga proporsional, ya’ni $F_A \sim I_1, F_A \sim I_2$ bo‘ladi. Bundan toklarning o‘zaro ta’sir kuchi tok kuchlari ko‘paytmasiga to‘g‘ri proporsional, ya’ni $F_A \sim I_1 \cdot I_2$ degan xulosa kelib chiqadi. Undan tashqari tajribalardan ta’sir kuchi o‘tkazgichlarning bir-biri bilan ta’sirlashayotgan qism uzunligiga to‘g‘ri proporsional, ya’ni $F_A \sim \ell$ ekanligi aniqlandi. O‘tkazgichlar bir-biridan qancha uzoq joylashtirilsa, ular shuncha kam kuch bilan ta’sirlashadi, ya’ni $F_A \sim 1/r$ ekan.

Shunday qilib, parallel toklarning o‘zaro ta’sir kuchi uchun

$$F_A \sim \frac{I_1 I_2 \ell}{r}$$

ekani aniqlandi. Proporsionallikdan tenglikka har doimgidek koeffitsiyent kiritish orqali o‘tiladi.

$$F = k\frac{I_1 I_2 \ell}{r} \quad [N] \qquad \textbf{(24.7)}$$

Bu yerda: $k = 2 \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ – proporsionallik koeffitsiyenti.

Proporsionallik koeffitsiyentiga quyidagicha ta’rif beramiz:

Vakuumda bir-biridan 1m masofada joylashgan va har biridan 1A dan tok o‘tayotgan ikkita parallel o‘tkazgichning har 1m qism uzunligi bir-biri bilan $2 \cdot 10^{-7}$ N kuch bilan ta’sirlashadi.

Parallel toklarning o‘zaro ta’sir kuchini magnit doimiysi orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi r} \quad [N] \qquad \textbf{(24.8)}$$

Bu yerda: $\mu_0 = 2\pi k = 4\pi \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ – magnit doimiysi.

Agar parallel toklar biror muhitda turgan bo‘lsa, yuqoridagi formula quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$F_M = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi r} \quad [N] \qquad \textbf{(24.9)}$$

Bu yerda: $\mu_0 = \frac{F_M}{F}$ – muhitning magnit singdiruvchanligi bo‘lib, muhit magnit xossalari tufayli ta’sir kuchi vakuumga nisbatan necha marta ortishini bildiradi. Turli muhitning magnit xossalari va ularning magnit singdiruvchanligi haqida keyingi mavzularda batafsil to‘xtalamiz.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Amper qonunini ta’riflang va uning matematik ifodasini yozing.*
2. *Chap qo‘l qoidasini aytib bering. Chap qo‘l qoidasi asosida tok, magit induksiyasi va Amper kuchi yo‘nalishlarini ko‘rdsatib bering hamda ularni*

SINOV UCHUN BERILGAN

koordinata o‘qlariga joylashtiring.

3. *Chap qo‘l qoidasi asosida bir xil yo‘nalishdagi parallel toklarning tortishishini tushuntirib bering.*
4. *Chap qo‘l qoidasi asosida qarama-qarshi yo‘nalgan parallel toklarning itarishishini tushuntirib bering.*
5. *Parallel toklarning o‘zaro ta’sir kuchini aniqlovchi ifodani yozing.*
6. *Proporsionallik koeffitsiyenti k hamda magnit doimiysi μ larning son qiymatlari va o‘lchov birliklarini aytib bering. Ularning orasidagi bog‘lanishni yozing.*

Masala yechish:

1. *Induksiyasi 0,3 T bo‘lgan bir jinsli magnit maydonga uzunligi 0,6 m bo‘lgan 10 A tokli o‘tkazgich kiritildi. Magnit mayaon tomonidan shu o‘tkazgichga ta’sir etishi mumkin bo‘lgan eng katta va eng kichik kuchlarni aniqlang (N).*

A) 20; 10 B) 18; 9 C) 0,9; 0,3 D) 10; 0 E) 1,8; 0.

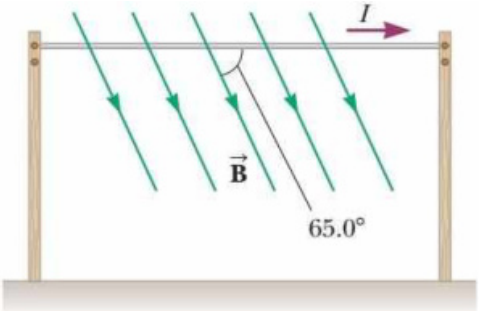
Berilgan	Yechilishi
$B=0,3T$	$1)F_{min}=IBS\sin\alpha \Rightarrow \sin\alpha=0 \quad F_{min}=0$
$l=0,6m$	$2)F_{max}=IBl\sin\alpha \Rightarrow \sin\alpha=1 \quad F_{max}=1.8N$
$I=10A$	Tavsif: Amper kuchini ifodasida sinα ni qabul qilish qiymatiga qarab eng kichik va eng katta qiymatlarni baholaymiz
$F_{min}=?\ F_{max}=?$	**Javob:** E)

2. *2 A tokli 50 cm uzunlikdagi o‘tkazgichga induksiyasi 0,1 T bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda 0,05 N kuch ta’sir etadi. O‘tkazgich bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak kosinusini toping.*

Berilgan	Yechilishi
$I=2A$	$1)\ F=IBl\sin\alpha$
$l=0,5m$	$2)\ \sin\alpha=F/IBl=0.5$
$B=0,1T$	$3)\cos\alpha=\sqrt{1-\sin^2\alpha}=\sqrt{3}/2$
$\cos\alpha=?$	

Javob: $\cos\alpha = \sqrt{3}/2$

3. *58 m uzunlikdagi gorizontal joylashgan yuqori kuchlanish uzatish liniyasi rasmdagi kabi shimol tomonga 2,2 kA tok tashiydi. Yer sharining bu kengligida magnit maydon induksiyasining qiymati $5\cdot10^{-5}$ T ga teng bo‘lib, uning yo‘nalishi esashimol bilan 65^0 burchak tashkil qiladi. Quvvat uzatish liniyasig ata’sir qiluvchi Amper kuchining miqdor va yo‘nalishini aniqlang.*



SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	Yechilishi
$\ell = 58\,m$	*Amper kuchini aniqlash formulasidan foydalanib hisoblaymiz.*
$I = 2200\,A$	$F_A = BI\ell\sin\alpha = \left(5\cdot10^{-5}T\right)\cdot\left(2200\,A\right)\cdot\left(58m\right)\cdot\sin 65^0 =$
$\alpha = 65^0$	$= 5,44\ N$
$B = 5\cdot10^{-5}T$	*Demak, tokli o'tkazgichga 5,44 N ga teng Amper kuchi ta'sir qilar ekan. Bu kuchning yo'nalishi esa chap qo'l qoidasiga asosan rasm tekisligidan biz tomobga yo'naladi.*
F_A=?	

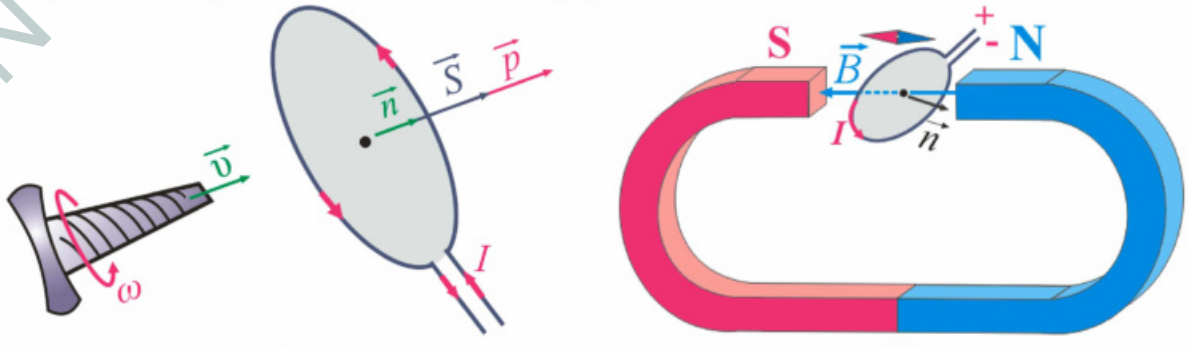
Javob: *F_A=5,44 N; o'quvchi tomonga*

§ 25. MAGNIT MAYDONIDAGI TOKLI KONTURNING MAGNIT MOMENTI, BUROVCHI MOMENTI VA POTENSIAL ENERGIYASI. TOKLI KONTURNI BURISHDA BAJARILGAN ISH.

Magnit maydoniga kirtilgan tokli kontur:

Elektr maydonini tekshirganda nuqtaviy "sinov zaryadi" dan foydalangan edik. Xuddi shunday magnit maydonini tekshirganda "magnit strelka" (strelka shaklidagi kichkina doimiy magnit) yoki "sinov kontur" (kichkina tokli berk kontur)idan foydalanamiz. Bunda "sinov konturi" maydonning berilgan nuqtasidagi xususiyatlariga ta'sir etmasligi uchun uning yuzasi mumkin qadar kichik qilib tanlanadi. Undan tashqari sinov konturining yuzasi ixtiyoriy (uchburchak, to'rtburchak, aylana va h.) shaklda bo'lib, o'ramlar soni ham ixtiyoriy bo'lishi mumkin. "Sinov konturi"ning fazodagi vaziyati yuza normali yo'nalishi bilan aniqlanadi. Yuza normali sirt yuziga tik holda o'tkazilgan musbat birlik vektor $\vec{n}\,(n=1)$ dir. $\vec{n}$ normalning yo'nalishi esa konturdagi tokning yo'nalishiga bog'langan holda o'ng parma qoidasi yordamida aniqlanadi (25.1-a,rasm).

O'ng parma dastasining aylanma harakat yo'nalishi konturdagi tokning yo'nalishi bilan mos tushsa, uning ilgarilanma harakat yo'nalishi esa kontur yuziga o'tkazilgan musbat normalning yo'nalishini ko'rsatadi.



a) *b)*

25.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Oldingi mavzularda aylanma tokning magnit maydoniga ham xuddi shunday ta’rif bergan edik. Demak, kontur normalining yo‘nalishi kontur markazidagi magnit maydon yo‘nalishi bilan mos tushar ekan.

Kontur yuzasini yuza normaliga ko‘paytmasi yuza vektorini beradi (25.1-a,rasm).

$$\vec{S} = S \cdot \vec{n} \qquad (25.1)$$

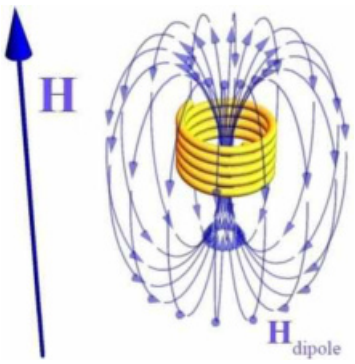
Magnit moment:

“Sinov konturi” konturning magnit momenti deb ataluvchi vektor kattalik bilan xarakterlanadi.

Konturning magnit momenti deb konturdan o‘tayotgan tok kuchining yuza vektoriga ko‘paytmasiga teng bo‘lgan vektor kattalikka aytiladi.

$$\vec{P}_\mu = I \cdot \vec{S} = I \cdot S \cdot \vec{n}\,, \quad P_\mu = I \cdot S \qquad (25.2)$$

Demak, yuza normali, yuza vektori va magnit momenti vektorlari yo‘nalishdosh ekan (25.8-rasm). Magnit moment kattaligi atom, yadro va zarralar fizikasida hamda kvant mexanikasida juda katta ahamiyatga egadir. Unda har bir zarraning xususiy va orbital magnit momentlari o‘rganiladi. Konturni biror tashqi magnit maydoniga kiritilganda unga albatta magnit maydoni tomonidan ta’sir bo‘ladi. Bunda konturning magnit momentini magnit dipol deb ham ataladi. 25.2-rasmda magnit dipolning maydoni tasvirlangan.



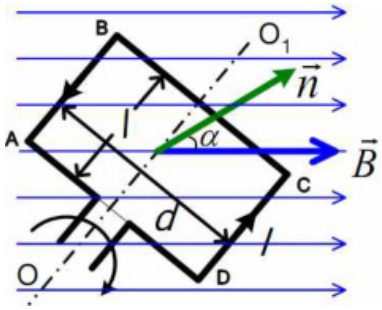
25.2-rasm

Burovchi moment:

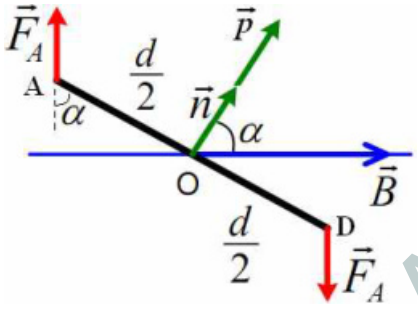
Magnit maydon chiziqlariga tik OO_1 o‘q atrofida aylanuvchi to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi $ABCD$ tokli konturni olaylik (25.3-a,rasm). Bu konturning bo‘yi $AB=CD=\ell$ ga, eni esa $BC=DA=d$ ga teng. Bu konturning to‘rtala tomoni ham magnit maydoniga kiritilgan tokli o‘tkazgichlar bo‘lgani uchun ularning har biriga magnit maydoni tomonidan Amper kuchlari ta’sir qiladi. Jumladan, konturning AB va CD tomonlariga teng miqdorda $F_{AB} = F_{CD} = B\,I\,\ell$ ga teng, BC va DA tomonlariga esa $F_{BC} = F_{DA} = B\,I\,d$ ga teng amper kuchlari ta’sir qiladi. BC va DA tomonlariga ta’sir qiluvchi Amper kuchlari har doim bir tekislikda yotadi, miqdoran teng bo‘lib qarama-qarshi tomonga yo‘naladi, bu kuchlar orasidagi yelka har doim nolga teng bo‘ladi. Shuning uchun ham, bu kuchlar juft kuchlarni (burovchi momentni) hosil qilmaydi va bu kuchlar ta’sirida aylanma harakat yuzaga kelmaydi. Konturning AB va CD tomonlariga ta’sir qiluvchi Amper kuchlari esa juft kuchlarini (burovchi momentni) hosil qiladi. Chunki, bu kuchlar orasidagi masofa $x=d\sin\alpha$ ga teng parallel chiziqlarda yotib, yo‘nalishlari esa qarama-qarshi bo‘ladi. Shuning uchun,

SINOV UCHUN BERILGAN

bu juft kuchlar ta’sirida burovchi moment paydo bo‘lib, sim ramkani OO_1 o‘q atrofida aylantirishga intiladi (25.3-b,rasm).



a)



b)

25.3-rasm

Mexanikaning statika bo‘limidan ma’lumki, juft kuch va bu kuchlar orasidagi yelka ko‘paytmasi burovchi momentni beradi. Unga ko‘ra

$$M = F_A \cdot x = B\,I\,\ell\,d\sin\alpha = B\,I\,S\sin\alpha = B\,p_\mu\sin\alpha$$

bo‘ladi.

Demak, magnit maydoniga kiritilgan berk konturda hosil bo‘ladigan burovchi moment quyidagi formuladan aniqlanar ekan:

$$M = B\,I\,S\sin\alpha = B\,p_\mu\sin\alpha \qquad \textbf{(25.3)}$$

Yuqoridagi formulani vektor ko‘rinishda yozadigan bo‘lsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\vec{M} = \vec{p}_\mu \times \vec{B} = I\left(\vec{S}\times\vec{B}\right) = I\,S\left(\vec{n}\times\vec{B}\right) \qquad \textbf{(25.4)}$$

Demak, burovchi moment vektori magnit induksiya vektori bilan magnit momenti vektorining vektorli ko‘paytmasiga teng bo‘lar ekan. Yuqoridagi rasmda moment vektori OO_1 o‘q bo‘ylab O_1 nuqtadan O nuqtaga tomon yo‘naladi va moment vektori uchida qaralganda aylanma harakat soat miliga qarama-qarshi yo‘nalishda sodir bo‘ladi.

Kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga tik bo‘lganda ($\alpha=0$), burovchi momentning qiymati nolga teng bo‘ladi. Aksincha kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga parallel bo‘lganda ($\alpha=\pi/2$) esa, burovchi momentning qiymati maksimal bo‘ladi. Maksimal burovchi moment quyidagicha bo‘ladi:

$$M_{\max} = B\,I\,S = B\,p_\mu \qquad \textbf{(25.5)}$$

Magnit maydoniga kiritilgan berk konturda hosil bo‘ladigan magnit maydonidan hayotda va texnikada juda ko‘p qo‘llaniladi. Xususan, barcha turdagi elektrodvigatellarning ishlash prinsipi ana shunga asoslangan.

Konturni burishda bajarilgan ish, konturning potensial energiyasi:

Mexanikaning dinamika bo‘limidan bizga ma’lumki, potensial energiya – bu ta’sir energiyasidir. Ta’sirlashuvchi har qanday jismlar ish bajarish qobiliyatiga, shuningdek potensial energiyaga ega bo‘ladi. Magnit maydoniga kiritilgan sinov konturiga ta’sir qiluvchi burovchi moment bajargan ishni hisoblaylik.

SINOV UCHUN BERILGAN

Qattiq jismlar mexanikasidan ma'lumki, burovchi moment va burilish burchagi bog'langan grafik bilan chegaralangan yuza burishda bajarilgan ishni beradi, ya'ni

$$A=\int_{\alpha 1}^{\alpha 2} M(\varphi)d\varphi$$

bo'ladi. Shunga ko'ra, magnit maydonining konturni burishda bajargan ishi

$$A_{mag}=\int_{\alpha 1}^{\alpha 2} M(\varphi)d\varphi=\int_{\alpha 1}^{\alpha 2} BIS\sin\varphi d\varphi=BIS(-\cos\varphi)\Big|_{\alpha 1}^{\alpha 2}=-BIS\cos\alpha_2-(-BIS\cos\alpha_1)=$$

$$=W_{p1}-W_{p2}=BIS(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1)=Bp_{\mu}(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda W_p=-$BIS\cos\alpha$ ni magnit maydondagi tokli konturning potensial energiyasi deb belgiladik.

Demak, tokli konturni burishda magnit maydoni bajaradigan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A_{mag}=W_{p1}-W_{p2}=BIS(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1)=Bp(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1) \qquad (25.6)$$

Mexanikadan ichki va tashqi kuchlar jismni qarama-qarshi tomonga ko'chirishga intilishini, hamda bu kuchlar bajargan ishlar ham o'zaro (-) ishora bilan bog'langanini bilamiz. Xuddi shuningdek, tashqi kuchlar bajargan ish magnit maydoni bajargan ish bilan (-) ishora bilan bog'langan, ya'ni $A_{tash}=-A_{mag}$ bo'ladi. Shunga ko'ra konturni maydonga qarama-qarshi burishda bajarilgan ishni aniqlash mumkin.

Demak, tokli konturni magnit maydoniga qarshi burishda tashqi kuchning bajaradigan ish quyidagicha bo'lar ekan:

$$A_{tash}=W_{P2}-W_{P1}=BIS(\cos\alpha_1-\cos\alpha_2)=Bp(\cos\alpha_1-\cos\alpha_2) \qquad (25.7)$$

Magnit maydoniga kiritilgan tokli berk konturning potensial energiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W_P=-BIS\cos\alpha=-\vec{B}\cdot\vec{p}_{\mu} \qquad (25.8)$$

Demak, yuqoridagi formuladan quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

1) agar tokli kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga parallel ($\alpha=\pi/2$) bo'lsa, konturning potensial energiyasi o'zining eng maksimal $W_{p.\max}=0$ qiymatiga erishadi;

2) agar tokli kontur tekisligi magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar ($\alpha=0$) bo'lsa, konturning potensial energiyasi o'zining eng minimal $W_{P.\min}=-BIS=-Bp$ qiymatiga erishadi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Sinov konturi nima? Sinov konturining magnit momenti qanday aniqlanadi? Uning yo'nalishichi?*
2. *Magnit momentining mavjudlik shartlarini aytib bering.*

SINOV UCHUN BERILGAN

3. *Magnit maydoniga kiritilgan tokli konturga ta'sir qiluvchi burovchi momentning vektor va skalyar ko'rinishdagi formulalarini yozib bering.*
4. *Magnit maydonga kiritilgan tokli konturni burishda (magnit maydoni yoki tashqi kuch tomonidan) bajarilgan ishlarni yozb bering.*
5. *Magnit maydoniga kiritilgan tokli ramkaning potensial energiyasini yozing.*

Masala yechish:

1. *Radiusi 5 cm bo'lgan sim halqa induksiyasi 0,2 T bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Agar halqadan 2 A tok o'tayotgan bo'lsa, magnit maydon tomonidan unga qanday maksimal kuch momenti ta'sir etadi (N·m)?*

A) $6{,}28\cdot10^{-6}$ B) $3{,}14\ 10^{-3}$ C) 31,4 D) 3,14 E) $3{,}14\cdot10^{-6}$

Berilgan	Yechilishi
$R=5\cdot10^{-2}m$	1) $F=\beta Il$
$B=0{,}2T$	2) $l=2pr;S=pR^2$
$I=2A$	3) $M=IBS=pI\beta R^2=p\cdot10^{-3}$ N·m
$M=?$	**Javob:** B)

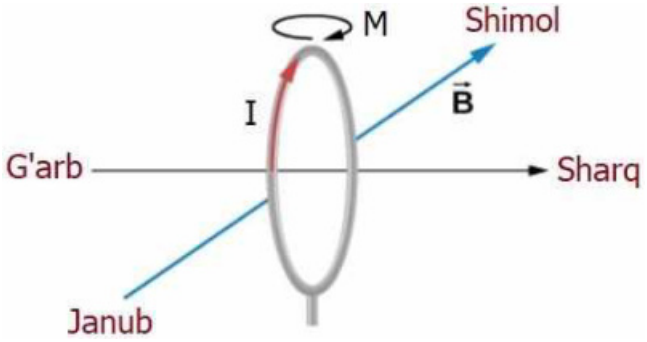
2. *Induksiyasi $4/\pi$ T bo'lgan bir jinsli magnit maydon diametri 10 sm bo'lgan va 1 A tok o'tayotgan o'ram bor. O'ramning tekisligi magnit induksiya vektoriga parallel O'ramni uning tekisligi magnit induksiya vektoriga tik bo'ladigan qilib 90° ga burish uchun necha millijoul ish bajarish kerak?*

Berilgan:	Yechilishi:
$I = 1A$	1) $A = \Delta W$
$\alpha = 90°$	2) $\Delta W = \lvert W_2 - W_1 \rvert$
$d = 0{,}1m$	3) $W_2 = 0$
$B = \frac{4}{\pi}T$	4) $A = W_1 = \frac{LI^2}{2}$
α-?	5) $LI = BS$
	6) $A = \frac{BSI}{2} = \frac{\frac{4}{\pi}\cdot\frac{\pi d^2}{4}\cdot I}{2} = \frac{d^2 I}{2} = \frac{0{,}01\cdot1}{2} = 0{,}005\ J.$

Javob: 5 mJ

3. *200 ta o'ramga ega bo'lgan 50 cm radiusli doiraviy vertikal kontuning o'qi rasmdagi kabi g'arbdab sharqqa yo'nalgan. Konturda 100 A tok sharqdan qaraganda soat mili bo'yicha oqadi. Yerning $3\cdot10^{-5}$ T ga teng bo'lgan tabiiy magnit maydoni yer sirtiga parallel holda shimolga yo'nalgan. Konturga ta'sir qiluvchi burovchi momentnig qiymati qanday? Bu moment qaysi tomonga yo'nalgan?*

SINOV UCHUN BERILGAN



Berilgan	*Yechilishi*
N=200	*Eng avvalo tokli konturning magnit momentini aniqlaymiz.*
r=50 cm	$p_m = IS = \pi r^2 I = 3{,}14 \cdot (0{,}5m)^2 \cdot 100A = 78{,}5\ A \cdot m^2$
B=3·10-5 T	*Bu magnit momenti sharqdan g'arb tomonga yo'naladi.*
I=100 A	*Burovchi momentning yo'nalishi*
M=?	$\vec{M} = \vec{p}_\mu \times \vec{B}$

vektorli ko'paytmga asosan pastga yo'naladi, qiymati esa

$$M = p_\mu B \sin(\vec{p} \wedge \vec{B}) = (78{,}5\,A \cdot m^2) \cdot (3 \cdot 10^{-5} T) \cdot \sin 90^0 = 2{,}355 \cdot 10^{-3}\ N \cdot m = 2{,}355\ mN$$

bo'ladi.

Javob: *M=2,355 mN; pastga yo'nalgan.*

§ 26. BIO-SAVAR-LAPLAS QONUNI VA UNDAN KELIB CHIQADIGAN NATIJALAR.

Magnit maydonni tokli o'tkazgichlar hosil qilishini bilib oldik. Tokli o'tikazgichlar ichida esa zaryad tashuvchi erkin elektironlar harakatlanadi. Shuning uchun, magnit maydonini harakatlanayotgan zaryadli zarra hosil qiladi yoki elektr maydoni siljiganda magnit maydoni hosil bo'ladi deyish mumkin. Shunday ekan, tokli o'tkazgichlarning magnit maydoni qanday hisoblab topiladi?

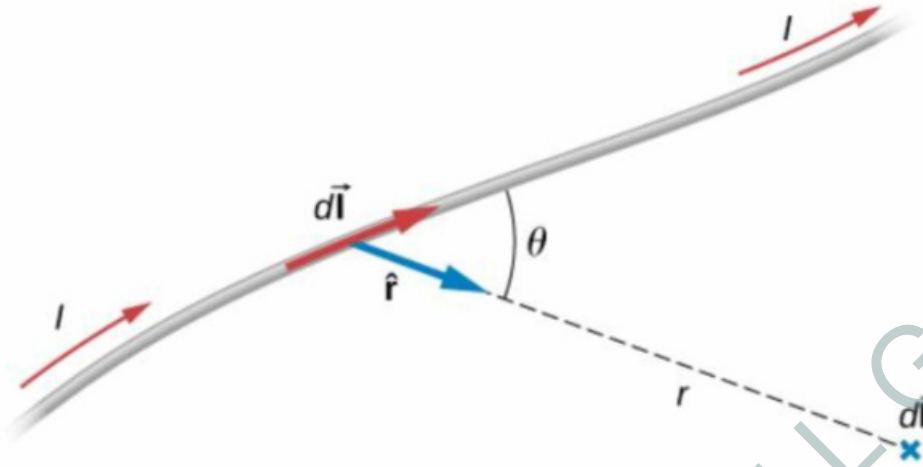
Bio-Savar-Laplas qonuniga ta'rif:

Tokli o'tkazgichlarning magnit maydonini hisoblash ustida Bio, Savar va Laplaslar ish olib borganlar. Bio va Savar turli shakldagi tokli o'tkazgichlar atrofidagi magnit maydonlarni tekshirish natijasida magnit induksiyasi tok kuchi *I* ga to'g'ri proporsional, tokli o'tkazgichgacha bo'lgan masofa *r* ga esa teskari proporsional degan xulosaga kelishganlar. Laplas ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichlar atrofidagi nuqtalar uchun magnit induksiyasini aniqlash imkonini beradigan formulani taklif qilgan.

Laplas maydonlar superpozitsiya prinsipidan foydalanib shunday xulosaga keldi: bir necha toklar hosil qilayotgan natijaviy maydon har bir tok hosil qilayotgan maydonlarning geometrik yig'indisiga teng bo'lar ekan, ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgichning maydoni ham bu o'tkazgichni mayda qismlarga bo'laklaganda har bir qism hosil qilgan maydonlarning geometrik yig'indisiga teng

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lish kerak deya ta’kidladi. Laplas birinchi bo‘lib ***tok elementi*** tushunchasini kiritdi.



26.1-rasm

Ixtiyoriy shakldagi o‘tkazgichni elementar $d\ell$ bo‘lakchalarga ajratish mumkin. Elementar bo‘lakcha $d\ell$ ni tok kuchi I ga ko‘paytmasini, ya’ni tok oqayotgan tomonga yo‘nalgan $Id\vec{\ell}$ vektor kattalikni ***tok elementi*** deb atadi (26.1-rasm).

Olimlar Bio-Savar-Laplas tok elementi hosil qilgan magnit induksiya vektorini ko‘rsatuvchi quyidagi formulani kashf qilishdi (26.1-rasm):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\left[d\vec{\ell}\times\vec{r}\right]}{r^3} \qquad (26.1)$$

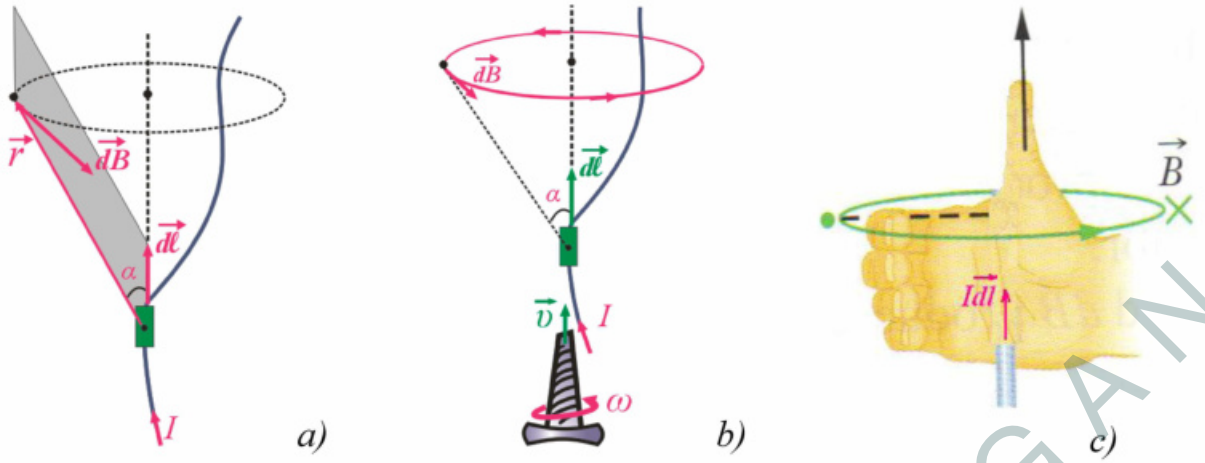
Magnit maydon $d\vec{B}$ ning yo‘nalishi $d\vec{\ell}\times\vec{r}$ vektorli ko‘paytma yo‘nalishi bilan mos tushadi. $d\vec{\ell}\times\vec{r}$ vektorli ko‘paytmaning miqdori esa $d\vec{\ell}$ va $\vec{r}$ vektorlarga qurilgan parallelogramning yuziga teng bo‘ladi, ya’ni $\left|d\vec{\ell}\times\vec{r}\right| = d\ell r\sin\alpha$ bo‘ladi. Magnit maydon $d\vec{B}$ ning yo‘nalishini aniqlash uchun 3ta ta’rif keltiramiz (26.2-rasm):

1-ta’rif (vektor ko‘paytma ta’rifi): $d\vec{B}$ vektor shunday yo‘naladiki, bu vektorning uchidan qaraganda $d\vec{\ell}$ vektorni $\vec{r}$ vektor bilan eng qisqa yo‘l bilan ustma-ust tushirishda aylanma harakat soat strelkasiga qarama-qarshi ko‘rinish kerak (26.2-a,rasm).

2-ta’rif (o‘ng parma qoidasi): Agar o‘ng parmaning ilgarilanma harakati $d\vec{\ell}$ vektorning yo‘nalishini ko‘rsatsa, u holda parma dastasining aylanish yo‘nalishi $d\vec{B}$ vektorning yo‘nalishini ko‘rsatadi (26.2-b,rasm).

3-ta’rif (o‘ng qo‘l qoidasi): Agar o‘ng qo‘limizning 90^0 ga kerilgan bosh barmog‘i to‘g‘ri tok yo‘nalishini ko‘rsatsa, u holda parma dastasining aylanish yo‘nalishi magnit induksiya vektorining yo‘nalishi bilan bir xil bo‘ladi (26.2-c,rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN



26.2-rasm

Shunday qilib, $d\vec{B}$ vektorning yo‘nalishi $d\vec{\ell}$ va $\vec{r}$ vektorlardan o‘tuvchi tekislikka perpendikulyar, ya’ni $d\vec{B} \perp d\vec{\ell}$, $d\vec{B} \perp \vec{r}$ bo‘lar ekan.

Bio-Savar-Laplas qonuniga ko‘ra tok elementi hosil qilgan magnit maydon induksiyasi son jihatdan quyidagicha topiladi:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, d\ell \sin\alpha}{r^2} \qquad (26.2)$$

Ixtiyoriy shakldagi tokli o‘tkazgichning maydoni tok elementlari hosil qilgan maydonlarning geometrik yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$\vec{B} = \int d\vec{B} \qquad (26.3)$$

Endi Bio-Savar-Lapalas qonunini turli shakldagi o‘tkazgichlar uchun tatbiq qilib, bu o‘tkazgichlarning magnit maydon induksiyasini topamiz.

To‘g‘ri chiziqli tekis harakatlanayotgan nuqtaviy zaryadning magnit maydoni:

Ma’lumki, zaryadli zarrachalarning bir tomonga ko‘chkisi tokni hosil qiladi. Shunday ekan, har qanday tok elementida ham ma’lum sondagi tok tashuvchi zaryadli zarrachalar mavjud. Bu zaryadli zarrachalarning yig‘indi zaryadini $q=Ne$, uning harakatidan hosil bo‘lgan tokni $I = \frac{q}{dt} = \frac{Ne}{dt}$, tok elementini esa $I\,d\ell = \frac{q}{dt} d\ell = q\vartheta$ bilan belgilash mumkin.

Tok elementi o‘rniga harakatlanayotgan nuqtaviy zaryadni olsak, uning magnit maydon induksiyasi quyidagicha bo‘ladi (26.1-rasm):

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vartheta \sin\alpha}{r^2} \qquad (26.4)$$

To‘g‘ri tokning magnit maydoni:

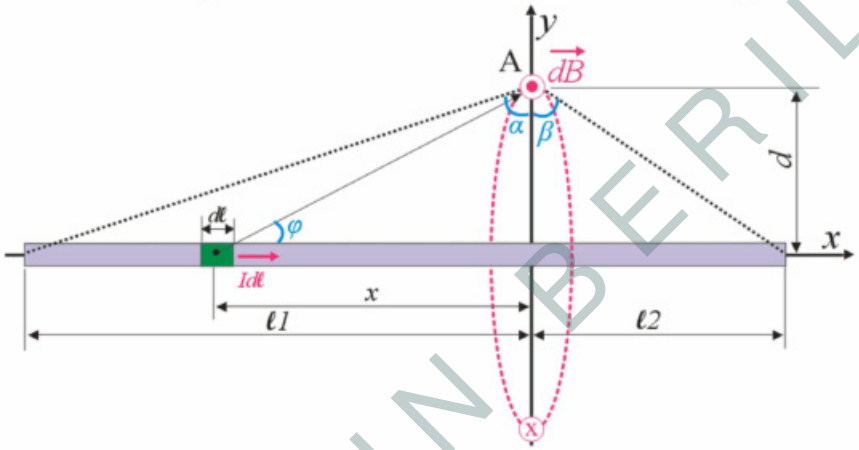
To‘g‘ri tokning magnit madonini dastlab chekli uzunlik uchun hisoblab, so‘ngra uni cheksiz uzunlik uchun tatbiq etamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

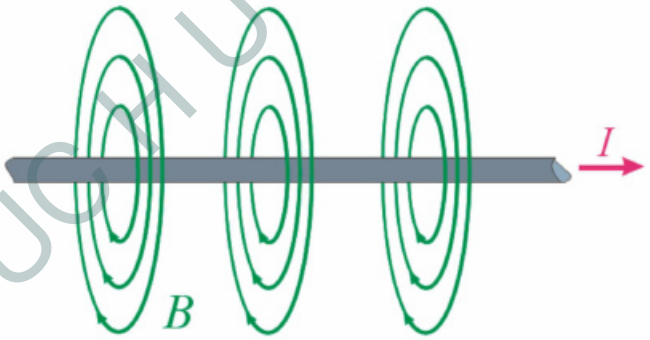
Biror uzunlikdagi chekli to‘g‘ri tokli o‘tkazgich berilgan bo‘lib, bu o‘tkazgichdan ixtiyoriy d masofadagi A nuqtada magnit induksiyasi so‘ralgan bo‘lsin. A nuqtadan o‘tkazgich uchlariga qaraganda α va β burchaklar ostida ko‘rinsin (24.2-a,rasm). A nuqtadan Oy o‘qini, o‘tkazgich orqali esa Ox o‘qini o‘tkazamiz. Koordinata boshidan ixtiyoriy x masofada $d\ell=dx$ uzunlikdagi $Id\ell=Idx$ tok elementini olamiz. Bu tok elementining A nuqtadagi magnit induksiyasi

$$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\ell\,\sin\varphi}{r^2}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,dx}{x^2+d^2}\cdot\frac{d}{\sqrt{x^2+d^2}}=\frac{\mu_0\,I\,d}{4\pi}\cdot\frac{dx}{\left(x^2+d^2\right)^{3/2}}$$

ga teng bo‘ladi. Bu elementar magnit induksiyasini $-\ell_1$ dan $+\ell_2$ gacha integrallab so‘ralgan kattalikni aniqlashimiz mumkin. Hisoblashlar natijasida



a)



b)

26.3-rasm

$$\vec{B}=\int d\vec{B}=\frac{\mu_0\,I\,d}{4\pi}\cdot\int_{-\ell1}^{\ell2}\frac{dx}{\left(x^2+d^2\right)^{3/2}}=\frac{\mu_0\,I\,d}{4\pi}\cdot\frac{1}{d^2}\cdot\frac{x}{\sqrt{x^2+d^2}}\Bigg|_{-\ell1}^{\ell2}==\frac{\mu_0\,I}{4\pi\,d}\cdot$$

$$\cdot\left(\frac{\ell_2}{\sqrt{\ell_2^2+d^2}}-\frac{-\ell_1}{\sqrt{\ell_1^2+d^2}}\right)=\frac{\mu_0\,I}{4\pi\,d}\cdot\left(\sin\alpha+\sin\beta\right)=k\frac{I}{2d}\cdot\left(\sin\alpha+\sin\beta\right)$$

formula kelib chiqadi.

Shunday qilib, chekli uzunlikdagi to‘g‘ri tokli o‘tkazgichning o‘tkazgichdan d masofadagi magnit induksiyasi quyidagicha bo‘lar ekan (26.3-a,rasm):

$$B=\frac{\mu_0\,I}{4\pi\,r}\left(\sin\alpha+\sin\beta\right)=k\frac{I}{2r}\left(\sin\alpha+\sin\beta\right)\qquad\textbf{(26.5)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqorila keltirib chiqarilgan formulada $\alpha=\beta=90^0$ desak, u holda cheksiz to‘g‘ri o‘tkazgichning maydoni hosil bo‘ladi.

$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi r}\left(\sin 90^0+\sin 90^0\right)=\frac{\mu_0 I}{4\pi r}(1+1)=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}=k\frac{I}{r}$$

Demak, cheksiz uzunlikdagi to‘g‘ri tokli o‘tkazgichning o‘tkazgichdan d masofadagi magnit induksiyasi quyidagi formula yordamida hisoblanar ekan (26.3-b,rasm):

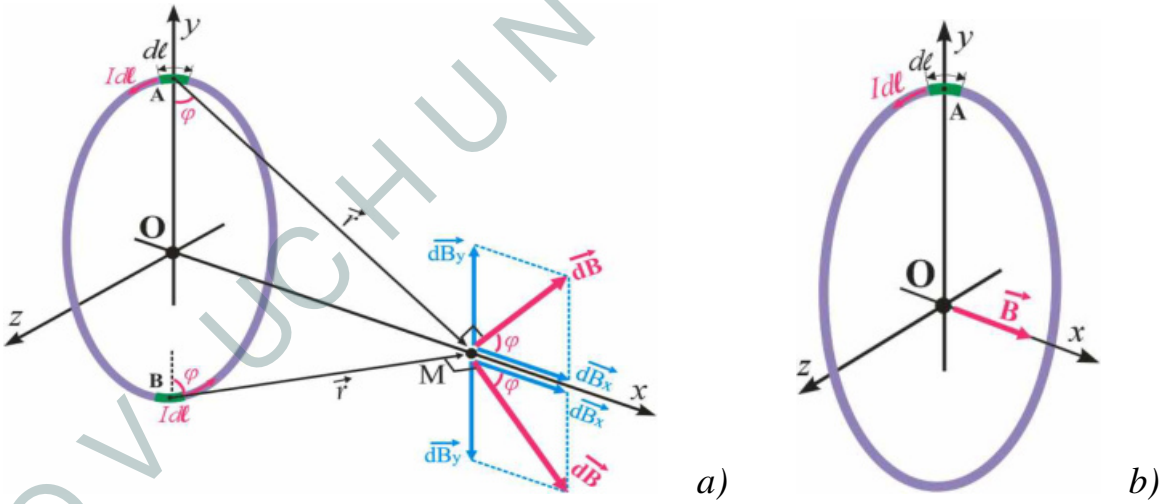
$$\boxed{B=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}=k\frac{I}{r}} \qquad (26.6)$$

Aylanma tokning magnit maydon:

Aylanma tokning magnit maydonini dastlab aylana o‘qida yotgan nkqta uchun keltirib chiqaramiz. So‘ngra aylana markazi uchun xususiy hol sifatida yozamiz.

Aylanma tokning ixtiyoriy A nuqtasidan $d\ell$ uzunlikdagi $I\,d\vec{\ell}$ tok elementini olamiz. $d\vec{\ell}$ vektor va M nuqtaga o‘tkazilgan $\vec{r}$ radius-vektor orasidagi burchak α har doim 90^0 ga teng. Tok elementining M nuqtadagi magnit induksiyasi

$$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\ell\,\sin\alpha}{r^2}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\ell\sin 90^0}{\sqrt{R^2+L^2}}=\frac{\mu_0 I}{4\pi\sqrt{R^2+L^2}}d\ell$$



26.4-rasm

ga teng bo‘ladi. Bu elementar magnit induksiyasining Ox va Oy o‘qlardagi proeksiyalari mos holda $\begin{cases} dB_x=dB\cdot\cos\varphi \\ dB_y=dB\cdot\sin\varphi \end{cases}$ bo‘ladi. Lekin, aylananing qarama-qarshi tomonlaridan olingan A va B nuqtalaridagi magnit induksiyalarining Oy o‘qdagi proyeksiyalari qarama-qarshi tomonga yo‘nalgan va miqdorlari teng bo‘lgani uchun bu proyeksiyalar yig‘indisi nolga teng bo‘ladi. Natijada magnit induksiyasining faqat Ox o‘qdagi proyeksiyasi qoladi. Shuning uchun, aylanma tok hosil qilayotgan magnit induksiyasi tok elementlarining Ox o‘qdagi proyeksiyalari yig‘indisiga teng, ya’ni $\vec{B}=\oint d\vec{B}=\oint dB_x$ bo‘ladi. Unga ko‘ra magnit induksiyasi

SINOVDAN O'TGAN

$$B=\int_0^{2\pi R} dB_x=\int_0^{2\pi R}\frac{\mu_0 I}{4\pi\sqrt{R^2+L^2}}d\ell\cdot\cos\varphi=\frac{\mu_0 I R}{4\pi\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}\int_0^{2\pi R} d\ell=\frac{\mu_0 I R^2}{2\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}$$

ga teng bo‘ladi.

Demak, R radiusli aylanma tokning markazidan ixtiyoriy L masofada magnit induksiyasi quyidagicha bo‘lar ekan (26.4-a,rasm):

$$B=\frac{\mu_0 I R^2}{2\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}=\pi k\frac{I R^2}{\left(R^2+L^2\right)^{3/2}} \qquad (26.7)$$

Yuqoridagi formulada $L=0$ desak, u holda aylana markazi uchun magnit induksiyasi uchun ushbu

$$B=\frac{\mu_0 I R^2}{2\left(R^2+L^2\right)^{3/2}}=\frac{\mu_0 I R^2}{2\left(R^2+0^2\right)^{3/2}}=\frac{\mu_0 I R^2}{2R^3}=\frac{\mu_0 I}{2R}=\frac{\pi k I}{R}$$

qiymati kelib chiqadi.

Demak, R radiusli aylanma tokning markazida magnit induksiyasi quyidagicha bo‘lar ekan (26.4-b,rasm):

$$B=\frac{\mu_0 I}{2R}=\pi k\frac{I}{R} \qquad (26.8)$$

Shunday qilib, Bio-Savar-Laplas qonuni tokli o‘tkazgichlarning magnit maydonini hisoblash uchun universal qonun bo‘lib, bu qonun yordamida yuqorida ko‘rib o‘tilganlardan tashqari ixtiyoriy shakldagi fazoda yoki tekislikda berilgan tokli o‘tkazgichlarning ham magnit maydonlarini hisoblab chiqarish mumkin.

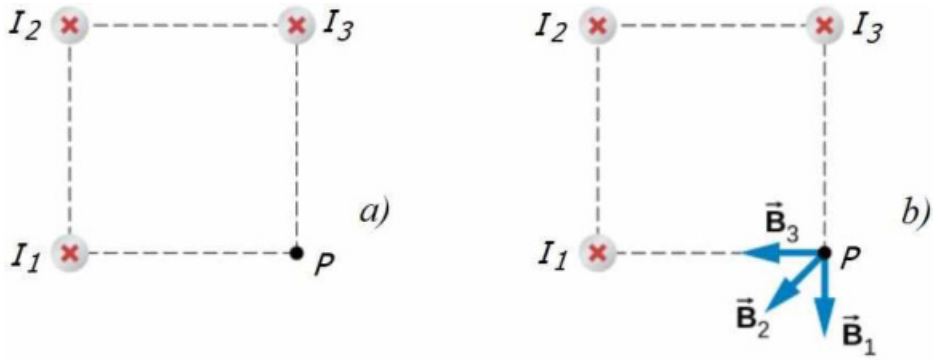
Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Bio-Savar-Laplas qonunining vektor ko‘rinishidagi ifodasini yozib bering.*
2. *Bio-Savar-Laplas qonunining skalyar ko‘rinishidagi ifodasini yozib bering.*
3. *To‘g‘ri chiziqli tekis harakat qilayotgan zaryadning magnit maydoni qanday aniqlanadi?*
4. *Chekli to‘g‘ri o‘tkazgichning magnit maydoni qanday aniqlanadi?*
5. *Cheksiz tokli to‘g‘ri o‘tkazgichning magnit maydoni qanday aniqlanadi?*
6. *Tokli aylanma o‘tkazgichning oqida joylashgan ixtiyoriy nuqtadagi magnit maydoni qanday aniqlanadi?*
7. *Tokli aylanma o‘tkazgichning markazidagi magnit maydon qanday aniqlanadi?*

Masala yechish:

1. *Uchta parallel tokli o‘tkazgich kvadratning uchta uchida joylahgan bo‘lib, ulardan bir xil 2 A dan tok rasm tekisligi tomon yo‘nalgan tok o‘tmoqda (a-rasm). Agar kvadratning tomoni 1 cm ga teng bo‘lsa, to‘rtinchi uchidagi P nuqtada natijaviy magnit induksiyasi nimaga teng bo‘ladi?*

SINOV UCHUN BERILGAN



Berilgan	Yechilishi
$I=2$ A $a=1$ cm $B_P=?$	Avvalo har bir tokli o‘tkazgich hosil qilgan magnit maydonlarning yo‘nalishlarini aniqlab olamiz (b-rasm). Bu ishni o‘ng vint qoidasidan foydalanib amalga oshiramiz. I_1 tokning maydoni pastga, I_3 tokning maydoni chapgava I_2 tokning maydoni 45^0 burchak ostida pastga qiya yo‘nalgan bo‘ladi (b-rasm).

Endi esa har bir tok hosil qilgan magnit induksiyalarining son qiymatini hisoblaymiz.

$$B_1 = B_3 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{\left(4\pi\cdot 10^{-7}\frac{Tl\cdot m}{A}\right)\cdot(2\,A)}{2\pi\cdot\left(10^{-2}m\right)} = 4\cdot 10^{-5}\,T$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\sqrt{2}\pi a} = \frac{\left(4\pi\cdot 10^{-7}\frac{Tl\cdot m}{A}\right)\cdot(2\,A)}{2\sqrt{2}\pi\cdot\left(10^{-2}m\right)} = 2\sqrt{2}\cdot 10^{-5}\,T$$

Topilgan qiymatlarning Ox o‘qiga proyeksiyalari yig‘indisi hamda Oy o‘qiga proyeksiyalari yig‘indisini hisoblaymiz.

$$B_{P.x} = -B_3 - B_2\cos 45^0 = -4\cdot 10^{-5}\,Tl - \left(2\sqrt{2}\cdot 10^{-5}\,Tl\right)\cdot\cos 45^0 = -6\cdot 10^{-5}\,T$$

$$B_{P.y} = -B_1 - B_2\sin 45^0 = -4\cdot 10^{-5}\,Tl - \left(2\sqrt{2}\cdot 10^{-5}\,Tl\right)\cdot\sin 45^0 = -6\cdot 10^{-5}\,T$$

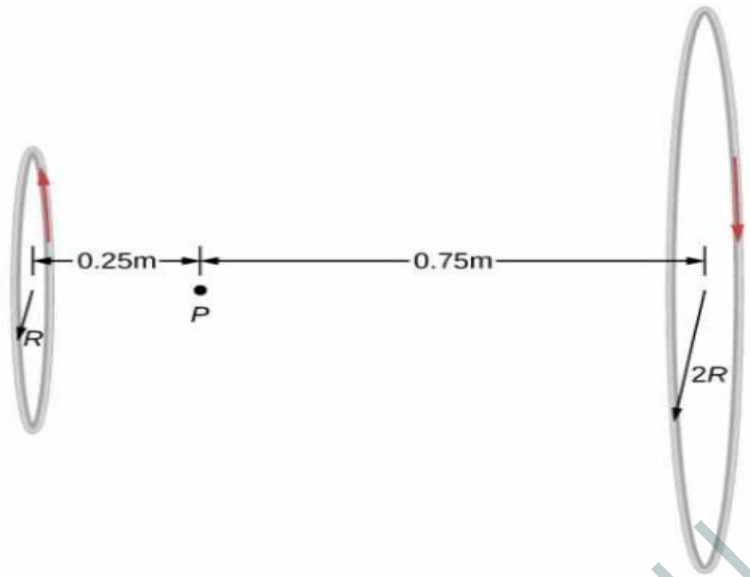
Endi esa P nuqtadagi natijaviy magnit maydon induksiyasini aniqlaymiz.

$$B_P = \sqrt{B_{P.x}^2 + B_{P.y}^2} = \sqrt{\left(-6\cdot 10^{-5}\,T\right)^2 + \left(-6\cdot 10^{-5}\,T\right)^2} = -6\sqrt{2}\cdot 10^{-5}\,T \approx 8{,}49\cdot 10^{-5}\,T = 84{,}9\ \mu T$$

Javob: $B_P=84{,}9\ \mu T$; B_2 induksiya vektori yo‘nalishi bo‘yicha yo‘nalgan.

2. Aylana sim konturlarda bir xil 10 mA dan tok rasmda ko‘rsatilgani kabi qarama-qarshi tomonga oqadi. Xalqalardan birining $R=50$ cm radiusga, ikkinchining esa $2R=100$ cm radiuslarga ega ekanligi o‘lchandi. Birinchi xalqadan magnit induksiyasi o‘lchanadigan P nuqtagacha masofa 0,25 m va ikkinchi xalqadanP nuqtagacha masofa 0,75 m. P nuqtadagi magnit induksiyasining natijaviy qiymati nimaga teng?

SINOV UCHUN BERILGAN



Berilgan	*Yechilishi*
I=10 mA	*Avvalo har bir tokli xalqaning P nuqtada hosil qilgan magnit maydonlarining yo‘nalishlarini aniqlab olamiz. Bu ishni o‘ng vint qoidasidan foydalanib amalga oshiramiz. Birinchi xalqaning maydoni o‘ng tomonga va ikkinchi xalqaning ham maydoni o‘ng tomonga yo‘nalgan. Ya’ni ikkala tokning ham P nuqtadagi magnit maydonlari yo‘nalishdosh. Har bir tokli xalqaning P nuqtadagi magnit induksiyalaruning son qaiymatlarini alohida-alohida hisoblab, so‘ngra ularni algebraik qo‘shamiz.*
R=50 cm	
2R=100 cm	
L_1=0,25 m	
L_2=0,75 m	
B_P=?	

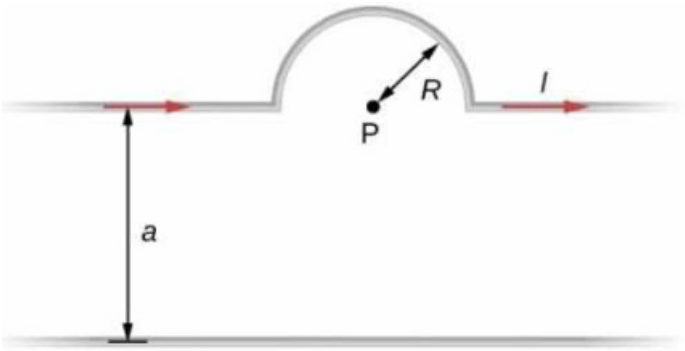
$$B_{P.1}=\frac{\mu_0 I R^2}{2\left(R^2+L_1^2\right)^{3/2}}=\frac{\left(4\pi\cdot10^{-7}\frac{T\cdot m}{A}\right)\cdot\left(10^{-2}A\right)\cdot\left(0{,}5m\right)^2}{2\cdot\left(\left(0{,}5m\right)^2+\left(0{,}25m\right)^2\right)^{3/2}}=\frac{32\pi}{5\sqrt{5}}\cdot10^{-9}T\approx9\cdot10^{-9}T$$

$$B_{P.2}=\frac{\mu_0 I\left(2R\right)^2}{2\left(\left(2R\right)^2+L_2^2\right)^{3/2}}=\frac{\left(4\pi\cdot10^{-7}\frac{T\cdot m}{A}\right)\cdot\left(10^{-2}A\right)\cdot\left(1{,}0m\right)^2}{2\cdot\left(\left(1{,}0m\right)^2+\left(0{,}75m\right)^2\right)^{3/2}}=\frac{128\pi}{125}\cdot10^{-9}T\approx3{,}22\cdot10^{-9}T$$

$$B_P=B_{P.1}+B_{P.2}=9\cdot10^{-9}T+3{,}22\cdot10^{-9}T=12{,}22\cdot10^{-9}T=12{,}22\ nT$$

Javob: *B_P=12,22 nT; o‘ng tomonga yo‘nalgan.*

3. *Ikkita parallel tokli o‘tkazgichlardan biri rasmdagi kabi R radiusli yarimaylana shaklida egilgan. Agar simlardan I tok o‘tayotgan bo‘lsa, P nuqtada natijaviy magnit induksiyasi nolga aylanishi uchun parallel qismlar orasidagi a masofa qanday bo‘lishi kerak?*



SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	Yechilishi
I	*P nuqta tepadagi tokning yarimaylanadan tashqari to‘g‘ri chiziqli qismlari chizig‘ida yotgani uchun bu nuqtadagi magnit maydonni faqat yarimaylana qism hosil qiladi. Bu yarimaylana qismning P nuqtada hosil qilgan magnit maydoni o‘ng parma qoidasiga asosan rasm tekisligi orqasiga yo‘nalgan bo‘lib, uning son qiymati esa*
R	
$B_{nat}=0$	
$a=?$	

$$B_1=\frac{\mu_0 I}{2R}$$

bo‘ladi. P nuqtada natijaviy magnit maydon nolga aylanishi uchun pastdagi tok ham tepadagi tok bilan bir xil yo‘nalishi kerak. Shundagina pastdagi tokning P nuqtadagi maydoni rasm tekisligidan bizga yo‘nalgan bo‘ladi. Pastdagi tokning P nuqtada hosil qilgan magnit induksiyasi

$$B_2=\frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

bo‘ladi. Masala sharti bajarilishi uchun

$$\begin{cases} B_2=B_1 \\ \vec{B}_2=-\vec{B}_1 \end{cases}$$

bo‘lishi kerak. Shunga ko‘ra so‘ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$\frac{\mu_0 I}{2\pi a}=\frac{\mu_0 I}{2R},\ \rightarrow\ \pi a=2R,\ \rightarrow\ a=\frac{2}{\pi}R$$

Javob: $a=\frac{2}{\pi}R$

§ 27. MAYDON SIRKULYATSIYASI TUSHUNCHASI. AMPER QONUNI. SOLENOID VA TOROIDNING MAGNIT MAYDONI.

Magnit maydon sirkulyatsiyasi:

Solenoid (tokli g‘altak) va toroidning magnit induksiyalarini hisoblash uchun *magnit induksiyasi sirkulyasiyasi* tushunchasini bilishimiz kerak bo‘ladi. Sirkulyatsiya tushunchasi barcha vektor kattaliklarga tegishli bo‘lib, shu tushunchani yoritaylik.

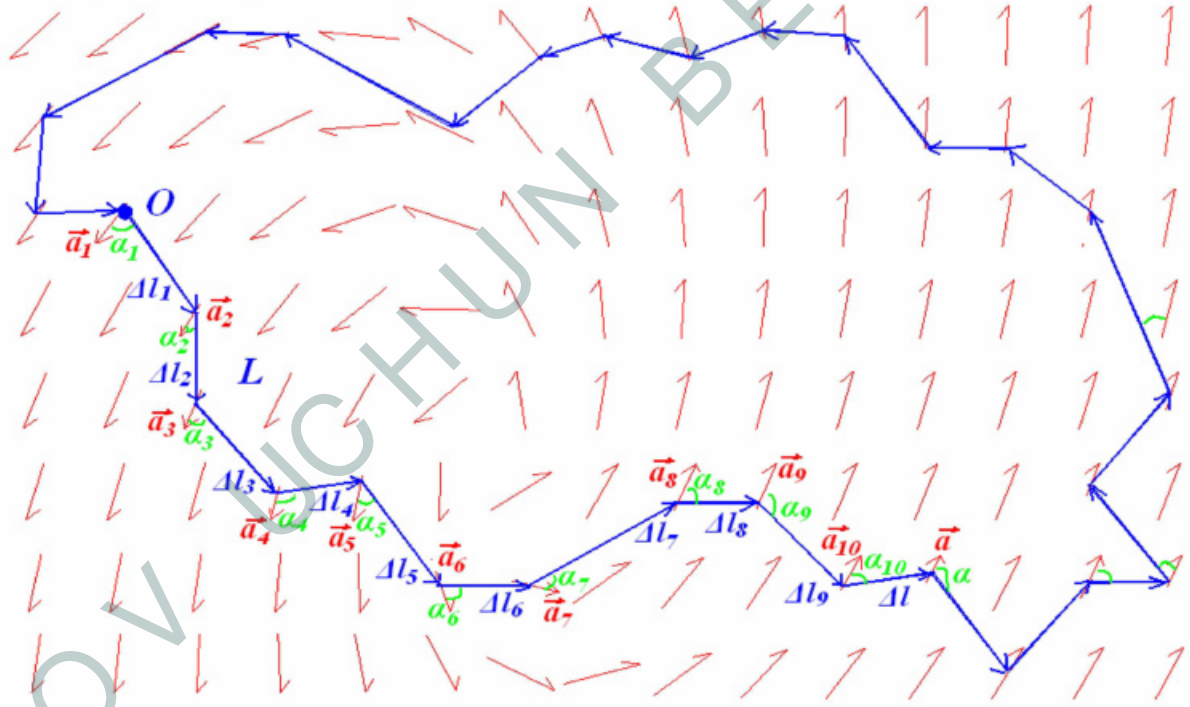
Biror $\vec{a}$ vektor kattalik va $\vec{\ell}$ ko‘chish vektorining skalyar ko‘paytmasiga teng skalyar kattalikka berilgan vektor kattalikning yo‘lda bajargan ishi deyiladi.

$$A_a=\vec{a}\cdot\vec{\ell}=a\cdot\ell\cdot\cos\alpha \qquad (27.1)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $A_a - \vec{a}$ vektorning ℓ yo‘lda bajargan ishi. Shuni alohida eslatib o‘tish kerakki, agar $\vec{a}$ vektor kattalik deb $\vec{F}$ kuchni olsak, u holda $\vec{F}$ kuchning bajargan $A_{\vec{F}} = \vec{F} \cdot \vec{\ell}$ ishi – mexanik ish bo‘ladi.

Biror kattalikni miqdor va yo‘nalish jihatidan xarakterlovchi ixtiyoriy $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydon berilgan bo‘lsin. Bu vektor maydonda L yopiq kontur berilgan bo‘lib, vektorning L yopiq konturda bajaradigan ishi so‘ralgan bo‘lsin. Buning uchun L yopiq konturni juda ko‘p sondagi va qisqa uzunlikdagi $\Delta\ell_1, \Delta\ell_2, \Delta\ell_3, ..., \Delta\ell_n$ mayda bo‘laklarga bo‘lamiz. $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydonning bu qismlardagi kattaliklari $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3, ..., \vec{a}_n$ bo‘lib, bu vektorlar $\vec{\Delta\ell}_1, \vec{\Delta\ell}_2, \vec{\Delta\ell}_3, ..., \vec{\Delta\ell}_n$ vektorlar bilan mos holda $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, ..., \alpha_n$ burchaklar hosil qilsin. $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydonning L yopiq konturda bajargan ishi bu maydonning har bir $\Delta\ell_1, \Delta\ell_2, \Delta\ell_3, ..., \Delta\ell_n$ mayda qismlarda bajargan kichik ishlari yig‘indisiga teng bo‘ladi (27.1-rasm).



27.1-rasm

Vektor kattalikning berk konturda bajarilgan ishiga shu ***vektor kattalikning sirkulyatsiyasi*** deyiladi va $C = \oint dA$ bilan belgilanadi.

Vektor maydon sirkulyatsiyasi quyidagicha topiladi:

$$C = A_1 + A_2 + A_3 + ... + A_n = \vec{a}_1 \cdot \vec{\Delta\ell}_1 + \vec{a}_2 \cdot \vec{\Delta\ell}_2 + \vec{a}_3 \cdot \vec{\Delta\ell}_3 + ... + \vec{a}_n \cdot \vec{\Delta\ell}_n =$$
$$= a_1 \Delta\ell_1 \cos\alpha_1 + a_2 \Delta\ell_2 \cos\alpha_2 + a_3 \Delta\ell_3 \cos\alpha_3 + ... + a_n \Delta\ell_n \cos\alpha_n \quad \textbf{(27.2)}$$

Vektor maydon sirkulyatsiyasini qisqaroq ko‘rinishida quyidagicha aniqlanadi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$C = \sum_{i=1}^{n} A_i = \sum_{i=1}^{n} \vec{a}_i \cdot \vec{\Delta\ell}_i = \sum_{i=1}^{n} a_i \Delta\ell_i \cos\alpha_i \qquad (27.3)$$

Topilgan formulalar $\vec{a} = \vec{a}(x, y, z)$ vektor maydonning L yopiq konturda taxminiy sirkulyatsiyasini beradi. Sirkulyatsiyaning aniq qiymatini aniqlash uchun L yopiq konturni cheksiz ko‘p $(n \to \infty)$ bo‘laklarga bo‘lish kerak va elementar ishlarni qo‘shib chiqish kerak bo‘ladi. Bunda $\Delta\ell_i$ uzunlik $d\ell$ elementar uzunlikka, $\sum$ belgisi esa $\int$ belgisiga aylanib ketadi.

Vektor maydon sirkulyatsiyasining integral ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi:

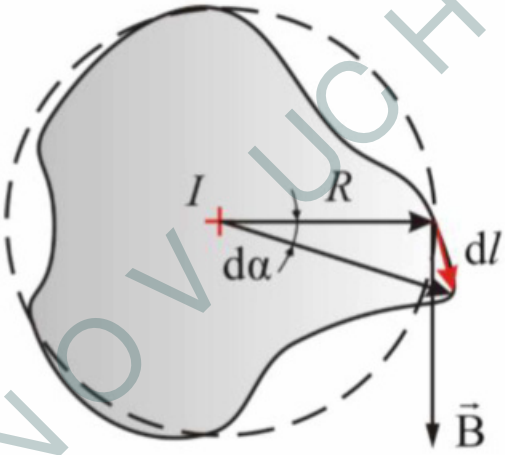
$$C = \oint dA = \oint \vec{a}\, d\vec{\ell} \qquad (27.4)$$

Magnit induksiyasi ham vektor kattalik bo‘lgani uchun uning sirkulyasiyasi ham biror qiymatga ega bo‘lish kerak. Shuning uchun, magnit maydon sirkulyatsiyasini hisob-kitob qilib ko‘raylik.

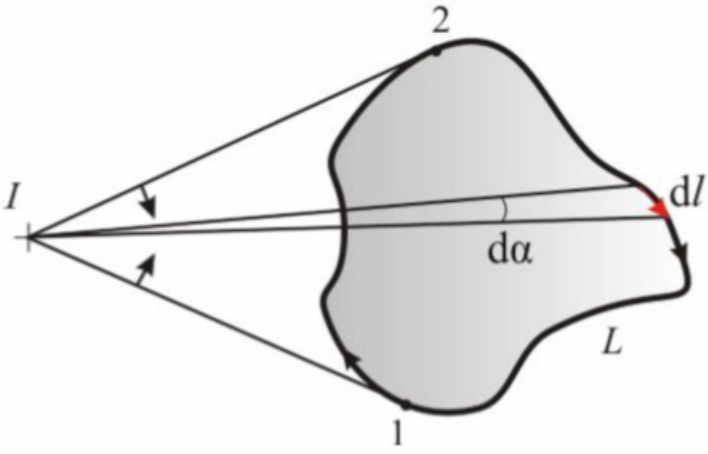
Dastlab, kontur tok (tok rasm tekisligining orqa tomoniga yo‘nalgan) tekisligiga perpendikulyar tekislikda yotgan holni qaraylik (27.2-rasm). Konturning har bir nuqtasida $\vec{B}$ vektor bu nuqtadan o‘tuvchi aylanaga urinma bo‘yicha yo‘naladi.

Vektorlar skalyar ko‘paytmasi xossasidan foydalanamiz.

$B_\ell d\ell = B d\ell_B$, bunda $d\ell_B = R\,d\alpha$ – $d\ell$ ning $\vec{B}$ vektor yo‘nalishiga proyeksiyasi. $R - d\ell$ dan I to‘g‘ri tokkacha masofa.



27.2-rasm



27.3-rasm

$$B_\ell d\ell = B d\ell_B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} R\,d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} d\alpha$$

Bundan kontur tomonidan qamralgan tokning sirkulyatsiyasi kelib chiqadi.

$$C = \oint_\ell B_\ell d\ell = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I}{2\pi} d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot 2\pi = \mu_0 I \qquad (27.5)$$

Agar kontur tokni qamramagan bo‘lsa, ya’ni tok kontur tashqarisida bo‘lsa, u holda magnit maydoni sirkulyatsiyasi qanday bo‘lishin qarab chiqaylik (27.3-

SINOV UCHUN BERILGAN

rasm). Bunda konturni rasmdagi kabi aylanib chiqishda radial to‘g‘ri chiziq avval bitta tomonga (1→2) qarab burilsa, so‘ngra qarama-qarshi (2→1) tomonga buriladi. Shuning uchun berk konturni bir marta aylanib chiqishda radial to‘g‘ri chiziqning jami burilish burchagi $\oint d\alpha = 0$ bo‘ladi.

Demak, tokli o‘tkazgich berk kontur tashqarisidan o‘tganda bu tok magnit indusiyasining sirkulyatsiyasi nolga teng bo‘lar ekan.

$$C = \oint_{\ell} B_{\ell} d\ell = 0 \qquad (27.6)$$

Shunday qilib, magnit indusiya vektorining sirkulyatsiyasi berk kontur ichidan o‘tuvchi toklarning algebraik yig‘indisiga to‘g‘ri proporsional bo‘lar ekan. Kontur tashqarisidan o‘tuvchi toklarga esa bog‘liq bo‘lmas ekan.

$$C_B = \oint \vec{B} d\vec{\ell} = \mu_0 \cdot \sum_{i=1}^{n} I_i \qquad (27.7)$$

Agar magnit maydon induksiyasi va kuchlanganligi orasida $B=\mu\mu_0 H$ bog‘lanish borligini eslasak, u holda magnit maydon kuchlanganligining sirkulyatsiyasi uchun ushbu ifodani yozish mumkin:

$$C_H = \oint \vec{H}_{\ell} d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^{n} I_i \qquad (27.8)$$

Magnit maydon sirkulyatsiyasining tok kuchiga bog‘liq ekanini birinchi bo‘lib A.Amper kashf qilgan. Shuning uchun bu bog‘lanishni Amper qonuni deb ataladi.

Amper qonuni: ***Magnit maydon sirkulyatsiyasi berk liniya ichidan o‘tuvchi tok kuchlarining algebraik yig‘indisiga to‘g‘ri proporsionaldir.***

Navbatdagi chiqariladigan formulalar magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi orqali aniqlanadi.

To‘g‘ri tokning ichida magnit maydoni:

Magnit maydon sirkulyatsiyasidan foydalanib tokli o‘tkazgichning ichki qismida magnit maydon induksiyasini aniqlash mumkin.

Bizga I tok oqayotgan R radiusli tokli o‘tkazgich berilgan bo‘lib, bu tokli o‘tkazgich ichki qismida uning markazidan ixtiyoriy r $(r<R)$ masofada yotgan nuqtadagi magnit induksiyasini aniqlash so‘ralgan bo‘lsin (27.4-a,rasm). Bu r radiusli aylana uzunligi $2\pi r$, yuzasi πr^2, bu yuza ichidan o‘tuvchi tok kuchi esa

$$i = J\pi r^2 = \frac{I}{\pi R^2}\pi r^2 = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot I$$

ga teng bo‘ladi. Magnit maydon induksiyasining uzunligi $2\pi r$ aylana bo‘ylab sirkulyasiyasi

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 i = \mu_0 \left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot I$$

SINOV UCHUN BERILGAN

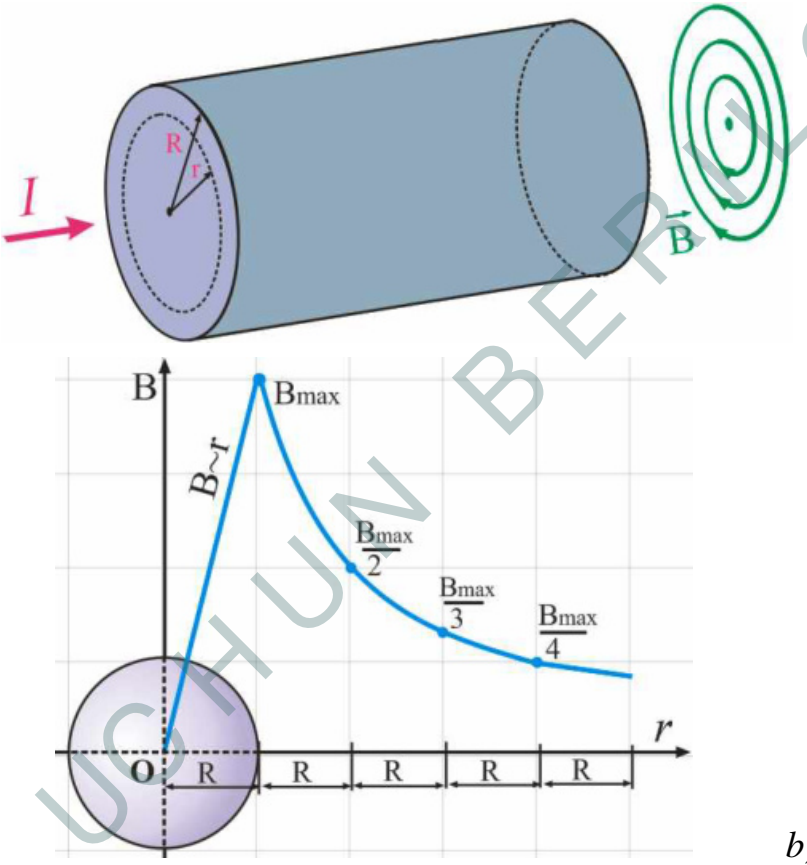
ga teng bo‘ladi. Bundan

$$B = \frac{r}{R} \cdot \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{r}{R} B_{\max}$$

kelib chiqadi.

Demak, R radiusli tokli o‘tkazgich markazidan ixtiyoriy r $(r<R)$ masofada magnit maydon induksiyasi quyidagicha bo‘lar ekan (27.4-rasm).

$$B = \frac{r}{R} \cdot \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{r}{R} B_{\max} \qquad (27.9)$$



27.4-rasm

Bu yerda: $B_{\max} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ – tokli o‘tkazgich sirtidagi magnit induksiyasi bo‘lib, tokli o‘tkazgich hosil qilgan eng katta induksiya o‘tkazgich sirtida bo‘ladi (27.4-b,rasm). Rasmdan ko‘rinib ham turibdiki, o‘tkazgich ichki qismida $(r<R)$ magnit induksiya qiymati masofaga to‘g‘ri proporsional $(B \sim r)$, o‘tkazgich tashqi qismida esa $(r>R)$ magnit induksiya qiymati masofaga teskari proporsional $(B \sim 1/r)$, bo‘lar ekan.

Solenoidning magnit maydoni:

Magnit maydon sirkulyasiyasidan foydalanib tokli solenoidning ichki qismida magnit maydon induksiyasini aniqlash mumkin.

Solenoid cheksiz uzunlikka ega bo‘lgani uchun bu solenoid ichida magnit induksiya chiziqlari solenoid o‘qiga va o‘zaro parallel bo‘ladi. Boshqacha

SINOV UCHUN BERILGAN

aytganda, solenoid ichidagi magnit maydon bir jinsli maydondir. Cheksiz uzunlikka ega bo‘lgan solenoidddan *abcd* to‘g‘ri to‘tburchak olamiz (27.5-rasm). Bu to‘g‘ri to‘rtburchakning *ad* va *bc* tomonlari magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar, ℓ uzunlikka ega bo‘lgan *ab* va *cd* tomonlari esa magnit induksiya chiziqlariga parallel joylashgan. Magnit induksiya vektorining har bir qismda bajargan ishlarini aniqlaymiz. Magnit induksiya vektorining *ab* yo‘lda bajargan ishi

$$A_{ab} = B \cdot ab \cdot \cos 0^0 = B\ell$$

ga, *bc* va *ad* yo‘lda bajargan ishlari

$$A_{bc} = A_{da} = B \cdot bc \cdot \cos 90^0 = 0$$

ga, *cd* yo‘lda bajargan ishi esa solenoid tashqarisida maydon bo‘lmagani uchun

$$A_{cd} = 0 \cdot cd \cdot \cos 0^0 = 0$$

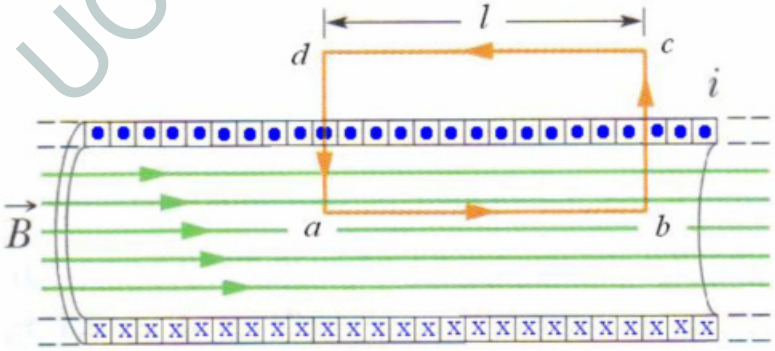
ga teng bo‘ladi. Demak, magnit maydonining *abcd* to‘g‘ri to‘tburchak bo‘yicha sirkulyatsiyasi

$$C = \oint dA = A_{ab} + A_{bc} + A_{cd} + A_{da} = B\ell + 0 + 0 + 0 = B\ell$$

ga teng bo‘lar ekan. Boshqa tomondan esa *abcd* berk kontur ichidan *NI* tok o‘tmoqda. Magnit maydon sirkulyatsiyasi formulasi $C_B = \oint \vec{B} d\vec{\ell} = \mu_0 \cdot \sum_{i=1}^{n} I_i$ dan $B\ell = \mu_0 N I$ kelib chiqadi. Shunda solenoid ichida magnit induksiyasi

$$B = \mu_0 I \frac{N}{\ell} = \mu_0 I n$$

ga teng bo‘lishi kelib chiqadi.



27.5-rasm

Demak, cheksiz uzun tokli solenoidning ichki qismida magnit induksiyasi quyidagicha bo‘lar ekan (27.5-rasm):

$$B = \mu_0 I \frac{N}{\ell} = \mu_0 I n \qquad \textbf{(27.10)}$$

Bu yerda: $N=n/\ell$ o‘ramlar zichligi deb ataladi, ya’ni solenoidning *1m* uzunligida nechta o‘ram borligini bildiradi.

Toroidning magnit maydoni:

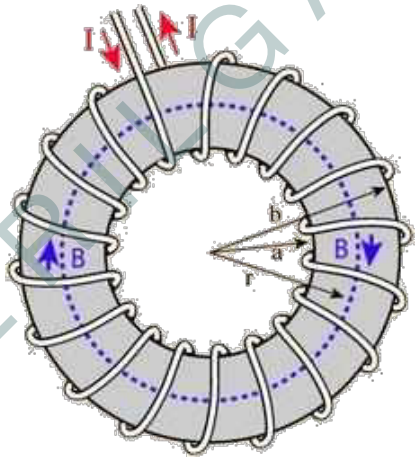
SINOV UCHUN BERILGAN

Agar solenoidning o‘qini egib aylana shakliga keltirilsa, toroid hosil bo‘ladi. Magnit maydon sirkulyatsiyasidan foydalanib tokli toroidning ichki qismida magnit maydon induksiyasini aniqlash mumkin.

Toroidning o‘qi r radiusli aylanadan iborat. Toroidning o‘qidagi magnit induksiyasini aniqlash so‘ralgan. Buning uchun magnit induksiya vektorining r radiusli aylana bo‘yicha sirkulyatsiyasidan foydalanamiz. Natijada

$$C = B\cdot(2\pi r)\cdot\cos 0^0 = \mu_0\cdot(N I)\,,\ \rightarrow\ B = \mu_0 I\frac{N}{2\pi r}$$

kelib chiqadi (27.5-rasm).



27.5-rasm

Demak, tokli toroidning ichki qismida magnit induksiyasi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$B = \mu_0 I\frac{N}{2\pi r} = \mu_0 I n \qquad \textbf{(27.11)}$$

Magnit induksiyasini aniqlashga doir yuqorida topilgan barcha formulalar faqat vakuumdagi tokli o‘tkazgich uchundir. Agar shu tokli o‘tkazgichlardan birortasining muhitdagi magnit induksiyasini aniqlash so‘ralgan bo‘lsa, vakuum uchun topilgan formulani muhitning magnit xossasini xarakterlovchi μ kattalikka ko‘paytiramiz. Masalan, solenoid o‘zagida magnit induksiyasi $B = \mu_0 I n$ bo‘lsa, o‘zakka magnetik muhit kiritilgandagi induksiya esa $B = \mu\,\mu_0 I n$ bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Vektor kattalikning biror yo‘lda bajargan ishi nima?Bu ish mexanik ishdan qanday farqlanadi?*
2. *Vektor maydon sirkulyasiyasi nima? Formulasini yozing.*
3. *Magnit maydon sirkulyasiyasi nima? Formulasini yozing.*
4. *Magnit maydon sirkulyasiyasi qaysi kattaliklarga bog‘liq?*
5. *Magnit maydon sirkulyasiyasi qachon nolga teng bo‘ladi?*
6. *Tokli o‘tkazgich ichidagi maydon induksiyasi nimaga teng?Uning qiymati qaysi aonun bo‘yicha o‘zgaradi?*
7. *Solenoid o‘zagidagi magnit induksiyasi ifodasini keltirib chiqaring.*
8. *Toroid o‘zagidagi magnit induksiyasi ifodasini keltirib chiqaring.*

Masala yechish:

1. *O‘ramlar soni 600 ta, uzunligi 1 m bo‘lgan solenoiddan 2 A tok o‘tmoqda. Uning ichidagi magnit maydon kuchlanganligi necha A/m ga teng?*

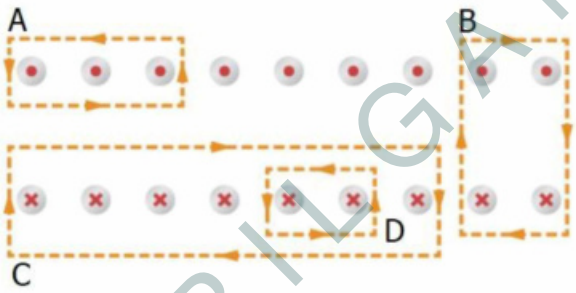
A) 1200 B) 300 C) 600 D) 200 E) 400

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	Yechilishi
N=600 I=2A ℓ=1m	Magnit induksiya hamda magnit kuchlanganlikni bog‘lovchi formuladan foydalanamiz.
H=?	$H=\frac{B}{\mu_0}=\frac{\mu_0 In}{\mu_0}=In=I\frac{N}{\ell}=2\,A\cdot\frac{600}{1m}=1200\,\frac{A}{m}$

Javob: A) 1200 A/m

2. Rasmda cheksiz uzun solenoidning ko‘ndalang kesimi tasvirlangan. Bu solenoiddan 0,3 A ga teng bo‘lgan tok oqmoqda. Rasmda ko‘rsatilgan berk trayektoriyalar uchun magnit maydon sirkulyatsiyasini hisoblang.



Berilgan	Yechilishi
I=0,3 A	Rasmda ko‘rsatilgan berk trayektoriyalar uchun magnit maydon sirkulyatsiyasini ushbu
B=?	$C=\oint \vec{B}\,d\vec{\ell}=\mu_0\cdot\sum_{i=1}^{n} I_i$

Amper qonunidan foydalanib hisoblaymiz.

$$C_A=\mu_0\cdot(I+I+I)=3\mu_0 I=3\cdot\left(4\pi\cdot10^{-7}\frac{T\cdot m}{A}\right)\cdot0{,}3\,A=1{,}1310^{-6}\;T\cdot m$$

$$C_B=\mu_0\cdot(I+I-I-I)=0$$

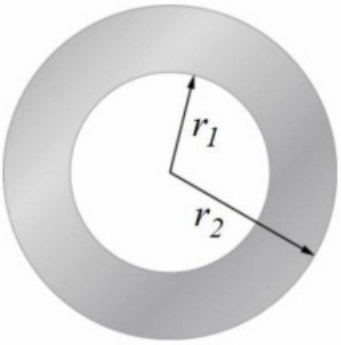
$$C_C=\mu_0\cdot(I+I+I+I+I+I+I)=7\mu_0 I=7\cdot\left(4\pi\cdot10^{-7}\frac{T\cdot m}{A}\right)\cdot0{,}3\,A=2{,}634\cdot10^{-6}\;T\cdot m$$

$$C_D=\mu_0\cdot(-I-I)=-2\mu_0 I=-2\cdot\left(4\pi\cdot10^{-7}\frac{T\cdot m}{A}\right)\cdot0{,}3\,A=-7{,}54\cdot10^{-7}\;T\cdot m$$

Javob:

$C_A=1{,}13\cdot10^{-6}\;Tl\cdot m;\; C_B=0;\; C_C=2{,}634\cdot10^{-6}\;Tl\cdot m;\; C_D=-7{,}54\cdot10^{-6}\;Tl\cdot m$

3. Rasmda ichi bo‘sh uzun tokli slindrik o‘tkazgichning ko‘ndalang yuzasi tasvirlangan. O‘tkazgichning ichki radiusi r_1=3 cm ga va tashqi radiusi r_2=5 cm ga teng. Miqdori I=50 A bo‘lgan bir jinsli tok o‘tkazgichning ko‘ndalang yuzasidan quvchidan kitob varag‘i tomonga oqmoqda. O‘tkazgich markazidan r=2 cm, r=4 cm va r=6 cm masofadagi nuqtalardagi magnit induksiyalarini hisoblang.



SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	Yechilishi
I=50 A r_1=3 cm r_2=5 cm a) r=2 cm b) r=4 cm c) r=6 cm H=?	Rasmda ko‘rsatilgan shakldagi o‘tkazgichdan bir jinsli tok oqishi – bu tok zichligining doimiy ekanini anglatadi. Bundan foydalanib yuzaning ixtiyoriy radial holda ajratilgan qismidan o‘tuvchi tok kuchini aniqlay olamiz.

Avvalo tok zichligini aniqlaymiz.

$$j=\frac{I}{S}=\frac{I}{\pi\left(r_2^2-r_1^2\right)}=\frac{50\,A}{3{,}14\cdot\left(\left(5\cdot10^{-2}m\right)^2-\left(3\cdot10^{-2}m\right)^2\right)}=$$

$$=\frac{50\,A}{3{,}14\cdot16\cdot10^{-4}m^2}=9947\,\frac{A}{m^2}$$

Endi r ning har bir qiymati uchun so‘ralgan kattalikni aniqlaymiz.

a) r=2 cm < r_1=3 cm bo‘lgan uchun r=2 cm radiusli aylana ichidan o‘tucvhi hech qanday tok yo‘q. Shu boisdan ham sirkulyatsiya qiymati

$$B=\mu_0 I\frac{N}{2\pi r}=\mu_0 I\frac{0}{2\pi r}=0$$

bo‘ladi.

b) Bu shartni yechish uchun avvalo r_1=3 cm hamda r=4 cm radiusli ayalanalar ichidan o‘tuvchi tok kuchini aniqlaymiz.

$$\Delta S=\pi\left(r^2-r_1^2\right)=\left(\left(4\cdot10^{-2}m\right)^2-\left(3\cdot10^{-2}m\right)^2\right)=3{,}14\cdot7\cdot10^{-4}m^2=2{,}2\cdot10^{-3}m^2$$

$$\Delta I=j\cdot\Delta S=9947\,\frac{A}{m^2}\cdot2{,}2\cdot10^{-3}m^2=21{,}875\;A$$

Sirkulyatsiyadan foydalanib r=4 cm radiusli nuqtalar uchun magnit induksiyasini aniqlaymiz.

$$B\cdot2\pi r=\mu_0\cdot\Delta I,\;\rightarrow\;B=\frac{\mu_0\cdot\Delta I}{2\pi r}=\frac{\left(4\pi\cdot10^{-7}\,\frac{T\cdot m}{A}\right)\cdot\left(21{,}875\,A\right)}{2\pi\cdot\left(4\cdot10^{-2}m\right)}=$$

$$=10{,}9375\cdot10^{-5}T=109{,}38\;\mu T$$

c) r=6 cm radiusli aylana butun tokli o‘tkazgichni qamragani uchun bu nuqtadagi magnit induksiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$B\cdot2\pi r=\mu_0\cdot I,\;\rightarrow\;B=\frac{\mu_0\cdot I}{2\pi r}=\frac{\left(4\pi\cdot10^{-7}\,\frac{T}{m\cdot A}\right)\cdot\left(50\,m^2\right)}{2\pi\cdot\left(4\cdot10^{-2}m\right)}=25\cdot10^{-5}T=250\;\mu T$$

Javob: A) 1200 A/m

4. Toroidning 250 ta o‘rami bo‘lib, undagi tok kuchi I=20 A ga teng. Uning ichki va tashqi radiuslari mos holda r_1=8 cm va r_2=9 cm ga teng. Toroid markazidan

SINOV UCHUN BERILGAN

r=8,1 cm, r=8,5 cm va r=8,9 cm masofalarda magnit maydon kuchlanganligini aniqlang.

Berilgan	Yechilishi
N=250 I=20 A r_1=8 cm r_2=9 cm a)r=8,1 cm b) r=8,5 cm c) r=8,9 cm H=?	a)Toroidning ichida magnit maydoni bir jinsli bo'lmasdan, uning kattaligi toroid ichidagi ixtiyoriy nuqtadan toroid markazigacha bo'lgan masofaga bog'liq.

$$B = \mu_0 I \frac{N}{2\pi r}, \quad \rightarrow \quad H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{NI}{2\pi r}$$

Tanlangan nuqtalarda magnit maydon kuchlanganlik qiymatlarini hisoblaymiz.

$$a) \quad H = \frac{NI}{2\pi r} = \frac{250 \cdot 20\,A}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-2}\,m} = 9824{,}3\,\frac{A}{m}$$

$$b) \quad H = \frac{NI}{2\pi r} = \frac{250 \cdot 20\,A}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}5 \cdot 10^{-2}\,m} = 9362{,}0\,\frac{A}{m}$$

$$c) \quad H = \frac{NI}{2\pi r} = \frac{250 \cdot 20\,A}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}9 \cdot 10^{-2}\,m} = 8941{,}3\,\frac{A}{m}$$

Javob: *a) 9824,3 A/m; b) 9362 A/m; c) 8941,3 A/m*

§ 28. LORENTS KUCHI. MAGNIT MAYDONDAGI ZARYADLI ZARRANING TRAEKTORIYASI

Lorens kuchi va uning yo'nalishi:

Magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir qiladigan Amper kuchining vujudga kelish sababini Gollandiyalik nazariyotchi olim Xendrik Anton Lorents (1853–1928) quyidagicha izohlaydi: o'tkazgichda tokni hosil qilayotgan tartibli harakatlanayotgan zaryadli zarralarga magnit maydoni ta'sir qiladi. Lekin, bu zaryadli zarralar o'tkazgich sirtini tark etib keta olmaydi, ya'ni o'tkazgich sirti bilan chegaralangan hajm ichida harakatlana oladi. Bu zaryadli zarralarga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlar qo'shilib yig'indi kuch–Amper kuchini hosil qiladi. Shuning uchun, amper qonunidan foydalanib tokli o'tkazgich ichida harakatlanayotgan bitta elementar q zaryadga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlash mumkin bo'ladi.

Bir jinsli magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarraga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchga Lorents kuchi deyiladi.

Boshqacha aytganda, Amper kuchi tokli o'tkazgichdagi N ta zaryadli zarrga ta'sir qiluvchi kuch bo'lsa, Lorents kuchi esa bitta zaryadli zarraga ta'sir qiluvchi kuch ekan. Demak, Lorents kuchi Amper kuchidan N marta kichik $\left(F_L = \frac{F_A}{N}\right)$ degan xulosaga kelish mumkin ekan. O'tkazgichdagi tok kuchini

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I=\frac{Q}{t}=\frac{Nq}{\ell/\vartheta}=\frac{Nq\vartheta}{\ell}=\frac{Nq\vartheta S}{V}=nq\vartheta S$$

deb o‘zgartiramiz. Endi Lorents kuchi uchun formulani keltirib chiqaramiz. Natijada, biz

$$F_L=\frac{F_A}{N}=\frac{BI\ell\sin\alpha}{N}=\frac{B(nq\vartheta S)\ell\sin\alpha}{N}=q\vartheta B\sin\alpha\frac{nS\ell}{N}=q\vartheta B\sin\alpha$$

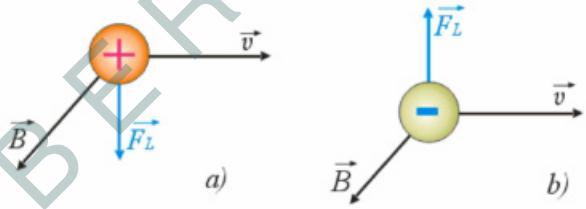
formulaga ega bo‘lamiz.

Demak, Lorents kuchining qiymati quyidagicha bo‘ladi:

$$F_L=q\upsilon B\sin\alpha \qquad (28.1)$$

Magnit maydonida harakatlanayotgan elektr zaryadga ta’sir etuvchi kuch, shu zaryad miqdori, zaryad tezligi, magnit maydon induksiya vektori, tezlik bilan induksiya vektori orasidagi burchak sinusi ko‘paytmasiga teng.

Lorents kuchi yo‘nalishi Amper kuchi bilan mos tushadi. Lorents kuchi yo‘nalishi $\vec{F}_L$ magnit induksiya vektori $\vec{B}$ va zaryadning harakat yo‘nalishi $\vec{\vartheta}$ yotgan tekislikka perpendikulyar yo‘nalgan bo‘lib, uning yo‘nalishi Amper kuchi kabi chap qo‘l qoidasi bilan aniqlanadi.



28.1-rasm

Agar chap qo‘limizni V magnit induksiyasining zaryad tezligiga perpendikulyar bo‘lgan tashkil etuvchisi kaftimizga kiradigan qilib tutib , yoyilgan to‘rt barmog‘imiz musbat zaryad yo‘nalishida (manfiy zaryad yo‘nalishiga teskari yo‘nalish) ochilsa, 90^0 ga kerilgan bosh barmog‘imiz zaryadga ta’sir etuvchi F_L Lorens kuchining yo‘nalishini ko‘rsatadi (28.1-rasm).

Zaryadli zarra harakatining har onida Lorents kuchi yo‘nalishi magnit maydon yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgani uchun, ya’ni kuch va ko‘chish orasidagi burchak har doim 90^0 ga teng bo‘lgani uchun Lorents kuchining bajargan ishi har doim nolga teng bo‘ladi. Lorens kuchi zarraning kinetik energiyasini va tezligining miqdorini o‘zgartirmaydi, faqat tezlik yo‘nalishini tinimsiz o‘zgartiradi.

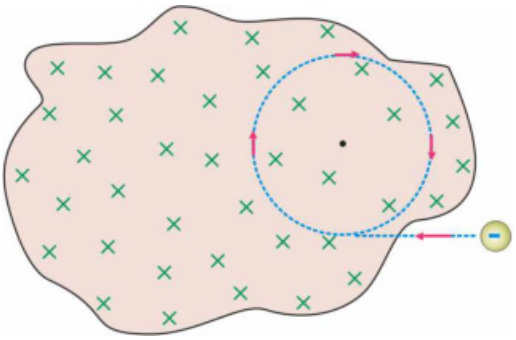
Magnit maydondagi zaryadli zarraning traektoriyasi:

Agar zaryadli zarra bir jinsli magnit maydrniga tik ravishda uchib kirsa, Lorents kuchi zarraning harakat yo‘nalishini tinimsiz burgani uchun uning traektoriyasi aylanadan iborat bo‘ladi. Bu aylanma harakat qaysi yo‘nalishda (soat strelkasi bo‘yichami yoki unga teskari yo‘nalishdami) sodir bo‘lishini chap qo‘l qoidasidan osongina aniqlash mumkin. 26.2-rasmda bizdan yo‘nalgan magnit maydoniga tik holda uchib kirgan musbat va manfiy zaryadli zarraning traektoriya yo‘nalishi tasvirlangan.

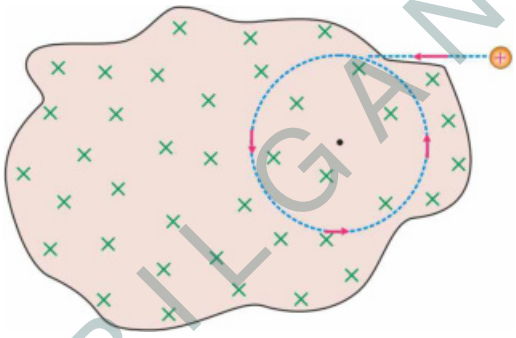
SINOV UCHUN BERILGAN

Agar bir jinsli magnit maydon induksiya vektori bizdan yo‘nalgan bo‘lib, unga tik uchib kiruvchi zaryad manfiy bo‘lsa, aylanish traektoriyasi soat strelkasi bo‘yicha bo‘ladi.

Agar bir jinsli magnit induksiya vektori bizdan yo‘nalgan bo‘lib, unga tik uchib kiruvchi zaryad musbat bo‘lsa, aylanish traektoriyasi soat strelkasiga teskari yo‘nalish bo‘yicha bo‘ladi.



a)



b)

28.2-rasm

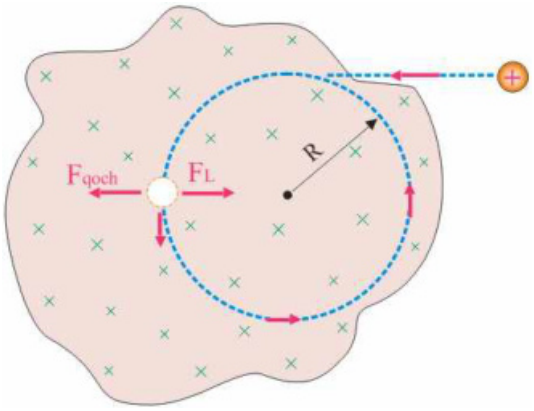
Bir jinsli magnit maydoniga tik holda uchib kirgan zaryadli zarra traektoriyasining aylanish radiusi, aylanish davri va aylanish chastotasini aniqlash mumkin. Bunda traektoriya aylanadan iborat bo‘lib, markazga intilma kuch vazifasini Lorens kuchi bajaradi. Lorens kuchi va markazdan qochma inersiya kuchi o‘zaro teng bo‘ladi. Bundan foydalanib so‘ralgan kattaliklarni aniqlash mumkin (28.3-rasm).

$$F_{qoch} = F_L, \quad \rightarrow \quad \frac{m\vartheta^2}{R} = q\vartheta B, \quad \rightarrow \quad R = \frac{m\vartheta}{qB}$$

Tezlik uchun $\vartheta = \frac{2\pi R}{T}$ formuladan foydalanib aylanish davrini topamiz.

$$R = \frac{m\vartheta}{qB} = \frac{m}{qB}\frac{2\pi R}{T}, \rightarrow \quad T = 2\pi\frac{m}{|q|B}$$

$\nu = \frac{1}{T}$ dan foydalanib aylanish chastotasini aniqlaymiz.



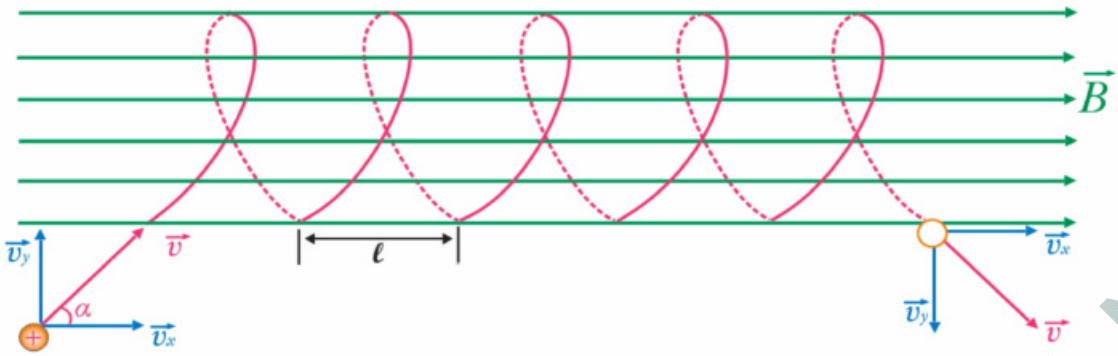
28.3-rasm

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\frac{|q|B}{m}$$

Demak, B induksiya chiziqlariga tik ravishda ϑ tezlik bilan uchib kirgan m massali q zaryadning aylanish radiusi r, aylanish davri T, aylanish chastotasi ν quyidagicha:

$$R = \frac{m\vartheta}{|q|B}, \qquad T = 2\pi\frac{m}{|q|B}, \qquad \nu = \frac{1}{2\pi}\frac{|q|B}{m} \qquad \textbf{(28.2)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN



28.4-rasm

Agar zaryadli zarra bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida uchib kirsa, uning trayektoriyasi o‘zgarmas qadamli vintsimon bo‘ladi (28.4-rasm). Magnit maydoni tezlik vektorining maydoni yo‘nalishiga perpendikulyar tashkil etuvchisi ϑ_y ga Lorens kuchi bilan ta’sir qiladi va bu tashkil etuvchining miqdorini o‘zgartirmasdan, uning yo‘nalishini tinimsiz o‘zgartiradi, ya’ni ϑ_y tashkil etuvchini aylantiradi. Magnit maydoni tezlik vektorining maydoni yo‘nalishiga parallel tashkil etuvchisi ϑ_x ga ta’sir etmaydi. Boshqacha aytganda, bu yo‘nalish bo‘yicha zaryadli zarra teng vaqtlarda teng masofaga siljiydi. Bu siljish masofasini ***vint qadami*** deyiladi.

Bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida kirgan zaryadli zarra traektoriyasining aylanish radiusi, aylanish davri va aylanish chastotasi va vint qadamini zaryadli zarra tik holda uchib kirgan holadgi kabi aniqlash mumkin. Bunda trayektoriya o‘zagarmas qadamli vintsimon bo‘lib, markazga intilma kuch vazifasini Lorens kuchi bajaradi. Lorens kuchi va markazdan qochma inersiya kuchi o‘zaro teng bo‘ladi. Bundan foydalanib so‘ralgan kattaliklarni aniqlash mumkin.

$$F_{qoch} = F_L\,, \;\rightarrow\; \frac{m\vartheta_y^2}{R} = q\vartheta_y B\,, \;\rightarrow\; R = \frac{m\vartheta_y}{qB} = \frac{m\vartheta\sin\alpha}{qB}$$

Tezlik uchun $\vartheta_y = \dfrac{2\pi R}{T}$ formuladan foydalanib aylanish davrini topamiz.

$$R = \frac{m\vartheta_y}{qB} = \frac{m}{qB}\frac{2\pi R}{T}\,, \;\rightarrow\; T = 2\pi\frac{m}{|q|B}$$

$\nu = \dfrac{1}{T}$ dan foydalanib aylanish chastotasini aniqlaymiz.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\frac{|q|B}{m}$$

Vint qadami esa

$$\ell = \vartheta_x T = 2\pi\frac{m}{|q|B}\vartheta\cos\alpha$$

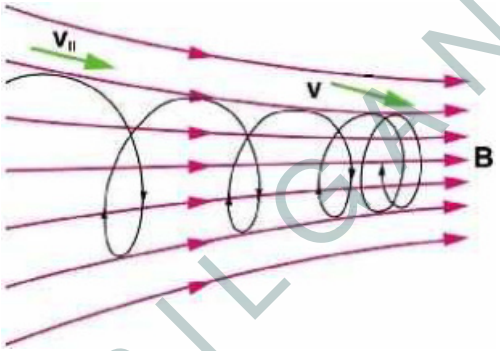
bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, B induksiya chiziqlariga α burchak ostida ϑ tezlik bilan uchib kirgan m massali q zaryadning aylanish radiusi r, aylanish davri T, aylanish chastotasi ν va vint qadami ℓ quyidagicha bo‘lar ekan (28.4-rasm):

$$R=\frac{m\vartheta\sin\alpha}{|q|B},\quad T=2\pi\frac{m}{|q|B},\quad \nu=\frac{1}{2\pi}\frac{|q|B}{m},\quad \ell=2\pi\frac{m}{|q|B}\vartheta\cos\alpha \qquad \textbf{(28.3)}$$

Yuqoridagi formula 28.4-rasmdagi ko‘rsatilgan bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida uchib kirgan zaryadli zarra uchundir. Bunda zarra trayektoriyasi o‘zgarmas qadamli vintsimon bo‘ladi. Agar magnit maydoni bir jinsli bo‘lmasdan, miqdori ortib boruvchi bo‘lsa, u holda borgan sari egrilik radiusi kamayib boradi va zarra trayektoriyasi konus sirti bo‘ylab olingan trayektoriyani eslatadi (28.5-rasm).



28.5-rasm

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Lorens kuchi nima? Uning yo‘nalishi qanday? Lorens kuchi ish bajaradimi?*
2. *Bir jinsli magnit maydoniga tik ravishda uchib kirgan musbat va manfiy ishorali zaryadli zarralarning traektriyalari qanday?*
3. *Bir jinsli magnit maydoniga tik ravishda uchib kirgan zaryadli zarra uchun erilik radiusi, aylanish davri va chastotasini aniqlash formulalari qanday?*
4. *Agar musbat zaryad tezligi Ox o‘q bo‘yicha, magnit maydon yo‘nalishi Oy o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan bo‘lsa, Lorens kuchi qaysi tomonga yo‘naladi?*
5. *Agar manfiy zaryad tezligi Ox o‘q bo‘yicha, magnit maydon yo‘nalishi Oy o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan bo‘lsa, Lorens kuchi qaysi tomonga yo‘naladi?*
6. *Bir jinsli magnit maydoniga burchak ostida uchib kirgan zaryadli zarraning traektoriyasi qanday? Bunda erilik radiusi, aylanish davri va chastotasini aniqlash formulalari qanday bo‘ladi?*
7. *Bir jinsli bo‘lmagan magnit maydonga burchak ostida uchib kirgan zaryadli zarraning traektoriya ko‘rinishi qanday bo‘o‘ladi?*

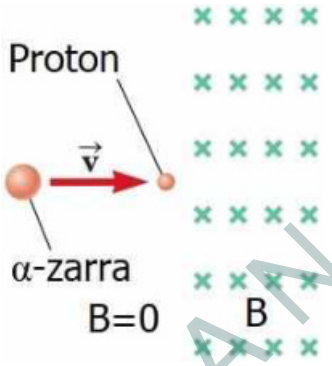
Masala yechish:

1. *Induksiyasi 0,2 T bo‘lgan magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik ravishda 10 Mm/s tezlik bilan harakatlanayotgan protonga qanday kuch ta’sir qiladi (pN).*

Berilgan	*Yechilishi*
$B=0,2$ Tl; $\alpha=90^0$	*Masalani Lorens kuchi formulasidan foydalanib*
$\vartheta=10$ Mm/s	*yechamiz.*
$q_e=1,6\cdot10^{-19}$C	$F_L=q_e\beta\vartheta\sin\alpha=1.6\cdot10^{-19}\cdot0.2\cdot10^7=0.32$ pN
$F_L=?$	***Javob:*** *0,32 pN*

SINOV UCHUN BERILGAN

2. *Proton bir jinsli magnit maydon chegarasiga yaqin joyda tinch turibdi. Gorizontal yo'nalishda harakatlanib kelayotgan α-zarra harakat yo'nalishida turgan protonga elastik uriladi. To'qnashuvdan keyin qisqa vaqtda ikkala zarra ham magnit maydoniga induksiya chiziqlariga tik holda uchib kiradi. Protonning trayektoriya radiusi R ga teng. α-zarraning massasi protonnikidan 4 marta katta, zaryadi esa 2 marta katta. α-zarraning trayektoriya radiusi nimaga teng?*



Berilgan

$\vartheta_p = 0$

$\vartheta_\alpha = \vartheta$

$R_p = R$

$m_\alpha = 4m_p$

$q_\alpha = 2q_p$

$\alpha = 90^0$

$R_\alpha = ?$

Yechilishi

Eng avvalo zarralarning elastik to'qnashuvdan keyingi tezliklarini aniqlaymiz. Buning uchun mexanikadan ma'lum bo'lgan formulalardan foydalanamiz.

$$\begin{cases} \vartheta'_p = \dfrac{m_p\vartheta_p + m_\alpha\vartheta_\alpha - m_\alpha(\vartheta_p - \vartheta_\alpha)}{m_p + m_\alpha} = \dfrac{m_p\cdot 0 + 4m_p\vartheta - 4m_p(0-\vartheta)}{m_p + 4m_p} = 1{,}6\vartheta \\ \vartheta'_2 = \dfrac{m_p\vartheta_p + m_\alpha\vartheta_\alpha + m_p(\vartheta_p - \vartheta_\alpha)}{m_p + m_\alpha} = \dfrac{m_p\cdot 0 + 4m_p\vartheta + m_p(0-\vartheta)}{m_p + 4m_p} = 0{,}6\vartheta \end{cases}$$

Endi so'ralgan radiusni aniqlaymiz.

$$R_p = \frac{m_p\vartheta_p}{q_pB} = \frac{m_p\cdot 1{,}6\vartheta}{q_pB} = 1{,}6\frac{m_p\vartheta}{q_pB} = R, \quad \rightarrow \quad \frac{m_p\vartheta}{q_pB} = \frac{R}{1{,}6}$$

$$R_\alpha = \frac{m_\alpha\vartheta_\alpha}{q_\alpha B} = \frac{4m_p\cdot 0{,}6\vartheta}{2q_pB} = 1{,}2\frac{m_p\vartheta}{q_pB} = 1{,}2\cdot\frac{R}{1{,}6} = \frac{3}{4}R$$

Javob: $R_\alpha = \dfrac{3}{4}R$

§ 29. MAGNITLANISH VEKTORI. MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGI. MAGNIT QABUL QILUVCHANLIK VA MAGNIT SINGDIRUVCHANLIK.

Magnitlanish vektori:

Oldingi mavzularda vakuum uchun magnit maydonni o'rgandik. Agar magnit maydoniga biror modda olib kirilsa, bu modda magnitlanib xususiy magnit maydon $\vec{B}'$ ni vujudga keltiradi. Shuning uchun, tekshirilayotgan moddadagi natijaviy magnit maydon induksiyasi $\vec{B}$ tashqi maydon induksiyasi $\vec{B}_0$ va moddaning xususiy maydon induksiyasi $\vec{B}'$ ning geometrik yig'indisidan iborat deyish mumkin.

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' \qquad \textbf{(29.1)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Ko‘pincha, $\vec{B}'$ maydonni modda ichidagi aylanma mikrotoklar tufayli hosil bo‘luvchi ichki maydon induksiyasi deb, $\vec{B}_0$ maydonni esa makrotoklar tufayli hosil bo‘luvchi vakuumdagi (muhitdan tashqaridagi) maydon induksiyasi deb ataladi. Barcha moddalar magnit maydoniga kiritilganda qandaydir darajada magnitlanadi. Shu sababdan moddalarning magnit xususiyatlarini o‘rganishda “*magnetik*” terminini kiritamiz. Magnetiklarning magnit xususiyatlari atom tarkibidagi elementar zarralar (elektronlar, protonlar va neytronlar) harakati bilan aniqlanadi. Hisob-kitoblarga ko‘ra elektronlarning magnit ta’siri proton va neytronlarnikiga qaraganda ancha kuchli bo‘lar ekan.

Hozirgi zamonaviy tasavvurlarga ko‘ra atomdagi elektronlar yadro atrofida orbitada hamda o‘z o‘qi atrofida xususiy aylanma harakatlarda ishtirok etar ekan. Shuning uchun, ham atom tarkibidagi elektronlar orbital $\vec{p}_{orb}$ va xususiy $\vec{p}_{spin}$ magnit momentlarga ega bo‘lar ekan. Atomning natijaviy magnit momenti atom tarkibidagi elektronlarning orbital va xususiy magnit momentlarining geometrik yig‘indisidan iborat bo‘ladi.

$$\vec{p}_{at} = \sum \vec{p}_{orb} + \sum \vec{p}_{spin}$$

Tashqi magnit maydon ta’siriga uchramagan magnetik atomlarining magnit momentlari betartib bo‘lib, magnetik parchasidagi atomlarning natijaviy yig‘indi magnit momenti nolga teng bo‘ladi. Tashqi maydon ta’sirida ayrim atomlarning yo‘nalishlari qayta oriyentatsiyalanadi, ya’ni magnit momentlar yo‘nalishlari tartibga solinadi. Natijada, magnetik noldan farqli biror magnit momentiga ega bo‘lib qoladi. Tashqi maydon ta’sirida turli magnetiklar turlicha magnitlanib, ularning magnitlanish darajasini xarakterlash uchun ***magnitlanish vektori*** tushunchasini kiritamiz.

Magnitlanish vektori biror elementar ΔV hajmdagi barcha atomlarning magnit momentlarining geometrik yig‘indisga teng bo‘lgan vektor kattalikdir.

$$\vec{J} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta V} \quad \left[\frac{A}{m}\right] \qquad \textbf{(29.2)}$$

Hisob-kitoblarga ko‘ra, magnitlanish vektorining sirkulyatsiyasi mikrotoklar yig‘indisga teng bo‘lar ekan.

$$\oint \vec{J} \cdot d\vec{\ell} = \sum I_M \qquad \textbf{(29.3)}$$

Formuladan ko‘rinadiki, magnetikka tashqi magnit ta’sir qilmaganda $J=0$, shuningdek $\sum I_M = 0$ bo‘ladi. Boshqacha aytganda, barcha yo‘nalishlar teng ehtimolli bo‘lgani uchun barcha yo‘nalish atrofida aylanuvchi zaryadlar bir xil bo‘lib, ularning natijaviy ta’siri nolga tengdir. Magnit maydon ta’sir qilganda esa $J \neq 0$, shuningdek $\sum I_M \neq 0$ bo‘ladi, ya’ni biror yo‘nalish atrofida aylanuvchi zaryadlar ustunlik qiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Magnit maydon kuchlanganligi:

Magnetiklardagi magnit maydonini o‘rganishda biz ikki xil toklardan foydalanamiz. Ularning birinchisi o‘tkazuvchanlik toki I bo‘lib, uni makrotok deb ham ataladi. Ikkinchisi esa atom, molekula va ionlar ichidagi elektronlar harakati tufayli paydo bo‘ladigan mikrotok I_M dir. ***Mikrotoklar*** elementar zaryadli zarralarning aylanma harakatidan paydo bo‘luvchi ***aylanma tok***lardir.

Vakuumdagi magnit maydoni faqat makrotoklar tufayli vujudga kelib, bu maydonning sirkulyatsiyasi $\oint \vec{B}_0 d\vec{\ell} = \mu_0 \sum I$ formuladan topilar edi. Magnetikdagi magnit maydon sirkulyatsiyasini hisoblashda makrotoklardan tashqari mikrotoklarni ham e’tiborga olish kerak bo‘ladi.

$$\oint \vec{B} d\vec{\ell} = \oint \left(\vec{B}_0 + \vec{B}\right) d\vec{\ell} = \mu_0 \left(\sum I + \sum I_M\right) \qquad (29.4)$$

Bu formula moddadagi magnit maydoni uchun ***to‘liq tok qonuni*** deb ataladi.

Mikrotok uchun $\oint \vec{J} \cdot d\vec{\ell} = \sum I_M$ ifodani e’tiborga olgan holda yuqoridagi formulani quyidagicha o‘zgartib yozamiz:

$$\oint \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}\right) d\vec{\ell} = \sum I = \frac{1}{\mu_0} \oint \vec{B}_0 d\vec{\ell} \qquad (29.5)$$

Bu formuladan

$$\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} = \vec{H} \qquad (29.6)$$

deb belgilasak, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$\oint \vec{H} d\vec{\ell} = \sum I = \oint \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} d\vec{\ell} \qquad (29.7)$$

Bu formuladan ushbu

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} \qquad (29.8)$$

formula kelib chiqadi. Yuqoridagi formulalarda kiritilgan $\vec{H}$ vektor ***magnit maydon kuchlanganlik vektori*** deyiladi.

Vakuumdagi magnit maydonning kuchlanganlik vektori magnit induksiya vektori bilan bir xil yo‘nalib, lekin undan μ_0 marta farq qiladigan vektordir. Magnit maydon kuchlanganligi ham xuddi magnitlanish vektori o‘lchami kabi $[A/m]$ da o‘lchanadi. Induksiyasi $B = 4\pi \cdot 10^{-7}\ Tl$ bo‘lgan magnit maydonining kuchlanganligi $H = 1\ A/m$ ga teng bo‘ladi.

Yuqoridagi $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}$ va $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$ formulalarni tenglashtirishdan quyidagi formulani hosil qilish mumkin:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{J} \qquad (29.9)$$

Aksariyat magnetiklarda $\vec{J}$ va $\vec{B}_0$ vektorlar yo‘nalishdosh bo‘lgani uchun, bu magnetiklar tashqi maydonni kuchaytiradi.

Magnit qa’bul qiluvchanlik va magnit singdiruvchanlik:

Tajribalardan aniqlanishicha, muhit izotrop bo‘lsa, magnetikning ixtiyoriy nuqtasida $\vec{J}$ va $\vec{H}$ vektorlar quyidagicha bog‘lanishga ega ekan:

$$\vec{J} = \chi_м \vec{H} \qquad (29.10)$$

Bu yerda χ_m – magnetikning magnit xususiyatlarini ko‘rsatuvchi kattalik bo‘lib, uni *magnit qa’bul qiluvchanlik* deyiladi. $\vec{J}$ va $\vec{H}$ vektorlar o‘lchamdosh kattaliklar bo‘lgani uchun χ_m o‘lchamsiz kattlikdir. χ_m musbat va manfiy qiymatlar qa’bul qilishi mumkin. $\vec{J}$ va $\vec{H}$ vektorlar parallel bo‘lgan magnetiklarda $\chi_m > 0$, antiparallel bo‘lgan o‘tkazgichlarda esa $\chi_m < 0$ bo‘ladi.

Yuqoridagi formulani $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}$ formulaga qo‘yib $\vec{B}$ va $\vec{H}$ vektorli kattaliklar orasidagi munosobatni aniqlashimiz mumkin.

$$\vec{B} = (1 + \chi_m)\mu_0 \vec{H} = \mu \mu_0 \vec{H} \qquad (29.11)$$

Bu yerda: $\mu = 1 + \chi_m$ – muhitning *nisbiy magnit singdiruvchanligi* deb atalib, u o‘lchamsiz kattalikdir. Bu kattalik magnetik magnit maydonni vakuumga nisbatan necha marta kuchaytirishini bildiradi. $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ ekanini hisobga olsak, yuqoridagi formulani quyidagicha yozish mumkin bo‘ladi:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} = \mu \vec{B}_0 \qquad (29.12)$$

Izotrop muhitlarda $\vec{H}$ vektor $\vec{B}$ vektori bilan bir xil yo‘nalishga ega bo‘lib, miqdor jihatidan esa ular $\mu\mu_0$ marta farq qiladi. Demak, magnetik muhit magnit induksiyasini μ marta kuchaytirar ekan.

Yuqoridagi keltirib chiqarilgan formulalardan ko‘rinib turibdiki, magnit maydon kuchlanganligi vakuum uchun $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$ bo‘lsa, magnetik uchun $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} = \frac{\vec{B}}{(\vec{B}/\vec{B}_0)\mu_0} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$, ya’ni xuddi vakuum kabi bo‘ladi. Demak, magnit kuchlanganligi vakuumda va magnetik muhitda bir xil bo‘lar ekan, ya’ni magnetik muhit magnit kuchlanganlikni o‘zgartira olmas ekan.

Xulosa qilib aytganda, magnit maydon kuchlanganligi faqat vakuumni xarakterlasa, magnit maydon induksiyasi esa vakuumni va magnetik muhitni xarakterlar ekan.

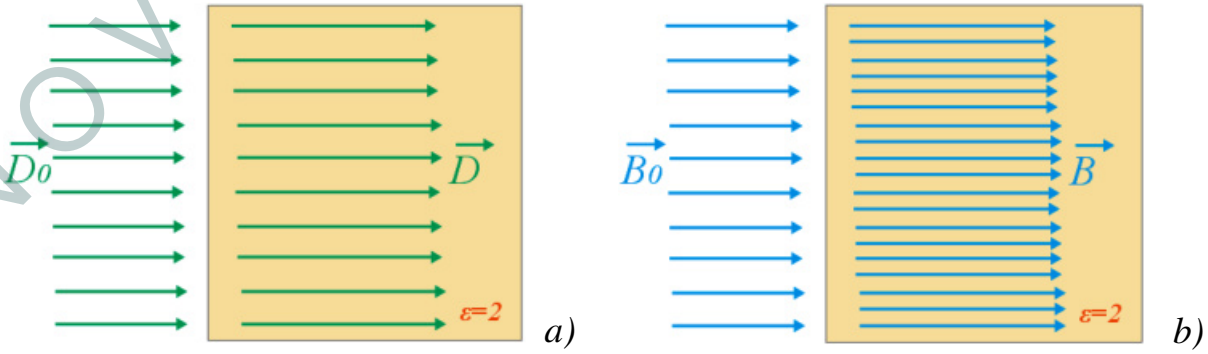
Magnit maydon kuchlanganligi va induksiyasining ma’nosi:

SINOV UCHUN BERILGAN

Magnit induksiyasi magnit chiziqlarining qanchalik zich, tig‘is joylashganligini bildiradi. Magnit induksiyasining qiymati katta joyda induksiya chiziqlari ham zichroq joylashagan bo‘ladi. Boshqacha aytganda, magnit induksiyasi $1sm^2$ yuzadan tik holda o‘tuvchi chiziqlar soniga to‘g‘ri proporsionaldir, ya’ni $B \sim \frac{\Delta N}{\Delta S}$ bo‘ladi. Aytaylik, induksiyasi $B_1=1\ Tl$ bo‘lgan nuqtada har $1sm^2$ yuzadan tik holda $\Delta N_1=1\ mln.$ ta induksiya chiziqlari kesib o‘tadi deb faraz qilsak, induksiyasi $B_2=2\ Tl$ bo‘lgan boshqa bir nuqtada esa har $1sm^2$ yuzadan tik holda $\Delta N_2=2\ mln.$ ta induksiya chiziqlari kesib o‘tadi deyish mumkin bo‘ladi.

Xuddi magnit induksiyasi kabi, magnit maydon kuchlanganligi ham kuchlanganlik chiziqlarining qanchalik zich, tig‘is joylashganligini bildiradi. Magnit kuchlanganligining qiymati katta joyda kuchlanganlik chiziqlari ham zichroq joylashagan bo‘ladi. Boshqacha aytganda, magnit kuchlanganligi $1sm^2$ yuzadan tik holda o‘tuvchi chiziqlar soniga to‘g‘ri proporsionaldir, ya’ni $H \sim \frac{\Delta N}{\Delta S}$ bo‘ladi. Aytaylik, kuchlanganligi $H_1=1\ A/m$ bo‘lgan nuqtada har $1sm^2$ yuzadan tik holda $\Delta N_1=1\ trln.$ dona kuchlanganlik chiziqlari kesib o‘tadi deb faraz qilsak, kuchlanganligi $H_2=1\ A/m$ bo‘lgan boshqa nuqtada esa har $1sm^2$ yuzadan tik holda $\Delta N_2=2\ trln.$ dona kuchlanganlik chiziqlari kesib o‘tadi deyish mumkin bo‘ladi.

Magnit induksiyasi va kuchlanganligining qiymatlari katta bo‘lgan nuqtada induksiya va kuchlanganlik chiziqlari ham tig‘isroq bo‘ladi. Shu boisdan bu nuqtada maydonning ta’siri ham kuchliroq bo‘ladi. Kuchlanganlik va induksiya chiziqlari taqoqlashib, sochilib ketayotgan joyda maydon ham susayib borayotgan bo‘ladi. Kuchlanganlik va induksiya chiziqlari yig‘ilishib, to‘planib borayotgan joyda maydon ham kuchayib borayotgan bo‘ladi. Kuchlanganlik va induksiya chiziqlari parallel bo‘lgan joyda esa maydon o‘zgarishi bo‘lmaydi va bu maydonni ***bir jinsli maydon*** deyiladi.



a) *b)*

29.1-rasm

Magnetik muhit kuchlanganlikning qiymatini o‘zgartirmaganligi uchun kuchlanganlik chiziqlar zichligi ham vakuumdan muhitga o‘tganda o‘zgarmaydi. Vakuumda kuchlanganlik chiziqlar soni $\Delta N_1=10\ trln.$ dona bo‘lsa, magnit

SINOV UCHUN BERILGAN

singdiruvchanligi ixtiyoriy μ bo‘lgan magnetik muhitda ham $\Delta N_2=10$ *trln.* dona chiziqlar soni o‘zgarmaydi (25.1-a,rasm).

Magnetik muhit magnit induksiyasining qiymatini μ marta o‘zgartirganligi uchun induksiya chiziqlar zichligi ham vakuumdan muhitga o‘tganda μ marta o‘zgaradi. Vakuumda induksiya chiziqlar soni $\Delta N_1=10$ *mln.* dona bo‘lsa, magnit singdiruvchanligi ixtiyoriy $\mu=2$ bo‘lgan magnetik muhitda esa induksiya chiziqlar soni $\Delta N_2=\mu\Delta N_1=20$ *mln.* dona bo‘ladi, ya’ni induksiya chiziqlar zichlashadi (29.1-b,rasm).

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Magnetik ichidagi natijaviy madon qaysi maydonlar yig‘indisiga teng? Atomdagi umumiy magnit moment qaysi momentlar yig‘indisiga teng?*
2. *Magnitlanish vektori deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o‘lchov birligini ayting.*
3. *Magnit qabul qiluvchanlik tushunchasiga ta’rif bering. Formulasini yozing.*
4. *Dielektrik singdiruvchanlik tushunchasiga ta’rif bering. Formulasini yozing.*
5. *Magnit qabul qiluvchanlik hamda dielektrik singdiruvchanlik kattaliklarni bog‘lovchi formulani yozing.*
6. *Magnit induksiyasi va magnit maydon kuchlanganligini bog‘lovchi formulani yozing.*
7. *Magnit induksiyasi va magnit maydon kuchlanganligi nimani (vakuumni yoki muhitni) anglatishini tushuntiring. Ularning fizik ma’nolarini gapirib bering.*

Masala yechish:

1.*Temir atomining magnit dipol momenti taxminan $p_0=2{,}1\cdot10^{-23}$ A·m² atrofida. Quyidagilarni hisoblang: a) $N=10^{19}$ ta atomdan iborat domenning maksimal magnit momentini; b) shu domen uchun qutblanish vektorini; c) shu domenning magnit mementiga teng bo‘lishi uchun diametri 1 sm bo‘lgan xalqadagi tok kuchi qanday bo‘lishi kerak?*

Berilgan	*Yechilishi*
$p_0=2{,}1\cdot10^{-23}$ A·m²	*a) Dastlab, domenning maksimal magnit momentini aniqlaymiz. Domendagi har bir atomning xususiy magnit momentlari bir xil yo‘nalganda domenning umumiy magnit momenti maksimal qiymatga erishadi.*
$d=1$ cm; $N=10^{19}$	
$\rho=7800$ kg/m³	
$M=56$ g/mol	
a) $\Delta p=?$	
b) $J=?$	
c) $I=?$	

$$\Delta p = Np_0 = 10^{19}\cdot 2{,}1\cdot 10^{-23}\ A\cdot m^2 = 2{,}1\cdot 10^{-4}\ A\cdot m^2$$

b) 10^{19} ta temir atomlaridan iborat domen qancha hajm egallashini aniqlaymiz.

$$\Delta V = \frac{m}{\rho} = \frac{m_0 N}{\rho} = \frac{M\,N}{\rho\,N_A} = \frac{\left(56\cdot10^{-3}\ kg/\text{mol}\right)\cdot10^{19}}{\left(7800\,kg/m^3\right)\cdot 6\cdot10^{23}\,mol^{-1}} \approx 1{,}2\cdot10^{-8}\,m^3$$

Endi shu hajm uchun o‘rtacha qutblanish vektorini aniqlaymiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$J = \frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{2{,}1 \cdot 10^{-4}\ A \cdot m^2}{1{,}2 \cdot 10^{-8}\ m^3} = 1{,}75 \cdot 10^4\ \frac{A}{m}$$

c) Shu domenhosil qilgan magnit momentga ekvivalent bo'lgan xalqadagi tok kuchini aniqlaymiz.

$$\Delta p = IS = \pi r^2 I = \pi \frac{d^2}{4} \mathrm{I}, \ \rightarrow \ I = \frac{4\Delta p}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot \left(2{,}1 \cdot 10^{-4}\ A \cdot m^2\right)}{3{,}14 \cdot \left(10^{-2} m\right)^2} = 2{,}674\ A$$

Javob: $a)\Delta p = 2{,}1 \cdot 10^{-4}\ A \cdot m^2;\ b)\Delta V = 1{,}2 \cdot 10^{-8} m^3;\ c) I = 2{,}674\ A$

2. *Havo bilan to'ldirilgan solenoid o'zagida magnit induksiyasi 1,5 Tl ga teng. Agar solenoiddan o'tayotgan tokni o'zgartmagan holda uning o'zagidagi havoni so'rib olinsa, magnit induksiyasi qanchaga kamayadi?*

Berilgan	*Yechilishi*
B =1,5 Tl	*Havo – bu paramagnetikdir, ya'ni pramagnetik modda tashqi magnit maydonini birozgina kuchaytiradi. Solenoid ichida magnetik modda bo'lganda o'zakdagi magnit maydoni* $B = (1+\chi)\mu_0 H$
$\chi=3{,}8\cdot10^{-7}$	
ΔB=?	

formula bilan, hech qanday modda bo'lmaganda esa

$$B_0 = \mu_0 H$$

formula bilan aniqlanadi. Havo so'rib olinganda esa magnit induksiya ularning farqiga teng bo'lgan qiymatga kamayadi.

$$\Delta B = B - B_0 = (1+\chi)\mu_0 H - \mu_0 H = \chi\mu_0 H = \chi B_0 = \frac{\chi}{1+\chi} B =$$

$$= \frac{3{,}8 \cdot 10^{-7}}{1+3{,}8 \cdot 10^{-7}} \cdot 1{,}5\ T \approx 3{,}8 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}5\ T = 5{,}7 \cdot 10^{-7}\ T$$

Javob: *ΔB =-3,8·10⁻⁷ T*

§ 30. MAGNETIKLAR VA ULARNING TURLARI.

Magnetiklarning magnit xususiyatlari:

Magnetiklar magnit xussiyatlariga ko'ra 3 xil bo'ladi: 1) diamgnetiklar; 2) paramgnetiklar; 3) ferromgnetiklar.

1) Diamagnetiklar:

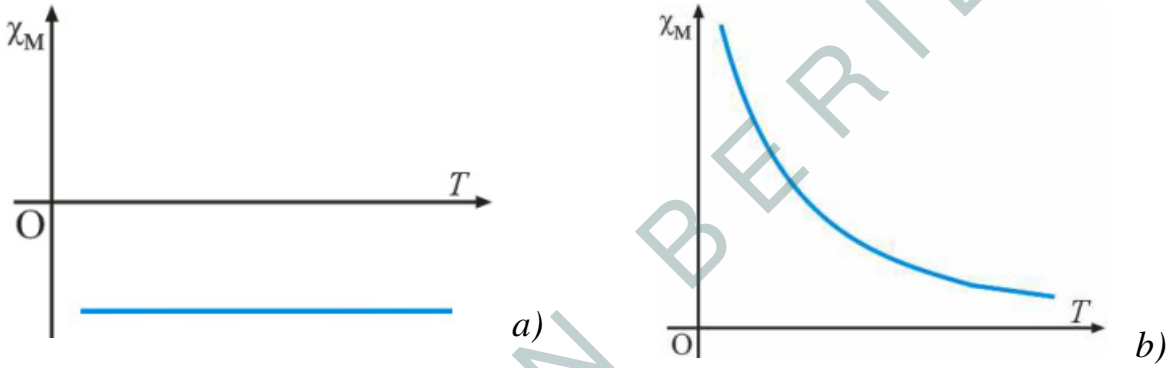
Orbita bo'ylab aylanma harakat qilayotgan elektron tashqi magnit maydon ta'sirida tashqi $\dot{B}$ vektorga qarama-qarshi yo'nalgan qo'shimcha $\Delta\vec{p}$ magnit momentga ega bo'lish hodisasiga ***diamagnit effekt*** deyiladi.

Diamgnetiklar atomlarining magnit momentlari nolga teng bo'lib, tashqi magnit maydoni ta'sir etmaganda bu atomlar tarkibidagi elektronlar magnit momentlari bir-birini kompensatsiyalaydi. Maydon ta'sir etganda esa diamgnetik

SINOV UCHUN BERILGAN

effekt tufayli atomlarning tarkibidagi ayrim elektronlar oladigan qo‘shimcha magnit momentlarining qo‘shilishi natijasida atomda tashqi magnit maydoniga qarma-qarshi yo‘nalgan magnit moment paydo bo‘ladi. Natijada atomlarning magnit momentlari qo‘shilib tashqi magnit maydonni biroz susaytiradi.

Diamagnetiklarda magnit qa’bul qiluvchanlik manfiy $(\chi_м < 0)$ bo‘ladi. Masalan, suv uchun $\chi_м = -9 \cdot 10^{-6}$ ga teng. Boshqa diamagnetiklarning magnit qa’bul qiluvchanligi ham shu atrofda bo‘ladi. Diamgnetiklarning nisbiy magnit singdiruvchanligi esa birdan biroz kichik, ya’ni $\begin{cases} \mu < 1 \\ \mu \approx 1 \end{cases}$ bo‘ladi. Diamgnetiklarda magnit qa’bul qiluvchanlikning qiymati temperatura ortishi bilan o‘zgarmaydi (30.1-a,rasm).



30.1-rasm

2) Paramagnetiklar:

Tashqi magnit maydoni bo‘lmaganda modda atomlarining magnit momentlari noldan farq qilsa, bunday moddalar magnit maydoniga joylashtirilganda atomlarning magnit momentlari maydon bo‘ylab tirtiblanishga intiladi. Bunday hodisaga ***paramagnetik effekt*** deb ataladi. Demak, paramagnetik effekt natijasida tashqi maydonning biroz kuchayishi kuzatilish kerak. Issiqlik harakati esa tartibli joylashuv (paramagnetik effekt)ni buzishga intiladi. Temperatura qancha yuqori bo‘lsa, atomlarning magnit momentlari tartibli joylashuvchiga to‘sqinlik shuncha yuqori bo‘ladi. Demak, paramagnetiklar deb ataluvchi moddalarda temperatura ortishi bilan magnit qa’bul qiluvchanlikning qiymati kamayib borar ekan (30.1-b,rasm).

$$\chi_м = \frac{C}{T} \qquad \textbf{(30.1)}$$

Bu yerda: C – berilgan paramagnetik uchun o‘zgarmas bo‘lib, Kyuri doimiysi deyiladi. Juda past temperaturalarda yuqoridagi Kyuri qonunidan chetga chiqishlar sodir bo‘ladi.

Paramagnetiklarda ham diamagnetik effekt kuzatiladi, lekin paramgnetik effektga nisbatan ancha sustroq. Shuning uchun, paramgnetik effektning natijaviy ta’siri ustunlik qiladi.

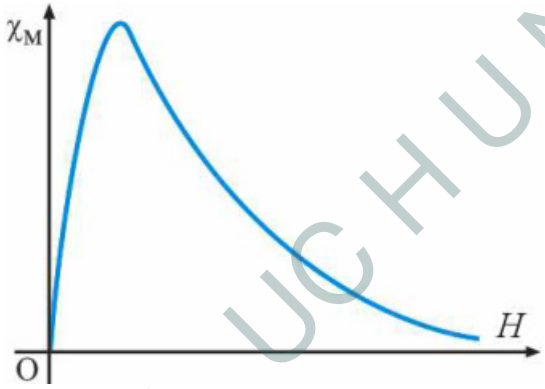
SINOV UCHUN BERILGAN

Paramagnetiklarda magnit qa'bul qiluvchanlik musbat $(\chi_м > 0)$ bo‘ladi. Masalan, havo uchun $\chi_m = 3{,}8 \cdot 10^{-7}$ ga teng. Boshqa paramagnetiklarning magnit qa'bul qiluvchanligi ham shu atrofda bo‘ladi. Paramagnetiklarning nisbiy magnit singdiruvchanligi esa birdan biroz katta, ya'ni $\begin{cases} \mu > 1 \\ \mu \approx 1 \end{cases}$ bo‘ladi.

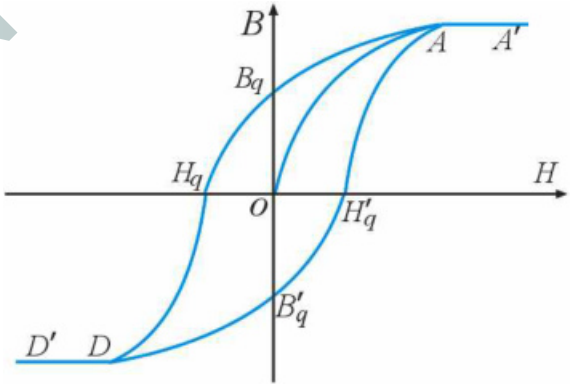
3) Ferromagnetiklar:

O‘zining magnit xossalari bilan diamagnetik va paramagnetiklardan keskin ajralib turuvchi uchinchi tur magnetiklarga ***ferromagnetiklar*** deyiladi. Bu xususiyat birinchi bo‘lib temir va uning qotishmalarida aniqlangani uchun shunday (Ferrum–lotinchi temir degani) nomlangan. Ferromagnetiklar uchun quyidagi xususiyatlarni sanash mumkin:

a) Ferromagnetiklar uchun magnit qa'bul qiluvchanlikning qiymati $\chi_м$ ning qiymati tashqi magnit maydon H ga bog‘liq ravishda juda tez o‘suvchan (30.2-rasm). Biror maksimumga erishgach, tashqi maydon yana kuchaytirilsa, χ_m ning qiymati kamayishi kuzatiladi. Barcha ferromagnetiklarda o‘rtacha tashqi magnit maydonda χ_m va μ ning qiymatlari birdan ancha katta, ya'ni tashqi magnit maydonni juda ko‘p marta kuchaytiruvchi bo‘ladi.



30.2-rasm



30.3-rasm

b) Ferromagnetik ichidagi magnit maydon induksiyasining tashqi magnit maydon kuchlanganligiga bog‘liqligi 30.3-rasmdagi OA egri chizig‘i bo‘yicha ortadi. Maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, magnit induksiyasi ortmasdan AA' gorizontal chiziq bo‘yicha boradi, ya'ni A nuqtadan boshlab magnit induksiyasining to‘yinishi kuzatiladi. Endi maydon kuchlanganligini nolgacha kamaytirsak AO egri chizig‘i o‘rniga AB_q egri chiziq bo‘yicha kamayadi. $H=0$ da OB_q ga teng miqdorda qoldiq magnit induksiya saqlanib qoladi, ya'ni tashqi magnit butunlay to‘xtatilganda ham ferromagnit ichida qoldiq induksiya mavjud bo‘ladi. Ferromagnit ichida magnit induksiyasini butunlay yo‘qotish uchun esa tashqi maydon kuchlanganligi OH_q ga teng miqdorda teskari yo‘nalgan bo‘lishi kerak. Teskari yo‘nalishdagi maydon kuchlanganligi yanada oshirilsa, H_qD egri chiziq bo‘yicha magnit induksiyasi ham teskari yo‘nalishda oshadi. Lekin, D

SINOV UCHUN BERILGAN

nuqtadan boshlab magnit induksiyasining to‘yinishi kuzatiladi. Kuchlanganlik yanada oshirilsa, induksiya *DD* gorizontal chiziq bo‘yicha boradi. Tashqi maydon kuchlangan-ligining miqdor va yo‘nalishi o‘zgartirilganda $AB_qH_qDB'_qH'_qA$ egri chizig‘i paydo bo‘ladi. Bu yopiq chiziqni ***gizterezis sirtmog‘i*** deyiladi. Gizterezis sirtmog‘ining yuzasi ferromagnetikni magnitlashda bajrilgan ishga teng bo‘ladi. Gisterezis sirtmog‘i ensiz (yuza kichik) bo‘lsa, yumshoq ferromagnetik, o‘rtacha bo‘lsa (yuza o‘rtacha), o‘rtacha ferromagnetik va yo‘g‘on (yuza katta) bo‘lsa, qattiq ferromagnetik bo‘ladi.

c) Har bir ferromagnetik uchun ferromagnetiklik xususiyatini yo‘qotadigan Kyuri temperaturasi (T_K) deb ataluvchi temperatura mavjuddir. Kyuri temperaturasining qiymati temir uchun $T_K=1043\ K$ ($t=770^0C$), nikel uchun $T_K=631\ K$ ($t=358^0C$), kobalt uchun $T_K=1394\ K$ ($t=1121^0C$), gadoliniy uchun T_K=317 K ($t=44^0C$), temir oksidi (Fe_2O_3) uchun esa $T_K=893\ K$ ($t=620^0C$) ga teng. Kyuri temperaturasidan yuqori temperaturada barcha ferromagnetiklar paramagnetikka aylanadi. Natijada, hosil bo‘lgan paramagnetikning magnit qa’bul qiluvchanligi temperaturaga bog‘liqligi

$$\chi_m = \frac{C}{T - T_K} \qquad (30.2)$$

formula bo‘yicha o‘zgaradi. Bu yerda: C – Kyuri doimiysi bo‘lib, u $T>T_K$ da o‘rinli. Oddiy paramagnetiklarning paramagnetikligi *0 K* temperaturadan boshlansa, ferromag-netiklarning paramagnetikligi esa Kyuri temperaturasi T_K dan boshlandi.

30.1-jadvalda magnetiklarning nisbiy magnit singdiruvchanliklaridan namunalar berilgan.

30.1-jadval

Ferromagnitlar	μ	Paramagnetiklar	μ	Diamagnetiklar	μ
Po‘lat	8000	Azot	1,0000000013	Vodorod	0,999999937
Nikel		Xavo	1,00000038	Suv	0,999991
Kobalt		Kislorod	1,0000019	Vismut	0,999824
Ferritlar	25000	Alyuminiy	1,000023	Osh tuzi	0,999987
		Volfram	1,000175	Oltin	0,999963
		Marganets	1,0038	Kvars	0,999985
		Qalay	1,0000044	Mis	0,999991
		Platina	1,000366	Qo‘rg‘oshin	0,999987
		Palladiy	1,000692	Kumush	0,999981
		Ebonit	1,000014	Shisha	0,999987

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Magnitklarning necha xil turi bor?*
2. *Paramagnetiklar uchun χ va μ kattaliklarning qiymatlari qaysi tartibda bo‘lishini aytib bering.*

SINOV UCHUN BERILGAN

3. *Diamagnetiklar uchun χ va μ kattaliklarning qiymatlari qaysi tartibda bo‘lishini aytib bering.*
4. *Ferromagnetiklar uchun χ va μ kattaliklarning qiymatlari qaysi tartibda bo‘lishini aytib bering.*
5. *Diamagnetik va paramagnetiklarning temperaturaga bog‘liqlik garfigi qanday?*
6. *Ferromagnetiklar magnit qabul qiluvchanligining tashqi maydon kuchlanganligiga bog‘lanish grafigi qanday?*
7. *Kyuri temperaturasi nima? Bu temperaturadan yuqori temperaturada ferromagnetik bo‘lishi mumkinmi?*

Masala yechish:

1. *Har santimetrida 10 ta o‘rami bo‘lgan temir o‘zakli solenoiddan 5 A tok o‘tmoqda. Agar solenoid o‘zagidagi magnit maydon induksiyasi 2 T ga teng bo‘lsa, u holda μ va χ ning qiymati nimaga teng?*

Berilgan	Yechilishi
$B=2\ T$ $I=5\ A$ $\ell=1\ cm$ $N=10$ $\mu,\ \chi=?$	Solenoidning o‘zagidagi magnit maydonni aniqlash formulasidan foydalanamiz.

$$B=\mu\mu_0 In=\mu\mu_0 I\frac{N}{\ell},\ \rightarrow\ \mu=\frac{B\ell}{\mu_0 IN}=\frac{2Tl\cdot 10^{-2}m}{\left(4\pi\cdot 10^{-7}\frac{Tl\cdot m}{A}\right)\cdot 5A\cdot 10}\approx 318$$

Endi χ ni aniqlaymiz.

$$\mu=1+\chi,\ \rightarrow\ \chi=\mu-1=317$$

Javob: $\mu=318;\ \chi=317$

§ 31. MAGNIT OQIMI. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA HODISASI. LENS QOIDASI.

Magnit maydon induksiyasi induksiya chiziqlari zichligini bildirar edi. Yuzani kesib o‘tuvchi jami induksiya chiziqlar sonini bildiruvchi yana bir kattalik borki, buni magnit induksiya oqimi deyiladi.

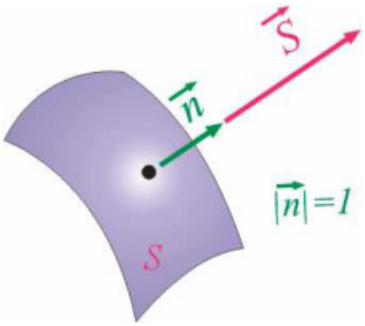
Yuza normali va yuza vektori :

Ixtiyoriy shakldagi yuza berilgan bo‘lsin. Bu yuzaga tik holda va sirtning qavariqlik tomoniga (egrilik tashqarisiga) yo‘nalgan hamda birlik uzunlikka $\left(|\vec{n}|=1\right)$ ega bo‘lgan perpendikulyar vektor o‘tkazamiz. Bu vektorni ***sirtning normali*** deyiladi. Sirt normalini sirt yuziga ko‘paytmasiga teng bo‘lgan vektor kattalikka ***yuza vektori*** deyiladi (31.1-a,rasm).

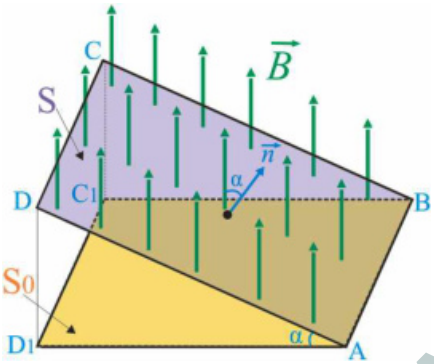
$$\vec{S}=S\cdot\vec{n},\quad |\vec{n}|=1 \qquad (31.1)$$

Yuza vektori sirt normali kabi qavariqlik tomonga yo‘naladi.

SINOV UCHUN BERILGAN



a)



b)

31.1-rasm

Magnit oqimi va uning ma'nosi:

Yuzasi *S* bo'lgan ixtiyoriy shakldagi tekis sirtni magnit maydoniga kiritaylik. Magnit maydon induksiya vektori $\vec{B}$ hamda sirt normali orasidagi burchak α ga teng bo'lsin. Magnit induksiya vektori va yuza vektorining skalyar ko'paytmasiga teng bo'lgan skalyar kattalikka yuzadan o'tuvchi magnit induksiya oqimi deyiladi (31.1-b,rasm).

$$\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = \vec{B}\cdot\left(S\,\vec{n}\right) = B\,S\cos\alpha \qquad \textbf{(31.2)}$$

Bu yerda: $\alpha = \vec{B}\,\hat{}\,\vec{n}$ – induksiya vektori va sirt normali orasidagi burchak.

Agar sirt induksiya chiziqlariga tik bo'lsa, u holda $\alpha=0^0$ bo'lib, yuzada eng katta $\Phi_{max} = B\,S$ magnit oqimi hosil bo'ladi.

Agar sirt induksiya chiziqlariga parallel bo'lsa, u holda $\alpha=90^0$ bo'lib, yuzada eng kam $\Phi_{min} = 0$ magnit oqimi hosil bo'ladi.

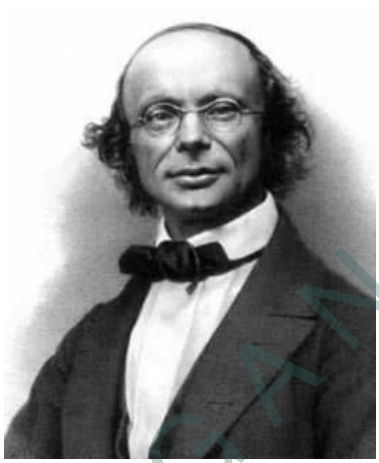
Magnit induksiya oqimining o'lchov birligi *Vb (Veber).* Agar yuzasi *1* m^2 bo'lgan kontur induksiyasi *1 Tl* bo'lgan magnit maydonida induksiya chiziqlariga tik holda turgan bo'lsa, yuzada *1 Vb* magnit induksiya oqimi hosil bo'ladi.

$$1Vb = 1Tl\cdot 1m^2 \qquad \textbf{(31.3)}$$

Magnit induksiya oqimini miqdoriy baholaylik. Avvalgi mavzularda magnit induksiyasi induksiya chiziqlar zichligini anglatishi bilan, ya'ni $B \sim \frac{\Delta N}{\Delta S}$ ekanligi bilan tanishganmiz. $\Phi=BS$ formulaga asosan, magnit induksiya oqimi yuzadan o'tuvchi jami induksiya chiziqlar sonini anglatadi, ya'ni $\Phi \sim \Delta N$ bo'ladi. Aytaylik, induksiyasi *B=1 Tl* bo'lgan nuqtada har *1* sm^2 yuzadan tik holda ΔN*=1 mln.* dona induksiya chiziqlari kesib o'tadi deb faraz qilsak, induksiya chiziqlariga tik joylashgan *S=15* sm^2 yuzadan esa N_{um}*=15 mln.* dona induksiya chiziqlari kesib o'tadi. Haqiqatda esa induksiya chiziqlar sonini sanashning iloji yo'q. O'rganuvchilarda tushunish oson bo'lish uchun shunday yo'l tutiladi. Ersted 1821-yilda o'z tajribalari natijasida elektr toki o'z atrofida magnit maydoni hosil

SINOV UCHUN BERILGAN

Vilgelm Eduard Veber 2804-yil 24-oktyabrda Saksaniyaning Kurfyurshestvo shaharchasida dunyoga kelgan. U 1826-yil Galle universitetini tamomlaydi va shu yil doktorlik darajasini oladi. 1845-yildan boshlab umrining oxirigacha Gyottingen universitetida faoliyat olib borgan. Veber birinchi bo'lib elektromagnit telegraf qurilmasini yaratdi. Uning asosiy ishlari elektr va magnit sohasida msh olib borgan. 1856-yil zaryadning elektr o'lchamtdagi va magnit o'chamidagi kattaliklari nisbati yorug'lik tezligiga tengligini aniqladi. Veber ikkita harakatlanayotgan zaryadning o'zaro ta'siri nafaqat zaryad kattaligiga, balki zaryadlarning tezligiga ham bog'liq bo'lishini aniqladi. U uzoqdan ta'sir pirnsipi tarafdori edi. Hozirda Magnit induksiya oqimining o'lchov birligi uning nomi bilan Veber deb ataladi. U 1891-yil 86 yoshida Germaniyaning Gyottingen shahrida vaot etadi.



Vilgelm Eduard Veber (1804–1891)

qilishini aniqlagan edi. Ingliz fizigi Maykl Faradeyni bunga teskari jarayon, ya'ni magnit maydoni elektr toki hosil qilishi mumkin emasmikan degan savol qiziqtirdi. Oradan 10 yil vaqt o'tib o'z tajribalariga tayangan holda elektromagnit induksiya hodisasini aniqladi va elektromagnit induksiya qonunini kashf etdi.

Elektromagnit induksiya hodisasi:

Igna ustida erkin aylanuvchi sterjenga ikkita alyuminiy xalqa mahkamlangan bo'lsin. Xalqalardan biri berk, ikkinchisi esa uzuq bo'lsin. Berk xalqaga magnit sterjenni yaqinlashtirganimizda xalqa undan itarilib aylanib ketadi (31.2-a,rasm). Uzuq xalqaga yaqinlashtirganda esa hech narsa sodir bo'lmaydi (31.2-b,rasm). Berk xalqaga magnitni yaqinlashtirganda xalqaning magnitdan itarilish sababini quyidagicha izohlashimiz mumkin:

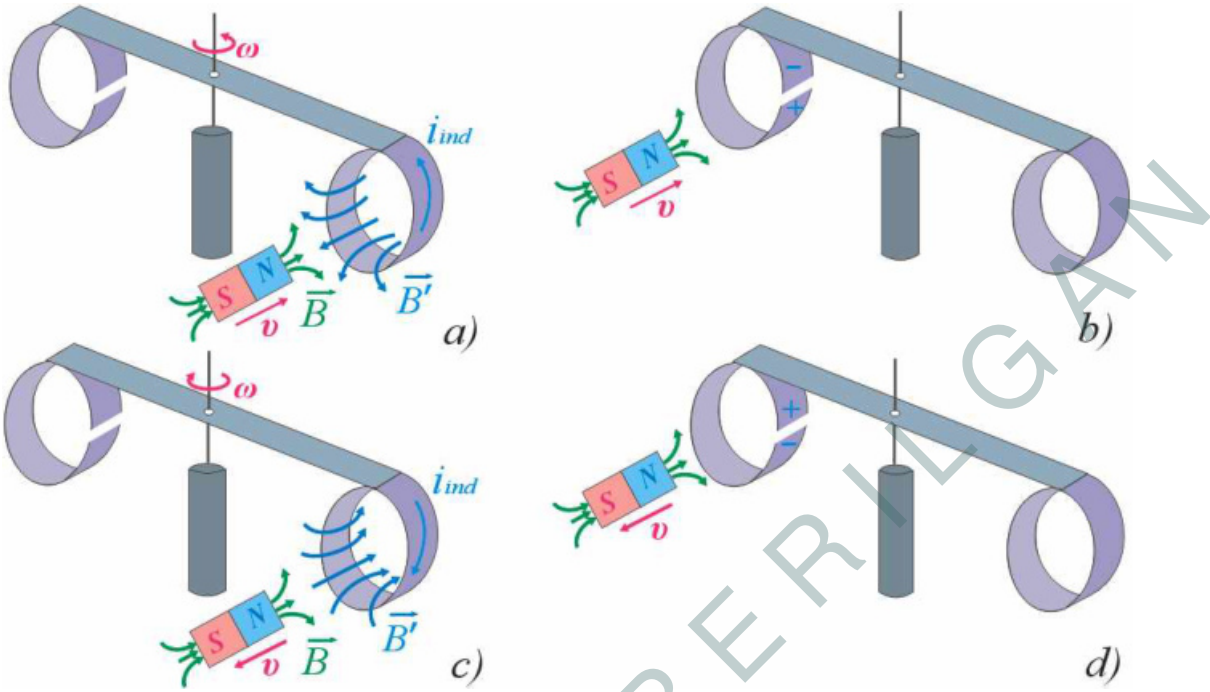
Magnit yaqinlashayotganda berk xalqada qandaydir tok hosil bo'ladi va bu tok o'z atrofida ikkilamchi B' maydonni hosil qiladi. B' maydon B maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lgani uchun ular itarishadi (31.2-a,rasm). Magnitni uzuq xalqaga yaqinlashtirganda esa xalqa uzuqligi uchun aylanma tok hosil bo'la olmaydi, faqat uzuq joy qarama-qarshi zaryadlanib turadi xolos, ya'ni xalqaning uzilgan nuqtalari orasida potensiallar hosil bo'ladi (31.2-b,rasm).

Endi berk xalqa yaqinida turgan magnit sterjenni xalqadan uzoqlashtirganimizda xalqa magnitga tortilib unga ergashadi, ya'ni bu holda xalqa qarama-qarshi tomonga aylanadi (31.2-c,rasm). Uzuq xalqadan uzoqlashtirganda esa hech narsa sodir bo'lmaydi (31.2-d,rasm). Berk xalqadan magnitni uzoqlashtirganda xalqaning magnitga tortilib ergashish sababini quyidagicha izohlashimiz mumkin:

Magnit uzoqlashayotganda berk xalqada qandaydir tok hosil bo'ladi va bu tok o'z atrofida ikkilamchi B' maydonni hosil qiladi. B' maydon B maydon bilan yo'nalishdosh bo'lgani uchun ular tortishadi (31.2-c,rasm). Magnitni uzuq xalqadan uzoqlashtirganda esa xalqa uzuqligi uchun aylanma tok hosil bo'la

SINOV UCHUN BERILGAN

olmaydi, faqat uzuq joy qarama-qarshi zaryadlanib turadi xolos, ya’ni xalqaning uzilgan nuqtalari orasida potensiallar hosil bo‘ladi (31.2-d,rasm).



31.2-rasm

Berk kontur (yoki sim g‘altak) yuzasini kesib o‘tuvchi magnit oqimi (induksiya chiziqlari soni) o‘zgarganda konturda tok hosil bo‘lish hodisasiga elektromagnit induksiya hodisasi deyiladi. Hosil bo‘lgan tokni induksion tok deyiladi.

Aytaylik, magnit sterjenning qutbidan jami $N=10$ *mlrd*. dona magnit induksiya chiziqlari chiqayotgan bo‘lsin. Magnit sterjen xalqadan uzoqda joylashganda xalqa yuzasini $N_1=1$ *mlrd*. dona magnit induksiya chiziqlari, xalqaga yaqin kelganda esa $\Delta N_2=N=10$ *mlrd*. dona magnit induksiya chiziqlari kesib o‘tsin. Bunda kontur yuzasini kesib o‘tuvchi magnit chiziqlar soni $\Delta N=9$ *mlrd*. donaga o‘zgaradi (oshadi yoki kamayadi). Magnit sterjen xalqaga yaqinlashayotganda $\Delta N=9$ *mlrd*. bo‘ladi, ya’ni yuzani kesib o‘tuvchi magnit chiziqlar soni oshadi. Magnit sterjen xalqadan uzoqlashayotganda esa $\Delta N=-9$ *mlrd*. bo‘ladi, ya’ni yuzani kesib o‘tuvchi magnit chiziqlar soni kamayadi. Agar yuzadan o‘tuvchi ana shu kuch chiziqlar soni o‘zgarishi biror t vaqtda ro‘y berganda (magnit sterjenni xalqaga t vaqtda yaqinlashtirganda yoki uzoqlashtirganda) konturda i tok vujudga kelsa, kuch chiziqlar soni o‘zgarishi $t/2$ vaqtda ro‘y berganda (magnit sterjenni xalqaga $t/2$ vaqt davomida yaqinlashtirganda yoki uzoqlashtirganda) esa konturda $2i$ tok vujudga keladi. Konturda qancha katta induksion tok hosil bo‘lsa, uning ikkilamchi B' maydoni ham shuncha kuchli bo‘lib, asosiy B maydon bilan ta’siri (tortishi yoki itarishi) ham shuncha kuchli bo‘ladi.

Boshqacha aytganda, konturni kesib o‘tadigan magnit oqimi (induksiya chiziqlari soni) qanchalik tez shiddat bilan o‘zgarsa (oshsa yoki kamaysa),

SINOV UCHUN BERILGAN

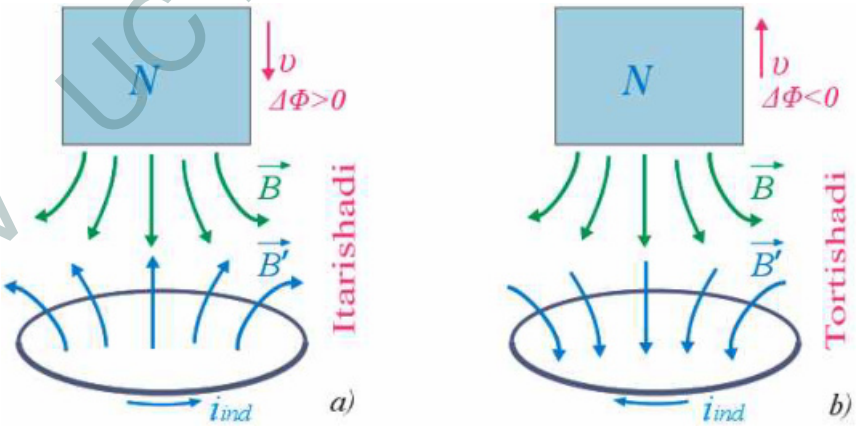
konturda shuncha katta induksion tok hosil bo‘ladi. Bu induksion tokning hosil qilgan B' maydoni ham shuncha kuchli bo‘ladi va yaqinlashayotgan magnit sterjendan shuncha kuchli itariladi yoki uzoqlashayotgan sterjenga shuncha kuchli tortiladi.

Lens qoidasi :

G‘altakka o‘ralgan simda hosil bo‘ladigan induksion tok yo‘nalishini galvanometr strelkasining og‘ishiga qarab aniqlash mumkin edi. Induksion tokning yo‘nalishi bo‘yicha 1834 yilda Peterburg akademigi Emil Xristianovich Lens tajribalar o‘tkazdi va tajriba natijalariga asoslanib induksion tok yo‘nalishini aniqlash qoidasini topdi. Konturda hosil bo‘ladigan intuksion tok yo‘nalishi Lens qoidasi asosida aniqlanadi.

Berk konturda paydo bo‘ladigan induksion tok shunday yo‘naladiki, bunda induksion tok hosil qilgan magnit maydoni tashqi magnit oqimining har qanday o‘zgarishiga to‘sqinlik qiladi.

Demak, induksion tok shunday yo‘nalar ekanki, uning magnit maydoni konturni kesib o‘tuvchi magnit induksiya chiziqlar soni oshayotganda oshirmaslikka intiladi (buning uchun magnit sterjeni itarib yaqinlashtirishga qo‘ymaydi), magnit induksiya chiziqlar soni kamayayotganda esa kamaytirmaslikka intiladi (buning uchun magnit sterjenni tortib uzoqlashtirishga qo‘ymaydi). Shunday qilib, induksion tok hosil qilgan ikkilamchi B' maydoni kontur va magnit sterjenning nisbiy vaziyatini o‘zgartirmaslikka intilar ekan. Chunki, ularning nisbiy vaziyati o‘zgarmagandagina konturdan o‘tuvchi magnit oqimi o‘zgarmaydi.



31.3-rasm

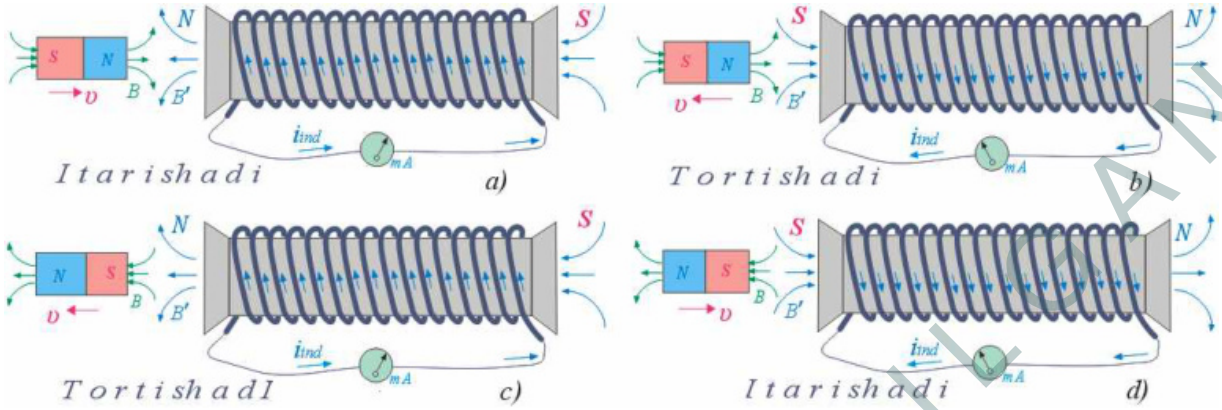
Induksion tokning yo‘nalishini aniqlash uchun quyidagi ishlarni bajaramiz (31.3-rasm):

1) Magnit oqimi oshayotganligi $\Delta\Phi>0$ yoki $\Delta\Phi<0$ kamayayotganligi aniqlanadi;
2) Induksion tokning hosil qilgan maydoni B' ning yo‘nalishini aniqlaymiz. Buning uchun $\Delta\Phi>0$ bo‘lganda B' maydon B maydonga qarama-qarshi

SINOV UCHUN BERILGAN

yo‘nalgan bo‘ladi, $\Delta\Phi<0$ bo‘lganda esa B' maydon B maydon bilan mos yo‘nalgan bo‘ladi;

3) B' maydonning yo‘nalishini bilgan holda o‘ng parma qoidasiga asosan induksion tok i_{ind} ning yo‘nalishi topiladi.



31.4-rasm

G‘altakka magnitni har xil qutblari bilan yaqinlashtirganda yoki uzoqlashtirganda induksion tokning yo‘nalishlari, g‘altakning qutblari hamda tortilish-itarilish hodisalari yuqoridagi 31.4-rasmda tasvirlangan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Magnit oqimi deb nimaga aytiladi? Uning o‘lchov birligini ayting va bir birligiga ta’rif bering.*
2. *Magnit oqimi qachon maksimal yoki minimal bo‘ladi?*
3. *Elektromagnit induksiya hodisasi nima?*
4. *Lens qoidasini aytib bering. Unga ko‘ra konturda hosil bo‘luvchi induksion tokning yo‘nalishini aniqlab bering.*
5. *Sim xalqaga magnitni yaqinlashtirganda induksion tok qanday yo‘naladi? Bunda xalqa va magnit tortishadimi yoki itarishadimi?*
6. *Sim xalqadan magnitni uzoqlashtirganda induksion tok qanday yo‘naladi? Bunda xalqa va magnit tortishadimi yoki itarishadimi?*

Masala yechish:

1. *Radiusi 5 cm bo‘lgan doirasimon yuza induksiyasi 2 bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Induksiya vektori doira sirti normali bilan 0° burchak hosil qiladi. Sirtni kesib o‘tuvchi magnit oqimni toping (mVb).*

A) 3,14 B) 10 C) 30,5 D) 15,7. E) 8

Berilgan:

$R = 5 \cdot 10^{-2} m$

$B = 2\ T$

$\alpha = 0°$

F-?

Yechilishi:

1) $F = BS\cos\alpha$

2) $F = 2 \cdot 3{,}14 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 1 = 15{,}7 mWb$

Javob: *D) 15,7 mWb*

SINOV UCHUN BERILMAN

§ 32. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA QONUNI VA UNING TURLI TATBIQLARI.

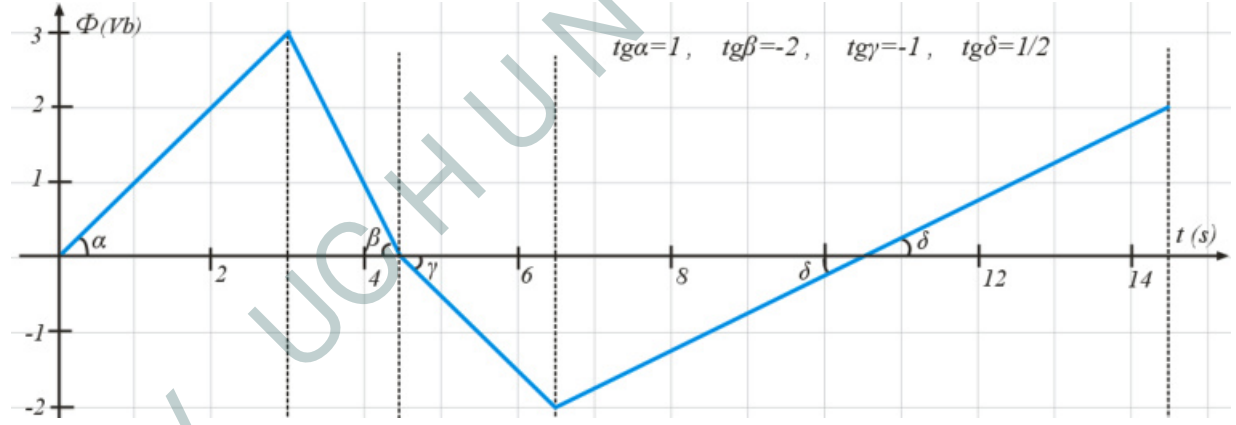
M.Faradey o‘z tajribalariga tayangan holda 1831-yili elektromagnit induksiyasini miqdori baholash uchun o‘zining elektromagnit induksiya qonunini yaratdi.

Elektromagnit induksiya qonuni:

Yopiq konturda hosil bo‘ladigan induksion EYuK shu kontur bilan chegaralangan yuza orqali o‘tayotgan magnit induksiya oqimining o‘zgarish tezligiga proporsionaldir.

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad yoki \quad \varepsilon_{ind} = -\Phi' \qquad (32.1)$$

Elektromagnit iduksiya qonuniga ko‘ra, agar magnit oqimi oshayotgan ($\Delta\Phi>0$) bo‘lsa, konturda manfiy induksiya EYuK $(\varepsilon_{ind} < 0)$ paydo bo‘ladi va aksincha, agar magnit oqimi kamayayotgan ($\Delta\Phi<0$) bo‘lsa, konturda musbat induksiya EYuK $(\varepsilon_{ind} > 0)$ paydo bo‘ladi. Agar magnit oqimi bir tekis o‘zgarsa, u holda sim ramkada hosil bo‘ladigan induksiya EYuKning qiymati doimiy bo‘ladi (32.1-rasm).



a)

b)

32.1-rasm

Yuqoridagi rasmdan ham ko‘rinadiki, magnit oqimi va vaqt bog‘langan $(\Phi = \Phi(t))$ grafikda grafikning gorizont bilan hosil qilgan burchak tangensi miqdor jihatidan konturda hosil bo‘ladigan induksiya EYuKga teng bo‘lar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Magnit oqimi uchun yozilgan $\Phi = BS\cos\alpha$ formuladagi kattaliklardan biri vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan bo‘lsa, elektromagnit induksiya qonunidan yana xususiy formulalar kelib chiqadi.

Agar faqat magnit maydoni vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan bo‘lsa, elektromagnit induksiya qonuni quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\varepsilon_{ind} = -\Phi' = -S\cos\alpha\,\frac{dB}{dt} \qquad (32.2)$$

Agar faqat kontur yuzasining kattaligi vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan bo‘lsa, elektromagnit induksiya qonuni quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\varepsilon_{ind} = -\Phi' = -B\cos\alpha\,\frac{dS}{dt} \qquad (32.3)$$

Agar S yuza bu yuzaga tik bo‘lgan o‘q atrofida $\alpha=\omega t$ qonunga ko‘ra tekis aylanayotgan bo‘lsa, elektromagnit induksiya qonuni quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\varepsilon_{ind} = -\Phi' = -BS\,\frac{d(\cos\omega t)}{dt} = BS\omega\sin\omega t \qquad (32.4)$$

Agar konturning elektr qarshiligi ma’lum bo‘lsa, induksion tokning kattaligini ham aniqlash mumkin bo‘ladi.

$$i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = -\frac{1}{R}\cdot\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\ yoki\quad i_{ind} = -\frac{\Phi'}{R} \qquad (32.5)$$

Elektromagnit inukdsiya hodisasi tufayli konturda induksiyaon tok paydo bo‘lar ekan, demak, zaryadli zarralarning bir tomonga ko‘chkisi ham paydo bo‘ladi. Natijada, konturning ko‘ndalang kesimi yuzidan biror chekli Δt vaqt oralig‘ida Δq zaryad oqib o‘tadi. Bu oqib o‘tgan zaryad miqdorini hisoblab topish mumkin.

Konturning ko‘ndalang kesimidan oqib o‘tgan zaryad miqdori quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta q_{ind} = \int_0^t i_{ind}\,dt = -\frac{1}{R}\int_0^t \frac{d\Phi}{dt}\,dt = -\frac{\Delta\Phi}{R} \qquad (32.6)$$

Endi elektromagnit induksiya qonunining ba’zi tatrbiqlari bilan tanishamiz.

Magnit maydonda aylanuvchi sim ramkada induksiya EYuK :

Magnit maydonga kiritilgan yuzasi S bo‘lgan g‘altakka Nta sim o‘ram o‘ralgan bo‘lsin hamda bu g‘altak o‘z o‘qi atrofida $\alpha=\omega t$ qonunga muvofiq tekis aylanma harakat qilayotgan bo‘lsin. Bunda g‘altak ko‘ndalang kesimidan o‘tuvchi magnit oqimi (magnit kuch chiziqlar soni) o‘zgargani uchun elektromagnit induksiya qonuniga asosan g‘altakda inukdsiya EYuK paydo bo‘ladi (28.2-rasm). Paydo bo‘lgan induksiya EYuKni elektromagnit induksiya qonunidan foydalanib aniqlash mumkin. G‘altak magnit maydonida aylanar ekan, g‘altakni kesib o‘tuvchi magnit oqimi vaqt o‘tishi bilan $\Phi=BS\cos\omega t$ qonunga ko‘ra garmonik

SINOV UCHUN BERILGAN

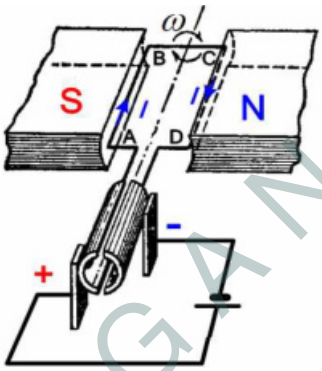
o‘zgaradi. O‘ramlar to‘plami magnit maydonda aylanganda g‘altakning har bir o‘ramida ε_0 induksiya EYuKi induksiyalanadi. Bu induksiya EYuK esa

$$\varepsilon_0 = -\Phi' = -\left(BS\cos\omega t\right)' = BS\,\omega\sin\omega t$$

ga teng bo‘ladi. G‘altakda paydo bo‘ladigan umumiy EyuK

$$\varepsilon_{ind} = N\varepsilon_0 = NBS\,\omega\sin\omega t = \varepsilon_{\max}\sin\omega t$$

bo‘ladi. Induksiya EYuK ham xuddi magnit oqimi kabi garmonik qolnunga muvofiq o‘zgaradi, faqat tebranish fazasi magnit oqimining tebranish fazasidan $\pi/2$ qadar orqada boradi.



32.2-rasm

Shunday qilib, magnit maydonida N ta sim o‘ramga ega bo‘lgan tekis aylanuvchi g‘altakda paydo bo‘ladigan inukdsiya EYuK quyidagicha bo‘lar ekan (32.2-rasm):

$$\varepsilon_{ind} = NBS\,\omega\sin\omega t = \varepsilon_{\max}\sin\omega t, \quad \varepsilon_{\max} = NBS\,\omega \qquad \textbf{(32.7)}$$

Induksiya EYuKi garmonik qonunga ko‘ra o‘zgarar ekan, induksiya tok kuchi ham garmonik qonunga muvofiq o‘zgaradi.

G‘altakda hosil bo‘ladigan induksiya EYuKning vaqt bo‘yicha o‘zgarish tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{NBS\,\omega}{R}\sin\omega t = I_m\sin\omega t, \quad I_m = \frac{NBS\,\omega}{R} \qquad \textbf{(32.8)}$$

G‘altak magnit maydonida aylanar ekan, g‘altak ko‘ndalang kesimidan o‘tuvchi magnit oqimi davriy ravishda kamayib va oshib turadi. Lens qoidasiga asosan, induksiya toki shunday yo‘naladiki, bu induksion tok magnit oqimi ortayotganda ortishga va kamayayotganda esa kamayishga to‘sqinlik qiluvchi ikkilamchi magnit maydonini hosil qiladi. Boshqacha aytganda, ikkilamchi maydon magnit oqimining har qanday o‘zgarishini cheklashga intiladi. Shuning uchun, g‘altakni magnit maydonda aylantirish uchun tashqi kuchlar ish bajarishi kerak, ya’ni tashqi burovchi moment bo‘lishi kerak. Shu burovchi momentni haisoblaylik.

Oldingi mavzularda doimiy I tok o‘tib turgan sim ramka doimiy B magnit maydoniga kiritilganda, unda $M=BIS\sin\alpha$ burovchi moment paydo bo‘lishini ko‘rgan edik. Bu yerda α – sim ramka yuzasi normali $\vec{n}$ va tashqi magnit maydoni $\vec{B}$ orasidagi burchak bo‘lib, mazkur holatda ramka tekis aylanma harakat qilgani uchun $\alpha=\omega t$ qonun bo‘yicha o‘zgaradi. O‘ramlarga ega bo‘lgan sim ramka (g‘altak) doimiy magnit maydonida aylantirildganda g‘altakda $i_{ind} = \frac{NBS\,\omega}{R}\sin\omega t$ induksiya EYuKi paydo bo‘ladi. Shularni e’tiborga olsak, g‘altakni magnit maydonida aylantirish uchun

SINOV UCHUN BERILGAN

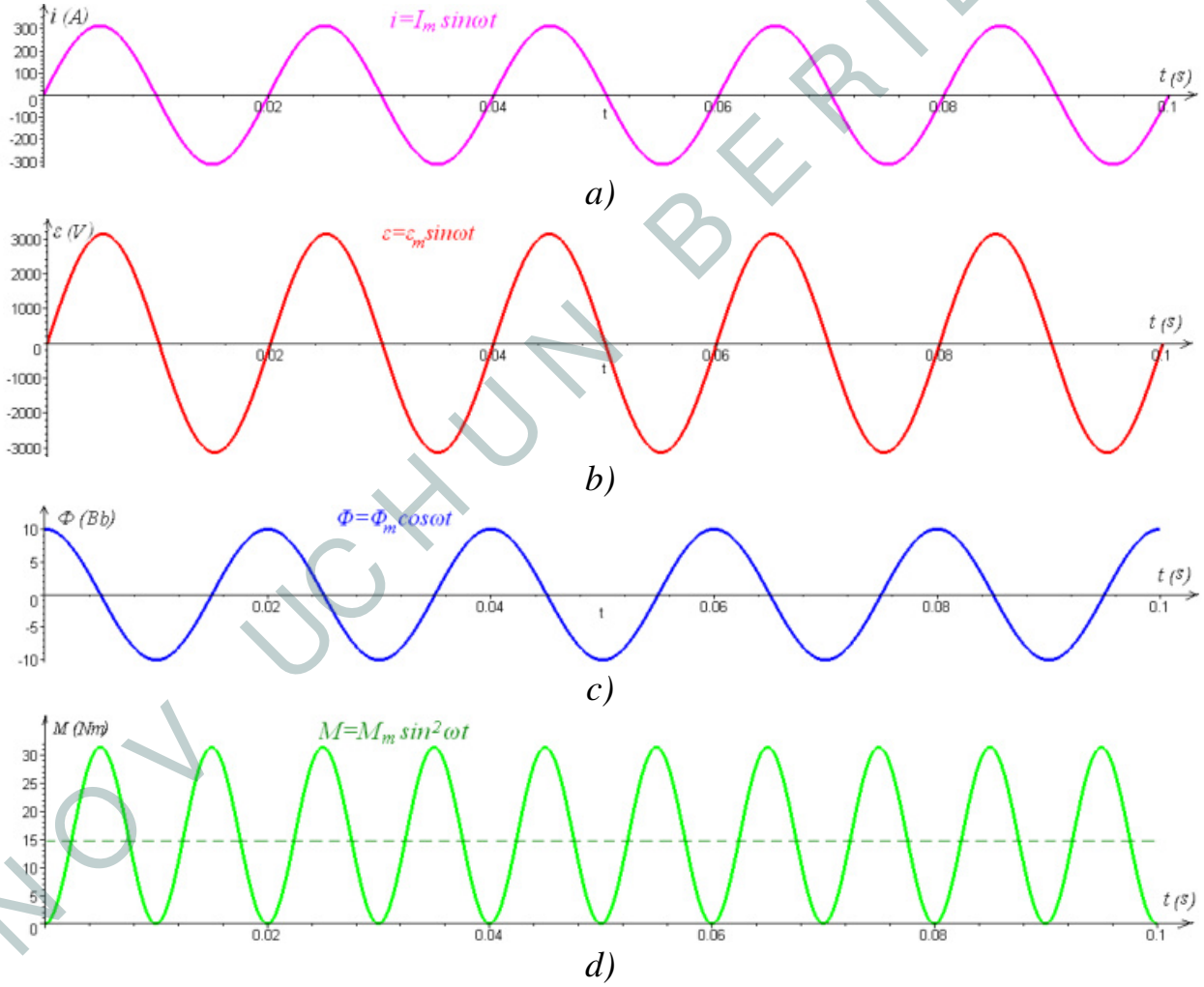
$$M = BIS\sin\alpha = Bi_{инд}S\sin\omega t = B\left(\frac{NBS\omega}{R}\sin\omega t\right)S\sin\omega t = \frac{N\omega}{R}B^2S^2\sin^2\omega t$$

ga teng burovchi moment kerak bo‘ladi.

Shunday qilib, doimiy magnit maydonida g‘altakni tekis aylantirish uchun kerak bo‘ladigan tashqi burovchi moment quyidagicha bo‘lar ekan:

$$M = \frac{N\omega}{R}B^2S^2\sin^2\omega t = M_m\sin^2\omega t, \quad M_m = \frac{N\omega}{R}B^2S^2 \qquad (32.9)$$

Simli ramka magnit maydonida aylantirilganda ramka tekisligini kesib o‘tuvchi magnit oqimi $(\Phi = \Phi(t))$, ramkida hosil bo‘ladigan induksion EYuK $(\varepsilon_{инд} = \varepsilon(t))$ hamda induksion tok kuchi $(i_{ind} = i(t))$ va ramkani aylantiruvchi tashqi burovchi moment $(M = M(t))$ grafiklari quyidagi rasmda tasvirlangan.



32.3-rasm

Yuqoridagi grafiklar kattaliklar qiymatlari $N = 100,\ B = 1Tl,\ S = 0{,}1m^2,$ $\omega = 100\pi\ rad/s,\ R = 10\Omega$ ga teng bo‘lgan holat uchun keltirilgan.

Tokli ramkani magnit maydonida burish uchun bajariladigan ishni $A = \int M(\varphi)d\varphi$ formuladan aniqlash mumkin. Burovchi momentning bir davrdagi o‘rtacha qiymatini

SINOV UCHUN BERILGAN

$$M = \frac{N\omega}{2R} B^2 S^2$$

deb hisoblasak, ramkani ixtiyoriy $\Delta\varphi$ burchakka burganda

$$A = M \cdot \Delta\varphi = \frac{N\omega}{2R} B^2 S^2 \cdot \Delta\varphi$$

ga teng bo‘ladi. Agar ramka butun son marta aylansa, ya’ni $\Delta\varphi = 2\pi k$ desak, bajarilgan ish

$$A = \frac{\pi k N \omega}{R} B^2 S^2$$

ga teng bo‘ladi.

Shunday qilib, magnit maydonida sim ramkani tekis aylantirish uchun tashqi kuchlar bajaradigan ish quyidagicha bo‘lar ekan:

$$A = \frac{N\omega}{2R} B^2 S^2 \cdot \Delta\varphi \qquad yoki \qquad A = \frac{\pi k N \omega}{R} B^2 S^2 \tag{32.10}$$

Magnit maydonda harakatlanayotgan o‘tkazgichda induksiya EYuK :

Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, agar biror uzunlikdagi o‘tkazgich bo‘lagi olib, uni magnit maydonida o‘zgarmas tezlik bilan harakatlantirilganda ham bu o‘tkazgichda induksion EYuK va o‘tkazgich bo‘ylab induksion tok hosil bo‘lar ekan. Natijada, o‘tkazgich uchlarida potensiallar ayirmasi paydo bo‘lar ekan. Ana shu induksion EYuKni miqdoriy hisoblaylik.

Agar induksiyasi B bo‘lgan magnit maydoniga uzunligi ℓ bo‘lgan o‘tkazgich kiritilgan bo‘lsa va bu o‘tkazgich maydonga α burchak ostida ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, u holda o‘tkazgichda hosil bo‘ladigan induksiya EYuK quyidagicha bo‘ladi:

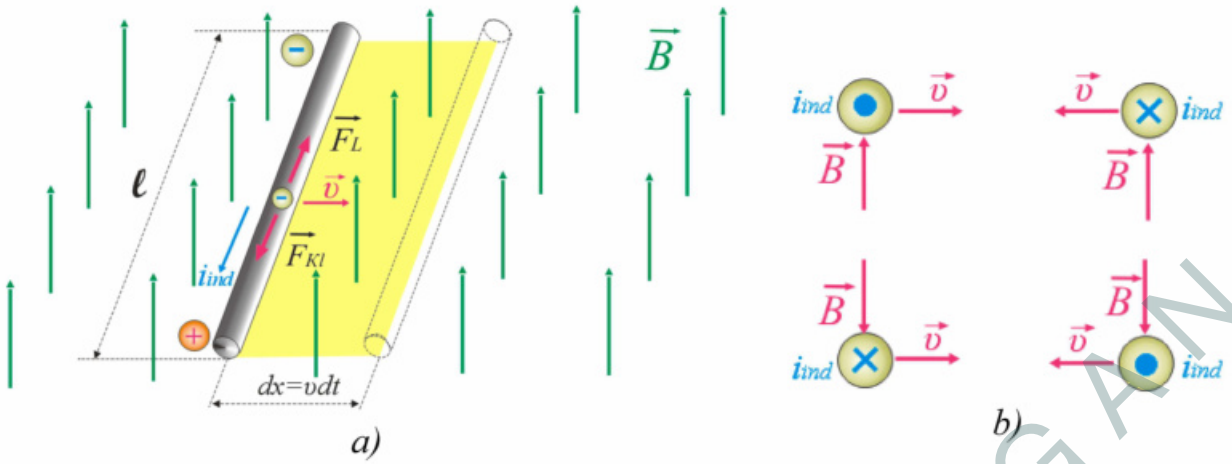
$$\varepsilon_{ind} = B\ell\vartheta\sin\alpha \tag{32.11}$$

Yuqoridagi formulani ikki xil usulda isbotlash mumkin:

1-usul

O‘tkazgich magnit maydonida harakatlanganda, bu o‘tkazgichning ichidagi har bir erkin elektron ham magnit maydonida harakatlanadi. Bu elektronlarga esa magnit maydoni tomonidan Lorens kuchi ta’sir etib, bu Lorens kuchi ularni o‘tkazgichning bir tomoniga to‘playdi. Natijada, o‘tkazgichning bir uchida ortiqcha elektronlar tufayli manfiy potensial, ikkinchi uchida esa elektron yetishmovchiligi tufayli musbat potensial paydo bo‘ladi (28.4-a,rasm). O‘tkazgich uchlaridagi potensiallar farqi toki erkin elektronga ta’sir etuvchi Lorens kuchi va Kulon kuchlari o‘zaro tenglashguncha $(F_L = F_{K\ell})$ davom etadi. O‘tkazgichning bir uchida turgan erkin elektronni Lorens kuchi Kulon kuchiga qarshi o‘tkazgichning ikkinchi uchiga ko‘chirishda ish bajaradi, ya’ni ish

SINOV UCHUN BERILGAN



32.4-rasm

$$A = F_K \cdot \ell = F_L \cdot \ell = e\vartheta B \sin\alpha \cdot \ell$$

ga teng bo‘ladi. Zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish esa EYuKni ifodalar edi. Ya’ni o‘tkazgichda paydo bo‘ladigan induksiya EYuK

$$\varepsilon_{ind} = \frac{A}{e} = \frac{e\vartheta B \sin\alpha \cdot \ell}{e} = B\ell\vartheta \sin\alpha$$

ga teng bo‘ladi.

2-usul

O‘tkazgich magnit maydonida maydonga nisbatan α burchak ostida harakatlanganda, biror kichik dt vaqt oralig‘ida o‘tkazgich biror kichik $d\ell = \vartheta dt$ masofaga siljib, magnit maydonida $dS = \ell dx \sin\alpha = \ell\vartheta \sin\alpha\, dt$ ga teng kichik yuza chizadi. Bunda shu yuzani kesib o‘tuvchi magnit oqimi

$$d\Phi = B\,dS = B\ell\vartheta \sin\alpha\, dt$$

ga teng bo‘ladi. Elektromagnit induksiya qonuniga ko‘ra esa induksiya EYuK miqdor jihatidan magnit oqimining o‘zgarish tezligiga teng bo‘ladi. Ya’ni, induksiya EYuKning qiymati

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{B\ell\vartheta \sin\alpha\, dt}{dt} = B\ell\vartheta \sin\alpha$$

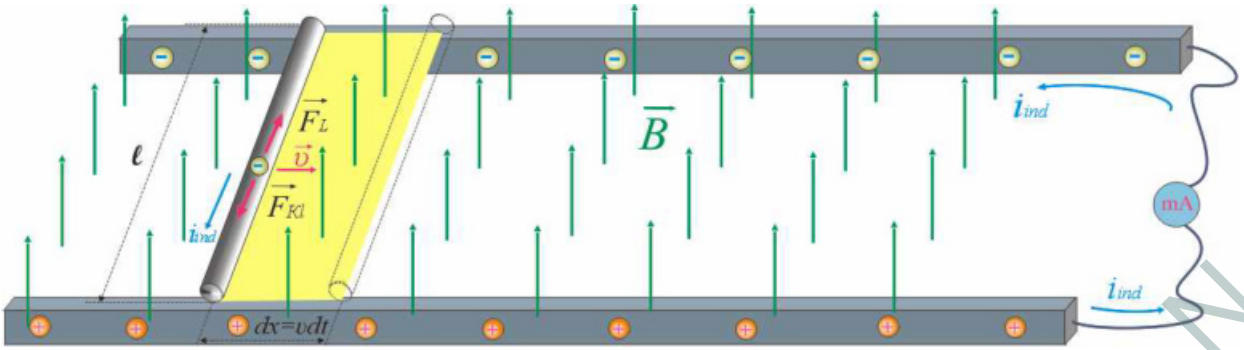
ga teng bo‘ladi.

Demak, yuqoridagi isbotlangan formuladan ko‘rinadiki, $\alpha = 90^0$ bo‘lganda, o‘tkazgichda eng katta EYuK hosil bo‘lar ekan.

$$\boxed{\varepsilon_{max} = B\ell\vartheta} \qquad \textbf{(32.12)}$$

32.4-b,rasmda o‘tkazgichda hosil bo‘ladigan induksion toklarning yo‘nalishlari tasvirlangan. Rasmda o‘tkazgich uzunligi chizma tekisligiga tik holda turibdi. Magnit maydonida harakatlanayotgan o‘tkazgichda hosil bo‘ladigan induksion tokning yo‘nalishi chap qo‘l qoidasiga asosan aniqlanadi.

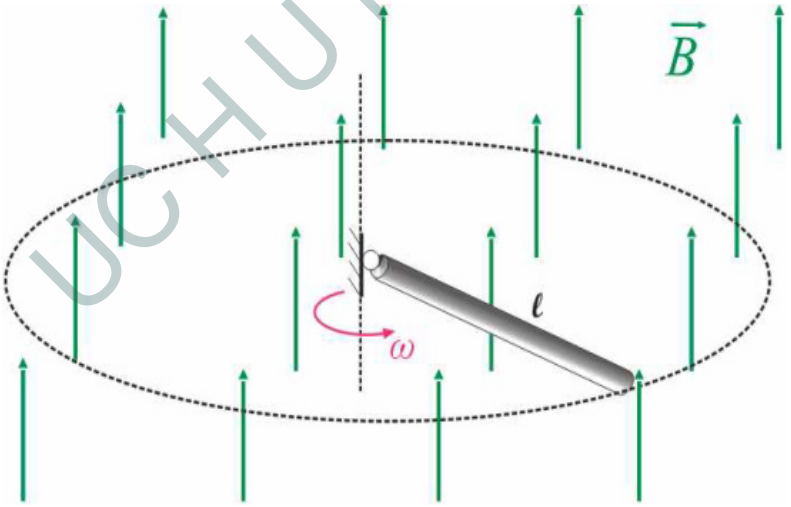
SINOV UCHUN BERILGAN



32.5-rasm

Agar chap qo‘limizni yoyilgan to‘rt barmog‘imiz o‘tkazgich harakat yo‘nalishini ko‘rsatadigan qilib, magnit maydoni esa kaftimizga kiradigan qilib tutsak, u holda 90^0ga kerilgan bosh barmog‘imiz esa induksion tok yo‘nalishini ko‘rsatadi.

Agar 32.5-rasmda o‘tkazgich uchlari parallel o‘tkazgich relslarida harakatlantirilsa, u holda relslardan biri (-), ikkinchisi esa (+) ishorali zaryadlanib qoladi hamda relslar orasidagi potensiallar farqi $\varphi_+ - \varphi_- = \varepsilon_{ind} = B\ell\vartheta\sin\alpha$ ga teng bo‘ladi. Agar rels uchlariga milliampermetr ulansa, u holda yopiq kontur hosil bo‘lishi natijasida soat strelkasiga qarama-qarshi yo‘nalishda aylanma tok paydo bo‘ladi. Bu tokni manfiy zaryadlar-elektronlar hosil qilayotgani uchun, elektronlar harakati soat strelkasi bo‘yicha bo‘ladi.



32.6-rasm

Agar magnit maydondagi o‘tkazgichni bir uchi atrofidan o‘tgan o‘q atrofida aylantirilsa, uning uchlarida potensiallar farqi paydo bo‘lar ekan. Shuni hisoblaylik (32.6-rasm). Markaz boshidan ixtiyoriy r masofada elementar dr uzunlik olamiz. Bu elementar uzunlik magnit maydonida deyarli o‘zgarmas $\vartheta=\omega r$ tezlik bilan harakatlanadi. Bu elementar qismda hosil bo‘ladigan elementar induksiya EyuK

$$d\varepsilon = B\ell\vartheta\sin\alpha = B\,dr\,(\omega r)\sin\alpha = B\omega\sin\alpha\; r\,dr$$

ga teng bo‘ladi. Buni $0 \le r \le \ell$ oraliqda integrallab butun o‘tkazgichda hosil bo‘ladigan induksiya EYuKning qiymatini topamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\varepsilon = \int d\varepsilon = B\omega \sin\alpha \int_0^{\ell} r\,dr = B\omega \sin\alpha \frac{\ell^2}{2} = \frac{1}{2} B\omega \ell^2 \sin\alpha = B\frac{\vartheta_m}{2}\ell \sin\alpha$$

Bu yerda: $\vartheta_m = \omega\ell -$ o‘tkazgich uchining chiziqli tezligi. Demak, ℓ uzunlikdagi o‘tkazgichni bir uchi atrofida aylantirganda yoki uni o‘rtasining tezligiga teng $\left(\vartheta = \frac{\vartheta_m}{2}\right)$ tezlik bilan ilgarilanma harakatlantirganda hosil bo‘ladigan EYuKlarning qiymatlari o‘zaro teng bo‘lar ekan.

Shunday qilib, magnit maydoniga kiritilgan ℓ uzunlikdagi o‘tkazgichni bir uchi atrofida bior ω burchak tezlik bilan aylantirilganda o‘tkazgichda hosil bo‘ladigan induksiya EYuK quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\varepsilon_{ind} = \frac{1}{2} B\omega\ell^2 \sin\alpha = B\frac{\vartheta_m}{2}\ell \sin\alpha \qquad \textbf{(32.13)}$$

Bugungi kundagi barcha o‘zgaruvchan tok bilan ishlaydigan elektr jihozlari, gidro, issiqlik va atom elektrostansiyalari, elektrodvigatellar va generatorlar, mikrofon va tovush karnaylari va boshqalarning ishlashi elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektromagnit induksiya qonunini aytib bering.*
2. *Konturda hosil bo‘ladigan induksiya EYuKning ishorasi qachon musbat yoki manfiy bo‘lishini ayting.*
3. *Magnit induksiyasi, kontur yuzasi va burchalardan biri vaqtga bog‘liq bo‘lgan hollar uchun elektromagnit induksiya qonunining matematik ifodalarini yozing.*
4. *Aylanuvchi sim ramka uchun elektromagnit induksiya qonunini yozing.*
5. *Aylanuvchi sim ramkada magnit oqimi, induksiya EYuK va induksiya tokining vaqtga bog‘lanish tenglamalarini yozing va ularning grafiklarini tasvirlang.*
6. *Sim ramkani magnit maydonida aylantiruvchi burovchi momentning vaqtga bog‘lanish tenglamasini yozing.*
7. *Sim ramkani magnit maydonida ixtiyoriy $\Delta\varphi$ burchakka burish uchun, bir marta aylantirish uchun va k marta aylantirish uchun tashqi kuch qanday ish bajaradi?*
8. *Magnit maydonida to‘g‘ri chiziqli tekis harakat qilayotgan o‘tkazgichda hosil bo‘ladigan induksiya EYuK qanday? Agar o‘tkazgich bir uchidan o‘tgan o‘q atrofida tekis aylanayotgan bo‘lsa-chi?*

Masala yechish:

1. *Uzunligi 0,3 m bo‘lgan to‘g‘ri o‘tkazgich magnit maydoni induksiya chiziqlariga 30° burchak ostida 6 m/s tezlik bilan kesib o‘tadi. Tezlik yo‘nalishi o‘tkazgichga tik. O‘tkazgichda induksiyalanuvchi EYuK 3,6 V ga teng bo‘lsa maydonning magnit induksiyasi necha tesla?*

A)1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 6

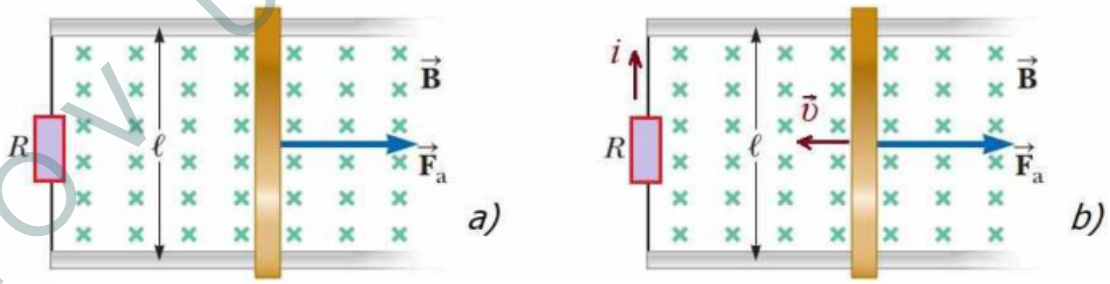
SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$l = 0{,}3m$ $\alpha = 30°$ $v = 6\frac{m}{s}$ $\varepsilon = 3{,}6V$ $B=?$	*1)* $\varepsilon = Blv\sin\alpha$ *2)* $B=\frac{\varepsilon}{vl\sin\alpha} = \frac{3{,}6}{6}\cdot 0{,}3\cdot 0{,}5 = \frac{7{,}2}{1{,}8} = 4\ T.$ ***Javob:*** *D) 4 T*

2. *O'tkazgichdan yasalgan halqaning yuzi 400 cm².Ung tik yo'nalgan holda kesib o'tuvchi magnit maydon induks yasi* $B = 0{,}1 + 0{,}2t$ *qonun bo'yicha o'zgaradi. Bu yerda B kattalik Teslalarda, t kattalik esa sekundlarda ifodalanadi. Halqada hosil bo'luvchi induksiya EYuK qanday (mV) bo'ladi?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$S = 100\cdot 10^{-4}m^2$ $B = 0{,}1 + 0{,}2t$ ε-?	*Elektromagnit induksiya qonuni formulasidan foydalanamiz.* $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dBS}{dt} = S\frac{dB}{dt} = 4\cdot 10^{-2}\cdot 0{,}2 = 8mV$ ***Javob:*** *8 mV*

3. *a-rasmda rasm tekisligi tomonga yo'nalgan magnit maydonida joylashgan relslarda sirpanuvchi sterjenga ta'sir qiluvchi amper kuchi yo'nalishi ko'rsatilgan. Bunda o'tkazgichning elektr qarshiligi R=6 Ω ga, sterjenning uzunligi ℓ=1,2 m ga, magnit maydon induksiyasi B=2,5 T ga va hosil bo'lgan tok kuchi i=0,5 A ga teng. Chap qo'l va Lens qoidasi asosida induksiyalangan tokning yo'nalishini hamda sterjenning harakat yo'nalishini ko'rsating. Bunda sterjen qanday tezlik bilan harakatlantirilmoqda?*



Berilgan:	*Yechilishi:*
R=6 Ω *B=2,5 T* *ℓ=1,2 m* *i=0,5 A* *ϑ=?*	*Chap qo'l qoidasiga ko'ra chap qo'limizni magnit maydoni kaftimizga kiradigan, amper kuchi bosh barmog'i bilan bir xil qilib tutsak, u holda yoyilgan to'rt barmog'imiz sterjen bo'ylab pastga yo'nalgan tokni ko'rsatadi (b-rasm). Boshqacha aytganda, induksion tok qarshilik, relslar a sterjen bo'ylab soat mili yo'nalishida oqadi.*

SINOV UCHUN BERILGAN

Sterjen bo'ylab tok pastga oqishi – bu degani elektronlarning tepaga harakatlanishi deganidir. Bu esa sterjen ichidagi har bir erkin elektronga yuqoriga yo'nalgan lorens kuchi ta'sir qilishini anglatadi. Lorens kuchi tepaga yo'nalishi uchun esa sterjen biror doimiy tezlik bilan relslar ustida chap tomonga sirpanishi kerak (b-rasm).

Endi esa sterjenning harakatlanish tezligini aniqlaymiz.

$$i=\frac{\varepsilon_{ind}}{R}=\frac{B\ell\vartheta\sin 90^0}{R}=\frac{B\ell\vartheta}{R},\ \rightarrow\ \vartheta=\frac{iR}{B\ell}=\frac{(0{,}5\,A)\cdot(6\Omega)}{(2{,}5T)\cdot(1{,}2m)}=1\,\frac{m}{s}$$

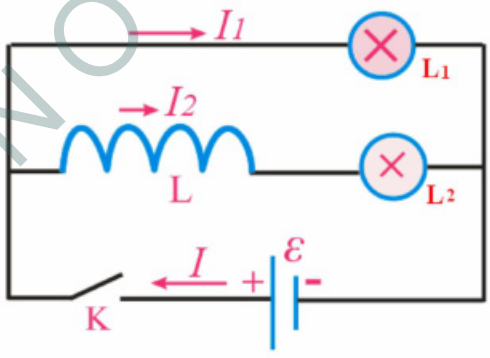
Javob: $\vartheta=1\ m/s$

§ 33. O'ZINDUKSIYA HODISASI. G'ALTAKNING INDUKTIVLIGI. MAGNIT MAYDON ENERGIYASI. O'ZARO INDUKSIYA HODISASI.

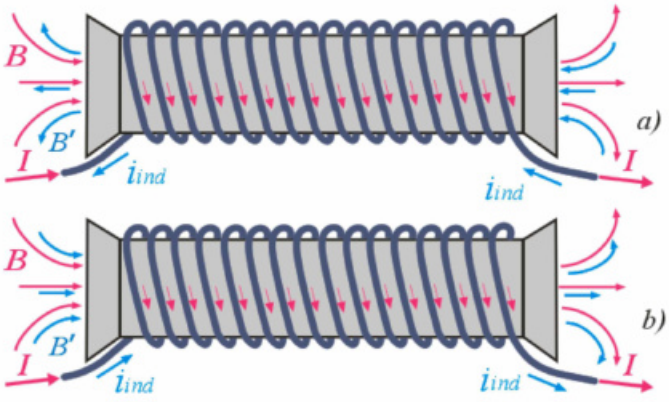
O'zinduksiya hodisasi:

33.1-rasmdagi zanjirni yig'aylik. K kalit ulanganda 1-lampa darhol yonadi, 2-lampa esa biroz kechikib yonadi. 1-lampadan o'tadigan tok o'zining maksimal qiymatiga darhol erishadi. 2-lampadan o'tadigan tok esa o'zining maksimal qiymatiga erishish uchun biroz vaqt kerak bo'ladi. Demak, 2-lampada kalit ulangandan keyin tok kuchining oshishiga qarshilik qiluvchi qandaydir bir to'sqinlikka uchraydi. Buning sababchisi esa L g'altakdir. K kalit ulanganda nima hodisa ro'y berishini 33.2-a,rasmda ko'rsatilgan.

Kalit ulangan paytda tok kuchi I osha boshlaydi. Shuning bilan birga g'altak yuzasini kesib o'tuvchi magnit oqimi ham osha boshlaydi. Elektromagnit induksiya hodisasiga ko'ra g'altakda induksion tok paydo bo'ladi. Lens qoidasiga ko'ra $\Delta\Phi>0$ bo'lganda induksion tok hosil qilgan ikkilamchi B' maydon asosiy B maydonga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Shuningdek, induksion tok i_{ind} ham asosiy I tokka qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Ana shu sababdan ham 2-lampa kechikib yonadi.



33.1-rasm



33.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Amerikalik fizik, Smitson institutining birinchi sekretari Jozef Genri 1797-yil 17-dekabrda Nyu-York shtatining Olbani shaharchasida kambag‘al oilada tug‘ilgan. 16 yoshidan fanga qiziqa boshlagan, 1819 Olbani akademiyasiga o‘qishga kiriadi va 1826-yilda Olbani akademiyasi pprofessori bo‘ladi. Uning Erning magnit maydoniga qiziqishi butunlay magnetizm bilan shug‘ullanishiga olib keldi. U birinchchi bo‘lib, g‘altak va o‘zak yordamida sun’iy elektromagnintni oladi va o‘z zamonasining eng kuchli elektromagnitini ixtiro qiladi. Genri Benjamin Franklin zamonidagi eng buyuk olimlardan biri hisoblangan, shuningdek Linkoln tomonidan AQSh milliy fanlar akademiyasi tarkibiga kiritilgan 50 ta nomdor olimlardan biri bo‘lgan. Induktivlikning o‘lchov birligi uning nomi bilan Genri deb ataladi va bu o‘lcham 1960-yil o‘lcham va og‘irliklar bo‘yicha XI bosh konferensiyaning qaroriga muvofiq XBSga kiritildi. U 1878-yil 13-mayda Vashingtonda vafot etadi.



Jozef Genri (1797–1868)

K kalit uzilganda 1-lampa darhol o‘chadi, 2-lampa esa biroz kechikib o‘chadi. 1-lampadan o‘tadigan tok o‘zining minimal qiymatiga darhol erishadi. 2-lampadan o‘tadigan tok esa o‘zining minimal qiymatiga erishish uchun biroz vaqt kerak bo‘ladi. Demak, 2-lampada kalit uzilgandan keyin tok kuchining kamayishiga to‘sqinlik qiluvchi, tok kuchini qo‘llab-quvvatlab turuvchi qandaydir yordamga, ko‘makka duch keladi. Buning sababchisi esa *L* g‘altakdir. *K* kalit ulanganda nima hodisa ro‘y berishini 33.2-a,rasmda ko‘rsatilgan. *K* kalit uzilganda nima hodisa ro‘y berishini 33.2-b,rasmda ko‘rsatilgan.

Kalit uzilgan paytda tok kuchi *I* kamaya boshlaydi. Shuning bilan birga g‘altak yuzasini kesib o‘tuvchi magnit oqimi ham kamaya boshlaydi. Elektromagnit induksiya hodisasiga ko‘ra g‘altakda induksion tok paydo bo‘ladi. Lens qoidasiga ko‘ra $\Delta\Phi<0$ bo‘lganda induksion tok hosil qilgan ikkilamchi B' maydon asosiy B maydon bilan mos yo‘nalgan bo‘ladi. Shuningdek, induksion tok i_{ind} ham asosiy *I* tok bilan yo‘nalishdosh bo‘ladi. Ana shu sababdan ham 2-lampa kechikib o‘chadi.

G‘altakning tok kuchining har qanday o‘zgarishiga ko‘rsatadigan qarshiligini o‘zinduksiya hodisasi deyiladi.

G‘altakning o‘ramlar soni qanchalik ko‘p bo‘lsa, kechikib yonish va kechikib o‘chish shunchalik sezilarli bo‘ladi.

G‘altakning induktivligi:

G‘altakdan qanchalik katta tok o‘tsa, uning yuzasida ham shunchalik katta magnit induksiya oqimi paydo bo‘ladi, ya’ni $\Phi \sim I$ bo‘ladi. Proporsionallikdan tenglikka o‘tishda g‘altak induktivligi deb ataluvchi *L* proporsionallik koeffitsiyenti kirgizamiz.

G‘altakdan tok o‘tganda g‘altak yuzasida hosil bo‘luvchi magnit induksiya oqimi quyidagicha bo‘ladi:

$$\Phi = LI \qquad (33.1)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $L=\frac{\Phi}{I}\ \left[\frac{Vb}{A}=Hn\right]$ – g‘altak induktivligi. Induktivlikni mexanikadagi massaga (inertlikka) o‘xshatish mumkin. Massasi katta jismning tezligini o‘zgartirish qiyin bo‘lgani kabi, induktivligi katta bo‘lgan g‘altakdagi tok kuchini ham o‘zgartirish qiyin kechadi.

Agar g‘altakdan *1 A* tok o‘tganda uning yuzasida *1 Vb* magnit oqimi paydo bo‘lsa, bunday g‘altakning induktivligi *1 Hn (Genri)* ga teng bo‘ladi.

$$1Hn=\frac{1Vb}{1A} \qquad (33.2)$$

G‘altak induktivligi g‘altakning geometrik o‘lchamlari, o‘ramlar soni va ferromagnit o‘zakning magnit singdiruvchanligiga bog‘liq bo‘lgan kattalikdir. Induktivlik formulasini keltirib chiqaraylik. Magnit oqimini topish formulasiga ko‘ra g‘altakning bitta o‘ramida $\Phi_0=BS\cos\alpha=BS$ induksiya oqimi paydo bo‘ladi. G‘altakdagi jami o‘ramlar soni *N* ta bo‘lgani uchun g‘altak yuzida jami $\Phi=N\Phi_0=NBS$ induksiya oqimi paydo bo‘ladi. G‘altak ichidagi magnit induksiyasi $B=\mu\mu_0 I\frac{N}{\ell}=\mu\mu_0 I n$ ekanini hisobga olsak, magnit oqimi

$$\Phi=NBS=N\mu\mu_0 I nS=\mu_0 I S\frac{N^2}{\ell}$$

natijaga ega bo‘lamiz. Buni *Φ=LI* ga tenglashtirib, g‘altak induktivligi uchun

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

formulaga ega bo‘lamiz.

Demak, g‘altakning induktivligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$L=\mu\mu_0 S n N=\mu\mu_0 S\frac{N^2}{\ell} \qquad (33.3)$$

Elektromagnit induksiya qonunidan foydalanib, kontur(g‘altak)dan o‘zgaruvchan tok o‘tganda, konturning o‘zida hosil bo‘ladigan o‘zinduksiya EYuKni aniqlash mumkin. Elektromagnit induksiya qonuniga ko‘ra $\varepsilon_{ind}=-\Phi'$ edi. Bu yerda *Φ=LI* ekanini hisobga olsak, u holda

$$\varepsilon_{o'z}=(Li)'=-Li'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

formula kelib chiqadi.

Demak, g‘altakning o‘zida paydo bo‘ladigan o‘zinduksiya EyuKi quyidagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\varepsilon_{o'z} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -Li' \qquad (33.4)$$

Yuqoridagi formuladan shunday xulosa kelib chiqadi:

Induktivligi $1\,Hn$ *bo'lgan konturdan o'tayotgan tok kuchi* $1\,s\,da$ $1\,A\,ga$ *tekis o'zgarsa, konturda* $1V$ *o'zinduksiya EYuK paydo bo'ladi.*

Magnit maydon energiyasi va energich zichligi:

G'altakdan tok o'tmayotgan paytda unda magnit maydon mavjud bo'lmaydi va demak, magnit maydon energiyasi ham nolga teng bo'ladi. Agar g'altakni tok manbaiga ulasak, unda asta-sekin tok kuchi osha boradi va biroz vaqtdan keyin qandaydir *I* qiymatga erishadi. Bunda g'altak kesimida $\Phi=LI$ magnit oqimi paydo bo'ladi va demak, magnit maydoni paydo bo'lgani uchun bu maydon biror energiyaga ega bo'ladi. Ana shu magnit mvydon energiyasini hisoblab topamiz.

G'altakdan *I* tok o'tayotganda biror kichik *dt* vaqt davomida g'altakdan $dq=Idt$ zaryad oqib o'tadi. Bu zaryadni ko'chirishda kichik

$$dA = \varepsilon_{o'z}\,dq = \varepsilon_{o'z} I\,dt = -\frac{d\Phi}{dt} I\,dt = -I\,d\Phi = -I\,L\,dI$$

ga teng miqdorda ish bajariladi. Bu kichik ishni 0 dan *I* gacha integrallasak, jami bajarilgan ish kelib chiqadi.

$$A = \int_0^I dA = -\int_0^I L\,I\,dI = -\frac{LI^2}{2}$$

Bu bajarilgan ish miqdor jihatidan g'altakda jamg'arilgan magnit maydon energiyasiga teng bo'ladi va u quyidagicha:

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi I}{2} = \frac{\Phi^2}{2L} \qquad (33.5)$$

G'altak tok manbaiga ulanganda uning tok kuchini I_1 dan I_2 gacha oshirishda tok manbai energiyalar farqiga teng bo'lgan ish bajaradi.

$$A = W_2 - W_1 = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} \qquad (33.6)$$

Agar solenoid tok manbaidan ajratilsa, solenoiddagi tok kuchi asta-sekin kamayib, birozdan so'ng butunlay yo'qoladi. Shuningdek, magnit maydon energiyasi ham butunlay yo'qoladi. Bunda energiyaning saqlanish qonuni buzilmasdan, magnit maydon energiyasi issiqlik tarzida ajaralib g'altak cho'lg'amlarini qizdiradi.

$$Q = W = \frac{LI^2}{2} \qquad (33.7)$$

Manba tok manbaidan ajratilganda tok kuchini I_1 dan I_2 gacha kamayganda cho'lg'amlarda energiyalar farqiga teng bo'lgan issiqlik miqdori ajraladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$Q = W_1 - W_2 = \frac{L I_1^2}{2} - \frac{L I_2^2}{2} \qquad (33.8)$$

Cheksiz solenoid ichidagi magnit maydon energiyasini magnit maydon induksiyasi va magnit maydon kuchlanganligi orqali ham ifodalash mumkin. Cheksiz solenoid ichidagi magnit maydon induksiyasini aniqlash uchun topilgan

$$B = \mu\mu_0 I\, n = \mu\mu_0 I \frac{N}{\ell}$$

formuladan tok kuchinini topib, so‘ngra uni magnit maydon energisi formulasiga qo‘yamiz.

$$I = \frac{B\ell}{\mu\mu_0 N}, \rightarrow W = \frac{L I^2}{2} = \frac{L}{2}\left(\frac{B\ell}{\mu\mu_0 N}\right)^2$$

Induktivlikni o‘rniga

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

formulani qo‘yib, so‘ralgan kattalikni topamiz.

$$W = \frac{L}{2}\left(\frac{B\ell}{\mu\mu_0 N}\right)^2 = \frac{1}{2}\mu\mu_0 S \frac{N^2}{\ell} \cdot \frac{B^2\ell^2}{\mu^2\mu_0^2 N^2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} S\ell = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V$$

Endi esa $B = \mu\mu_0 H$ ekanini e’tiborga olsak, magnit maydon energiyasi uchun

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

natijalarga ega bo‘lamiz.

Shunday qilib, g‘altak ichida magnit maydon energiyasi quyidagi formula yordamida aniqlanar ekan:

$$W = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V = \frac{BH}{2} V = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} V \qquad (33.10)$$

Bu formula bizga elektrostatika bo‘limidagi

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

elektr maydoni energiyasini eslatadi.

Hajm birligiga to‘g‘ri kelgan energiyasga ***energiya zichligi*** deyiladi.

$$\omega = \frac{W}{V} \qquad \left[\frac{J}{m^3}\right] \qquad (33.11)$$

Magnit maydoni energiyasi zichligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\omega = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \qquad (33.12)$$

Bu formula bizga elektrostatika bo‘limidagi

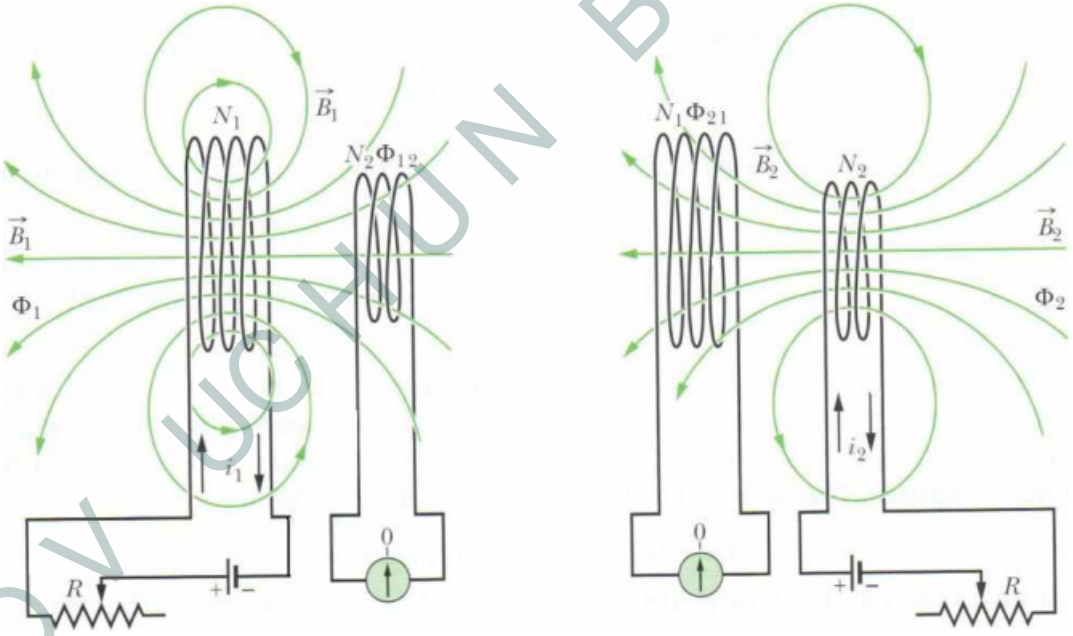
SINOV UCHUN BERILGAN

$$\omega = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{E D}{2} = \frac{D^2}{2 \varepsilon \varepsilon_0}$$

elektr maydoni energiyasi zichligini eslatadi.

O‘zaro induksiya hodisasi:

Bir-biriga yaqin masofada joylashgan hamda shakli va o‘lchamlari turlicha ikkita kontur olaylik (33.3-rasm). Mos holda konturlar induktivliklari L_1 va L_2, ulardagi tok kuchlari I_1 va I_2 hamda kontur yuzalarida hosil bo‘layotgan magnit oqimlari Φ_1 va Φ_2 ga teng bo‘lsin. I_1 tok tufayli 1-konturda hosil bo‘ladigan Φ_1 magnit oqimining hammasi 2-kontur yuzini ham kesib o‘tmasdan, balki uning biror Φ_{12} ($\Phi_{12} < \Phi_1$) qismi kesib o‘tadi. Shuningdek, I_2 tok tufayli 2-konturda hosil bo‘ladigan Φ_2 magnit oqimining hammasi 1-kontur yuzini ham kesib o‘tmasdan, balki uning biror Φ_{21} ($\Phi_{21} < \Phi_2$) qismi kesib o‘tadi. Agar konturlardagi I_1 va I_2 tok kuchlari o‘zgarmas saqlansa, bu konturlarda hech narsa sodir bo‘lmaydi. Aksincha konturlardagi tok kuchlari vaqt o‘tishi bilan o‘zgaruvchan bo‘lsa, u holda elektromagnit induksiya hodisasiga asosan nima sodir bo‘lishini tekshirib ko‘ramiz.



33.3-rasm

1-konturdagi tok kuchining kichik dI_1 ga o‘zgarishi unda qo‘shimcha $d\Phi_1$ magnit oqimining o‘zgarishini hosil qiladi. Bu o‘zgargan $d\Phi_1$ magnit oqimining biror $d\Phi_{12}$ ($d\Phi_{12} < d\Phi_1$) qismi 2-kontur yuzini kesib o‘tadi. Buni quyidagicha yozamiz:

$$d\Phi_{12} = L_{12}\, dI_1 \qquad \textbf{(33.13)}$$

Bu esa elektromagnit induksiya qonuniga ko‘ra 2-konturda EYuKni induksiyalaydi.

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12}\frac{dI_1}{dt} \qquad \textbf{(33.14)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Xuddi shuningdek, 2-konturdagi tok kuchining kichik dI_2 ga o‘zgarishi unda qo‘shimcha $d\Phi_2$ magnit oqimining o‘zgarishini hosil qiladi. Bu o‘zgargan $d\Phi_2$ magnit oqimining biror $d\Phi_{21}$ $(d\Phi_{21} < d\Phi_2)$ qismi 1-kontur yuzini kesib o‘tadi. Buni quyidagicha yozamiz:

$$d\Phi_{21} = L_{21}\, dI_2 \qquad \textbf{(33.15)}$$

Bu esa elektromagnit induksiya qonuniga ko‘ra 2-konturda EYuKni induksiyalaydi.

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21}\frac{dI_2}{dt} \qquad \textbf{(33.16)}$$

Mazkur hodisa *o‘zaro induksiya hodisasi* deb ataladi.

Konturlardan biri orqali o‘tayotgan tok kuchining o‘zgarishi tufayli ikkinchi konturda induksiya EYuKning paydo bo‘lishiga o‘zaro induksiya hodisasi deyiladi.

Yuqoridagi formulalarda L_{12} va L_{21} kattaliklar o‘zaro induktivlik deb ataladi. Tajriba va nazariy yo‘llar bilan ularning o‘zaro tengligi isbot etilgan.

$$L_{12} = L_{21} \qquad \textbf{(33.1)}$$

Undan tashqari o‘zaro induktivlikning qiymati konturlarning geometrik shakliga, o‘lchamlariga, ulardagi o‘ramlar soniga, konturlarni o‘rab turgan muhitning magnit singdiruvchanligiga hamda konturlarning bir-biriga uzoq-yaqinligiga bog‘liq bo‘ladi.

Agar konturlar bir-biriga juda yaqin masofada joylashgan bo‘lsa, konturlarning birida hosil bo‘lgan magnit oqimi deyarli ikkinchisini ham kesib o‘tadi va aksincha. Bunday holda o‘zaro induktivlikning qiymati konturlarning L_1 va L_2 induktivliklari oralig‘ida yotadi. Agar 2-konturning induktivligi 1-konturnikidan katta ($L_1 < L_2$) deb hisoblasak, quyidagi munosabat o‘rinli bo‘ladi:

$$L_1 < L_{12} = L_{21} < L_2 \qquad \textbf{(33.1)}$$

O‘zaro induktivlikning o‘lchov birligi xuddi induktivlikniki kabi Genri (Gn) dir.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *O‘zinduksiya hodisasi nima? Induktivlik va uning o‘lchov birligi nima? G‘altakning induktivligi qanday aniqlanadi?*
2. *G‘altakda hosil bo‘ladigan magnit oqimi qanday formuladan aniqlanadi?*
3. *Magnit maydon energiyasi va energiya zichligi ifodalarini yozing.*
4. *G‘altakda hosil bo‘ladigan o‘zinduksiya EYuK ifodasini yozing.*
5. *O‘zaro induksiya nima, o‘zaro induktivlikchi?*

Masala yechish:

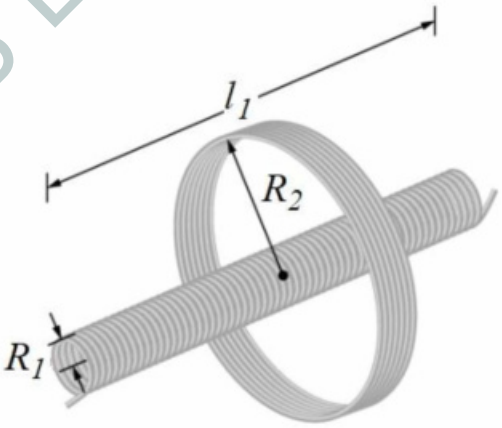
SINOV UCHUN BERILGAN

1. *Sim o‘ramlarining soni 50 ta. Bu o‘ramlardagi tok kuchi 0,1 s vaqtda 0 dan 5 A gacha tekis oshganda unda 2 V EYuK induksiyalanadi. Quyidagilarni hisoblang: a) O‘ramlarning induktivligini; b) tok kuchi 5 A bo‘lganda har bir o‘ramdan qanday magnit oqimi o‘tishni.*

Berilgan:	Yechilishi:
N=50 I0=0 I=5 A t=0,1 s ε_{ind}=2 V	a) Elektromagnit induksiya qonuni formulasidan foydalanamiz. $\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -L\frac{I - I_0}{t}$ $L = \frac{\lvert\varepsilon_{ind}\rvert t}{I - I_0} = \frac{2V \cdot 0{,}1s}{5A - 0A} = 0{,}04\ Hn$
a) L=? b) Φ=?	b) Endi har bir o‘ramdagi magnit oqimini aniqlaymiz. $\Phi = \frac{LI}{N} = \frac{4 \cdot 10^{-2} Gn \cdot 5A}{50} = 4 \cdot 10^{-3} Vb$

Javob: *a) L=0,04 Gn; Φ=0,004 Vb*

2. *Rasmdagi uzun ℓ_1 uzunligi, radiusi R_1, o‘ramlari N_1 bo‘lgan solenoid o‘rtasida konsentrik holda radiusi R_2, o‘ramlari N_2 bo‘lgan simli o‘ramlar qamragan. Quyidagilarni aniqlang: a) o‘ramlarning o‘zaro induktivligini; b) agar N_1=500, N_2=10, R_1=3,1 sm, ℓ_1=7,5 sm hamda solenoiddagi tok kuchi 200 A/s tezlik bilan o‘zgarsa, solenoidni qamragan o‘ramlarda qanday EYuK hosil bo‘ladi?*



Berilgan:	Yechilishi:
N_1=500 N_2=10 dI/dt=100 A/s R_1=3,1 cm ℓ_1=7,5 cm	a)Tashqi sim o‘ramning magnit maydoni yo‘q, ichki solenoidning maydoni esa $B_1 = \mu_0 I_1 \frac{N_1}{\ell_1}$ formuladan aniqlanadi. Biz bu formuladan tashqi o‘ram orqali o‘tadigan magnit oqimini hisoblashda foydalanamiz. Magnit oqimidan esa o‘zaro induktivligini hisoblashda foydalanamiz. Buning uchun ushbu formuladan foydalanamiz:
a) L=? b) ε=?	

$$\Phi_{21} = B_1 \pi R_1^2 = \mu_0 I_1 \frac{N_1}{\ell_1} \pi R_1^2$$

$$L = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} = \left(\frac{N_2}{I_1}\right)\left(\mu_0 I_1 \frac{N_1}{\ell_1}\right)\pi R_1^2 = \frac{\pi \mu_0 N_1 N_2 R_1^2}{\ell_1}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

b) berilgan kattaliklardan foydalanib, o‘zaro induktivlikni aniqlaymiz.

$$L=\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi R_1^2}{\ell_1}=\frac{\left(4\pi\cdot10^{-7}\frac{Hn}{m}\right)\cdot500\cdot10\cdot\pi\left(3{,}1\cdot10^{-2}m\right)^2}{7{,}5\cdot10^{-2}m}=2{,}53\cdot10^{-5}\,Hn$$

Endi tashqi o‘ramlarda hosil bo‘ladigan EYuK ni aniqlaymiz.

$$\varepsilon_2=-L\frac{dI_1}{dt}=-2{,}53\cdot10^{-5}Gn\cdot200\frac{A}{s}=-5{,}06\cdot10^{-3}V$$

Javob: *L=2,53·10-5 Gn; ε2=-5,06·10-3 V*

IV BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 6.
O`zakli va o`zaksiz g’altakning induktiv qarshiligini aniqlash.

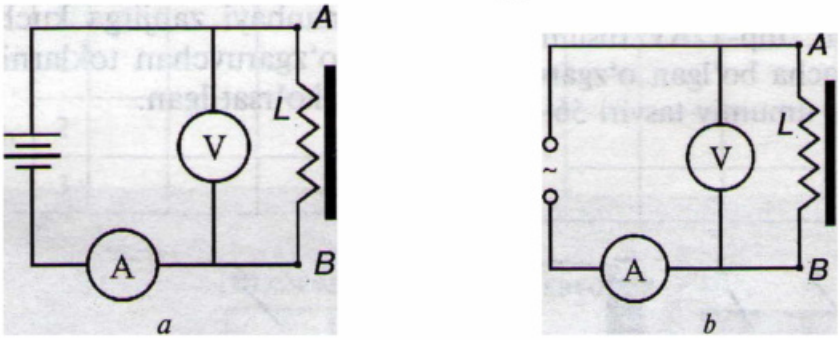
Ishning maqsadi: 1. Aktiv va reaktiv qarshiliklar farqini o'rganish. 2. G'altakning o'zinduksiya koeffitsiyentini aniqlash.

Kerakli asbob va jihozlar: Jhp-12AV rusumli tok manbayi, o'zgarmasva o'zgamvchan tokni o'lchaydigan ampermetrlar, o'zgarmas va o'zgaruvchan tokni o'lchaydigan voltmetrlar, o'zinduksiya koeffitsiyenti aniqlanadigan g'altak, temir o'zak, qo'shkalit va ulash simlari.

NAZARIY QISM

Buning uchun navbat bilan yopiq zanjirning ma'lum qismidan o'zgarmas, keyin o'zgamvchan tok o'tkaziladi (1- a,b rasmlar).Zanjir tok manbayiga 1-a rasmda tasvirlangandek ulanganda g'altakning AB qismidan o'zgarmas tok o'tadi. U holda zanjirdagi AB qism (g'altak)ning aktiv qarshiligi, ampermetr va voltmetrlarning ko'rsatishlari bo'yicha, quyidagi ifoda yordamida hisoblaniladi:

$$R=U/I \qquad (3)$$



1-rasm

Agar shu zanjirni (1- b rasm) o'zgaruvchan tok manbayiga ulasak, unda AB qism (g'altak)ning to'liq qarshiligi Om qonuniga binoan qo'yidagicha hisoblaniladi:

$$Z=U_{\sim}/I_{\sim} \qquad (4)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Zanjir o'zgamvchan tok manbayiga ulanganligi uchun g'altakning to'liq qarshiligi, uning aktiv va reaktiv qarshiliklari bo'yicha quyidagicha aniqlanadi:

$$Z^2=R^2+X^2_L=R^2+w^2L^2 \qquad (5)$$

Qurilmaning tuzilishi

G'altakning o'zinduksiya koeffitsiyentini aniqlash qurilmasining elektr zanjiri 1- rasmga ko'ra yig'ilgan. Qurilmada tok manbayi sifatida Jhp-12AV rusumli tok manbayi, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok kuchini va kuchlanishni o'lchaydigan ampermetr va voltmetriar, o'zinduksiya koeffitsiyenti aniqlanadigan g'altak, temir o'zak, kalit va ulash simlaridan foydalanilgan. Jhp-12AV rusumli tok manbayi zanjirga kuchlanishi 3 Vdan 12 V gacha bo'lgan o'zgarmas va o'zgaruvchan toklami bera oladi.

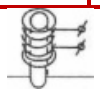
Ishni bajarish tartibi

1. Laboratoriya ishining yo'riqnomasi bilan tanishib bo'lgach, qurilmaning elektr sxemasini yig'ing va uni o'qituvchiga tekshirtiring. Qurilmani ishga tushirish uchun o'qituvchidan ruxsat oling.
2. O'zaksiz g'altakdan o'zgarmas tok o'tkazib R ning qiymatini va o'zgaruvchan tok o'tkazib Z ning qiymatlarini toping.
3. Tajribani kuchlanishning har xil qiymatlari uchun takrorlab aktiv va reaktiv qarshiliklarning o'racha qiymatlarini hisoblang.
4. Tajriba natijalarining o'rtacha qiymatlari bo'yicha g'altakning o'zinduksiya koeffitsiyentini aniqlang.
5. G'altakka temir o'zak tushirib, tajribani yuqorida ta'kidlanganidek takrorlang.
6. G'altakning o'zaksiz va o'zakli holatlari uchun o'zinduksiya koeffitsiyentlarini taqqoslang.
7. Tajriba natijalari asosida quyidagi jadvaini to'ldiring.

1-jadval

O`zaksiz g'altakning induktiv qarshiligini aniqlash.									
№	$R_a[\Omega]$	$U_i[V]$	I_i[A]	$Z_i[Om]$	$x_l[\Omega]$	$\bar{x_l}$	Δx_l	$\overline{\Delta x_l}$	$\delta=\frac{\overline{\Delta x_l}}{\bar{x_l}}\cdot 100\%$
1									
2									
3									
 $x_l=\bar{x_l}\pm\overline{\Delta x_l}$									

SINOV UCHUN BERILGAN

O`zakli g’altakning induktiv qarshiligini aniqlash.									
№	$R_a[\Omega]$	$U_i[V]$	$I_i[\text{A}]$	$Z_i[\Omega]$	$x_l[\Omega]$	$\overline{x_l}$	Δx_l	$\overline{\Delta x_l}$	$\delta = \frac{\overline{\Delta x_l}}{\overline{x_l}} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
 $x_l = \overline{x_l} \pm \overline{\Delta x_l}$									

Nazorat savollari

1. Elektromagnit induksiya hodisasi nima?
2. Elektromagnit induksiya qonunini aytibbering.
3. Induktivlik nima? G‘altakning induktivlik formulasini yozib bering.
4. O‘zaro induksiya nima?
5. O‘zaro induktivlik nima?

IV BOBGA DOIR TESTLAR

1. Tokli berk kontur bir jinsli magnit maydonda o‘zini qanday tutadi?

A) harakatlanmaydi.
B) maydon kuchliroq soha tomon ilgarilanma harakat qiladi.
C) massa markazidan o‘tuvchi o‘q atrofida buriladi.
D) maydondan tashqariga intiladi.
E) maydon kuchsizroq soha tomon ilgarilanma harakat qiladi.

2. Quyida bayon qilingan fikrlarning qaysilari noto‘g‘ri?

1) tokli o‘tkazgich atrofida magnit maydon maviud;
2) magnit maydon chiziqlarinmg yo‘nalishi uni hosil qiluvchi tok yo‘nalishi bilan aniqlanadi;
3) toklarining yo‘nalishlari bir xil bo‘lgan o‘tkazgichlar itarishishadi;
4) erning magnit qutblari geografik qutblari bilan ustma-ust tushmaydi;
5) magnit maydon chiziqlari maydon hosil qilayotgan tokni chulg‘ab olgan berk chiziqlardan iborat.

A) 1, 2 B) 1 C) 3 D) 4 E) 3, 4.

3. Tokli ramka burilib rasmda ko‘rsatilgandek turib qoldi. Magnit maydon yo‘alishini va magnit qutblarini toping.



A) o‘ngdan chapga, o‘ngda – shimoliy, chapda – janubiy.
B) chapdan o‘ngga, chapda – shimoliy, o‘ngda – janubiy.
C) o‘ngdan chapga, o‘ngda – janubiy, chapda – shimoliy.

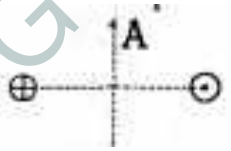
SINOV UCHUN BERILGAN

D) chapdan o‘ngga, o‘ngda – shimoliy, chapda – janubiy. E) TJY.

4. Elektr tokining magnit ta’siri tok qaysi muhitdan o‘tganda kuzatiladi?
A) elektrolitlardan B) metallardan C) istagah muhitdan
D) vakuumdan E) yarimo‘tkazgichlardan

5. Elektr tokining issiqlik ta’siri tok qaysi muhitdan o‘tganda kuzatilmaydi?
A) vakuumdan B) yarimo‘tkazgichdan C) gazdan D) metalldan E) elektrolitdan

6. Kuchlari bir xil ($I_1 = I_2$) bo‘lgan, to‘g‘ri chiziqli, parallel va qarama qarshi yo‘nalishlarda o‘quvchi toklar hosil qilgan magnit maydonning A nuqtadagi magnit induksiya vektori qanday yo‘nalgan (rasmga q.)?



A) pastga B) yuqoriga C) chapga D) o‘ngga E) nolga teng

7. Muhitdagi cheksiz to‘g‘ri I tokning o‘zidan R masofada hosil qiladigan magnit maydon induksiyasining ifodasini ko‘rsating.
A) $\frac{\mu_0\mu I}{2\pi r}$ B) $\frac{\mu_0\mu I}{4\pi r}$ C) $\frac{\mu_0\mu U}{4\pi r}$ D) $\frac{\mu_0\mu}{\pi}\frac{2I}{r}$ E) $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

8. Tokli to‘g‘ri o‘tkazgichdan kuzatilayotgan nuqtagacha bo‘lgan masofa 2 marta ortganda, magnit maydon induksiyasi qanday o‘zgaradi?
A) 2 marta kamayadi. B) 4 marta ortadi. C) 4 marta kamayadi.
D) 2 marta kamayadi. E) o‘zgarmaydi.

9. I tok o‘tayotgan R radiusli aylana shaklidagi kontur markazida magnit maydon induksiyasi qanday?
A) $4\pi\mu_0\frac{I}{2R}$ B) $4\pi\mu_0\frac{I}{R}$ C) $\mu_0\frac{I}{2R}$ D) $\mu_0\frac{I}{R}$ E) $2\mu_0\frac{I}{R}$

10. Bir-biridan d masofada joylashgan va har biridan bir xil yo‘nalishda I tok o‘tayotgan ikki o‘zaro parallel to‘g‘ri o‘tkazgichlarning o‘rtasidagi nuqtada magnit maydon induksiyasi qanday bo‘ladi?
A) $\mu_0\frac{2I}{\pi d}$ B) $\mu_0\frac{I}{\pi d}$ C) 0 D) $\mu_0\frac{I}{2\pi d}$ E) $\mu_0\frac{4I}{\pi d}$

11. Magnit induksiyasi *1,5 T* bo‘lgan magnit maydonda uzunligi 4 cm, eni 2 sm bolgan, *0,5 A* tok o‘tayotgan ramka joylashgan. Ramkaga ta’sir etayotgan kuch momentining eng katta qiymatini toping ($N \cdot m$).
A) 6 B) 0,75 C) $6\cdot10^{-4}$ D) 0,03 E) TJY

SINOV UCHUN BERILGAN

12. Bo‘yi *4 cm*, eni *2 cm* bo‘lgan ramkadan *10 A* tok o‘tmoqda. Bu ramka induksiyasi *0,1 T* bo‘lgan magnit maydonga kiritilganda, ramkaga ta’sir etuvchi kuch momenti qanday bo‘ladi? (mN · m).

A) 8 B) 0,8 C) 0,6 D) 0,08 E) 0.

13. Magnit maydon induksiyasi va o‘tkazgichning uzunliigi 4 martadan kamayganda bir jinsli magnit maydonda tokli to‘g‘ri o‘tkazgichga ta’sir qiluvchi Amper kuchi qanday o‘zgaradi?

A) 4 marta kamayadi B) 16 marta ortadi. C) 16 marta kamayadi.
D) 4 marta ortadi E) o‘zgarmaydi.

14. Induksiyasi *0,1 Tl* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga parallel holatda *10 cm* uzunlikdagi *0,5 A* tokfi to‘g‘ri o‘tkazgich joylashtirilgan. O tkazgichga magnit maydonning ta’sir kuchi qanday (*N*)?

A) 0 B) 0,005 C) 0,05 D) 0,5 E) 1

15. Uzunligi *20 sm* bo‘lgan va *10 A* tok o‘tayotgan o‘tkazgich induksiyasi *2 mTl* bo‘lgan magnit maydonda joylashgan. Tok va magnit induksiyasi yo‘nalishlari o‘zaro *30°* burchak hosil qilsa, Amper kuchi qanday (*mN*) bo‘ladi? sin30°=0,5.

A) 1 B) 2 C) 2,3 D) 4,5 E) 5

16. Bir jinsli magnit maydon induksiyasi vektori va tokli to‘g‘ri o‘tkazgich orasidagi *30°* burchak 2 marta orttirilsa, o‘tkazgichga ta sir qiluvchi Amper kuchi qanday o‘zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 2 marta kamayadi. C) $\sqrt{2}$ marta ortadi
D) $\sqrt{3}$ marta kamayadi E) $\sqrt{3}$ marta ortadi

17. Induksiyasi *40 mTl* bo‘lgan magnit maydon aktiv qismining uzunligi *10 sm* bo‘lgan to‘g‘ri o‘tkazgichga *60 mN* kuch bilan ta’sir etmoqda. O‘tkazgichdagi tok kuchi *30 A*. O‘tkazgich magnit maydon induksiyasi vektori bilan qanday burchak hosil qiladi?

A) 90° B) 60° C) 45° D) 30° E) 15°

18. Protonning tezligi 4 marta kamayganda va magnit maydon induksiyasi 2 marta ortganda, magnit maydon tomonidan protonga ta’sir qiluvchi Lorens kuchi qanday o‘zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi. D) 2 marta kamayadi

SINOV UCHUN BERILGAN

19. Bir jinsli magnit maydonga zaryadlangan zarracha uchib kirganda, unga magnit maydon tomonidan F kuch ta sir etadi. Agar shu zarrachaning kinetik energiyasi 4 marta orttirilsa, ta'sir etuvchi kuch qanday bo'ladi?

A) $F/4$ B) $F/2$ C) $4F$ D) $2F$ E) F

20. Magnit maydon induksiyasi 4 marta orttirilganda, magnit maydonda harakatlanayotgan protonga ta'sir etuvchi kuch o'zgarmay qolishi uchun protonning tezligi qanday o'zgarishi kerak?

A) $\sqrt{2}$ marta ortishi B) 4 marta ortishi C) 2 marta kamayishi.
D) 2 marta ortishi E) 4 marta kamayishi

21. Chap qo'l goidasi yordamida qanday kattaliklarning yo'nalishi aniqlanadi?
A) Amper va Lorens kuchlarining B) faqat Amper kuchining. C) faqat Lorens kuchining. D) magnit maudonda harakatlanayotgan to'g'ri o'tkazgichdagi induksion tokning.
E) turli shakldagi tokli o'tkazgichlar magnit maydoni induksiyasining.

22. Quyida keltirilgan kuchlarning qaysi biri ish bajarmaydi?

A) ishqalanish kuchi B) Amper kuchi C) Kulon kuchi
D) Arximed kuchi E) Lorens kuchi.

23. Berk kontur bir jinsli magnit maydonda induksiya vekto yo'nalishi bo'ylab tezlanish bilan ilgarilanma harakatlanganc induksiya EYuK hosil bo'ladimi?

A) bo'lad B) bo'lmaydi
C)bo'ladi va chiziqli ravishda kamayib boradi
D)bo'ladi va chiziqli ravishda ortib boradi
E) bo'ladi va eksponensial ravishda o'zgaradi

24. Tomonlari $4\ cm$ dan bo'lgan teng tomonli uchburchak ii duksiyasi $2\ T$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Induksiya vektori uchburchak sirti normali bilan $30°$ burchak hosil qiladi. Sirtni kesib o'tuvchi magnit oqimi toping (mVb).

A) $0{,}8\sqrt{3}$ B) $0{,}4\sqrt{3}$ C) $0{,}4\sqrt{6}$ D) 1,2

25. Konturdan o'tayotgan magnit oqim $0{,}3\ s$ davomida $9\ Vb$ dan $6\ Vb$ gacha tekis kamaygan bo'lsa, konturda hosii bo'lga induksiya EYuK necha voltga teng?

A) 0,01 B) 0,9 C) 4,5 D) 10 E) 50

26. Magnit oqimning o'zgarish tezligi $0{,}24\ Vb/s$ bo'lgand: g'altakda $48\ V$ elektr yurituvchi kuch hosil bo'lsa, g altalakdagi o'ramlar soni qanday?

A) 200 B) 250 C) 260 D) 300 E) 20

27. Solenoidda magnit oqim $2\ ms$ da $3\ mVb$ dan $9\ mVb$ gacha o'zgaradi. Agar

SINOV UCHUN BERILGAN

solenoidda hosil bo‘lgan EYuK *60 V* bo‘lsa solenoiddagi o‘ramlar soni qanday?

A) 5 B) 20 C) 180 D) 200 E) 300

28. Agar konturdagi tok kuchi 3 marta ortganda magnit maydon energiyasi qanday o‘zgaradi?

A)3 marta ortadi B)o‘zgarmaydi C) 9 marta kamayadi D)9 marta ortadi.

29. Induktivligi *2 mH* bo‘lgan g‘altakdan *10 A* tok o‘tmoqda g‘altakning magnit maydon energiyasi qanday (J)?

A)100 B) 10 C) 0,5 D) 0,1

IV BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. *15 A* tok o‘tayotgan cheksiz uzun to‘g‘ri o‘tkazgichdan havoda *10 cm* masofada joylashgan nuqtadagi magnit maydon induksiyasi topilsin. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T $\cdot$ m/A).

2. Induksiyasi *0,01 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonga yuzi *1* cm^2 bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchakli ramka kiritildi. Agar ramka simlarida *1 A* tok oqsa, unga ta’sir qiluvchi kuchning maksimal momenti qanday (μN $\cdot$ m) bo‘ladi?

3. Magnit maydonda turgan, yuzi *2000* cm^2 bo‘lgan ramkaga ta’sir qiluvcni maksimal aylantiruvchi moment *0,32 N·m* ga, ramkadan o‘tayotgan tok kuchi *2 A* ga teng. Magnit maydon induksiyasi qanday (*T*)?

4. Tokli o‘tkazgich bilan magnit maydon induksiya chiziqlari orasidagi burchak *30°* dan *90°* gacha ortsa, Amper kuchi qanday o‘zgaradi?

5. Induksiyasi 4 *T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonga 10^7 *m/s* tezlik bilan induksiya chiziqlariga perpendikular yo‘nalishda uchib kirgan elektronga ta’sir etuvchi kuchning moduli qanday (*N*)?

6. Magnit induksiyasi chiziqlariga tik yo‘nalishda 2 *km/s* tezlik bilan harakatlanayotgan *0,4 Kl* zaryadga ta’sir qilayotgan Lorens kuchi 8 *N* ga teng bo‘lsa, magnit induksiyasi qanday?

7. Induksiyasi 0,2 *T* bo‘lgan magnit maydonga induksiya chiziqlariga tik ravishda elektron uchib kirdi. Unga ta’sir etuvchi kuch $0{,}32 \cdot 10^{-12}$ *N* bo‘lsa, uning tezligi qanday (*m/s*)? E=l,6·10^{-19} *C*.

8. Magnit induksiyasi vektoriga tik yo‘nalishda *2000 m/s* tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning traektoriyasi 0,5 *m* radiusli aylanadan iborat bo‘lsa, magnit maydonning bajargan ishi qanday (*J*)?

SINOV UCHUN BERILGAN

9. Induksiyasi 9,1 mT bo‘lgan bir jinsli magnit maydonga induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda *16* Mm/s tezlik bilan uchib kirgan elektron harakat traektoriyasining egrilik radiusini toping (*cm*). m=9,1·10^{-31} kg, e=l,6·10^{-19} C.

10. Induksiyasi *0,01 T* bo‘lgan magnit maydonda proton radiusi *10 sm* bo‘lgan aylana bo‘ylab harakat qilsa, uning maydonga kirib kelish tezligi qanday (*km/s*)? $q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C, m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ kg.$

11. Yuzi *0,2* m^2 bo‘lgan kontur induksiyasi *5 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Agar kontur tekislij induksiya chiziqlariga parallel joylashgan bo‘lsa, konti yuzidan o‘tayotgan magnit oqimi necha Veber bo‘ladi?

12. Yuzi *2* m^2 bo‘lgan va magnit maydon induksiyasi vektoriga tik joylashgan yassi konturdan *10 Vb* magnit oqii o‘tsa, magnit induksiyasi qanday (*T*)?

13. Yuzi *25* cm^2 bo‘lgan sim ramka bir jinsli magnit maydoi da aylantirilganda. ramkani kesib o‘tuvchi magnit oqimi $\Phi = 2{,}5 \cdot 10^{-4} cos6t$ (*Vb*) qonun bo‘yicha o‘zgaradi. Magnit maydon induksiyasi qanday (Tl)?

14. Induksiyasi *0,4 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda joylashgan yuzi *1* m^2 bo‘lgan sirtdan o‘tayotgan magn induksiya oqimi *0,2 Vb* bo‘lsa, sirtga normal va induksiya vektori orasidagi burchak qanday?

15. Berk konturni kesib o‘tuvchi magnit oqim *0,4 s* davomia $4 \cdot 10^5\ Wb$ ga o‘zgardi. Induksiya EYuKni (*V*) aniqlang.

16. 200 o‘ramga ega bo‘lgan g‘altak ichida magnit oqim *0,2s* da *0,2* dan *1,1 Vb* gacha ortdi. G‘altakda induksiyalanad gan EYuK ni aniqlang (*V*).

17. Agar magnit oqimning o‘zgarish tezligi $60\ \text{mVb/s}$ bo‘lganida g‘altakda uyg‘onuvchi EYuK $\varepsilon = 12$ V bo‘lsa, g‘altalakdagi o‘ramlar soni qanday?

18. *200 ta* o‘ramli solenoidda *120 V* induksiya EYuKi uyg‘otish (hosil qilish) uchun magnit oqimning o‘zgarish tezligi qanday (mVb/s) bo‘lishi kerak?

19. O‘tkazgich halqa orqali magnit oqim *3 s* davomid *0,144 Vb* ga o‘zgargan. O‘tkazgachning qarshiligi *0,24* Ω bo‘lsa, induksion tok kuchi necha amper?

20. Qarshiligi *5*Ω bo‘lgan oramnikesib otayotganmagnit oqim vaqt bo‘yicha rasmda ko‘rsatilgandek o‘zgarsa,o‘ramdagi tok kuchi *2-4s* vaqt oralig‘ida necha amper bo‘ladi?

21. O‘ramlari soni *100 ta* va yuzi 100 sm^2 bo‘lgan ramka induksiyasi *0,01 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda aylanmoqda. Ramkadagi EYuK ning eng katta qiymati *2 V* bo‘lsa, u necha sekundda bir marta aylanadi?

22. Yuzi 200 cm^2 bo‘lgan ramka induksiyasi *0,4 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda *50 rad/s* burchak tezlik bilan aylanmoqda. Ramkada hosil bo‘ladigan

SINOV UCHUN BERILGAN

EYuK ning amplituda qiymati necha volt?

23. Uzunligi *0,1 m* bo‘lgan to‘g‘ri o‘tkazgich induksiyasi *1 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda 10 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Magnit induksiya vektori, tezlik vektori va o‘tkazgich o‘zaroperpendikulyar.O‘tkazgich paydo bo‘ladigan induksiya EYuK topilsin (*V*).

24. *20 cm* uzunlikdagi o‘zkazgichni bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik yo‘nalishda 5 m/s tezlik bilan harakatlantirish natijasida *0,2 V* induksiya EYuKi hosil bo‘ldi. Magnit maydon induksiyasi qanday (*T*)?

25. Magnit induksiyasi *0,2 T* bo‘lgan maydonda aktiv qismining uzunligi *0,5 m* bo‘lgan o‘tkazgich induksiya chiziqlariga 30° burchak ostida qanday tezlik bilan harakatlanganida, unda *0,8 V* induksiya EYuKi hosil bo‘ladi (*m/s*)?

26. Induksiyasi *1 T* bo‘lgan magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik yo‘nalishda harakatlanayotgan mis o‘tkazgichda *1 A* induksion tok hosil bo‘lishi ucnun o‘tkazgichning tezligi necha m/s bo‘lishi kerak? O‘tkazgichning ko‘ndalang kesimi *0,017* mm^2, misning solishtirma qarshiligi *1,7 10-8* $\Omega \cdot m$.

27. Solenoiddan *2 A* tok o‘tayotganda u hosil qilgan magnit maydon energiyasi *3 J* ga teng bo‘ldi. Solenoidning induktivligi qanday (*H*)?

28. Tebranishlar konturidagi elektr maydonning maksimal energiyasi 80 mJ, g‘altakdagi tok kuchining amplituda qiymati *10 A*. G‘altak induktivligi qanday (*mH*)?

29. Solenoidda tok kuchi *10 A* bo‘lganda, magnit maydon energiyasi *2,5 J* bo‘lsa, hosil bo‘lgan magnit maydon oqimi necha veber?

30. Solenoiddagi magnit oqim *2 Wb*, maydon energiyasi *5 J* bo‘lsa, undan o‘tayotgan tok kuchi necha amper?

31. Samolyot *900km/soat* tezlik bilan gorizontal holda uchmoqda. Yer magnit maydoni magnit indukssiyasining vertikal tashkil etuvchisi $5 \cdot 10^{-5} Tl$, samolyot qanotlarining qulochi esa *12 m* bo‘lsa, uning qanot uchlari orsidagi potensiallar farqini aniqlang.

32. Induktivligi *0,15 Hn* va *r* qarshiligi juda kichik bo‘lgan g‘altakdagi tok kuchi *4 A* ga teng. G‘altakka parallel qilib $R >> r$ qarshilikli rezistor ulangan. Tok manbai keskin uzib qo‘yilganda g‘altakda va rezistorda qancha issiqlik miqdori ajraladi?

33. Spiralsimon sim orqali tok o‘tganda uning o‘ramlari bir-biriga tortiladi va spiral o‘z o‘qi bo‘yicha siqiladi. Buni qanday tushuntirish mumkin?

SINOV UCHUN BERILGAN

34. Induksiyasi $2 \cdot 10^{-2}\,T$ bo‘lgan magnit maydonga perpendikulyar yo‘nalishda *0,5 m* uzunlikdagi tokli o‘tkazgich joylashtirilgan. Agar magnit maydon tokli o‘tkazgichga *0,15N* kuch bilan ta’sir etayotgan bo‘lsa, undan oqayotgan tok kuchini toping.

35. Bir jinsli magnit maydonga joylashtirilgan *0,4 m* uzunlikdagi to‘g‘ri tokli o‘tkazgichga *0,09N* kuch ta’sir qiladi. Agar o‘tkazgichdagi tok kuchi *10A*, maydon induksiyasi *76 mT* bo‘lsa, tok va induksiya vektori orasidagi burchakni aniqlang.

36. Bir-biridan *10 cm* masofada gorizontal joylashgan ikki parallel shina ustida massasi *100 g* bo‘lgan yo‘g‘on o‘tkazgich yotibdi. Shinalar tok manbaiga ulanganda o‘tkazgich orqali *10 A* tok o‘tadi. Induksiya vektori shinalar tekisligiga perpendikulyar yo‘nalganda o‘tkazgich tekis harakat qila boshlaydi. Agar o‘tkazgichning shinalarga ishqalanish koeffitsiyenti 0,2 bo‘lsa, magnit maydon induksiyasini aniqlang.

37. Zaryadli zarra 10^6 *m/s* tezlik bilan magnit maydonda aylana bo‘ylab harakatlanadi. Amgnit maydonning induksiyasi *0,3 Tl*, aylanish radiusi *4 sm*. Zarraning kinetik energiyasi *12 keV* bo‘lishi uchun uning zaryadi qanday bo‘lishi kerak?

38. Magnit induksiya chiziqlariga perpendikulyar ravishda elektron bir jinsli magnit maydonga uchib kirdi. Elektronning tezligi $4 \cdot 10^7$ *m/s*, magnit induksiyasi *1 mTl*. Elektronnning markazga intilma tezlanishini toping.

39. O‘tkazgich konturini kesib o‘tadigan magnit oqimi bir tekis *0,8Vb* ga o‘zgarganda induksiya EyuK *1,6V* ga teng bo‘ldi. Magnit oqiminig o‘zgarish vaqtini toping. O‘tkazgichning qarshiligi *0,32 Ω* bo‘lsa, induksion tok kuchi qanday?

40. Induksiyasi *0,1Tl* bo‘lgan bir jinsli maydonda kuch chiziqlariga perpendikulyar ravishda uzunligi *0,5m* bo‘lgan o‘tkazgich $2\,m/s$ tezlik bilan harakatlanganda hosil bo‘lgan induksiya EyuK ni aniqlang.

41. *100* o‘ramli g‘altakda magnit oqimi *5 ms* davomida *5 mVb* dan *2,5 mVb* gacha tekis kamaygan. Induksiya EyuK ni toping.

42. *1 m* uzunlikdagi gorizontal sterjen uning bir uchidan o‘tgan o‘q atrofida aylanmoqda. Induksyasi $5 \cdot 10^{-6}$ *Tl* bo‘lgan magnit maydon kuch chiziqlari aylanish o‘qiga parallel. Sterjen sekundiga necha marta aylanganda uning uchlaridagi potensiallar farqi *1mV* ga teng bo‘ladi?

43. Uzunligi *20 cm* va diametri *3 cm* bo‘lgan g‘altak *400* o‘ramga ega bo‘lib, undan *2A* tok o‘tadi. G‘altakning induktibligi va g‘altakdan o‘tadigan tok kuchi aniqlansin.

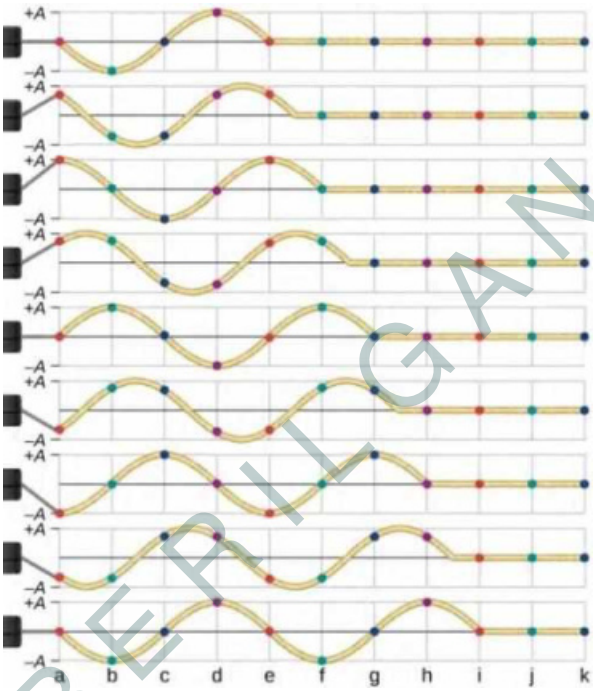
SINOV UCHUN BERILGAN

44. Po‘lat g‘o‘lada magnit induksiya *0,75 Tl*. Toklar hosil qilgan magnit magnit maydonnning induksiyasi *1,88 mTl* bo‘lsa, po‘latning magnit singdiruvchanligi qanday?

45. Uzunligi *60 sm* va ko‘ndalang kesim yuzi $4cm^2$ bo‘lgan solenoidninng induktivligi $4 \cdot 10^{-7}\,Hn$ ga teng. Solenoid ichida magnit maydon energiyasi zichligi $2mJ/m^3$ bo‘lishi uchun solenoiddagi tok kuchi qanday bo‘lishi kerak?

SINOV UCHUN BERILGAN

V BOB. MEXANIK TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR



Tebranma harakat tabiatda eng ko‘p tarqalgan harakatdir. Daraxtlarning shoxi yoki dalalardagi maysalarning tebranib turganini ko‘p kuzatganmiz. Dutor, rubob, childirma kabi musiqa asboblarining torlari, osma soat tebrangichi, ichki yonuv dvigateli slindridagi porshenlarning harakati tebranma harkatdir. Motor ishlab turganda mashina va dastgohlarning korpuslari titrab tebranma harakat qiladi. Telefonda gaplashganda, radiodan ovoz chiqqanda, ulardagi yupqa parda membrana tebranma harakat qiladi. Shuningdek, gapirganimizda ham tovush paychalarimizning tebranishi havo molekulalariga uzatiladi va tovush paydo bo‘ladi.

Tabiatdagi har qanday modda molekulalari orasida o‘zaro ta’sir mavjuddir. Agar biror sabab elastik muhit molekulasini yoki molekulalar sistemasini muvozonat vaziyatdan chiqarib, ularni tebranma harakat qilishga majbur qilsa, u holda bu harakat qo‘shni molekulalarga uzatilib, ular ham tebranma harakatda ishtirok eta boshlaydi. Tebranishlarning vaqt o‘tishi bilan fazoda tarqalishi ***to‘lqin harkat*** deb ataluvchi harkatni hosil qiladi. Shuni alohida ta’kidlash lozimki, bunda muhit molekulalari ko‘chmaydi, balki o‘z muvozonati atrofida tebranadi. To‘lqinlarning turlari xilma-xil bo‘lib, elastik muhitda tarqaluvchi to‘lqinlar ***mexanik to‘lqin***lardir.

§ 34. MEXANIK TEBRANISH HAQIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR.

Yuqorida keltirilgan misollar mexanikaviy tebranma harakatga taalluqlidir. Tabiatda mexanik tebranma harakatlardan tashqari mexanikaga oid bo‘lmagan davriy ravishda takrorlanib turadigan jarayonlar ham ko‘p uchraydi. Teng vaqtlar ichida yoki deyarli teng vaqtlar ichida takrorlanib turadigan jarayonlar ***davriy jarayonlar*** deyiladi. Masalan, har kungi Quyosh chiqishi va botishi, fasllar almashinishi, Quyosh va oy tutilishlari va hokoza. Bulardan tashqari o‘zgaruvhcan tok zanjiridagi zaryad, tok kuchi va kuchlanishning davriy ravishda o‘zgarishi, ichki yonish dvigateli slindridagi temperatura va bosim o‘zgarishlarining davriy ravishda takrorlanib turishi va boshqalarni ham davriy tebranma jatayonlarga misol qilish mumkin. Shuningdek, mexanik tebranishlar ham davriy jarayonlar sirasiga

SINOV UCHUN BERILGAN

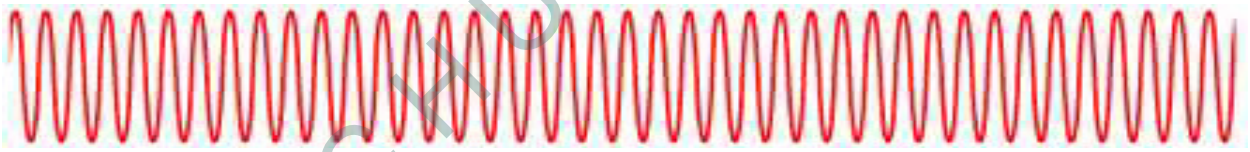
kirib, ularni umumiy holdagi davriy jarayonlarning bitta mexanik turi deb qarash mumkin.

Agar tebranma harakat qilayotgan jismning koordinatasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi sinus yoki kosinus qonuniga bo‘ysunsa, bunday tebranish ***garmonik tebranish*** deyiladi. Biz garmonik tebranuvchi erkin tebranishlarni o‘rganamiz. Kosinus yoki sinus qonuni bo‘yicha tebranuvchi jismlarning umumiy harakat tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad yoki \quad x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Garmonik tebranishlar sinus yoki kosinus qonuniga bo‘ysunishini quyidagicha tajriba o‘tkazish orqali ishonch hosil qilish mumkin: uzunroq ipga qum to‘ldirilgan va tagida teshikchasi bo‘lgan biror idish osamiz. Idishni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo‘yib yuborganimizda teshikchdan qum to‘kila boshlaydi. Endi polga to‘shalgan qog‘ozni tebtanish tekisligiga ko‘ndalang yo‘nalishda asta torta boshlaymiz. Qog‘ozga to‘kilgan qumning izi bizga sinus yoki kosinus grafigini eslatadi (34.1-rasm).

Agar tebranish jismni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo‘yib yuborilgach, ichki kuch ta’siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni ***erkin tebranish*** deyiladi. 30.1-rasmda ko‘rilgan hol ham erkin tebranishdir. Bundan tashqari, garmonik tebranishning majburiy va so‘nuvchi tebranish deb nomlanadigan ko‘rinishlari ham bor.



34.1-rasm

Agar tebranish tashqi majburlovchi kuch ta’siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni ***majburiy tebranish*** deyiladi. Agar tebranish jismni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo‘yib yuborilgach, ichki kuch va harakatga qarshilik kuchlari ta’siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni ***so‘nuvchi tebranish*** deyiladi.

Usbu bobda biz faqat erkin tebranish va uni xarakterlovchi kattaliklar bilan batafsil tanishib chiqamiz.

Tebranma harakat qilayotgan jismning bir marta to‘liq tebranishi uchun ketgan vaqt ***tebranish davri*** deyiladi va T bilan belgilanadi. Tebranish davrining o‘lchov birligi $[T]=s$.

Tebranma harakat qilayotgan jismning bir sekund vaqt ichidagi tebranishlar soni ***tebranish chastotasi*** deyiladi va ν bilan belgilanadi. Tebranish chastotasining o‘lchov birligi Gers $[\nu]=s^{-1}=Hz$.

Tebranma harakat qilayotgan jismning 2π sekund vaqt ichidagi tebranishlar soni ***siklik (doiraiy) chastota*** deyiladi va ω bilan belgilanadi. Siklik chastotaning o‘lchov birligi $[\omega]= s^{-1}=Hz$.

SINOV UCHUN BERILGAN

Tebranma harakat qilayotgan jismning muvozonat vaziyatidan eng katta siljish masofasi tebranish amplitudasi deyiladi va x_m yoki A bilan belgilanadi. Tebranish amplitudasining o‘lchov birligi $[x_m]=m$.

Tebranish davri, tebranish chastotasi va siklik chastota kattaliklari orasidagi o‘zaro bog‘liqlik quyidagicha bo‘ladi:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}, \quad \nu = \frac{1}{T} \qquad (34.1)$$

Agar jism t vaqt ichida N marta tebransa, tebranish davri, tebranish chastotasi va siklik chastota quyidagicha bo‘ladi:

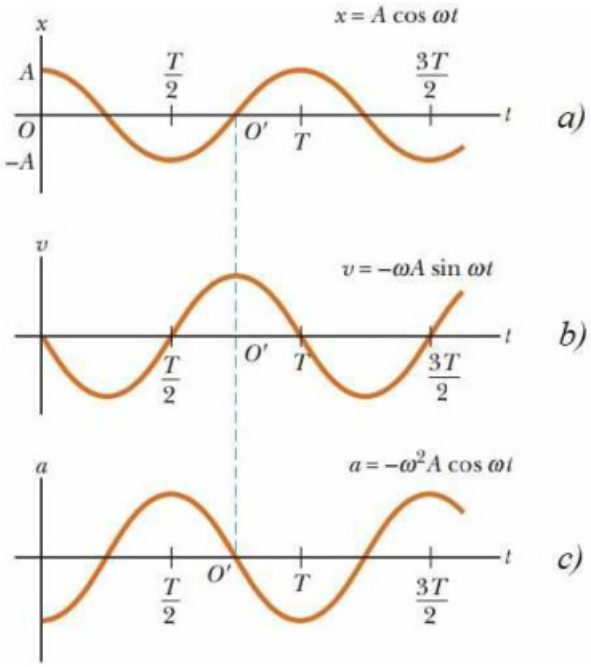
$$T = \frac{t}{N}, \quad \nu = \frac{N}{t}, \quad \omega = 2\pi \cdot \frac{N}{t} \qquad (34.2)$$

Tezlik va tezlanish koordinatadan vaqt bo‘yicha olingan hosilalar ekanligini yaxshi bilamiz. Shunday ekan garmonik tebranayotgan jismning tezlik va tezlanish tanglamalari ham garmonik qonunga bo‘ysunadi.

Muvozonat vaziyatidan chiqarib qo‘yib yuborilgan (harakat tenglamasi kosinus qonuniga bo‘ysunuvchi), erkin tebranayotgan jismning koordinatasi, tezligi va tezlanishining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$x = x_m \cos\omega t \ \ [m], \quad \vartheta = -\omega x_m \sin\omega t \left[\frac{m}{s}\right], \quad a = -\omega^2 x_m \cos\omega t \left[\frac{m}{s^2}\right] \qquad (34.3)$$

Garmonik tebranayotgan jismning koordinatasi, tezligi va tezlanishining vaqtga bog‘lanish grafiklari 34.2-rasmdagi kabi bo‘ladi.



34.2-rasm

Garmonik tebranayotgan jismning koordinata, tezlik va tezlanishining amplituda qiymatlari quyidagicha bo‘ladi:

$$x_m = A, \quad \vartheta_m = \omega A, \quad a_m = \omega^2 A \qquad (34.4)$$

Ma’lumki, har qanday harakatlanayotgan jism mexanik energiyaga ega bo‘ladi. Shuning uchun, tebranma harakat ham o‘z energiyasiga ega bo‘ladi. Kinetik energiyaning $E_k = \frac{m\vartheta^2}{2}$ formulasiga yuqorida yozilgan $\vartheta = -\omega x_m \sin\omega t$ formulani qo‘yadigan bo‘lsak, u holda tebranma harakatda kinetik energiya

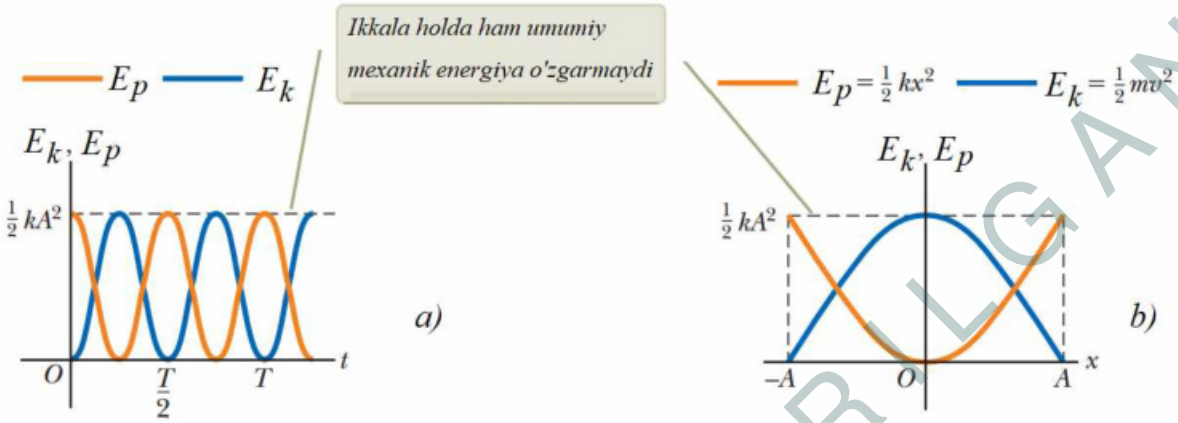
$$E_k = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \sin^2\omega t = E_{um} \sin^2\omega t$$

SINOV UCHUN BERILGAN

qonunga muvofiq o‘zgaradi. Potensial energiya esa

$$E_p = \frac{1}{2}k\,x^2 = \frac{1}{2}k\left(x_m\cos\omega t\right)^2 = \frac{k\,x_m^2}{2}\cos^2\omega t = E_{um}\cos^2\omega t$$

qonunga muvofiq o‘zgaradi. Bu yerda $E_{um} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$ umumiy mexanik energiya.



34.3-rasm

Demak, garmonik tebranma harakat qilayoigan jismning kinetik energiyasi, potensial energiyasi hamda to‘liq mexanik energiyasi quyidagicha bo‘lar ekan (34.3-a,rasm):

$$E_k = E_{um}\sin^2\omega t, \quad E_k = E_{um}\cos^2\omega t, \quad E_{um} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \qquad \textbf{(34.5)}$$

Agar yuqoridagi formulada

$$\cos\omega t = \frac{x}{x_m} = \frac{x}{A}, \quad \sin\omega t = \sqrt{1-\cos^2\omega t} = \sqrt{1-\frac{x^2}{A^2}} = \frac{\sqrt{A^2-x^2}}{A}$$

almashtirishlarini bajarsak, u holda kinetik va potensial energiyalarning masofaga (koordinataga) bog‘lanish formulalari hoail bo‘ladi (34.3-b,rasm).

$$E_k = \frac{1}{2}m\omega^2\sqrt{A^2-x^2}, \quad E_p = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 \qquad \textbf{(34.6)}$$

Garmonik tebranuvchi jismlarning davriy ravishda kinetik va potensial energiyalari bir-biriga aylanib turadi. Bu haqda prujinali va matematik mayatniklarda batafsil tanishamiz.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Tebranma harakat deb nimaga aytiladi? Davriy jarayon nima?*
2. *Majburiy va so‘nuvchi teranish tushunchalariga ta’rif keltiring.*
3. *Tebranish davri, chastotasi va siklik chastota tushunchalariga ta’rif bering. Ularni bog‘lovchi ifodalarni yozing.*
4. *Garmonik tebranma harakat nima?*
5. *Tebranish amplitudasi nima? Tezlik va tezlanish amplitudasi-chi?*
6. *Tebranma harakatda umumiy energiya formulasini yozing.*
7. *Kinetik va potensial energiyaning vaqtga bog‘lanish tenglamasini yozing va*

SINOV UCHUN BERILGAN

grafigini chizing.

8. *Kinetik va potensial energiyaning koordinataga bog‘lanish tenglamasini yozing va grafigini chizing.*

Masala yechish:

1. *Agar moddiy nuqta tebranishlari amplitudasi 4cm bo‘lsa, uning bir to‘la tebranish davomida bosib o‘tgan yo‘li qanday (cm) bo‘ladi?*

A) 0 B) 4 C) 8 D)16

Berilgan:	Yechilishi:
$x_0 = 4\ cm$	*Davriy tebranayotgan jism bir marta to‘la tebranganda muvozanat vaziyatidan ikki marta o‘tadi. Demak u bir tebranishda* $s = 4x_0$ *masofa bosib o‘tadi.*
$S = ?$	$S = 4x_0 = 4 \cdot 4\ cm = 16\ cm.$

Javob: *D)16.*

2. *Garmonik tebranayotgan jism T davrning qanday qismida muvozanat vaziyatidan chetki vaziyatgacha bo‘lgan yo‘lni bosib o‘tadi?*

Berilgan:	Yechilishi:
T	$t = 0$ *da muvozanat vaziyatida bo‘lgan garmonik tebranayotgan*
$x = x_0$	*jism harakat tenglamasi:*
	$x = x_0 \sin \omega t.$
$t = ?$	*Demak,* $x_0 = x_0 \sin \omega t, \rightarrow \sin \omega t = 1$ *ekan.*
	Bizgamalumki
	$\sin \frac{\pi}{2} = 1.\ \omega t = \frac{\pi}{2}.$

Siklik chastotaning davrga boglanish formulasi $\omega = \frac{2\pi}{T}$ *ni yuqoridagi formulaga qo‘yamiz.*

$$\frac{2\pi}{T} t = \frac{\pi}{2}, \quad t = \frac{\pi T}{2 \cdot 2\pi} = \frac{T}{4}$$

Javob: *T/4.*

3. *Mayatnik 1 minutda 120 marta tebranadi. Tebranishlar chastotasini aniqlang.*

Berilgan:	Yechilishi:
$t = 1\ min = 60\ s$	$\nu = \frac{N}{t}$
$N = 120$	*formuladanfoydalanamiz:*
$\nu = ?$	$\nu = \frac{N}{t} = \frac{120}{60} = 2Hz$

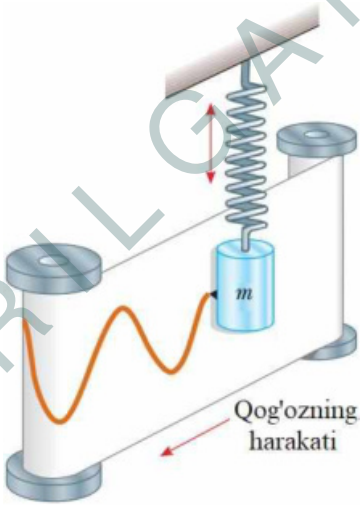
Javob: *2 Hz.*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 35. PRUJINALI MAYATNIK

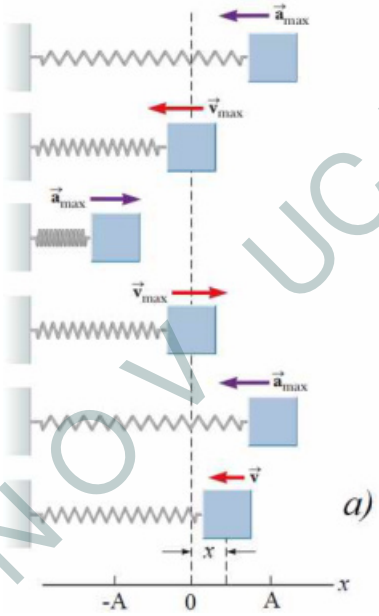
Bikrligi k bo‘lgan prujinaga mahkamlangan m massali jism gorizontal silliq sirtda turgan bo‘lsin. Bu jismni $x_m=A$ masofaga cho‘zib qo‘yib yuborilganda elastiklik kuchi ta’siri ostida erkin tebranma harakat vujudga keladi. Biz bundan keyin prujinaga osilgan sharchaning tebranishini qisqacha ***prujinali mayatnik*** deb ataymiz.

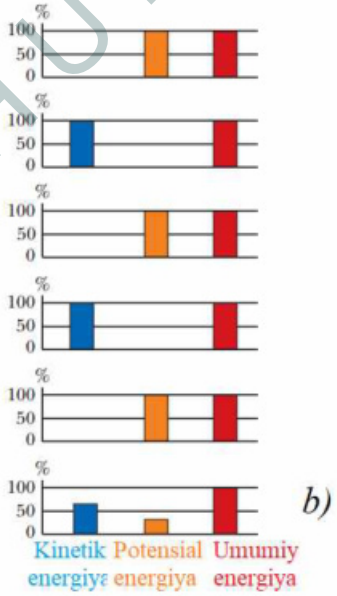
Prujimali mayatnikning erkin tebranishi garmonik jarayondir, koordinataning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi sinus yoki kosinus qonuniga bo‘ysunadi. 35.1-rasmdagi veryikal osilgan prujinaga m massali yuk osilgan bo‘lib, bu yukning bir tomoniga qalam biriktirilgan bo‘lsin. Yukin tebratib yuborilgan paytda qog‘ozni ham rasmdagi kabi gorizontal yo‘nalishda harakatlantirilsa, sinus yoki kosinusning vaqtga bog‘liqlik grafiklari, ya’ni $y=sin\omega t$ yoki $y=cos\omega t$ funksiyalardan birining grafigi hosil bo‘ladi.



35.1-rasm

35.2-rasmda prujinali mayatnikning tebranma harkatining bir tebranish jarayonidagi har xil vaziyatlari va bu vaziyatlarga mos holda energiyalar taqsimoti ko‘rsatilgan.





t	x	v	a	E_k	E_p
0	A	0	$-\omega^2 A$	0	$\frac{1}{2}kA^2$
$\frac{T}{4}$	0	$-\omega A$	0	$\frac{1}{2}kA^2$	0
$\frac{T}{2}$	$-A$	0	$\omega^2 A$	0	$\frac{1}{2}kA^2$
$\frac{3T}{4}$	0	ωA	0	$\frac{1}{2}kA^2$	0
T	A	0	$-\omega^2 A$	0	$\frac{1}{2}kA^2$
t	x	v	$-\omega^2 x$	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}kx^2$

c)

35.2-rasm

Yuqoridagi rasmdan ko‘rinib turibdiki, tebranish jarayonida potensial va kinetik energiyalar davriy ravishda bir-biriga aylanib turar ekan. Eng chetki vaziyatlarda cho‘zilish maksimal bo‘lgani uchun potensial energiya ham maksimal, tezlik nol bo‘lgani uchun kinetik energiya ham nolga teng bo‘ladi. Muvozonat vaziyatidan o‘tayotganda esa buning aksi bo‘ladi, ya’ni potensial energiya nolga teng, kinetik enrgiya esa maksimal bo‘ladi (35.2-b,rasm). 35.2-c,rasmda esa

SINOV UCHUN BERILGAN

Prujinali mayatnikning bir davrning har xil vaziyatlariga mos koordinata, tezlik,telanish hamda energiyalar qiymatlari keltirilgan.

Elastiklik kuchi dastlab sharchaga tezlanish beradi. Natijada inersiya kuchi vujudga keladi. Inersiya kuchi va elastiklik kuchi miqdoran teng va qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi (*eslatib o‘tamiz, inersiya kuchi tabiatda mavjud bo‘lmagan kuch hisoblanib, bu kuchni hodisa va jarayonlarni tushuntirish osonroq bo‘lishi uchun shartli ravishda kiritiladi*).

$$F_{in} = -F_{elas}, \quad \rightarrow \quad ma_x = -kx, \quad \rightarrow \quad a_x = -\frac{k}{m}x, \quad \rightarrow \quad \ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$

Demak, prujinali mayatnikda tezlanishning koordinataga bog‘liqligi quyidagicha bo‘lar ekan (35.3-rasm):



35.3-rasm

$$a_x = -\frac{k}{m}x \quad yoki \quad \ddot{x} = -\frac{k}{m}x \qquad \textbf{(35.1)}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, koordinatadan olingan ikkinchi tartibli hosila yana koordinataga bog‘liq bo‘lib chiqayapti. Matematikadan ma’lumki, $y=sinx$ va $y=cosx$ funksiyalarning ikkinchi tartibli hosilasi yana shu funksiyalarga bog‘liq bo‘lib chiqadi. Demak, prujinali mayatnikda ham koordinataning vaqtga bog‘lanish tenglamasi sinus yoki kosinus qonuniga bo‘ysunar ekan.

Fikrimizni quyidagicha isbotlashga urinib ko‘ramiz: Prujinaga mahkamlangan jism dastlab muvozonat vaziyatdan chiqarilib, so‘ngra erkin tebranish kuzatilayotgani uchun harakat tenglamasi kosinus qonuniga bo‘ysunayapti deb hisoblaylik, ya’ni $x = x_m \cos\omega t$ bo‘ladi. Bundan ketma-ket ikki marta vaqt bo‘yicha hosila olib, tezlanishni topamiz.

$$\dot{x} = -\omega x_m \sin\omega t, \quad \rightarrow \quad \ddot{x} = -\omega^2 x_m \cos\omega t = -\omega^2 x$$

Demak,

$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \quad \rightarrow \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

bo‘lar ekan. Harkat tenglamasi esa

$$x = x_m \cos\omega t = x_m \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t\right)$$

ko‘rinishda bo‘lar ekan.

Prujinali mayatnikda siklik chastota, tebranishlar chatotasi, tebranish davri quyidagicha bo‘ladi:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \textbf{(35.2)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Prujinali mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog‘lanish tenglamalari quyidagicha bo‘ladi:

$$x = x_m \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t\right),\quad \vartheta = -x_m\sqrt{\frac{k}{m}}\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t\right),\quad a = -x_m\frac{k}{m}\cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t\right) \qquad (35.3)$$

Prujinali mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning amplituda qiymatlari quyidagicha bo‘ladi:

$$x_m = A,\quad \vartheta_m = A\sqrt{\frac{k}{m}},\quad a_m = A\frac{k}{m} \qquad (35.4)$$

Prujinali mayatnikda potensial, kinetik va to‘liq energiyalarni hisoblaylik. Potensial energiya ushbu

$$W_p = \frac{k\,x^2}{2} = \frac{k}{2}(x_m\cos\omega t)^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2\omega t = W_{um}\cos^2\omega t$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Kinetik energiya ham xuddi shunga o‘xshash

$$W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m}{2}(-x_m\omega\sin\omega t)^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2\omega t = W_{um}\sin^2\omega t$$

topiladi. Umumiy energiya esa kinetik va potensial energiyalar yig‘indisiga teng.

$$W_{um} = W_p + W_k = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2\omega t + \frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2\omega t = \frac{1}{2}m\omega^2A^2$$

Demak, prujinali mayatnikda potensial, kinetik va to‘liq energiya quyidagicha bo‘lar ekan:

$$W_p = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2\omega t = W_{um}\cos^2\omega t$$
$$W_k = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2\omega t = W_{um}\sin^2\omega t \qquad (35.5)$$
$$W_{um} = \frac{1}{2}m\omega^2A^2$$

Energiyalarning vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafiklari oldingi mavzuda 34.3-rasmda hamda keyingi mavzuda 36.2-rasmda tasvirlangan bo‘lib, bu grafiklar barcha turdagi garmonik erkin tebranayotgan jismlar uchun o‘rinlidir.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Prujinaga osilgan yukning harakatini nima uchun garmonik tebranish deyiladi?*
2. *Prujinali mayatnikning tebranish davri, chastotasi va siklik chastotasi formulalarini yozib bering.*
3. *Prujinali mayatnik uchun koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog‘lanish tenglamalarini yozib bering. Tezlik va tezlanishning amplitudalarini yozing.*
4. *Prujinali mayatnik tezligi va tezlanishining koordinataga bog‘lanish formulasini keltirib chiqaring hamda grafigini yasang.*
5. *Prujinali mayatnik uchun kinetik, potensial va to‘la energiyalarni yozib bering.*
6. *Prujinali mayatnikning kinetik va potensial energiyasining koordinataga bog‘lanish formulasini keltirib chiqaring hamda grafigini yasang.*

SINOV UCHUN BERILGAN

Masala yechish:

1. *k bikrlikli prujinada A amplituda bilan tebranayotgan m massali yuk muvozanat vaziyatini qanday tezlik bilan o'tadi?*

A) $A\frac{k}{m}$ *B)* $A\sqrt{\frac{k}{m}}$ *C)* $\sqrt{A\frac{k}{m}}$ *D)* $A\sqrt{mk}$

Berilgan:	Yechilishi:
k $x_0 = A$ m	Garmonik tebranayotgan prujinaning energiyasi uchun quyidagi ifoda o'rinli.
$v_{max} = ?$	$W_{pmax} = W_{kmax}$ $W_{kmax} = \frac{mv_{max}^2}{2}$ $W_{Pmax} = \frac{kx_0{}^2}{2}$

Bu ifodalarga asosan quyidagi ifodaga ega bo'lamiz?

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kx_0{}^2}{2}$$

Bu ifodadan tezlikni topamiz:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{kx_0{}^2}{m}} = x_0\sqrt{\frac{k}{m}} = A\sqrt{\frac{k}{m}}$$

Javob: *B)* $A\sqrt{\frac{k}{m}}$

2. *Ketma-ket ulangan, bikrligi k bo'lgan ikkita bir xil prujinaga osilgan m massali yukning tebranish davri qanday?*

A) $2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$ *B)* $\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ *C)* $2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$ *D)* $4\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Berilgan:	Yechilishi:
$k_1 = k_2 = k$ $m = m$	Prujinalar ketma-ket ulansa umumiy bikirlik quyidagicha topiladi:
$T = ?$	$\frac{1}{k_{um}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} = \frac{2}{k}, \quad k_{um} = \frac{k}{2}$

Prujinali mayatnikning tebranish davrini toppish formulasidan foydalanamiz:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_{um}}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{k}{2}}} = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$$

Javob: *C)* $2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$

3. *4 kg massali yuk prujinaga osilgan va T davr bilan garmonik tebranmoqda. Davr T/2 ga chaqisqarishi uchun yukning necha kilogram olib tashlash kerak?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$m_1 = 4\ kg$ $T_1 = T$ $T_2 = \frac{T}{2}$ $\Delta m = m_1 - m_2$ $\Delta m = ?$	*Yuqoridagi formulaga asosan:* $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}}{2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}}} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = \frac{T}{\frac{T}{2}} = 2$ *Bundan quyidagiga ega bo'lamiz va tenglamaning ikki tomonini kvadratga oshiramiz:*

$$\frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} = 2\,, \qquad \frac{m_1}{m_2} = 4\,, \qquad m_1 = 4m_2\,, \qquad m_2 = \frac{m_1}{4} = \frac{4}{4} = 1\ kg$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 4 - 1 = 3\ kg$$

Javob: *C)*

§ 36. MATEMATIK MAYATNIK

Vaznsiz va uzun ipga osilgan, kichik burchaklar hosil qilib tebranuvchi, kichik o'lchamli va og'ir sharchaga ***matematik mayatnik*** deyiladi.

Matematik mayatnikda ipga osilgan sharcha muvozonat vaziyatidan kichikroq biror burchakka og'dirib qo'yib yuborilganda og'irlik kuchi ta'siri ostida erkin tebranma harakat vujudga keladi.

Matematik mayatnikda ham prujinali mayatnikdagi kabi davriy ravishda potensial va kinetik energiyalar bir-biriga aylanib turadi. Og'irlik kuchining trayektoriyaga urinma P_{tan} tashkil etuvchisi dastlab sharchaga tezlanish beradi. Natijada inersiya kuchi vujudga keladi. Inersiya kuchi va tashkil etuvchi kuch miqdoran teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi (36.1-rasm).

$$F_{in} = P_{\tan} = -P\sin\alpha\,, \quad \rightarrow \quad ma = -mg\sin\alpha\,, \rightarrow \quad a = -g\sin\alpha = -g\,\frac{x}{\ell}$$

α burchak juda kichik bo'lganda, $a \approx a_x$ bo'ladi.

$$a_x = -\frac{g}{\ell}x, \quad \rightarrow \quad \ddot{x} = -\frac{g}{\ell}x$$

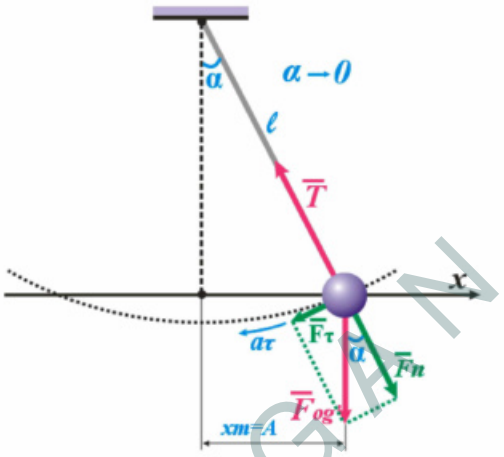
Demak, matematik mayatnikda tezlanishning koordinataga bog'liqligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$a_x = -\frac{g}{\ell}x \quad yoki \quad \ddot{x} = -\frac{g}{\ell}x \qquad \textbf{(36.1)}$$

Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, koordinatadan olingan ikkinchi tartibli hosila yana koordinataga bog'liq bo'lib chiqayapti. Matematikadan ma'lumki, $y=sinx$ yoki $y=cosx$ funksiyalarning ikkinchi tartibli hosilasi yana shu funksiyalarga bog'liq bo'lib chiqadi. Demak, matematik mayatnikda ham koordinataning vaqtga bog'lanish tenglamasi sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Fikrimizni quyidagicha isbotlashga urinib ko‘ramiz: Ipga osilgan sharcha dastlab muvozonat vaziyatdan chiqarilib, so‘ngra erkin tebranish kuzatilayotgani uchun harakat tenglamasi kosinus qonuniga bo‘ysunayapti deb hisoblaylik. $x = x_m \cos\omega t$ dan ketma-ket ikki marta vaqt bo‘yicha hosila olib, tezlanishni topamiz.



36.1-rasm

$$\dot{x} = -\omega x_m \sin\omega t\,, \quad \rightarrow \quad \ddot{x} = -\omega^2 x_m \cos\omega t = -\omega^2 x$$

Demak,

$$\omega^2 = \frac{g}{\ell}, \quad \rightarrow \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

bo‘lar ekan. Harakat tenglamasi esa

$$x = x_m \cos\omega t = x_m \cos\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,t\right)$$

ko‘rinishda bo‘lar ekan.

Matematik mayatnikda siklik chastota, tebranishlar chastotasi, tebranish davri quyidagicha bo‘ladi:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}\,, \quad \nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad \textbf{(36.2)}$$

Matematik mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog‘lanish tenglamalari quyidagicha bo‘ladi:

$$x = x_m \cos\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,t\right), \quad \vartheta = -x_m\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,\sin\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,t\right), \quad a = -x_m\frac{g}{\ell}\cos\left(\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,t\right) \qquad \textbf{(36.3)}$$

Matematik mayatnikda koordinata, tezlik va tezlanishning amplituda qiymatlari quyidagicha bo‘ladi:

$$x_m = A\,, \quad \vartheta_m = A\sqrt{\frac{g}{\ell}}\,, \quad a_m = A\frac{g}{\ell} \qquad \textbf{(36.4)}$$

Matematik mayatnikda potensial, kinetik va to‘liq energiyalar qanday bo‘lishini hisoblaylik. Kinetik energiya

$$W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m}{2}(-x_m\omega\sin\omega t)^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cdot\sin^2\omega t = W_{um}\sin^2\omega t$$

bo‘ladi. Umumiy energiya ushbu

$$W_{um} = mg\Delta h = mg\ell(1-\cos\alpha) = m\omega^2\ell^2(1-\cos\alpha) = m\omega^2\frac{x_m^2}{\sin^2\alpha}(1-\cos\alpha) =$$

$$= m\omega^2\frac{A^2}{(1-\cos\alpha)(1+\cos\alpha)}(1-\cos\alpha) \approx \frac{1}{2}m\omega^2A^2$$

SINOV UCHUN BERILGAN

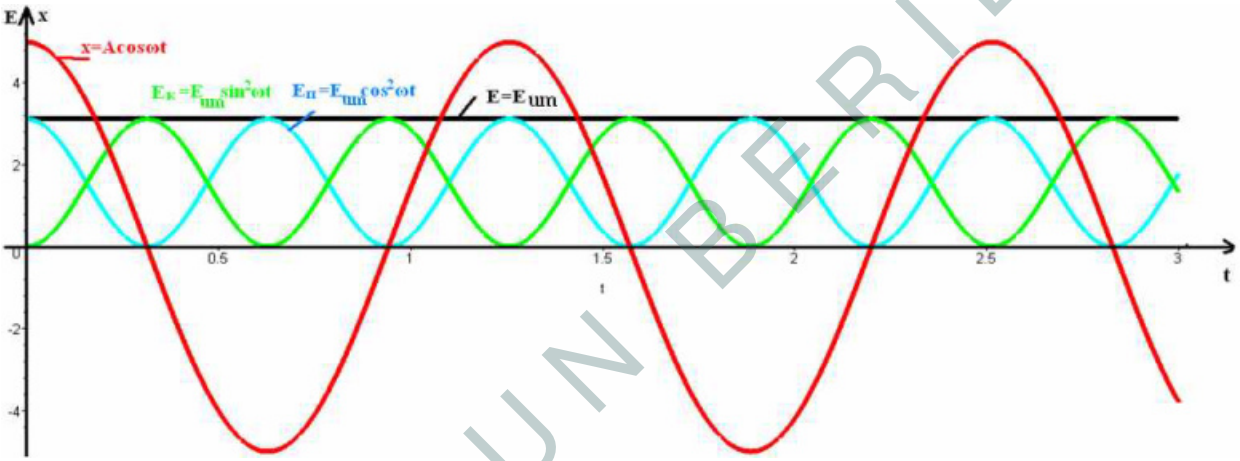
ketme-ketlikda aniqlanadi. Potensial energiya esa umuiy energiyadan kinetik energiyani ayirish orqali

$$W_p = W_{um} - W_k = W_{um} - W_{um}\sin^2\omega t = W_{um}(1-\sin^2\omega t) = W_{um}\cos^2\omega t$$

topiladi.

Shynday qilib, matematik mayatnikda potensial, kinetik va to‘liq energiya quyidagicha bo‘lar ekan:

$$W_p = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2\omega t = W_{um}\cos^2\omega t$$
$$W_k = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2\omega t = W_{um}\sin^2\omega t \qquad (36.4)$$
$$W_{um} = \frac{1}{2}m\omega^2A^2$$



36.2-rasm

Garmonik tebranuvchi barcha mayatniklarda kinetik va potensial energiya davriy ravishda bir-biriga aylanib turadi, lekin to‘liq mexanik energiya vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi. Potensial va kinetik energiyalar tebranish chastotasi koordinata (yoki tezlik, yoki tezlanish) chastotasidan ikki marta katta bo‘lib, jism bir tebranganda potensial va kinetik energiyalar ikki marta tebranishga (biri-biriga aylanishga) ulguradi (36.2-rasm).

Prujinali mayatnikda ham matematik mayatnikda ham tebranishlar garmonik bo‘lgani uchun ularning tebranishlari orasida o‘xshashlik bo‘lish kerak. 36.3-rasmda bu mayatniklarning garmonik tebranishlaridagi o‘xshash fazalar tasvirlangan.

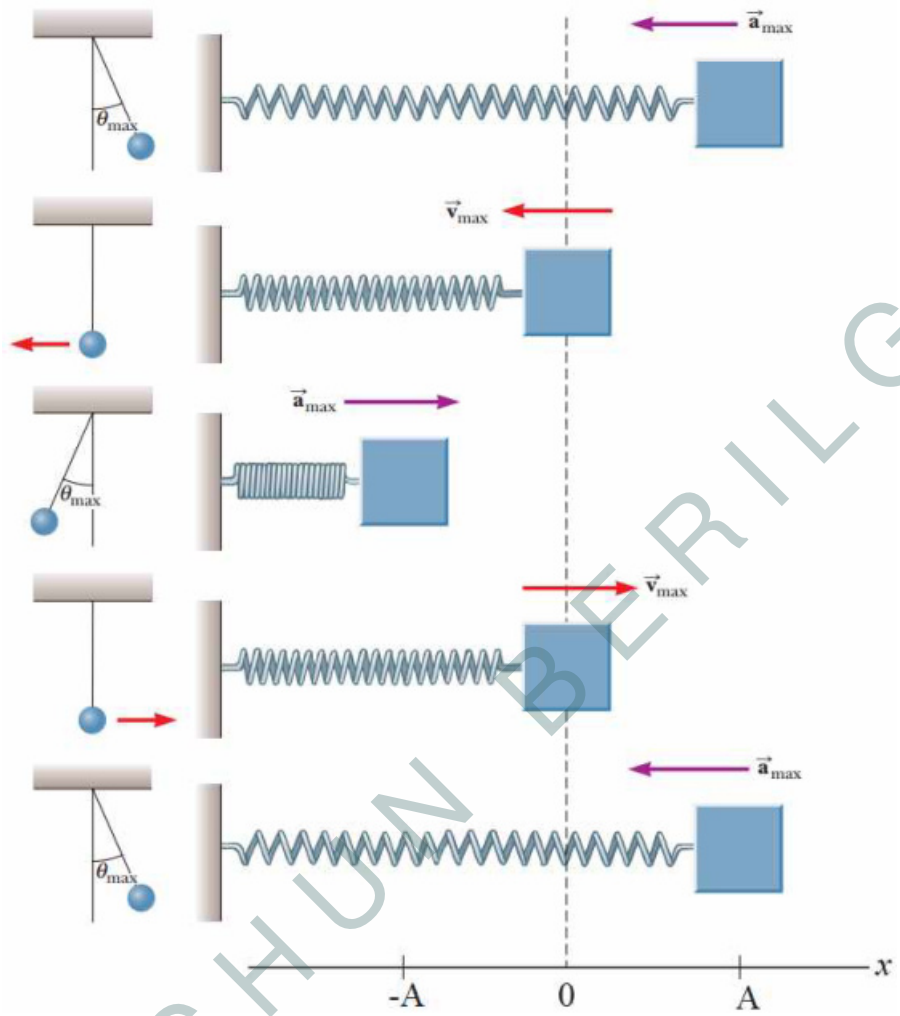
Matematik mayatnik uchun xususiy hollar:

Quyidagi keltirib chiqariladigan formulalar ko‘p uchraydigan masalalarga doir bo‘lib, ushbu formulalarni bilish masalalar yechish jarayonini osonlashtiradi.

Agar matematik mayatnik tinch turgan yoki to‘g‘ri chiziqli tekis harakatlanayotgan aravachaga o‘rnatilgan bo‘lsa, uning tebranish davri quyidagicha bo‘ladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (36.5)$$



36.3.-rasm

Agar matematik mayatnik tezlanish bilan harakatlanayotgan boshqa bir jismga bog‘langan bo‘lsa, aytaylik liftda, aravada, mashinada yoki poyezdda bo‘lsa, u holda mayatnikning tebranish davri qanday bo‘ladi degan savol tug‘iladi. Keling, matematik mayatnik qiya tekislik bo‘ylab tezlanish bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, mayatnikning tebranish davri qanday bo‘lishiga qiziqib ko‘raylik.

Qiyalik bo‘ylab tepaga a tezlanish bilan chiqib ketayotganda jismning og‘irligi

$$P = m\sqrt{g^2 + a^2 + 2\,g\,a\,\sin\alpha}$$

bo‘lishi bilan tanishgan edik. Shuning uchun, qiyalik bo‘ylab tapaga a tezlanish bilan chiqib ketayotgan aravachaga o‘rnatilgan matematik mayatnikning tebranish davri

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{P/m}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2 + a^2 + 2\,g\,a\,\sin\alpha}}}$$

ga teng bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, agar matematik mayatnik o‘rnatilgan aravacha gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi qiya sirt bo‘ylab a tezlanish bilan tepaga chiqib ketayotgan bo‘lsa, mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo‘ladi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2 + a^2 + 2ga\sin\alpha}}} \qquad (36.6)$$

Yuqoridagi formuladan pastga tomon tezlanish bilan tushib kelatgan hol uchun ham chiqarish mumkin. Buning uchun burchak α o‘rniga $-\alpha$ qo‘yish kifoyadir.

Demak, agar matematik mayatnik o‘rnatilgan aravacha gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi qiya sirt bo‘ylab a tezlanish bilan pastga tushib kelayotgan bo‘lsa, mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo‘ladi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2 + a^2 - 2ga\sin\alpha}}} \qquad (36.7)$$

Yuqoridagi formulani qiya sirt bo‘ylab ishqalanishsiz tushayotgan hol uchun ham yozish mumkin. Qiyalik bo‘ylab pastga ishqalanishsiz tushishdagi tezlanish esa

$$a = g\left(\sin\alpha - \mu\cos\alpha\right) = g\sin\alpha$$

ga teng bo‘ladi. Bundan esa qiyalik bo‘ylab pastga ishqalanishsiz tushayotgan aravachadagi matematik mayatnikning tebranish davri

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2 + (g\sin\alpha)^2 - 2g(g\sin\alpha)\sin\alpha}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2 + g^2\sin^2\alpha - 2g^2\sin^2\alpha}}} =$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2(1-\sin^2\alpha)}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g\cos\alpha}}$$

ga teng bo‘lishini ko‘rishimiz mumkin bo‘ladi.

Demak, agar matematik mayatnik o‘rnatilgan aravacha gorizont bilan α burchak tashkil qiluvchi qiya sirt bo‘ylab ishqalanishsiz tushib kelayotgan bo‘lsa, mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo‘lar ekan:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g\cos\alpha}} \qquad (36.8)$$

Agar matematik mayatnik o‘rnatilgan jism biror tezlanish bilan tik yuqoriga, tik pastga yoki gorizontal yo‘nalishda harakatlanayotgan bo‘lsa, u holda

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{P/m}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2 + a^2 + 2ga\sin\alpha}}}$$

formuladagi burchak α o‘rniga mos holda $90^0, -90^0, 0^0$ qo‘yamiz. Shunda formulani soddalashtirsak, mos holda

$$T_{\uparrow} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+a}}\ ,\ T_{\downarrow} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g-a}}\ ,\ T_{\rightarrow} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2+a^2}}}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

formulalarga ega bo‘lamiz.

Demak, agar matematik mayatnik a tezlanish bilan tik tepaga, tik pastga va gorizontal holatlarda harakatlantirilsa, ushbu holatlarda mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo‘ladi:

$$T_{\uparrow} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g+a}}\ , \qquad T_{\downarrow} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g-a}}\ , \quad T_{\rightarrow} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{g^2+a^2}}} \tag{36.9}$$

Agar matematik mayatnik vaznsizlik holatida (erkin tushayotgan yoki kosmik kemada) bo‘lsa, uning tebranish davri $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g-g}}$ formulaga ko‘ra $T \to \infty$ bo‘ladi, ya’ni mayatnik tebranmay qo‘yadi.

Mexanika bo‘lmidan ma’lumki, Yer sirtidan ko‘tarilgan sari erkin tushish tezlanish kamayib boradi. Xuddi shuningdek, Yer qa’riga kirib borgan sari ham erkin tushish tezlanish kamayib boradi. Bundan esa shunday xulosa qilish mumkinki, matematik mayatnikning tebanish davri erkin tushish tezlanishiga $T \sim 1/\sqrt{g}$ ko‘rinishda bog‘liq bo‘lgani uchun Yer sirtidan balandlikka ko‘tarilgan sari yoki Er ichkarisiga kirgan sari tebranish davri ortib borishikerak. Ana shu ikki holni qarab ko‘raylik.

Agar matematik mayatnik Yer sirtidan tepaga ko‘tarila borsa, balandlashgan sari erkin tushish tezlanishining son qiymati kamaygani bois, tebranish davri ortib boradi. Chunki, baland nuqtalarda mayatnikdagi sharchani Yer kuchsizroq tortadi. Yer sirti uchun mayatnikning tebranish davri

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

hamda Yer sirtidan h balandlik uchun erkin tushish tezlanishining qiymati

$$g_h = g_0\left(\frac{R}{R+h}\right)^2$$

ekanini hisobga olsak, h balandlik uchun tebranish davri

$$T_h = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_h}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0\left(\frac{R}{R+h}\right)^2}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0}}\frac{R+h}{R} = T_0\frac{R+h}{R}$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

Demak, agar matematik mayatnikning Yer sirtidagi tebranish davri T_0 bo‘lsa, Yer sirtidan h balandlikdagi tebranish davri T_h quyidagicha bo‘lar ekan:

$$T_h = T_0\frac{R+h}{R} \tag{36.10}$$

Agar matematik mayatnik Yer sirtidan ichkariga kira borsa, chuqurlashgan sari erkin tushish tezlanishining son qiymati kamaygani bois, tebranish davri ortib

SINOV UCHUN BERILGAN

boradi. Chunki, ichkari nuqtalarda mayatnikdagi sharchani Yer kuchsizroq tortadi. Yer sirti uchun mayatnikning tebranish davri

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

hamda Yer sirtidan h chuqurlik uchun erkin tushish tezlanishining qiymati

$$g_h = g_0\frac{R-h}{R}$$

ekanini hisobga olsak, h chuqurlik uchun tebranish davri

$$T_h = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_h}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0\dfrac{R-h}{R}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_0}}\cdot\sqrt{\frac{R}{R-h}} = T_0\cdot\sqrt{\frac{R}{R-h}}$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

Demak, agar matematik mayatnikning Yer sirtidagi tebranish davri T_0 bo‘lsa, Yer sirtidan h chuqurlikdagi tebranish davri T_h quyidagicha bo‘ladi:

$$\boxed{T_h = T_0\sqrt{\frac{R}{R-h}}} \qquad (36.11)$$

Ikkita turlicha uzunlikdagi matematik mayatniklar berilgan bo‘lib, shu mayatniklar uzunliklari yig‘indisiga yoki ayirmasiga teng uzunlikdagi uchinchi mayatnikning tebranish davrini aniqlash so‘ralgan bo‘lsin. Shuni aniqlaylik. Ikkita berilgan mayatniklarni tebranish davrlarini bilgan holda ularning uzunliklarini aniqlash mumkin. Topilgan uzunliklarni qo‘sish yoki ayirish orqali uchinchi mayatnikning uzunligini

$$\begin{cases} T_1 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_1}{g}} \\ T_2 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell_2}{g}} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \ell_1 = \dfrac{gT_1^2}{4\pi^2} \\ \ell_2 = \dfrac{gT_2^2}{4\pi^2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \ell_3 = \ell_1 \pm \ell_2 = \dfrac{g}{4\pi^2}\left(T_1^2 \pm T_2^2\right) \\ \ell_3 = \dfrac{gT_3^2}{4\pi^2} \end{cases}$$

topiladi. Bundan esa uchinchi mayatnikning tebranish davrini aniqlalanadi.

$$\frac{gT_3^2}{4\pi^2} = \frac{g}{4\pi^2}\left(T_1^2 \pm T_2^2\right), \quad \rightarrow \quad T_3 = \sqrt{T_1^2 \pm T_2^2}$$

Demak, ℓ_1 va ℓ_2 uzunlikdagi mayatniklar davrlari mos ravishda T_1 va T_2 bo‘lsa, $\ell_3 = \ell_1 \pm \ell_2$ uzunlikdagi mayatnikning davri T_3 quyidagicha bo’lar ekan:

$$\boxed{T_3 = \sqrt{T_1^2 \pm T_2^2}} \qquad (36.12)$$

Ikkita turli uzunliklardagi mayatniklar berilgan bo‘lib, qandaydir vaqt ichida ulardan biri N_1 marta, ikkinchisi esa N_2 marta tebrangani ma’lum bo‘lsa, berilgan kattaliklarni bog‘lovchi formula hosil qilaylik. Bunda mayatniklarning tebranish davrlari

SINOV UCHUN BERILGAN

$$T_1 = \frac{t}{N_1} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} \quad \text{va} \quad T_2 = \frac{t}{N_2} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Bundan t vaqtlar

$$t = 2\pi N_1\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} \quad \text{va} \quad t = 2\pi N_2\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}$$

bo‘ladi. Bu vaqtlarni tenglashtirib va soddalashtirishlardan keyin

$$2\pi N_1\sqrt{\frac{\ell_1}{g}} = 2\pi N_2\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}, \quad \rightarrow \quad \frac{l_2}{l_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

ifodaga ega bo‘lamiz.

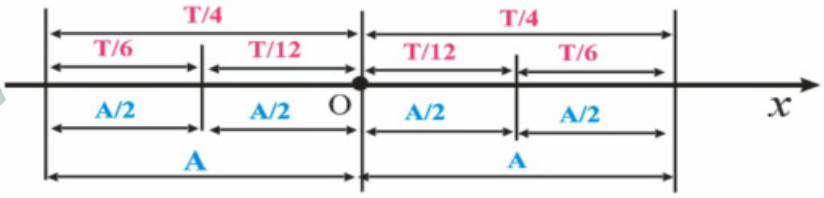
Demak, teng vaqt ichida N_1 va N_2 marta tebranuvchi ℓ_1 va ℓ_2 uzunlikdagi mayatniklar uchun berilgan kattaliklarni bog‘lovchi ifoda quyidagicha bo’lar ekan:

$$\frac{\ell_2}{\ell_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad \textbf{(36.13)}$$

Kichik tebranishlarda fizik mayatnikning (shuningdek prujinali va matematik mayatnikning ham) tebranish davri uning tebranish amplitudasiga bog‘liq emas ekan. Tebranish davri amplitudaga bog‘liq bo‘lmagan tebranishlar ***izoxron tebranishlar*** deyiladi. Mayatniklarning izoxronlik xususiyati ulardan vaqt o‘lchagich asbob sifatida foydalanishga yordam beradi. $8^0 - 10^0$ va undan katta chetlanishlarda mayatnikning izoxronligi buziladi.

Garmonik tebranuvchi barcha mayatniklarda quyidagi mulohaza o‘rinli (36.3-rasm):

Muvozanat vaziyatidan chiqarib qo‘yib yuborilgan jism amplitudaning dastlabki yarmini T/6 vaqtda keyingi yarmini T/12 vaqtda bosib o‘tadi, amplituda yo‘lini esa T/4 vaqtda bosib o‘tadi.



36.3-rasm

Matematik mayatnik uchun yana ko‘plab xusuiy formulalar keltirib chiqarish mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Matemaatik mayatniknining harakatini nima uchun garmonik tebranish deyiladi?*
2. *Matematik mayatnikning tebranish davri, chastotasi va siklik chastotasi formulalarini yozib bering.*
3. *Matematik mayatnik uchun koordinata, tezlik va tezlanishning vaqtga bog‘lanish tenglamalarini yozib bering. Tezlik va tezlanishning amplitudalarini yozing.*

SINOV UCHUN BERILGAN

4. *Matematik mayatnik tezligi va tezlanishining koordinataga bog‘lanish formulasini keltirib chiqaring hamda grafigini yasang.*
5. *Matiematik mayatnik uchun kinetik, potensial va to‘la energiyalarni yozib bering.*
6. *Matematik mayatnik kinetik va potensial energiyalarining koordinataga bog‘lanish formulasini keltirib chiqaring hamda grafigini yasang.*
7. *Yer sirtidan biror balandlikdagi yoki chuqurlikdagi mayatniklarning tebranish davrlari qanday bo‘ladi?*
8. *Tezlanishli harakatga ega bo‘lgan matematik mayatnik uchun qanday formulalar yozish mumkin?*

Masala yechish:

1. *Matematik mayatnikning kichik tebranishlaridagi tebranish qonuni* $x = 0{,}03sin\frac{2\pi t}{T}$ *ko‘rinishda berilgan. Uning t=3T/4 paytdagi siljishi modulini toping (m).*

A) 0,05 B) 0,04 C) 0,03 D) 0,02

Berilgan:

$x = 0{,}03sin\frac{2\pi t}{T}$

$t = \frac{3T}{4}$

$|x| = ?$

Yechilishi:

Berilgan garmonik tenglamada vaqtning o‘rniga berilgan qiymatini qo‘yamiz:

$$|x| = 0{,}03sin\frac{2\pi t}{T} = 0{,}03sin\frac{2\pi}{T}\cdot\frac{3T}{4} = |-0{,}03| = 0{,}03\ m$$

Javob: *C)*

2. *Qanday fazalarda siljish modul bo‘yicha amplitudaning* $\frac{\sqrt{2}}{2}$ *qismiga teng bo‘ladi? Tebranishlar kosinus qonuni bo‘yicha ro‘y beradi.*

Berilgan:

$x = \frac{\sqrt{2}}{2}x_m$

$\varphi = ?$

Yechilishi:

Tebranish tenglamasini yozamiz:

$$x = x_m\,cos(\omega t + \varphi_0) = x_m\,cos\,\varphi$$

Tenglamaga berilgan kattaliklarni qo‘yamiz

$$\frac{\sqrt{2}}{2}x_m = x_m\,cos\,\varphi$$

$$cos\,\varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad \varphi = \pm\frac{\pi}{4} \pm \pi n$$

Javob: $\pm\frac{\pi}{4} \pm \pi n$

3. *Ikkita matematik mayatnikdan birining tebranish davri 0,5 s. Agar birinchi mayatnik 6 marta tebrangan vaqtda ikkinchisi 4 marta tebransa, ikkinchi mayatnikning tebranish davri qanday bo‘ladi (s)?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$T_1 = 0{,}5\ s$ $N_1 = 6$ $N_2 = 4$ $t_1 = t_2 = t$	*Tebranish davrining tebranishlar soniga bo‘gliqlik formulasidan foydalanamiz.* $T_1 = \frac{t}{N_1}, \qquad T_2 = \frac{t}{N_2}$ *Ulardan nisbat olamiz.*
$T_1 = ?$	$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{t}{N_1}}{\frac{t}{N_2}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$, $\dashrightarrow$ $T_2 = \frac{3T_1}{2} = \frac{3 \cdot 0{,}5}{2} = 0{,}75\ s$

Javob: *0,75 s*

§ 37. MEXANIK TEBRANISHLARNI QO‘SHISH.

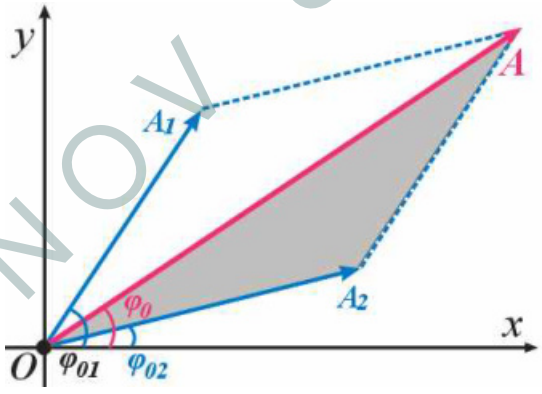
Moddiy nuqta bir vaqtning o‘zida bir nechta tebranishlarda ishtorok etishi mumkin. Bunda natijalovchi harakat tenglamasi va uning proyeksiyasini aniqlash uchun tebranishlarni qo‘shish zarur bo‘ladi. Natijada yanada murakkabroq tebranish hosil bo‘ladi va uning xarakteri qo‘shiluvchi tebranishlarning fazalari, chastotalari va amplitudalariga bog‘liq bo‘ladi. Garmonik tebranishlarning qo‘shilishga doir bir nechta hollarni batafsil qarab chiqaylik.

Bir chiziqda yotgan ikki kogerent tebranishlarni qo‘shish:

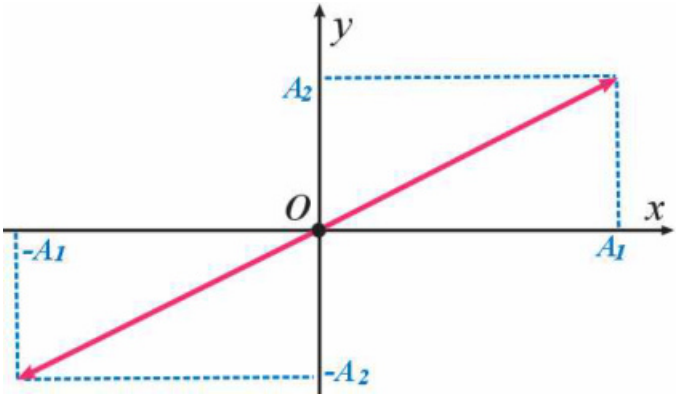
Kogerent tebranishlar deb chastotalari bir xil yoki bir-biridan cheksiz kichik qiymatga farq qiladigan va fazalar farqi vaqt bo‘yicha o‘zgarmaydigan tebranishlarga aytiladi. Aytayik, moddiy nuqta bir to‘g‘ri chiziqda yotuvchi ushbu

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_{01}) \quad \text{va} \quad x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_{02})$$

ikkita tebranishlarda ishtirok etayotgan bo‘lsin. Bu yerda: ω – ikkala tebranishning ham o‘zaro teng bo‘lgan siklik chastotasi; φ_{01} va φ_{02} – mos holda birinchi va ikkinchi tebranishning boshlang‘ich fazalari.



37.1-rasm



37.2-rasm

Tebranishlarni qo‘shish va natijaviy tebranish qonuniyatini aniqlash uchun vektor diagrammadan foydalanamiz (37.1-rasm). Buning uchun koordinata boshi atrofida o‘zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanayotgan va Ox o‘qining musbat yo‘nalishi bilan mos holda φ_{01} va φ_{02} boshlang‘ich burchaklar tashkil qiluvchi $\vec{A}_1$

SINOV UCHUN BERILGAN

va $\vec{A}_2$ vektorlarni olish mumkin. $\vec{A}_1$ va $\vec{A}_2$ vektorlar O nuqta atrofida aylanganda vektorlarga qurilgan parallelogrammning diagonali ham aylanma harakat qiladi. 37.1-rasmdan ham ko‘rinib turibdiki, natijaviy garmonik tebranma harakat tenglamasi ushbu

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0) \qquad (37.1)$$

ko‘rinishda bo‘lishi kerak. Rasmda strixlangan uchburchak uchun kosinuslar teoremasini tadbiq etib natijaviy tebranishning amplitudasini aniqlash mumkin.

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})} \qquad (37.2)$$

Natijaviy tebranishning boshlang‘ich fazasi esa burchak tangensidan foydalanib aniqlanadi.

$$tg\varphi_0 = \frac{A_1\sin\varphi_{01} + A_2\sin\varphi_{02}}{A_1\cos\varphi_{01} + A_2\cos\varphi_{02}} \qquad (37.3)$$

Bu yerda: φ_{02} - φ_{01} – ikkita tebranishning boshlang‘ich fazalari orasidagi farqi bo‘lib, uning qiymati vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmasdir.

Agar tebranishlar bir xil fazada qo‘shilsa, u holda fazalar farqi $\varphi_{02} - \varphi_{01} = 0, 2\pi, 4\pi, ...2\pi n$ bo‘lib, natijaviy amplituda

$$A = A_1 + A_2 \qquad (37.2a)$$

bo‘ladi. Yuqoridagi formulada amplitudasi teng tebranishlar bir xil fazada qo‘shilgan hol uchun

$$A = 2A_1 \qquad (37.2b)$$

deb yozish mumkin.

Agar tebranishlar qarama-qarshi fazada qo‘shilsa, u holda fazalar farqi $\varphi_{02} - \varphi_{01} = \pi, 3\pi, 5\pi, ...(2n+1)\pi$ bo‘lib, natijaviy amplituda

$$A = A_1 - A_2 \qquad (37.2c)$$

bo‘ladi. Yuqoridagi formulada amplitudasi teng tebranishlar qarama-qarshi fazada qo‘shilgan hol uchun

$$A = 0 \qquad (37.2d)$$

deb yozish mumkin.

O‘zaro tik bo‘lgan tebranishlarni qo‘shish:

Endi moddiy nuqtaning bir vaqtda o‘zaro perpendikulyar ikki yo‘nalishdagi tebranishda ishtirok etgan holni ko‘rib chiqaylik. Bunda quyidagi hollarni qarab o‘tamiz:

1) Siklik chastotalari va fazalari bir xil, lekin amplitudalari turlicha bo‘lgan ushbu

$$x = A_1\sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{va} \quad y = A_2\sin(\omega t + \varphi_0)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

tebranishlar qo‘shilganda, moddiy nuqtaning natijaviy harakatning trayektoriya tenglamasi

$$y = \frac{A_2}{A_1} x \qquad (37.4)$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bu to‘g‘ri chiziq tenglamasi bo‘lib, tebranish koordinata boshidan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziq bo‘yicha bo‘ladi (37.2-rasm).

Bunda natijaviy siljish

$$s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}\sin(\omega t + \varphi_0) = A\sin(\omega t + \varphi_0) \qquad (37.5)$$

bo‘ladi. Bu yerda: $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$ – natijaviy tebranish amplitudasi.

2) Siklik chastotalari bir xil, fazalari $\pi/2$ $\pi/2$ ga farq qiladigan, amplitudalari turlicha bo‘lgan ikkita o‘zaro tik tebranishlarni qo‘shib ko‘raylik. Bunda ularning tenglamalari

$$x = A_1\sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{va} \quad y = A_2\sin(\omega t + \pi/2 + \varphi_0)$$

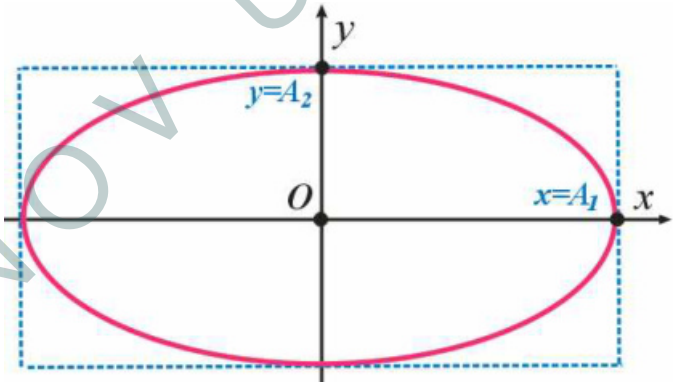
ko‘rinishga ega bo‘ladi. Yuqoridagi tenglamalarni ushbu

$$\frac{x}{A_1} = \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{va} \quad \frac{y}{A_2} = cos(\omega t + \varphi_0)$$

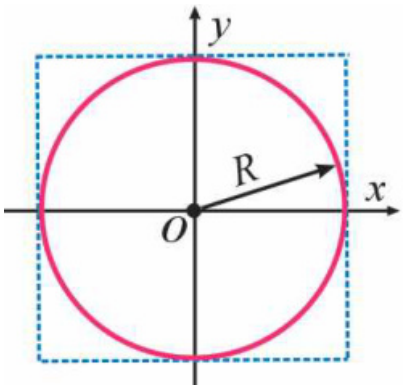
ko‘rinishda ham yozib olish mumkin. Tenglamalarni kvadratga oshirib, so‘ng bir-biriga qo‘shilsa, ushbu

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1 \qquad (37.6)$$

trayektoriya tenglamasi hosil bo‘ladi. Demak, bunday tebranishlarni qo‘shilishi natijasida hosil bo‘lgan tebranish trayektoriya ellipsdan iborat bo‘lar ekan (37.3-rasm).



37.3-rasm



37.4-rasm

Yuqoridagi ellips tenglamasidan yana bir xususiy holni qarab chiqish mumkin. Agar tebranish amplitudalari teng bo‘lsa ($A_1 = A_2 = R$), u holda ellips tenglamasi ushbu

$$x^2 + y^2 = R^2 \qquad (37.7)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

aylana tenglamasiga aylanib qoladi (37.4-rasm). Demak, biz kinematika bo‘limida o‘tgan aylanma harakatlar ham ikkita tik tebranma harakatning qo‘shilishi ekan.

So‘nuvchi va majburiy tebranishlar haqida tushuncha:

Agar tebranish jismni muvozonat vaziyatidan chiqarib qo‘yib yuborilgach, ichki kuch va harakatga qarshilik kuchlari ta’siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni ***so‘nuvchi tebranish*** deyiladi. Bunda tebranayotgan jismga sirtning ishqalanish kuchi yoki muhitning qarshilik kuchi ta’sir etib, tebranish amplitudasini asta-sekin so‘ndirib boradi. Aytaylik, muhitning qarshilik kuchi tezlikning 1-darajasiga bog‘liq $\left(F_{qar}=-\alpha\vartheta\right)$ bo‘lsin. Bunda jism elastiklik kuchi va qarshilik kuchi ta’sirida o‘zgaruvchan tezlanishli harakat qiladi. Kuchlar uchun ushbu

$$ma=-kx-\alpha\vartheta \quad \text{yoki} \quad ma+kx+\alpha\vartheta=0$$

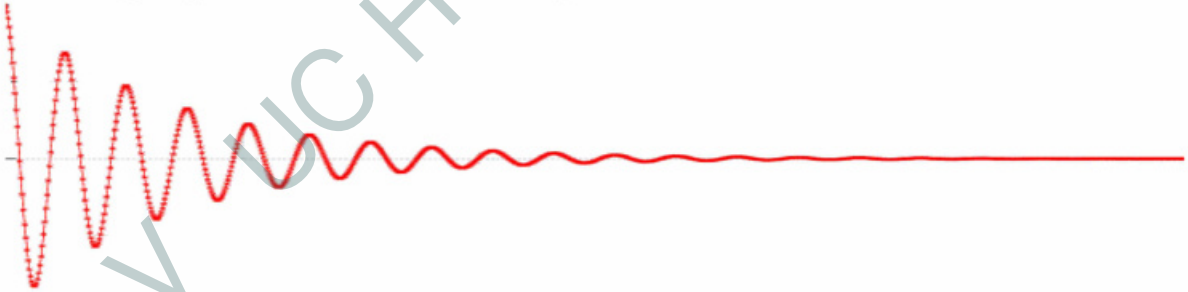
ifodani yozish mumkin. Tezlik koordinatadan olingan 1-tartibli hosila, Tezlanish esa 2-tartibli hosila ekanini bilgan holda yuqoridagi tenglamani

$$m\ddot{x}+\alpha\dot{x}+kx=0$$

ko‘rinishda yozish mumkin. Bu tenglamani har ikkala tomonini massaga bo‘lsak, u holda quyidagi tenglamaga ega bo‘lamiz:

$$\ddot{x}+\frac{\alpha}{m}\dot{x}+\frac{k}{m}x=0 \qquad \textbf{(37.8)}$$

Bu tenglamani yechimi so‘nuvchi tebranish tenglamasi bo‘ladi. So‘nuvchi tebranish grafigi 37.5-rasmda tasvirlangan.



37.5-rasm

Agar tebranish tashqi majburlovchi kuch ta’siri ostida yuzaga kelsa, bunday tebranishni ***majburiy tebranish*** deyiladi. Bunda tebranayotgan jismga ichki kuch hamda sirtning ishqalanish kuchi yoki muhitning qarshilik kuchidan tashqari tashqi majburlovchi kuch ham ta’sir etadi. Aytaylik, tashqi majburlovchi kuch ham garmonik qonunga bo‘ysungan holda $F=F_0\sin\omega t$ qonun bo‘yicha ta’sir etsin. Bunda jism elastiklik kuchi, qarshilik kuchi va majburlovchi kuch ta’sirida o‘zgaruvchan tezlanishli harakat qiladi. Kuchlar uchun ushbu

$$ma=-kx-\alpha\vartheta+F_0\sin\omega t \quad \text{yoki} \quad ma+kx+\alpha\vartheta=F_0\sin\omega t$$

ifodani yozish mumkin. Tezlik koordinatadan olingan 1-tartibli hosila, tezlanish esa 2-tartibli hosila ekanini bilgan holda yuqoridagi tenglamani

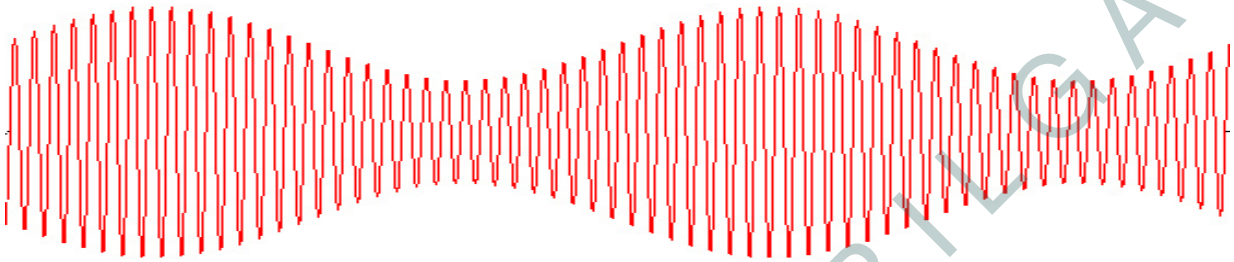
SINOV UCHUN BERILGAN

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$$

ko‘rinishda yozish mumkin. Bu tenglamani har ikkala tomonini massaga bo‘lsak, u holda quyidagi tenglamaga ega bo‘lamiz:

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\sin \omega t \qquad \textbf{(37.9)}$$

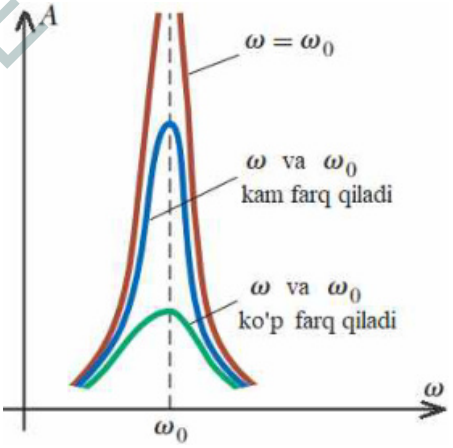
Bu tenglamani yechimi majburiy tebranish tenglamasi bo‘ladi. So‘nuvchi tebranish grafigi 37.6-rasmda tasvirlangan.



37.6-rasm

Rezonans haqida tushuncha:

Bu hodisa asosan majburuy tebranishlarda kuzatiladi. Tashqi majburlovchi kuchning taebranish chastotasi ichki xususiy tebranish chastotasiga yaqinlashgan sari ularning tebranish ritmlari bir-biriga hamohanglashib boradi. Ular orasidagi farq kamayib borgan sari tebranishning amplituda qiymati kattalashib boradi. Farq butunlay yo‘qolib xususiy va tashqi chastotalar o‘zaro tenglashganda amplitudaning keskin oshishi kuzatiladi. Bu hodisaga ***rezonan***s deyiladi (37.8-rasm).



37.8-rasm

Ipga osilgan sharchani tebratganda sharchanung xususiy kichik tebranishiga monand ravishda har tebranganda ozgina turtib qo‘yilsa, asta-sekin amplituda ortib boradi va kuchayib katta tebranishni yuzaga keltiradi. Bunda taranglik kuchi ortib ketishi ipni uzib yuborish xavfini paydo qiladi. Shunga o‘xshash, askarlar ko‘riklar ustidan shaxdam qadamlar bilan o‘tayotganda, ko‘prikning xususiy tebranishi askarlarning qadam tashlash chastotasiga yaqinlashganda tebranma harakat kuchayib, ko‘prik buzilish xavfini keltirib chiqaradi. Shuning uchun ko‘prikdan askarlar betartib holda o‘tkaziladi. Shuning uchun turli konstruksiya va inshoatlarni hisoblashda ularning xususiy chastotasini tashqi ta’sir etuvchi kuchlarning chastotalaridan mumkin qadar uzoqroq qilish rejalashtiriladi.

Rezonans hodisasining ayanchli oqibati sifatida 1940 yil Vashington shtatidagi Takoma osma ko‘prigi buzulishini yaqqol misol qilib keltirish mumkin. Bunda shamolning turbulentlik chastotasi ko‘prikning xususiy tebranish chastotasiga

SINOV UCHUN BERILGAN

yaqin kelganda ko‘prikning kuchli chayqalishi sodir bo‘ladi. Ntijada ko‘prikda darz ketishlar paydo bo‘ladi va ko‘prik qulab tushadi (37.9-rasm).


a)


b)

37.9-rasm

Rezonans hodisasining foydali tomonlari ham bor. Bu hodisadan foydalanib kichik majburlovchi kuch vositasida ham katta amplitudali tebranishlar olish mumkin. Tovush to‘lqinlarida ro‘y beradigan rezonans tufayli zaif tovushlarni, radiotexnikada esa zaif elektr tebranishlarini kuchaytirish mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *O‘zaro kogerent va chastotalari teng bo‘lgan tebranishlar qanday qo‘shiladi?*
2. *O‘zaro tik va har xil amplitudali tebranishlar qanday qo‘shiladi? Bunda trayektoriya qanday shaklda bo‘ladi?*
3. *O‘zaro tik va bir xil amplitudali tebranishlar qanday qo‘shiladi? Bunda trayektoriya qanday shaklda bo‘ladi?*
4. *So‘nuvchi tebranishlar qanday hosil bo‘ladi? Uning grafigini tasvirlang.*
5. *Majburiy tebranishlar qanday hosil bo‘ladi? Uning grafigini tasvirlang.*
6. *Rezonans nima? Uning foydali va zararli jihatlarini aytib bering.*

Masala yechish:

1. Nuqta ikkita tebranishda ishtirok etadi. Bu tebranishlar $x_1 = 12\cos(3\pi t + \pi/6)\,[cm]$ va $x_2 = 5\cos(3\pi t + \pi/2)\,[cm]$ qonuniyatlarga bo'ysunadi. Ikki tebranishni qo‘shilishidan hosil bo‘lgan tebranishning amplitudasini, boshlang‘ich fazasini hamda harakat tenglamasini yozing.

Berilgan:

$x_1 = 12\cos\left(3\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$

$x_2 = 5\cos\left(3\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$

$A = ?, \varphi_0 = ?$

$x = x(t) - ?$

Yechilishi:

Natijaviy tebranishning amplitudasini aniqlaymiz.

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})} = \sqrt{12^2 + 5^2 + 2\cdot 12\cdot 5\cdot\cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6}\right)} =$$

$$= \sqrt{144 + 25 + 60} \approx 15{,}13 \;\; cm$$

Natijaviy tebranishning boshlang‘ich fazasi esa burchak tangensidan foydalanib aniqlanadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$tg\varphi_0 = \frac{A_1\sin\varphi_{01} + A_2\sin\varphi_{02}}{A_1\cos\varphi_{01} + A_2\cos\varphi_{02}} = \frac{12\sin\frac{\pi}{6} + 5\sin\frac{\pi}{2}}{12\cos\frac{\pi}{6} + 5\cos\frac{\pi}{2}} = \frac{12\cdot\frac{1}{2} + 5\cdot 1}{12\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + 5\cdot 0} = \frac{11}{6\sqrt{3}} = 1{,}058.$$

$$\varphi_0 = arctg(1{,}058) = 46{,}63^0 = 0{,}814\ rad$$

Natijaviy tebranish tenglamasini yozamiz.

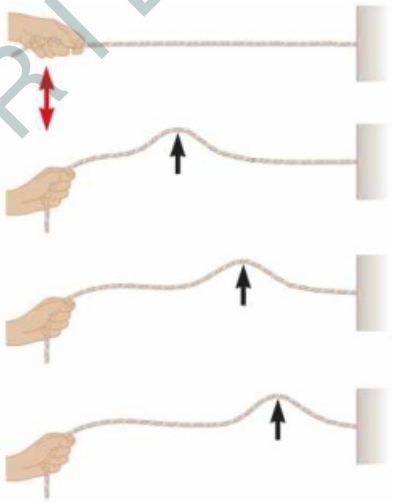
$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0) = 15{,}13\cos(3\pi t + 0{,}814) \quad [cm]$$

Javob: $A = 15{,}13\ cm;\ \ \varphi_0 = 0{,}814\ rad;\ \ x = 15{,}13\cos(3\pi t + 0{,}814)\ \ cm$

§ 38. MEXANIK TO‘LQINLAR HAQIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR

Mexanik to‘lqin nima?

To‘lqin deganda darhol ko‘z o‘ngimizga suv yuzida tarqalayotgan to‘lqin keladi. Chunki, bolaligimizdan hovuzga sho‘ng‘igan odamni ko‘rganimizda sho‘ng‘ish joyi atrofida aylanalar shaklida to‘lqinlar paydo bo‘lishini ko‘p marta guvohi bo‘lganmiz.



38.1-rasm

Umuman olganda ***mexanik to‘lqin*** deb, mexanik tebranishlarning vaqt o‘tishi bilan elastik muhitda tarqalish jarayoniga aytiladi. Shuni alohida ta’kidlash lozimki, bunda muhit molekulalari ko‘chmaydi, balki o‘z muvozonati atrofida tebranadi. To‘lqinlarning turlari xilma-xil bo‘lib, elastik muhitda tarqaluvchi to‘lqinlar ***mexanik to‘lqin***lardir.

Mexanik to‘lqin hosil qilishning eng oddiy usulini qarab chiqaylik (38.1-rasm). Bir uchi devorga mahkamlangan shnur yoki arqonning ikkinchi uchidan ushlab tepaga va pastga silkitish orqali g‘alayanlonish impulsi hosil qilinsa, bu impuls vaqt o‘tishi bilan o‘ng tomonga harakatlanib to‘lqinning tarqalishini hosil qiladi. Vaholanki, bu yerda arqon yoki shnurning zarralari to‘lqin bo‘ylab ko‘chayotgani yo‘q, balki o‘z muvozonat vaziyati atrofida tebranmoqda. Bunda barcha zarralar bir xil faza bilan sinxron ravishda tebranmasdan, balki bir nuqtadan boshqa nuqtalarga ketma-ket ravishda uzatiladi. Muhir zarralarining mana shu sinxron bo‘lmagan tebranishlari mexanik to‘lqinni yuzaga keltiradi.

Bo‘ylama va ko‘ndalang to‘lqinlar:

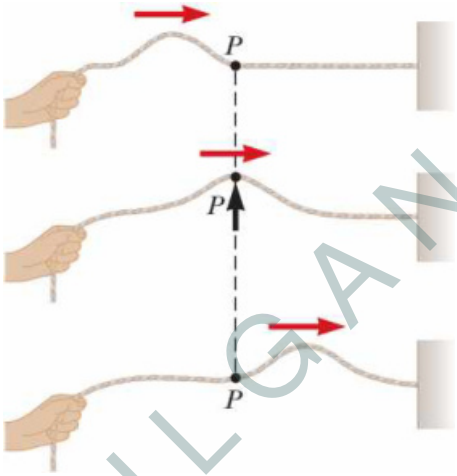
To‘lqinlar tebranishi va tarqalishi yo‘nalishlarining o‘zaro munosobatiga qarab ikki turga bo‘linadi: bo‘ylama va ko‘ndalang to‘lqinlar.

Agar muhit zarrachalarining tebranish yo‘nalishi to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lsa, bunday to‘lqin ***ko‘ndalang to‘lqin*** deyiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

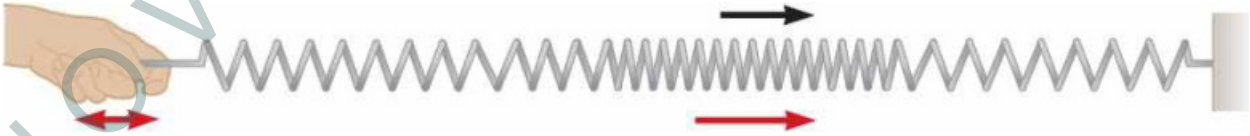
Agar muhit zarrachalarining tebranish yo‘nalishi to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga parallel bo‘lsa, bunday to‘lqin ***bo‘ylama to‘lqin*** deyiladi.

Ko‘ndalang to‘lqinlarning hosil bo‘lishini elastik shnur yordamida kuzatish mumkin (*38.2-rasm)*. Elastik shnur yoki arqonning bir uchini devorga mahkamlab, ikkinchi uchini davriy ravishda tebratib tursak, shnur yoki arqon bo‘ylab ko‘ndalang to‘lqinning tarqalishini ko‘ramiz. Bunda garchi to‘lqin o‘ng tomonga tarqalayotgan bo‘lsa-da, muhit zarrachalari, xususan tanlangan P nuqta vertikal holda o‘z muvozonati atrofida tebranma harakat qiladi, xolos. Lekin, muhit zarrachalari to‘lqin bo‘ylab ko‘chayotgani yo‘q. Muhit zarrachalari tebranishi yo‘nalishi to‘lqin tarqalishi yo‘nalishiga ko‘ndalang bo‘lgani uchun ham, bunday to‘lqinlarni ***ko‘ndalang to‘lqin*** deb ataymiz. Bundan tashqari, suv yuzida tarqaladigan to‘lqinlar ham ko‘ndalang to‘lqinlardir.



38.2-rasm

Bo‘ylama to‘lqinlarning hosil bo‘lishini yumshoq (bikrligi katta bo‘lmagan) prujina yordamida kuzatish mumkin *(38.3-rasm)*. Prujinaga uning o‘qi bo‘ylab zarb berilganda, o‘ramlarda zich qatlam hosil bo‘lib, bu qatlam prujina o‘qi bo‘ylab yugurib ketganini ko‘ramiz. Ketma-ket zarb berilganda esa, zich va siyrak qatlamlarning ketma-ketligida prujina o‘qi bo‘ylab to‘lqin tarqalganini ko‘ramiz. Bunda garchi to‘lqin o‘ng tomonga tarqalayotgan bo‘lsa-da, muhit zarrachalari gorizontal holda o‘z muvozonati atrofida tebranma harakat qiladi, xolos. Lekin, muhit zarrachalari to‘lqin bo‘ylab ko‘chayotgani yo‘q. Muhit zarrachalari tebranishi yo‘nalishi to‘lqin tarqalishi yo‘nalishi bo‘yicha bo‘lgani uchun ham, bunday to‘lqinlarni ***bo‘ylama to‘lqin*** deb ataymiz. Bundan tashqari, barcha turdagi tovush to‘lqinlari ham bo‘ylama to‘lqinlardir.


38.3-rasm

Zilzila sodir bo‘lganda ikkala turdagi to‘lqin ham, ya’ni bo‘ylama va ko‘ndalang to‘lqinlar kuzatilar ekan. Bunda Yer sirtidan ichkaridagi biror nuqtadan tashqariga uch o‘lchamli ikkala turdagi to‘lqin ham sferik tarzda bir vaqtda tarqalishni boshlaydi. Bu ikkalasdan bo‘ylama to‘lqinning tarqalishi tezroq bo‘lib, uning tezligi Yerning sirtqi qatlamida *7–8 km/soat* oralig‘ida bo‘ladi. Natijada seysmograf (zilzilani qayd qilishda foydalaniladigan qurilma) da dastlab bo‘ylama to‘lqin qayd etiladi va shuning uchun ham bu to‘lqinni ***birlamchi to‘lqin*** deb ataladi. Sekinroq tarqaluvchi ko‘ndalang to‘lqinni ***ikkilamchi to‘lqin*** deb ataladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Ikkilamchi to‘lqin Yer qobig‘ining yuza qatlamlarida *4–5 km/soat* tezlikda tarqaladi va seysmografda kechroq qayd etiladi. Kechikish vaqtiga qarab zilzila markazigacha bo‘lgan masofa aniqlanadi. Bir necha seysmologik stansiyalarda olingan qaydlar hamda ularga o‘tkazilgan sferik sirtlar asosida zilzila o‘chog‘i – episentr aniqlanadi.

To‘lqin sirti, to‘lqin fronti, to‘lqin amplitudasi, to‘lqin chastotasi va uzunligi:

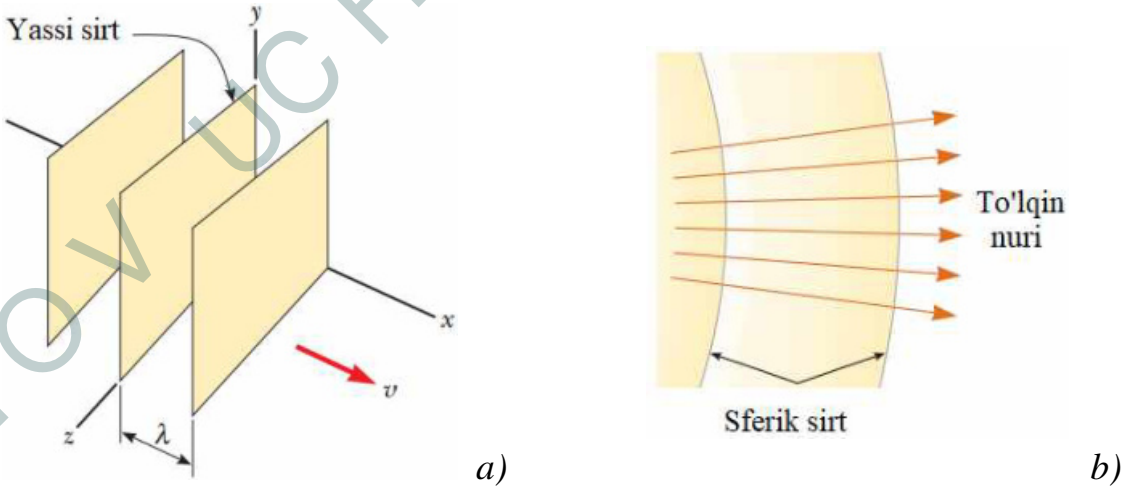
To‘lqinlarning shakli to‘lqin sirti, to‘lqin fronti bilan xarakterlanadi.

To‘lqin sirti deb, bir xil fazada tebranyotgan nuqtalarning geometrik o‘rniga aytiladi.

To‘lqin manbalarining shakliga qarab to‘lqin sirtlari ham har xil ko‘rinishga ega bo‘ladi. Masalan, yassi to‘lqinda to‘lqin sirtlar tekisliklardan iborat bo‘ladi *(38.4-a,rasm)*.

To‘lqin sirtiga normal yo‘nalishda o‘tkazilgan chiziqlarga ***to‘lqin nuri*** deyiladi. Nurning yo‘nalishi to‘lqinning tarqalish yo‘nalishi bilan mos tushadi. To‘lqin manbaining energiyasi nur bo‘ylab tarqaladi. Yassi to‘lqinda nurlar parallel yo‘nalgan chiziqlardan iborat bo‘ladi *(38.4-a,rasm)*.

Yassi to‘lqinlarning tarqalishida to‘lqin sirtining o‘lchami manbadan uzoqlashgan sari o‘zgarmaganligi sababli yassi to‘lqinning energiyasi fazoda sochilmaydi, ya’ni yassi to‘lqin energiyasining sirt zichligi o‘zgarmaydi (ishqalanish bo‘lmaganda). Lekin tebranish amplitudasi ishqalanish va qarshilik kuchlarining ta’siri tufayli kamayib boradi.



a) *b)*

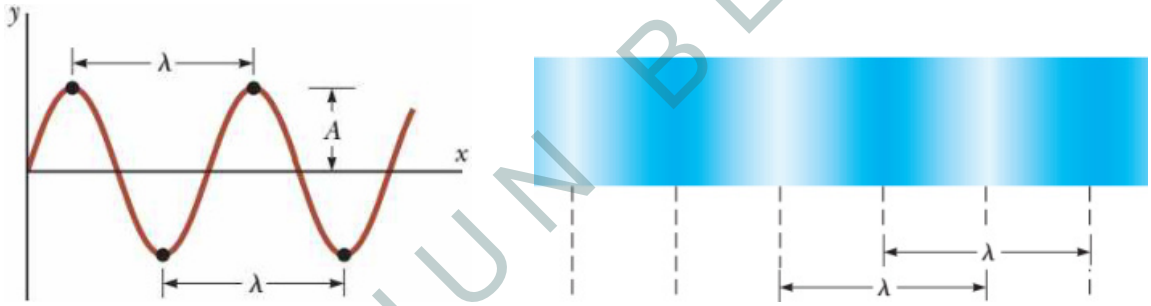
38.4-rasm

Agar to‘lqin sirti sferadan iborat bo‘lsa, bunday to‘lqinga ***sferik to‘lqin*** deyiladi *(38.4-b,rasm)*. Bunday to‘lqin muhit ichiga joylashgan pulsatsiyalanuvchi sferadan iborat manbadan hosil bo‘ladi. Bu holda to‘lqin sirtlar konsentrik sferalardan iborat bo‘lib, nurlar esa sfera radiuslarining davomi bo‘ylab yo‘nalgan bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Sferik to‘lqinlar to‘lqinlar tarqalishida muhit zarrachalarining tebranish amplitudalari ishqalanish va qarshilik kuchlarining ta’siri tufayli kamayib boradi. Sferik to‘lqin manba energiyasi sfera sirti bo‘ylab tekis taqsimlanadi, sferaning sirti esa to‘lqin tarqalib borgan sari keskin kattalashib boradi. Binobarin, sferik to‘lqin manbadan uzoqlashgan sari to‘lqin energiyasining sirt zichligi keskin kamayib boradi.

To‘lqinning eng oldingi, ya’ni to‘lqin manbaidan eng uzoqda joylashgan sirti ***to‘lqin fronti*** deyiladi. Boshqacha aytganda to‘lqin g‘alayoni yetib kelgan va endigina muhit zarachalar tebranishi boshlanayotgan sirt ***to‘lqin fronti*** deyiladi. Demak, to‘lqin fronti to‘lqin egallagan va to‘lqin mavjud bo‘lmagan muhit qismini ajratib turuvchi sirtdan iborat ekan. Barcha yo‘nalishlar bo‘yicha bir xil xususiyatlarga ega bo‘lgan muhitda, ya’ni izotrop muhitda to‘lqinning fronti o‘zgarmas tezlik bilan siljiydi. Shuning uchun, to‘lqin tarqalayotganda har bir muhit zarrachalarining tebranish davri T va chastotasi ν to‘lqin manbaining tebranish davri va chastotasiga teng bo‘ladi (38.5- rasm).



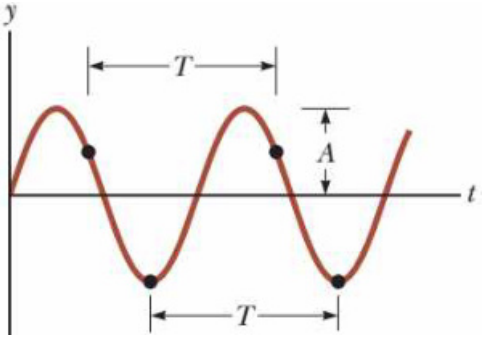
a) *b)*

38.5-rasm

Muhitning xususiyatiga va tebranish chastotasiga bog‘liq ravishda to‘lqin sirtining, ya’ni to‘lqin fazasining bir davr ichidagi siljishini xarakterlovchi kattalikka ***to‘lqin uzunligi*** deb ataladi (38.5-a,rasm). Takroriy davrlar vaqtiga mos kelgan to‘lqin nuridagi nuqtalar bir xil fazalarda tebranadi, binobarin, to‘lqin uzunligini umumiy ko‘rinishda quyidagicha ta’riflash mumkin:

To‘lqin uzunligi deb, bitta nurda yotgan va bir xil fazada tebranayotgan qo‘shni nuqtalar orasidagi masofaga aytiladi.

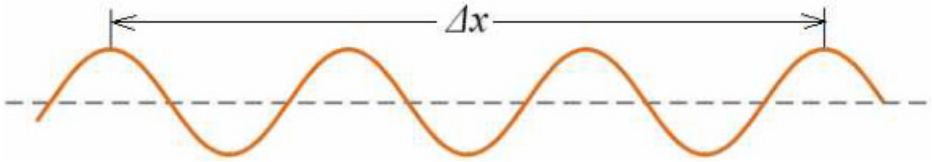
Ko‘ndalang to‘lqinda to‘lqinning uzunligi λ ikki qo‘shni do‘nglik yoki ikki qo‘shni chuqurlik orasidagi masofaga teng bo‘ladi (38.5-a,rasm). Bo‘ylama to‘lqinda esa to‘lqin uzunligi ikki qo‘shni zich qatlam yoki ikki qo‘shni siyrak qatlam markazlari orasidagi masofaga teng bo‘ladi (38.5-b,rasm). Bitta to‘lqin uzunligini bosib o‘tishga ketgan vaqtga to‘lqin davri deyiladi va T bilan belgilanadi (38.6-rasm).



38.6-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Tebranayotgan muhit zarralarining muvozonat vaziyatidan eng chetki og‘ish masofasiga ***to‘lqin amplitudasi*** deyiladi (38.5-a,rasm, 38.6-rasm). Shnur yoki ip bo‘ylab tarqalayotgan yoki suv yuzidagi tarqalayotgan ko‘ndalang to‘lqinlarda do‘nglik va chuqurlik orasidagi masofaning yarmini to‘lqin amplitudasi deyish mumkin.



38.7-rasm

Ma’lumki, to‘lqin tarqalayotganda to‘lqin nuri bo‘ylab joylashgan elastik muhit zarrachalari turli xil fazalarda tebranadi. G‘alayonlanish bir nuqtadan yonidagi nuqtaga biror vaqtda uzatilgani bois ularning fazalari orasida farq paydo bo‘ladi. To‘lqinning ixtiyoriy ikki nuqtasining tebranishi orasidagi faza farqi $\Delta\varphi$ bu nuqtalar orasidagi masofa Δx ga to‘g‘ri proporsionaldir. Bir-biridan Δx masofada tarqalayotgan ikkita nuqtalarning tebranish fazalari farqi quyidagi formuladan aniqlanadi (38.7-rasm):

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta x}{\lambda}$$

To‘lqin tenglamasi. To‘lqinlarning tarqalish tezligi:

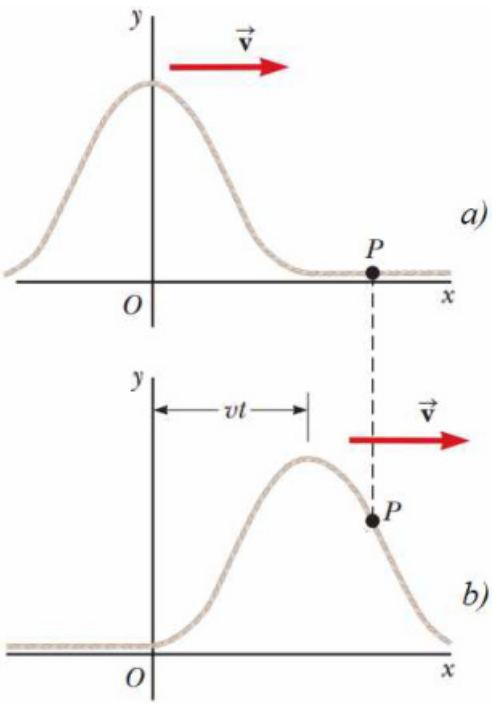
Faraz qilaylik, shnur yoki tordagi g‘alayonlanish impulsi 38.8-rasmdagi kabi o‘ng tomonga harakatlanayotgan bo‘lsin. 38.8-a,rasmda impulsning $t=0$ vaqt onidagi shakli va holati tasvirlangan. Bu vaqtda impulsning shakli biror $y(x,0)=f(x)$ matematik funksiya bilan aniqlanadi. Bu funksiya $t=0$ vaqt onidagi x ning ixtiyoriy qiymatidagi shnur yoki tor elementining ko‘ndalang y siljishini ifodalaydi. G‘alayonlanish impulsining ϑ tezligi hisobiga t vaqtdan keyin impuls o‘ng tomonga $\Delta x = \vartheta t$ masofaga siljiydi (38.8-b,rasm). Vaqt o‘tishi bilan impulsning shakli o‘zgarmaydi deb hisoblaymiz. Shuning uchun $t=0$ hamda t vaqt onlaridagi impuls shakllari aynan bir xil, faqat $\Delta x = \vartheta t$ masofaga siljigan bo‘ladi. Binobarin, t vaqt onidagi x koordinatadagi y siljish $t=0$ vaqt onidagi x-ϑt koordinatadagi y siljish bilan aynan bir xildir.

$$y(x,t)=y(x-\vartheta t,0)$$

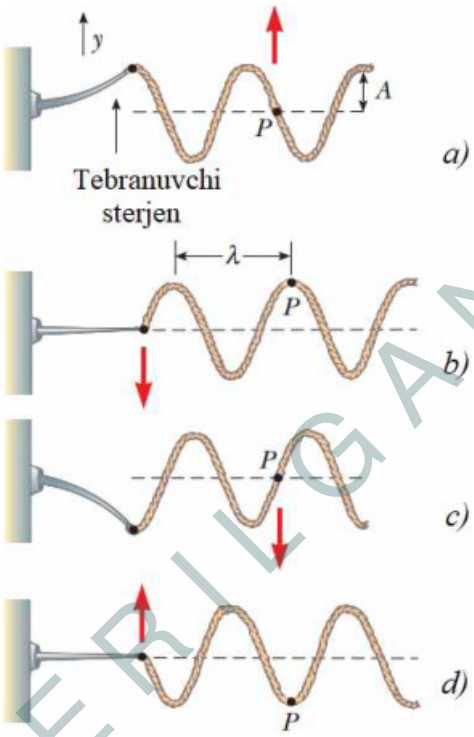
Umuman olganda, koordinata boshiga nisbatan ixtiyoriy x koordinata va ixtiyoriy t vaqt oni uchun ko‘ndalang y siljishni quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$y(x,t)=f(x-\vartheta t) \qquad \textbf{(38.1)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN



38.8-rasm



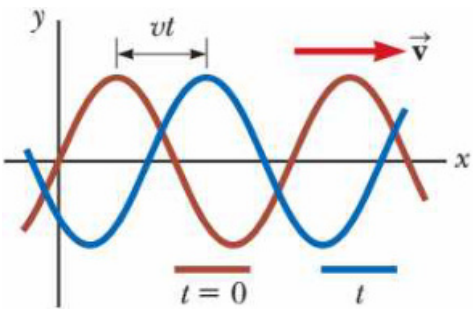
38.9-rasm

Agar 38.8-rasmdagi g‘alayonlanish impulsi o‘ng tomonga harakatlanayotgan bo‘lsa, u holda yuqoridagi ifoda quyidagi ko‘rinishga o‘tadi:

$$y(x,t) = f(x + \vartheta t) \qquad (38.2)$$

Yuqorida topilgan ikkita tenglama ***to‘lqin tenglamasi*** deyiladi. Bu tenglamada ko‘ndalang y siljish ikkita erkli o‘zgaruvchiga, ya’ni x va t o‘zgaruvchilarga bog‘liq.

Biz tabiatda eng ko‘p duch keladigan to‘lqin – bu sinusoidal (garmonik) to‘lqindir. Bu to‘lqinning shakli $y=sinx$ yoki $y=cosx$ funksiya grafigiga o‘xshashdir. Sinusoidal to‘lqinni hosil qilishning oddiy usuli 38.9-rasmda berilgan. Bunda bir uchi devorga mahkamlangan sterjenning ikkinchi uchiga uzun arqon yoki shnurning bitta uchi bog‘langan. Sterjenning arqon yoki shnur bog‘langan uchini muvozonat holatidan chiqarib qo‘yib yuborilganda elastiklik kuchi ta’sirida garmonik tebranma harakat yuzaga keladi. Bu tebranma harakat esa arqon yoki shnur orqali biror tezlik bilan o‘ng tomonga tarqalishni boshlaydi (38.9-rasm). Natijada sinusoidal mexanik to‘lqin yuzaga keladi. Lekin, arqon yoki shnurning ixtiyoriy nuqtasi, aytaylik rasmdagi tanlangan P nuqta xuddi sterjen uchi kabi garmonik tebranadi. Mana shu sinusoidal mexanik to‘lqin tenglamasi va boshqa kattaliklarni keltirib chiqaraylik.



38.10-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

38.10-rasmda sinusoidal to‘lqinning $t=0$ hamda ixtiyoriy t vaqt onidagi suratlari keltirilgan. To‘lqinning $t=0$ vaqt onidagi funksiyasi $y(x,0)=A\sin kx$ ko‘rinishida bo‘lsin. U holda matematikadan ma’lum bo‘lgan sinusning nollari πn lar ekanini bilgan holda $y(x,0)=A\sin kx$ funksiya ham $x=0$ hamda $x=\lambda/2$ bo‘lganda nolga aylanishidan foydalanib, k konstantaning qiymatini aniqlaymiz.

$$y(0,0)=A\sin(k\cdot 0)=0,\quad k\neq 0$$

$$y\left(\frac{\lambda}{2},0\right)=A\sin\left(k\cdot\frac{\lambda}{2}\right)=0,\ \rightarrow\ k\cdot\frac{\lambda}{2}=\pi,\ \rightarrow\ k=\frac{2\pi}{\lambda}$$

Bu yerda topilgan k qiymatni siklik to‘lqin soni yoki doiraviy to‘lqin soni deyiladi.

$$k=\frac{2\pi}{\lambda} \qquad (38.3)$$

Siklik to‘lqin soni – bu 2π metr uzunlikda nechta to‘lqin joylashishini bildiradigan kattalikdir.

Demak, 38.10-rasmdagi sinusoidal to‘lqinning $t=0$ vaqt onidagi to‘lqin funksiyasi

$$y(x,0)=A\sin kx=A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

ko‘rinishida bo‘ladi. Lekin, bizni ixtiyoriy t vaqt onidagi to‘lqin funksiyasi qiziqtirai. Ixtiyoriy t vaqt onidagi to‘lqin $t=0$ vaqt onidagi to‘lqinga nisbatan $\Delta x=\vartheta t$ masofaga o‘ng tomonga siljigan bo‘ladi. Shuning uchun ixtiyoriy t vaqt onidagi to‘lqin tenglamasini

$$y(x,t)=A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x-\vartheta t)\right) \qquad (38.4)$$

ko‘rinishida yozish mumkin. Bu yerda tezlik

$$\vartheta=\frac{\Delta x}{t}=\frac{\lambda}{T}$$

ekanini e’tiborga olinsa, to‘lqin tenglamasini

$$y(x,t)=A\sin\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{t}{T}\right)\right) \qquad (38.5)$$

ko‘rinishida yozish mumkin. Agar siklik chastota

$$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi\nu$$

ekanini e’tiborga olinsa, to‘lqin tenglamasini

$$y(x,t)=A\sin(kx-\omega t) \qquad (38.6)$$

ko‘rinishida ham yozish mumkin.

SINOV UCHUN BERILGAN

Izotrop muhitda to‘lqinning tarqalish tezligi o‘zgarmas bo‘lib, faqat muhit xususiyati va holatiga bog‘liqdir. Shuning uchun, to‘lqinning tarqalish masofasi s, to‘g‘ri chiziqli tekis harakatda yo‘l formulasidan aniqlanadi.

$$s = \vartheta t$$

Bunda, ϑ – to‘lqinning tarqalish tezligi, t – to‘lqinning tarqalish vaqti.

Agar yuqoridagi formulada to‘lqinning tarqalish vaqti t uning davri T ga teng bo‘lsa, tarqalish masofasi s esa to‘lqin uzunligi λ ga teng bo‘lib qoladi.

$$\lambda = \vartheta T$$

$T = \frac{1}{\nu}$ ekanligini hisobga olsak, to‘lqinning tarqalish tezligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\boxed{\vartheta = \lambda \nu} \qquad \textbf{(38.7)}$$

Shnday qilib, to‘lqinning tarqalish tezligi to‘lqin uzunligi va chastotaning ko‘paytmasiga teng bo‘lar ekan. To‘lqinning elastik muhitda tarqalish tezligini siklik chastota va siklik to‘lqin soni orqali

$$\boxed{\vartheta = \frac{\omega}{k}} \qquad \textbf{(38.8)}$$

ko‘rinishida ham yozish mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Mexanik to‘lqin deb nimaga aytiladi? To‘lqin fronti nima?*
2. *Yassi to‘lqin va sferik to‘lqin tushunchalariga ta’rif keltiring.*
3. *Ko‘ndalang to‘lqin va bo‘ylama to‘lqin tushunchalariga ta’rif keltiring?*
4. *Ko‘ndalang to‘lqin va bo‘ylama to‘lqinlarga misollar keltiring va ularni tushuntiring.*
4. *To‘lqin tezligi formulasini yozing.*
5. *To‘lqinning ixtiyoriy ikki nuqtasining tebranishlari orasidagi fazalar farqi qanday hisoblanadi?*

Masala yechish:

1. *Elastik muhitda tarqalayotgan to‘lqin, muhit zarralari 35 marta tebranguncha, 70m masofani o‘tsa, to‘lqin uzunligi necha metr?*

A) 0,5 B) 1 C) 2 D) 20 E) 35

Berilgan:

$s = 70\ m$

$N = 35$

$\lambda = ?$

Yechilishi:

To‘lqin uzunligini toppish uchun to‘lqin bosib o‘tgan yo‘lni tebranishlar soniga bo‘lish kerak

$$\lambda = \frac{s}{N} = \frac{70}{35} = 2\ m$$

Javob: *C)*

SINOV UCHUN BERILGAN

2. *Suv yuzida tarqalayotgan to'lqin tufayli po'kak 5 s da 10 marta tebrandi. Agar to'lqinning ikkita qo'shni do'ngligi orasidagi masofa 1 m bo'lsa, uning tarqalish tezligi qanday? Agar muhit zarrachalari 12 sm amplituda bilan tebranayotgan bo'lsa, u holda bu to'lqin uchun yassi to'lqin tenglamasi qanday?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$t = 5\ s$ $N = 10$ $\lambda = 1\ m$	*To'lqin tezligi quyidagicha topiladi:* $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{N\lambda}{t} = \frac{10 \cdot 1}{5} = 2\ m/s$ *Bu yerda* $T = \frac{t}{N}$ *formuladan foydalandik.*
$v = ?$	*Endi to'lqin tenglamasini tuzamiz.* $y(x,t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - \vartheta t)\right) = 0{,}15m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{1m}\left(x - 2\frac{m}{s} \cdot t\right)\right)$ $= 0{,}15\sin(2\pi x - 4\pi t)\ [\text{m}]$

Javob: $\vartheta = 2\frac{m}{s};\ \ y(x,t) = 0{,}15\sin(2\pi x - 4\pi t)\ [\text{m}];$

3. *G'alayonlanish pulsi Ox o'qi bo'ylab o'ng tomonga quyidagi harakat tenglamasi bo'yicha harakatlanmoqda:*

$$y(x,t) = \frac{2}{(x-3t)^2 + 1}$$

Bu yerda y va x koordinatalar santimetrlarda, t vaqt esa sekundlarda o'lchanadi. Vaqtning t=0 s, t=1 s va t=2 s onlari uchun to'lqin funksiyasini tuzing hamda ularning grafiklarini tasvirlang.

Yechilishi:

Vaqtning t=0 s oni uchun to'qin funksiyasi

$$y(x,0) = \frac{2}{(x - 3 \cdot 0)^2 + 1} = \frac{2}{x^2 + 1}$$

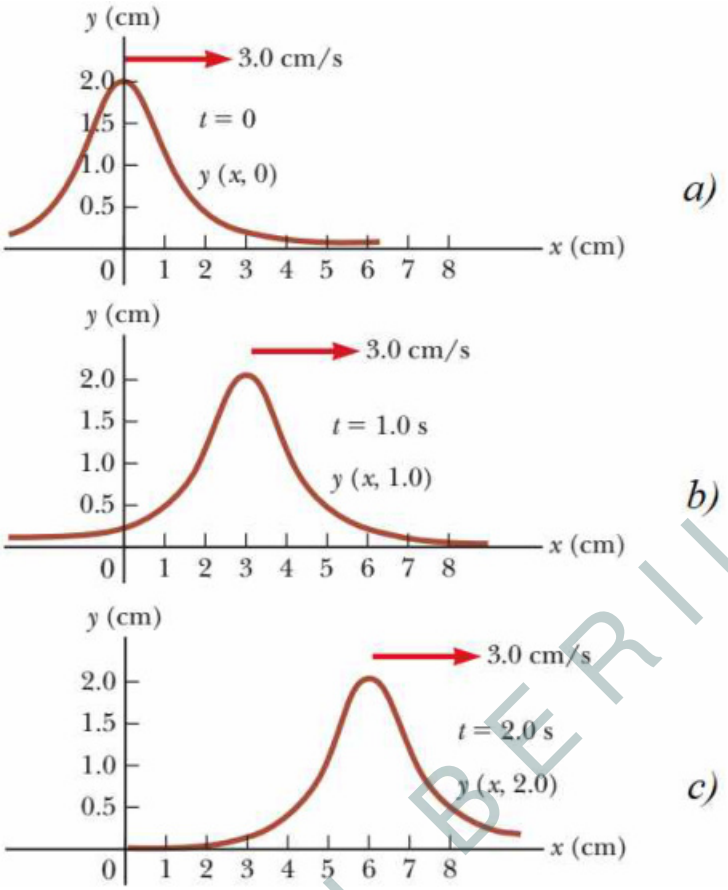
ko'rinishga ega. Bu funksiyaning grafigi x=0 to'g'ri chiziqqa (ya'ni Oy o'qqa) nisbatan simmetrik hamda x=0 nuqtada y=2 ga teng maksimal qiymat qabul qiladi. Shunga asosan t=0 s vaqt oni uchun pulsning ko'rinishi a-rasmdagi kabi bo'ladi.

Vaqtning t=1 s oni uchun to'qin funksiyasi

$$y(x,1) = \frac{2}{(x - 3 \cdot 1)^2 + 1} = \frac{2}{(x-3)^2 + 1}$$

ko'rinishga ega. Bu funksiyaningg grafigi x=3 to'g'ri chiziqqa nisbatan simmetrik hamda x=3 nuqtada y=2 ga teng maksimal qiymat qabul qiladi. Shunga asosan t=1 s vaqt oni uchun pulsning ko'rinishi b-rasmdagi kabi bo'ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN



Vaqtning t=2 s oni uchun to‘qin funksiyasi

$$y(x,2)=\frac{2}{(x-3\cdot 2)^2+1}=\frac{2}{(x-6)^2+1}$$

ko‘rinishga ega. Bu funksiyaningg grafigi x=6 to‘g‘ri chiziqqa nisbatan simmetrik hamda x=6 nuqtada y=2 ga teng maksimal qiymat qabul qiladi. Shunga asosan t=2 s vaqt oni uchun pulsning ko‘rinishi c-rasmdagi kabi bo‘ladi.

Yuqorida tanishib o‘tgan 3 ta to‘lqin funksiyasi hamda ularning grafiklaridan ko‘rish mumkinki, g‘alayonlanish pulsi ϑ=3 cm/s tezlik bilan o‘ng tomonga qarab harakatlanmoqda ekan.

Javob: $y(x,0)=\frac{2}{x^2+1};\ y(x,1)=\frac{2}{(x-3)^2+1};\ y(x,2)=\frac{2}{(x-6)^2+1}$

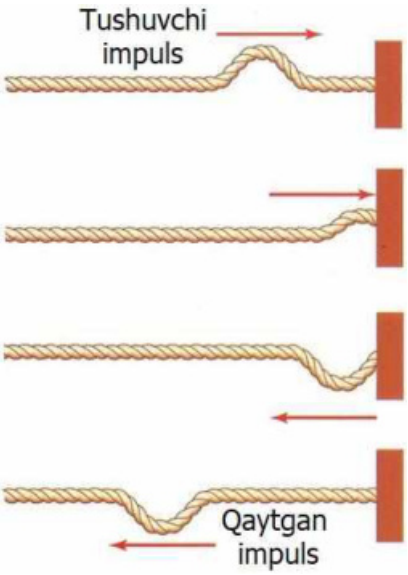
§ 39. MEXANIK TO‘LQINLAR UCHUN QAYTISH, O‘TISH, SINISH, INTERFERENSIYA VA DIFRAKSIYA HODISALARI

Mexanik to‘lqinlarning qaytishi, o‘tishi va sinishi:

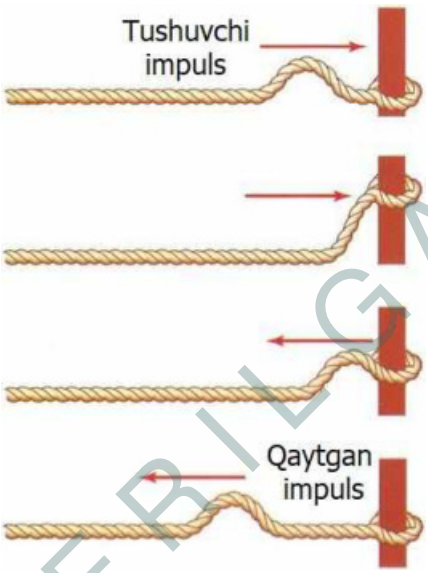
Yuguruvchi to‘lqin modeli tarqalish yo‘nalishida biror o‘zaro ta’sirga uchramaydigan bir jinsli muhitdagi to‘lqinni tasvirlaydi. Elastik muhitda tarqalayotgan to‘lqin qandaydir ta’sirga duch kelsa nima bo‘lishini tekshirib ko‘raylik. Masalan, bir uchi tayanchga qattiq mahkamlangan arqon bo‘ylab tarqalayotgan to‘lqinni olaylik (39.1-rasm). To‘lqin tayanchga yetib borganda

SINOV UCHUN BERILGAN

elastik muhit xossasida keskin o‘zgarish bo‘ladi. Natijada to‘lqin impulsi qaytishi sodir bo‘ladi, ya’ni impuls shu arqonning o‘zi bo‘ylab qarama-qarshi tomonga harakatlanadi (39.1-rasm).

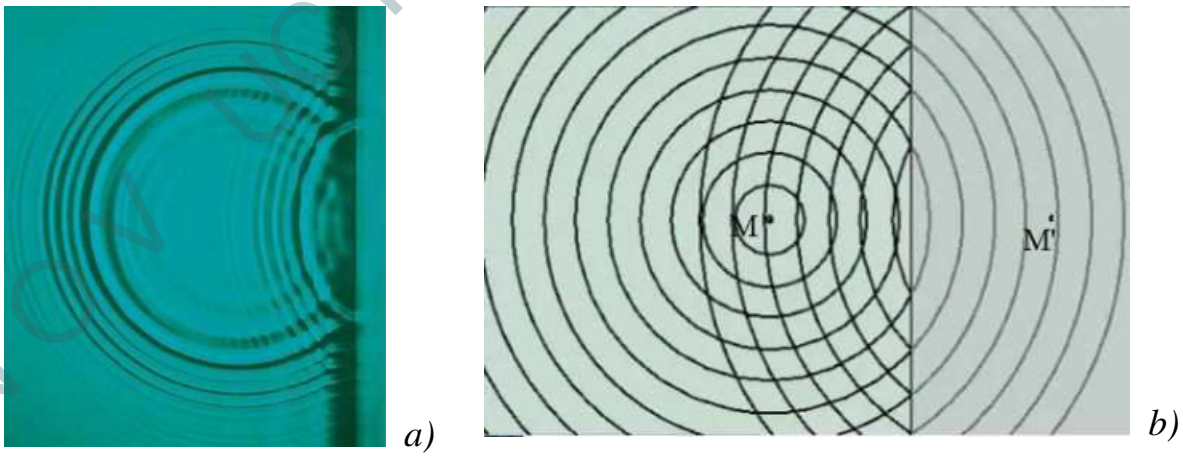


39.1-rasm



39.2-rasm

Shunga alohida e’tibor berish kerakki, qaytgan to‘lqin impulsi ag‘darilgan holatda bo‘ladi (39.1-ras). Buning sababini Nyutonning 3-qonuni asosida tushuntiriladi. Impuls arqonning tayanchga bog‘langan nuqtasiga yetganda arqon tayanchga tepaga yo‘nalgan kuch bilan ta’sir qiladi. Xuddi shuningdek, aks ta’sir qonuniga ko‘ra tayanch ham arqonga qarama-qarshi yo‘nalishda, pastga yo‘nalgan kuch bilan ta’sir qiladi. Mana shu kuch impulsning ag‘darilishiga (akslanishiga) sabab bo‘ladi.



a) *b)*

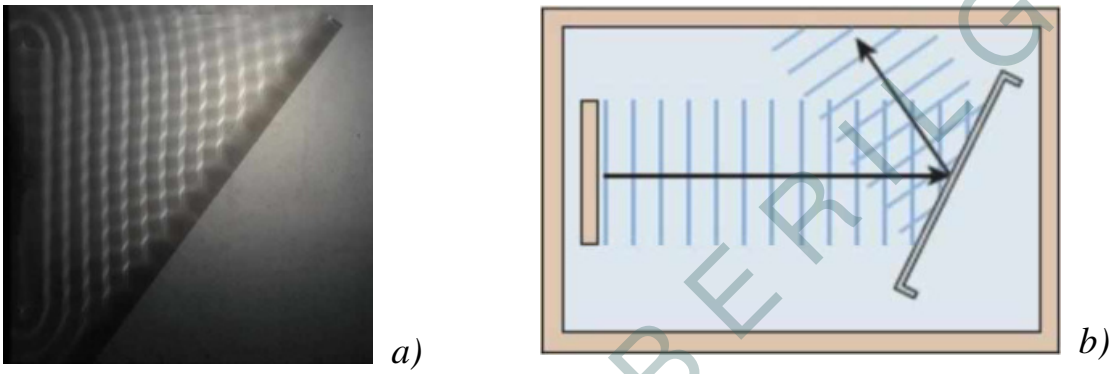
39.3-rasm

Endi 39.2-rasmdagi holatni qarab ko‘raylik. Bunda arqonning tayanchga bog‘langan uchi tayanch bo‘ylab vertikal holda erkin harakatlana oladi. Bunda ham to‘lqin impulsi tayanchga keladi va undan orqaga qaytadi. Lekin, bu safar vaziyat boshqacharoq bo‘ladi. Impuls tayanchga yetganda arqon bog‘lami tayanchga kuch bilan ta’sir eta olmaydi, balki bog‘lamning o‘zi impuls balanligi qadar ko‘tarilib, so‘ng qaytib tushadi. Tayanch tomonidan arqon bog‘lamiga aks ta’sir bo‘lmagani

SINOV UCHUN BERILGAN

tufayli impuls ag‘darilmaydi (akslanmaydi), dastlabki holdagi kabi orqa tomonga qaytadi.

Suv yuzida tarqaluvchi to‘lqinda ham 39.1-rasmdagi kabi bo‘ladi. Chunki elastik muhit –suvda tarqalayotgan to‘lqin qattiq qirg‘oqqa urilganda muhitning elastiklik xossalarida keskin o‘zgarish sodir bo‘lgani boisdan ham qaytish qarama-qarshi fazada ro‘y beradi. 39.3-a,rasmda *M* nuqtadan tarqalgan sferik to‘lqinning qirg‘oqdan qaytishi tasvirlangan. Bunda xuddi yorug‘likning yassi ko‘zgudan qaytishidagi kabi hodisa sodir bo‘ladi. Qaytgan to‘lqin xuddi mavhum *M′* manbadan tarqalayotgnidek bo‘lib qirg‘oqdan orqaga qaytadi (39.3-b,rasm).

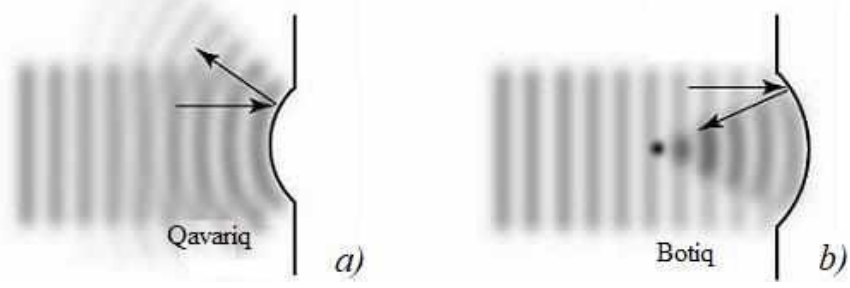


a) *b)*

39.4-rasm

Suv yuzida tarqaluvchi to‘lqinlar ham xuddi yorug‘lik to‘lqinlari kabi qirg‘oqqa qanday burchak ostida tushsa, qirg‘oqdan yana shunday burchak ostida qaytadi. 39.4-a,rasmda suvning qattiq chegaradan qaytishi hodisasining tabiiy holatdagi tasviri berilgan bo‘lsa, 39.4-b,rasmda esa bu hodisaning tajribaviy sxemasi berilgan. Demak, rasmlardan ko‘rinadiki, tushish burchagi qaytish burchagiga teng ekan.

Qatiiq chegara yoki qirg‘oq suv yuzida tarqalayotgan to‘lqinni nafaqat qaytaradi, balki qaytgan to‘lqinning shaklini ham o‘zgartishi mumkin. Masalan, sferik to‘lqinni yassi to‘lqinga yoki aksincha yassi to‘lqinni sferik to‘lqinga o‘zgartish mumkin. Undan tashqari to‘lqinni fokuslash – yig‘ish, yoki yoyish mumkin. 39.5-rasmda shulardan ba’zi namunalar keltirilgan bo‘lib, 39.5-a, rasmda yassi to‘lqinning qavariq chegaradan qaytgandan keyin yoyilib tarqalib ketishi, 39.5-a, rasmda esa botiq chegaradan qaytganda fokuslanib, bitta nuqtaga to‘planishi tasvirlangan.



a) *b)*

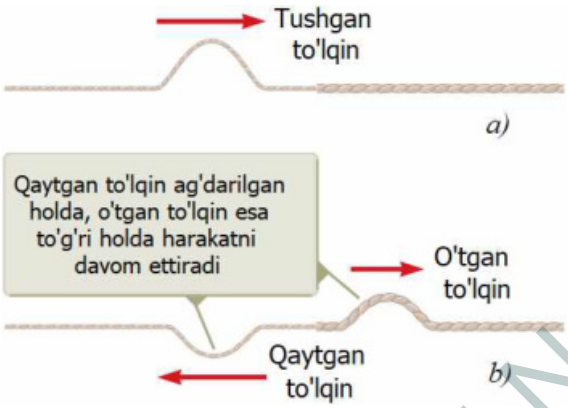
39.5-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

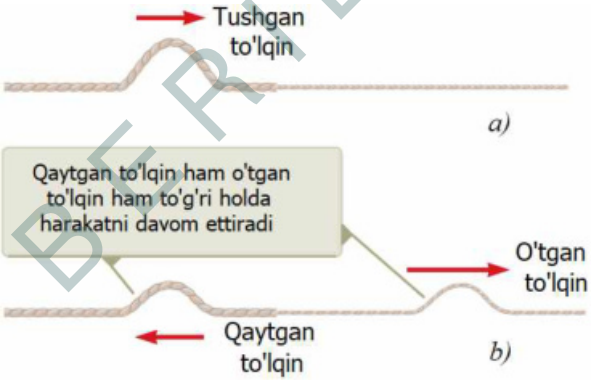
Yuqorida tanishib chiqgan barcha holatlardan shunday xulosa qilish mumkinki, mexanik to‘lqinning yassi yoki sferik qattiq chegaradan qaytishini xuddi yorug‘lik to‘lqinining yassi yoki sferik sirtdan qaytishiga o‘xshatish mumkin ekan. Demak, qaytish hodisasi tabiatdagi barcha to‘lqinlar uchun umumiy tushuncha ekan.

Mexanik to‘lqinlarning boshqa muhitga o‘tishi va o‘tish chegarasidagi sinishi:

Mexank to‘lqinlar bir muhitdan boshqasiga o‘tganda qanday hodisa sodir bo‘lishini qarab ko‘raylik. Bunda oldindan shunday xulosa qilish mumkinki, muhitlarning elastikliklari farq qilgani uchun bu muhitlarda to‘lqinning tarqalish tezligi hamda to‘lqin uzunligi ham o‘zgarish kerak. Buni bir necha tajribalar orqali tekshirib ko‘ramiz.



39.6-rasm



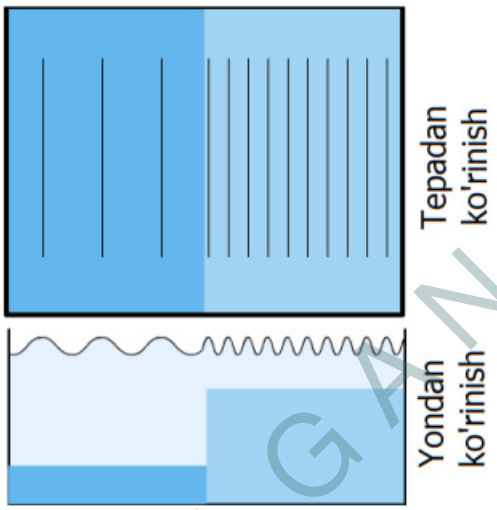
39.7-rasm

Yuguruvchi to‘lqin 39.6-a,rasmdagi kabi ingichka arqondan yo‘g‘on atqonga o‘tayotgan bo‘lsin. To‘lqin impulsi arqonlar tutashgan chegaraga yetib kelganda to‘lqin energiyasining bir qismi ikkinchi arqonga o‘tadi, yana bir qismi esa orqaga qaytadi. O‘tgan to‘lqin to‘g‘ri holatida harakatini davom ettiradi, qaytgan to‘lqin esa ag‘darilgan holatda orqaga qaytadi (39.6-b,rasm). Bunga sabab esa 39.1-rasmda ko‘rganimizdek Nyutonning uchunchi qonunidir. Demak, ingichka arqon yo‘g‘on arqonga yetib kelganda elastikligi kichik bo‘lgan muhitdan elastikligi katta bo‘lgan muhitga o‘tayotgan bo‘lgani uchun yo‘g‘on arqon to‘lqin impulsiga qarama-qarshi yo‘nalgan aks ta’sir ko‘rsatar ekan.

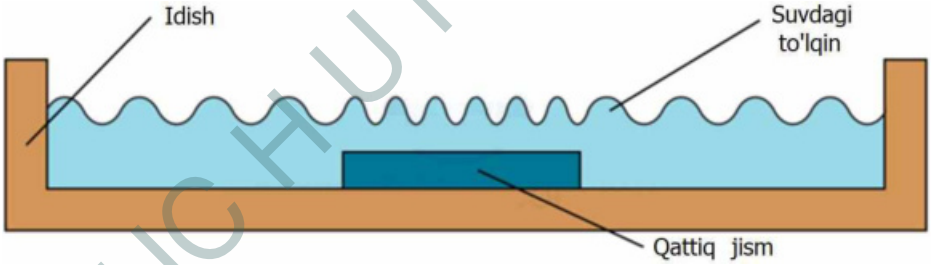
Endi 39.6-rasmga qarama-qarshi holni ko‘raylik, ya’ni yuguruvchi to‘lqin yo‘g‘on arqondan ingichka arqonga o‘tayotgan bo‘lsin (39.7-a,rasm). Bunda ham arqonlar tutashgan chegaraga yetib kelgan to‘lqin energiyasining bir qismi ikkinchi arqonga o‘tadi, yana bir qismi esa orqaga qaytadi. Lekin, bunda qaytgan to‘lqin ag‘darilmasdan to‘g‘riligicha orqaga qaytadi (39.7-b,rasm). Chunki, to‘lqin impulsi chegaraga yetib kelganda elastikligi kichik bo‘lgan ingichka to‘lqin aks ta’sir ko‘rsata olmaydi. Natijada xuddi 39.2-rasmdagi kabi to‘g‘ri holatda orqaga qaytadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi mana shu tanishib chiqgan ikkita holni suv yuzasidagi to‘lqinlari uchun qanday bo‘lishini qarab chiqaylik (39.8-rasm). Suvning tubi chuqur bo‘lgan joylarda muhit elastikligi yaxshi, to‘lqin tarqalishi va tebranib chayqalishi uchun sharoit ham yaxshi deb tushunish mumkin. Shuning uchun chuqur joylarda to‘lqinning tarqalish tezligi ham to‘lqin uzunligi ham kattaroq bo‘ladi deyilsa mantiqqa mos keladi. Suvning tubi sayoz bo‘lgan joylarni esa elastikligi qattiqroq bo‘lgan muhitga qyoslash mumkin. Shuning uchun, sayoz joylarda to‘lqin hosil bo‘lishi, tarqalishi va tebranib chayqalishi uchun go‘yoki qarshilik ko‘rsatilayotgandek bo‘ladi. Natijada, sayoz joylarda to‘lqinning tarqalish tezligi ham to‘lqin uzunligi ham kichikroq bo‘ladi deb aytish mumkin. 39.8-rasmda suv yuzasida tarqalayotgan yassi to‘lqinning chuqur joydan sayoz joyga o‘tishdagi to‘lqin uzunligidagi qisqsrish tasvirlangan. Tebranishlar chastotasi hech qachon o‘zgarmagani uchun sayoz joyga o‘tganda to‘lqinning tarqalish tezligini ham sekinlashadi deb ayta olamiz.

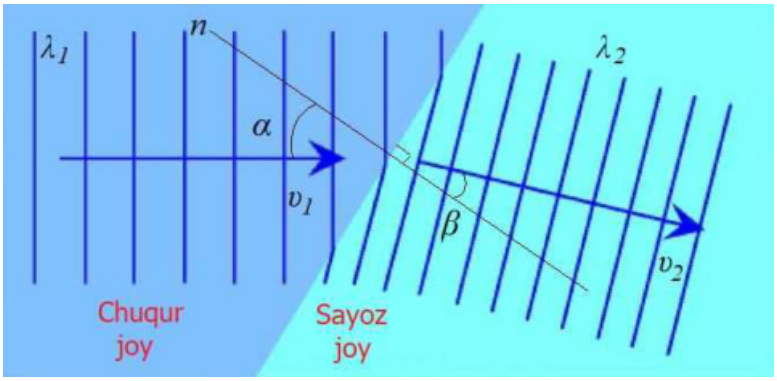


39.8-rasm



39.9-rasm

39.9-rasmda esa sayoz joyda to‘lqin uzunligining qisqarish hodisasini oddiy uy sharoitida bajarsa bo‘ladigan tajriba sxemasi keltirilgan. Bunda idishdagi suvni chayqatish orqali turg‘un to‘lqin hosil qilinadi. Suving idish tubida qattiq jism turgan sohasi sayoz bo‘lgani tufayli bu yerdan to‘lqin uzunligi va tarqalish tezligi qisqarib o‘tadi.



39.10-rasm

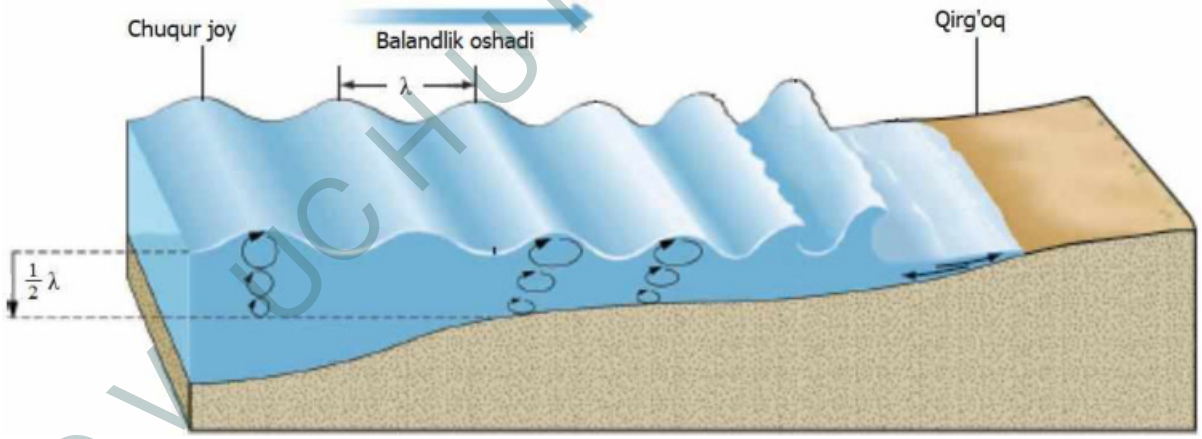
SINOV UCHUN BERILGAN

Biz yuqorida suv yuzidagi to‘lqinning chuqur va sayoz joylarning chegarasiga tik holda tushganda nima hodisa ro‘y berishini tanishib chiqdik. Agar shu to‘lqin chegaraga biror burchak ostida tushsa nima hodisa bo‘ladi degan savol tug‘ilishi tabiiydir. Bu holat 39.10-rasmda tasvirlangan bo‘lib, bunda sayoz muhitga o‘tgan to‘lqinning normal tomonga sinishi tasvirlangan. Bunga sabab esa sayoz sohaga o‘tganda to‘lqin uzunligining qisqarishi hamda tezlikning kichrayishidir. Chuqur sohadan chegaraga yassi to‘lqin α burchak ostida tushsa, sayoz sohaga esa β burchak ostida sinib o‘tadi. Bu sohalarda to‘lqin uzunliklari va to‘lqinning tarqalish tezliklari mos holda 39.10-rasmda tasvirlangan. Tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbatiga sayoz joyning chuqur joyga nisbatan to‘lqin sindirish ko‘rsatkichi deyiladi.

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \qquad \textbf{(39.1)}$$

Buni xuddi o‘rta maktabdan bizga tanish bo‘lgan yorug‘likning sinish qonuniga o‘zshatish mumkin. To‘lqin sindirish ko‘rsatkichini tezliklar va to‘lqin uzunliklar orqali ham ifodalash mumkin.

$$n = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad \textbf{(39.2)}$$

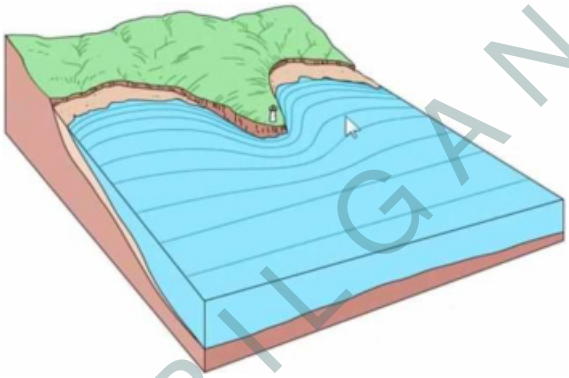


39.11-rasm

Dengiz yoki ko‘l bo‘ylarida to‘lqinlarning qirg‘oqqa urilib, so‘ng yana orqaga qaytishiga ko‘p marta guvoh bo‘lganmiz. Bunda dengiz ichkarisidan qirg‘oqqa tomon yaqinlasha borgan sari sayozlashib boradi, shuningdek to‘lqin tarqalishi, tebranib chayqalishiga bo‘lgan qarshilik ham oshib boradi. 39.8-rasm yoki 39.9-rasmdagi kabi chuqur va sayoz soha orasida keskin chegara bo‘lmasdan, balki qirg‘oqqa yaqinlashilgan sari sayozlashib boradi. Demak, bunda yo‘l-yo‘lakay to‘lqin uzunligi qisqarib borar ekan (39.11-rasm). Bundan tashqari qirg‘oqqa juda yaqin kelganda to‘lqin shakli sinusoidal ko‘rinishdan uchli, o‘rkachli ko‘rinishga o‘tadi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ra ham shunday bo‘lishi kerak.

SINOV UCHUN BERILGAN

Odatda barcha dengiz va ko‘llar sohillari ming yillab tabiiy evolyutsiya tufayli ma’lum shakllani hosil qilgan. Dengiz ichkarisidan qirg‘oqqa yaqinlashilgan sari sayozlashish bir zaylda bo‘lmasdan, ya’ni sohilnng relefi bir tekis qiya bo‘lmasdan pastu-balan, burmali shaklda bo‘lgani uchun ham uzoqdan qirg‘oqqa yaqinlashayotgan yassi to‘lqinning shakli egrilanib, egri shaklini oladi. Boshqacha aytganda, to‘lqinning sinishi bir tekis bo‘lmagani uchun ham 39.12-rasmdagi kabi egrilanishlar paydo bo‘ladi. Boshqacha aytganda, qirg‘oqqa yaqin joylarda to‘lqin sindirish ko‘rsatkichi bir xil, bir jinsli bo‘lmaganligidan ham uzoqdan sohilga yaqinlashayotgan yassi to‘lqni turlicha burchaklarga sinadi. Natijada 39.12-rasmdagi kabi egrilangan to‘lqinlar hosil bo‘ladi.

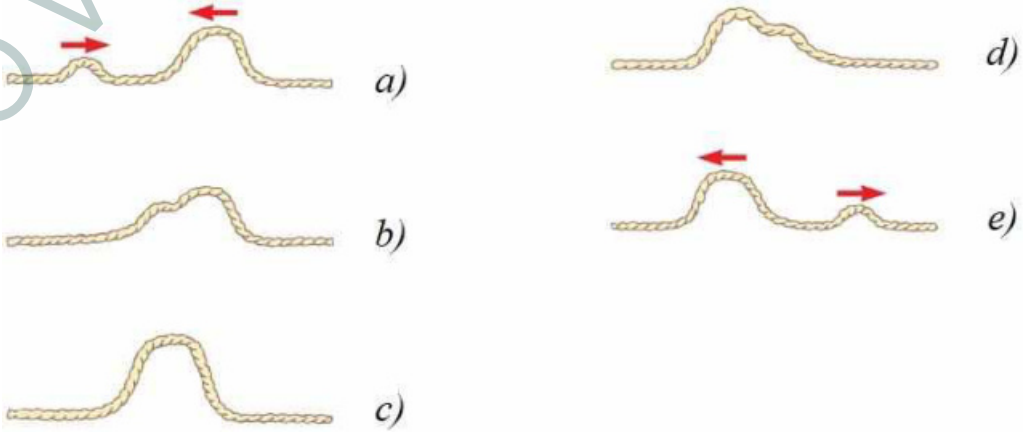


39.12-rasm

Shunday qilib, to‘lqinning sinish hodisasi ham tabiatdagi barcha to‘lqinlar uchun umumiy, universal tushuncha ekan.

Mexanik to‘lqinlar uchun superpozitsiya prinsipi va interferensiya hodisasi:

38 § da mexanik tebranishlarni qo‘shish qoidalari bilan tanishgan edik. Xuddi shu kabi mexanik to‘lqinlar ham qo‘shiladimi? Buni o‘rganish uchun 39.13-rasmdagi tajriba bilan tanishaylik. 39.13-a,rasmda ikki xil balandlikdagi – kichikroq va katta to‘lqin impulslarining bir-biriga tomon harakatlanayotgani tasvirlangan. Bir-biriga qo‘shilish oldida impuls balandligi ko‘tarilib (39.13-b,rasm), bitta baland impulsga aylanadi (39.13-c,rasm) va impulslar almashib impuls balandligi pasaya boshlaydi (39.13-d,rasm). Impulslar bir-biridan ajralganda esa xuddi yo‘lda bir-birini uchratmagandek har bir impuls o‘z balandligini saqlagan holda yo‘llarida davom etadi (39.13-e,rasm).



39.13-rasm

Agar ikkita impuls balandligini mos holda A_1 va A_2 ga teng deydigan bo‘lsak, bu impulslar to‘la birlashganda (39.13-c,rasm) umumiy impuls balandligini

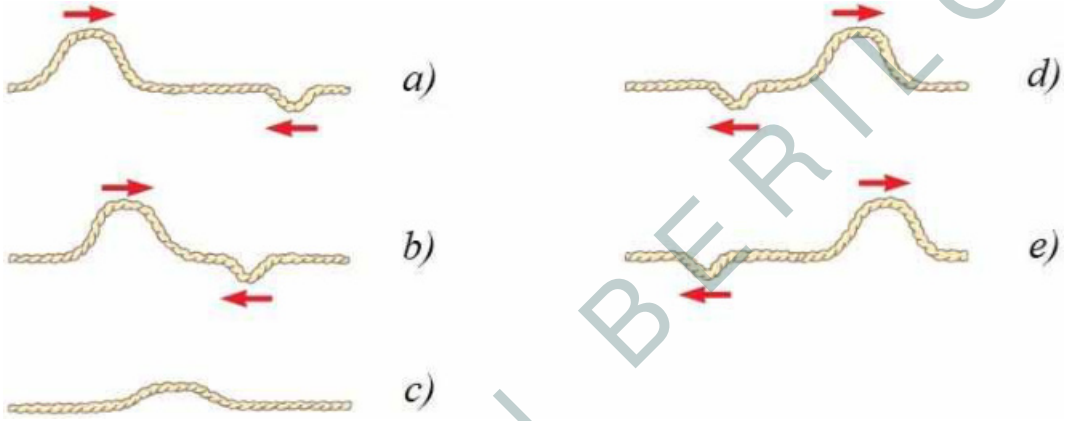
SINOV UCHUN BERILGAN

$$A = A_1 + A_2$$

deyishimiz mumkin. Umumiy holda esa 39.13-rasmdagi to‘lqin impulslarining ixtiyoriy ondagi balandligini aniqlash masalasini hal qilish kerak. Agar arqon bo‘ylab yugurayotgan har bir to‘lqinni tenglamasi $y_1 = y_1(x,t)$ va $y_2 = y_2(x,t)$ berilgan bo‘lsa, u holda bu to‘lqinlar qo‘shilishidan hosil bo‘lgan to‘lqinning ixtiyoriy ondagi va ixtiyoriy koordinatadagi tenglamasi har bir to‘lqin tenglamaning algebraik yig‘indisidan iborat bo‘ladi.

$$y = y_1 + y_2 \quad yoki \quad y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t) \qquad (39.3)$$

Yuqoridagi tenglamaga ***to‘lqinlar superpozitsiya prinsip***i deyiladi.



39.14-rasm

Endi to‘lqin impulslarining biri teskari bo‘lgan holni, ya’ni ag‘darilgan holatni qaraylik (39.14-rasm). 39.14-a,rasmda ikki xil balandlikdagi to‘lqin impulslarining bir-biriga tomon harakatlanayotgani tasvirlangan. Bunda ulardan karratoq bo‘lgani to‘g‘ri holda, kichikroq bo‘lgan ikkinchisi esa ag‘darilgan holda bir-biri tomonga yaqinlashmoqda (39.14-a,rasm). Bir-biriga qo‘shilish oldida ham impuls balandliklari saqlanadi (39.14-b,rasm), qo‘shilganda bitta kichikroq balandlikdagi impulsga aylanadi (39.14-c,rasm) va impulslar almashganda yana avvalgi balandlikdagi impulslar ajrala boshlaydi (39.14-d,rasm). Impulslar bir-biridan ajralganda esa xuddi yo‘lda bir-birini uchratmagandek har bir impuls o‘z balandligini hamda to‘g‘ri va teskari holatlarini saqlagan holda yo‘llarida davom etadi (39.14-e,rasm).

Agar ikkita impuls balandligini mos holda A_1 va A_2 ga teng deydigan bo‘lsak, bu impulslar to‘la birlashganda (39.14-c,rasm) umumiy impuls balandligini

$$A = A_1 - A_2$$

deyishimiz mumkin. Umumiy holda esa 39.14-rasmdagi to‘lqin impulslarining ixtiyoriy ondagi balandligini aniqlash masalasini hal qilish kerak. Agar arqon bo‘ylab yugurayotgan har bir to‘lqinni tenglamasi $y_1 = y_1(x,t)$ va $y_2 = y_2(x,t)$ berilgan bo‘lsa, u holda bu to‘lqinlar qo‘shilishidan hosil bo‘lgan to‘lqinning

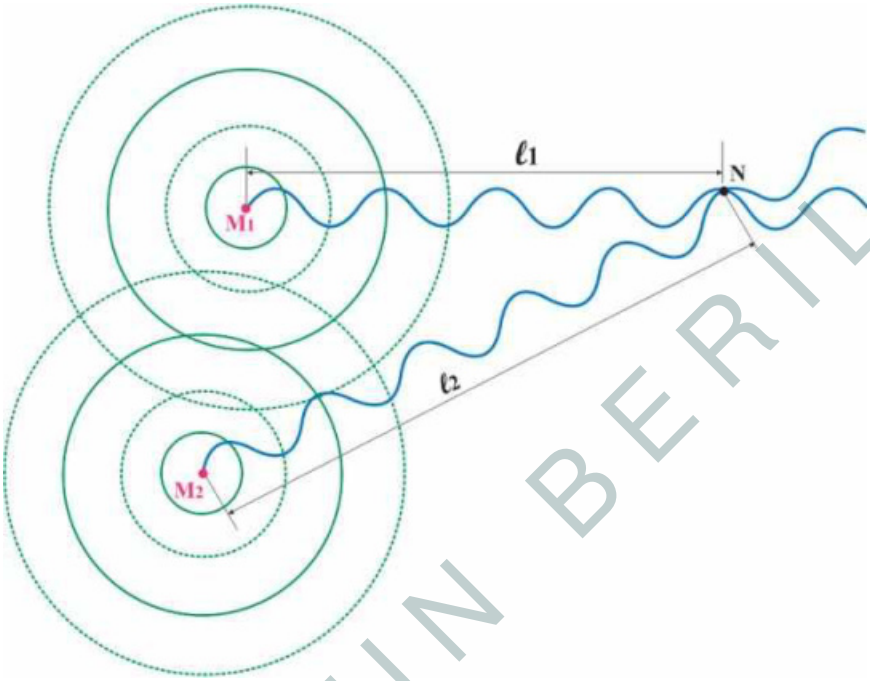
SINOV UCHUN BERILGAN

ixtiyoriy ondagi va ixtiyoriy koordinatadagi tenglamasi har bir to‘lqin tenglamaning algebraik ayirmasidan iborat bo‘ladi.

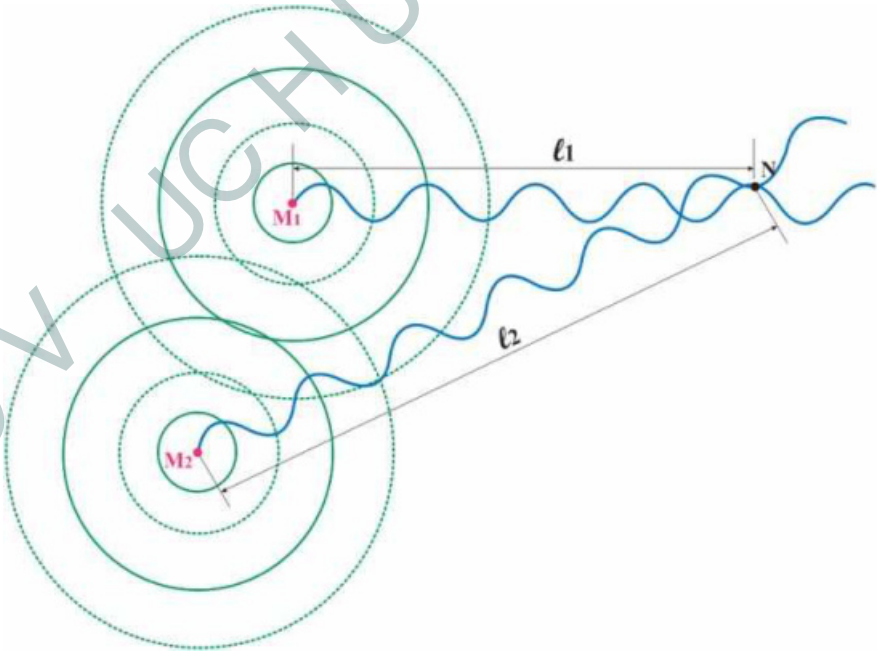
$$y = y_1 - y_2 \quad yoki \quad y(x,t) = y_1(x,t) - y_2(x,t) \tag{39.4}$$

Yuqoridagi tenglamaga ***to‘lqinlar superpozitsiya prinsip***i deyiladi.

Endi biror nuqtada vaqtning ixtiyoriy oni uchun doimiy mavjlangan baland to‘lqin yoki sokin to‘lqin hosil qilish shartlari bilan tanishamiz.



a)



b)

39.15-rasm

Agar ikki to‘lqinning tebranish chastotasi bir xil bo‘lib, tebranishlar fazalari orasidagi farq vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmasa, bunday to‘lqinlar ***o‘zaro kogerent to‘lqinlar*** deyiladi. Bunday to‘lqinlarni vujudga keltiruvchi manbalar ***o‘zaro***

SINOV UCHUN BERILGAN

kogerent manbalar deyiladi. Masalan, o‘zaro kogerent manbani bir xil balandlikdan ikkita bir xil toshni suvga tashlash orqali hosil qilish mumkin.

O‘zaro kogerent manbalardan kelayotgan to‘lqinlar fazoning biror nuqtasida qo‘shilish natijasida to‘lqin kuchayishi (mavjlanish, g‘alayonlanish) yoki to‘lqin susayishi (sokinlanish) kuzatilishi mumkin. Bunday hodisaga ***to‘lqin interferensiyasi*** deyiladi.

Agar to‘lqinlar bir xil fazada qo‘shilsa, to‘lqinlar bir-birini kuchaytiradi (mavjlanadi) va bunda maksimumlar sharti kuzatiladi. Agar to‘lqinlar qarama-qarshi fazada qo‘shilsa, to‘lqinlar bir-birini susaytiradi (sokinlanadi) va bunda minimumlar sharti kuzatiladi. Boshqacha aytganda, to‘lqinlarning o‘rkachlari qo‘shilgan joyda g‘alayonlanish kuchayadi, bitta to‘lqinning o‘rkachi bilan ikkinchi to‘lqinning cho‘nqiri uchrashgan joyda esa g‘alayonlanish eng kuchsiz bo‘lib sokinlik kuzatiladi.

O‘zaro kogerent manbalardan birinchisi M_1, ikkinchisi M_2 bo‘lib, bu to‘lqinlar uchrashgan nuqta N bo‘lsin. Uchrashguncha har bir to‘lqin bosib o‘tgan yo‘l $\ell_1 = M_1N$ va $\ell_2 = M_2N$, bu to‘lqinlar uchrashguncha o‘tgan yo‘llar orasidagi farq $\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 = M_2N - M_1N$ bo‘lsin (39.15-a,b,rasm).

Agar ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan yarim to‘lqin uzunligining juft soni qadar (yoki butun sondagi to‘lqin qadar) kechikib kelsa, bu to‘lqinlar bir xil fazada qo‘shiladi ($\Delta\varphi=0$), qo‘shilish nuqtasida ular bir-birini kuchaytirib mavjlanish sodir bo‘ladi. N nuqtada maksimum sharti bajariladi, natijaviy amplituda $A=A_1+A_2$ bo‘ladi. Maksimumlar sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta\ell = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} = k\lambda \qquad \textbf{(39.5)}$$

Agar ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan yarim to‘lqin uzunligining toq soni qadar kechikib kelsa, bu to‘lqinlar qarama-qarshi fazada qo‘shiladi ($\Delta\varphi=\pi$), qo‘shilish nuqtasida ular bir-birini susaytirib sokinlanish sodir bo‘ladi. N nuqtada minimum sharti bajariladi, natijaviy amplituda $A = |A_1 - A_2|$ bo‘ladi. Minumular sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta\ell = (2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad \textbf{(39.6)}$$

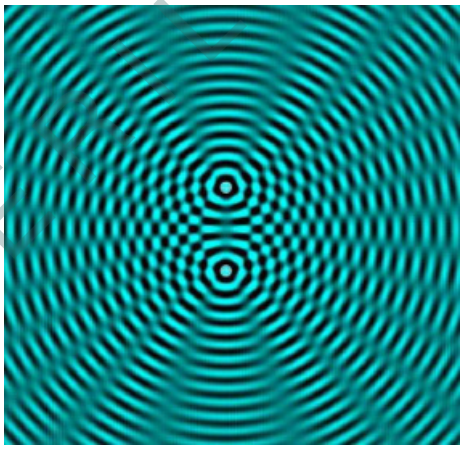
Suv yuzida ikkita nuqtaviy manbadan hosil qilingan interferension manzaraning sxematik tasviri 39.15-rasmda, tabiiy tasviri esa 39.16-rasmda ko‘rsatilgan.

To‘lqinlar qo‘shilib interferensiyalashganda energiyaning saqlanish qonuni bajariladimi degan savol tug‘ilishi tabiiy. Chunki, maksimum sharti bajarilganda tebranish amplitudasi ortib ketgani bois, mexanik energiya ham ortadi, yoki minimum sharti bajarilganda esa tebranish umuman kuzatilmagani bois, mexanik

SINOV UCHUN BERILGAN

energiya nolga aylanadi. Xuddi, maksimum sharti bajarilganda energiya yo‘qdan bor bo‘layotgandek va minimum sharti bajarilganda esa energiya bordan yo‘q bo‘layotgandek tuyuladi. Lekin unday emas. Mexanik energiya minimum sharti bajarilgan nuqtadan maksimum sharti bajarilgan nuqtaga uzatilmoqda, ya’ni energiya fazoda qayta taqsimlanmoqda. Bunda ham barcha tabiat hodisalaridagi kabi energiyaning saqlanish qonuni to‘la bajariladi.

Agar kogerent to‘lqinlar N nuqtaga etib kelganda na bir xil fazada, na qarama-qarshi fazada qo‘shilsa, boshqacha aytganda fazalar farqi oraliq qiymatlarga ega bo‘lsa ($0<\Delta\varphi<\pi$), interferension manzara qanday ko‘rinishda bo‘ladi degan savol tug‘ilishi tabiiy. Bunda interferension manzara sokinlik va to‘la mavjlanish oralig‘ida bo‘ladi, ya’ni tebranish amplitudasi $|A_1 - A_2| < A < A_1 + A_2$ oraliqda bo‘ladi. Agar to‘lqinlar o‘zaro kogerent bo‘lmasachi, bunda interferension manzara qanday ko‘rinishda bo‘ladi degan savol tug‘ilishi ham tabiiy. Bunda tebranishlar fazalari orasidagi farq vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib turgani bois, kuzatilayotgan nuqtadagi interferension manzara ham vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib turadi. Kuzatilayotgan nuqtada goh maksimumlik sharti, goh oraliq qiymatlar va goh minimumlik sharti kuzatilib turadi.

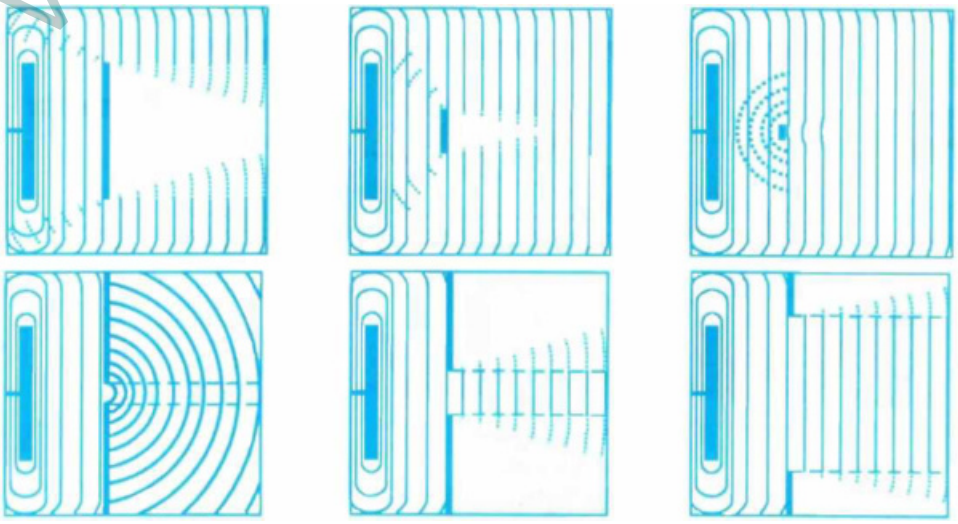


39.16-rasm

To‘lqinlar difraksiyasi:

To‘lqin o‘z yo‘lida katta yoki kichik to‘siq va tirqishlarga duch keladi. Bunda to‘lqin dastlabki yo‘nalishidan og‘ish xususiyatiga ega.

To‘lqinlar tarqalishida to‘siq va tirqishlarga duch kelganda dastlabki tarqalish yo‘nalishdan geometrik soya tomonga og‘ish hodisasiga ***difraksiya*** deyiladi. Bu termin lotincha difractus so‘zidan olingan bo‘lib, singan degan ma’noni anglatadi.



39.17-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Difraksiya hodisasiga hayotda juda ko‘p duch kelganmiz. Masalan, dengiz to‘lqinlari suvdan chiqib turgan toshdan bemalol aylanib o‘tadi va aylanib o‘tgach go‘yoki hech narsa bo‘lmagandek tarqalaveradi. Xuddi shuningdek, hovuzga tashlangan toshdan yuzaga kelgan to‘lqin ham suvdan chiqib turgan cho‘pdan bemalol aylanib o‘tib ketaveradi.

To‘lqin o‘zining dastlabki yo‘nalishidan og‘ishida to‘siq va tirqishning o‘lchami katta ahamiyatga ega. Agar to‘siq va tirqishning o‘lchamlari to‘lqin uzunligidan etarlicha katta bo‘lsa, to‘lqin dastlabki yo‘nalishidan geometrik soya sohaga uncha og‘masdan dastlabki yo‘nalishida tarqalaveradi. Bunda ekran ortidagi manzara umuman o‘zgarmaydi. Faqatgina to‘lqinlarning chetlarida birozgina egrilanish kuzatiladi, xolos (39.*17-rasm*).

To‘siq va tirqishning o‘lchami kichiklashib borgan sari ekran ortiga o‘tgan to‘lqin egrilanib boradi. Agar to‘siq va tirqishning o‘lchamlari to‘lqin uzunligi bilan solishtirarli darajada (to‘lqin uzunligidan biroz katta yoki teng yoki biroz kichik) bo‘lsa, to‘lqin dastlabki yo‘nalishidan geometrik soya soha tomonga og‘ishi sezilarli kuzatiladi (39.*17-rasm*). Juda kichkina tirqishlar esa ikkilamchi manbaga aylanadi (39.*17-rasm*).



39.18-rasm

Suv yuzida kichkina tirqishdan hosil bo‘ladigan dispersiya manzarasining sxematik tasviri 39.17-rasmda, tabiiy tasviri esa 39.18-rasmda tasvirlangan.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Mexanik to‘lqinlar interferensiyasi deb nimaga aytiladi?*
2. *O‘zaro kogerent to‘lqinlar deb nimaga aytilad?*
3. *Maksimumlar shartini yozing. Bunda nima hodisa ro‘y beradi?*
4. *Minimumlar shartini yozing. Bunda nima hodisa ro‘y beradi?*
5. *Uchrashuvchi to‘lqinlardan biri biror sirtdan qaytgan bo‘lsa, tebranish fazasi va yo‘llar farqi qanday o‘zgaeadi?*
6. *Mexanik to‘lqinlarda difraksiya hodisasi nima?*
7. *Difraksiya hodisasi kuzatilishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?*

Masala yechish:

1. *Bir xil fazada tebranuvchi va atrof muhitda bir xil chastotali hamda amplitudali* $\left(A_1 = A_2 = 1cm\right)$ *yassi to‘lqin hosil qiluvchi ikkita manba bor. Birinchi manbadan* ℓ_1*=3,5 m va ikkinchi manbadan* ℓ_2*=5,4 m masofada bo‘lgan muhit nuqtasining tebranish amplitudasi A ni toping. Ko‘rilayotgan nuqtada tebranishlar yo‘nalishi mos keladi. To‘lqin uzunligi* λ*=0,5 m.*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	Yechilishi
$A_1 = A_2 = 1cm$	*Har ikkala manbadan tarqalayotgan to'lqinlar uchun to'lqin tenglamasini yozamiz.*
$\varphi_{0.1} = \varphi_{0.2} = 0$	$y_1(x,t) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - \vartheta t) + \varphi_{0.1}\right) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - \vartheta t)\right)$
$\ell_1 = 3,5\,m$	
$\ell_2 = 5,4\,m$	$y_2(x,t) = A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - \vartheta t) + \varphi_{0.1}\right) = A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - \vartheta t)\right)$
$\lambda = 0,5\,m$	
$A=?$	*Masala shartida faqat natijaviy amplituda so'ralgani uchun biz to'lqin tenglamasining vaqtga bog'liq qismini tashlab yuboramiz.*

$$y_1(x) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right), \quad y_2(x) = A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

Tenglamadagi x o'zgaruvchi o'rniga kuzatilayotgan nuqtadan manbalargacha bo'lgan masofalarni qo'yamiz va superpozitsiya prinsipidan foydalanib masalani ishlaymiz.

$$y(x) = y_1(x) + y_2(x) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right) + A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$A = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}\ell_1\right) + A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}\ell_2\right) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{0,5\,m}\cdot 3,5\,m\right) + A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{0,5\,m}\cdot 5,4\,m\right) =$$

$$= A_1 \sin(14\pi) + A_2 \sin(20,8\pi) = 1,73\,sm$$

Javob: *A=1,73 sm*

§ 40. AKUSTIKA ELEMENTLARI. TOVUSH HODISALARI

Olam turli-tuman tovushlarga to'la bo'lib, soatning chiqillashi va motorlarning guvillashi, barglarning shildirashi va shamolning uvillashi, qushlar navosi va odamlar ovozi va hokozalar shular jumlasidandir. Tovush nima va u qanday yuzaga keladi? Bu haqida odamlar qadimdan o'ylay boshlaganlar. Masalan, ular tovushilar havoda titrayotgan jismlardan chiqayotganini sezganlar. Qadimgi yunon faylasufi va ensiklopedist olimi Aristotel kuzatishlarga asoslanib, tovushning tabiatini to'g'ri tushuntirib bergan: u tovush chiqarayotgan jism galma-gal havoning siqilishini va siyraklashishini vujudga keltiradi, deb hisoblagan. Masalan, tebranayotgan tor havoni goh zichlaydi, goh siyraklaydi, havoning elastikligi tufayli esa bu ketma-ket bo'ladigan ta'sirlar fazoda qatlamdan-qatlamga uzatiladi, elastik to'lqinlar yuzaga keladi. Bizning qulog'imizga etib kelgach, ular kulon pardasiga ta'sir qilib, tovush sezgisini uyg'otadi.

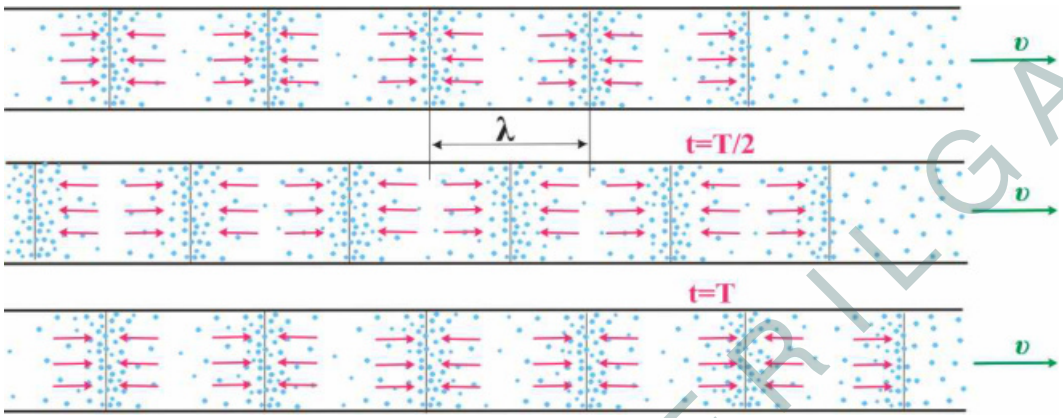
Tovush hodisalari o'rganiladigan fizikaning bir bo'limiga ***akustika*** deyiladi.

Tovush to'lqinlarini hosil bo'lishi:

Tovush deb, insonning eshitish organida tovush sezgisini uyg'otuvchi bo'ylama mexanik to'lqinlarga aytiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Havoda tovush to‘lqinlari havo qatlamining goh zichlashib, goh siyraklashishi, ya’ni havo bosimining davriy ravishda tebranishi elastik bo‘ylama to‘lqin ko‘rinishida tarqaladi (40.1-rasm). Havo zarrachalarining tebranish yo‘nalishi tovushning tarqalish yo‘nalishi bo‘yicha bo‘lgani uchun ham tovush to‘lqinlari bo‘ylama to‘lqinlardir. Ikki qo‘shni zich qatlam yoki ikki qo‘shni siyrak qatlam orasidagi masofa tovush to‘lqini uzunligi hisoblanadi.



40.1-rasm

Endi tovush to‘lqinining qanday vujuga kelishi haqida fikr yuritaylik. Aynan bitta chastotada tebranadigan maxsus asbob – kamerton yordamida monoxromatik tovush to‘lqini hosil qilinadi (40.2-rasm). Kamertonlar asosan ikki qismdan iborat bo‘lib, ular uzun to‘g‘ri metall sterjenga biriktirilgan U-simon shakldagi metall shoxdan iborat. Kamertonlarning maxsus bolg‘achasi bo‘lib, u bilan U-simon metall shox qismga zarb berilganda ayni bitta chastotada tebranadi, bu tebranish chastotasi esa kamertonlarning pasportiga yozib qo‘yigan bo‘ladi (40.2-a,rasm).



a) *b)*

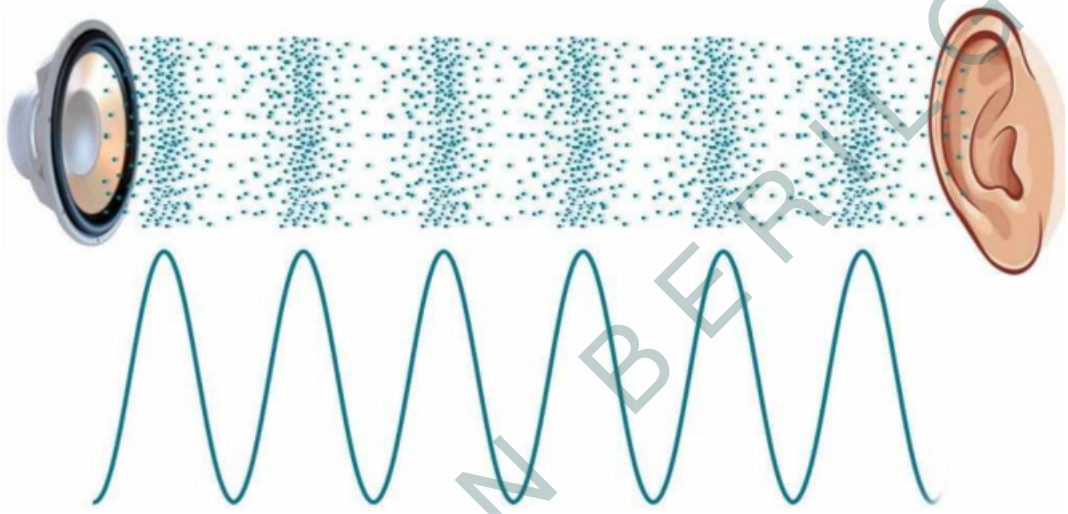
40.2-rasm

Kamertonning shoxi tebranganda unga tutash havo molekulalarini zarb bilan tebratadi. Bu zarb natijasida havo molekulalari qo‘shimcha bosim ta’sirida siqiladi. Kamerton shoxi orqa tomonga qaytganda esa havo molekulalari siyraklanib bosim biroz kamayadi. Kamerton shoxi tebranishi davomli bo‘lganda havo

SINOV UCHUN BERILGAN

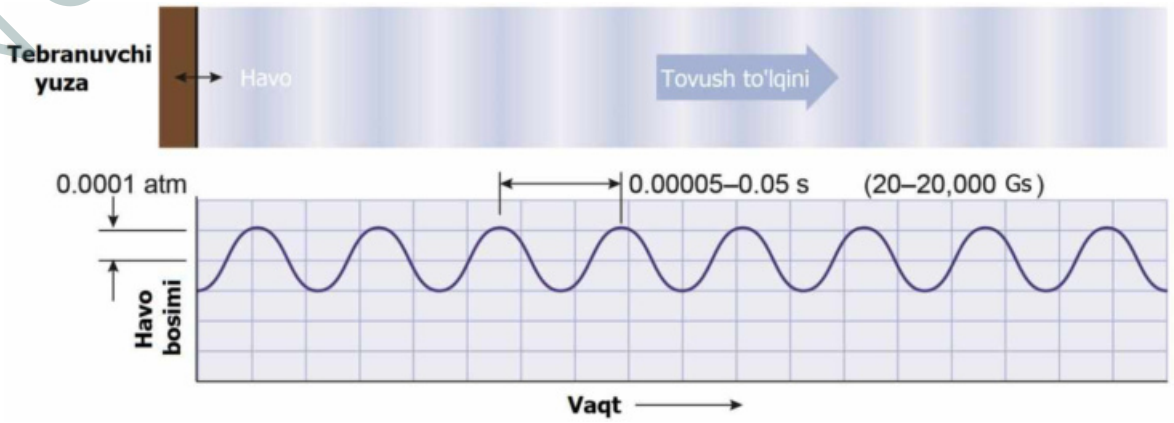
molekulalarining ketma-ket siqilish va siyraklanishlari fazoga tarqaladi. Natijada bo‘ylama ravishda tovush to‘lqini hosil bo‘ladi (40.2-b,rasm).

40.3-rasmda karnayning tebranishi orqali havo molekulalarining tebranishi – tovush to‘lqini hosil bo‘lishi tasvirlangan. Havo molekulalari maksimal to‘plangan joyni, ya’ni eng zichlashgan sohani to‘lqin maksimumi deyish mumkin va uni suv yuzida tarqalayotgan to‘lqinning do‘nglik joyiga o‘xshatish mumkin. Aksincha, havo molekulalari minimal to‘plangan joyni, ya’ni eng siyraklashgan sohani to‘lqin minimumi deyish mumkin va uni suv yuzida tarqalayotgan to‘lqinning chuqurlik joyiga o‘xshatish mumkin (40.3-rasm).



40.3-rasm

Arqon bo‘ylab yuguruvchi to‘lqin yoki suv yuzida tarqaluvchi to‘lqinlarning amplitudasi deganda muvozonatda eng chetki og‘ish masofasi yoki boshqacha aytganda do‘nglik va chuqurli orasidagi masofaning yarmi ekanligini yaxshi bilamiz. Lekin, tovush to‘lqining amplitudasi deganda kamaerton yoki karnayning tebranish amplitudasini tushunishimiz mumkin. Lekin, bundan tashqari tovush to‘lqinlari amplitudasini anglatuvchi bosim tushunchasi ham bor. Zichlashgan sohadagi bosim normal atmosfera bosimidan birozgina (*10 – 20 Pa* atrofida) yuqori, siyraklashgan sohadagi bosim esa normal atmosfera bosimidan birozgina (*10 – 20 Pa* atrofida) kichikroq bo‘ladi (40.4-rasm).



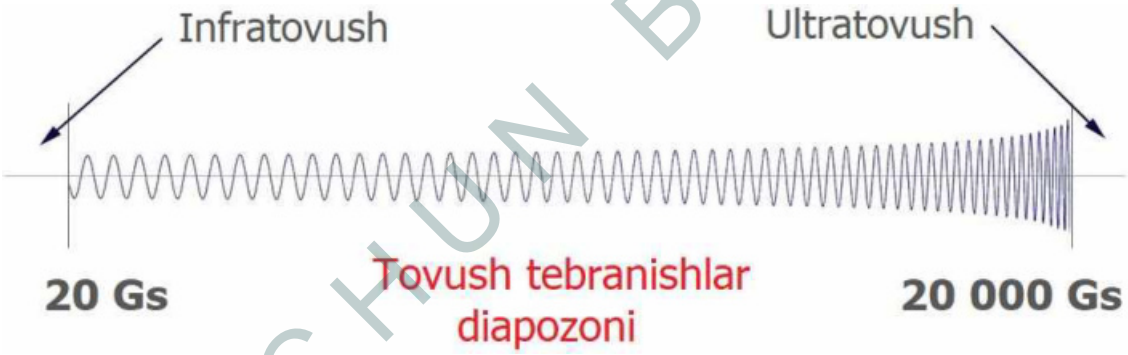
40.4-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Biz radio yoki televizorning ovozini ko‘targanimizda mana shu qo‘shimcha bosimning miqdorini oshirgan bo‘lamiz. Boshqacha aytganda ovoz ko‘tarilganda qo‘shni zich qatlam orasidagi, yoki qo‘shni siyrak qatlam orasidagi masofa (to‘lqin uzunlik) o‘zgarmaydi, faqat zichlashish hamda siyraklanishlar kuchliroq namoyon bo‘ladi. Bunda atmosfera bosimi davriy ravishda tebranadi (40.4-rasm).

Shuni ta’kidlash kerakki, tovush manbai bilan eshitish organi orasida tovush to‘lqinlarini tarqata oladigan elastik muhit mavjud bo‘lgandagina, tovush eshitiladi.Tovush to‘lqinining elastik muhitda tarqalishini havo nasosining shisha qalpog‘i ostiga qo‘yilgan elektr qo‘ng‘irog‘i yordamida isbotlash mumkin. Shisha qalpoq ostidagi havoning bosimi kamayib, ya’ni havo siyraklashib borgan sari, tovushning eshitilishi ham pasayib boradi va nihoyat vakuum hosil bo‘lganda eshitilmay qoladi.

Tekshirishlardan ma’lum bo‘ldiki, tebranish chastotalari 20 Hz dan 20 000 Hz gacha bo‘lgan bo‘ylama mexanik to‘lqinlargina insonning eshitish organida tovush sezgisini uyg‘otar ekan. Bu chastota intervaliga ***eshitish diapazoni*** deyiladi (40.5-rasm).



40.5-rasm

Shunday qilib, quyidagi beshta shart bajarilgandagina inson tovushni eshitadi:

1) tovush manbai mavjud bo‘lishi;
2) tovush manbai va eshitish organi orasida elastik muhitning bo‘lishi;
3) tovush manbaining tebranish chastotasi 20 – 20 000 Hz oralig‘ida yotishi;
4) tovush to‘lqinlarining quvvati eshitish organida tovush sezgisini hosil qilishga yetarli bo‘lishi;
5) eshitish organi (quloq) sog‘lom bo‘lishi kerak.

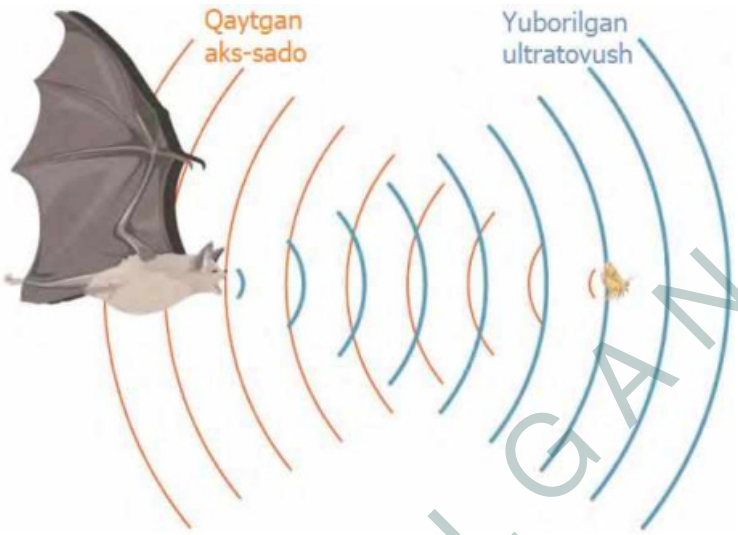
Ultratovush va infratovushlar:

Tebranish chastotalari 20 000 Gs dan katta bo‘lgan mexanik tebranishlarni inson qulog‘i tovush sifatida qabul qilmaydi. Ularga ***ultratovush tebranishlari*** yoki ***ultratovushlar*** deyiladi. Ultratovush chastotalarining yuqorigi chegaralari shartli ravishda 10^8 *Gs* deb qabul qilingan.

Ultratovushni hosil qilish va qabul qilish uchun ultratovush nurlatkich va qabul qilgich deb ataluvchi asboblar ishlatiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Ultratovush to‘lqinlarining tarqalish tezligi va yutilishining muhit holatiga bog‘lanishidan moddalar molekulyar xossalarini o‘rganishda foydalaniladi. Bu tekshirishlar molekulyar akustika deb ataluvchi sohada o‘rganiladi.



40.6-rasm

Ultratovush to‘lqinlarining ikki muhit chegarasidan qaytishi xossalariga asoslangan prinsipga binoan suv havzalarining chuqurligini, ular tubining relefini, aysberglarni, baliq to‘dalarini, suv osti kemalar va hokozolarni o‘rganishda ***exolot*** deb ataluvchi gidrolokatorlardan foydalaniladi.

Delfin va ko‘rshapalaklar juda ham takomillashgan xususiy ultratovush lokatorlariga egadir. Ko‘rshapalak ultratovush tebranishlari impulsining chastotasi 25 000 – 30 000 Gs ni, davomiyligi esa 0.015 s ni tashkil qiladi. 40.6-rasmda ko‘rshapalakning chigirtka yoki kapalakni qanday ov qilishi tasvirlanagan. Ko‘rshapalak yuborgan siganl harakat yo‘nalishidagi biror buymdan qaytgan aks-sadoning qaytish vaqtiga qarab buyumni qancha masofada ekanini aniqlaydi (ultratovushning borib kelish vaqti buyumgacha bo‘lgan masofaga to‘g‘ri proporsional). Undan tashqari buyumning o‘lchami (katta-kichikligi) haqida hamda uning tinch turgan yoki harakat qilyotganligi haqida ham ma’lumot oladi (40.5-rasm).

Ultratovush defektoskoplar yordamida metall buyumlarining nuqsonlari, darz ketgan joylarni aniqlash, jismlarning haqiqiy chiziqli o‘lchamlarini aniqlash mumkin.



40.7-rasm

Ultratovush biologik va fiziologik ta’sirga ega. Masalan ba’zi o‘simliklarning (paxta, no‘xat, kartoshka va h.) urug‘lariga ultratovush ta’sir ettirilganda ular tez unadi va hosildorligi ortadi. Bu tovush ta’sirida sut tez achib qolmaydi, qizil qon tanachalari emiriladi, itbaliq va mayda baliqchalar bir minut davomida o‘ladi. Ultrotovush yordamida mikroorganizm va bakteriyalar o‘ladi va ulardan sterilizatsiyada foydalanish imkonini beradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Ultratovush meditsinada keng qo‘llaniladi. Ona xomilasini ultratovush yordamida ekranda ko‘rish mumkin, bu usul rentgenoskopiyadan ko‘ra ancha zararsiz. Undan tashqari inson ichki organlari masalan, jigar, buyrak, prostota bezlarida shamollash bor yoki yo‘qligini ultrtovush yordamida (UZI) aniqlash mumkin (40.7-rasm). Operatsiya vaqtida yumshoq to‘qimlarni ultratovush yordamida kesish va shikastlangan suyak to‘qimalarini payvandlash imkonini beradi.

Tebranish chastotasi *20 Gs* dan kichik bo‘lgan mexanik to‘lqinlarga infratovush to‘lqinlari yoki infratovush deyiladi. Ular insonda tovush sezgisini uyg‘otmaydi. Infratovush to‘lqinlar dovul va zilzilalar vaqtida, dengiz va Yer qobig‘ida hosil bo‘ladi. Infratovushning tarqalish tezligi dovul yoki zilzila vaqtida bo‘ladigan gigant to‘lqinlar to‘dasining tarqalish tezligidan ancha katta bo‘ladi. Bu hol infratovush to‘lqinlarini qabul qila oladigan ba’zi hayvonlarning yaqinlashayotgan xavf haqidagi signallarni qabul qilish imkoniyatini beradi.

Barcha tovush to‘lqinlari chastota va to‘lqin uzunligi diapozoni 40.1-jadvalda berilgan. Bunda tovushning havodagi tarqalish tezligi *340 m/s* deb olingan.

40.1-jadval

	Infratovush	Eshitiladigan tovush	Ultratovush
ν, *Gs*	20 Hz dan kichik	20 – 20 000	20 000 Hz dan katta
λ, *m*	17 m. dan katta	17 – 0,017	0,017 m.dan kichik

Tovushning tarqalish tezligi:

Tovush to‘lqinlari ham boshqa barcha to‘lqinlar singari moddada cheklangan tezlik bilan tarqaladi. Uning tarqalish tezligi to‘g‘ri chiziqli tekis harakatning yo‘l formulasidan aniqlanadi.

$$\vartheta = \frac{s}{t}$$

Tovushning tarqalish tezligini anqlash usulini qarab chiqaylik. Yorug‘lik juda katta tezlik $c = 300\,000\ km/s$ tezlik bilan tarqaladi. Shu sababli, miltiqdan o‘q otilganda, eng avval olov va tutun ko‘rinadi va biror vaqtdan keyin tovush eshitiladi. Shunday qilib, yorug‘lik signalining yetib kelish vati juda kichik bo‘lganligi uchun, uni e’tiborga olmaymiz.

Havoda tovush tezligini aniqlashda, bir-biridan ma’lum masofada (*5 – 10 km*) turgan ikki kishidan biri to‘pponchadan yuqoriga mushak otadi, ikkinchisi esa mushak yorug‘ligini ko‘rish bilan sekundomerni yuritib yuboradi va tovushni eshitganda uni to‘xtatadi. Bunda s masofani va tovushning etib kelish vaqti t ni bilgan holda tovushning havodagi tezligi aniqlanadi.

0^0C temperaturada tovushning quruq havodagi tarqalish tezligi $\vartheta_0 = 332\ m/s$ ekan. Uy temperaturasi va o‘rtacha namlikda esa tovush tezligi $\vartheta = 340\ m/s$

SINOV UCHUN BERILGAN

ekanligi aniqlangan.

Tovushning gazlarda tarqalish tezligi gazning zichligiga bog‘liq bo‘lmasdan absayut temperatura T ning kvadrat ildiziga proporsional bo‘lib, gazning molyar massasi M ning kvadrat ildiziga teskari proporsionaldir. Masalan, 0^0C temperaturada tovushning tarqalish tezligi kislorodda *315 m/s*, vodorodda *1263 m/s* va karbonat angidridda *258 m/s* ga teng ekanligi aniqlangan.

Tovushning gazlardagi tarqalish tezligi uchun quyidagi formuladan foydalanish mumkin.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \qquad (40.1)$$

Bu yerda: $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ — Puasson koeffitsienti bo‘lib, bir atomli gazlar uchun $\gamma = \frac{5}{3}$, ikki atomli gazlar uchun $\gamma = \frac{7}{5}$ va uch (ko‘p) atomli gazlar uchun $\gamma = \frac{4}{3}$ deb olinadi.

Tovushning tarqalish tezligi moddaning agregat holatiga bog‘liqdir. Masalan, tovush suvda *1480 m/s* tezlik bilan, shishada *5600 m/s* tezlik bilan va po‘latda esa *5000 m/s* tezlik bilan tarqaladi.

Tovushning metallarda tarqalish tezligi quyidagi formuladan topiladi.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (40.2)$$

Bu yerda: E – bo‘ylama deformatsiyadagi elastiklik moduli (yoki Yung moduli); ρ – metallning zichligi.

Tovushning intensivligi va qattiqligi:

Tovushning tarqalish yo‘nalishiga tik joylashgan birlik yuzadan birlik vaqt ichida o‘tuvchi tovush energiyasiga miqdor jihatidan teng bo‘lgan kattalikka ***tovush intensivligi*** deyiladi. Boshqacha aytganda tovush intensivligi tovush yo‘nalishiga tik joylashgan birlik yuzadan o‘tuvchi tovush quvvatiga teng bo‘lgan kattalikdir.

$$I = \frac{W}{St} = \frac{N}{S} \quad \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \qquad (40.3)$$

Quloqqa elas-elas eshitiladigan (uzoqdagi daraxtning shitirlashi) tovushning intensivligi $\left(I_0 = 10^{-13}\,\frac{W}{m^2}\right)$ eshitish bo‘sag‘asidagi intensivlikka ega bo‘lgan tovush deyiladi.

Quloqda og‘riq hosil qiluvchi (reaktiv samolyotning shovqini) tovushning intensivligini $\left(I_0 = 1\,\frac{W}{m^2}\right)$ eshitish bo‘sag‘asidagi intensivlikka ega bo‘lgan tovush deyiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Tovush intensivligi, tovush eshituvchi tomonidan seziladimi yoki yo‘qmi, bundan qat’iy nazar fizik protsessni ob’ektiv xarakterlaydi. Lekin, sub’ektiv xaraktyerga ega bo‘lgan shunday kattalik borki, bu tovush qattiqligidir. Tovush qattiqligi sub’ektiv xaraktyerga ega deyilishiga sabab, ushbu kattalik eshitish organing fiziologik xususiyatlaridan kelib chiqib kiritilgan. Ayni bir tovush kim uchundir qattiqroq tuyulsa, yana kim uchundir yumshoqroq tuyulishi mumkin. Qattiqlik shkalasini tanlashda logarifmik qonunni hisobga olamiz va eshitilish chegarasida qattiqlikni nolga teng (garchi intensivlik noldan farqli bo‘lsa-da) deb shartlashamiz.

Agar tovushning intensivligi $I=I_0$ bo‘lsa, bu tovushning qattiqligi $L=0$ *B (bell)* ga tengdir. Agar tovushning intensivligi $I=10I_0$ bo‘lsa, bu tovushning qattiqligi $L=1$ *B* ga tengdir. Agar tovushning intensivligi $I=100I_0$ bo‘lsa, bu tovushning qattiqligi $L=2$ *B* ga tengdir. Agar tovushning intensivligi $I=I_{max}=10^{13}I_0$ bo‘lsa, bu tovushning qattiqligi $L=13B$ ga tengdir.

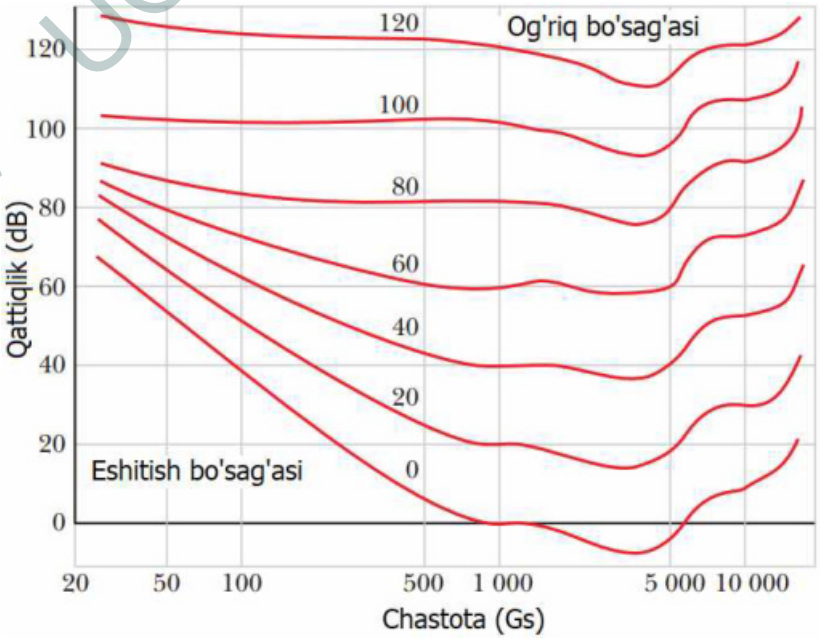
Tovush qattiqligi quyidagi formula orqali topiladi:

$$L=\lg\left(\frac{I}{I_o}\right)\ [B] \qquad \textbf{(40.4)}$$

Tovush qattiqligi detsibellarda quyidagicha ifodalanadi:

$$L=10\lg\left(\frac{I}{I_o}\right)\ [dB] \qquad \textbf{(40.4a)}$$

Sekin suxbatlashayotgan ikki kishining shovqinining qattiqligi *40 dB*, bozor shovqining qattiqligi *80 dB*, yuk mashinasi motorini shovqining qattiqligi *90 dB*, reaktiv samolyot motorini shovqining qattiqligi *130 dB* va undan yuqori bo‘ladi.



40.8-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Tovushning eshitilish bo‘sag‘asi hamda quloqda og‘riq hosil qilish bo‘sag‘asi inson qulog‘i eshitadigan barcha chastotalar uchun aynan birday emas. Boshqacha aytganda, chastota o‘zgarishi bilan quloq arang eshitadigan yoki quloqda og‘riq hosil qiladigan tovush intensivligi o‘zgarib boradi. Bu soha 40.8-rasmda aniq tasvirlangan bo‘lib, unda eshitish bo‘sag‘asi va og‘riq hosil qilish bo‘sag‘asi uchun minimum nuqtaga ega bo‘lgan egri chiziqlar tasvirlangan. Grafiklardan ham ko‘rinib turibdiki, chastotaning 1000 – 3000 Hz qiymatlari uchun quloqning sezuvchanligi eng yuqori bo‘lar ekan, ya’ni quloq eng kam intensivlikdagi tovushni eshitishi mumkin ekan (40.8-rasm).

Bir necha tovush manbalari hosil qilayotgan shovqinning qattiqligi qanday aniqlanadi degan savol tug‘ilishi tabiiydir. Bunda natijaviy qattiqlik energiyanning saqlanish qonuniga ko‘ra aniqlanadi. Boshqacha aytganda, manbalardan kelayotgan tovushlar intensivliklari algebraik qo‘shiladi, o‘z navbatida qattiqliklar esa logarifmik qoida asosida qo‘shiladi.

Qattiqliklari $L_1, L_2, L_3, \ldots L_N$ bo‘lgan va bitta joyda jamlangan tovush manbalari shovqinlari qo‘shilishidan hosil bo‘lgan natijaviy shovqinning qattiqligi quyidagicha bo‘ladi:

$$L = \lg\left(10^{L_1} + 10^{L_2} + 10^{L_3} + \ldots 10^{L_N}\right) \qquad \textbf{(40.5)}$$

yoki

$$L = 10 \cdot \lg\left(e^{L_1/10} + e^{L_2/10} + e^{L_3/10} + \ldots e^{L_N/10}\right) \qquad \textbf{(40.5a)}$$

Isboti: Qattiqliklari $L_1 = \lg\left(\frac{I_1}{I_o}\right), L_2 = \lg\left(\frac{I_2}{I_o}\right), L_3 = \lg\left(\frac{I_3}{I_o}\right), \ldots L_N = \lg\left(\frac{I_N}{I_o}\right)$ bo‘lgan tovushlarning intensivliklari mos holda $I_1 = I_0 \cdot 10^{L_1}, I_2 = I_0 \cdot 10^{L_2}, I_3 = I_0 \cdot 10^{L_3}, \ldots, I_N = I_0 \cdot 10^{L_N}$ ga teng. Energiya skalyar kattalik bo‘lgani uchun natijaviy intensivlik $I_{nat} = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots + I_N = I_1 = I_0 \cdot \left(10^{L_1} + 10^{L_2} + 10^{L_3} + \ldots + 10^{L_N}\right)$ bo‘ladi. Shovqinlar yig‘indisining natijaviy qattiqligi esa $L_{nat} = \lg\left(\frac{I_{nat}}{I_o}\right) = \lg\left(10^{L_1} + 10^{L_2} + 10^{L_3} + \ldots 10^{L_N}\right)$ bo‘ladi.

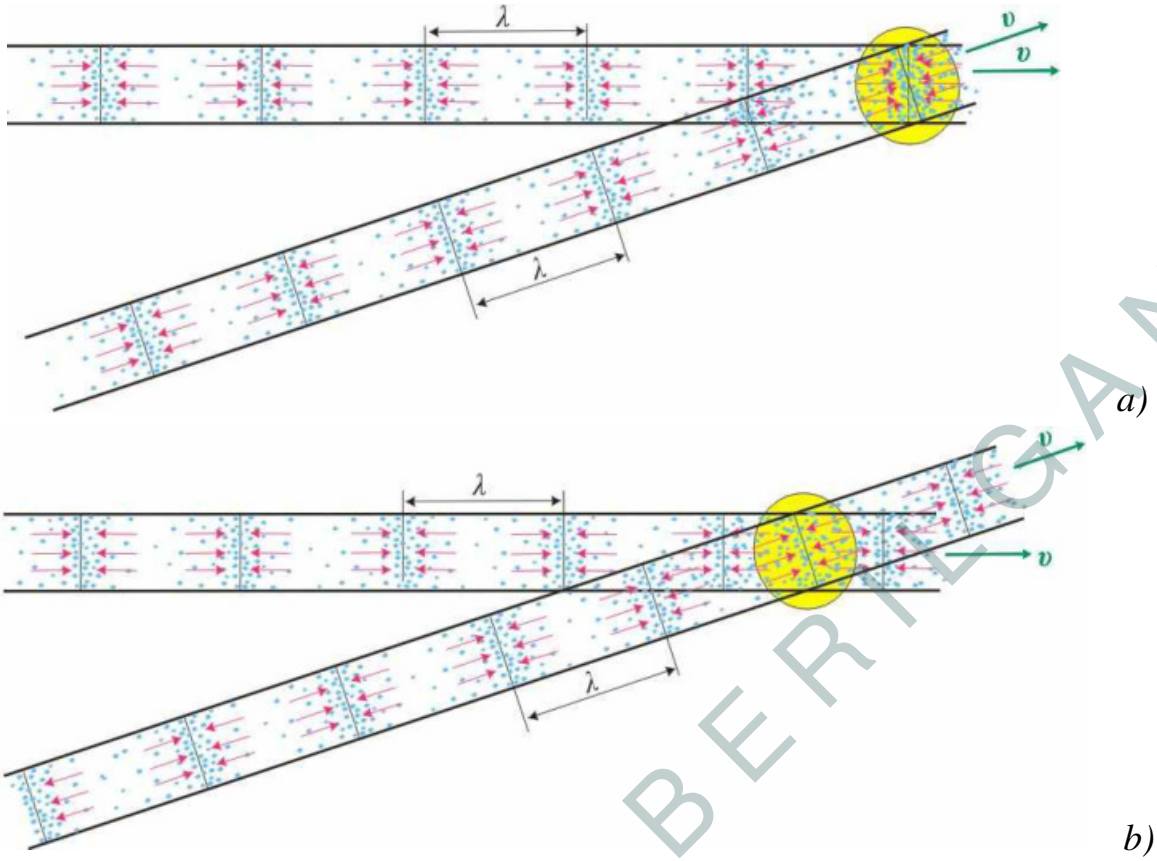
Har birining qattiqligi L bo‘lgan va bir joyga jamlangan tovush manbalari shovqinlarining qo‘shilishidan hosil bo‘lgan natijaviy qattiqlik quyidagicha:

$L = \lg N + L \quad [B]$ **(40.6)** yoki $L = 10 \cdot \left(\lg N + L\right) \quad [dB]$ **(40.6a)**

Tovush to‘lqinlarida interferensiya va difraksiya hodisalari:

Interferensiya hodisasi tabiatdagi barcha to‘lqinlarga xos bo‘lib, shu jumladan tovush to‘lqinlariga ham tegishlidir.

SINOV UCHUN BERILGAN



40.9-rasm

Tovush to‘lqinlarida maksimumlar sharti bajarilishi uchun o‘zaro kogerent tovush to‘lqinlari bir xil fazada qo‘shilishi kerak, ya’ni ikkita zich qatlam yoki ikkita siyrak qatlam uchrashishi kerak. Ana shunda uchrashish nuqtasida shovqinlanish kuzatiladi (40.9-a,rasm). Maksimumlar sharti bajarilgan nuqtalarda tovush intensivroq bo‘lib, odatdagidan jarangdorroq eshitiladi.

Tovush to‘lqinlarida minimumlar sharti bajarilishi uchun o‘zaro kogerent tovush to‘lqinlari qarama-qarshi fazada qo‘shilishi kerak, ya’ni zich va siyrak qatlam uchrashishi kerak. Ana shunda uchrashish nuqtasida sukunat kuzatiladi (40.9-b,rasm). Minimumlar sharti bajarilgan nuqtalarda tovush intensivligi past bo‘lib, juda sust eshitiladi yoki umuman eshitilmaydi.

Difraksiya hodisasi ham tabiatdagi barcha to‘lqinlarga xos bo‘lib, shu jumladan tovush to‘lqinlariga ham tegishlidir. Odatda biz $\lambda = 17\,mm - 17m$ oralig‘idagi tebranishlarni tovush sifatida qa’bul qilamiz. Tovush to‘lqini ana shu to‘lqin uzunliklar bilan solishtirarli o‘lchamdagi (to‘lqin uzunligidan biroz katta yoki teng yoki biroz kichik) to‘siq va tirqishlarga duch kelganda tovushning geometrik soya tomonga og‘ishi kuzatiladi. Bu hodisaga har birimiz juda ko‘p duch kelganmiz. Masalan, baland devorning orqa tomonidagi odamga baqirganda garchi o‘zi ko‘rimasada tovushimizni eshitadi, yo‘lakda turgan odamning gapirishi geometrik soya tomonda turgan butun sohaga eshitiladi, to‘yxonadagi karnay-surnay ovozini to‘yxona ko‘rinmaydigan joydan ham turib eshitish mumkin va hokoza.

SINOV UCHUN BERILGAN

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Tovush deb nimaga aytiladi? Tovush chastota va to'lqin uzunligi qaysi oraliqda bo'ladi?*
2. *Infratovush va ultratovushlar qanday tovushlar haqida gapiring. Ularning chastota va to'lqin uzunligi qaysi oraliqda bo'ladi?*
3. *Gazlarda va qattiq jismlarda tovush tarqalish tezligini aniqlash formulalarini yozib bering.*
4. *Tovush to'lqinlari interferensiyaga kirishganda nima hodisa ro'y beradi?*
5. *Tovush to'lqinlaridagi difraksiya nima? Difraksiya bo'lishiuchun qanday shart bajarilishi kerak?*
6. *Tovush intensivligi nima? Uning formulasini yozing.*
7. *Tovush qattiqligi nima? Qattiqlikning o'lcham birligi nima? Eshitish va og'riq hosil qilish bo'sag'alari haqida aytib bering.*

Masala yechish:

1. *Tovush to'lqinining ν=1000 Hz chastotasi uchun intensivlik qiymatlari eshitish bo'sag'asida* $I_0 = 10^{-12}\frac{W}{m^2}$ *ga, quloqda og'riq hosil qilish bo'sag'asida* $I_{max} = 10\frac{W}{m^2}$ *ga teng bo'lsa, u holda havo molekulalari qanday amplitudalar bilan tebranadi? Havoning zichligi* $\rho = 1{,}29\frac{kg}{m^3}$ *, tovush tezligi* $\vartheta = 330\frac{m}{s}$ *.*

Berilgan	*Yechilishi*
$\nu = 1000\,Gs$	*To'lqin energiyasi formulasi*
$I_0 = 10^{-12}\frac{W}{m^2}$	$E = \frac{m_0\vartheta^2}{2} = \frac{\rho V(\omega A)^2}{2} = \frac{1}{2}\rho V\omega^2 A^2$
$I_{max} = 10\frac{W}{m^2}$	*Intensivlik formulasi*
$\rho = 1{,}29\frac{kg}{m^3}$	$I = \frac{E}{St} = \frac{E\vartheta}{V} = \frac{1}{2}\rho V\omega^2 A^2\cdot\frac{\vartheta}{V} = \frac{1}{2}\rho\vartheta\omega^2 A^2$
$\vartheta = 330\frac{m}{s}$	*dan amplituda formulasini hosil qilamiz.*
	$A = \frac{1}{\omega}\sqrt{\frac{2I}{\rho\vartheta}} = \frac{1}{2\pi\nu}\sqrt{\frac{2I}{\rho\vartheta}}$
A=?	*Endi har bir hol uchun hisoblash ishlarini bajaramiz.*

$$A_1 = \frac{1}{2\pi\nu}\sqrt{\frac{2I_1}{\rho\vartheta}} = \frac{1}{2\pi\cdot 1000\,Gs}\sqrt{\frac{2\cdot 10^{-12}\frac{W}{m^2}}{1{,}29\frac{kg}{m^3}\cdot 330\frac{m}{s}}} = 1{,}09\cdot 10^{-11}\,m$$

$$A_2 = \frac{1}{2\pi\nu}\sqrt{\frac{2I_1}{\rho\vartheta}} = \frac{1}{2\pi\cdot 1000\,Gs}\sqrt{\frac{2\cdot 10\frac{W}{m^2}}{1{,}29\frac{kg}{m^3}\cdot 330\frac{m}{s}}} = 3{,}45\cdot 10^{-5}\,m$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Javob: $A_1=1{,}09\cdot10^{-11}$ m; $A_2=3{,}45\cdot10^{-5}$ m

2. Ikkita bir xil stanok (dastgoh) ishchidan bir xil masofada joylashgan. Stanoklarning har biridan ishchi joylashgan nuqtaga bir xil $I_1=I_2=2\cdot10^{-7}\frac{W}{m^2}$ intensivlikdagi tovush energiyasi yetib keladi. Agar bitta stanok ishlasa ishchi qanday qattiqlikda shovqin ostida ishlaydi? Agar ikkala stanok ham ishlasa-chi? Eshitish bo‘sag‘asini $I_0=10^{-13}\frac{W}{m^2}$ deb oling.

Berilgan	Yechilishi
$I_1=I_2=2\cdot10^{-7}\frac{W}{m^2}$ $I_0=10^{-13}\frac{W}{m^2}$ $L=?$	Tovush qattiqligini aniqlash formulasi $L=10\lg\left(\frac{I}{I_o}\right)$ dan foydalanamiz. Bitta mashina ishlaganda ishchiga faqat bitta mashina shivqin energiyasi keladi. Bunda qattiqlik

$$L_1=10\lg\left(\frac{I_1}{I_o}\right)=10\lg\left(\frac{2\cdot10^{-7}\frac{W}{m^2}}{10^{-13}\frac{W}{m^2}}\right)=10\lg\left(2\cdot10^6\right)=60+10\cdot\lg2=63\,dB$$

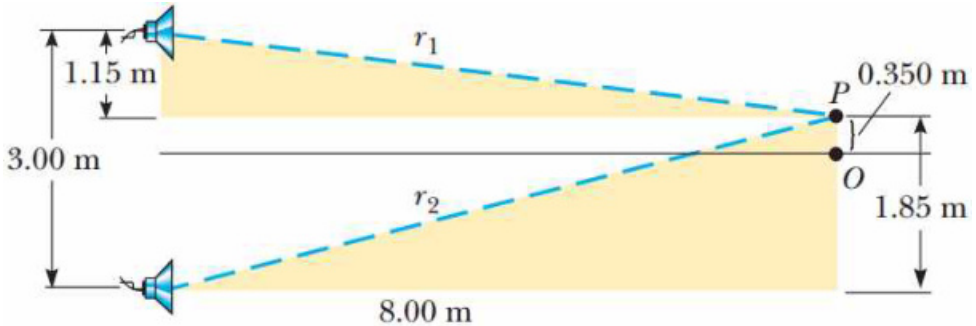
bo‘ladi. Ikkita mashina ishlaganda esa har bir mashinaning tovush energiyasi ishchiga keladi. Shuning uchun bunda qattiqlik

$$L_{um}=10\lg\left(\frac{I_1+I_2}{I_o}\right)=10\lg\left(\frac{4\cdot10^{-7}\frac{W}{m^2}}{10^{-13}\frac{W}{m^2}}\right)=10\lg\left(2\cdot10^6\right)=60+10\cdot\lg4=66\,dB$$

bo‘ladi.

Javob: $L_1=63$ dB; $L_2=66$ dB

3. Bir-biridan 3 m masofada turgan ikkita tovush karnayi bir xil tebranadi. Karnaylarni tutashtiruvchi chiziqning o‘rtasidan 8 m masofada O nuqtada tinglovchi turibdi. Keyin tinglovchi O nuqtadan 0,35 m masofada turgan P nuqtaga tomon yura boshladi (rasmga qarang). P nuqtaga yetganda birinchi minimum tufayli tovush eshitilmay qoldi. Karnaylar qanday chastota bilan tebranmoqda? Tovush tezligi 343 m/s.



SINOV UCHUN BERILGAN

Yechilishi:

P nuqtadan karnaylargacha bo'lgan r_1 va r_2 masofalarni topamiz.

$$r_1 = \sqrt{(8m)^2 + (1{,}15m)^2} = 8{,}08\ m$$

$$r_1 = \sqrt{(8m)^2 + (1{,}85m)^2} = 8{,}21\ m$$

Yo'llar farqini topamiz.

$$\Delta r = r_2 - r_1 = 8{,}21m - 8{,}08m = 0{,}13\ m$$

P nuqtada dastlabki minimum sharti (n=0) bajarilgani uchun minimum shartidan foydalanib karnaylar chiqarayotgan tovush to'lqinlarining uzunligini aniqlaymiz.

$$\Delta r = (2n+1)\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}, \ \rightarrow \ \lambda = 2\Delta r = 0{,}26\ \text{m}$$

Endi tovush to'lqini (ya'ni karnaylarning tebranish) chastotasini aniqlaymiz.

$$\vartheta = \lambda\nu, \ \rightarrow \ \nu = \frac{\vartheta}{\lambda} = \frac{343m/s}{0{,}26m} = 1300\ Gs = 1{,}3\ kGs$$

Javob: *ν=1,3 kGs*

§ 41. **TOVUSH TO'LQINLARIDA DOPPLER EFFEKTI

(qo'shimcha o'qish uchun)

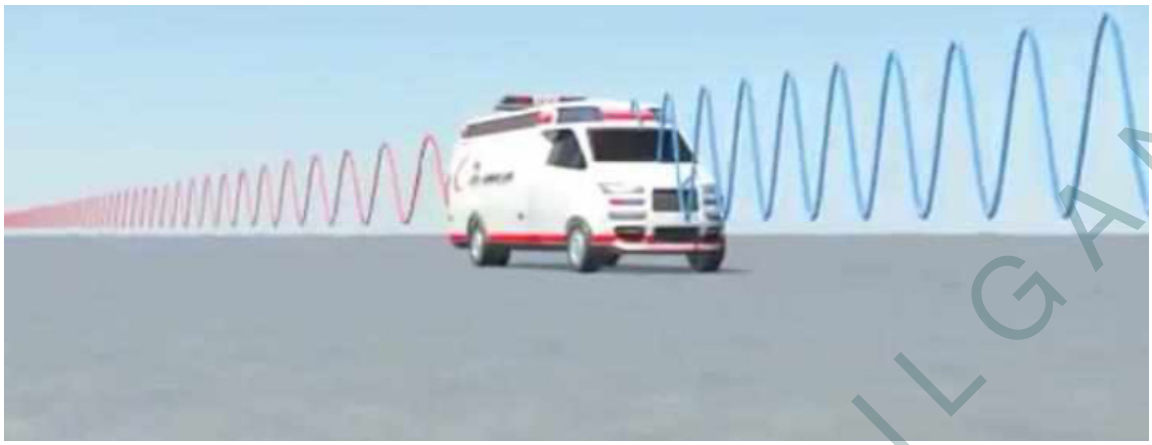
Doppler effekti haqida tushuncha:

Uzoqdan yaqinlashayotgan avtomobil shovqinining yonimizda o'tib uzoqlasha boshlaganda yo'g'onlashishiga ko'p bor guvoh bo'lganmiz. Ayniqsa, uzoqdan sirena siganilini chalib yaqinlashayotgan tez yordam mashinasini kuzatganimizda buni yaqqol sezish mumkin. Yonimizga yaqinlashgunga qadar sirena signali ovozi ingichkaroq, yonimizdan o'tib bizdan uzoqlasha boshlagach esa sirena ovozining birdan yog'onlashganligini payqash mumkin. Bunda dastlab bizga yaqinlashayotganda sirena ovozi chastotasi kattaroq (shuning uchun ovoz ingichkaroq) bo'ladi, so'ngra yonimizdan o'tib yzoqlashishni boshlaganda esa sirena ovozi chastotasi kichikroq (shuning uchun ovoz yo'g'onroq) bo'ladi (41.1-rasm). Tovush chastotasining bunday o'zgarishiga ***Doppler effekti*** deyiladi. Bu effekt nafaqat tovush to'lqinlarida, balki barcha turdagi to'lqinlarda kuzatiladi. Bu effektni birinchi bo'lib, Avstriyalik fizik Iogann Xristian Doppler (1803-1853) 1842 yilda ham tovush to'lqinlari uchun ham yorug'lik to'lqinlari uchun oldindan bashorat qilgan.

To'qin chastotasidagi bunday o'zgarishiga nima sabab bo'lishini ko'rish uchun tasavvur qilingki, siz ochiq dengizdagi langar tashlab qo'yilgan qayiqdasiz (41.2-a,rasm). To'lqining tebranish davri aytaylik *T=3 s* bo'lsin. Bunda to'xtab turgan qayiqning tumshug'iga har *3 s* da to'lqin do'ngligi uriladi. Agar

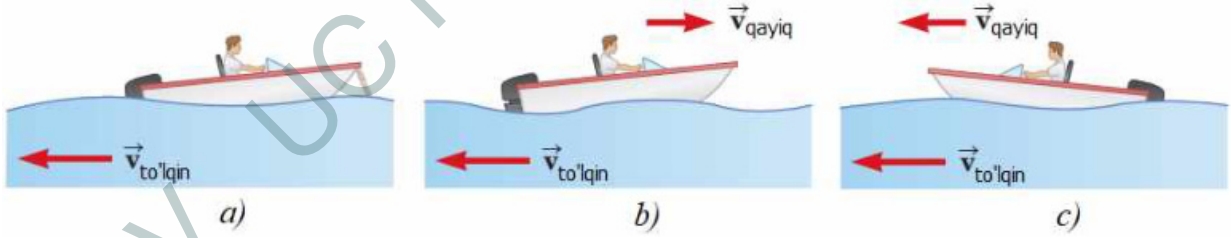
SINOV UCHUN BERILGAN

sekundomeringizni *t=0 s* ga qo‘ysangiz, *t=3 s; t=6 s; t=9 s* va hokoza vaqtlar o‘tganda to‘lqin urilishlarini qayd qilasiz. Bu natijalardan so‘ng to‘lqin chastotasini $\nu = 1/T = 1/(3s) = 0{,}33\ Gs$ deb xulosa qilasiz.



41.1-rasm

Endi siz motorni qo‘shib 41.2-b,rasmdagi kabi to‘lqin kelayotgan tomonga harakat boshladingiz deylik. Sekundomeringizni *t=0 s* ga qo‘ysangiz, *t=3 s; t=6 s; t=9 s* va hokoza vaqtlardan kamroq (masalan, *t=2,5 s; t=5 s; t=7,5 s*) vaqtlarda qayiqning old tomonidan bo‘ladigan urilishlarni qayd etasiz. Chunki bir urilishdan keyin navbatdagi urilishning kelishini kutib o‘tirmasdan kelayotgan do‘nglik tomonga qayiq ham harakat qilmoqda. Boshqacha aytganda, siz kuzatadigan davr qayiq tinch turgandagi *T=3 s* davrga qaraganda qisqaroq bo‘ladi. Bu natijadan esa siz kuzatgan chastota *v=1/T* formulaga binoan qayiq tinch turgandagi *v=0,33 Gs* chastotadan ko‘ra kattaroq (masalan, *T=2,5 s* bo‘lgan hol uchun *v=0,4 Gs*) bo‘ladi.



41.2-rasm

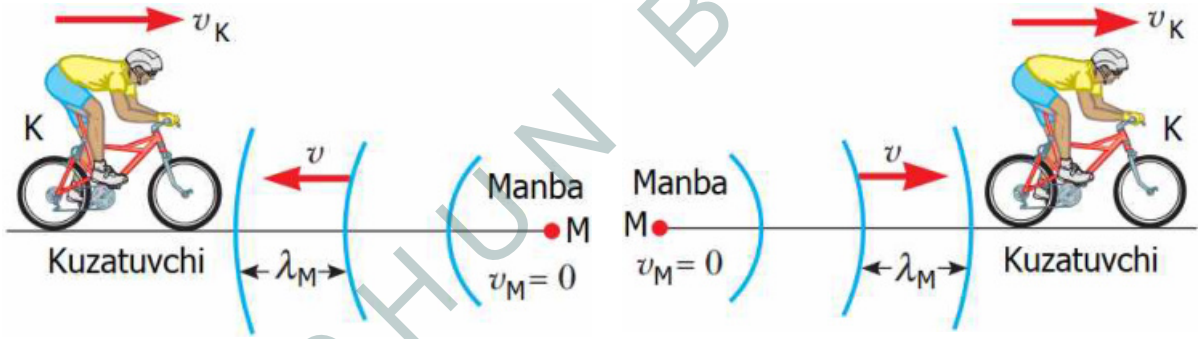
Agar siz qayiqni orqaga burib 4.12-c,rasmdagi kabi to‘lqin bilan mos yo‘nalishda harakat qilsangiz teskari effektga guvoh bo‘lasiz.Agar sekundomeringizni *t=0 s* ga qo‘ysangiz, *t=3 s; t=6 s; t=9 s* va hokoza vaqtlardan ko‘proq (masalan, *t=4 s; t=8 s; t=12 s*) vaqtlarda qayiqning orqa tomonidan bo‘ladigan urilishlarni qayd etasiz. Chunki bir urilishdan keyin navbatdagi urilishigacha harakat yo‘nalishida siljiganingiz hisobiga keyingi kelayotgan do‘nglikning qayiq orqasidan quvib yetib urilish vaqti biroz uzayadi. Boshqacha aytganda, siz kuzatadigan davr qayiq tinch turgandagi *T=3 s* davrga qaraganda uzunroq bo‘ladi. Bu natijadan esa siz kuzatgan chastota *v=1/T* formulaga binoan qayiq tinch turgandagi *v=0,33 Gs* chastotadan ko‘ra kichikroq (masalan, *T=4 s* bo‘lgan hol uchun *v=0,25 Gs*) bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqorida tanishgan 4.12-rasmdagi effektlarning paydo bo‘lishiga asosiy sabab qayiq va to‘lqin orasidagi nisbiy tezlikning to‘lqin tarqalish tezligidan kattaroq yoki kichikroq bo‘lishidir.

Manba tinch, kuzatuvchi harakatda bo‘lgan hol uchun Doppler effekti:

Endi yuqoridagiga o‘xshash holda tovush to‘lqinlarida qanday effektlar kuzatilishini qaraylik. Bunda suvdagi to‘lqinni tovush to‘lqini bilan, suvni havo bilan hamda qayiqdagi kuzatuvchini velosipeddagi bayker bilan almashtiramiz. Dastlab *K* kuzatuvchini harakatda, tovush to‘lqini hosil qiluvchi *M* manbani tinch deb qaraymiz (41.3-rasm). K kuzatuvchi harakatini ham ikki xil yo‘nalishda olish mumkin: a) kuzatuvchi manba tomonga harakatlanadi (41.3-a,rasm); b) kuzatuvchi manbadan uzoqlashish tomonga harakatlanadi (41.3-b,rasm). Tinch bo‘lgan *M* tovush manbai hosil qilgan tovush to‘lqinlari shamol bo‘lmagan bir jinsli muhit – havoda tarqaladi deb faraz qilamiz. Shu tufayli tovush manbai nuqtaviy manba bo‘ladi, tovushning barcha yo‘nalishlarda radial tarqalish tezligi bir xil bo‘ladi hamda tovush manbadan sferik tarzda tarqaladi. 41.3-rasmda sferik to‘lqinning rasm tekisligi bilan kesishimasi tasvirlangan.



a) *b)*

41.3-rasm

Biz tinch turgan *M* manba hosil qilgan tovush to‘lqinining chactotasini ν deb, to‘lqin uzunligini λ deb hamda tovush tezligini ϑ deb olaymiz.Agar kuztuvchi ham tinch turganda edi u ν chactotali tovushni qayd qilgan bo‘lar edi. Boshqacha aytganda $\vartheta_K=0$ hamda $\vartheta_M=0$ bo‘lganda qayd etilgan chastota tovush to‘lqinining chastotasiga teng bo‘lar ekan. Kuzatuvchi manba tomonga harakatlanganda to‘lqinning kuzatuvchiga nisbatan tezligi $\vartheta' = \vartheta + \vartheta_K$ bo‘ladi (41.2-a,rasm). Bu holni 41.2-b,rasmga qiyoslash mumkin. Ikkala holda ham to‘lqin uzunligi λ o‘zgarmas hamda nisbiy tezlik kuzatuvchi va to‘lqin tezliklari yig‘indisiga teng bo‘ladi. To‘lqin tezligi uchun $\vartheta = \lambda\nu$ formuladan foydalanganimiz kabi kuzatucvhining nisbiy harakati uchun $\vartheta' = \lambda\nu'$ formuladan foydalanamiz. Bulardan esa *K* kuzatuvchi qayd etadigan chastotani (ya’ni ko‘rinma chastotani) keltirib chiqaramiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\lambda} = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\lambda} = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\frac{\vartheta}{\nu}} = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta}\nu$$

Shunday qilib, 41.3-b,rasmdagi tasvirlangan hola uchun kuzatuvchi qayd etadigan chastota quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\vartheta}\nu = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta}\nu \qquad (41.1)$$

Kuzatuvchi 41.3-b,rasmdagi kabi tovush manbaidan uzoqlashayotgan holda tovush to‘lqinining kuzatuvchiga nisbatan tezligi $\vartheta' = \vartheta - \vartheta_K$ bo‘ladi. Shuning uchun ham bunda kuzatuvchi qayd etadigan chastota

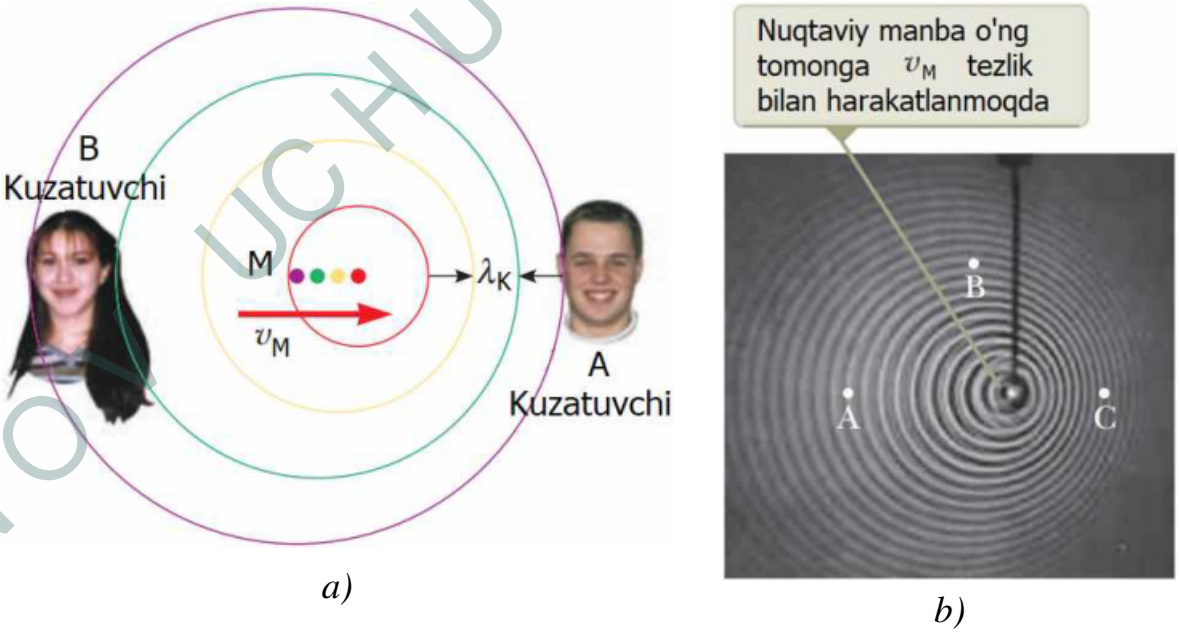
$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\vartheta}\nu = \frac{\vartheta - \vartheta_K}{\vartheta}\nu \qquad (41.2)$$

bo‘ladi. Yuqorida keltirib chiqarilgan ikkita formuladan shunday xulosalar qilish mumkin:

agar kuzatuvchi tovush manbaiga yaqinlashayotgan bo‘lsa, tezlashgan (kattaroq) chastotani qayd etadi va tovush ingichkalashgandek bo‘lib eshitiladi;

agar kuzatuvchi tovush manbaidan uzoqlashayotgan bo‘lsa, sekinlashgan (kichikroq) chastotani qayd etadi va tovush yo‘g‘onlashgandek bo‘lib eshitiladi.

Kuzatuvchi tinch, manba harakatda bo‘lgan hol uchun Doppler effekti:



a) *b)*

41.4-rasm

K kuzatuvchi tinch bo‘lib, *M* manba harakatlanayotgan holni qaraylik (41.4-a,rasm). *M* manba *A* kuzatuvchi tomonga harakat qilayotganda manba galdagi yangi to‘lqinni oldingisini chiqargan nuqtadan o‘ng tomondagi nuqtadan chiqaradi. Natijada *A* kuzatuvchi to‘lqin frontlari orasini manba harakatsiz bo‘lgandagiga nisbatan qisqargandek qilib qayd etadi (xuddi shunday holat suv yuzida

SINOV UCHUN BERILGAN

tarqalayotgan to‘lqin uchun 41.4-b,rasmda yaqqol tasvirlangan. Bunda C nuqta manba eng yaqindek, A nuqta esa eng uzoqdek ko‘rinsa-da, lekin ular bitta to‘lqin frontiga tegishlidir, ya’ni ular manbadan ayni bir vaqtda chiqarilgan to‘lqin sirtiga tegishli nuqtalardir). Shuning uchun ham A kuzatuvchi qayd etgan to‘lqin uzunlik λ' M manba chiqargan to‘lqin uzunlik λ dan ko‘ra qisqaroq bo‘ladi. T vaqt (tebranish davri) davom etadigan har bir tebranishda M manba $\vartheta_M T = \frac{\vartheta_M}{\nu}$ masofaga suriladi va to‘lqin uzunligi shuncha miqdorga kamayadi. Natijada esa A kuzatuvchi tomonidan qayd etiladigan λ' to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \lambda - \frac{\vartheta_M}{\nu}$$

Bu yerda tovush to‘lqinini $\lambda = \frac{\vartheta}{\nu}$ ekanini e’tiborga olsak, yuqoridagi formulani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \frac{\vartheta}{\nu} - \frac{\vartheta_M}{\nu} = \frac{\vartheta - \vartheta_M}{\nu} = \frac{\vartheta - \vartheta_M}{\frac{\vartheta}{\lambda}} = \frac{\vartheta - \vartheta_M}{\vartheta}\lambda$$

A kuzatuvchi qayd etadigan chastota esa ushbu

$$\nu' = \frac{\vartheta}{\lambda'} = \frac{\vartheta}{\frac{\vartheta - \vartheta_M}{\nu}} = \frac{\vartheta}{\vartheta - \vartheta_M}\nu$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

Shunday qilib, M tovush manbai A kuzatuvchiga tomon harakatlanganda A kuzatuvchi tomonidan qayd etiladigan to‘lqin uzunlik hamda chastota quyidagi formulalardan aniqlanar ekan:

$$\lambda' = \frac{\vartheta - \vartheta_M}{\vartheta}\lambda, \qquad \nu' = \frac{\vartheta}{\vartheta - \vartheta_M}\nu \tag{41.3}$$

Demak, bunda A kuzatuvchi to‘lqinni qisqargandek, chastotani esa tezlashgandek qilib qaydetar ekan.

Endi esa 41.4-a,rasmdagi B kuzatuvchi nimani qayd etadi degan savol tug‘iladi. Bunda M manba B kuzatuvchidan uzoqlashyotgan bo‘lgani uchun har bir T davrda M manba $\vartheta_M T = \frac{\vartheta_M}{\nu}$ masofaga o‘ngga suriladi va to‘lqin uzunligi shuncha miqdorga ortadi. Natijada esa B kuzatuvchi tomonidan qayd etiladigan λ' to‘lqin uzunligi hamda ν' chastota

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda = \frac{\vartheta}{\nu} + \frac{\vartheta_M}{\nu} = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\nu} = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\frac{\vartheta}{\lambda}} = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\vartheta}\lambda$$

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\nu' = \frac{\vartheta}{\lambda'} = \frac{\vartheta}{\frac{\vartheta + \vartheta_M}{\nu}} = \frac{\vartheta}{\vartheta + \vartheta_M}\nu$$

ko‘rinishda bo‘ladi:

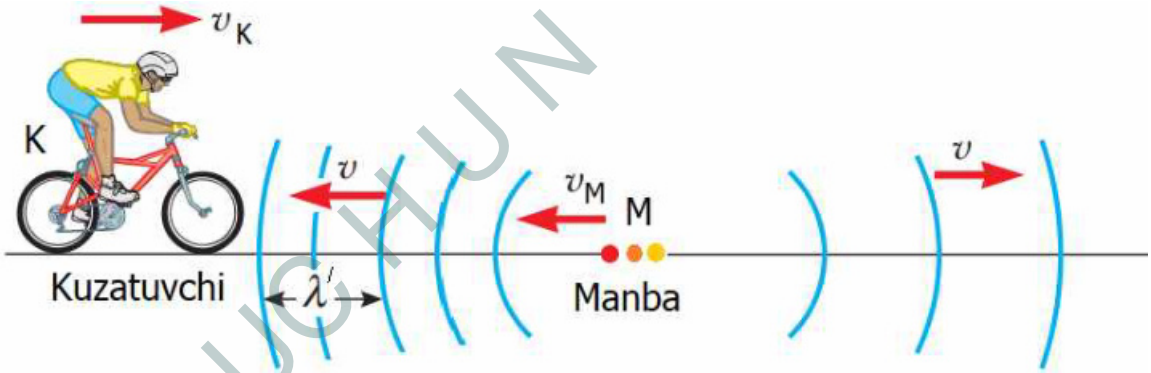
Shunday qilib, *M* tovush manbai *B* kuzatuvchiga tomon harakatlanganda *B* kuzatuvchi tomonidan qayd etiladigan to‘lqin uzunlik hamda chastota quyidagi formulalardan aniqlanar ekan:

$$\lambda' = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\vartheta}\lambda, \qquad \nu' = \frac{\vartheta}{\vartheta + \vartheta_M}\nu \tag{41.4}$$

Demak, bunda *B* kuzatuvchi to‘lqinni uzaygandek, chastotani esa sekinlashgandek qilib qaydetar ekan.

Umumiy holda mexanik to‘lqinlar uchun Doppler effekti:

Eng umumiy bo‘lgan hol – kuzatuvchi ham tovush manbai ham harakatlanayotgan holni qaraylik. Bu umumiy holni yuqorida birma-bir tanishib o‘tgan ikkita holat, ya’ni manba tinch, kuzatuvchi harakatda bo‘lgan holat hamda kuzatuvchi tinch manba harakatda bo‘lgan holatlarning birgalikdagi kombinatsiyasi deb qarash mumkin.



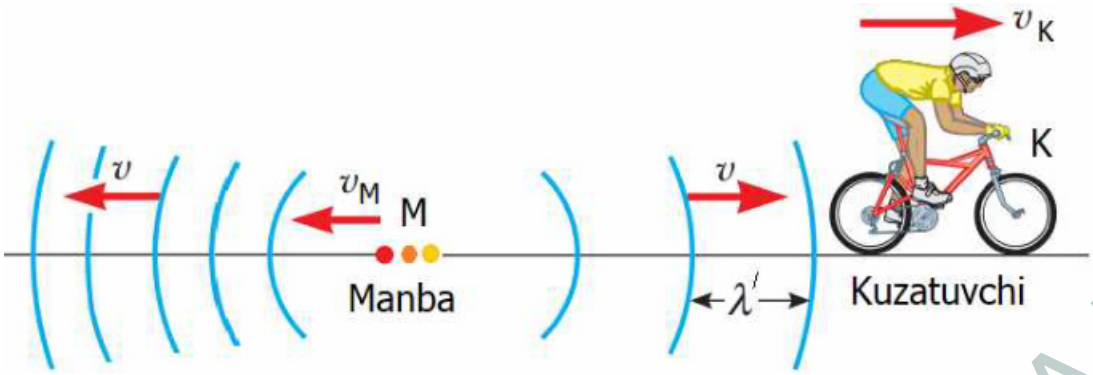
41.5-rasm

41.3-a,rasmda *K* kuzatuvchi va *M* manba uchun ham 41.4-a,rasmda *A* kuzatuvchi va *M* manba uchun ham umumiy bo‘lgan narsa – bu ularning nisbiy yaqinlashuvidir. Shuning uchun bir-biriga tomon harakatlanayotgan kuzatuvchi va tovush manbai uchun qayd etiladigan chastota va to‘lqin uzunlikni quyidagicha ifodalsh mumkin (41.5-rasm):

$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\vartheta - \vartheta_M}\nu = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta - \vartheta_M}\nu, \qquad \lambda' = \frac{\vartheta - \vartheta_M}{\vartheta}\lambda \tag{41.5}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, kuzatuvchi qayd etadigan to‘lqin uzunlikning qisqarishi kuzatuvchning harakatlanayotgani yoki tinch turganiga bog‘liq emas ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

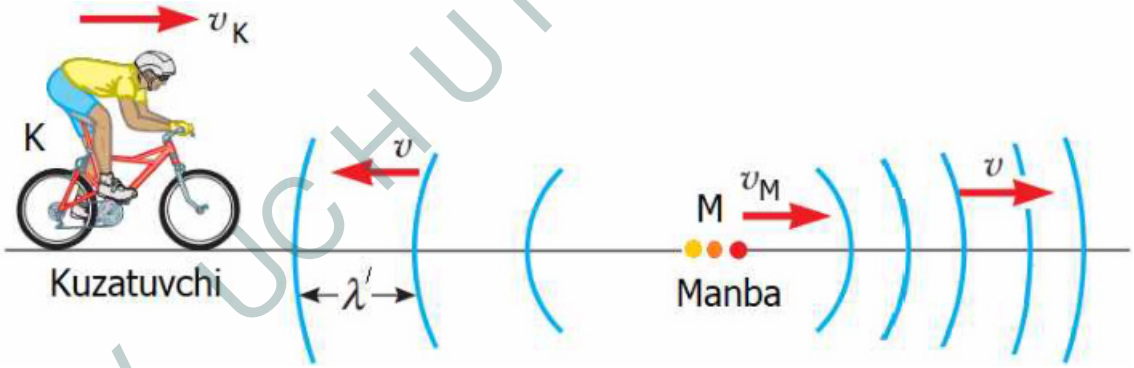


41.6-rasm

41.3-b,rasmda *K* kuzatuvchi va *M* manba uchun ham 41.4-a,rasmda *B* kuzatuvchi va *M* manba uchun ham umumiy bo‘lgan narsa – bu ularning nisbiy uzoqlashuvidir. Shuning uchun qarama-qarshi tomonga harakatlanayotgan kuzatuvchi va tovush manbai uchun qayd etiladigan chastota va to‘lqin uzunlikni quyidagicha ifodalsh mumkin (41.6-rasm):

$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\vartheta + \vartheta_M}\nu = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta + \vartheta_M}\nu, \qquad \lambda' = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\vartheta}\lambda \tag{41.6}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, kuzatuvchi qayd etadigan to‘lqin uzunlikning uzayishi kuzatuvchning harakatlanayotgani yoki tinch turganiga bog‘liq emas ekan.



41.7-rasm

Endi 41.7-rasmdagi kabi kuzatuvchi va manba bir xil yo‘lishda harakat qilayotgandagi hol uchun Doppler effekti qanday ko‘rinishda bo‘lishini qarab ko‘raylik. Bunda qayd etiladigan qayd etiladigan chastota va to‘lqin uzunlikni quyidagicha ifodalsh mumkin (41.7-rasm):

$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\vartheta - \vartheta_M}\nu = \frac{\vartheta - \vartheta_K}{\vartheta - \vartheta_M}\nu, \qquad \lambda' = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\vartheta}\lambda \tag{41.7}$$

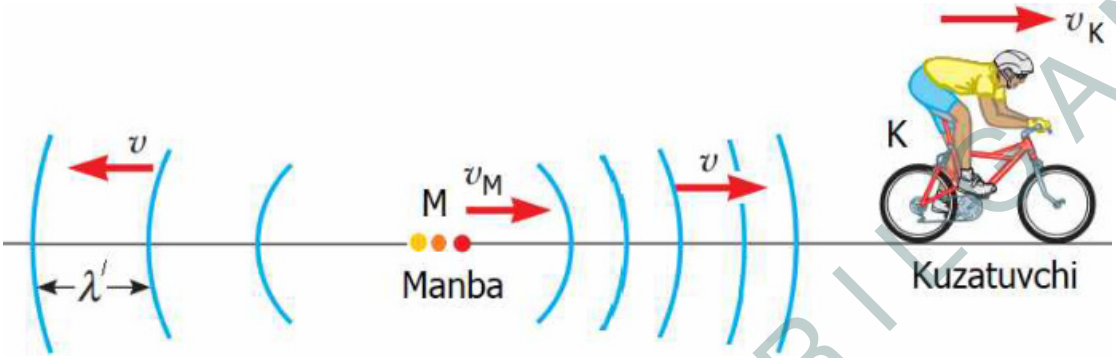
Bunda o‘z navbatida yana quyidagi 3 holni qarab ko‘rish mumkin:

a) kuzatuvchining tezligi manba tezligidan katta ($\vartheta_K > \vartheta_M$), bunda kuzatuvchi tobora manbaga yaqinlashib boradi, qayd etiladigan chastota manba tarqatadigan chastotadan kichik ($\nu' < \nu$) bo‘ladi;

SINOV UCHUN BERILGAN

b) kuzatuvchining va manba tezligi o‘zaro teng ($\vartheta_K = \vartheta_M$), bunda kuzatuvchi va manbaning nisbiy vaziyati o‘zgarmaydi, qayd etiladigan chastota hamda manba tarqatadigan chastotalar o‘zaro teng ($\nu' = \nu$) bo‘ladi;

c) kuzatuvchining tezligi manba tezligidan kichik ($\vartheta_K < \vartheta_M$), bunda kuzatuvchi tobora manbadan uzoqlashib boradi, qayd etiladigan chastota manba tarqatadigan chastotadan katta ($\nu' > \nu$) bo‘ladi;



41.8-rasm

Endi 41.8-rasmdagi kabi kuzatuvchi va manba bir xil yona‘lishda harakat qilayotgandagi hol uchun Doppler effekti qanday ko‘rinishda bo‘lishini qarab ko‘raylik. Bunda qayd etiladigan qayd etiladigan chastota va to‘lqin uzunlikni quyidagicha ifodalsh mumkin (41.8-rasm):

$$\nu' = \frac{\vartheta'}{\vartheta + \vartheta_M}\nu = \frac{\vartheta - \vartheta_K}{\vartheta + \vartheta_M}\nu, \qquad \lambda' = \frac{\vartheta + \vartheta_M}{\vartheta}\lambda \tag{41.8}$$

Bunda kuzatuvchi va manbaning tezliklari miqdor jihatidan bir-biridan katta yoki kichik bo‘lishidan qat’iy nazar baribir, kuzatuvchi qayd etadigan chastota manba chastotasidan kichik ($\nu' < \nu$) bo‘ladi.

Endi esa yuqorida ko‘rib chiqgan barcha xususiy hollarni umumlashtirib jadval ko‘rinishida yozamiz.

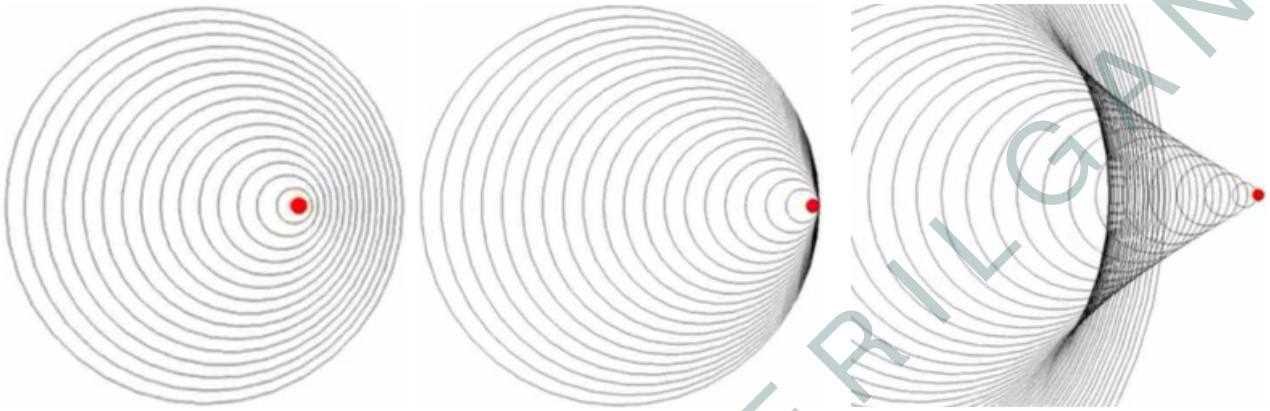
41.1-jadval

Doppler siljishi $\nu' = \frac{\vartheta \pm \vartheta_K}{\vartheta \mp \vartheta_M}\nu$	Kuzatuvhchi tinch turibdi	Kuzatuvhchi manba tomonga harakatlanmoqda	Kuzatuvhchi manbadan uzoqlashmoqda
Manba tinch turibdi	$\nu' = \nu$	$\nu' = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta}\nu$	$\nu' = \frac{\vartheta - \vartheta_K}{\vartheta}\nu$
Manba kuzatuvhchi tomonga harakatlanmoqda	$\nu' = \frac{\vartheta}{\vartheta - \vartheta_M}\nu$	$\nu' = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta - \vartheta_M}\nu$	$\nu' = \frac{\vartheta - \vartheta_K}{\vartheta - \vartheta_M}\nu$
Manba kuzatuvhchidan uzoqlashmoqda	$\nu' = \frac{\vartheta}{\vartheta + \vartheta_M}\nu$	$\nu' = \frac{\vartheta - \vartheta_K}{\vartheta + \vartheta_M}\nu$	$\nu' = \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta + \vartheta_M}\nu$

SINOV UCHUN BERILGAN

Tovushdan tez harakat. Zarb to‘lqini:

Biz yuqorida tanishib chiqgan barcha hollarda to‘lqin manbaining harakat tezligi to‘lqin tezligidan kichik bo‘lgan hol uchundir. Chunki, biz kundalik turmushda va texnikada uchratadigan tezlik – velosiped, motosikl, avtomobil, poyezd va samolyot tezliklari *5 – 200 m/s* tezlik oralig‘ida bo‘lib, ularning hammasi tovush tezligi *340 m/s* ga qaraganda kichikroqdir.

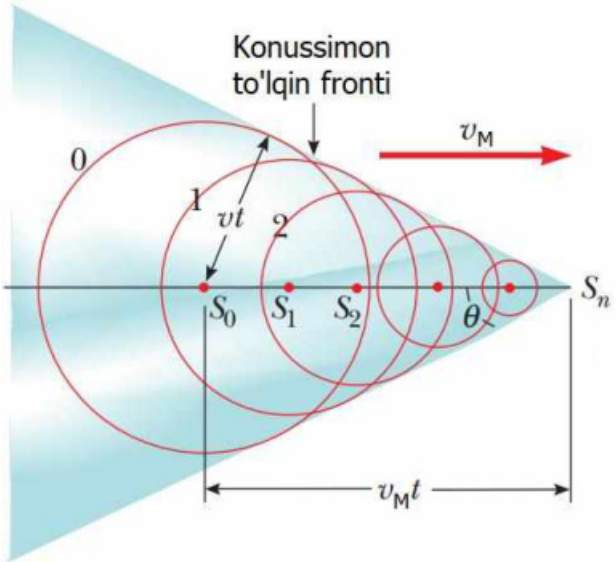


a) *b)* *c)*

41.8-rasm

Endi shunday savol tug‘ilishi tabiiy: agar to‘lqin manbasining tezligi to‘lqinning tarqalish tezligiga teng bo‘lsa yoki undan katta bo‘lsa nima hodisa ro‘y beradi? 41.8-rasmda xuddi shunday holat tasvirlangan bo‘lib, dastlab to‘lqinning tarqalish tezligiga qaraganda manbaning tezligi kichik (41.8-a,rasm), teng (41.8-b,rasm) va katta (41.8-c,rasm) bo‘lgan hollarda to‘lqin shakli tasvirlangan.

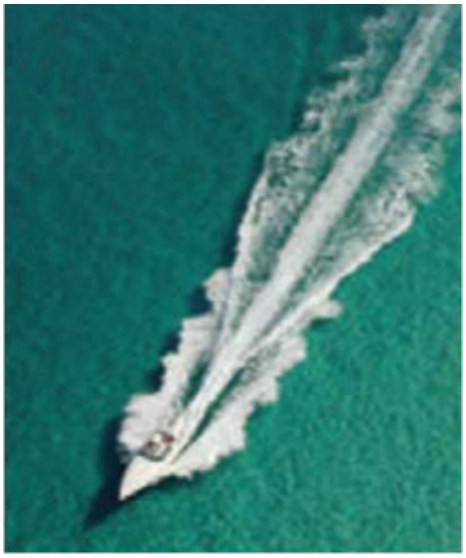
Endi to‘lqinning tarqalish tezligi to‘lqin manbaining tezligidan katta bo‘lgan holat bilan batafsil tanishib chiqaylik. Ixtiyotit *t=0* vaqtda S_0 nuqtada bo‘lgan manba o‘ng tomonga tekis harakatlanayotgan bo‘lsin. Biroz vaqtdan keyin bu manba S_1 nuqtada, keyinroq esa S_2, S_3, ..., S_n nuqtalarda bo‘lsin (41.9-rasm). S_0 nuqtadan tarqalgan to‘lqin fronti t vaqtda ϑt radiusli sfera sirtida bo‘ladi. Bu vaqt oralig‘ida to‘lqin manbai $\vartheta_M t$ masofaga siljigan bo‘ladi. 41.9-rasmda to‘g‘ri chiziqlar barcha nuqtalardan tarqalgan to‘lqin frontlari yetib kelgan sirtlarga urinma ekanligiga e’tib qilaylik. Bunda barcha to‘lqin sirtlarining uchidagi yarim burchagi θ bo‘lgan konus ichida joylashganligiga guvoh bo‘lamiz. Burchak sinusidan foydalanamiz.



41.9-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\sin\theta = \frac{\vartheta t}{\vartheta_M t} = \frac{\vartheta}{\vartheta_M} \qquad (41.9)$$



a)



b)

41.10-rasm

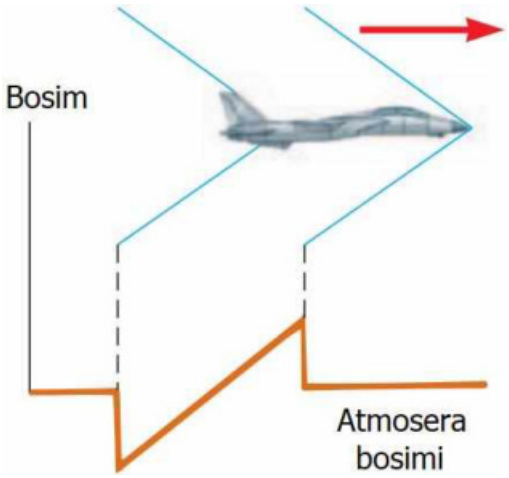
Yuqoridagi formuladan ϑ_M/ϑ nisbatni aniqlaydigan bo‘lsak, bu nisbat o‘lchamsiz kattalik bo‘lib, uni ***max soni*** deb ataladi. Max soni birdan kattta bo‘lganda manba tezligi tovush tezligidan katta bo‘ladi va biz uchun $\frac{\vartheta_M}{\vartheta} > 1$ bo‘lgan holat ahamiyatlidir. Max soni birdan kattta bo‘lganda to‘lqin fronti zarbali to‘lqin deb ataluvchi to‘lqin hosil qiladi. Bu to‘lqin V-simon to‘lqin deb yoki konusli to‘lqin deb ham ataladi. Max soni ortib borgan sari konusning uchi shunchalik o‘tkirlashib boradi.

Hozirgi zamonaviy harbiy aviatsiyada harbiy raketalarning max soniga katta e’tibor qaratilmoqda. Masalan, Rossiya Federatsiyasi ishlab chiqargan SU-27, SU-34, SU-57, MIG-31 kabi AQSh ning F-21 va F-35 kabi harbiy raketalarining tezligi *3 – 6 max* oralig‘ida bo‘ladi. Undan tashqari Rossiya Federatsiyasining qit’alararo o‘ta tez uchuvchi Avangard raketasi *20 max* tezlikkacha erishishi mumkin. Bu harbiy raketalarning barchasini tovushdan tez uchar raketalar deb ataladi.

41.10-a,rasmda kema tezligi suv yuzida tarqaladigan to‘lqin tezligidan bir necha marta katta bo‘lganda hosil bo‘lgan konusli to‘lqin (zarbali to‘lqin) tasvirlangan. 41.10-b,rasmda esa tovushdan tez uchayotgan o‘qning atrofida hosil qiladigan konusli to‘lqinining stroboskopik tasviri berilgan. Bu yerda o‘qning harakati tufayli hosil bo‘lgan konusli to‘lqin qanday qilib rasmga olindi, axir havo ko‘zga ko‘rinmaydiku degan savol tug‘ilishi tabiiydir. Buni 41.11-rasmdagi tovushdan tez uchar raketa misolida o‘rganaylik. 41.11-a,rasmda samolyot burni hamda dumidagi qanotlari tufayli ikkita konusli to‘lqin hosil bo‘lishi tasvirlangan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Undan tashqari qanotlar atrofida havo bosimining keskin o‘zgarishlari tasvirlangan. Mana shu keskin o‘zgarishlar tufayli havo tarkibidagi suv bug‘larining kondensatsiyalanishi ro‘y beradi. Natijada mayda-mayda suv tomchilari paydo bo‘lib, raketaning dum qismida oqish tuman shaklini hosil qiladi (41.11-b,rasm).



a)


b)

41.11-rasm

Zarbali to‘lqin (konusli to‘lqin) jismlarga yetib borganda ularga katta kuch bilan ta’sir qiladi. Masalan, raketa yonimizdan uchib o‘tganda quloqlarni teshguday yoqimsiz shovqin hosil qilsa, undan tashqati shamolga o‘xshash kuch bilan ham ta’sir qiladi. Ba’zida esa bu zarbali to‘lqin juda ham vayronkor kuchga ega bo‘ladi. Katta miqdordagi dinamit yoki ximiyaviy bombalar portlaganda hosil bo‘lgan zarbali to‘lqin tufayli 3 – 5 km uzoqlikdagi binolarning deraza oynalari to‘kilib tushish mumkin. Yadro bombalari portlaganda esa hosil bo‘lgan nurlanishlardan ko‘ra zarbali to‘lqin vayronkorroq bo‘ladi. Bunda hosil bo‘lgan zarbali to‘lqin zarbidan portlash nuqtasidan 20 km uzoqlikdagi daraxtlat ildizi bilan qo‘porilib ketishi mumkin. Bunda hattoki avtomobillar va avtobuslarning kuzovidagi rang-bo‘yoqlar ham xuddi gilam qoqganda ajraladigan chang kabi kukunga aylanib ketadi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Avtomobil uzoqdan yaqinlashayotganda va yoningizdan o‘tib ketgandan keyin uning ovozida qanday o‘zgarish bo‘ladi?*
2. *Doppler effekti nima? Bu effekt qachon sodir bo‘ladi?*
3. *Manba tinch bo‘lib, faqat kuzatuvchi harakatlangan hol uchun Doppler siljishini yozib bering.*
4. *Kuzatuvchitinch bo‘lib, faqat manba harakatlangan hol uchun Doppler siljishini yozib bering.*
5. *Manba va kuzatuvchi bir-biriga qarab harakatlangan hol uchun Doppler siljishini yozib bering.*
6. *Manba va kuzatuvchi bir-biridan qarab harakatlangan hol uchun Doppler*

SINOV UCHUN BERILGAN

siljishini yozib bering.

7. *Zarbali to‘lqinnima? U qachon hosil bo‘ladi? Bu to‘lqin yana qanday nomlanadi?*
8. *Max soni nima?Zamonaviy harbiy raketalarda uning qiymati qanday?*
9. *Nima uchun tovushdan tez uchar raketalar ortida oqish tuman hoail bo‘ladi?*
10. *Zarbali to‘lqinning vayronkor xususiyatlarini aytib bering.*

Masala yechish:

1. *Chastotasi 500 Hz bo‘lgan tovush chiqarayotgan poyezd 40 m/s tezlik bilan kuzatuvchiga tomonga harakatlanmoqda. Kuzatuvchi uchun tuyulma chastota qanday? Havo temperaturasi 24⁰C.*

Berilgan	Yechilishi
$\nu=500\ Hz$	Absalyut temperaturani aniqlaymiz.
$\vartheta_M=40\ m/s$	$T = t + 273 = 24 + 273 = 297\ K$
$t=24^0C$	Tovushning havoda tarqalish tezligini aniqlaymiz.
$\nu_K=?$	

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{1{,}4 \cdot 8{,}31 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 297K}{29 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}}} = 345\ \frac{m}{s}$$

Endi kuztuvchi tinch va manba kuzatuvchiga yaqinlashayotgan hol uchun keltirib chiqarilgan formuladan foydalanib kuzatuvchi qayd etadigan (tuyulma) chastotani aniqlaymiz.

$$\nu' = \frac{\vartheta}{\vartheta - \vartheta_M}\nu = \frac{345\frac{m}{s}}{345\frac{m}{s} - 40\frac{m}{s}} \cdot 500Gs = 565{,}6\ Hz$$

Javob: $\nu_K=565{,}6\ Hz$

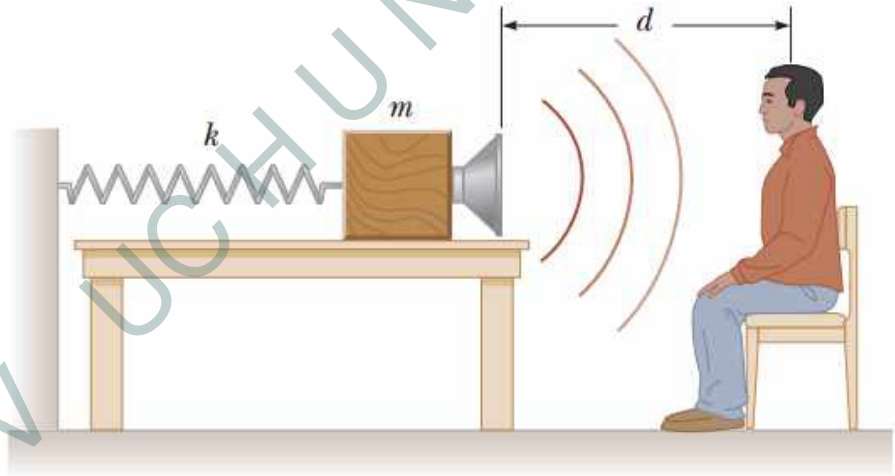
2. *Ertalab tongda soatning uyg‘otuvchi signali yoqildi va 600 Gs chastota bilan jiringlashni boshladi. Uyqusini qizg‘angan o‘quvchi soatni o‘chirib qo‘yib yana uxlamoqchi b‘oldi. Lekin, soatning signalni o‘chiruvchi tugmasi ishdan chiqqanligi sababli o‘chmasdan jiringlashni davom etdi. Shunda jahli chiqqan o‘quvchi soatni 15 m balandlikdagi to‘rtinchi qavat derazasidan uloqtirdi. O‘quvchi soatning yer sirtiga urilishdan oldingi jiringlash ovozini qanday chastota bilan eshitadi? Tovush tezligini 343 m/s erkin tushish tezlanishini 9,8 m/s^2 deb oling.*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	Yechilishi
$\nu=600\ Hz$ $\vartheta=343\ m/s$ $h=15\ m$ $g=9,8\ m/s^2$ $\nu_K=?$	Soat yerga tushayotganda kuzatuvchidan uzoqlashuvchi manba vazifasini o‘taydi. Soatning yerga urilish tezligi bizga kinematikadan tanish bo‘lgan formula bilan aniqlanadi. $$\vartheta_{tush}=\sqrt{2gh}=\sqrt{2\cdot 9,81\frac{m}{s^2}\cdot 15m}\approx 17\frac{m}{s}=\vartheta_M$$ Endi o‘quvchi uchun tuyulma chastotani aniqlaymiz. $$\nu'=\frac{\vartheta}{\vartheta+\vartheta_M}\nu=\frac{343\frac{m}{s}}{343\frac{m}{s}+17\frac{m}{s}}\cdot 600\,Gs\approx 571,7\ Hz$$

Javob: $\nu_K=571,7\ Hz$

3. *Stolning silliq ustida turgan kolonka bikrligi k=20 N/m bo‘lgan prujina orqali vertikal devorga rasmdagi kabi mahkamlangan. Kolonka va prujinananing birgalikdagi massasi m=5 kg ga teng bo‘lib, prujina elastikligi tufayli kolonka A=0,5 m amplituda bilan erkin tebranmoqda. Kolonka ν=440 Gs ga teng monochastotali tovush chiqaradi. Kuzatuvchi qabul qiladigan eng katta va eng kichik tuyulma chastotalarni aniqlang.*



Berilgan	Yechilishi
$\nu=440\ Gs$ $A=0,5\ m$ $m=5kg$ $k=20\ N/m$ $\nu'_{max}, \nu'_{min}=?$	Prujina o‘z tebranishi davomida faqat muvozonat vaziyatidan o‘tish onidagina maksimal tezlikka erishadi. Tezlikning bu qiymatiga amplitda deyiladi va u quyidagicha bo‘ladi: $$\vartheta_{max}=A\sqrt{\frac{k}{m}}=0,5m\cdot\sqrt{\frac{20\,N/m}{5kg}}=1\frac{m}{s}$$

Prujina tebranma harakati tufayli kuzatuvchiga yaqinlashishi yoki undan uzoqlashishi mumkin. Kuzatuvchi qabul qiladigan tuyulma chastotaning qiymati kolonka yaqinlashayotganda eng katta, uzoqlashayot-

SINOV UCHUN BERILGAN

ganda esa eng kichik bo'ladi. Tuyulma chastotaning ana shu qiymatlarini aniqlaymiz. Tovush tezligini 340 m/s deb oling.

$$\nu'_{max} = \frac{\vartheta}{\vartheta - \vartheta_{max}}\nu = \frac{340\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s} - 1\frac{m}{s}} \cdot 440\,Gs = 441{,}3\ Gs$$

$$\nu'_{min} = \frac{\vartheta}{\vartheta + \vartheta_{max}}\nu = \frac{340\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s} + 1\frac{m}{s}} \cdot 440\,Gs = 538{,}7\ Gs$$

Javob: $\nu'_{max} = 441{,}3\ Gs$, $\nu'_{min} = 438{,}7\ Gs$

V BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 7.

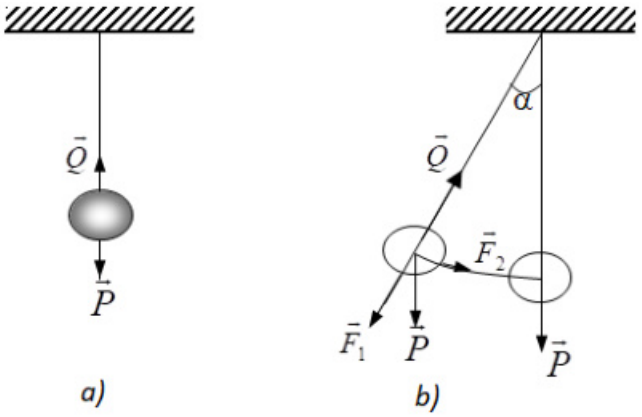
Matematik mayatnik qonuniyatini tekshirish va mamatematik mayatnik yordamida erkin tushish tezlanishini aniqlash.

Ishning maqsadi: Erkin tushish tezlanishini matematik mayatnik yordamidaaniqlash usulini o'rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: Matematik mayatnik, uzunlik o'lchagich, vaqt o'lchaydigan asbob „sekundomer".

NAZARIY QISM

Mayatnikning harakat qilmayotgan holati mayatninkning muvozanat vaziyati deyiladi (1 – rasm, a). Mayatnikni muvozanat vaziyatidan uncha katta bo'lmagan α burchakka og'dirib, uni qo'yib yuborsak, u muvozanat vaziyati atrofida tebranma harakat qila boshlaydi (1- chizma, b).



1-rasm

Mayatnikning bir marta to'liq tebranish uchun ketgan vaqtga **tebranish davri** deb ataladi va uni T bilan belgilanadi.

Agar biror *t* vaqt ichida mayatnik *N* marta tebransa to'liq bir marta tebranishi uchun ketgan vaqt, ya'ni tebranish davri quyidagicha hisoblanadi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$T = \frac{t}{N} \qquad (1)$$

SI sistemasida tebranish davri sekundlarda o‘lchanadi.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (2)$$

(2) ifodaga ko‘ra erkin tushish tezlanishi g ni aniqlash uchun quyidagi tenglikka ega bo‘lamiz:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \qquad (3)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Ipni imkoni boricha uzunroq holatda mahkamlab, uning uzunligi o‘lchanadi. Olingan natijani jadvalga yoziladi. l_1=…m.
2. Sekundomer ko‘rsatkichi nol holatiga keltiriladi.
3. Sharchani muvozanat vaziyatidan uncha katta bo‘lmagan burchakka og‘dirib, u harakatga keltiriladi. Shu sekundomer ishga tushiriladi.
4. Matematik mayatnikning tebranishlar soni sanaladi. Mayatnik N_1 = 30 marta tebranganda sekundomer to‘xtatiladi.

7. Sekundomer ko‘rsatishi qayd etiladi va jadvalga yoziladi.t_1 =…s.
8. (1) ifodaga ko‘ra l_1 uzunlikdagi mayatnikning tebranish davri T_1 = … s. hisoblanadi.
9. (3) ifodaga ko‘ra erkin tushish tezlanishi hisoblanadi. g = … m/s^2.
10. Mayatnik ipining uzunligini o‘zgartirmasdan tebranishlar soni N_2 = 40 ta va N_3 = 50 ta hollari uchin tajriba yuqoridagidek takrorlanadi.
11. Olingan natijalar asosida mayatnik tebranish davri va erkin tushish tezlanishining qiymatlari aniqlanaib, jadvalga yoziladi .
12. Mayatnik uzunligini o‘zgartirib, tajriba yuqorida ko‘rsatilgan tartibda takrorlanadi.
13. Erkin tushish tezlanishining tajribalarda olingan qiymatlarining o‘rtachasini hisoblanadi.
14. Olingan natijalar asosida quyidagi jadval to‘ldiriladi.

1-jadval

№	ℓ,cm	t ,s	N	T, s	g ,m/s^2	$\bar{g}$,m/s^2	Δg ,m/s^2	$\Delta\bar{g}$,m/s^2	ε, 100%
1									
2									
3									
$g = \bar{g} \pm \Delta\bar{g}$									

SINOV UCHUN BERILGAN

Nazorat ushun savollar

1.Tebranma harakat deb nimaga aytiladi?
2. Matematik mayatnik deb nimaga aytiladi?
3. Matematik mayatnikning tebranish davr formulasini yozing.
4. Erkin tushish tezlanishi nimalarga bog`liq?

Laboratoriya ishi: № 8.
Prujinali mayatnikning tebranma harakat qonunlarini o`rganish va prujinali mayatnikning tebranma harakat davrini aniqlash.

Ishning maqsadi: Prujinali mayatnik tebranishi qonuniyatlarini:
a) xususiy tebranishlar davrining osilgan yuk massasiga bog'liqligini o'rganish;
b) doiraviy chastotaning yuk massasiga bog'liqligini o'rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: Shkalali shtativ, prujina, har xil massali yuk, lineyka, o'lchov chizig'ich, dinamometr, elektron tarozi, sekundomer.

NAZARIY QISM

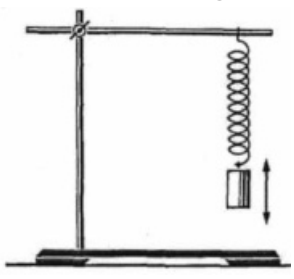
Prujinaga osilgan yukning tebranma harakati eng sodda, ya’ni garmonik tebranishdir. Yuqorida garmonik tebranishlar tenglamalarini keltirganimizni e’tirof etib, bu tenglamalar to'g'risida batafsil to'xtalmaymiz. Prujinaga osilgan yukni tebranma harakatga keltirib va N marta to'la tebranishi uchun ketgan t vaqtni tajribada aniqlab, $T = t/N$ dan mayatnikning tebranish davrini, $\omega = 2\pi/T$ dan davriy chastotasini topish mumkin. Mayatnikning tebranishlar davrining va davriy chastotasining yuk massasiga bog'liqligini tekshirish uchun bikriigi $(k = P/\Delta l)$ ma ’lum bo'lgan prujinalardan va turli massali (5–6 ta) yuklardan foydalaniladi.

QURILMANING TUZILISHI VA ISHLASHI

Qurilma laboratoriya shtativi, bikriigi har xil bo’lgan prujinalar, har xil ogirlikdagi yuklar, elektron sekundomer, yuklar qo‘yiladigan ilgakli pallacha va boshqa yordamchi aslahalardan tashkil topgan. Qurilmani ishga tushirish uchun shtativ sterjeniga, ma’lum balandlikda gorizontal holda ilgak mahkamlanadi (rasm). Yig’ilgan qurilmaning ilgagiga pallachali prujina osiladi va pallachaga yuk qo‘yiladi. Shundan so‘ng, yukli prujinani pastga qarab bir necha santimetr tortib qo‘yib yuborilgach, shu onda sekundomerni ham ishga tushiriladi.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$



1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Ishni bajarish tartibi

1. Laboratoriya ishining yo'riqnomasini o ‘qib o'rganing.
2. Ma’lum bikrilkdagi prujinani shtativga osing.
3. Tarozi yordamida yuklaming mos ravishda massalarini o’lchab oling.
4. Prujinaga massali yukni osing va uni muvozanat vaziyatidan pastga 30–50 mm og'dirib qo'yib yuboring va shu onda elektron sekundomerni ishga tushiring. Mayatnik tebrana boshlaydi. Sekundomer vaqtni hisoblaydi.
5. Mayatnikning N marta (N= 40–50) to‘la tebranishiga ketgan vaqtni sekundomer yordamida aniqlang.
6. T = *t/N* munosabatdan mayatnikning tebranish davrini hisoblang.

1-jadval

№	m_i kg	n	t (s)	$T=\frac{t}{n}$ (s)	k_i $(\frac{N}{m})$	$\bar{k}$ $(\frac{N}{m})$	Δk_i $(\frac{N}{m})$	$\Delta\bar{k}$ $(\frac{N}{m})$	ε %
1									
2									
3									
$k=\overline{k+\Delta\bar{k}}$									

Nazorat savollari

1.Tebranma harakat deb nimaga aytiladi?
2. Prujinali mayatnik deb nimaga aytiladi?
3. Prujinali mayatnikning tebranish davri formulasini yozing.
4. Erkin tushish tezlanishi nimalarga bog`liq?

V BOBGA DOIR TESTLAR

1. Chastotasi *3 Gs* bo‘lgan to‘lqin *2,4 m/s* tezlik bilan tarqalmoqda. Bir-biridan *20 sm* masofada turgan ikki nuqtadagi tebranishlarning fazalar farqi ko‘pi bilan necha radian bo‘ladi?

A) π/6 B) π/4 C) π/2 D) π/3 E) π

2. O‘zgaruvchan tokning siklik chastotasi *1000 π* rad/s bo‘lsa, uning davri va chastotasi qanday?

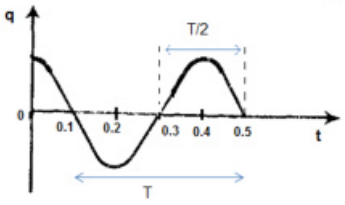
A) 0,005 s; 200 Hz B) 0,002 s; 500 Hz C) 0,02 s; 50 Hz
D) 0,001 s; 1000 Hz E) 0,01 s; 100 Hz

3. Tebranish konturidagi elektromagnit tebranishlar chastotasi 10^5 *Hz*. Tebranishlar davri qanday (μs)?

A) 10^4 B) 1000 C) 100 D) 10 E) 1

SINOV UCHUN BERILGAN

4. Tebranishlar konturi kondensatori zaryadining vaqtga bog‘lanishi grafikda tasvirlangan. Zaryad tebranishlarining chastotasi qanday (*Hz*)?



A) 5 B) 2,5 C) 3,3 D) 10 E) TJY

5. Prujinali mayatnikning to‘la mexanik energiyasi 36 marta ortsa, uning tebranish amplitudasi qanday o‘zgaradi?

A) o‘zgarmaydi B) 6 marta kamayadi C) 6 marta ortadi D) 36 marta kamayadi

6. Prujinaga osilgan yukning erkin tebranishlari to‘la mexanik energiyasi *5 J* ga teng. Agar yukning yerdan balandligi 2 marta ortsa, uning tebranishlarining to‘la mexanik energiyasi qanday bo‘ladi (J)?

A) 2,5. B) 5 C) 10 D) 12,5

7. Bikrligi *100 N/m* bo‘lgan prujinali mayatnikning tebranish qonuni *x=0,01cos5t (m)* ko‘rinishga ega. Mayatnikning maksimal kinetik energiyasi qanday (mJ)?

A) 1 B) 5 C) 50 D) 100

8. *0,2 kg* massaga ega bo‘lgan yuk bikrligi *500 N/m* bo‘lgan prujinaga osilgan holda tebranmoqda. Agar tebranish amplitudasi *2 cm* bo‘lsa, yukning maksimal tezligi qanday (*m/s*)?

A) 8. B) 5 C) 4 D) 1

9. $x = 20Acos15t$ tenglama asosida garmonik tebranma harakat qiluvchi jismning tebranishlar amplitudasi qanday?

A) cos15 B) 15 C) 20A D) 20

10. Amplitudasi *20 cm*, tebranish davri *5 s*, boshlang‘ich fazasi *0* ga teng bo‘lgan garmonik tebranish tenglamasini yozing.

A) $x = 0{,}2sin0{,}4\pi t$ B) $x = 0{,}2sin5\pi t$

C) $x = 20sin0{,}2\pi t$ D) $x = 20sin(0{,}4\pi t + \pi/4)$.

11. Amplitudasi *1 mm*, chastotasi *1000 Hz*, boshlang‘ich fazasi *π/3* bo‘lgan garmonik tebranishlarning tenglamasini tuzing.

A) $x = 0{,}001\ cos(2000\pi t + \pi/3)$ B) $x = sin(\ 1000\pi t + \pi/3)$

C) $x = cos(\ 1000\pi t + \pi/3)$ D) $x = 0{,}001\ sin(2000\pi t)$

12. Tebranayotgan jismning muvozanat vaziyatidan siljishi davrning qanday qismida amplitudaning yarmiga teng bo‘ladi?

A) T/12 B) T/3 C) T/4 D) T/8

13. Garmonik tebranayotgan jism muvozanat vaziyatidan chetki vaziyatgacha

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lgan masofaning birinchi yarmini davrning qanday qismida o‘tadi?

A) T/12 B) T/3 C) T/4 D) T/6

14. Agar prujinali mayatnik $a < g$ tezlanish bilan pastga tushayotgan liftga o‘rnatilsa, tebranishlar davri qanday o‘zgaradi?

A) kamayadi. B) *a* ning qiymatiga bog‘liq C) o‘zgarmaydi D) ortadi

15. Prujinali mayatnik, og‘irlik kuchi tezlanishi Yernikidan 4 marta katta bo‘lgan planetaga Yerdan olib o‘tildi. Bunda uning tebranish davri qanday o‘zgaradi?

A) o‘zgarmaydi B) 4 marta kamayadi C) 4 martaortadi.

D) 2 martakamayadi E) 2 martaortadi

16. Prujinaga osilgan yukning massasi 4 marta ortganda uning bo‘ylama tebranish chastotasi qanday o‘zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 4 marta ortadi C) 2 marta kamayadi D) o‘zgarmaydi.

17. Bikrligi k_1 ga teng bo‘lgan prujinaga osilgan yuk ω_1 chastota bilan tebransa, bikrligi $k_2 = 4k_1$ bo‘lgan prujinaga osilgan o‘sha yukning o‘zi qanday ω_2 chastota bilan tebranadi?

A) $\omega_2 = 4\omega_1$ B) $\omega_2 = \omega_1/2$ C) $\omega_2 = \omega_1$ D) $\omega_2 = 2\omega_1$

18. Bikrligi *100 N/m*, yukining massasi *10 g* bo‘lgan prujinali mayatnikning tebranishlar chastotasi qanday (*Hz*)?

A) 6 B) 8 C) 10 D) 16

19. Ikkita bir xil prujinali mayatnikning tebranish chastotalari nisbati $\sqrt{2}:\sqrt{5}$ bo‘lsa, har bir prujinaga osilgan yuklar massalarining nisbati qanday?

A) $\sqrt{2}:\sqrt{5}$ B) 5:2 C) 4:25 D) $1:\sqrt{2}$.

20. Bikrligi *10 N/m* bo‘lgan prujinaga qanday (*kg*) yuk osilsa, tebranish davri *1 s* bo‘lgan mayatnik hosil bo‘ladi?

A) 10 B) 0,25 C) 2,5 D) 0,025

21. Prujinaga osilgan jismning tebranishlar davri T. Agar yukning massasi *60 g* ortsa, davr 2 marta ortadi. Jismning dastlabki massasi qanday (*g*)?

A) 10 B) 20 C) 40 D) 60

22. Prujinaga osilgan yuk garmonik tebranadi. Shu yuk xuddi shunday, lekin 4 marta uzun prujinaga osilsa, tebranish davri qanday o‘zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi

D) 2 marta kamayadi

SINOV UCHUN BERILGAN

23. Prujinali mayatnik prujinasining yarmi kesib tashlansa, uning tebranishlari davri qanday o‘zgaradi?

A) 2 marta ortadi B) 2 marta kamayadi C) o‘zgarmaydi D) $\sqrt{2}$ marta kamayadi

24. Agar prujina 2 marta qisqartirilib, yukning massasi 2 marta orttirilsa, prujinali mayatnikning tebranish davri qanday o‘zgaradi?

A) o‘zgarmaydi B) 2 martakamayadi C) 2 martaortadi.
D) 4 martakamayadi

25. Matematik mayatnikning tebranishlari amplitudasi 2 marta oshsa, uning kichik tebranishlari davri qanday o‘zgaradi?

A) o‘zgarmaydi B) 2 marta ortadi C) 2 marta kamayadi D) 4 marta ortadi

26. *Ox* o‘q bo‘ylab tarqaluvchi yassi to‘lqinning qarama-qarshi fazada tebranuvchi ikki nuqtasi orasidagi eng kichik masofa *1 m* bo‘lsa, to‘lqin uzunligi qanday?

A) 1 B) 2 C) 4 D) 4π E) 8π

27. Kuzatuvchi dengiz to‘lqinining 2 ta botiqligi orasidagi masofa *12 m* ekanligini aniqladi. Agar uning yonidan har *6 s* da bitta to‘lqin do ngligi o’tib tursa, to‘lqin tarqalish tezligi necha m/s bo‘ladi?

A) 2 B) 4 C) 6 D) 12 E) 18

28. Kuzatuvchi sirena tovushini tovush chiqqandan *5 s* o‘tgach eshitdi. Agar sirena tovushining chastotasi *2 kHz*, to‘lqin uzunligi *15 sm* bo‘lsa, u kuzatuvchidan qanday masofada bo‘lgan (m)?

A) 100 B) 10000 C) 3000 D) 2000 E) 1500

29. Turg‘un to‘lqinning tugunlari orasidagi masofa *0,5 m* bo Isa, to‘lqin uzunligi necha metr bo‘ladi?

A) 0,25 B) 0,5 C) 0,75 D) 1 E) 2

30. Chastotasi *20 Hz* bo‘lgan tovushning havodagi to‘lqin uzunligi qanday (*m*)? Tovushning havodagi tezligi *340 m/s*.

A) 7 B) 27 C) 7 D) 17 E) 170

31. Poyezddan *1200 m* masofada turgan odam poezd gudogini u yangragandan *4 s* keyin eshitgan. Agar gudok chastotasi *1 kHz* bo‘lsa, gudok tovushining to‘lqin uzunligi qanday (*sm*)?

A) 3 B) 300 C) 30 D) 15 E) 60

SINOV UCHUN BERILGAN

V BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Prujinaga osilgan *20 g* massali jism tebranishining maksimal potensial energiyasi *1 J* bo‘lsa, jismning maksimal tezligi qanday (*m/s*) bo‘ladi?

2. Mexanik tebranishlar $x = 0{,}3\,cos(16\pi t + \pi/2)$ qonuniyat bo‘yicha ro‘y beradi. Tebranishlar davrini toping (*s*).

3. Garmonik tebranayotgan jismning harakat tenglamasi $x = 0{,}5\cos 10\pi t$ Jism tebranishlarining chastotasi qanday (*Hz*)?

4. Massasi *0,1 kg* bo‘lgan prujinali mayatnikning tebranish qonuni $x = 0{,}05sin10t$ (m) korinishga ega. Prujinaning bikirligini toping (*N/m*).

5. Kosinus qonuni bo‘yicha garmonik tebranayotgan nuqtaning *π/3* fazadagi siljishi *1 cm* bo‘lsa, *5π/3* fazadagi siljishi qanday (*sm*) bo‘ladi?

6. Bikrligi *160 N/m* bo‘lgan prujinaga *400 g* yuk osildi. Hosil bo‘lgan mayatnikning tebranish chastotasi qanday (*Hz*)?

7. Prujinaga *100 g* yukosilgan va u minutiga *120* marta tebranadi. Prujinaning bikrligi qanday (*N/m*)?

8. Bikrligi *500 N/m* bo‘lgan prujinaga osilganda *4 s* da *5* marta bo‘ylama tebranadigan yukning massasi qanday (kg)?

9. Bikrligi *125 N/m* bo‘lgan prujinaga osilgan yuk *8 s* da 10 marta tebranmoqda. Yukning massasi qanday (kg)? π^2=10.

10. *6 N* kuch ta’sirida *1,5 sm* cho‘ziladigan prujinaga *1 kg* massali yuk osilgan. Shu yukning vertikal tebranishlari davri topilsin (*s*).

11. Prujina o‘ziga osilgan yuk ta’sirida *10 sm* uzaydi. Shu mayatnikning bo‘ylama tebranishlar davrini toping (*s*). g=*10 m/s*^{2}.

12. Tebranish davri *0,1 s* bo‘lgan prujinali mayatnik tebranmayotganda o‘z yuki ta’sirida qanchaga cho‘ziladi (*mm*)?

13. Matematikmayatnik Yerdan Oyga ko‘chirilganda, uning tebranish davri necha marta ortadi? g_{0y}= *1.6m/s*^{2},g_{Er}= *10m/s*^{2}.

14. Birinchi mayatnikning tebranish davri *8s*, ikkinchisiniki *6s*. Ularning uzunliklari yig‘indisiga teng uzunlikdagi matematik mayatnikning tebranish davri necha sekund?

15. Birinchi matematik mayatnikning tebranish davri *5s*, ikkinchisiniki *4s*. Bumayatniklar uzunliklari farqiga teng uzunlikdagi mayatnikning tebranish davri qanday(s)?

SINOV UCHUN BERILGAN

16. *18 m* oraliqqa *4,5* ta to‘lqin uzunligi joylashsa, bu to‘lqin uzunligi qanday (*m*)?

17. To‘lqin tarqalish yo‘nalishida olingan bir to‘g‘ri chiziqda yotuvchi ikki nuqta tebranishlarining fazalari farqi 2π ga teng. Agar shu nuqtalar orasidagi masofa *2 m* bo‘lsa, to‘lqin uzunligi qanday?

18. Qayiq *1,5 m/s* tezlik bilan tarqalayotgan to‘lqin ustida tebranmoqda. To‘lqinning bir-biriga eng yaqin ikki do‘ngligi orasidagi masofa *9 m*. Qayiqning tebranishlar davrini toping (*s*)

19. Tebranish chastotasi *165 Hz* bo‘lgan to‘lqin *330 m/s* tezlikda tarqalmoqda. To‘lqin uzunligi qanday (m)?

20. Agar tovush manbaidan *1,7 km* masofadagi to‘siqaan qaytgan aks sado, tovush chiqarilgach *10 s* dan so‘ng eshitilgan bo‘lsa, tovushning shu muhitda tarqalisn tezligi qanday (*m/s*)?

21. Tovush havodan suvga o‘tganda, uning to‘lqin uzunligi qanday o‘zgaradi? Tovushning havodagi tezligi $v_x=330$ *m/s*, suvdagi tezligi $v_c=1485$ *m/s*.

22. Tovush havodan po‘latga o‘tganda, to‘lqin uzunligi qanday o‘zgaradi? Tovushning havodagi tezligi *340 m/s* ga, po‘latdagisi esa *5100 m/s* ga teng.

23. Dengiz chuqurligi exolot yordamida aniqlanadi. Agar exolotdan yuboriigan ultratovush impulslari *2 s* dan so‘ng qaytgan bo‘lsa, dengiz chuqurligi qanday (*m*)? Tovushning suvda tarqalish tezligi *1480 m/s*.

24. Dengiz chuqurligini exolot bilan aniqlashda tovush signali yuborilganidan *6 s* o‘tgach qaytib kelgan. Agar dengiz chuqurligi *4500 m* bo‘lsa, tovushning suvdagi tezligi qanday (*m/s*)?

25. Tovushning intensivligi $I=1\ W/m^2$. Agar tovush normal sharoitda tarqalayotgan bo‘lsa, tovush to‘lqini energiyasining o‘rtacha hajmiy zichligi ω nimaga teng?

26. Tovush manbaidan $\ell=800$ *m* masofada turgan kuzatuvchi havodan kelgan tovushni suvdan kelgan tovushga nisbatan $\Delta t=1,7$ *s* kech eshitadi. Agar havoning harorati $T=320$ *K* bo‘lsa, tovushning suvdagi tezligi topilsin.

27. Gudogining chastotasi $v=300$ *Gs* bo‘lgan harakatsiz elektrovoz yonidan $\vartheta_K=40$ *m/s* tezlik bilan poyezd o‘tmoqda. Poyezddagi yo‘lovchi uchun gudok ovozining tuyulma chastotasi qanday? *a)* Poyezd elektrovozga yaqinlashmoqda; *b)* poyezd elektrovozdan uzoqlashmoqda. Tovush tezligini *340 m/s* deb oling.

28. Poyezd harakatsiz kuzatuvchining yonidan o‘tganida signal tovushining balandligi keskin o‘zgaradi. Agar poyezdning tezligi $\vartheta_M=15$ *m/s* bo‘lsa, chastotaninf nisbiy o‘zgarishi $\Delta v/v$ nimaga teng? Tovush tezligini *340 m/s* deb oling.

SINOV UCHUN BERILGAN

VI BOB. ELEKTR TEBRANISHLAR VA ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLAR



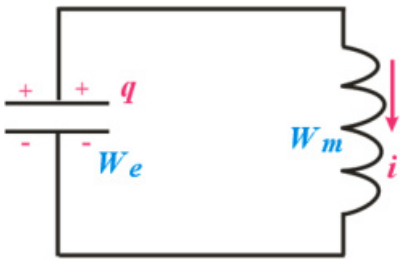
Ushbu bobda biz elektr tebranishlarini hosil qiluvchi tebranish konturi bilan tanishamiz. Elektr va mexanik kattaliklarning o‘xshashligi haqida gap boradi. O‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni va Joul-Lens qonuni o‘rganamiz. Ushbu bobda radioto‘lqinlar hosil bo‘lishi, tarqalishi, radioto‘lqinlarni uzatish va qa’bul qilish hamda radioto‘lqinlarni turlari haqida ma’lumotga ega bo‘lamiz.

§ 42. TEBRANISH KONTURI. ELEKTR TEBRANISHLAR. TOMSON FORMULASI

Zaryad, tok kuchi va kuchlanishning davriy ravishda yoki deyarli davriy ravishda o‘zgarishiga ***elektr tebranishlari*** deyiladi. Elektr tebranishlari ham xuddi mexanik tebranishlari kabi davriy jarayondir. Eng sodda elektr tebranishlari tebranish konturi deb ataluvchi zanjirda sodir bo‘ladi.

Tebranish konturi:

Erkin elektr tebranishlari yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan eng oddiy sxema kondensator va bu kondensator qoplamalariga ulangan g‘altakdan iborat sxemadir (42.1-rasm). Tashqridan bizning aralashuvimizsiz sxema ichida o‘z-o‘zidan kechadigan elektr tebranishiga ***erkin elektr tebranishi*** deyiladi. Erkin elektr tebranishlari so‘nmas tebranishlardir. Tebranish konturidagi tebranish kondensatordagi elektr maydon va g‘altakdagi magnit maydon energiyalarining davriy ravishda bir-biriga aylanib turishlari tarzida kechadi. Erkin elektr tebranishlari chog‘ida elektr maydon va magnit maydon energiyalari davriy ravishda bir-biriga aylanib tebranma harakat qiladi. Lekin, bu energiyalar yig‘indisidan iborat to‘la elektromagnit maydon energiyasi o‘zgarmasligicha saqlanadi.



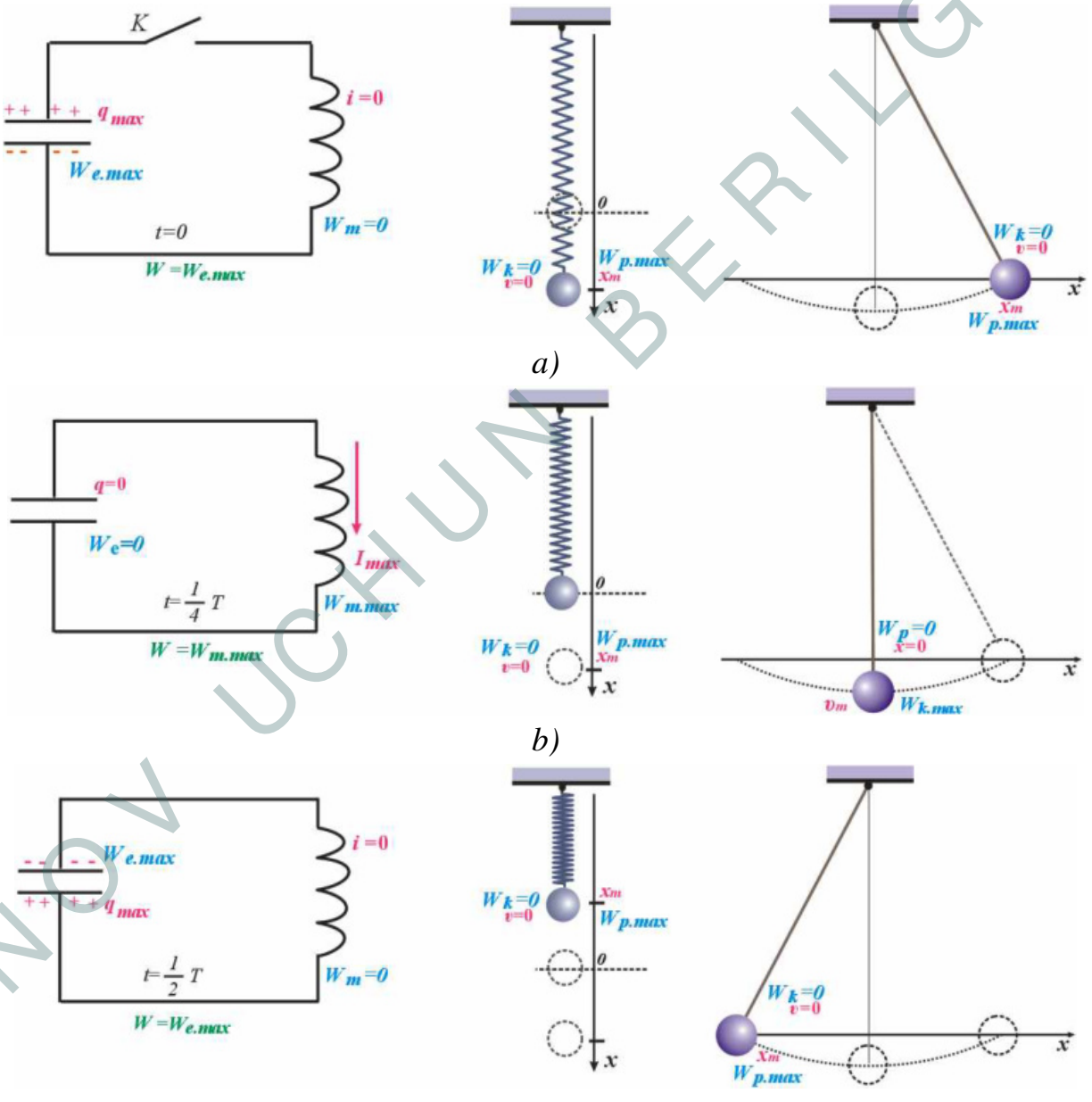
42.1-rasm

Agar sxema zanjiri simlaridagi qarshiliklarni ham inobatga olinsa, elektromagnit maydon energiyasi asta-sekin vaqt o‘tishi bilan kamayib boradi, elektromagnit maydon energiyasi simlarni qizitib issiqlikka aylanadi. Bunday tebranishni ***so‘nuvchi tebranish*** deb ataladi. Agar zanjir qarshiligi tufayli kamaygan elektromagnit maydon energiyasini davriy ravishda manbadan zaryadlab to‘ldirib turilsa, tebranish konturida ***majburiy tebranish*** deb ataluvchi

SINOV UCHUN BERILGAN

elektr tebranishlar yuzaga keladi. Lekin, biz ushbu mavzuda faqatgina erkin elektr tebranishlarini o‘rganish bilan cheklanamiz.

Elekr tebranishlari va mexanik tebranishlari orasida o‘xshashlik bor. Elektr maydon energiyasini potensial energiyaga, magnit maydon energiyasini esa kinetik energiyaga o‘xshatish mumkin. Kondensatorni zaryadlab kalit ulanish paytida maksimal elektr maydon energiyasiga ega bo‘ladi. Buni x_m masofaga cho‘zilgan prujinali mayatnik yoki muvozanat vaziyatidan maksimal og‘dirilgan matematik mayatnikka qiyoslash mumkin. Chunki, bu paytda mayatniklar maksimal potensial energiyaga ega bo‘ladi (42.2-a,rasm).



42.2-rasm

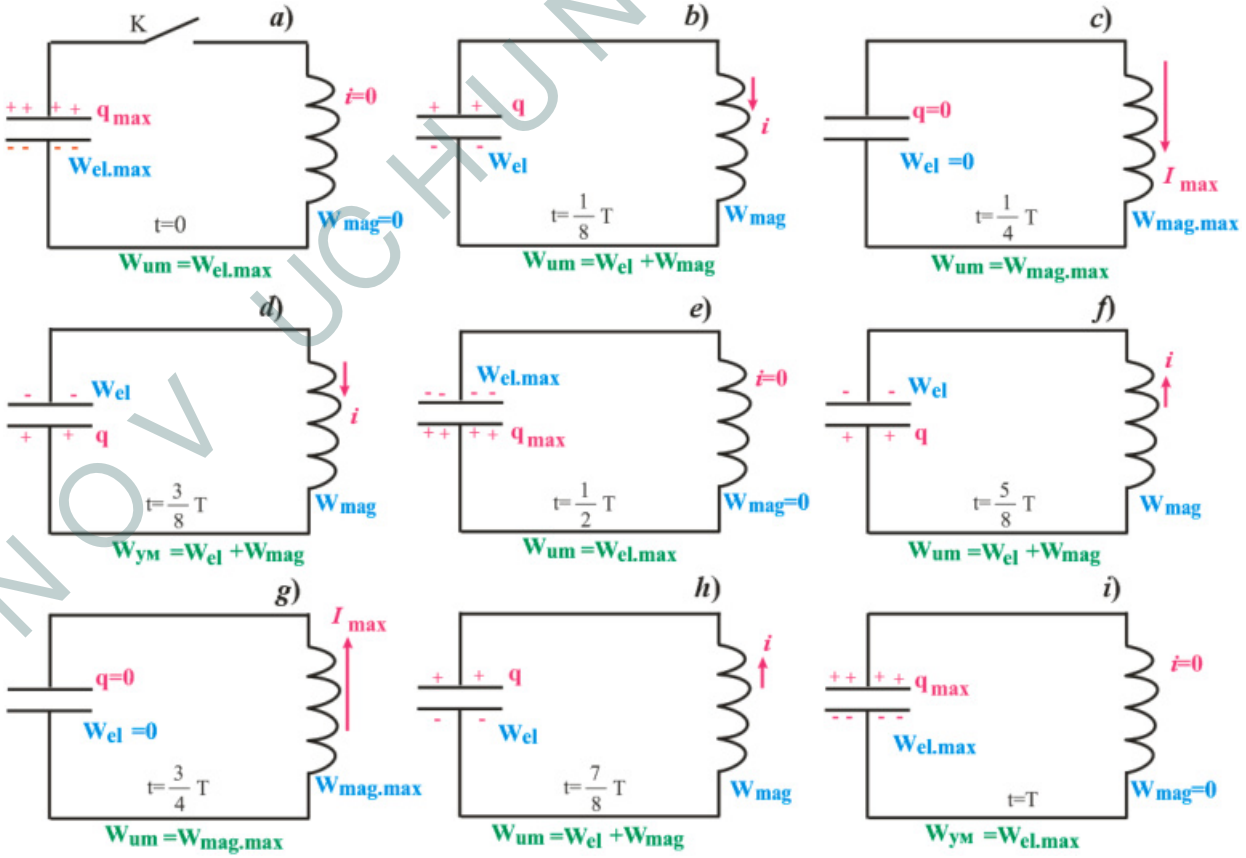
Oradan $t = \frac{T}{4}$ vaqt o‘tganda kondensator to‘la zaryadsizlanib bo‘shaydi, g‘altakdagi tok kuchi esa o‘zining maksimum qiymatiga erishadi. Demak, bunda elektr maydon energiyasi nolga teng bo‘lib, magnit maydon energiyasi esa

SINOV UCHUN BERILGAN

o‘zining maksimum qiymatiga erishadi. Buni mayatniklarni muvozonat holatidan o‘tish paytiga qiyoslash mumkin. Chunki, bu paytda potensial energiya nolga tenglashib, kinetik energiya va tezlik o‘zining maksimal qiymatiga etadi (42.2-b,rasm).

Oradan $t=\frac{T}{2}$ vaqt o‘tganda kondensator qayta to‘la zaryadlanadi, lekin endi qoplamalar qarama-qarshi ishorali zaryadlanib qoladi. G‘altakdagi tok kuchi esa nolga aylanadi. Demak, bunda magnit maydon energiyasi nolga teng bo‘lib, elektr maydon energiyasi esa o‘zining maksimum qiymatiga erishadi. Buni mayatniklarni muvozonat holatining qarama-qarshi tomoniga maksimal siljish paytiga qiyoslash mumkin. Chunki, bu paytda kinetik energiya nolga tenglashib, potensial energiya o‘zining maksimal qiymatiga etadi (42.2-c,rasm).

Quyidagi 42.3-rasmda tebranish konturidagi bir marta to‘la tebranish jarayoni, koturda zaryad, tok kuchi hamda elektr va magnit maydon energiyalari o‘zgarishi tasvirlangan. Bu rasmdan ko‘rinib turibdiki, kondensatordagi zaryad miqdori kamayganda g‘altakdagi tok kuchi ortar ekan va aksincha zaryad miqdori ortganda esa tok kuchi kamayar ekan. Boshqacha aytganda tebranish konturida erkin tebranish jarayonida tok kuchi faza jihatidan zaryadga ko‘ra $\pi/2$ qadar oldinda borar ekan.



42.3-rasm

Dastlab kuzatish onida to‘la zaryadlangan kondensator g‘altakka ulangani uchun zaryadning vaqtga bog‘lanish tenglamasi kosinuslar qonuniga bo‘ysunadi, ya’ni

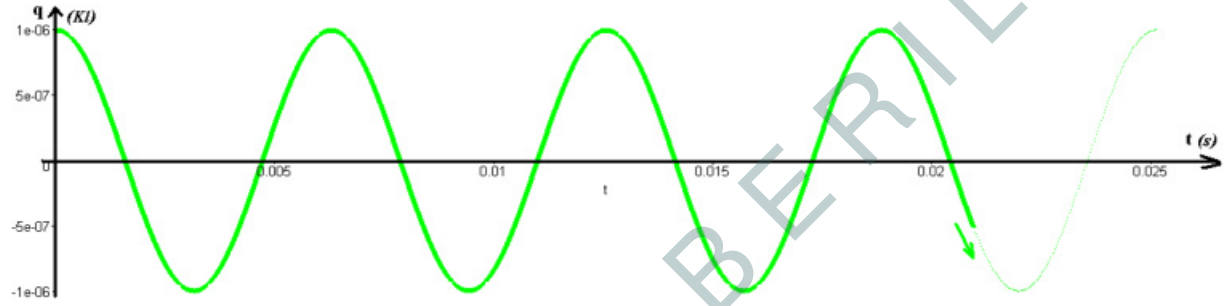
SINOV UCHUN BERILGAN

$q=q_m cos\omega t$ bo‘ladi. Tok kuchi zaryaddan vaqt bo‘yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng bo‘lgani uchun $i=\frac{dq}{dt}=q'=-q_M\omega\sin\omega t=I_M\cos(\omega t+\frac{\pi}{2})$ bo‘ladi. Demak, zaryad va tok kuchi tebranish fazalari orasida farq $\pi/2$ ga teng ekan.

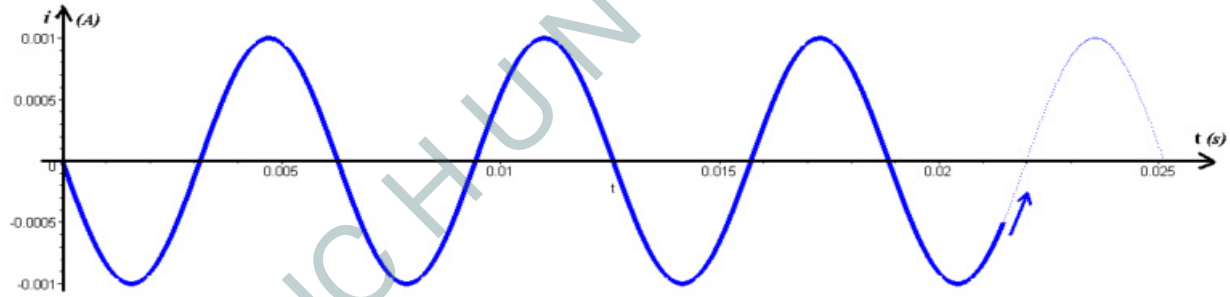
Tebranish konturining kondensatoridagi zaryad miqdori va g‘altakdagi tok kuchining vaqtga bag‘lanish tenglamalari quyidagicha bo‘ladi:

$$q = q_M \cos\omega t$$
$$I = -q_M\omega \sin\omega t = I_M \cos(\omega t+\frac{\pi}{2}) \qquad (42.1)$$

Kondensatordagi zaryad miqdori va g‘altakdagi tok kuchining tebranish grafiklari 42.4-rasmda tasvirlangan.



a)

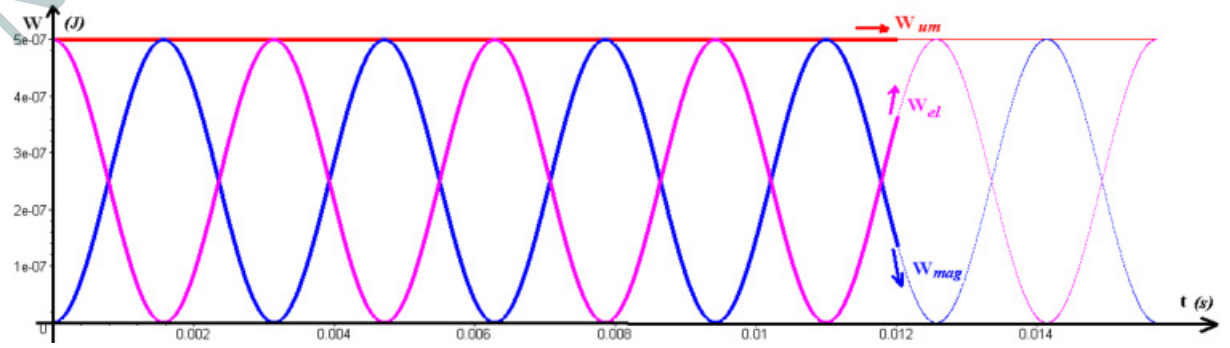


b)

42.4-rasm

Tebranish konturida elektr va magnit maydon energiyalarining vaqtga bog‘lanish tenglamalari quyidagicha bo‘ladi:

$$W_E=\frac{q_{max}^2}{2C}\cos^2\omega t=W_{um}\cos^2\omega t\,,\quad W_M=\frac{LI_{max}^2}{2}\sin^2\omega t=W_{um}\sin^2\omega t \qquad (42.2)$$



42.5-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektr maydon, magnit maydon va to‘la energiyalarning tebranish grafiklari 41.5-rasmda tasvirlangan.

Yuqoridagi rasmdan va formulalardan ko‘rinib turibdiki, energiya tebranishi chastotasi zaryad va tok kuchi tebranishlari chastotasidan ikki marta katta bo‘lar ekan. Boshqacha aytganda, zaryad va tok kuchi bir marta tebranganda elektr va magnit maydon energiyalari ikki marta tebranar ekan.

Mexanikaviy va elektr tebranishlarining o‘xshashligi:

Mexanik tebranishda mexanik kattaliklar (koordinata, tezlik, tezlanish, kinetik va potensial energiyalar) vaqt o‘tishi bilan davriy ravishda o‘zgarsa, elektr tebranishlarida esa elektr kattaliklar (zaryad, tok kuchi, tok kuchining o‘zgarish tezligi, magnit va elektr maydon energiyalar) vaqt o‘tishi bilan davriy ravishda o‘zgaradi. Demak, mexanik va elektr tebranishlari orasida o‘xshashlik mavjud ekan. 1-jadvalda mexanik va elektr kattaliklari orasidagi o‘xshashlik keltirilgan.

42.1-jadval

Mexanikaviy kattaliklar	Elektr kattaliklar
Koordinata x	Zaryad q
Tezlik ϑ_x	Tok kuchi i
Tezlanish a_x	Tok kuchining o‘zgarish tezligi i'
Massa m	Induktivlik L
Prujina bikrligi k	Sig‘imga teskari kattalik $\frac{1}{C}$
Potensial energiya $\frac{k x^2}{2}$	Elektr maydon energiyasi $\frac{q^2}{2C}$
Kinetik energiya $\frac{m\upsilon^2}{2}$	Magnit maydon energiyasi $\frac{Li^2}{2}$
Koordinatadan olingan ikkkinchi tartibli xosilaning koordinataga bog‘liqligi $x''=-\frac{k}{m}x$	Zaryaddan olingan ikkinchi tartibli xosilaning zaryadga bog‘liqligi $q''=-\frac{1}{L\cdot C}q$
Prujinaning xususiy tebranish chastotasi $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{m}}$	Konturning xususiy tebranish chastotasi $\omega_0=\sqrt{\frac{1}{LC}}$
Prujinaning tebranish davri $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	Konturning tebranish davri $T=2\pi\sqrt{LC}$

SINOV UCHUN BERILGAN

Prujinaning tebranish chastotasi	Konturning tebranish chastotasi
$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$	$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Tomson formulasi:

Tebranish konturida kondensatordagi elektr maydon energiyasi va g‘altakdagi magnit maydon energiyasi davriy ravishda bir-biriga aylanib tebranadi. Ammo, elektr va magnit maydon energiyalari yig‘indisidan iborat to‘la energiya vaqtning istalgan onida o‘zgarmasligicha qoladi. Shuning uchun, umumiy energiyadan vaqt bo‘yicha olingan hosila nolga teng bo‘ladi.

$$W_{um} = \frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}, \rightarrow \; W'_{um} = 0\,, \rightarrow \left(\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}\right)' = 0\,, \rightarrow$$

$$\rightarrow \; \frac{1}{2C}2qq' + \frac{L}{2}2ii' = 0\,, \;\rightarrow\; \frac{q}{C}i + Lii' = 0\,, \rightarrow \frac{q}{C}i + ii' = 0\,, \;\rightarrow$$

$$\rightarrow \; \frac{q}{C} + Lq'' = 0\,, \;\rightarrow\; q'' = -\frac{1}{LC}q.$$

Demak, zaryaddan vaqt bo‘yicha olingan ikkinchi tartibli hosila yana zaryadga bog‘liq bo‘lar ekan. Buni mexanikadagi $x'' = -\frac{k}{m}x$ tenglamaga o‘xshatish mumkin. Shuning uchun, mexanikada koordinata kabi zaryadning ham vaqt bo‘yicha o‘zgarishi sinus yoki kosinus qonuniga bo‘ysunar ekan.

$$q = q_{\max}\cos\omega t\,, \;\rightarrow\; q' = i = -q_{\max}\omega\sin\omega t\,, \;\rightarrow\; q'' = i' = -q_{\max}\omega^2\cos\omega t = -\omega^2 q$$

Demak, zaryaddan olingan ikkinchi tartibli hosila uchun ikkita $q'' = -\omega^2 q$ va $q'' = -\frac{1}{LC}q$ o‘xshash formulalar bor ekan. Bundan esa $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ yoki $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ tebranish konturining siklik chastotasini topish formulasi kelib chiqadi. Tebranish konturining tebranish chastotasi $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ formuladan tebranish davri $T = \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}$ formuladan aniqlanadi.

Shunday qilib, tebranish konturida siklik chastota, tebranish chastotasi va tebranish davri quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}\,, \quad \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\,, \quad T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad \textbf{(42.3)}$$

Tebranish konturidagi elektr tebranishlarning davrini topish formulasi ***Tomson formulasi*** deb ham yuritiladi.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad \textbf{(42.4)}$$

Yuqoridagi formulalardan ko‘rinib turibdiki, sig‘im yoki induktivlik oshganda, tebranish davri oshib tebranish chastotasi esa kamayar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektr tebranishlari deb nimaga aytiladi?*
2. *Tebranish konturi nima? Unda zaryad va tok kuchi qanday tebranadi? Ularning fazalar farqi qanday?*
3. *Tebranish konturida energiya qanday tebranadi? Energiya tebranishi hamda zaryad tebranishi necha marta farq qiladi?*
4. *Tebranish konturi uchun siklik chastota va tebranish chastotasini yozing. Tomson formulasini yozib bering.*
5. *Mexanikadagi koordinata, tezlik, tezlanish kattaliklari qaysi elektr kattaliklariga o'xshash?*
6. *Mexanikadagi massa, impuls, bikrlik kattaliklari qaysi elektr kattaliklariga o'xshash?*

Masala yechish:

1. *Tebranish konturi kondensatoridagi kuchlanishning o'zgarishi* $u = 10cos(2 \cdot 10^3 \pi t)$ *(V) tenglama bilan berilgan. Kondensator sig'imi* $2{,}6 \cdot 10^{-2}\ \mu F$. *Konturdagi magnit maydon energiyasining maksimal qiymati qanday (J)?*

A) $2{,}6 \cdot 10^{-6}$ *B)* $0{,}65 \cdot 10^{-6}$ *C)* $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ *D)* $2{,}6 \cdot 10^{-4}$

Berilgan:

$u = 10cos(2 \cdot 10^3 \pi t)$

$C = 2{,}6 \cdot 10^{-2}\ \mu F$

$W_M = ?$

Yechilishi:

Elektr maydon energiyasining maksimal qiymati magnit maydon energiyasining maksimal qiymatiga teng.

$$W_M = W_E = \frac{CU_0^2}{2};\ \rightarrow\ \ U = U_0 cos(\omega t)$$

$$U_0 = 10\ V$$

$$W_M = \frac{2{,}6 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2}{2} = 1{,}3 \cdot 10^{-6}\ J$$

Javob: *C)*

2. *Tebranishlar konturidagi zaryadning o'zgarish qonuni* $q = sin10t$ *(C) ko'rinishga ega. Tok kuchi tebranishlarining amplitudasini toping (A).*

Berilgan:

$q = sin10t$

$I_0 = ?$

Yechilishi:

Zaryad o'zgarish tenglamasidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila tok kuchining o'zgarish tenglamasini beradi.

$$i = \frac{dq}{dt} = 10\ cos\ 10t \qquad \Rightarrow \qquad I_0 = 10\ A$$

Javob: *10 A*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 43. O‘ZGARUVCHAN TOK ZANJIRIDA AKTIV QARSHILIK VA O‘RTACHA QUVVAT.

O‘zgaruvchan tok zanjirida aktiv qarshilik:

18-mavzuda elektromagnit induksiya qonuni va uning turli tatbiqlari bilan tanishgan edik. Magnit maydonida aylanuvchi sim ramkada hosil bo‘ladigan induksiya EYuKning vaqtga bog‘lanish tenglamasi $\varepsilon = \varepsilon_{max} \sin \omega t$ ko‘rinishda bo‘lishi bilan ham tanishgan edik. Bundan keyin biz, magnit maydonida aylanuvchi sim ramka yoki cho‘lg‘amli ramkani o‘zgaruvchan tok manbai deb ataymiz. Bunga misol qilib turli generatorlar, GESlar, IESlari va AESlarni keltirish mumkin. Tok manbaidan iste’molchilarga elektr energiyasi uzatilganda ularni transformatorlar yordamida bir necha marta kuchaytiladi va pasaytiriladi. Elektr energiyasining qandaydir biror qismi yo‘llardagi liniya simlarining qarshiligi tufayli isrof bo‘ladi. Shuning uchun, tok manbaidagi induksion EYuK $\varepsilon = \varepsilon_{max} \sin \omega t$ ning iste’molchiga etib kelgan qismini $u = U_{max} \sin \omega t$ bilan belgilaymiz. Odatdagi *50 Hz* chastotali o‘zgaruvchan tok kvazistatsionar (statsionarga o‘xshash) tok bo‘lgani uchun tok manbai va iste’molchida kuchlanish bir xil fazada tebranadi va chastota ham o‘zgarmas saqlanadi. O‘zgaruvchan tok manbaiga ulangan iste’molchini bundan keyin ***aktiv qarshilik*** deb ataymiz. Aktiv qarshilikdagi tok va kuchlanish bir xil fazada tebranadimi yoki yo‘qligini tekshiraylik.

Elektromagnit induksiya qonuniga ko‘ra tok manbaida

$$\varepsilon = -\Phi' = -\left(NBS\cos\omega t\right)' = NBS\,\omega\sin\omega t = \varepsilon_{max}\sin\omega t$$

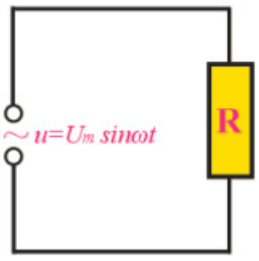
ga teng induksiya EyuK hosil bo‘ladi. Bu EyuKdan iste’molchi (aktiv qarshilik)ga yetib kelgan kuchlanishni $u = U_{max} \sin \omega t$ bilan belgilaymiz. Aktiv qarshilikdagi tok kuchi

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_{max}}{R}\sin\omega t = I_{max}\sin\omega t$$

ga teng bo‘ladi.

Demak, o‘zgaruvchan tok manbaiga aktiv qarshilik ulanganda kuchlanish va tok kuchining vaqtga bog‘lanish tenglamasi quyidagicha bo‘lar ekan (43.1-rasm):

$$\boxed{\begin{aligned} u &= U_{max} \sin \omega t \\ i &= I_{max} \sin \omega t \end{aligned}} \qquad \textbf{(43.1)}$$



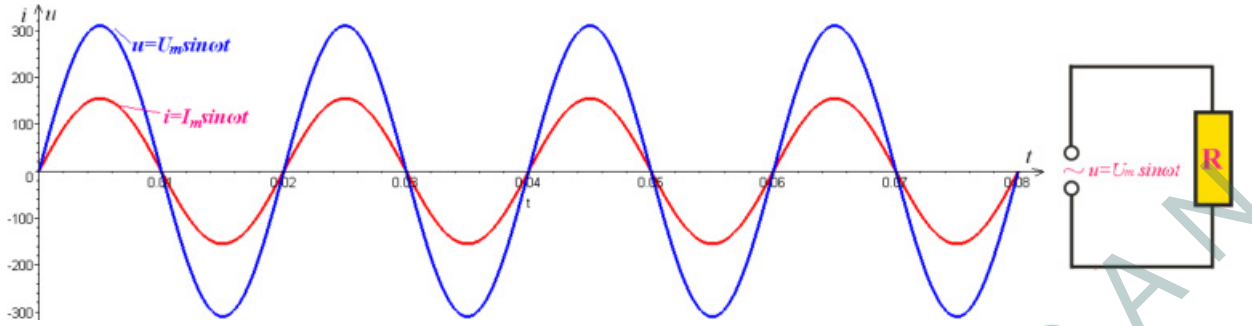
43.1-rasm

Tok kuchining amplitudaviy qiymati quyidagicha bo‘ladi:

$$\boxed{I_{max} = \frac{U_{max}}{R}} \qquad \textbf{(43.2)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

O‘zgaruvchan tokka aktiv qarshilik ulanganda kuchlanish va tok kuchining vaqtga bog‘lanish grafiklari quyidagi rasmda tasvirlangan.



43.2-rasm

Rasmdan ham ko‘rinib turibdiki, tok kuchi va kuchlanish bir vaqtda nol bo‘lib, bir vaqtda maksimum yoki minimumga erishar ekan, ya’ni ular ayni bitta fazada tebranar ekan.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda zanjirdagi tok kuchi va kuchlanish orasidagi tebranish fazalari farqi nolga teng bo‘ladi.

O‘zgaruvchan tok zanjirida o‘rtacha quvvat:

Biz 1-bobda o‘zgarmas tok zanjiri uchun quvvat va ishni aniqlash uchun Joul-Lens qonuni bilan tanishgan edik. Endi bizni o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun quvvat yoki ish qiziqtiradi. O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda, bu qarshilikdagi tok kuchi va kuchlanishning qiymatlari $u = U_{\max}\sin\omega t$ va $i = I_{\max}\sin\omega t$ qonuniyatga ko‘ra har onda o‘zgarib turadi. Agar kuchlanish ν=50 Hz chastota bilan o‘zgarsa, quvvatning har ondagi qiymati ham shiddat bilan o‘zgaradi. Qaysidir vaqt onida quvvat $p=iu=0$ bo‘lsa, yana qaysidir paytda $p = iu = I_{\max}U_{\max}$ ga teng bo‘ladi. Bizni quvvatning oniy qiymati emas, balki bir davrdagi o‘rtacha qiymati qiziqtiradi. Boshqacha aytganda, bir davr davomida aktiv qarshilik tok manbaidan o‘ziga qancha quvvat oldi, ya’ni nimani o‘ziga singdira oldi.

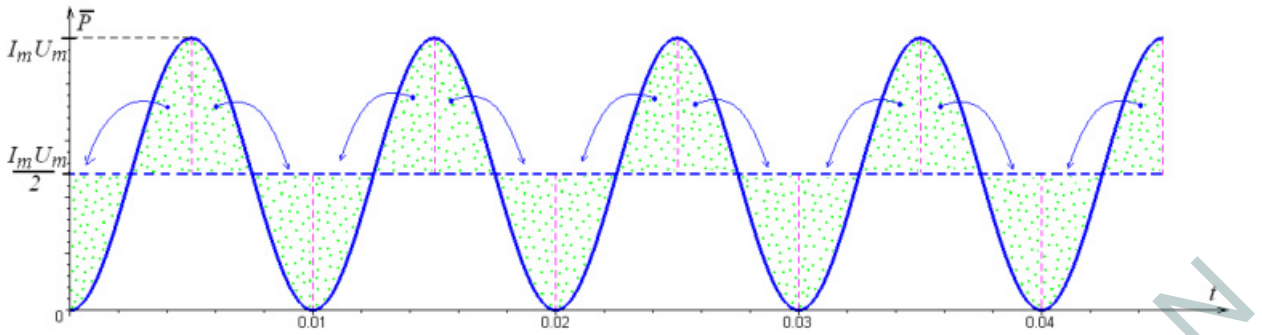
Biz elektr qismida o‘zgarmas tokning quvvati $P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$ formulalar yordamida aniqlanishi bilan tanishgan edik. O‘zgaruvchan tokning bir davrdagi o‘rtacha quvvati uchun ham shunga o‘xshash $\bar{p} = \bar{i}\,\bar{u} = \bar{i}^2R = \frac{\bar{u}^2}{R}$ formula kiritamiz. Bu yerda: $\bar{p}$ – o‘zgaruvchan tokning bir davrdagi o‘rtacha qiymati, $\bar{i}$ va $\bar{u}$ – o‘zgaruvchan tok kuchi va kuchlanishning bir davrdagi o‘rtacha qiymatlari.

O‘zgaruvchan tokning bir davrdagi o‘rtacha quvvatini aniqlaylik.

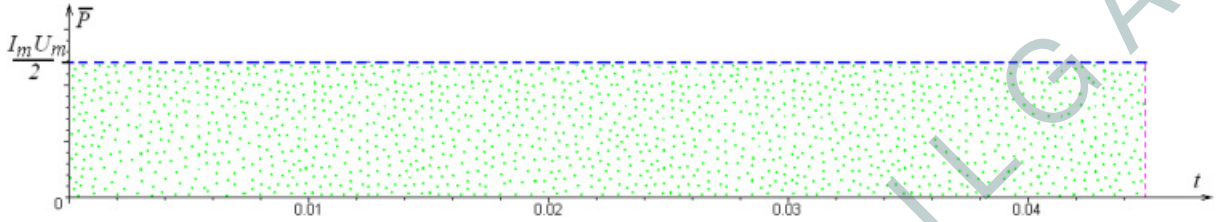
$$p = iu = I_{\max}\sin\omega t \cdot U_{\max}\sin\omega t = I_{\max}U_{\max}\sin^2\omega t = I_{\max}U_{\max}\frac{1-\cos 2\omega t}{2} = \frac{I_{\max}U_{\max}}{2} - \frac{I_{\max}U_{\max}}{2}\cos 2\omega t =$$

$$= \frac{I_{\max}U_{\max}}{2} = \bar{p}$$

SINOV UCHUN BERILGAN



a)



b)

43.3-rasm

Hosil qilingan formulada $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} - \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} \cos 2\omega t$ tenglamaning ikkinchi hadi $\frac{I_{\max} U_{\max}}{2} \cos 2\omega t$ ning bir davrdagi o‘rtacha qiymati nolga teng bo‘ladi. Bunga quyidagi 43.3-a, rasmdan ko‘rib ham ishonch hosil qilish mumkin. Natijada, o‘zgaruvchan tokning bir davrdagi o‘rtacha quvvati uchun $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2}$ natijaga ega bo‘lamiz (43.3-b,rasm).

Biz yuqorida o‘zgaruvchan tokning bir davrdagi o‘rtacha qiymati uchun $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2}$ natijani olgan edik. Om qonuni $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$ ga ko‘ra $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} = \frac{U_m^2}{2R}$ yoki $U_{\max} = I_{\max} R$ ga asosan $\bar{p} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2} = \frac{I_m^2 R}{2}$ bo‘ladi. Bundan esa $\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m^2}{2R}$ natija kelib chiqadi.

Demak, o‘zgaruvchan tok zanjirida o‘rtacha quvvatni tok kuchi va kuchlanishning maksimal qiymatlari orqali ifodalash quyidagi ko‘rinishlarda bo‘lar ekan:

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m^2}{2R} \qquad \textbf{(3.3)}$$

Tok kuchining bir davrdagi o‘rtacha qiymati kvadratidan olingan kvadratik ildizga tok kuchining ta’sir etuvchi qiymati deyiladi.

O‘zgaruvchan tok manbai uchun bir davrdagi o‘rtacha quvvat $\bar{p} = \bar{i}^2 R$ ga teng. Ikkinchi tomondan tok kuchi uchun $i = I_{\max} \sin \omega t$ dan foydalansak, o‘rtacha quvvat uchun $\bar{p} = I_m^2 R \sin^2 \omega t = \frac{I_m^2 R}{2} - \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\omega t = \frac{I_m^2 R}{2}$ natijaga ega bo‘lamiz. Demak, bir

SINOV UCHUN BERILGAN

davrdagi o‘rtacha quvvat $\bar{p} = \bar{i}^2 R = \frac{I_m^2 R}{2}$ ga teng ekan. Bundan $\bar{i}^2 = \frac{I_m^2}{2}$ kelib chiqadigan ifodaning ikkala tomonidan kavdrat ildiz olinsa, $\sqrt{\bar{i}^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I$ hosil bo‘ladi.

Demak, tok kuchining ta’sir etuvchi (yoki effektiv yoki samarador) qiymati quyidagicha bo‘lar ekan:

$$I = \sqrt{\bar{i}^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (43.4)$$

Kuchlanishning bir davrdagi o‘rtacha qiymati kvadratidan olingan kvadratik ildizga kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymati deyiladi.

O‘zgaruvchan tok manbai uchun bir davrdagi o‘rtacha quvvat $\bar{p} = \frac{\bar{u}^2}{R}$ ga teng. Ikkinchi tomondan tok kuchi uchun $u = U_{\max} \sin \omega t$ dan foydalansak, o‘rtacha quvvat uchun $\bar{p} = \frac{U_m^2}{R} \sin^2 \omega t = \frac{U_m^2}{2R} - \frac{U_m^2}{2R} \cos 2\omega t = \frac{U_m^2}{2R}$ natijaga ega bo‘lamiz. Demak, bir davrdagi o‘rtacha quvvat $\bar{p} = \frac{\bar{u}^2}{R} = \frac{U_m^2}{2R}$ ga teng ekan. Bundan $\bar{u}^2 = \frac{U_m^2}{2}$ kelib chiqadigan ifodaning ikkala tomonidan kavdrat ildiz olinsa, $\sqrt{\bar{u}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = U$ hosil bo‘ladi.

Demak, kuchlanishning ta’sir etuvchi (yoki effektiv yoki samarador) qiymati quyidagicha bo‘lar ekan:

$$U = \sqrt{\bar{u}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \qquad (43.5)$$

O‘zgaruvchan tok zanjirida o‘rtacha quvvatni tok kuchi va kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymatlari orqali ifodalash quyidagicha bo‘ladi:

$$\bar{p} = I U = I^2 R = \frac{U^2}{R} \qquad (43.6)$$

Shunday qilib, R iste’molchi o‘zgarmas U kuchlanish manbaiga ulanganda ajraladigan quvvat va ta’sir etuvchi qiymati $U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$ ga teng bo‘lgan o‘zgaruvchan kuchlanish manbaiga ulanganda ajraladigan quvvatlar bir xil bo‘lar ekan. Uyimizda foydalanadigan $U=220\ V$ kuchlanishimiz o‘zgaruvchan kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymati bo‘lib, uning maksimal qiymati esa $U_{\max} = \sqrt{2} U \approx 310V$ ga tengdir. Kuchlanish $v=50\ Gs$ chastotada $-310\ V,\ 0\ V,\ +310\ V$ qiymatlar qa’bul qilib shiddat bilan o‘zgaradi. Unga biror aktiv qarshilik–iste’molchi ulanganda esa iste’molchiga $220\ V$ lik o‘zgarmas kuchlanish kabi quvvat bilan ta’sir etadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Mavzu yuzasidan savollar:



1. Aktiv qarshilik deb nimaga aytiladi?
2. O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda tok kuchi va kuchlanishning vaqtga bog‘lanish tenglamalarini yozing.Ular orasidagi fazalar siljishini ayting.
3. O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik ulanganda bir davrdagi o‘rtacha quvvat formulalarini yozing.
4. Tok kuchining ta’siri etuvchi qiymati nima? Uning formulasini yozing.
5. Kuchlanishning ta’siri etuvchi qiymati nima? Uning formulasini yozing.
6. “Ta’sir etuvchi qiymat” termini o‘rniga yana qanday terminlar ishlatilishi mumkin?
7. Xo‘jalik tarmog‘ida 220 V kuchlanishdan foydalaniladi. Bu kuchlanishning maksimal qiymati nimaga teng?

Masala yechish:

1. *O‘zgaruvchan tokning siklik chastotasi 1000 π rad/s bo‘lsa, uning davri va chastotasi qanday?*

A) 0,005 s; 200 Hz B) 0,002 s; 500 Hz
C) 0,02 s; 50 Hz D) 0,001 s; 1000 Hz

Berilgan:
□=1000 π rad/s

Yechilishi:
Siklik chastota davr va chastota bilan quyidagicha bog’langan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

T=?, □=?

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{1000\pi} = 0{,}002\ s; \quad \nu = \frac{1}{T} = 500\ Hz$$

Javob: *B) 0,002 s; 500 Hz.*

1. *GES generatorining rotori 125 ayl/min chastota bilan aylanmoqda. Necha juft qutb bo‘lganda, 50 Hz chastotali o‘zgaruvchan tok hosil bo‘ladi?*

Berilgan:
ν_P*=125 ayl/min*
ν=50 Gs
N=?

Yechish:
Generatorda bir juft magnit qutbi bo‘lsa 50 Gs chastotali elektr toki hosil qilish uchun rotor sekundiga 50 marta aylanishi kerak. Qutblar soni N ta bo‘lsa bu holda ν ni o‘zgaruvchan tok hosil qilish uchun generator rotori ν_P *chastota bilan aylanishi kerak bo‘ladi.*

$$\nu_p = \frac{\nu}{N};\ N = \frac{\nu}{\nu_p};\ \rightarrow \quad N = \frac{50}{\frac{25}{12}} = \frac{50\cdot 12}{25} = 24$$

Javob: *N=24 ta juft qutb*

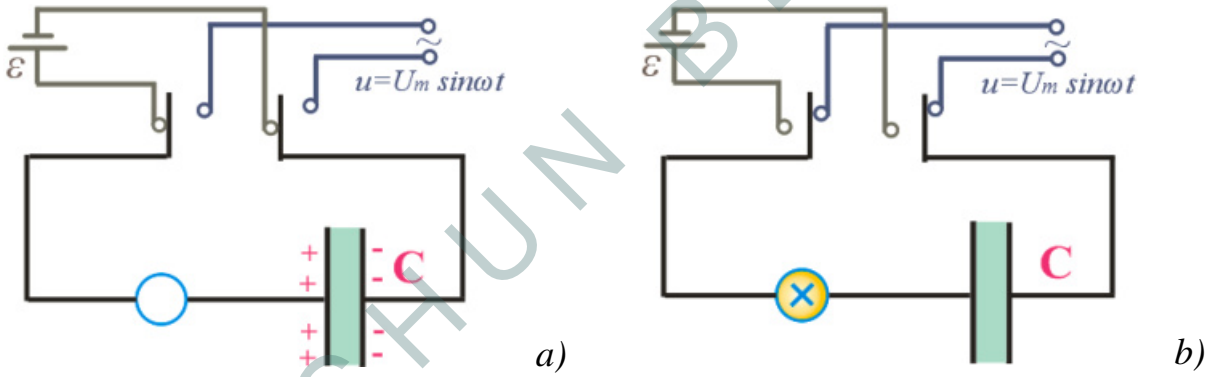
SINOV UCHUN BERILGAN

§ 44. O‘ZGARUVCHAN TOK ZANJIRIDA KONDENSATOR VA INDUKTIV G‘ALTAK.

O‘zgaruvchan tok zanjirida kodensator:

Biz 44.1-rasmdagidek zanjir yig‘aylik. Ixtiyorimizda o‘zgarmas va o‘zgaruvchan tok manbalari bo‘lib, o‘zgarmas tok manbaining EYuK ε o‘zgaruvchan kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymatiga teng bo‘lsin. Dastlab kondensatorni o‘zgarmas tok manbaiga, so‘ngra esa o‘zgaruvchan tok manbaiga ulaylik.

a) dastlab kondensatorni o‘zgarmas tok manbaiga ulasak lampochka yonmaydi. Chunki, kondensator qoplamalari dielektrik bilan ajratilgan, ya’ni zanjir uzilgan. Haqiqatda kondensator zaryadlanayotganda millisekunddan ham qisqa vaqt ichida lampa tolasi orqali tok o‘tadi. Bu vaqtda lampa tolasi cho‘g‘lanishga ulgurmaydi, ozgina cho‘g‘lansa ham biz buni sezmaymiz. Juda qisqa vaqt ichida kondensator zaryadlanib bo‘ladi va undan keyin esa zanjirdan tok o‘tish to‘xtaydi.



a) *b)*

44.1-rasm

b) endi kondensatorni o‘zguruvchan tok zanjiriga ulaganimizda lampa xira yonadi. Kondensatorning sig‘imini qancha oshirsak lampa ravshanligi ham shuncha ortadi. Haqiqatda zanjir uzuq bo‘lsa tok qanday paydo bo‘ladi?

– Kuchlanish o‘zgaruvchan bo‘lganligi sababli kondensator qoplamalari davriy ravishda zaryadlanib va zaryadsizlanib turadi. Qayta zaryadlanish paytida lampa tolalari orqali tok o‘tadi va tola qizib lampa cho‘g‘lanadi. Lekin, hech qachon tok kondensatorning bir qoplamasidan boshqa qoplamasiga o‘tmaydi. Faqat zaryadlanib va zaryadsizlanib turadi, xolos.

O‘zgaruvchan kuchlanishni yuzaga keltiruvchi tok manbai (GES, AES, IES va h.) da EYuK $\varepsilon = \varepsilon_{max} \sin \omega t$ qonun bo‘yicha o‘zgarsa, iste’molchilarda ham shu qonuniyat bo‘yicha o‘zgaradi. O‘zgaruvchan tok tok manbaidan iste’molchilarga uzatilishda bir necha marta transformatorlar vositasida kuchaytirilishi yoki susaytirilishi mumkin. Ammo bu jarayonda elektr kattalikning tebranish chastotasi va fazasi o‘zgarmaydi. Shuning uchun, iste’molchilardagi kuchlanish

SINOV UCHUN BERILGAN

$u = U_{max} \sin \omega t$ qonun bo‘yicha o‘zgaradi deyish mumkin. U holda kondensator qoplamalaridagi zaryad esa

$$q = Cu = CU_{max} \sin \omega t$$

qonun bo‘yicha o‘zgaradi. Tok kuchi esa zaryaddan vaqt bo‘yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng. Shuning uchun tok kuchi vaqt bo‘yicha

$$i = q' = Cu' = CU_{max}\omega \cos \omega t = I_{max} \sin\left(\omega t + \pi / 2\right)$$

qonunga muvofiq o‘zgarar ekan.

Demak, o‘zgaruvchan tok manbaiga kondensator ulanganda zaryad, kuchlanish va tok kuchining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi quyidagicha bo‘lar ekan:

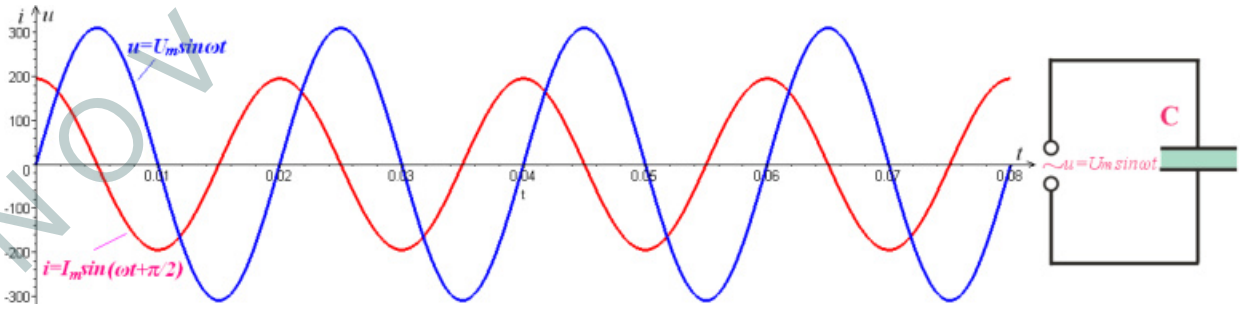
$$\begin{cases} U = U_M \sin \omega t \\ q = CU_M \sin \omega t \\ i = q' = CU_M \omega \sin(\omega t + \pi / 2) \end{cases} \quad \textbf{(44.1)}$$

Tok kuchi bilan kuchlanishning amplituda qiymatlarining bog‘liqligi va sig‘im qarshilik quyidagicha bo‘ladi:

$$I_{max} = \omega C U_{max} = \frac{U_{max}}{X_C}, \quad X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \textbf{(44.2)}$$

Yuqoridagi formuladan ham ko‘rinib turibdiki, sig‘im qarshilikning qiymati kondensator sig‘imi va tok chastotasiga teskari proporsional bo‘lar ekan. Shuning uchun ham kondensatorning o‘zgarmas tokka ko‘rsatadigan qarshiligi cheksiz katta bo‘lib, o‘zgaruvchan tokka ko‘satadigan ta’siri esa chekli $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \nu C}$ qiymatga ega bo‘lar ekan. Boshqacha aytganda 44.1-b,rasmda o‘zgaruvchan tok chastotasi yoki kondensator sig‘imi oshirilganda lampa ravshanligi ham ortar ekan.

Tok kuchi va kuchlanishlarning vaqtga bog‘lanish grafiklari esa quyidagi rasmda keltirilgan:



44.2-rasm

Yuqoridagi rasmdan ham ko‘rinib turibdiki, tok kuchi va kuchlanishlar bir xil fazada tebranmayapti.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga kondensator ulanganda tok kuchining tebranishlar fazasi kuchlanishning tebranishlar fazasidan π/2 qadar oldinda borar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

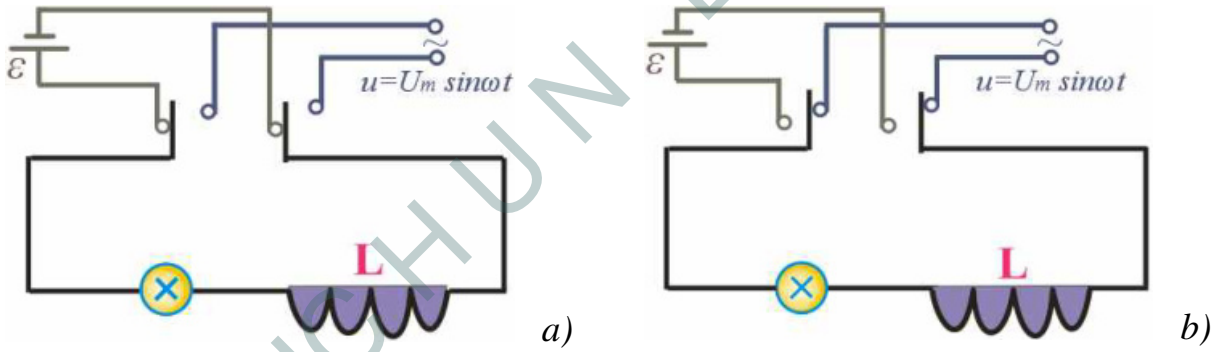
Buning ma’nosi shuki, kondensator zaryadlana boshlagan paytda to kuchi eng katta, kuchlanish esa nolga teng bo‘ladi. Kuchlanish eng katta qiymatga erishganda esa tok kuchi nolga teng bo‘lib qoladi va hokoza.

O‘zgaruvchan tok zanjirida induktiv g‘altak:

Biz 44.3-rasmdagidek zanjir yig‘aylik. Ixtiyorimizda o‘zgarmas va o‘zgaruvchan tok manbalari bo‘lib, o‘zgarmas tok manbaining EYuK ε o‘zgaruvchan kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymatiga teng bo‘lsin. Dastlab kondensatorni o‘zgarmas tok manbaiga, so‘ngra esa o‘zgaruvchan tok manbaiga ulaylik.

a) dastlab g‘altakni o‘zgarmas tok manbaiga ulasak, lampochka biroz vaqtdan keyin ravshan yona boshlaydi. Bunga sabab o‘zinduksiya hodisasidir. Endi g‘altak induktivligini oshirib yana o‘zgarmas tok manbaiga ulasak, lampa xuddi avvalgidek ravshan yonadi, faqat cho‘g‘lanish vaqti ortib ketadi.

b) endi g‘altakni o‘zgaruvchan tok manbaiga ulasak, o‘zgarmas tokka ulangandagiga qaraganda xiraroq yonadi. Agar g‘altakning induktivligi oshirila borilsa, lampaning xiralashishi yanada ortadi. Nima uchun o‘zgaruvchan tokka ulanganda lampa xiraroq yonadi?



a) *b)*

44.3-rasm

– O‘zgaruvchan tok shiddat bilan o‘zgargani uchun g‘altakdagi tok kuchi manbaning o‘zidagi tok kuchining har bir oniy qiymatiga mos holda erishishga ulgurmaydi, har bir oniy qiymatiga mos qadam tashlay olmaydi. Boshqacha aytganda, intuktivlik tok kuchining amplitudasini cheklaydi.

G‘altakdagi tok kuchi ortib borganda undagi magnit oqimi ham ortib boradi. Lens qoidasiga asosan bu ortayotgan magnit maydoni g‘altak cho‘lg‘amining o‘zida induksion tokni yuzaga keltiradi. Induksion tok yo‘nalishi esa asosiy tok yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘naladi. Shu sababdan ham kuchlanish va induksion EYuK teskari ishora bilan bog‘langan.

$$u = -\varepsilon_{\text{ўзин}} = -(-\Phi') = \Phi' = (Li)' = (LI_{\max}\sin\omega t)' = LI_{\max}\omega\cos\omega t = \omega LI_{\max}\sin(\omega t + \pi/2) =$$
$$= U_{\max}\sin(\omega t + \pi/2)$$

Demak, o‘zgaruvchan tok zanjiriga g‘altak ulanganda tok kuchi va kuchlanishning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonunlari quyilagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

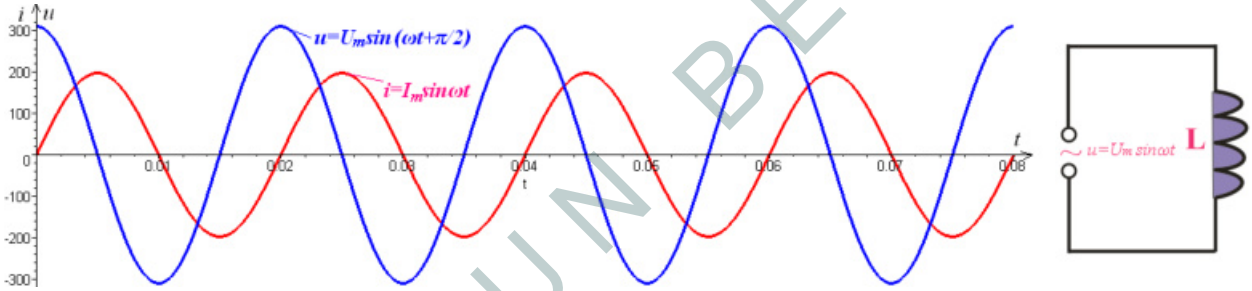
$$\begin{cases} u = \omega L I_{max} \sin(\omega t + \pi/2) = U_{max} \sin(\omega t + \pi/2) \\ i = I_{max} \sin \omega t \end{cases} \quad (44.3)$$

Tok kuchi va kuchlanish amplitudalari orasidagi bog‘lanish hamda induktiv qarshilik quyidagicha bo‘ladi:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{\omega L} = \frac{U_{max}}{X_L}, \qquad X_L = \omega L \quad (44.4)$$

Yuqoridagi formuladan ham ko‘rinib turibdiki, induktiv qarshilikning qiymati g‘altak induktivligi va tok chastotasiga to‘g‘ri proporsional bo‘lar ekan. Shuning uchun ham g‘altakni o‘zgarmas tokka ulaganda dampa ravshanligi, o‘zgaruvchan tokka ulagandagi ravshanlikdan yuqori bo‘lar ekan. Induktivlik qancha oshirib borilsa, g‘altakdagi tok kuchi shuncha kamayib borar ekan, ya’ni induktivlik tok kuchining maksimal qiymatini cheklar ekan (44.3-b,rasm).

Tok kuchi va kuchlanishlarning vaqtga bog‘lanish grafiklari esa quyidagi rasmda keltirilgan:



44.4-rasm

Yuqoridagi rasmdan ham ko‘rinib turibdiki, tok kuchi va kuchlanishlar bir xil fazada tebranmayapti.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga haltak ulanganda kuchlanishning tebranishlar fazasi tok kuchining tebranishlar fazasidan π/2 qadar oldinda borar ekan.

Induktiv g‘altak o‘zgaruvchan tokka qarshilik ko‘rsatadi. Shu sabab tufayli g‘altakdagi tok kuchi kulanishning har bir oniy qiymatiga yetishib ulgurmaydi va faza jihatdan π/2 qadar orqada boradi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Elektr lampasi kondensator bilan ketma-ket qilib o‘zgarmas tok tarmog‘iga ulanganda lampa yonadimi? Sababini tushuntiring.*
2. *Elektr lampasi kondensator bilan ketma-ket qilib o‘zgaruvchan tok tarmog‘iga ulanganda lampa yonadimi? Sababini tushuntiring.*
3. *O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga kondensator bilan elektr lampasi ketma-ket qilib ulangan. Bunda kondensatorning elektr sig‘imi oshirilsa, lampadagi cho‘g‘lanish qanday o‘zgaradi? Sababini tushuntiring.*
4. *O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga kondensator bilan elektr lampasi ketma-ket qilib ulangan. Bunda tokning tebranish chastotasi oshirilsa, lampadagi cho‘g‘lanish qanday o‘zgaradi? Sababini tushuntiring.*

SINOV UCHUN BERILGAN

5. *O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga kondensator bilan elektr lampasi ketma-ket qilib ulangan. Kuchlanishning tebranishi sinus qonuni bo‘yicha sodir bo‘layotgan bo‘lsa, u holda kondensatordagi tok kuchining tebranish qonuni qanday bo‘ladi?*
6. *Sig‘im qarshilik formulasini yozing. U chastota va sig‘imga qanday bog‘langan?*
7. *Elektr lampasi induktiv g‘altak bilan ketma-ket qilib qaysi tok tarmog‘iga (o‘zgarmas yoki o‘zgaruvchan) ulanganda lampa yorqinroq yonadi? Sababini tushuntiring.*
8. *O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga induktiv g‘altak bilan elektr lampasi ketma-ket qilib ulangan. Bunda g‘altakning induktivligi oshirilsa, lampadagi cho‘g‘lanish qanday o‘zgaradi? Sababini tushuntiring.*
9. *O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga induktiv g‘altak bilan elektr lampasi ketma-ket qilib ulangan. Bunda tokning tebranish chastotasi oshirilsa, lampadagi cho‘g‘lanish qanday o‘zgaradi? Sababini tushuntiring.*
10. *O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga induktiv g‘altak bilan elektr lampasi ketma-ket qilib ulangan. Kuchlanishning tebranishi sinus qonuni bo‘yicha sodir bo‘layotgan bo‘lsa, u holda g‘altakdagi tok kuchining tebranish qonuni qanday bo‘ladi?*
11. *Induktiv qarshilik formulasini yozing. U chastota va sig‘imga qanday bog‘langan?*

Masala yechish:

1. *Chastotasi 400 Hz bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga sig‘imlari $C_1 = 200\,pF$ va $C_2 = 500\,pF$ bo‘lgan ikki kondensator ketma-ket ulangan. Kondensatorlarning elektr qarshiligini baholang.*

A) 1,5 MΩ B) 27 MΩ C) 450 kΩ D) 2,8 MΩ

Berilgan:	*Yechilishi:*
$\nu = 400\ Hz$	*O’zgaruvchan tok zanjiriga ulangan kondensatorning qarshiligi*
$C_1 = 200\,pF$	$$R_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$
$C_2 = 500\,pF$	
$R_C = ?$	*ifodadan aniqlanadi. Bu yerda ikkita kondensator ketma-ket ulanganligi uchun*

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad \Rightarrow \quad R_C = \frac{1}{2\pi\nu \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}} = \frac{C_1 + C_2}{2\pi\nu C_1 C_2}$$

$$R_C = \frac{2 \cdot 10^{-10} + 5 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 400 \cdot 2 \cdot 10^{-10} \cdot 5 \cdot 10^{-10}} \approx 2{,}8\ M\Omega$$

Javob: *D) 2,8 MΩ.*

1. *Elektr sig‘imi 2 μF bo‘lgan kondensator chastotasi 50 Hz bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga ulangan. Agar kuchlanishning samarador qiymati 220 V bo‘lsa, zanjirdan o‘tayotgan tok Kuchining samarador qiymati qanday?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$C=2$?F	*O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan kondensatorning qarshiligi*
?$=50\ Hz$	$R_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$
$U_{eff} = 220\ V$	*ifodadan aniqlanadi. Zanjirning bir qismi uchun Om qonuniga asosan:*
$I_{eff} = ?$	

$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R_C} = U_{eff} 2\pi\nu C = 220 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \approx 0{,}14\ A.$$

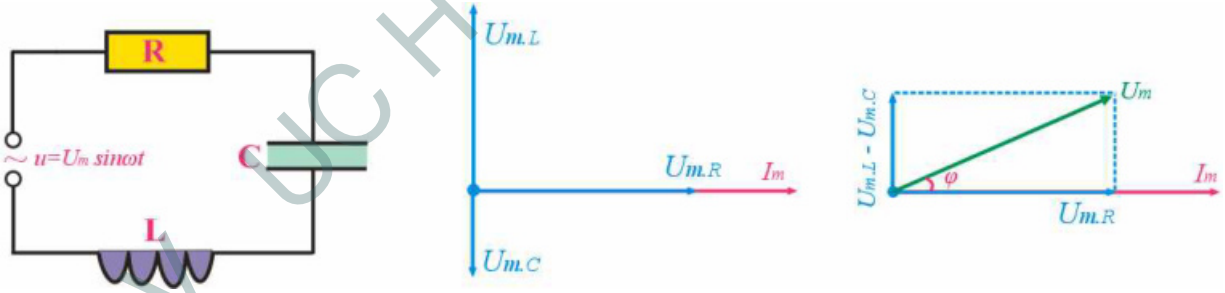
Javob: *0,14 A*

§ 45. O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRI UCHUN OM QONUNI

Oldingi mavzuda ko'rib o'tganimizdek, o'zgaruvchan tok faqat aktiv qarshilikka nisbatan befarq (inersiyasiz) bo'lib, g'altak va kondensator uchun esa qandaydir ta'sirga (inersion xususiyat) ega ekan. Agar biz elektr zanjirini ularni alohida-alohida olmasdan, balki birgalikda olgan holda tuzsak ,u holda bu aralash zanjirda nima hodisa ro'y beradi? –Ushbu mavzuda aktiv qarshilik, sig'im qarshili va induktiv qarshilik birgalikda (ketma-ket yoki parallel) qilib ulangan hollar uchun Om qonuni va bunday zanjirlardagi o'rtacha quvvat bilan tanishamiz.

Ketma-ket ulanganda:

Dastlab biz o'zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar ketma-ket qilib ulangan holni qaraymiz.



45.1-rasm

45.1-rasmda aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar o'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangani tasvirlangan. Elementlarning har birida kuchlanish va tok kuchi faza jihatidan farq qilgani uchun zanjirda kechayotgan hodisalarni tushuntirishda vektor diagrammadan foydalanamiz. Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altaklar o'zaro ketma-ket bo'lgani sababli uchala elementda ham tok kuchi ayni bir fazada tebranadi. Boshqacha aytganda, ularning har birida tok kuchi bir vaqtda nol bo'lib, ayni bir vaqtda makimumga erishadi. Shuning uchun, zanjirdagi tokning amplitudasi, ta'sir etuvchi qiymati va fazasi aktiv qarshilik, sig'im qarshilik va induktiv qarshilikda bir xil bo'ladi.

$$I_M = I_{M.R} = I_{M.C} = I_{M.L} \quad \text{yoki} \quad I = I_R = I_C = I_L \qquad (45.1)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Vektor diagrammada tok kuchini gorizontal o‘qqa joylashtiramiz.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak ketma-ket qilib ulanganda qarshilikda, kondensatorda va g‘altakdagi kuchlanishning amplituda qiymatlari quyidagicha bo‘ladi:

$$U_{M.R} = I_M R\,, \quad U_{M.C} = \frac{I_M}{\omega C}\,, \quad U_{M.L} = I_M \omega L \tag{45.2}$$

Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklarda kuchlanishning tebranish fazalari esa bir-biridan farq qiladi. Boshqacha aytganda, ularning har birida kuchlanish bir vaqtda nol bo‘lib, ayni bir vaqtda makimumga erishmaydi. Ulardan biri nolga teng bo‘lganda boshqasi maksimum yoki minimum qiymatga erishadi.

Kondensatordagi kuchlanish fazasi tok kuchi fazasidan $\pi/2$ qadar orqada, g‘altakdagi kuchlanish fazasi esa tok kuchi fazasidan $\pi/2$ qadar oldinda boradi.

Aktiv qarshilikda tok kuchi va kuchlanish fazalari bir xil bo‘lgani sababli, tok kuchi va kuchlanishni tok kuchi kabi gorizontal chiziqqa joylashtiriladi. Kondensatordagi kuchlanish tok kuchidan $\pi/2$ qadar orqada bo‘lgani uchun, kuchlanishning maksimal qiymati tok kuchinikidan $-\pi/2$ burchakka ochilib vertikal pastga yo‘naladi. Induktiv g‘altakdagi kuchlanish tok kuchidan $\pi/2$ qadar oldinda bo‘lgani uchun, kuchlanishning maksimal qiymati tok kuchinikidan $+\pi/2$ burchakka ochilib vertikal tepaga yo‘naladi. Natijada, kondensator va g‘altakdagi kuchlanishning tebranishlari fazasa π ga farq qilib, ular qarama-qarshi fazaga tushib qoladi. Ularni ayirmasi $U_{M.L} - U_{M.C}$ to‘g‘ri burchakli uchburchakning vertikal katetida yotsa, ikkinchi gorizontal katetida esa $U_{M.R}$ yotadi. Bu katetlarga qurilgan parallelogram diagonalida esa natijaviy kuchlanish U_M yotadi.

Vektor diagrammadan kuchlanishning maksimal qiymati quyidagicha bo‘ladi.

$$U_M = \sqrt{U_{M.R}^2 + \left(U_{M.L} - U_{M.C}\right)^2} \tag{45.3}$$

Agar yuqoridagi formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo‘linsa, kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymati kelib chiqadi.

$$U = \sqrt{U_R^2 + \left(U_L - U_C\right)^2} \tag{45.4}$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan $U_M = \sqrt{U_{M.R}^2 + (U_{M.L} - U_{M.C})^2}$ formuladagi kuchlanishlarni tok kuchlari orqali ifodalasak

$$U_M = \sqrt{\left(I_{M.R}R\right)^2 + \left(I_{M.L}\omega L - I_{M.C}\frac{1}{\omega C}\right)^2} = I_M\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

kelib chiqadi. Bundan esa o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni

$$I_M = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

kelib chiqadi. Agar bu formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo‘linsa, Om qonuni ta’sir etuvchi qiymatlar orqali kelib chiqadi, ya’ni

$$I=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

bo‘ladi.

Demak, o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha bo‘lar ekan:

$$I_M=\frac{U_M}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad \text{yoki} \quad I=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \qquad (45.5)$$

Yuqorida Om qonunidan

$$I=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}=\frac{U}{Z}$$

desak, o‘zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi uchun

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

ifoda kelib chiqadi. Vektor diagrammada katetlar nisbatidan foydalansak,

$$tg\varphi=\frac{U_{M.L}-U_{M.C}}{U_{M.R}}=\frac{I_M X_L-I_M X_C}{I_M R}=\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R}$$

kelib chiqadi.

Demak, o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni va 45.1-rasmdagi vektor diagrammadan foydalanib, umumiy qarshilik hamda kuchlanish bilan tok kuchi orasidagi fazalar siljishini aniqlash mumkin.

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\ , \qquad tg\varphi=\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R} \qquad (45.6)$$

Yuqoridagi formuladan quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

1) Agar $U_{M.L}>U_{M.C}$ yoki $\omega L>\frac{1}{\omega C}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi>0$ bo‘ladi, ya’ni kuchlanish faza jihatidan tok kuchidan oldinda boradi;

2) Agar $U_{M.L}<U_{M.C}$ yoki $\omega L<\frac{1}{\omega C}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi<0$ bo‘ladi, ya’ni kuchlanish faza jihatidan tok kuchidan orqada boradi;

3) Agar $U_{M.L}=U_{M.C}$ yoki $\omega L=\frac{1}{\omega C}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi=0$ bo‘ladi, ya’ni kuchlanish va tok kuchi bir xil fazada tebranadi. Bu hodisa rezonans hodisasi deb

SINOV UCHUN BERILGAN

atalib, bunda o‘zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi eng minimal $Z=R$ qiymatga, tok kuchi esa eng maksimal $I=\frac{U}{R}$ qiymatga erishadi.

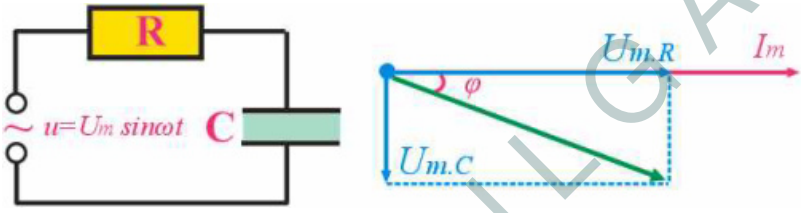
O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklardan ikkitasini ketma-ket qilib ulansa, umumiy qarshilik, fazalar siljishi va vektor diagramma qanday ko‘rinishda bo‘lishiga birma-bir to‘xtalib o‘tamiz.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan aktiv qarshilik va kondensator uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo‘ladi:

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$tg\varphi=-\frac{1}{R\omega C}$$

(45.6a)



45.2-rasm

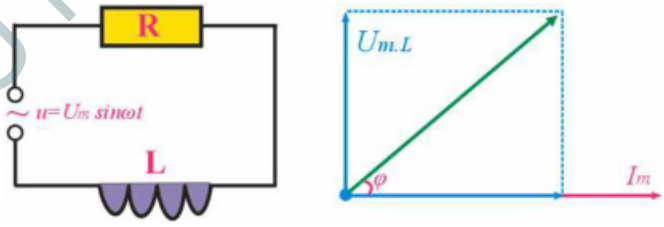
Yuqoridagi formula va rasmdan ko‘rinib turibdiki, aktiv qarshilik va kondensator ketma-ket ulanganda, har doim $\varphi<0$ bo‘lar ekan, ya’ni kuchlanish tok kuchidan faza jihatidan orqada yurar ekan.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan aktiv qarshilik va induktiv g‘altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo‘ladi (45.4-rasm):

$$Z=\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$$

$$tg\varphi=\frac{\omega L}{R}$$

(45.6b)



45.3-rasm

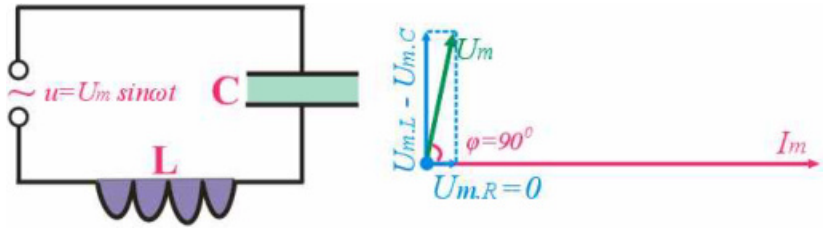
Yuqoridagi formula va rasmdan ko‘rinib turibdiki, aktiv qarshilik va induktiv g‘altak ketma-ket ulanganda, har doim $\varphi>0$ bo‘lar ekan, ya’ni kuchlanish tok kuchidan faza jihatidan oldinda yurar ekan.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan kondensator va induktiv g‘altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo‘ladi (45.4-rasm):

$$Z=\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$$

$$tg\varphi=\pm 90^0$$

(45.6c)



45.4-rasm

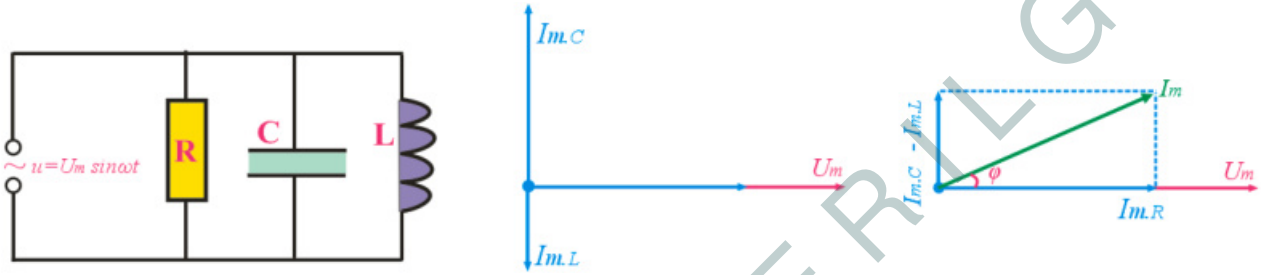
Yuqoridagi formula va rasmdan ko‘rinib turibdiki, kondensator va induktiv g‘altak ketma-ket ulanganda, har doim $\varphi=\pm 90^0$ bo‘lar ekan. Agar $U_{M.L}>U_{M.C}$ yoki

SINOV UCHUN BERILGAN

$\omega L > \frac{1}{\omega C}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi = +90^0$ bo‘lib, kuchlanish tebranishlari faza jihatidan tok kuchidan oldinda boradi. Agar $U_{M.L} < U_{M.C}$ yoki $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi = -90^0$ bo‘lib, kuchlanish tebranishlari faza jihatidan tok kuchidan orqada boradi.

Parallel ulanganda:

Endi biz o‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklar parallel qilib ulangan holni qaraymiz.



45.5-rasm

45.5-rasmda aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklar o‘zgaruvchan tok zanjiriga parallel holda ulangani tasvirlangan. Elementlarning har birida kuchlanish va tok kuchi faza jihatidan farq qilgani uchun zanjirda kechayotgan hodisalarni tushuntirishda vektor diagrammadan foydalanamiz. Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklar o‘zaro parallel bo‘lgani sababli uchala elementda ham kuchlanish ayni bir fazada tebranadi. Boshqacha aytganda, ularning har birida kuchlanish bir vaqtda nol bo‘lib, ayni bir vaqtda makimumga erishadi. Shuning uchun, zanjirdagi kuchlanishning amplitudasi, ta’sir etuvchi qiymatlari va fazasi aktiv qarshilik, sig‘im qarshilik va induktiv qarshilikda bir xil bo‘ladi.

$$U_M = U_{M.R} = U_{M.C} = U_{M.L} \quad \text{va} \quad U = U_R = U_C = U_L \qquad \textbf{(45.7)}$$

Vektor diagrammada kuchlanishni gorizontal o‘qqa joylashtiramiz.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak parallel qilib ulanganda qarshilikda, kondensatorda va g‘altakdagi tok kuchining amplituda qiymatlari quyidagicha bo‘ladi:

$$I_{M.R} = \frac{U_M}{R}, \quad I_{M.C} = U_M \omega C, \quad I_{M.L} = \frac{U_M}{\omega L} \qquad \textbf{(45.8)}$$

Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklarda tok kuchining tebranish fazalari esa bir-biridan farq qiladi. Boshqacha aytganda, ularning har birida tok kuchi bir vaqtda nol bo‘lib, ayni bir vaqtda makimumga erishmaydi. Ulardan biri nolga teng bo‘lganda boshqasi maksimum yoki minimum qiymatga erishadi.

Kondensatordagi tok kuchi fazasi kuchlanish fazasidan π/2 qadar oldinda, g‘altakdagi tok kuchi fazasi esa kuchlanish fazasidan π/2 qadar orqada boradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Aktiv qarshilikda kuchlanish va tok kuchi fazalari bir xil bo‘lgani sababli, tok kuchi va kuchlanishni tok kuchi kabi gorizontal chiziqqa joylashtiriladi. Kondensatordagi tok kuchi kuchlanishdan $\pi/2$ qadar oldinda bo‘lgani uchun, tok kuchining maksimal qiymati kuchlanishnikidan $+\pi/2$ burchakka ochilib vertikal tepaga yo‘naladi. Induktiv g‘altakdagi tok kuchi kuchlanishdan $\pi/2$ qadar orqada bo‘lgani uchun, tok kuchining maksimal qiymati kuchlanishnikidan $-\pi/2$ burchakka ochilib vertikal pastga yo‘naladi. Natijada, kondensator va g‘altakdagi tok kuchlarining tebranishlari fazasa π ga farq qilib, ular qarama-qarshi fazaga tushib qoladi. Ularni ayirmasi $I_{M.L}-I_{M.C}$ to‘g‘ri burchakli uchburchakning vertikal katetida yotsa, ikkinchi gorizontal katetida esa $I_{M.R}$ yotadi. Bu katetlarga qurilgan parallelogram diagonalida esa natijaviy kuchlanish I_M yotadi.

Vektor diagrammadan kuchlanishning maksimal qiymati quyidagicha bo‘ladi.

$$I_M=\sqrt{I_{M.R}^2+\left(I_{M.C}-I_{M.L}\right)^2} \qquad \textbf{(45.9)}$$

Agar yuqoridagi formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo‘linsa, tok kuchining ta’sir etuvchi qiymati kelib chiqadi.

$$I=\sqrt{I_R^2+\left(I_C-I_L\right)^2} \qquad \textbf{(45.10)}$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan

$$I_M=\sqrt{I_{M.R}^2+(I_{M.L}-I_{M.C})^2}$$

formuladagi tok kuchlarini kuchlanishlar orqali ifodalasak, u holda

$$I_M=\sqrt{\left(\frac{U_{M.R}}{R}\right)^2+\left(U_{M.C}\,\omega C-\frac{U_{M.L}}{\omega L}\right)^2}=U_M\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

ifoda kelib chiqadi. Bu esa o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni

$$I_M=U_M\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

ni ifodalaydi. Agar bu formulaning har ikkala tomonini $\sqrt{2}$ ga bo‘linsa, Om qonuni ta’sir etuvchi qiymatlar orqali kelib chiqadi, ya’ni

$$I=U\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni quyidagicha bo‘lar ekan:

$$I_M=U_M\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad \text{yoki} \quad I=U\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2} \qquad \textbf{(45.11)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

O‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni va 45.5-rasmdagi vektor diagrammadan foydalanib, umumiy qarshilik hamda kuchlanish bilan tok kuchi orasidagi fazalar siljishini aniqlash mumkin. Yuqorida Om qonunidan

$$I = U\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}=\frac{U}{Z}$$

desak, o‘zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi uchun

$$\frac{1}{Z}=\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

ifoda kelib chiqadi. Vektor diagrammada katetlar nisbatidan foydalansak,

$$tg\varphi=\frac{I_{M.C}-I_{M.L}}{I_{M.R}}=\frac{\frac{U_M}{X_C}-\frac{U_M}{X_L}}{\frac{U_M}{R}}=\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)R$$

kelib chiqadi.

Demak, bunda umumiy qarshilik va fazalar siljishi ushbu

$$\frac{1}{Z}=\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)^2}\quad,\quad tg\varphi=\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)R \qquad \textbf{(45.12)}$$

formulalar yordamida aniqlanar ekan.

Yuqoridagi formuladan quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

1) Agar $I_{M.C}>I_{M.L}$ yoki $\omega C>\frac{1}{\omega L}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi>0$ bo‘ladi, ya’ni tok kuchi faza jihatidan kuchlanishdan oldinda boradi;

2) Agar $I_{M.C}<I_{M.L}$ yoki $\omega C<\frac{1}{\omega L}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi<0$ bo‘ladi, ya’ni tok kuchi faza jihatidan kuchlanishdan orqada boradi;

3) Agar $I_{M.C}=I_{M.L}$ yoki $\omega C=\frac{1}{\omega L}$ bo‘lsa, fazalar siljishi $\varphi=0$ bo‘ladi, ya’ni tok kuchi va kuchlanish bir xil fazada tebranadi. Bunda o‘zgaruvchan tok zanjirining umumiy qarshiligi eng maksimal $Z=R$ qiymatga, tok kuchi esa eng minimal $I=\frac{U}{R}$ qiymatga ega bo‘ladi.

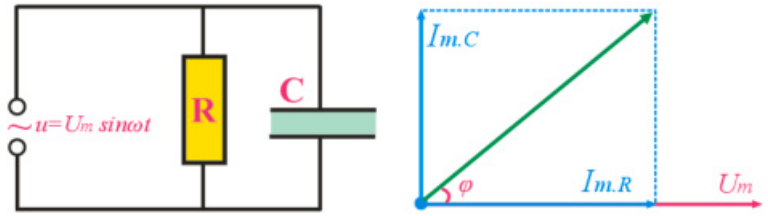
O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altaklardan ikkitasini parallel qilib ulansa, umumiy qarshilik, fazalar siljishi va vektor diagramma qanday ko‘rinishda bo‘lishiga birma-bir to‘xtalib o‘tamiz.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga parallel qilib ulangan aktiv qarshilik va kondensator uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo‘ladi (45.6-rasm):

SINOV UCHUN BERILGAN

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}$$
$$tg\varphi = R\omega C$$

(45.12a)



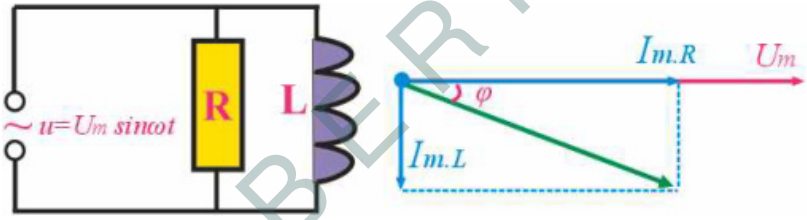
45.6-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko‘rinib turibdiki, aktiv qarshilik va kondensator o‘zaro parallel ulanganda, har doim $\varphi>0$ bo‘lar ekan, ya’ni tok kuchi kuchlanishdan faza jihatidan oldinda borar ekan.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga parallel qilib ulangan aktiv qarshilik va induktiv g‘altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo‘ladi (45.7-rasm):

$$Z = \frac{R\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$$
$$tg\varphi = \frac{R}{\omega L}$$

(45.12b)



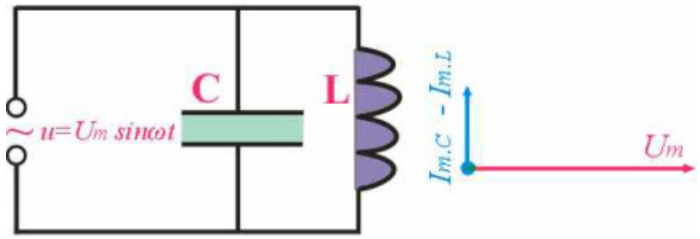
45.7-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko‘rinib turibdiki, aktiv qarshilik va induktiv g‘altak o‘zaro parallel ulanganda, har doim $\varphi<0$ bo‘lar ekan, ya’ni tok kuchi tok kuchlanishdan faza jihatidan orqada yurar ekan.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga parallel qilib ulangan kondensator va induktiv g‘altak uchun umumiy qarshilik, hamda fazalar siljishi quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{1}{Z} = \omega C - \frac{1}{\omega L}$$
$$\varphi = \pm 90^0$$

(45.12c)



45.8-rasm

Yuqoridagi formula va rasmdan ko‘rinib turibdiki, kondensator va induktiv g‘altak o‘zaro parallel ulanganda, har doim $\varphi = \pm 90^0$ bo‘lar ekan. Bunda tok kuchining kondensator yoki g‘altakda katta bo‘lishiga qarab ishora tanlanadi.

O‘zgaruvchan tok zanjirida o‘rtacha quvvat:

Biz oldingi mazularda aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g‘altakning ketma-ket va parallel holda ulangan turli kombinatsiyalari bilan tanishib, ushbu zanjirlar uchun Om qonunini o‘rgandik. Endi bizni o‘sha zanjirlarda quvvat qanday bo‘lishi qiziqtiradi.

Ixtiyoriy o‘zgaruvchan tok zanjirida tok kuchi va kuchlanish tebranish fazalari farqi φ ga teng bo‘ladi. Aytaylik tok kuchi $i = I_m \sin\omega t$ qonun bo‘yicha tebransa,

SINOV UCHUN BERILGAN

kuchlanish esa $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ qonun bo‘yicha tebranadi. Tok kuchi va kuchlanishlarning qiymatlari har onda o‘zgarib turgani bois, o‘zgaruvchan tok zanjiridagi quvvat ham tinimsiz o‘zgarib turadi. Shuning uchun, bizni o‘zgaruvchan tok zanjiridagi oniy quvvat emas, balki quvvatning bir davrdagi o‘rtacha qiymati qiziqtiradi. O‘zgaruvchan tok zanjiridagi quvvatning bir davrdagi o‘rtacha qiymatini hisoblash formulasini keltirib chiqaramiz.

Oniy quvvatni p bilan, quvvatning bir davrdagi o‘rtacha qiymatini esa $\bar{p}$ bilan belgilaymiz. Oniy quvvat tok kuchi va kuchlanishning oniy qiymatlari ko‘paytmasidan topiladi.

$$p = iu = I_m \sin\omega t \cdot U_m \sin(\omega t + \varphi) = I_m U_m \sin\omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) = \frac{I_m U_m}{2}[\cos(\omega t + \varphi - \omega t) -$$

$$-\cos(\omega t + \varphi + \omega t)] == \frac{I_m U_m}{2}\left[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)\right] = \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi - \frac{I_m U_m}{2}\cos(2\omega t + \varphi)$$

Demak, oniy quvvat

$$p = \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi - \frac{I_m U_m}{2}\cos(2\omega t + \varphi)$$

bo‘lar ekan. Bu yerda 2-had

$$\frac{I_m U_m}{2}\cos(2\omega t + \varphi)$$

ning bir davrdagi o‘rtacha qiymati nolga teng bo‘ladi. Shuning uchun, bir davrdagi o‘rtcha quvvat

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi$$

ga teng bo‘ladi.

Demak, ixtiyoriy o‘zgaruvchan tok zanjiri uchun o‘rtacha quvvatni tok kuchi va kuchlanishning maksimal va ta’sir etuvchi qiymatlari orqali ifodalanishi quyidagicha bo‘ladi:

$$\bar{p} = \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi = \frac{I_m^2 R}{2}\cos\varphi = \frac{U_m^2}{2R}\cos\varphi$$

$$\bar{p} = I\,U\cos\varphi = I^2 R\cos\varphi = \frac{U^2}{R}\cos\varphi \qquad \textbf{(45.13)}$$

Bu yerda: cosφ – quvvat koeffitsiyenti deyiladi. O‘rtacha quvvatning qiymatini oshirish uchun zanjir shunday yig‘ilish kerakki, unda quvvat koeffitsiyenti iloji boricha birga yaqinlashtiriladi. Tok kuchi va kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymatlari qanchalik katta bo‘lmasin, agar $\varphi=90^0$ bo‘lsa, o‘zgaruvchan tok manbai energiyasidan foydalanib bo‘lmaydi. Birinchi yarim davr mobaynida iste’molchiga tok manbaidan energiya kelib tursa, keyingi yarim davrda esa shu energiya tok manbaining o‘ziga to‘liq qaytariladi. Iste’molchilar bir davr mobaynida o‘zgaruvchan tok manbaidan o‘ziga hech narsa olmaydi.

SINOV UCHUN BERILGAN

O‘zgaruvchan tok manbaiga ulangan kondensator yoki g‘altakni misol qilish mumkin. Bunda $\varphi=\pm 90^0$ bo‘lgani uchun g‘altak yoki kondensatorning bir davrdagi o‘rtacha quvvati nolga teng bo‘ladi.

O‘zgaruvchan tok zanjirida rezonans:

Mexnika bo‘limidan ma’lumki, tashqi majburlovchi kuch chastotasi xusuiy tebranishlar chastotasiga tenglashganda rezonans hodisasi ro‘y berar edi. Ishqalanish va qarshilik kuchlar juda kichik bo‘lganda esa tebranishlar amplitudasi keskin ortib ketadi. Bobning boshida mexanik va elektr kattaliklarining o‘xshashligini ko‘rdik. Shu sabadan ham elektr zanjirlarida ham qarshilik R juda kichik bo‘lganda rezonans hodisasi ro‘y bermasmikan degan savol tug‘iladi.

Haqiqatan ham tebranish konturi deb ataladigan elektr zanjirlarida bu hodisa ro‘y berishi mumkin ekan. Aktiv qarshilik $R\to 0$ bo‘lgan hollarda rezonans hodisasi keskin namoyon bo‘lar ekan. Aktiv qarshilik kichik bo‘lganda tebranish konturining xususiy chastotasi

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

formula bilan aniqlanadi.

Majburiy tebranishlarda konturga berilgan o‘zgaruvchan kuchlanishning chastotasi tebranish konturining xususiy chastotasiga teng bo‘lganda tok kuchi o‘zining maksimal qiymatiga erishadi:

$$\omega=\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Xuddi mexanik rezonansdagi kabi, tebranish konturidagi rezonansda ham tashqi manbadan energiya kelib turishi uchun qulay sharoit tug‘iladi. Tok kuchi faza jihatdan kuchlanish bilan bir xil bo‘lsa, konturdagi quvvat eng katta bo‘ladi.

Tashqi o‘zgaruvchan kuchlanishga ulanish bilanoq zanjirdagi tok kuchi o‘zining rezonans qiymatiga birdan erishmaydi. Tebranishlar asta-sekin qaror topadi. Tok kuchi tebranishlarining amplitudasi har bir davr davomida rezistorda ajraladigan energiya konturga shu vaqt ichida kelib turadigan energiyaga tenglashguncha ortib boradi.

$$\frac{I_m^2R}{2}=\frac{I_mU_m}{2}$$

Bundan tok kuchining rezonans paytida qaror topgan amplitudasi uchun

$$I_m=\frac{U_m}{R}$$

kelib chiqadi. $R\to 0$ bo‘lganda rezonans tokining qiymati cheksiz ortadi. R juda katta bo‘lganda esa rezonans haqida gapirishning ma’nosi bo‘lmaydi.

Rezonans paytida tok kuchining o‘sishi bilan bir qatorda kondensator va g‘altaklardagi kuchlanishlar ham keskin ortadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak ketma-ket ulangan hol uchun Om qonuni ifodasini yozing.*
2. *Aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak ketma-ket ulanganda umumiy kuchlanish va qarshilik nimaga teng. Bunda fazalar siljishi qanday?*
3. *Aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak ketma-ket ulanganda faza jihatdan qachon to kuchi oldinda va qachon kuchlanish oldinda boradi?*
4. *Kondensator va g‘altak ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo‘ladi?*
5. *Kondensator va g‘altak ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo‘ladi?*
6. *Kondensator va g‘altak ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo‘ladi?*
7. *Aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak parallel ulangan hol uchun Om qonuni ifodasini yozing.*
8. *Aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak parallel ulanganda umumiy kuchlanish va qarshilik nimaga teng. Bunda fazalar siljishi qanday?*
9. *Aktiv qarshilik, kondensator va g‘altak parallel ulanganda faza jihatdan qachon to kuchi oldinda va qachon kuchlanish oldinda boradi?*
10. *Kondensator va g‘altak parallel ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo‘ladi?*
11. *Kondensator va g‘altak parallel ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo‘ladi?*
12. *Kondensator va g‘altak parallel ulanganda umumiy qarshilik va fazalar siljishi qanday bo‘ladi?*
13. *O‘zgaruvchan tok zanjiri uchun o‘rtacha quvvat ifodalarini yozing.*
14. *Rezonans nima? Qachon rezonans hodisasi ro‘y beradi?*

Masala yechish:

1. *Agar o‘zgaruvchan tokning chastotasi 2 marta ortsa, uning zanjiridagi induktiv g‘altakning qarshiligi qanday o‘zgaradi?*

A) 2 marta ortadi *B) 2 marta kamayadi*

C) o‘zgarmaydi *D) 4 marta kamayadi*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$\nu_2 = 2\nu_1$	*O’zgaruvchan tok zanjiriga faqat induktiv g’altak ulanganda induktiv qarshilik hisoblash formulasini ikkita holat uchun yozib nisbat olamiz:*
$R_{L2}/R_{L1} = ?$	

$$\begin{cases} R_{1L} = \omega_1 L = 2\pi\nu_1 L \\ R_{2L} = \omega_2 L = 2\pi\nu_2 L \end{cases} \Rightarrow \frac{R_{L2}}{R_{L1}} = \frac{2\pi\nu_2 L}{2\pi\nu_1 L} = \frac{\nu_2}{\nu_1} = 2$$

$R_{L2} = 2R_{L1}$ *demak, ikki marta ortadi.*

Javob: *A) 2 marta ortadi.*

SINOV UCHUN BERILGAN

2. *Sig‘imi 40 μF bo‘lgan kondensator 200 V kuchlanishgacha zaryadlangan va induktivligi 0,1 Hn bo‘lgan g‘altakka ulangan. G‘altakdagi tok kuchining maksimal qiymati qanday (A)?*

A) 0,2 B) 0,4 C) 2 D) 4

Berilgan:	*Yechilishi:*
$C=40\ \mu F$	*Elektr maydon energiyasining maksimal qiymati magnit maydon energiyasining maksimal qiymatiga teng.*
$U_0 = 200\ V$	
$L=0,1\ H$	$W_M = W_E \qquad \frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}$
$I_0 = ?$	

$$I_0 = U_0\sqrt{\frac{C}{L}} = 200\sqrt{\frac{40\cdot10^{-6}}{0.1}} = 200 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 4\ A$$

Javob: *D)*

3. *Zanjir ketma-ket ulangan 9 Ω aktiv qarshilik va 12 Ω induktiv qarshilikdan tuzilgan. Tok bilan kuchlanish tebranishlari orasidagi faza siljishining kosinusini toping.*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$R = 9\ \Omega$	*O‘zgaruvchan tok zanjiriga aktiv qarshilik g‘altagi va induktivlik ulangan. Zanjirning to‘la qarshiligi quyidagicha topiladi*
$R_L = 12\ \Omega$	
$cos\ \varphi = ?$	$Z = \sqrt{R^2 + {R_L}^2}$

Z – to‘la qarshilik, R – aktiv qarshilik, R_L – induktiv qarshilik.

$$Z = \sqrt{9^2 + 12^2} = \sqrt{225} = 15\ \Omega$$

$$cos\ \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{9}{15} = 0,6$$

Javob: *cosφ=0,6*

§ 46. TRANSFORMATOR VA UNDA ELEKTR ENERGIYASINI UZOQ MASOFALARGA UZATISH.

Turmushda foydalanadigan elektr jihozlarining hammasi ham ayni bir *220 V* ga mo‘ljallangan emas. Bu elektr asboblaridan foydalanish uchun kuchlanishni o‘zgartirish kerak bo‘ladi. Bunday vazifani odatda transformatorlar bajaradi.

Transformator:

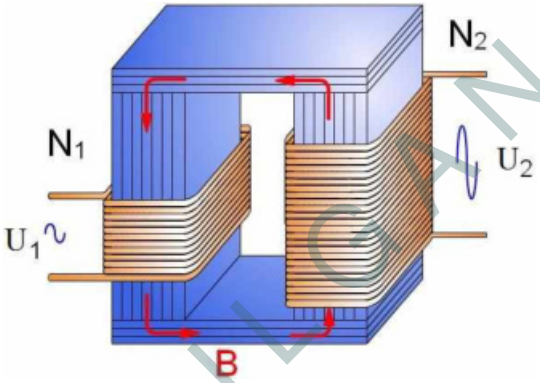
O‘zgaruvchan kuchlanishni o‘zgartirib berish uchun mo‘ljallangan qurilmaga transformator deyiladi.

Transformator umumiy po‘lat o‘zakka kiydirilgan ikkita izolyasiyalangan sim cho‘lg‘amli g‘altakdan iborat (45.1-rasm). G‘altaklarni birini birlamchi cho‘lg‘am ikkinchisini esa ikkilamchi cho‘lg‘am deyiladi. Birlamchi cho‘lg‘am yuzasida hosil bo‘lgan magnit oqimi ikkilamchi cho‘lg‘amda ham hosil bo‘lishi uchun

SINOV UCHUN BERILGAN

o‘zaklar odatda magnit singdiruvchanligi yuqori bo‘lgan ferromagnit materiallardan tayyorlanadi. Bu ferromagnit o‘zaklarda aylanma–Fuko toklari hosil bo‘lib, o‘zak qizib ketmasligi uchun o‘zak bir- biri bilan ajratilgan plastinalar shaklida tayyorlanadi.

Birlamchi cho‘lg‘amdagi o‘ramlar soni N_1, kuchlanish U_1, tok kuchi I_1 bo‘lsa, ikkilamchi cho‘lg‘amda esa o‘ramlar soni N_2, kuchlanish U_2, tok kuchi I_2 bo‘ladi. Birlamchi cho‘lg‘amga berilgan U_1 kuchlanish cho‘lg‘amning har bir o‘ramida teng $e=\frac{U_1}{N_1}$ ga teng kuchlanish hosil qiladi.



46.1-rasm

Birlamchi cho‘lg‘amdan chiquvchi magnit oqimining deyarli hammasi ferromagnit o‘zak bo‘ylab yo‘naladi va yonidagi ikkilamchi cho‘lg‘amni ham kesib o‘tadi. G‘altakda tok o‘zgarganda g‘altak yuzini kesib o‘tuvchi magnit oqimi ham o‘zgaradi. Bu o‘zgaruvchan magnit oqimi yonidagi ikkilamchi cho‘lg‘am yuzini ham kesib o‘tadi. Natijada, ikkilamchi cho‘lg‘amning har bir o‘ramida e ga teng induksion EYuK hosil bo‘ladi. Ikkilamchi cho‘lg‘amning chiqishidagi kuchlanish $U_2=eN_2=\frac{N_2}{N_1}U_1$ ga teng bo‘ladi. Bundan $\frac{U_2}{U_1}=\frac{N_2}{N_1}=k$ kattalik kelib chiqib, k – transformatsiya koeffitsiyenti deyiladi.

Cho‘lg‘amlardagi kuchlanishlar nisbati mos holda o‘ramlar soni nisbatiga teng bo‘lib, bu nisbatga transformatsiya koeffitsiyenti deyiladi.

$$k=\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2} \qquad \textbf{(46.1)}$$

Transformatorlar uchun k koeffitsiyent muhim ahamiyatga ega. Kuchlanishni qancha o‘zgartirish kerakligiga qarab k ning qiymati tanlanadi. Ayniqsa, transformatsiya koeffitsiyentining qiymati birdan katta yoki kichik bo‘lishiga qarab kuchaytiruvchi yoki pasaytiruvchi bo‘lishi mumkin.

Agar $k>1$ bo‘lsa, u holda $U_2<U_1$ bo‘lib, bunday transformator pasaytiruvchi hisoblanadi.

Agar $k=1$ bo‘lsa, u holda $U_2=U_1$ bo‘lib, bunday transformatorda o‘zgarish bo‘lmaydi.

Agar $k<1$ bo‘lsa, u holda $U_2>U_1$ bo‘lib, bunday transformator kuchaytiruvchi hisoblanadi.

Transformatorning F.I.K.

Transformator ikkilamchi cho‘lg‘ami iste‘molchiga ulanganda bu cho‘lg‘amda ajraladigan quvvatga ***transformatorning ish rejimidagi quvvati***

SINOV UCHUN BERILGAN

deyiladi.Transformator ikkilamchi cho‘lg‘amidagi quvvatning birlamchi cho‘lg‘amdagi quvvatga nisbatiga ***transformatorning ish rejimidagi FIKi*** deyiladi.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \qquad \textbf{(46.2)}$$

Odatda transformatorlarning foydalish ish koeffitsiyenti *100 %* ga juda yaqin bo‘lib, u η*=98–99,5 %* oraliqda bo‘ladi. Masalalar ishlaganda η*=100 %* deb ketiladi.

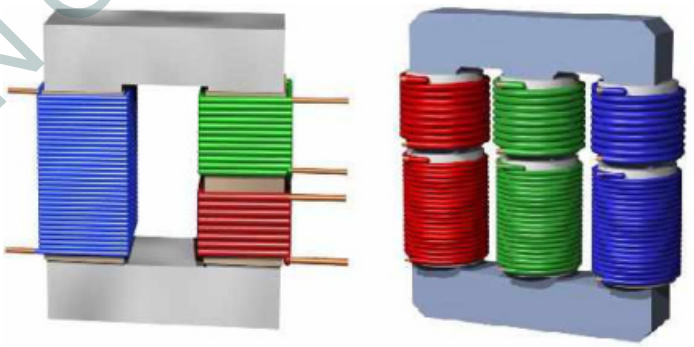
Transformator kuchlanishni necha marta oshirib bersa, tok kuchini esa shuncha marta kamaytiradi. Shuning uchun, quvvatni hech qachon oshirib uzatib bo‘lmaydi. Buni xuddi mexanikaning oltin qoidasiga o‘xshatish mumkin. Chunki, energiyaning saqlanish qoidasiga asosan ishdan yoki energiyadan yutuq beradigan qurilma yasash mumikn emas. Cho‘lg‘amlarning qizishini hisobga olmaganda ikkala cho‘lg‘amdagi quvvat deyarli bir xil bo‘ladi.

$$P_2 \approx P_1, \quad I_1 U_1 \approx I_1 U_1, \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \textbf{(46.3)}$$

Transformatorning salt ishlashi:

Transformatorning ikkilamchi cho‘lg‘ami iste’molchi–nagruzkaga ulanmagan holda ishlashiga ***transformatorning salt ishlashi*** deyiladi.

Transformator salt ishlaganda ikkilamchi cho‘lg‘amda chiqish kuchlanishi U_2 ga teng bo‘lib, iikilamchi cho‘lg‘am uzuq bo‘lgani uchun undagi tok kuchi $I_2=0$ bo‘ladi. Shuning uchun, ikkilamchi cho‘lg‘amda quvvat isrofi ham bo‘lmaydi, ya’ni $P_2=0$ bo‘ladi. Lekin, transformatorning birlamchi cho‘lg‘amida tok kuchi $I_1 \neq 0$ va quvvat $P_1 \neq 0$ bo‘ladi. Chunki, birlamchi cho‘lg‘am uzuq bo‘lmagani va birlamchi cho‘lg‘am simining elektr qarshiligi mavjudligi tufayli ham ana shunday bo‘ladi. Shunday qilib, transformatorning salt ishlash rejimida energiya isrofi faqat birlamchi cho‘lg‘amda sodir bo‘lar ekan, ya’ni bu rejimda faqat birlamchi cho‘lg‘amda qizish kuzatilar ekan.



46.2-rasm



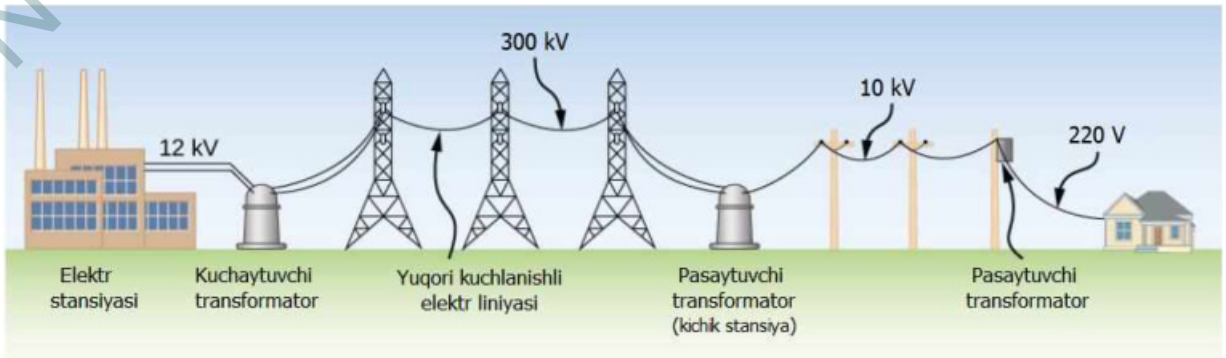
46.3-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Transformatorlarsiz hozirgi kundagi turmushimizni tasavvur qilib bo‘lmaydi. Chunki, uyimizdagi har bir elektr jihozi o‘zgaruvchan *220 V* kuchlanishga ulangani bois, ularning har birida pasaytuvchi transformator o‘rnatilgan bo‘ladi. Biz yuqorida ko‘rib chiqqan transformator eng oddiy transformatorning ishlash prinsipi edi. Undan tashqari hozirda transformatorlarning nihoyatda ishlatilish maqsadiga qarab ko‘p turlari mavjud. Bitta o‘zakning o‘ziga bir nechta cho‘lg‘amlar kiydirilib, ulardan bir nechta chiqish kuchlanishlari olish mumkin (46.2-rasm). 46.3-rasmda esa aholi yashash punktlarida ishlatiladigan pasaytuvchi transformator tasvirlangan.

Transformator yordamida elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatish:

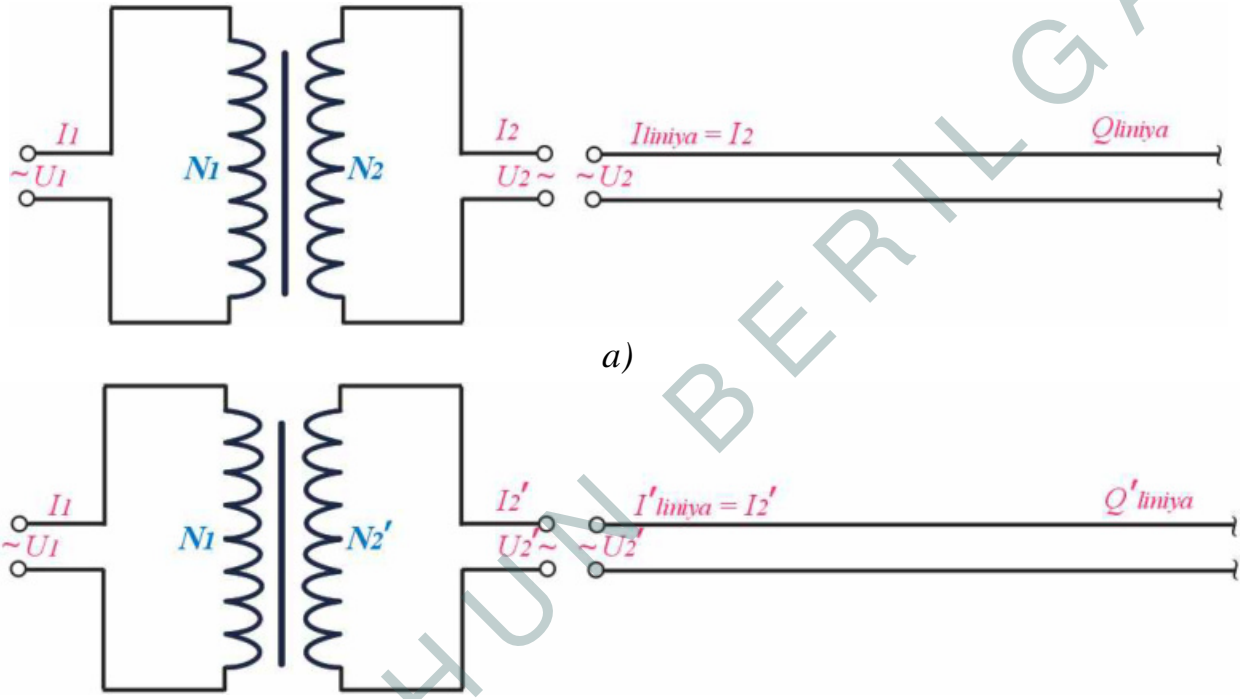
Transformatorlardan o‘zgaruvchan tokni o‘zgartirish uchun foydalanishdan tashqari o‘zgaruvchan toklarni uzoq masofalarga uzatib, eltib berishda ham foydalaniladi. Elektr energiyasini ular ishlab chiqiladigan GES, IES va AESlaridan uzoq masofalarga – yuzlab, minglab kilometrlarda joylashgan aholi punktlariga, zavod, fabrika va boshqa iste’molchilarga isrofsiz yetkazib berish katta ahamiyatga ega. Aholini elektrlashtirish masalasi har bir davlat siyosatining ustuvor masalalaridan biridir. Aholining elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyojlari deyarli 90 % dan ko‘p qismi o‘zgaruvchan tok manbalaridan, ya’ni gidroelektr stansiyalari (GESlar), issiqlik elektr stansiyalari (IESlar) hisobidan qoplanadi. Qolgan qismi esa shamol elektr stansiyalari, quyosh elektr satansiyalari hisobiga to‘g‘ri keladi. 46.4-rasmda GES, AES yoki IES larida ishlab chiqilgan o‘zgaruvchan tokni aholi punktlariga yoqori kuchlanishli liniyalar hamda kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar orqali yetkazib berish sxemasi tasvirlangan. Dastlab elektr stansiyalarida induksiyalangan EyuKini kuchaytiruvchi transformator orqali yuzlab kilovoltlarga aylantiriladi, bu yuqori kuchlanishni yuzlab, hatto minglab kilometrlarga yuqori kuchlanishli liniyalar orqali uzatiladi, so‘ngra pasaytiruvchi transformator (kichik stansiya) orqali 10 – 15 kV kuchlanishgacha tushirilib yaqin atrofdagi (3 – 30 km) aholi yashash punktalariga yetqaziladi, nihoyat bu aholi punktlarida tokni 220 V gacha tushirilib aholiga sanoat va fabrikalarga tarqatiladi.



46.4-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatishdagi asosiy muammolardan biri – bu elektr energiyasini mumkin qadar yo‘qotishlarsiz, “nes-nobud” qilmasdan ko‘zlangan manzilgacha yetkazish kerak bo‘ladi, ya’ni tok uzatuvchi liniya simlaridagi isrof bo‘ladigan elektr energiyasi mumkin qadar kamaytirilishi talab etiladi. Buning uchun Joul-Lensi qonuni $Q = I^2 R\Delta t$ ga ko‘ra liniyadagi tok kuchi iloji boricha kamaytiriladi. Liniyadagi tok kuchi esa bu transformatorning ikkilamchi cho‘lg‘amidagi chiqish tok kuchi bo‘lgani uchun ikkilamchi cho‘lg‘amdagi chiqish kuchlanishni mumkin qadar oshirish kerak bo‘ladi.



46.5-rasm

Ixtiyorimizda ikkita transformator bo‘lib, bu transformatorlarning birlamchi cho‘lg‘amlarida bir xil N_1 ta, ikkilamchi cho‘lg‘amlarida esa turlicha N_2 ta va $N_2^{'}$ ta o‘ramlar soni bo‘lsin. Transformatorlarda kirish kuchlanishi U_1, kirish tok kuchi I_1 ga teng bo‘lib, chiqish kuchlanishlari va tok kuchlari turlicha bo‘ladi. Chiqishdagi kuchlanish va tok kuchining qiymatlari mos holda 1-transformatorda U_2 va I_2 bo‘lsa, 2-transformatorda esa $U_2^{'}$ va $I_2^{'}$ bo‘ladi (46.5-rasm). Elektr energiyasini uzoq masofalarga 1-transformator yordamida uzatilganda liniya simlaridagi energiya isrofi Q_{liniya} bo‘lsa, 2-transformator yordamida uzatilganda esa liniya simlaridagi energiya isrofi $Q^{'}_{liniya}$ bo‘ladi (45.5-rasm).

Ikkala holda liniya simlarida ajralgan issiqlik miqdorlari

$$\begin{cases} Q_{liniya} = I_2^2 R\Delta t \\ Q^{'}_{liniya} = I_2^{'2} R\Delta t \end{cases}$$

ga teng bo‘ladi. Bu ikkala tenglmaslar nisbati

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\frac{Q'_{liniya}}{Q_{liniya}} = \frac{I_2'^2 R\Delta t}{I_2^2 R\Delta t} = \left(\frac{I_2'}{I_2}\right)^2$$

bo‘lib, undan esa

$$\frac{Q'_{liniya}}{Q_{liniya}} = \left(\frac{I_2'}{I_2}\right)^2 = \left(\frac{U_2}{U_2'}\right)^2$$

kelib chiqadi. Bundan izlanayotgan kattalik

$$Q'_{liniya} = \left(\frac{I_2'}{I_2}\right)^2 Q_{liniya} = \left(\frac{U_2}{U_2'}\right)^2 Q_{liniya}$$

ga teng bo‘ladi.

Demak, agar liniyadagi tok kuchi I_2 bo‘lganda yo‘ldagi isrof bo‘lgan energiya Q_{liniya} bo‘lsa, Agar liniyadagi tok kuchi I_2' bo‘lganda esa yo‘ldagi isrof bo‘lgan energiya Q'_{liniya} quyidagicha bo‘ladi:

$$Q'_{liniya} = \left(\frac{I_2'}{I_2}\right)^2 Q_{liniya} = \left(\frac{I_2}{I_2'}\right)^2 Q_{liniya} \qquad \textbf{(46.4)}$$

Yuqoridagi formuladan shunday xulosalar qilish mumkin ekan:

1) Agar ikkilamchi cho‘lg‘amdagi kuchlanish n marta oshirilsa (yoki undagi tok kuchi n marta kamaytirilsa, elektr energiyasini uzatuvchi liniya simlaridagi energiya isrofi n^2 marta kamayar ekan.
2) Agar elektr energiyasini uzatuvchi liniya simlaridagi energiya isrofi n marta kamayagan bo‘lsa, ikkilamchi cho‘lg‘amdagi kuchlanish $\sqrt{n}$ marta oshirilgan (yoki undagi tok kuchi $\sqrt{n}$ marta kamaytirilgan) bo‘lar ekan.

Aholining tez sur’atda o‘sishi, odamlarning yashash sharoitlarini yaxshilashga intilishi hisobiga elektr energiyaga extiyoj yildan yilga ortib bormoqdaki, bunda muqobil energiya manbalaridan ham foydalanish asta-sekin ommalashib bormoqda. Bunga misol qilib quyosh elektr stansiyalarining (QESlar), shamol elektr stansiyalarining (ShESlari) hamda mini elektr stansiyalarining tobora ko‘payib borayotganini keltirish mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. *Transformator nima? Birlamchi va ikkilamchi cho‘lg‘am nima?*
2. *Transformatsiya koeffitsiyenti nima? Uning formulasini yozing.*
3. *Transformatorning salt ishlashi va yuklanishdagi ishlashini tushuntiring.*
4. *Transformatorlar qachon kuchaytuvchi va qachon pasaytuvchi bo‘ladi?*
5. *Transformatorning FIK nima? Nima uchun FIK mumkin qadar 100% ga yaqin bo‘lish kerak?*
6. *Nima uchun elektr energiyasini uzoq masofalarga yuqori kuchlanishlar bilan uzatiladi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Masala yechish:

1. *110 V kuchlanishga ulangan 5 kV kuchlanishga mo'ljallangan vodorodli razryad trubkasini tok bilan ta'minlaydi. Bu trubka atrofga 75 W quvvat tarqatadi. Quyidgilarni aniqlang: a) Ikkinchi cho'lg'amdagi o'ramlar sonining birinchi cho'lg'amdagi o'ramlar soniga nisbatini; b) har bir cho'lg'amdagi tok kuchlarini; c) birinchi cho'lg'amning aktiv qarshilikka ekvivalent qarshiligini.*

Berilgan:	Yechilishi:
$U_1=110\ V$ $U_2=5\ kV$ $P_2=75W$	a) Uzatish soni formulasidan foydalanamiz. $\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2},\ \rightarrow\ \frac{N_2}{N_1}=\frac{U_2}{U_1}=\frac{5000V}{110V}\approx 45,45$
a) $N_2/N_1=?$ b) $I_1, I_2=?$ c) $R_1=?$	b) Energiya saqlanish qonuniga ko'ra cho'lg'amlarda quvvatlar teng bo'ladi. Bundan foydalanib cho'lg'amlardagi tok kuchlarini aniqlaymiz.

$$P_1=P_2=P,\ \begin{cases}P=I_1U_1\\P=I_2U_2\end{cases};\Rightarrow\ \begin{cases}I_1=\frac{P}{U_1}=\frac{75W}{110V}=0,68\,A\\I_2=\frac{P}{U_2}=\frac{75W}{5000V}=0,015\,A\end{cases}$$

c) Om qonunidan foydalanib birinchi cho'lg'amdagi ekvivalent qarshilikni aniqlaymiz.

$$I_1=\frac{U_1}{R_1},\ \rightarrow\ R_1=\frac{U_1}{I_1}=\frac{110V}{0,068\,A}=161,3\Omega$$

Javob: $a)\frac{N_2}{N_1}=45,45;\ b)\begin{cases}I_1=0,68\,A\\I_2=0,15\,A\end{cases};\ c)R_1=161,3\Omega$

2. *GESda 5 kV kuchlanish ishlab induksiyalanadi. Bu kuchlanishni transformatsiya koeffitsiyenti k=0,025 bo'lgan transformator bilan kuchaytirish orqali 500 km uzoqlikka boshqa viloyatga yuqori kuchlanishli liniyalar (ikki qator tortilgan alyuminiy simlar) orqali uzatish kerak. Har bir o'ramda ko'ndalang yuzasi 1 mm² dan 7 ta sim bor. Agar ikkilamchi cho'lg'amdagi tok kuchi 200 mA ga teng bo'lsa, liniyada qancha kuchlanish tushuvi sodir bo' ladi?*

Berilgan:	Yechilishi:
$U_1=110\ V, U_2=5\ kV$ $k=0,025, I_2=0,2\ A$ $\ell=1000\ km$	Dastlab liniya simlarining elekt qarshiligini aniqlaymiz. $R_{lin}=\rho\frac{\ell}{S}=2,8\cdot10^{-8}\Omega\cdot m\cdot\frac{10^6 m}{7\cdot10^{-6}m^2}=4000\ \Omega$
$\Delta U_{\text{lin}}=?$	Om qonunidan foydalanib liniyadagi kuchlanish tushuvini aniqlaymiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I_{lin} = I_2 = \frac{\Delta U_{lin}}{R_{lin}}, \;\rightarrow\; \Delta U_{lin} = I_{lin} R_{lin} = 0,2\,A \cdot 4000\Omega = 800\,V$$

Javob: $\Delta U_{lin} = 800\,V$

§ 47. ELEKTROMAGNIT MAYDON NAZARIYASI. GERS TAJRIBALARI. ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLARINI XOSSALARI

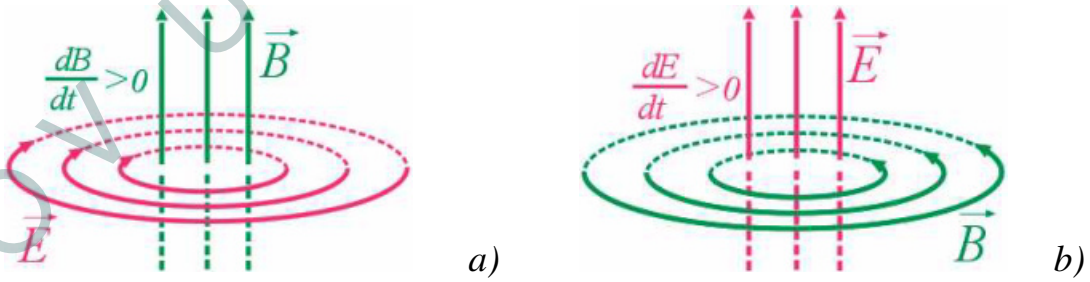
Elektromagnit maydon nazariyasi:

XIX asrning 60-yillarida ingliz olimi Jeyms Klerk Maksvell elektr va magnit maydonlarining yagona elektromagnit nazariyasini yaratdi. Maksvell bu nazariyani yaratishda o‘sha vaqtgacha o‘tkazilgan fundamental tajribalarga tayandi. O‘sha vaqtgacha elektr va magnit maydonlari ayri-ayri holda mavjud bo‘lishi ta’kidalanar edi. Maksvellning elektromagnit nazariyasiga asosan elektr va magnit maydonlari yagona elektromagnit maydonning ikki komponentalari ekan. Elektromagnit nazariya asosida elektr va magnit maydonlarining uzviy bog‘lanishda ekanligini tasdiqlovchi ikki g‘oya yotadi:

1) Vaqt davomida o‘zgaruvchan elektr maydoni o‘zgaruvchan magnit maydonini vujudga keltiradi;

2) Vaqt davomida o‘zgaruvchan magnit maydoni o‘zgaruvchan elektr maydonini vujudga keltiradi;

Elektr maydoni siljiganda yoki o‘zgarganda bu elektr maydoni bilan o‘ng vint hosil qiluvchi magnit maydoni paydo bo‘ladi. Demak, paydo bo‘lgan magnit maydoni uni yuzaga keltirgan elektr maydoniga perpendikulyar tekislikda yotar ekan (47.1-a,rasm). To‘g‘ri tokning atrofidagi magnit maydoni ham aynan tokli o‘tkazgich ichidagi erkin elektronlarning siljishi tufayli paydo bo‘ladi.



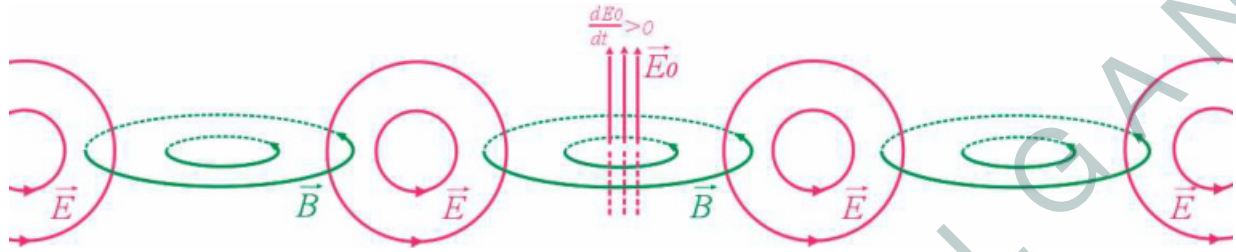
a) *b)*

47.1-rasm

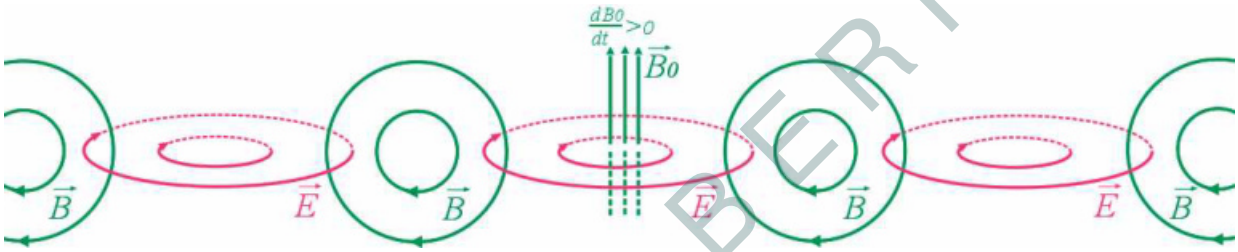
Magnit maydoni siljiganda yoki o‘zgarganda bu elektr maydoni bilan chap vint hosil qiluvchi elektr maydoni paydo bo‘ladi. Demak, paydo bo‘lgan elektr maydoni uni yuzaga keltirgan magnit maydoniga perpendikulyar tekislikda yotar ekan (47.1-b,rasm). O‘zgaruvchan magnit maydoni hosil qilgan elektr maydonini ***uyurmaviy elektr maydoni*** deb ham ataladi. Uyurmaviy elektr maydoni elektrostatik maydondan tubdan farq qiladi. Elektrostatik maydon potensial xarakterga ega bo‘lib, u zaryaddan boshlanib zaryadda tugar edi, ya’ni elektrogstatik maydonning boshi va oxiri bor. Uyurmaviy elektr maydoni esa

SINOV UCHUN BERILGAN

zaryaddan boshlanib, zaryadda tugamaydi, uning boshi va oxiri yo‘q. U xuddi magnit maydoni kabi uyurmaviydir. Uyurmaviy elektr maydoni ochiq o‘tkazgichga ta’sir etganda o‘tkazgich uchlarida potensial farqi hosil qiladi, berk o‘tkazgichga ta’sir etganda esa erkin elektronlarini harakatga keltirib elektr tokini induksiyalaydi. Elektromagnit induksiya hodisasida konturda hosil bo‘ladigan induksion tokni aynan shu uyurmaviy elektr maydoni yuzaga keltiradi.



a)



b)

47.2-rasm

Shunday qilib, elektr va magnit maydonlarini bir-biridan ajratish mumkin emas ekan. Elektr maydoni o‘zgargan joyda magnit maydoni va aksincha, magnit maydoni o‘zgargan joyda esa elektr maydoni paydo bo‘laverar ekan. Fazoning biror sohasida magnit maydoni o‘zgarayotgan yoki siljiyotgan bo‘lsa, shu sohada albatta elektr maydoni ham paydo bo‘ladi. Boshqacha aytganda, o‘zgaruvchan elektr va magnit maydonlari biri-birini “dunyoga keltiraveradi”, ya’ni ular biri-birining ijodkoridir (47.2-rasm).

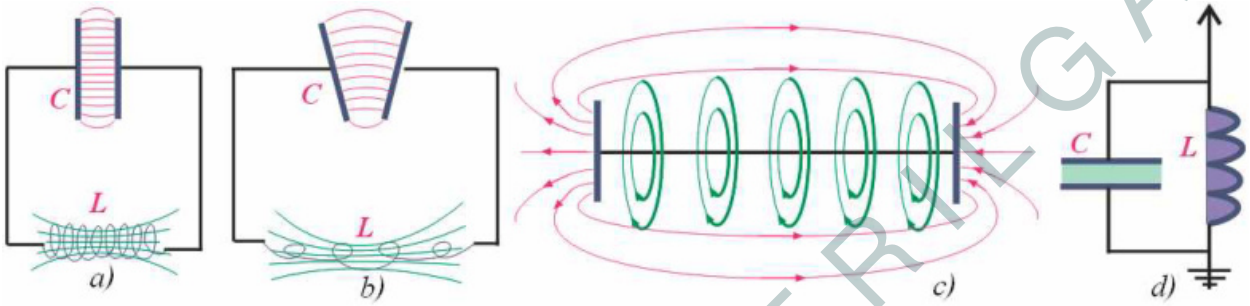
Gers tajribalari:

Davriy ravishda o‘zgaruvchan elektromagnit maydonining fazoda tarqalish jarayoniga ***elektromagnit to‘lqini*** deyiladi.

Tebranish konturi yordamida elektromagnit to‘lqini hosil qilish mumkinligin oldindan aytgan. Haviqatan ham tebranish konturi yordamida elektromagnitto‘lqini hosil qilish mumkin, lekin bunda atrofga tarqaladigan elektromagnit to‘lqinining energiyasi juda ham kam bo‘ladi. Chunki, elektr maydon energiyasi kondensator qoplamalari orasida, magnit maydon energiyasi esa g‘altakda to‘plangani uchun atrofga juda kam to‘lqin tarqalad. Bunday konturni ***berk tebranish konturi*** deb ataladi (47.3-a,rasm). To‘lqinlarning atrofga tarqalishi sezilarli bo‘lishi uchun chastotani oshirish kerak. Chastotani oshirish uchun $\nu = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{LC}}$ formulaga muvofiq induktivlik va sig‘imni kamaytish kerak bo‘ladi. Bunga esa kondensator

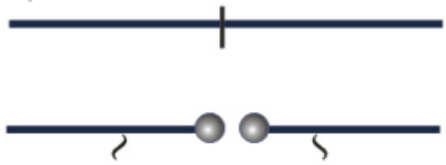
SINOV UCHUN BERILGAN

qoplamalari va g‘altak o‘ramlari orasidagi masofani oshirib erishish mumkin (47.3-b,rasm). Chastotani yanada oshirish uchun g‘altak o‘ramlari o‘rniga to‘g‘ri sim olish kerak, kondensator qoplamalari orasi yanada uzoqlashtirib ***ochiq tebranish konturi*** holiga keltirish lozim (47.3-c,rasm). Berk konturida kondensator qoplamasiga vertikal sim –antennna ulansa atrofga to‘lqin tarqalishi yaxshilanadi. Bunda antenna bo‘ylab to‘lqin tarqalmaydi, antennaga perpendikulyar tekislikda esa eng kuchli tarqaladi (47.3-d,rasm). Antennani 1895-yilda A.S.Popov ixtiro qilgan.



47.3-rasm

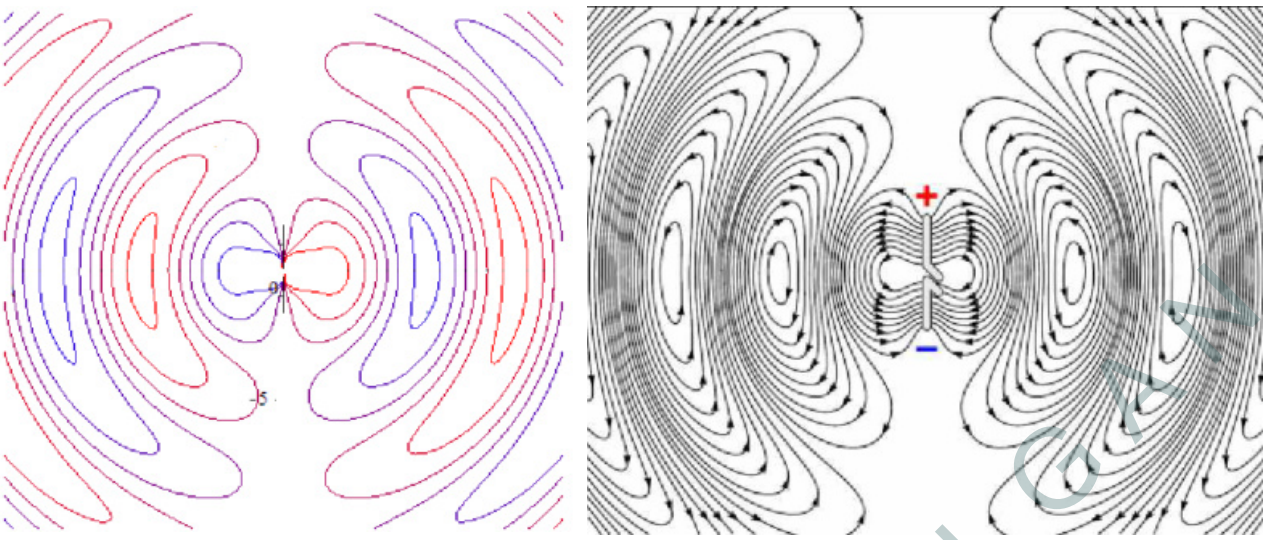
Ochiq tebranish konturini to‘g‘ri sim – sterjen olib, uni o‘rtasidan ikkiga bo‘lib ham hosil qilish mumkin. Kesilgan joyni yo‘g‘onlashtirib shar shakliga keltirilsa, sig‘im oshadi. Bu kesilgan joyni uchqun oraliq deyiladi. Ana shunday soddagini qurilmadan foydalanib, 1888-yilda dunyoda 1-marta nemis fizigi Gers sun’iy yo‘l bilan elektromagnit to‘lqinlarini hosil qildi. Bu qurilma uning sharafiga ***Gers vibratori*** deb nomlandi (47.4-rasm). Gers o‘z tajribalarida $10^8\,Gs$ tartibda, ya’ni to‘lqin uzunligi $0{,}6-10m$ bo‘lgan oraliqda elektromagnit to‘lqinlar hosil qilishga muvaffaq bo‘ldi. Keyinchalik 1895-yilda P.N.Lebedev juda kichik vibrator yordamida uzunligi *0,6 mm* bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlari hosil qildi. Yana ham qisqaroq, uzunligi *0,1 mm* tartibida bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlarni keyinchalik 1923-yilda Glagoleva va Arkadevalar hosil qilishdilar.



47.4-rasm

Tebranish konturida zaryadli zarralar tebranma harakat qilgani bois, elektromagnit to‘lqinini tebranma harakat qilayotgan zaryadli zarralar hosil qilar ekan deyish mumkin. Elektromagnit to‘lqininni hosil qilishning eng oson usuli elektr dipolini tebranma harakatga keltirishdir. Boshqacha aytganda, yelkasi ℓ ga teng bo‘lgan elektr dipol zaryadlari orasidagi masofa $-\ell < r < \ell$ o‘zgarib tebranma harakat qilsa, bu elektr dipolidan atrofga elektromagnit to‘lqini tarqaladi. 47.5-rasmda elektr diporli tebranganda hosil bo‘ladigan elektromagnit to‘lqinining oniy tasviri keltirilgan. Dipol elkasidan juda katta masofalarda elektromagnit to‘lqini deyarli sferik ko‘rinishda bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN



a) *b)*

47.5-rasm

Elektromagnit to‘lqinlarning xossalri:

Elektromagnit to‘lqinlar bir qator xossalarga ega bo‘lib, shulardan ba’zilarini sanab o‘tamiz:

1) Elektromagnit to‘lqinlarining tezligi yorug‘likning vakuumdagi tezligi $c = 3 \cdot 10^8\ m/s$ ga tengdir.
2) Elektromagnit to‘lqinlari ko‘ndalang to‘lqinlar sirasiga kirib, unda $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlari o‘zaro perpendikulyar tekislikda tebranadi.
3) Elektromagnit to‘lqinlarining muhitdagi tezligi vakuumdagidan kichik (ϑ<c). Shuningdek, vakuumdan muhitga o‘tganda elektromagnit to‘lqinining to‘lqin uzunligi ham kichrayadi, chastotasi esa o‘zgarms saqlanadi.
4) Elektromagnit to‘lqini to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Undan tashqari metall to‘siqlarga duch kelganda undan qaytishi, parafindan yasalgan uchburchakli prizmada sinishi, parafin linzada fokuslanishi mumkinligi tajribada isbotlangan.
5) Elektromagnit to‘lqini mexanik to‘lqinlari kabi interferensiyalanish vadifraksiya xossalriga ega.

Elektromagnit to‘lqin intensivligi:

Elektromagnit to‘lqinining shunchaki tarqalishi emas, uning qanchalik shiddat bilan, intensiv ravishda tarqalayotgani muhimdir. Ana shu maqsadda elektromagnit to‘lqining intensivligi tushunchasi kiritiladi.

Elektromagnit to‘lqinining tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar birlik yuzadan birlik vaqtda ko‘chib o‘tuvchi elektromagnit to‘lqini energiyasiga elektromagnit to‘lqin intensivligi deb ataladi. Boshqacha aytganda, intensivlik birlik yuzadan o‘tuvchi elektromagnit to‘lqin quvvatidir.

Elektromagnit to‘lqin intensivligi quyidagicha bo‘ladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$I = \frac{W}{St} = \frac{P}{t} \quad \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \quad \text{yoki} \quad I = \omega \cdot c \quad \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \qquad (47.1)$$

Bu yerda: S – elektromagnit to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar holda joylashgan ixtiyoriy shakldagi kontur yuzasi, W – yuzadan o‘tgan to‘lqin energiyasi, t – energiya o‘tish vaqti, ω – energiya oqim zichligi, o‘lchov birligi $[\omega] = \left[J/m^3\right]$.

Umov-Poynting vektori:

Elektrmagnit maydoni elektr zaryadlari yoki tokli o‘tkazgichlarsiz ham mavjud bo‘ladi. Faqat, bunda elektromagnit maydoni o‘zini to‘lqin tarzida namoyon qilib atrofga $c = 3 \cdot 10^8\, m/s$ ga teng tezlikda tarqalib ketadi. Elektromagnit maydoni energiyaga ega ekan, elektromagnit to‘lqini ham tarqalganda o‘zi bilan elektr va magnit maydonlari energiyasini eltadi. Oldingi boblarda elektr va magnit maydoni energiyalari zichliklari quyidagi

$$\omega_e = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}, \qquad \omega_m = \frac{\mu \mu_0 H^2}{2}$$

ekanligi bilan tanishgan edik. Elektromagnit to‘lqini tarqalganda bu energiyalar birgalikda tarqaladi, ya’ni elektromagnit maydon energiyasi elektr va magnit maydon energiyalari yig‘indisiga tengdir.

$$\omega = \omega_e + \omega_m = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu \mu_0 H^2}{2}$$

Tebranish konturida elektr va magnit maydon energiyalari davriy ravishda bir-biriga aylanib turishini eslasak, elektr va magnit maydon energiyalari o‘zaro tengligi kelib chiqadi.

$$\omega = \omega_e + \omega_m = 2\omega_e = 2\omega_m, \quad yoki \quad \omega = \varepsilon \varepsilon_0 E^2 = \mu \mu_0 H^2$$

Bundan esa

$$\sqrt{\omega} = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0}\, H$$

kelib chiqadi. Energiya zichligini quyidagicha ifodalash ham mukin:

$$\omega = \sqrt{\omega} \cdot \sqrt{\omega} = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E \cdot \sqrt{\mu \mu_0}\, H = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0}\, E H$$

Biz $\vartheta = \frac{c}{n} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ formula bilan tanishmiz. Shuning uchun yuqoridagi formula quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\omega = \frac{EH}{\vartheta} \qquad (47.2)$$

Natijada, biz energiya oqim zichligi deb ataluvchi ushbu formulaga ega bo‘lamiz:

$$S = \omega \vartheta = EH \quad \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \qquad (47.3)$$

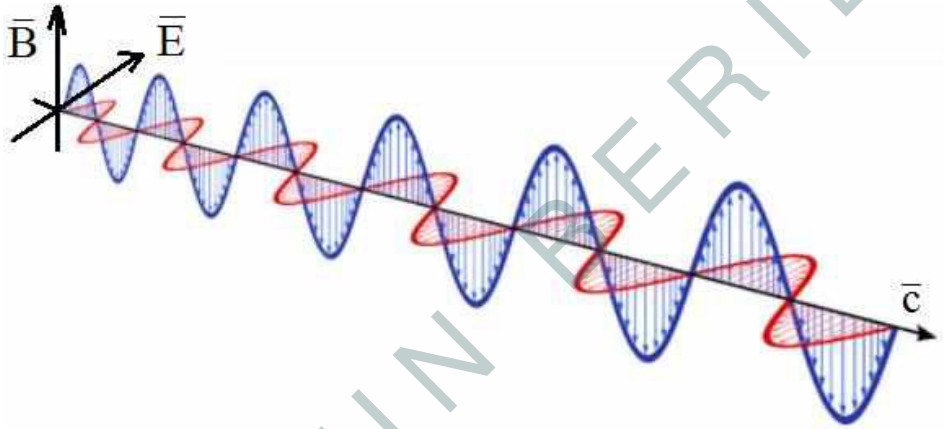
SINOV UCHUN BERILGAN

Elektromagnit to‘lqinining tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar birlik yuzadan birlik vaqtda ko‘chib o‘tuvchi elektromagnit to‘lqini energiyasiga energiya oqim zichligi deb ataladi.

Elektromagnit to‘lqin intensivligi $I = \frac{W}{S\,t}$ ni esga olsak, intensivlik va energiya oqim zichligi ayni bir narsa ekan.

$\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlari o‘zaro va to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyardir. Boshqacha aytganda, $\vec{E}$ va $\vec{H}$ vektorlari va to‘lqin tarqalish yo‘nalishi bilan o‘ng vint hosil qiladi (47.6-rasm). Shundan foydalanib, energiya oqim zichligini vektorli ko‘rinishda ham yozish mukin bo‘ladi.

$$\vec{S} = \left[\vec{E} \times \vec{H}\right] \qquad \textbf{(47.4)}$$



47.6-rasm

Energiya oqim zichligi vektori tushunchasini birichi bo‘lib 1874-yilda rus olimi N.A.Umov umumiy holda to‘lqinlar uchun kiritgan edi. Bu tushunchani 1884-yilda ingliz fizigi J.G.Poynting xususiy holda aynan elektromagnit to‘lqinlari uchun qo‘llagan. Shuning uchun energiya oqim zichligi vektorini ***Umov-Poynting vektori*** deb yuritiladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

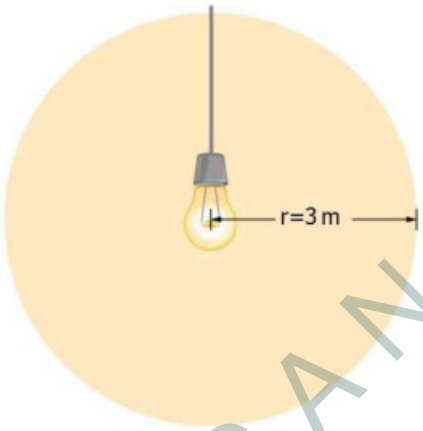
1. *Uyurmaviy elektr maydoni deb nimaga aytiladi?*
2. *Elektr va magnit maydonlari bir-birini qanday hosil qilishini tushuntiring.*
3. *Gers tajribalarini aytib bering.*
4. *Elektromagnit to‘lqini uzoq masofalarga qanday uzatiladi?*
5. *Umov-Poyting vektori nima? Uning miqdori va yo‘nalishini ayting.*
6. *Elektromagnit maydon energiya zichligi formulasini yozing.*

Masala yechish:

1. *Quvvati 5 W bo‘lgan akva lampasi faqat ko‘rinuvchi nurlar chiqaradi. Bu lampadan 3 m naridagi nuqtada elektr maydon kuchlanganligi va magnit maydon induksiyasi nimaga teng (rasmga qarang)?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
P=5 W	*Elektr maydon energiyasi zichligi*
r=3 m	$\omega = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2}$
$E = ?$	*hamda intensivlik*
$B = ?$	$I = \frac{W}{St} = \frac{P}{4\pi r^2}$



orasidagi bog'lanish

$$I = \omega c$$

dan foydalanib elektr maydon kuchlanganligini aniqlaymiz.

$$\frac{P}{4\pi r^2} = \frac{\varepsilon_0 E_0^2}{2} c, \rightarrow E_0 = \frac{1}{r}\cdot\sqrt{\frac{P}{2\pi\varepsilon_0 c}} = \frac{1}{3}\cdot\sqrt{\frac{5W}{2\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\frac{N\cdot m^2}{C^2}\cdot 3\cdot 10^8\frac{m}{s}}} = 5{,}77\,\frac{V}{m}$$

Endi elektr va magnit maydon orasidagi bog'lanishdan foydalanib magnit maydon induksiyasini aniqlaymiz.

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{5{,}77\frac{V}{m}}{3\cdot 10^8\frac{m}{s}} = 1{,}92\cdot 10^{-8}\,T$$

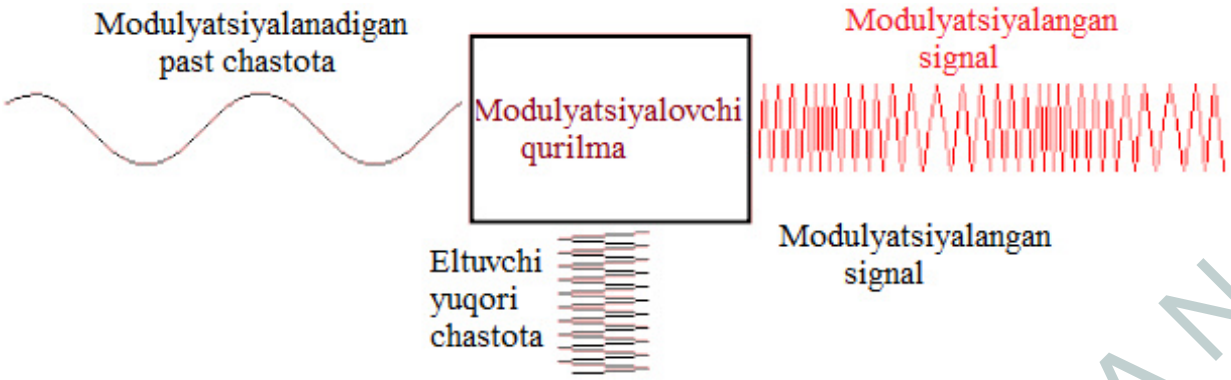
Javob: $E_0 = 5{,}77\frac{V}{m};\ B_0 = 1{,}92\cdot 10^{-8}\,T$

§ 48. RADIOALOQA, TELEVIDENIYA VA RADIOLOKATSIYA HAQIDA TUSHUNCHA. RADIOTO'LQIN SHKALASI

Radioaloqa, televideniya va radiolakatsiya haqida tushuncha:

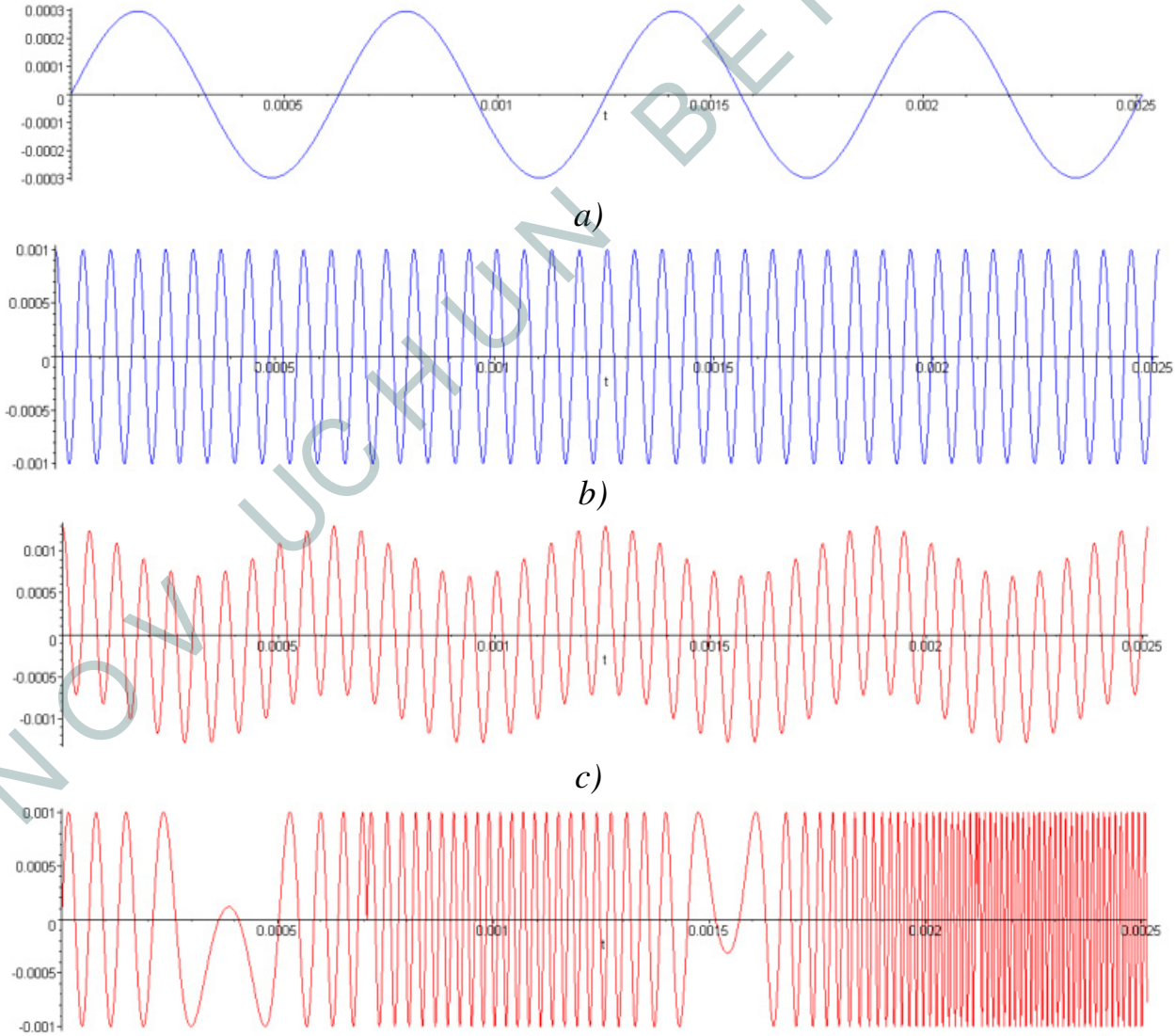
Ma'lumki, tovush to'lqinlari tebranishlari $20-20000\,Hz$ oralig'ida bo'lib, radioaloqada foydalaniladigan $10^4-10^{11}\,Hz$ chastotalardan ko'ra 10^3-10^7 marta kichikdir. Vibrator nurlaydigan elektromagnit to'lqin energiyasi chastotaning 4-darajasiga proporsionaldir $(\omega\sim\nu^4)$. Shu sabali tovush to'lqini elektr signallariga aylantirilganda u deyarli nurlanmaydi, tarqalmaydi. Elektromagnit to'lqini nurlanishi uchun esa past chastotali tovush signallrini yuqori chastotali tebranishlari bilan qo'shiladi, ya'ni modulyasiyalanadi. Bunda hosil bo'lgan tebranishlarni ***modulyasiyalangan tebranishlar***, tovush tebranishlarini ***modullovchi tebranishlar***, yuqori chastotali elektr tebranishlarini esa ***eltuvchi tebranishlar*** deb ataladi. Past chastotali tovush tebranishlari bilan modulyasiyalangan radioto'lqinga ***radiosignal*** deyiladi. 48.1-rasmda bu jarayonning sxemasi keltirilgan.

SINOV UCHUN BERILGAN



48.1-rasm

Agar modulyasiyalash natijasida tebranish amplitudasi o‘zagarsa, amplituda modulyasiyasi, chastota o‘zgarsa, chastota modulyasiyasi hosil bo‘ladi. 48.2-a,rasmda past chastotali tovush tebranishlari, 48.2-b,rasmda yuqori chastotali elektr tebranishlari hamda 48.2-c,d,rasmlarda esa amplitudasi va chastotasi modulyasiyalangan tebranishlar tasvirlangan.



48.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Radioto‘lqinlar ***qa’bul qilgich (priyomnik)*** deb ataladigan maxsus qurilmalar yordamida tutiladi va tovush signallariga aylantiriladi. Lekin, bunda yuqori chastotali tovush signalini inson qulog‘i eshitmaydi. Shu boisdan ham bu signallar ichidan past chastotali tovush signallari ajratib olinadi, ya’ni modulyasiyalashga teskari ish amalga oshiriladi.

Qa’bul qilgichlar yordamida modulyasiyalangan tebranishlardan past chastotali tovush tebranishlarini ajratib olish usuliga ***detektorlash*** deb ataladi.

Radioaloqadan radioeshittirishlarni uzatishda va turli ovozli aloqalarda foydalanilsa, televideniyadan esa tasvirlarni uzatishda foydalaniladi. Teleko‘rsatuvlarda har sekundda 25ta kadr ketma-ket almashib turadi. Lekin, biz buni sezmaymiz. Har bir kadr videosignalga aylantiriladi hamda yuqori chastotali elektr signali bilan qo‘shib modulyasiyalanadi. Bu modulyasiyalashni amalga oshirish uchun esa o‘ta yuqori chastotali elektr tebranishlaridan foydalanish kerak bo‘ladi. Boshqacha aytganda, eltuvchi tebranish chastotasi ultraqisqa sohaga tegishli bo‘lishi kerak bo‘ladi. Lekin ultraqisqa to‘lqinlari orqali uzatilgan videosignallari Yer sirtida yutiluvchan va ionosfera qatlamidan o‘tib ketuvchan xususiyatga ega bo‘ladi. Natijada teleko‘rsatuvlarni ko‘z ko‘rish diapozoniga uzatilishi mumkin bo‘ladi. Teleko‘rsatuvlarni uzoqroq masofalarga uzatish uchun ularni balandroq nuqtalardan – teleminoralardan turib uzatiladi. Ostankino teleminorasining balandligi *540 m* bo‘lib, uni *130 km* ga, Toshkent teleminorasining balandligi esa *375 m* bo‘lib, uni *100 km* ga benuqson uzatish mumkin.

Radioaloqa va televideniyaning ishlash prinsipi tebranish konturida bo‘ladigan rezonans hodisasiga asoslangan. Uzatkich va qa’bul qilgichni tebranish konturlaridagi tebranish konturlari ayni bir chastotaga sozlangandagina rezonans hodisasi ro‘y beradi.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket qilib ulangan aktiv qarshilik, sig‘im va induktivlik uchun tok kuchining maksimal qiymati orasidagi bog‘lanish ushbu avval aytganimizdek quyidagicha:

$$I_M = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Ko‘rinishda bo‘lishi bilan avvalgi mazularda tanishgan edik. Agar ushbu zanjirda aktiv qarshilik *R=0* bo‘lib, sig‘im qarshilik induktiv qarshilikka tenglashsa, zanjirdagi tok kuchi cheksiz oshib ketadi. Xuddi shu holatda tashqi manba tokining tebranish chastotasi konturning xususiy tebranish chastotasiga tenglashadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$X_C = X_L, \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}, \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \omega_0 \qquad (48.1)$$

Aktiv qarshiligi juda kichik bo‘lgan tebranish konturida uning xususiy chastotasi tashqi o‘zgaruvchan kuchlanishning chastotasiga teng bo‘lib qolsa, tokning majburiy tebranishlar amplitudasi keskin ortadi. Elektr tebranish konturidagi rezonans shundan iborat. Rezonans paytida tashqi kuchlanish fazasi bilan konturdagi tok kuchi fazasi o‘rtasidagi faza siljishi nolga teng.

Tebranish konturi tarqatishi yoki qa’bul qilishi mumkin bo‘lgan to‘lqinning chastotasi va to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \qquad \lambda = 2\pi c\sqrt{LC} \qquad (48.2)$$

Rezonans paytida tok kuchining o‘sishi bilan barobar kondensatordagi va induktivlik g‘altagidagi kuchlanishlar xam keskin ortadi. Bu kuchlanishlar kattaligi jihatidan tenglashib, tashqi kuchlanishdan bir necha marta ortib ketadi.

$$\begin{cases} U_{M.REZ} = I_{M.REZ} \cdot \dfrac{1}{\omega C} = I_{M.REZ} \cdot \sqrt{\dfrac{L}{C}} \\ U_{M.REZ} = I_{M.REZ} \cdot \omega L = I_{M.REZ} \cdot \sqrt{\dfrac{L}{C}} \end{cases} \qquad (48.3)$$

Radiolokatsiya detsimetrli radioto‘lqinlarning turli jismlar va buyumlar sirtidan qaytishiga asoslangan. Bunda *200–300 km* masofadagi quyuq tuman ortiga yashiringan yoki qorong‘ulikdagi yirik buyumlar, aysbergalar, kema va samolyotlarning turgan o‘rni aniqlanadi. Bu maqsadda foydalaniladigan qrilmani ***radiolokatorlar*** deb ataladi.

Radiolakatordan signallar qisqa-qisqa impulslar tarzida jo‘natiladi. Bitta impulsning davomiyligi $\tau \sim 10^{-6}\, s$ tartibida bo‘lib, impulslar oralig‘idagi vaqt esa birmuncha kattaroq, ya’ni $T \sim 10^{-3}\, s$ tartibida bo‘ladi. To‘siqdan qaytgan impulslar amplitudasi yuborilgan impulsnikidan ancha kichik bo‘ladi. Chunki, to‘siqqa borib kelguncha to‘lqin intensivligi susayib qoladi. Radar ekranidan yuborilgan va qaytgan impulslarni bitta qarashda amplitudalar orasida farqdan bilib olish mumkin bo‘ladi.

Radiolakatordan to‘siqqacha bo‘lgan masofaga ***kuzatish chuqurligi*** deyiladi. Yuborilgan impuls to‘siqdan qaytguncha kuzatish chuqurligidan 2 marta ko‘p yo‘l o‘tadi. Impulsning borib kelish vaqtini bilgan holda kuzatish chuqurligini aniqlash mumkin bo‘ladi.

Radardan kuzatuv chuqurligi (ob’ektgachagacha bo‘lgan masofa) quyidagicha bo‘ladi:

$$R = \frac{c\tau}{2} \qquad (48.4)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: τ – impulsning borib kelish vaqti.

Agar radar biror t vaqt ichida N ta impuls nurlasa, bitta impulning borib kelish vaqti τ va kuzatuv chuqurligi R quyidagicha bo‘ladi:

$$\tau = \frac{t}{N} \quad , \quad R = \frac{c\tau}{2} = \frac{ct}{2N} \qquad (48.5)$$

Hozirgi vaqtda radiolokatsiya keng rivojlangan bo‘lib, undan faqatgina ko‘inmay turgan jismlarning o‘rnini aniqlash maqsadida foydalanilmaydi. Undan tashqari tabiat hodisalarini o‘rganishda, bulutlar hosil bo‘lishi, dovul, bo‘ron va turli yog‘ingarchiliklarni oldindan aytish va odamlarni ogohlantirishda va boshqa maqsadlarda ham foydalaniladi.

Radioto‘lqinlar shkalasi:

Radioto‘lqinlar juda keng dipazonda qo‘llaniladi. Ishlatilish sohasiga va qancha masofaga uzatilishiga qarab ularni o‘ta uzun, uzun, o‘rta, qisqa va ultraqisqa to‘lqinlarga bo‘linadi. Chunki, radioto‘lqinlarning sinish, qaytish va yutilish xossalari to‘lqin uzunlikka qarab o‘zgarib boradi. Masalan, uzun va o‘rta to‘lqinlar Yer sirtidan va ionosfera qatlamidan xuddi ko‘zgudan qaytgandek ko‘p marta qaytib Yer sirtining ko‘rinmaydigan sohalariga ham aylanib o‘ta olsa, ultraqisqa to‘lqinlar esa Yer sirtida yutilib, ionosfera qatlamidan esa o‘tib ketadi. Shu boisdan ham ultraqisqa to‘lqinlardan faqat ko‘rinadigan sohalarda foydalanish mumkin bo‘ladi. Radioto‘lqinlar diapazoni quyidagi jadvalda keltirilgan.

48.1-jadval

To‘lqin nomi	To‘lqinlar diapazoni, *m*	Chastotalar diapozoni, *Gs*
O‘ta uzun to‘lqinlar	10 000 m.dan katta	$3\cdot10^4$ dan katta
Uzun to‘lqinlar	10 000-1000	$3\cdot10^4 - 3\cdot10^5$
O‘rta to‘lqinlar	1000-100	$3\cdot10^5 - 3\cdot10^6$
qisqa to‘lqinlar	100-10	$3\cdot10^6 - 3\cdot10^7$
Ultraqisqa to‘lqinlar:		
-metrli	10-1	$3\cdot10^7 - 3\cdot10^8$
-detsimetrli	1-0,1	$3\cdot10^8 - 3\cdot10^9$
-santimetrli	0,1-0,01	$3\cdot10^9 - 3\cdot10^{10}$
-millimetrli	0,01-,001	$3\cdot10^{10} - 3\cdot10^{11}$

Millimetrli radioto‘lqinlardan keyingi sohada, ya’ni elektromagnit to‘lqinlarning qisqa to‘lqinli sohasida mikrometrli, infraqizil, oq yorug‘lik, ultrabinafsha, rentgen nurlari va γ-nurlari yotadi. Bular haqida keyingi boblarda so‘z yuritiladi.

Mavzu yuzasidan savollar:

1. Nima uchun past chastotali elktr tebranishlarini uzoq masofalarga uzatib bo‘lmaydi?

2. Elektromagnit to‘lqini uzoq masofalarga qanday uzatiladi?

SINOV UCHUN BERILGAN

3. *Modulyatsiyalash nima? Uning qanday turlari bor?*
4. *Detektorlash nima?*
5. *Kuzatish chuqurligi qanday formuladan topiladi?*
6. *Radito'lqinlarning turli diapozonlarini aytib bering.*

Masala yechish:

1. *Antenna 6 MHz chastotali elektromagnit to'lqin nurlamoqda. To'lqin tarqalish yo'nalishidagi 100 km masofada nechta to'lqin joylashadi?*

A) 1000 B) 1500 C) 1800 D) 2500 E) 2000

Berilgan:

$\nu = 6 \cdot 10^6\ Hz$

$S = 10^5\ m$

$c = 3 \cdot 10^8\ m/s$

$n - ?$

Yechilishi:

S masofada joylashadigan to'lqinlar sonini topish uchun, S masofani to'lqin uzunligiga bo'lish kerak

$n = \frac{S}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{\vartheta}{\nu}$

$n = \frac{S\nu}{\vartheta} = \frac{10^5 6 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^3 = 2000\ ta$

Javob: *E)*

2. *Kosmik kemadan tarqalayotgan, chastotasi 10 MHz bo'lgan elektromagnit to'lqinning uzunligi qanday (m).*

Berilgan:

$\nu = 10^7\ Hz$

$\lambda - ?$

Yechilishi:

$\vartheta = \lambda\nu, \quad \lambda = \frac{\vartheta}{\nu}$

$\vartheta = c = 3 \cdot 10^8\ m/s$

$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^7} = 30\ m$

Javob: *30 m*

VI BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 9.

O`zakli va o`zaksiz g'altakning induktiv qarshiligini aniqlash.

Ishning maqsadi: 1. Aktiv va reaktiv qarshiliklar farqini o'rganish. 2. G'altakning o'zinduksiya koeffitsiyentini aniqlash.

Kerakli asbob va jihozlar: Jhp-12AV msumli tok manbayi, o'zgarmasva o'zgamvchan tokni o'lchaydigan ampermetrlar, o'zgarmas va o'zgaruvchan tokni o'lchaydigan voltmetrlar, o'zinduksiya koeffitsiyenti aniqlanadigan g'altak, temir o'zak, qo'shkalit va ulash simlari.

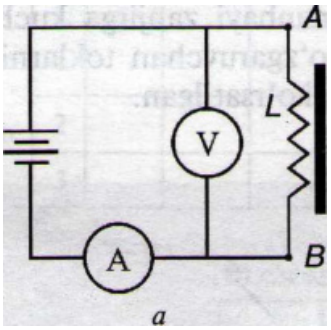
NAZARIY QISM

Buning uchun navbat bilan yopiq zanjirning ma'lum qismidan o'zgarmas, keyin o'zgamvchan tok o'tkaziladi (1- a,b rasmlar).Zanjir tok manbayiga 1-a

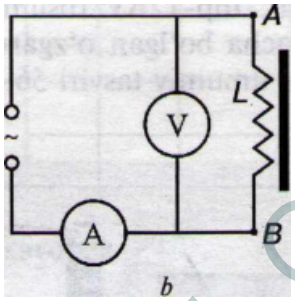
SINOV UCHUN BERILGAN

rasmda tasvirlangandek ulanganda g'altakning AB qismidan o'zgarmas tok o'tadi. U holda zanjirdagi AB qism (g'altak)ning aktiv qarshiligi, ampermetr va voltmetrlarning ko'rsatishlari bo'yicha, quyidagi ifoda yordamida hisoblaniladi:

$$R=U/I \qquad (3)$$



a)



b)

1-rasm

Agar shu zanjirni (1- b rasm) o'zgaruvchan tok manbayiga ulasak, unda AB qism (g'altak)ning to'liq qarshiligi Om qonuniga binoan qo'yidagicha hisoblaniladi:

$$Z=U_{\approx}/I_{\approx} \qquad (4)$$

Zanjir o'zgamvchan tok manbayiga ulanganligi uchun g'altakning to'liq qarshiligi, uning aktiv va reaktiv qarshiliklari bo'yicha quyidagicha aniqlanadi:

$$Z^2=R^2+X_L^2=R^2+w^2L^2 \qquad (5)$$

Qurilmaning tuzilishi

G'altakning o'zinduksiya koeffitsiyentini aniqlash qurilmasining elektr zanjiri 1- rasmga ko'ra yig'ilgan. Qurilmada tok manbayi sifatida Jhp-12AV rusumli tok manbayi, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok kuchini va kuchlanishni o'lchaydigan ampermetr va voltmetriar, o'zinduksiya koeffitsiyenti aniqlanadigan g'altak, temir o'zak, kalit va ulash simlaridan foydalanilgan. Jhp-12AV rusumli tok manbayi zanjirga kuchlanishi 3 Vdan 12 V gacha bo'lgan o'zgarmas va o'zgaruvchan toklami bera oladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Laboratoriya ishining yo'riqnomasi bilan tanishib bo'lgach, qurilmaning elektr sxemasini yig'ing va uni o'qituvchiga tekshirtiring. Qurilmani ishga tushirish uchun o'qituvchidan ruxsat oling.
2. O'zaksiz g'altakdan o'zgarmas tok o'tkazib R ning qiymatini va o'zgaruvchan tok o'tkazib Z ning qiymatlarini toping.
3. Tajribani kuchlanishning har xil qiymatlari uchun takrorlab aktiv va reaktiv qarshiliklarning o'racha qiymatlarini hisoblang.
4. Tajriba natijalarining o'rtacha qiymatlari bo'yicha g'altakning o'zinduksiya koeffitsiyentini aniqlang.
5. G'altakka temir o'zak tushirib, tajribani yuqorida ta'kidlanganidek takrorlang.

SINOV UCHUN BERILGAN

6. G'altakning o'zaksiz va o'zakli holatlari uchun o'zinduksiya koeffitsiyentlarini taqqoslang.

7. Tajriba natijalari asosida quyidagi jadvaini to'ldiring.

1-jadval

O`zaksiz g'altakning induktiv qarshiligini aniqlash.									
№	$R_a[\Omega]$	$U_i[V]$	$I_i[\mathrm{A}]$	$Z_i[\Omega]$	$x_l[\Omega]$	$\overline{x_l}$	Δx_l	$\overline{\Delta x_l}$	$\delta = \frac{\overline{\Delta x_l}}{\overline{x_l}} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
 $x_l = \overline{x_l} \pm \overline{\Delta x_l}$									

2-jadval

O`zakli g'altakning induktiv qarshiligini aniqlash.									
№	$R_a[\Omega]$	$U_i[V]$	$I_i[\mathrm{A}]$	$Z_i[\Omega]$	$x_l[\Omega]$	$\overline{x_l}$	Δx_l	$\overline{\Delta x_l}$	$\delta = \frac{\overline{\Delta x_l}}{\overline{x_l}} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
 $x_l = \overline{x_l} \pm \overline{\Delta x_l}$									

Nazorat savollari

1.Induktivlikt deb nimaga aytiladi?

2. O‘zinduksiya deb nimaga aytiladi?

3. Solenoid uchun induktivlikni aniqlash formulasi qanday?

4. o‘zaro induksiya deb nimaga aytiladi?

Laboratoriya ishi: № 10.

O`zgaruvchan tok zanjirida sig'im qarshilikni aniqlash.

Ishning maqsadi: 1. Reaktiv qarshilik haqida umumiy tushunchani shakllantirish. 2. Kondensatorning sig'im qarshiligini o'lchashni o'rganish.

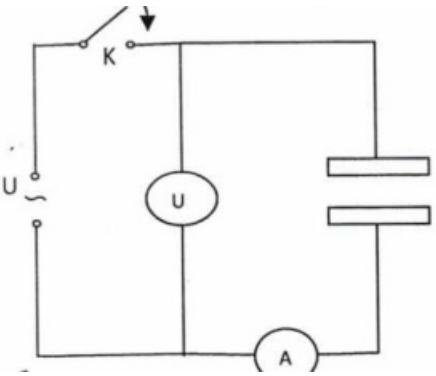
$$R_c = \frac{U_0}{I_0} \qquad (1)$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} \qquad (2).$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Kerakli asbob va jihozlar: Kuchlanishi 4-12 V bo'lgan o'zgaruvchan tok manbai. 6μF li qog'oz kondensator. Noma'lum sig'imli kondensator. O'zgaruvchan tok milliampermetri. Ulash simlari. Bir va ikki qutbli elektr kalitlar. O'zgaruvchan tok voltmetri va boshqa yordamchi aslahalar.

QURILMANING TUZILISHI VA ISHLASHI



(1) $I = \frac{U}{Z}$ (2) $Z = \frac{U}{I}$

(3) $X_{c(\text{teop})} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$

Qurilma o'zgaruvchan tok ampermetri va voltmetri, o'rganilayotgan sig'imi ma'lum va noma'lum kondensatorlar, o'zgaruvchan tok manbai hamda elektr kalitlardan tashkil topgan.

Qurilmani ishga tushirish uchun asosiy o'zgaruvchan tok tarmog'iga 24 V kuchlanish beruvchi asbob ulanadi, so'ngra kalit K qo'shiladi. Ishning elektr zanjiriga qo'shilgan voltmetr va ampermetrning ko'rsatganlarini yozib olinadi.

Ishni bajarish tartibi

1 . Laboratoriya ishining yo'riqnomasini o'qib o'rganib, sxemani tahlil qilib bo'lgandan so'ng o'qituvchining savollariga javob berib, ishni bajarishga ruxsat oling.

2. Laboratoriya ishming elektr sxemasini o'rganing.

3. Sig'imi ma'lum C kondensatorning qoplamalariga 50 Hz chastotali 4-12 V o'zgaruvchan kuchlanish berish uchun kalit *K* ni ulaymiz.

4. Qurulmaning ko`rsatgichini jadvalga kiritamiz.

5. Sig'im qarshiligini (1) formulaga muvofiq hisoblang..

6. Sigim qarshiliokning o`rtacha qiymatini topamiz.

7. Nisbiy va absolyut xatolikni hisoblaymiz.

8. 50 Hz chastotali sig`im qarshilikni (2) formula yordamida nazariy qiymatini hisoblaymiz.

9. Sig`im qarshilikning tajriba va nazariy olingan qiymatlarini jadvalga kiritamiz va ularni taqqoslaymiz.

10. Sixemada kondensator sig`imini o`zgartiramiz.

11. Tajriba to`liqligicha qaytarilab sig`im qarshilik qiymatini topamiz.

12. Tajriba natijalariga qarab hulosa chiqaramiz.

1-jadval

SINOV UCHUN BERILGAN

№	C_1 $\cdot 10^{-6}F$	$U_1(V)$	I $\cdot 10^{-3}(A)$	$x_c(\Omega)$	$\overline{x_c}(\Omega)$	$\Delta x_c(\Omega)$	$\overline{\Delta x_c}(\Omega)$	$\varepsilon\%$
1								
2								
3								
4								
5								
$x_{c(taj)} = \overline{x_c} \pm \overline{\Delta x_c}$				$x_{c(naz)} = \frac{1}{2\pi\nu C}$				

№	C_1 $\cdot 10^{-6}F$	$U_1(V)$	I $\cdot 10^{-3}(A)$	$x_c(\Omega)$	$\overline{x_c}(\Omega)$	$\Delta x_c(\Omega)$	$\overline{\Delta x_c}(\Omega)$	$\varepsilon\%$
1								
2								
3								
4								
5								
$x_{c(taj)} = \overline{x_c} \pm \overline{\Delta x_c}$				$x_{c(naz)} = \frac{1}{2\pi\nu C}$				

VI BOBGA DOIR TESTLAR

1. Tebranish konturidagi tebranishlar davri ifodasini toping.

A) $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ B) $T = \sqrt{2\pi/\omega}$

C) $T = 2\pi\sqrt{LC}$ D) $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ E) $T = \sqrt{t/n}$

2. Ideal tebranishlar konturida hosil bo‘ladigan tebranishlarning siklik chastotasi formulasini ko‘rsating.

A) $\omega = \sqrt{LC}$ B) $\omega = \sqrt{L/C}$ C) $\omega = \sqrt{C/L}$

D) $\omega = LC$ E) $\omega = 1/\sqrt{LC}$

3. Tebranishlar konturidagi tebranishlar davri qanday hollarda oshadi:

1) elektr sig‘imi oshganda; 2) elektr sig‘imi kamayganda;

3) induktivlik oshganda; 4) induktivlik kamayganda?

A) 2; 3 B) 2; 4 C) 1; 4 D) 1; 3. e) 4

4. Tebranishlar konturi induktivligi 4 marta oshirilsa, konturdagi tebranishlar chastotasi qanday o‘zgaradi?

A) o‘zgarmaydi B) 4 marta kamayadi C) 4 marta ortadi.

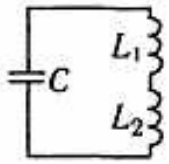
SINOV UCHUN BERILGAN

D) 2 marta kamayadi E) 2 marta ortadi.

5. Tebranishlar konturining induktivligini va sig‘imini 4 marta oshirsak, konturdagi tebranishlar davri qanday o‘zgaradi?
A) o‘zgarmay qoladi. B) 4 marta kamayadi. C) 16 marta oshadi.
D) 16 marta kamayadi. E) 4 marta oshadi.

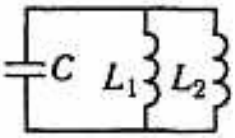
6. Tebranishlar konturidagi induktivlik 2 marta kamaytirilib, kondensator sig‘imi 8 marta oshirilsa, erkin elektromagnit tebranishlar chastotasi qanday o‘zgaradi?
A) 2 marta kamayadi. B) 2 marta oshadi. C) 4 marta kamayadi.
D) 4 marta oshadi. E) 16 marta oshadi.

7. Chizmada tasvirlangan konturdagi elektromagnit tebranishlar davrini toping.



A) $T = 2\pi\sqrt{2(L_1 + L_2)C}$ B) $T = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C/2}$
C) $T = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$ D) $T = 4\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$
E) $T = 2\pi\sqrt{|L_1 - L_2|C}$

8. Chizmada tasvirlangan konturdagi elektromagnit tebranishlar davrini toping.



A) $T = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$ B) $T = 2\pi\sqrt{\frac{2L_1L_2C}{(L_1+L_2)}}$
C) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L_1L_2C}{(L_1+L_2)}}$ D) $T = 2\pi\sqrt{|L_1 - L_2|C}$
E) $T = 4\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$.

9. Tok kuchining o‘zgarish qonuni $I = 0{,}3\cos(100\pi t + \pi/2)$ ko‘rinishga ega. Shu tokning o‘zgarish davrini (C) aniqlang.
A) 1 B) 0,3 C) 0,03 D) 0,02 E) 0,01

10. Tebranish konturidagi zaryadning o‘zgarish qonuni $q = 10^{-7}\cos 10^6 t$ (Kl) ko‘rinishga ega. Konturdagi tokning maksimal qiymatini toping (mA).
A) 1 B) 5 C) 10 D) 100 E) 1000

11. Konturda zaryad $q = 10^{-3}\cos 100\pi t$ (C) qonun bo‘yicha tebranadi. Tok kuchining amplituda qiymati qanday (mA)?
A) 0,1 B) 1 C) 3,14 D) 31,4 E) 314.

12. Zaryadlangan kondensator induktivlik g‘altagiga ulangandan so‘ng, hosil bo‘ladigan erkin tebranishlarning *1/6* davri o‘tgan paytda kondensator energiyasi necha marta kamayadi? (G‘altakning aktiv qarshiligi yo‘q).

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 6 B) 4 C) 3 D) 2

13. Yuzi *0,05* m^2 bo‘lgan simli xalqa, induksiyasi *1 T* bo‘lgan bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik bo‘lgan o‘q atrofida *5 Hz* chastota bilan aylanaai. Halqada hosil bo‘lgan induksion EYuK ning amplituda qiymati qanday (*V*)?

A) 1,57 B) 2,5 C) 25 D) 31,4 E) 62,8

14. O‘zgaruvchan tok generatorining rotori bir jinsli magnit naydonda aylanmoqda. Agar rotorning aylanish chastorasi 4 marta orttirilsa, induksiya EYuK amplitudasi necha marta ortadi?

A) o‘zgarmaydi. B) 2 C) 4 D) 8 E) 16

15. O‘zgaruvchan tok zanjiriga faqat aktiv qarshilikka ega bo‘lgan rezistor ulangan. Kuchlanish va tok kuchi orasidagi faza farqi nimaga teng?

A)π B) π/3 C) 0 D) π/2

16. Kondensator *700 V* kuchlanishga mo‘ljallangan. Bu kondensatorni samarador qiymati ko‘pi bilan qanday bo‘lgan o‘zgaruvchan kuchlanish tarmog‘iga ulash mumkin (*V*)?

A) 350 B) 490 C) 500 D) 700 E) 980

17. O‘zgaruvchan tokning siklik chastotasi qanday bo‘lganda, *200 nF* sig‘imli kondensatorning sig‘im qarshiligi *1 kΩ* bo‘ladi (s^{-1})?

A) 200 B) 500 C) 2500 D) 5000

18. O‘zgaruvchan tok tarmog‘iga ikkita bir xil kondensator parallel ulangandagi tok kuchi I_1, va ketma-ket ulangandagi tok kuchi I_2 orasidagi munosabatni aniqlang.

A) $I_2 = 4I_1$ B) $I_2 = 2I_1$ C) $I_2 = I_1$ D) $I_1 = 4I_2$

19. Tebranish chastotasi ω bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga *C* sig‘imli kondensator, tebranish chastotasi *5ω* bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga esa sig‘imi *C/2* bo‘lgan kondensator ulangan. Agar zanjirlardagi kuchlanishlar teng bo‘lsa, birinchi zanjirdagi tok kuchini ikkinchi zanjirdagi tok kuchiga nisbati qanday bo‘ladi?

A) 0,4 B) 2,5 C) 2/5 D) $\sqrt{5/2}$

20. Induktivligi *0,2 Hn* bo‘lgan g‘altakka chastotasi *50 Hz*, kuchlanishining samarador qiymati *220 V* bo‘lgan o‘zgaruvchan tok ulangan. Tok kuchining samarador qiymatini toping (*A*). G‘altakning aktiv qarshiligi yo‘q.

A) 0,7 B) 3,5 C) 7 D) 14

SINOV UCHUN BERILGAN

21. G‘altak uchlariga ulangan voltmetr *31,4 V* ni, ampermetr *1 A* ni ko‘rsatsa, g‘altakning induktivligi necha genri? Tok chastotasi *50 Hz*. G‘altakning aktiv qarshiligi yo‘q.

A) 10 B) 0,4 C) 0,1 D) 0,01

22. Sig‘imi *100 μF* bo‘lgan kondensator, induktivligi *200 mGn* bo‘lgan g‘altak va qarshiligi *60 Ω* bo‘lgan reostat ketma-ket ulangan zanjirdagi tokning o‘zgarish qonuni $I = 8\,sin\,100t$ ko‘rinishga ega. Zanjirning to‘la qarshiligi necha Om ga teng?

A) 100 B) 360 C) 6400 D) 80

23. Induktiv qarshiligi *20 Ω* bo‘lgan g‘altak, sig‘im qarshiligi *20 Ω* bo‘lgan kondensator va aktiv qarshiligi *10 Ω* bo‘lgan rezistor kuchlanishning amplituda qiymati *300 V* bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan. Rezonans paytida zanjirdagi tok kuchining amplituda qiymati qanday bo‘ladi (*A*)?

A) 30 B) 10 C) 12 D) 15

24. O‘zgaruvchan tok zanjiriga rezistor va kondensator ketma-ket ulangan. Rezistorga ulangan voltmetr *60 V* ni, kondensator uchlariga ulangan voltmetr *80 V* ni ko‘rsatsa, tarmoqdagi umumiy kuchlanish qanday bo‘ladi (*V*)?

A) 20 B) 60 C) 80 D) 100

25. O‘zgaruvchan tok zanjiri *30 Ω* qarshilikli rezistordan, *20 Ω* induktiv qarshilikli g‘altakdan va *10 Ω*, sig‘im qarshilikli kondensatordan iborat. Agar zanjirdan 2,5 A tok o‘tayotgan bo‘lsa, *4 s* da undan ajralib chiqqan issiqlik miqdori necha ioul bo‘ladi?

A) 500 B) 750 C) 1500 D) 780 E) 1000

26. Transformatorning birinchi chulg‘amiga *220 V* kuchlanish berildi. Agar transformatsiyalash koelfitsienti 0,8 bo‘lsa, ikkinchi chulg‘amdagi kuchlanish qanday bo‘ladi (*V*)?

A) 364 B) 275 C) 220 D) 176

27. Birinchi chulg‘amida *600 ta* o‘rami bo‘lgan transformator *220 V* kuchlanishni *880 V* gacha ko‘tarib berayapti. Transformatsiyalash koeffitsiyentini va ikkinchi chulg‘amda o‘ramlar sonini aniqlang.

A) 4; 2400 B) 4; 150 C) 0,25; 2400
D) 0,25; 150 E) 4; 300

28. Transformatorning birlamchi chulg‘amidagi kuchlanish *200 V*, tok kuchi *0,5 A*, ikkinchi chulg‘amida *38 V* va *2,5 A* bo‘lsa, transformatorning FIK necha foiz?

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 70 B) 95 C) 80 D) 86

29. Vakuumda *1 m* kesmaga monoxromatik nurlanish chastotasi $6\ 10^{14}\ Hz$ bo‘lgan nechta to‘lqin uzunligi joylashadi?

A) $2 \cdot 10^7$ B) $2 \cdot 10^6$ C) $3 \cdot 10^7$ D) $3 \cdot 10^8$ E) $6 \cdot 10^8$

30. Vakuumda tarqalayotgan, to‘lqin uzunligi *30 sm* bo‘lgan elektromagnit to‘lqinning tebranish chastotasi necha gers?

A) $1 \cdot 10^9$ B) $1{,}5 \cdot 10^9$ C) $3 \cdot 10^9$ D) $1 \cdot 10^8$ E) $1{,}5 \cdot 10^8$

31. Agar vakumda tarqalayotgan elektromagnit to‘lqin tarkibidagi magnit maydon induksiyasining tebranish chastatasi $10^7 Hz$ bo‘lsa,elektr maydon kuchlanganligining tebranish davri qanday (*ns*) bo‘ladi?

A) 300 B) 100 C) 10 D) 7 E)3

32. Radiopriyomnik konturi 50 m to‘lqin uzunlikka sozlangan, konturni *25 m* to‘lqin uzunlikka sozlash uchun g‘altak iduktivligini qanday o‘zgartirish kerak?

A) 2 marta kamaytirish B) 4 marta orttirish
C) 4 marta kamaytirish D) 2 marta orttirish

33. Radiouzatkich konturining sig‘imi *240* dan *60 pF* gacha kamaydi. Tarqalayotgan to‘lqinning uzunligi qanday o‘zgaradi?Induktivlik bir xil.

A) $\sqrt{2}$ marta kamayadi B) 2 marta ortadi *C)* 4 marta kamayadi
D) 4 marta ortadi E) 2 marta kamayadi

34. Agar radiopriyomnik tebranish konturidagi tok kuchining o‘zgarish qonuni $i = 10^{-6} \sin 2 \cdot 10^6 \pi t$ *(A)* ko‘rinishda bo‘lsa, u qanday to‘lqin uzunlikka moslangan (*m*)?

A) 1800 B) 1200 C) 600 D) 300 E) 200

VI BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Sig‘imi *100* μF bo‘lgan kondensator va induktivligi *10 μHn* bo‘lgan induktivlik g‘altagidan tashkil topgan tebranish konturida *1 min* da nechta elektr tebranishlari yuzaga keladi? (π^2=10).

2. Tebranish konturida davri *1 ms* bo‘lgan tebranish hosil qilish uchun induktivligi *20 mHn* bo‘lgan g‘altakka qanday sig‘imli (*μF*) kondensator ulash kerak? π^2=10.

3. Ideal tebranishlar konturidagi kondensatorning sig‘imi *4 μF*, tebranishlarning siklik chastotasi *500 rad/s* bo‘lsa, g‘altakning induktivligi necha genri?

SINOV UCHUN BERILGAN

4. Tebranishlar konturidagi zaryadning maksimal qiymati $10^{-9}\,C$, erkin tebranishlar davri *3,14* μs. Konturdagi tok kuchining amplituda qiymati qanday (*mA*)?

5. Tebranishlar konturidagi tok kuchining maksimal qiymati *3,14 mA*, tebranishlar davri *4* μs bo‘lsa, kondensator zaryadining maksimal qiymati qanday (*nC*)?

6. Tebranishlar konturi kondensatori qoplamalaridagi zaryadning amplituda qiymati $2{,}5 \cdot 10^{-6}\ C$, tokning amplituda qiymati esa *3,14 mA*. Konturdagi elektromagnit tebranishlar chastotasi qanday?

7. Elektr zanjir qisqichlaridagi kuchlanish tebranishlari tenglamasini tuzing. Bunda kuchlanish tebranishlari amplitudasi *150 V*, davri $10^{-2}\ s$, boshlang‘ich faza nolga teng bo‘lib, *t=0* momentda kuchlanish nolga teng bo‘lgan deb hisoblang.

8. Kuchlanish $U = U_0 \sin(\omega t + \pi/12)$ (V) qonunga binoan o‘zgaradi. Agar *t=T/24* vaqt momentidagi kuchlanish *50 V* bo‘lsa, kuchlanishning amplituda qiymati qanday (V)?

9. Tebranish konturidagi tok $I = 0{,}01 \cos 1000t$ qonun bo‘yicha o‘zgaradi. undagi kondensatorning sig‘imi $25 \cdot 10^{-5}$ F bo‘lsa, konturning induktivligi qanday (mGn)?

10. Tebranish konturida tok kuchi $I = 0{,}01 \cos 1000t$ (A) qonunga binoan o‘zgarmoqda. Tebranish konturi kondensatorining sigimi $25 \cdot 10^{-5}$ F bo‘lsa, induktivligi qanday (*Hn)*?

11. Elektr generator rotorining uzunligi *7 m*, diametri *1,25 m*, aylanish chastotasi *3000 ayl/min*. Agar magnit maydon iduksiyasi *2 T* bo‘lsa, stator chulg‘amining bir o‘ramida hosil bo‘lgan induksion EYuK ning amplituda qiymati qanday (*V*)?

12. Qarshiligi *1* Ω bo‘lgan sim ramka bir jinsli magnit maydonda aylantirilganda, ramkani kesib o‘tuvchi magnit oqim $\Phi = 0{,}1\cos 60t$ (Vb) qonun bo‘yicha o‘zgaradi. Ramkada hosil bo‘ladigan tokning maksimal qiymati necha amper bo‘ladi?

13. Generator zanjirga *4,35 kVt* quvvat beradi. Tok kuchining amplitudasi *50 A*, generator qisqichlaridagi kuchlanish amplitudasi *200 V* bo‘lsa, tok kuchi bilan kuchlanish orasidagi fazalar farqi qanday?

14. Tok zanjirida kuchlanish $U = 400\sin 100\pi t$ (V) qonun bo‘yicha o‘zgaradi. Qarshiligi *5* Ω bo‘lgan rezistordagi tok kuchining amplituda qiymati qanday (*A*)?

SINOVUCHUN BERILGAN

15. O‘zgaruvchan tok tarmog‘ining voltmetr bilan o‘lchanadigan kuchlanishi *220 V* bo‘lsa,kuchlanishning amplituda qiymati qanday (*V*)?

16. Tok chastotasi *1000 Hz* bo‘lganda, induktivligi *0,1 Hn* bo‘lgan g‘altakning reaktiv qarshiligi nimaga teng bo‘ladi (*Ω*)?

17. O‘zgaruvchan tok zanjiriga ulangan asbob induktivligi *L* ga teng bo‘lgan g‘altakdan iborat. Agar tokning siklik chastotasi ω ikki marta ortganda, asbobning qarshiligi $\sqrt{3}$ marta ortsa, uning aktiv qarshiligi qanday?

18. O‘zgaruvchan tok zanjirida induktivligi *50 mHn* bo‘lgan g‘altak va *20* μF sig‘imli kondensator ketma-ket ulangan. zanjirda rezonans ro‘y beradigan siklik chastotani (*rad/s*) toping.

19. Siklik (doiraviy) chastotasi *300 rad/s* bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga qarshiligi *4* Ω bo‘lgan rezistor va induktivligi *10 mHn* bo‘lgan g‘altak ketma-ket ulangan. Zanjirdan o‘tayotgan tok kuchi amplitudasi *50 A* ga teng bo‘lsa, zanjir uchlaridagi kuchlanishning amplituda qiymati qanday (*V*)?

20. Siklik (doiraviy) chastotasi 10^4 *rad/s* bo‘lgan o‘zgaruvchan tok zanjiriga qarshiligi *100 Ω*. bo‘lgan rezistor va sig‘imi *1 μkF* bo‘lgan kondensator ketma-ket ulangan. Zanjirdagi tashqi kuchlanish amplitudasi *300 V*. Zanjirdan o’tayotgan tok kuchi amplitudasi qanday (*A*)?

21. Transformatorning birlamchi chulg‘amida *840 ta* o‘ram bor. Transformatsiya koeffitsiyenti 4,2 ga teng bo‘lsa, ikkinchi chulg‘amda nechta o‘ram bor?

22. Vakuumda *0,5 m* kesmaga monoxromatik nurlanish to‘lqinidan *2* 10^6 *ta* joylashtirish uchun bu nurlarning chastotasi necha gers bo‘lishi kerak?

23. Agar to‘lqin uzunligi *1884 m* bo‘lgan radioto‘lqinga moslangan tebranish konturidagi induktivlik *2 mH* bo‘lsa, undagi kondensator sig‘imi qanday (*pF*)?

SINOV UCHUN BERILGAN

TESTLARNING JAVOBLARI

I-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	C	B	D	A	A	D	B	D
1	D	A	B	B	A	A	D	C	B	B
2	D	B	A	B	D	D				

II-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	C	D	A	B	A	B	E	C
1	D	C	E	A	E	B	B	A	C	B
2	D	E	D	C	D	C	C	B	D	A
3	E	A								

III-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		A	A	C	D	A	C	C	A	A
1	C	B	B	C	C	D	C	C	C	B
2	A	B	D	D	A	A				

IV-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	C	B	C	A	A	A	A	C
1	C	C	B	C	B	C	E	D	D	D
2	E	A	E	B	D	D	A	B	D	D

V-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	B	D	B	B	B	B	D	C
1	A	A	A	A	C	A	C	D	D	B
2	B	B	A	D	A	A	B	A	E	D
3	D	C								

VI-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		C	E	D	D	E	A	C	C	D
1	D	E	B	A	C	C	C	D	D	C
2	B	C	A	A	D	B	B	C	B	B
3	A	B	C	E	D					

SINOV UCHUN BERILGAN

TOPSHIRIQLARNING JAVOBLARI

I-BOB

1. *3q*; **2.** *O'zgarmaydi*; **3.** *0,9 mN*; **4.** $10\ m/s^2$; **5.** *2,5*; **6.** *12*; **7.** *0*; **8.** *100*; **9.** *1,5 marta ortadi*; **10.** *36*; **11.** *0,1*; **12.** *900*; **13.** *360*; **14.** 10^{-5}; **15.** $9\cdot10^{-7}$; **16.** *6V*; **17.** $5\cdot10^{16}$; **18.** *6,8 kV*; **19.** *2500*; **20.** *0,02*; **21.** $5\cdot10^{-16}$; **22.** 60^0; **23.** *3 marta*; **24.** *3marta*; **25.** *3*; **26.** *2,8*; **27.** $5\cdot10^{-5}$; **28.** *0,08*; **29.** *40/13 μF; 13 μF*; **30.** *148 nC*; **31.** *315 mC*; **32.** C_{ekv}*=8,44 μF;* U_1*=8V;* U_2*=10 V;* U_3*=18V*; **33.** *45,13 μF*

II-BOB

1. $5\cdot10^{16}$; **2.** *6,8 kV*; **3.** *2500*; **4.** *0,017*; **5.** *1500*; **6.** *3*; **7.** 10^4 *ta*; **8.** *3 marta kamaygan*; **9.** $R/16$; **10.** *1,5 marta*; **11.** $0{,}1\ \Omega$; **12.** *3marta*; **13.** *18*; **14.** *20 min*; **15.** *1,5*; **16.** *1 A*; **17.** *0,4 Ω*; **18.** *30 A*; **19.** *110 ta*; **20.** *0,285A*; **21.** *40A*; **22.** *0,02 Ω*; **23.** *3800 Ω*; **24.** *birinchisida1,5 marta katta*; **25.** *4300 W; 19,6A*; **26.** *12m*; **27.** *60 W.*

III-BOB

1. *0,0329*; **2.** *2,4*; **3.** *5,4*; **4.** *0,2 A*; **5.** *1,3*; **6.** $3{,}3\cdot10^7$; **7.** *2,04 kg/C*; **8.** *74 g*; **9.** $2\cdot10^{-6}\ kg/C$; **10.** *66*; **11.** *0,9*; **12.** $1{,}4\cdot10^{-5}\ m^3$; $0{,}7\cdot10^{-5}\ m^3$; **13.** $37000\ kVt\cdot soat$; **14.** $1{,}12\cdot10^{-6}\ kg/C$; **15.** *0,79 kg*; **16.** $1{,}21\cdot10^{-6}\ m$; **17.** $\approx 1{,}3\cdot10^2\ \Omega$; $1{,}3\cdot10^7\ \Omega$; **18.** $9500\ \mu A$; **19.** *8,2 mA*; **20.** $10^4\ eV$; $3W$; $1{,}9\cdot10^{15}\ ta$; **21.** $6{,}25\cdot10^{20}\ ta$; **22.** *800 V.*

IV-BOB

1. $30\ \mu Tl$; **2.** 1; **3.** 0,4; **4.** *2 marta ortadi*; **5.** $6{,}4\cdot10^{-12}$; **6.** *10 mT*; **7.** $10^7\ m/s$; **8.** 0; **9.** 10; **10.** 90; **11.** 0; **12.** *5T*; **13.** *0,1 T*; **14.** 60^0; **15.** 10^{-4}; **16.** *900V*; **17.** *200*; **18.** $0{,}6\frac{Wb}{s}$; **19.** 0,2; **20.** *0,4 A*; **21.** $3{,}14\cdot10^{-2}\ s$; **22.** *0,4V*; **23.** *1 V*; **24.** 0,2 T; **25.** *16 m/s*; **26.** *1 m/s*; **27.** *1,5 Hn*; **28.** *1,6 mHn*; **29.** 0,5 Vb; **30.** 5 A; **31.** *0,15 V*; **32.** 1,2 J; **33.** *Tok oqayotgan spiralninng har bir o'ramnni magnit plastinkaga o'xshatish mumkin. Bu plastinkalarning bir xil ishorali qutblari bir tomonga, boshqa qutblari esa ikkinchi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shuning uchun ular o'zaro tortiladi va prujina siqiladi*; **34.** *15A*; **35.** 17^0; **36.** *0,2 T*; **37.** $3{,}2\cdot10^{-19}\ C$; **38.** $10^{15}\ m/s^2$; **39.** *0,5s; 5A*; **40.** *0,1V*; **41.** *50V*; **42.** *64*; **43.** $7{,}1\cdot10^4\ G$; $1{,}42\cdot10^{-3}\ Vb$; **44.** 399; **45.** *1,55A.*

V-BOB

1. 10; **2.** $T=\frac{1}{8}s$; **3.** *5 Hz*; **4.** *10*; **5.** *1 cm*; **6.** *3,2 Hz*; **7.** *16*; **8.** *8*; **9.** *2*; **10.** *0,628*; **11.** *0,628 s*; **12.** *2,5 mm*; **13.** *2,5*; **14.** *10s*; **15.** *3s*; **16.** *4m*; **17.** *2m*; **18.** *6s*; **19.** *2m*; **20.** *340*; **21.** *4,5 marta ortadi*; **22.** *15 marta ortadi*; **23.** *1480m*; **24.** *1500 m*; **25.** *3 mJ/m*^{3}; **26.** *1500 m/s*; **27.** *a) 336 Gs; b) 265 Gs*; **28.** *0,09.*

VI-BOB

SINOV UCHUN BERILGAN

1. *9554 ta*; **2.** *1,25*; **3.** *1 Gn*; **4.** *2 mA*; **5.** 2 *nC*; **6.** *200 Hζ*; **7.** $U = 150sin200\pi t$; **8.** *100 V*; **9.** 50; **10.** *0,02*; **11.** *5500 V*; **12.** 6 A; **13.** π/6; **14.** *40 A*; **15.** *310 V;* **16.** 628; **17.** $\omega L/\sqrt{2}$; **18.** 1000; **19.** 250; **20.** 1,5 ; **21.** 200 ta; **22.** $1{,}2\cdot10^{15}$ *Hz*; **23.** *500 pF*.

SINOV UCHUN BERILGAN

ILOVALAR

Xalqaro sistema(SI)da fizik kattaliklarning o‘lchov birliklari

Kattalikning nomi	Kattalikning o‘lchov birligi		
	Nomlanishi	Belgisi	Ta’rifi
1	2	3	4
Uzunlik	Metr	m	Kripton-86 $2P_{10}$ va$5d_5$ sathlari orasidagi o‘tishga mos bo‘lgan vakkuumdagi nurlanishning 1 650 763 730 to‘lqin uzunligi 1 metr deb qabul qilingan.
Massa	Kilogram	kg	Xalqaro kilogram protipining massasini 1 kg deb qabul qilingan.
Vaqt	Sekund	s	Seziy-133 atomi asosiy holatining ikki o‘ta nozik sathlari orasidagi o‘tishga mos bo‘lagan 9 192 631 770 nurlanish davri 1 sekund deb qabul qilingan
Tok kuchi	Amper	A	Amper – vakkuumda bir-biridan 1 metr masofa-da joylashgan ikki parallel cheksiz uzun va kesimi juda kichik to‘g‘ri o‘tkazgichlardan tok o‘tganda o‘tkazgichning har bir metr uzunligida $2\cdot10^{-7}$ N o‘zaro ta’sir kuchi hosil qiladigan o‘zgarmas tok kuchidir.
Absalyut temperatura	Kelvin	K	Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning 1/273,16 ulushi 1 Kelvin deb qabul qilingan.
Modda miqdori	Mol	mol	Uglerod-12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng element (atom, molekula, ion,...) lardan tashkil topgan sistemadagi modda miqdori 1 mol deb qabul qilingan.
Yorug‘lik kuchi	Kandela	Kd	101325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasiga teng temperaturadagi to‘la nur-langichning 1/600000 m^2 yuzidan perpendikulyar ravishda chiqarilayotgan yorug‘lik kuchi 1 kandela deb qabul qilingan.
Yassi burchak	Radian	rad	Uzunligi radiusga teng yoyga tiraluvchi markaziy burchak 1 radian deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	Steradian	sr	Uchi sfera markazida bo‘lgan va shu sfera markazidan radius kvadratiga teng yuzli sirtni ajratadigan fazoviy burchakni 1 steradian deb qabul qilingan.
Yuza	Metr kvadrat	m^2	1 m^2 – tomonlarining uzunligi 1m dan bo‘lgan kvadratning yuzi
Hajm	Metr kub	m^3	$1m^3$ – qirralarining uzunligi 1m dan bo‘lgan kubning xajmi.
Tezlik	Metr taqsim sekund	m/s	To‘g‘ri chiziqli tekis harakat qilayotgan moddiy nuqta 1s da 1 m masofaga ko‘chsa, uning tezligi 1 m/s ga teng.
Tezlanish	Metr taqsim sekund kvadrat	m/s^2	To‘g‘ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan moddiy nuqta 1s da o‘z tezligini 1 m/s ga o‘zgartsa, uning tezlanishi 1 m/s^2 ga teng
Burchak tezlik	Radian taqsim sekund	rad/s	Tekis aylanma harakat qilayotgan jismning barcha nuqtalari 1s da 1rad ga burilsa, uning burchak tezligi 1 rad/s ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

Zichlik	Kilogram taqsim sekund	kg/m^3	$1kg/m^3$ shunday bir jinsli moddaning zichligiki, mazkur moddadan ajratib olingan $1m^3$ hajmning massasi 1kg
			bo‘ladi.
Impuls	Kilogram metr taqsim sekund	kg·m/s	1 kg·m/s – tezligi 1 m/s bo‘lgan 1 kg massali moddiy nuqtaning impulsi.
Impuls momenti	Kilogram metr kvadrat taqsim sekund	$kg·m^2/s$	1 $kg·m^2/s$ – radiusi 1m li aylana bo‘ylab harakatlanayotgan impulsi 1 kg·m/s bo‘lgan moddiy nuqtaning impuls momenti.
Kuch	Kilogram metr taqsim sekund	N	1N – massasi 1 kg jismga ta’sir qilib, shu ta’sir yo‘nalishida jsmga 1 m/s^2 tezlanish beradigan kuch.
Kuch momenti	Nyuton metr	N·m	1N·m – kuchning ta’sir chizig‘ida 1m masofada joylashgan nuqtaga nisbatan qiymati 1N bo‘lgan kuchning momenti.
Kuch impulsi	Nyuton sekund	N·s	1N·s – 1s davomida ta’sir etuvchi 1n kuchning impulsi.
Bosim	Paskal	Pa	1Pa – 1N kuchning kuch yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan $1m^2$ yuzaga beradigan bosim.
Sirt taranglik koeffitsiyenti	Nyuton taqsim metr	N/m	1 N/m – shunday suyuqlikning sirt tarang-ligiki, bu suyuqlik erkin sirtini chegaralovchi konturning 1m uzunligiga 1N kuch ta’sir qiladi.
Ish (energiya)	Joul	J	1J – 1N kuch ta’sirida va kuch yo‘nalishida ji-smni 1 m masofaga ko‘chirishda bajarilgan ish.
Quvvat	Vatt	Vt	1Vt – 1s davomida 1J ish bajaradigan mashinaning quvvati.
Selsiy temperatura	Selsiy gradus	^0C	Selsiy o‘lchovi jihatidan Kelvtnga teng.
Issiqlik miqdori	Joul	J	1J – kattaligi 1J bo‘lgan mexanik ishga ekvivalent issiqlik miqdori.
Issiqlik sig‘imi	Joul taqsim kelvin	J/s	1J/K – shunday sistemaning issiqlik sig‘imiki , bu sistemaga 1J issiqlik miqdori berilganda uning temperaturasi 1K ga ortadi.
Solishtirma issiqlik sig‘imi	Joul taqsim kilogram kelvin	J/(kg·K)	1 J/(kg·K) – massasi 1kg bo‘lgan holda issiqlik sig‘imi 1J/K bo‘ladigan jismning solishtirma issiqlik sig‘imi.
Zaryad miqdori	Kulon	Kl	1Kl – tok kuchi 1A bo‘lgan ko‘ndalang kesimdan 1s davomida o‘tgan elektr zaryad miqdori.
Elektr maydon kuchlanganligi	Volt taqsim metr	V/m	1V/m – kuchlanganlik chizig‘i bo‘ylab bir-biridan 1m uzoqlikda joylashgan ikki nuqtasining potensiallar farqi 1V bo‘lgan bir jinsli elektr maydon kuchlanganligidir. Bunday maydonga kiritilgan 1Kl zaryadga 1n kuch ta’sir qiladi.
Elektr induksiyasi (siljish)	Kulon taqsim metr kvadrat	Kl/m^2	1 Kl/m^2 – yuzi $1m^2$ li ko‘ndalang kesimdan 1Kl ga teng elektr induksiya oqimi o‘tadigan holdagi elektr induksiyasidir.
Magnit induksiyasi	Tesla	T	1Tl - yuzi $1m^2$ li ko‘ndalang kesimdan 1Vb ga teng magnit oqim o‘tadigan holdagi magnit induksiyadir.

SINOV UCHUN BERILGAN

Magnit maydon kuchlanganligi	Amper taqsim metr	A/m	1 A/m – magnit maydon shunday nuqtasining kuch-langanligiki, bu nuqtadagi magnit induksiya $4\pi \cdot 10^{-7}$ Tl bo‘ladi.
Magnit oqimi	Veber	Vb	1Vb – shunday magnit oqimiki, uning nolgacha kamayib borish jarayonida mazkur magnit oqimi bilan tutingan elektr qarshiligi 1Om bo‘lgan elektr zanjirning ko‘ndalang kesimidan 1Kl zaryad o‘tadi.
Induktivlik	genri	Hn	1Hn – shunday o‘tkazgich induktivligiki, undan 1a tok o‘tganda vujudga keladigan to‘la magnit oqimi 1Vb ga teng.
Elektr qarshilik	om	Ω	1Ω – ikki uchidagi potensiallar farqi 1V bo‘lganda 1A tok o‘tadigan o‘tkazgichning elektr qarshiligi
Elektr kuchlanish	volt	V	1V – o‘zgarmas tok kuchi 1A bo‘lgan holda elenktr zanjirning 1Vt quvvat sarflanadigan qismidagi kuchlanish
Elektr sig‘im	farada	F	1F – 1Kl zaryad berilganda potensiali 1V ga ortadigan o‘tkazgichning elektr sig‘imidir.
Solishtirma elektr qarshilik	om-metr	Ω ·m	1Ω ·m – ko‘ndalang kesimi $1m^2$, uzunligi 1m bo‘lganda 1Om elektr qarshilikka ega bo‘ladigan o‘tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi
Davriy jarayon chastotasi	gers	Gs	1Gs – 1s davomida davriy jarayonning bitta sikli amalga oshadigan holdagi davriy jarayon chastotasi
Yorug‘lik oqimi	lyumen	lm	1lm – yorug‘lik kuchi 1kd bo‘lgan nuqtaviy manbadan 1sr fazoviy burchakda chiqarilayotgan yorug‘lik oqimi.
Yorug‘lik energiyasi	lyumen-sekund	lm·s	1lm·s – 1s davomida ta’sir etuvchi 1lm yorug‘lik oqimida mujassamlangan yorug‘lik energiyasi.
Ravshanlik	kandela taqsim metr kvadrat	kd/m^2	1 kd/m^2 – yorug‘lik kuchi 1kd bo‘lgan $1m^2$ yuzli yorug‘lik tarqatadigan sirtning ravshanligi.
Yorituvchanlik	lyumen taqsim metr kvadrat	lm/m^2	1 lm/m^2 – 1lm yorug‘lik oqimi chiqaradigan $1m^2$ yuzli sirtning yorituvchanligi.
Yoritilganlik	llyuks	lk	1lk – yuzi $1m^2$ bo‘lgan sirtga 1lm yorug‘lik oqimi tushishi tufayli vujudga keladigan yoritilganlik

SINOV UCHUN BERILGAN

Metallar va qotishmalarning solishtirma qarshiligi (ρ) (20^0C) va qarshiliklarning temperatura koeffitsiyenti (α)

Modda	ρ, $\cdot 10^{-8}$ Ω·m	α, K^{-1}	Modda	ρ, $\cdot 10^{-8}$ Ω·m	α, K^{-1}
Alyuminiy	2.8	0.0042	Nixrom	110	0.0001
Volfram	5.5	0.0048	Qo‘rg‘oshin	21	0.0037
Jez	7.1	0.001	Kumush	1.6	0.004
Mis	1.7	0.0043	Po‘lat	12	0.006
Nikelin	42	0.0001			

Elektroximiyaviy ekvivalentlar, mg/Kl

Alyuminiy (Al^{3+})	0.093	Mis (Cu^{2+})	0.33	Kumush (Ag^{+})	1.12
Vodorod (H^{+})	0.0104	Qalay (Sn^{2+})	0.62	Xrom (Cr^{3+})	0.18
Kislorod (O^{2-})	0.083	Nikel (Ni^{2+})	0.30	Rux (Zn^{2+})	0.34

Elektronlarning chiqish ishi, eV

Volfram	4.5	Bariy Oksid	1.0	Rux	4.2
Kaliy	2.2	Platina	5.3		
Litiy	2.4	Kumush	4.3		

Sindirish ko‘rsatkichi(ko‘rinadigan nurlar uchun)

Olmos	2.4	Muz	1,31	Shisha	1.6
Suv	1.3	Uglerod sulfid	1.63		
Havo	1.00029	Etil Spirt	1.36		

O‘lchov birliklari ulushlari

Tera, T	10^{12}	Deka, da	10	Nano, n	10^{-9}
Giga, G	10^{9}	Detsi, d	10^{-1}	Piko, p	10^{-12}
Mega, M	10^{6}	Santi, s	10^{-2}	Femto, f	10^{-15}
Kilo, k	10^{3}	Milli, m	10^{-3}	Atto , a	10^{-18}
Gekto, g	10^{2}	Mikro, mk	10^{-6}		

SINOV UCHUN BERILGAN

Doimiylar

Yer sirtida erkin tushish tezlanishi	$g= 9,81\ \ m/s^2$
Gravitatsiya doimiysi	$G=6,67\cdot10^{-11}\ \ N\cdot m^2/kg^2$
Avogadro doimiysi	$N_A= 6,02\cdot10^{23}\ \ mol^{-1}$
Botsmann doimiysi	$k= 1,38\cdot10^{-23}\ \ J/K$
Universal-gaz doimiysi	$R =8,31\ \ J/(mol\cdot K)$
Massaning atom birligi	$1\ m.a.b=1,66113\cdot10^{-27}\ \ kg$
Loshmidt soni	$n_L=N_A/V_0 = 2,686\cdot10^{25}\ \ \ m^{-3}$
Normal sharoitda 1 mol gaz hajmi	$V_0=22,414\ \ l/mol$
Yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi	$c= 3\cdot10^8\ \ m/s$
Kulon doimiysi	$k= 9\cdot10^9\ \ Nm^2/Kl^2$
Elektr doimiysi	$\varepsilon_0=8,85\cdot10^{-12}\ \ F/m$
Magnit doimiysi	$\mu_0=4\cdot\pi\cdot10^{-7}\ Gn/m$
Faradey doimiysi	$F= 96500\ \ Kl/mol$
Elektronning solishtirma zaryadi	$e/m_e=1,7588\cdot10^{11}\ \ Kl/kg$
Stefan-Boltsmann doimiysi	$\sigma=5,67\cdot10^{-3}\ \ Vt/(m^2\cdot K^4)$
Vin doimiysi	$b=2898\ \ \ m\cdot K$
Plank doimiysi	$h= 6,626\cdot10^{-34}\ \ J\cdot s$
Ridberg doimiysi	$R=3,293\cdot10^{15}\ \ Gs$
Elektronning tinchlikdagi massasi	$m_e=9,11\cdot10^{-31}kg=5,484\cdot10^{-4}\ m.a.b$
Protonning tinchlikdagi massasi	$m_p= 1,672\cdot10^{-27}kg=1,00759\ m.a.b$
Neytronning tinchlikdagi massasi	$m_n=1,675\cdot10^{-27}kg=1,00899m.a.b$
Elektronning tinchlikdagi energiyasi	$E_{0.e}=8,2\cdot10^{-14}\ J=0,512\ MeV$
Protonning tinchlikdagi energiyasi	$E_{0.p}=1,505\cdot10^{-10}\ J=939\ MeV$
Neytronning tinchlikdagi energiyasi	$E_{0.n}=1,508\cdot10^{-10}\ J=941\ MeV$
1 m.a.b.ga to‘g‘ri kelgan energiya	$934\ MeV$
Proton va neytroning massasi (elektron birligida)	$m_p=1836\cdot m_e \qquad m_n=1838,5\cdot m_e$

Yuza va Hajm

Yuza		Hajm
$1mm^2=10^{-6}m^2$ $1sm^2=10^{-4}m^2$ $1dm^2=10^{-2}m^2$	$1km^2=10^6m^2$ $1a(1ar=1sotok)=10^2m^2$ $1ga(1gektoar=100sotok)=$ $=100ar=10^4m^2$	$1mm^3=10^{-9}m^3=10^{-6}$ ℓ $1sm^3=10^{-6}m^3=10^{-3}$ ℓ $1dm^3=10^{-3}m^3=1$ ℓ $1km^3=10^9m^3=10^{12}$ℓ

SINOV UCHUN BERILGAN

Ba’zi moddalarning molyar massasi [*kg/mol*]

Kislorod atomi(O)	$16\cdot10^{-3}$	Propan (C_3H_8)	$44\cdot10^{-3}$
Kislorod molekulasi(O_2)	$32\cdot10^{-3}$	Geliy(He)	$4\cdot10^{-3}$
Vodorod atomi(H)	$1\cdot10^{-3}$	Temir(Fe)	$56\cdot10^{-3}$
Vodorod molekulasi(H_2)	$2\cdot10^{-3}$	Alyuminiy(Al)	$27\cdot10^{-3}$
Azot atomi(N)	$14\cdot10^{-3}$	Rux(Zn)	$65.4\cdot10^{-3}$
Azot molekulasi(N_2)	$28\cdot10^{-3}$	Qalay(Sn)	$119\cdot10^{-3}$
Xlor atomi (Cl)	$35,5\cdot10^{-3}$	Qo‘rg‘oshin(Pb)	$207.2\cdot10^{-3}$
Xlor molekulasi (Cl_2)	$70\cdot10^{-3}$	Simob(Hg)	$201\cdot10^{-3}$
Karbonat angidrid(CO_2)	$44\cdot10^{-3}$	Mis(Cu)	$63.6\cdot10^{-3}$
Argon(Ar)	$40\cdot10^{-3}$	Litiy(Li)	$7\cdot10^{-3}$
Is gazi(CO)	$28\cdot10^{-3}$	Oltin(Au)	$200\cdot10^{-3}$
Suv(H_2O)	$18\cdot10^{-3}$	Kumush(Ag)	$108\cdot10^{-3}$
Metan(CH_4)	$16\cdot10^{-3}$	Uran(U)	$238\cdot10^{-3}$
Etan(C_2H_6)	$30\cdot10^{-3}$	Havo	$29\cdot10^{-3}$

O‘lchov asboblarining vazifalari

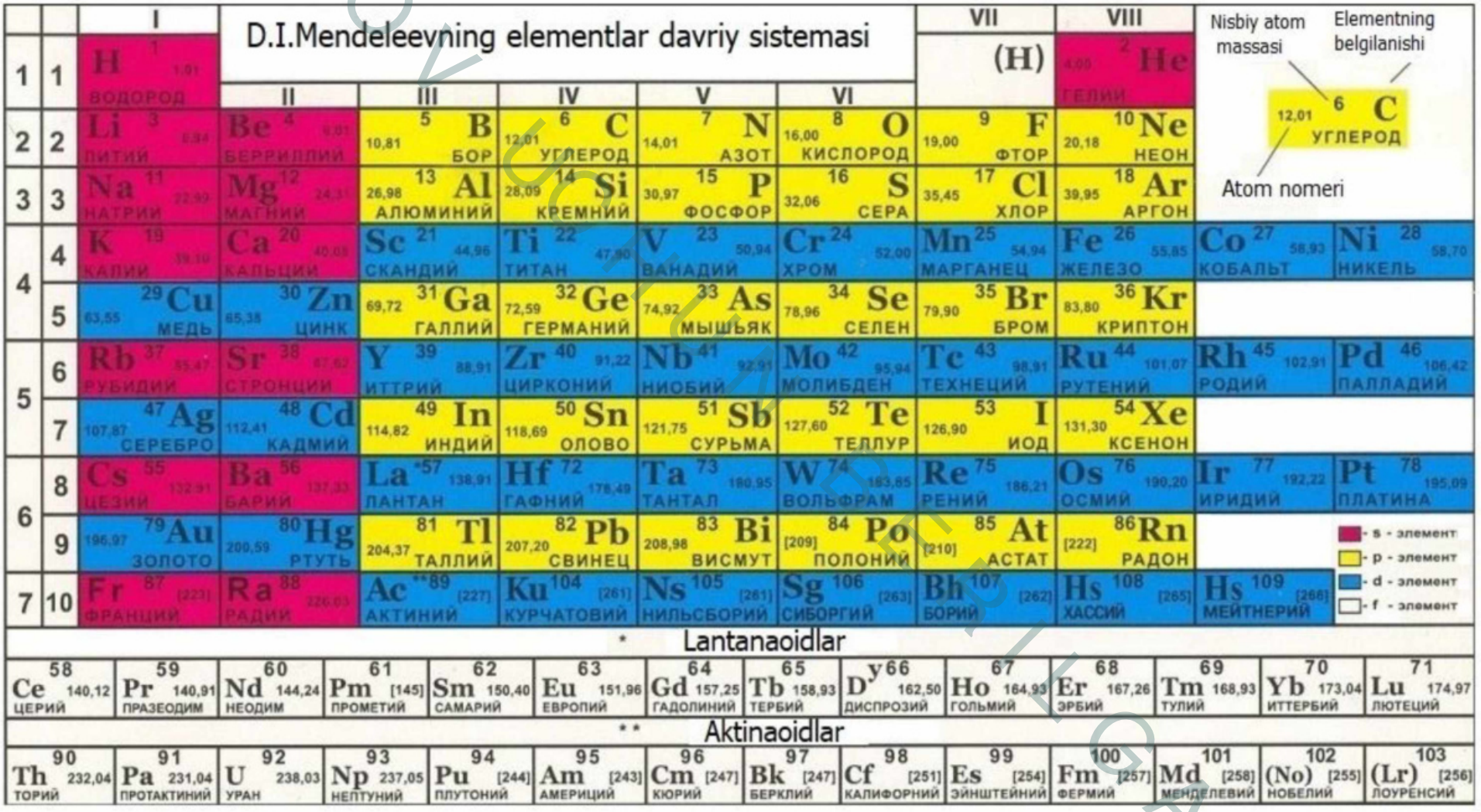
Psixrometr--- nisbiy namlikni	Ampermetr----tok kuchini
Gigrometr--- shudring nuqtasini	Voltmetr---kuchlanishni
Bolometr---- metallar temperaturasini	Galvonametr---kuchlanish va tok kuchini
Termometr----temperaturani	Elektrometr---zaryadlaydi va potensiallar farqi xosil qiladi.
Areometr---- suyuqlik zichligini	
Aneroid barometr---atmosfera bosimini	Elektroskop---zaryad miqdorini
Simobli barometr---- atmosfera bosimini	Taxometr---burovchi momentni
Monometr----idishdagi gaz bosimini	Staglometr---sirt taranglik koeffitsiyenti
Dinamometr----kuchni	Vyazkozimetr---qovushqoqlikni
Altmetr----balandlikni (samolyotlarda)	

XBSga kirmagam ba’zi kattaliklar

1m/s = 3,6km/soat	1J = 1/4,2 kal.	1 sutka = 86400 sek.
1km/soat = 1/3,6 m/s	1kVt·soat = 3,6MJ	1mm.sm.ust = 133,32 Pa
1ot kuchi = 736 Vt	$1eV = 1,6\cdot10^{-19}J$	$1astr.birl. = 1,5\cdot10^{9}$ m
1kW = 1,36 ot kuchi	$1J = 6,25\cdot10^{18}eV$	$1yoruglik\ yili = 9,5\cdot10^{15}$ m
1kal. = 4,2J	$1g/sm^3 = 1000\ kg/m^3$	$1Parsek = 3,1\cdot10^{16}$ m

SINOV UCHUN BERILGAN

SINOV UCHUN TAVSIYA ETILGAN



Trigonometri ayniyatlar

1. $\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$
2. $tg\alpha=\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$
3. $ctg\alpha=\dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$
4. $tg\alpha\cdot ctg\alpha=1$
5. $1+tg^2\alpha=\dfrac{1}{\cos^2\alpha}$
6. $1+ctg^2\alpha=\dfrac{1}{\sin^2\alpha}$

Qo‘shish formulalari

1. $\begin{cases}\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cdot\cos\beta+\cos\alpha\cdot\sin\beta\\ \sin(\alpha-\beta)=\sin\alpha\cdot\cos\beta-\cos\alpha\cdot\sin\beta\end{cases}$
2. $\begin{cases}\cos(\alpha+\beta)=\cos\alpha\cdot\cos\beta-\sin\alpha\cdot\sin\beta\\ \cos(\alpha-\beta)=\cos\alpha\cdot\cos\beta+\sin\alpha\cdot\sin\beta\end{cases}$
3. $\begin{cases}tg(\alpha+\beta)=\dfrac{tg\alpha+tg\beta}{1-tg\alpha\cdot tg\beta}\\ tg(\alpha-\beta)=\dfrac{tg\alpha-tg\beta}{1+tg\alpha\cdot tg\beta}\end{cases}$
4. $\begin{cases}ctg(\alpha+\beta)=\dfrac{ctg\alpha\cdot ctg\beta-1}{ctg\alpha+ctg\beta}\\ ctg(\alpha-\beta)=\dfrac{ctg\alpha\cdot ctg\beta+1}{ctg\beta-ctg\alpha}\end{cases}$

Ikkilangan burchak formulalari

1. $\sin 2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha$
2. $\cos 2\alpha=\begin{cases}\cos^2\alpha-\sin^2\alpha\\ 2\cos^2\alpha-1\\ 1-2\sin^2\alpha\end{cases}$
3. $tg2\alpha=\dfrac{2tg\alpha}{1-tg^2\alpha}$
4. $ctg2\alpha=\dfrac{ctg^2\alpha-1}{2ctg\alpha}$

Sinuslar va kosinuslar yig‘indisi va ayirmasi formulalari

1. $\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$
2. $\sin\alpha-\sin\beta=2\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}\cdot\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}$
3. $\cos\alpha+\cos\beta=2\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$
4. $\cos\alpha-\cos\beta=-2\sin\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cdot\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}$

Sinuslar va kosinuslar ko‘paytmalarining formulalari

1. $\sin\alpha\cdot\sin\beta=\dfrac{1}{2}\cdot[\cos(\alpha-\beta)-\cos(\alpha+\beta)]$
2. $\cos\alpha\cdot\cos\beta=\dfrac{1}{2}\cdot[\cos(\alpha-\beta)+\cos(\alpha+\beta)]$
3. $\sin\alpha\cdot\cos\beta=\dfrac{1}{2}\cdot[\sin(\alpha-\beta)+\sin(\alpha+\beta)]$

SINOV UCHUN BERILGAN

Matematikadan hosila jadvali

Oddiy funksiyalar	Murakkab funksiyalar
$(kx+b)'=k$	$(ku+b)'=ku'$
$(x^n)'=n\cdot x^{n-1}$	$(u^n)'=n\cdot u^{n-1}\cdot u'$
$\left(\frac{1}{x}\right)'=-\frac{1}{x^2}$	$\left(\frac{1}{u}\right)'=-\frac{1}{u^2}\cdot u'$
$(\sin x)'=\cos x$	$(\sin u)'=\cos u\cdot u'$
$(\cos x)'=-\sin x$	$(\cos u)'=-\sin u\cdot u'$
$(tgx)'=\frac{1}{\cos^2 x}$	$(tgu)'=\frac{1}{\cos^2 u}\cdot u'$
$(ctgx)'=-\frac{1}{\sin^2 x}$	$(ctgu)'=-\frac{1}{\sin^2 u}\cdot u'$
$(\arcsin x)'=\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$(\arcsin u)'=\frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\cdot u'$
$(\arccos x)'=-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$(\arccos u)'=-\frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\cdot u'$
$(arctgx)'=\frac{1}{1+x^2}$	$(arctgu)'=\frac{1}{1+u^2}\cdot u'$
$(arcctgx)'=-\frac{1}{1+x^2}$	$(arcctgu)'=-\frac{1}{1+u^2}\cdot u'$
$(e^x)'=e^x$	$(e^u)'=e^u\cdot u'$
$(a^x)'=a^x\cdot\ln a$	$(a^u)'=a^u\cdot\ln a\cdot u'$
$(\ln x)'=\frac{1}{x}$	$(\ln u)'=\frac{1}{u}\cdot u'$
$(\log_a x)'=\frac{1}{x\cdot\ln a}$	$(\log_a u)'=\frac{1}{u\cdot\ln a}\cdot u'$

SINOV UCHUN BERILGAN

Matematikadan integral jadvali

Oddiy funksiya	Murakkab funksiya
$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C$	$\int (kx+b)^n dx = \frac{1}{k} \cdot \frac{(kx+b)^{n+1}}{n+1} + C$
$\int \frac{dx}{\sqrt{x}} = 2\sqrt{x} + C$	$\int \frac{dx}{\sqrt{kx+b}} = \frac{2}{k} \cdot \sqrt{kx+b} + C$
$\int \sin x\, dx = -\cos x + C$	$\int \sin(kx+b) dx = -\frac{1}{k} \cdot \cos(kx+b) + C$
$\int \cos x\, dx = \sin x + C$	$\int \cos(kx+b) dx = \frac{1}{k} \cdot \sin(kx+b) + C$
$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = tgx + C$	$\int \frac{dx}{\cos^2(kx+b)} = \frac{1}{k} \cdot tg(kx+b) + C$
$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -ctgx + C$	$\int \frac{dx}{\sin^2(kx+b)} = -\frac{1}{k} \cdot ctg(kx+b) + C$
$\int tgx\, dx = -\ln\lvert\cos x\rvert + C$	$\int tg(kx+b) dx = -\frac{1}{k} \cdot \ln\lvert\cos(kx+b)\rvert + C$
$\int ctgx\, dx = \ln\lvert\sin x\rvert + C$	$\int ctg(kx+b) dx = \frac{1}{k} \cdot \ln\lvert\sin(kx+b)\rvert + C$
$\int \frac{dx}{x} = \ln\lvert x\rvert + C$	$\int \frac{dx}{kx+b} = \frac{1}{k} \cdot \ln\lvert kx+b\rvert + C$
$\int e^x dx = e^x + C$	$\int e^{kx+b} dx = \frac{1}{k} \cdot e^{kx+b} + C$
$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C$	$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2-x^2}} = \arcsin \frac{x}{a} + C$
$\int \frac{dx}{1+x^2} = arctgx + C$	$\int \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{1}{a} \cdot arctg \frac{x}{a} + C$
$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln\left\lvert tg \frac{x}{2}\right\rvert + C$	$\int \frac{dx}{\sin(kx+b)} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left\lvert tg \frac{kx+b}{2}\right\rvert + C$
$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln\left\lvert tg\left(\frac{x}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right\rvert + C$	$\int \frac{dx}{\cos(kx+b)} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left\lvert tg\left(\frac{kx+b}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right\rvert + C$

SINOV UCHUN BERILGAN

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

Asosiy adabiyotlar

1. M.X.O‘lmasova. Mexanika va molekulyar fizika, akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma, 1-kitob. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2004, 433 b.
2. M.X.O‘lmasova. Elektrodinamika asoslari, tebranishlar va to‘lqinlar, akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma, 2-kitob. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2004, 360 b.
3. M.X.O‘lmasova. Optika, atom va yadro fizikasi, akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma, 3-kitob. “Cho‘lpon” nashriyoti. Toshkent.: 2010, 384 b.
4. Axmedov Sh. B., Dusmuratov M.B. “Fizika (1-qism)”, akademik litsey o‘quvchilari uchun darslik. Navro‘z nashriyoti. Toshkent.: 2019. 435-b.
5. Axmedov Sh. B., Dusmuratov M. B. “Fizika (2-qism)”, akademik litsey o‘quvchilari uchun darslik. Navro‘z nashriyoti. Toshkent.: 2019. 470-b.
6. A.S.Nu’monxo‘jayev, R.Y.Komilova, K.A.Tursunmetov, A.X.Yunusov, B.Normatov, A.M.Xudoyberganov. Fizika, ma’ruzalar matni, akademik litseylar uchun qo‘llanma, 2-qism. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2003, 415 b.
7. A.S.Nu’monxo‘jayev, K.A.Tursunmetov, A.M.Xudoyberganov, M.A.Fattaxov, B.Normatov, N.A.Nurmatov . Fizika, ma’ruzalar matni, akademik litseylar uchun qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan , 3-qism. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2001, 352 b.
8. N.M.Shaxmayev, S.N.Shaxmayev, D.Sh.Shodyiev. Fizika, 10-sinf. O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1993, 238b.
9. G.YA.Myakishev, I.B.Buxovsev. Fizika, uchebnik dlya 10 klassa sredney shkoli. –M.: Prosveshenie, 1990.–223 s.
10. G.Ya.Myakishev, B.B.Buxovsev. Fizika, 11-sinf. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1996, 304 b.
11. M.Muhitdinov, Sh,Ahmedov, B.Qutlimurotov. Fizikadan testlar va ularning yechimi, oliy o‘quv yurtlariga kiruvchi abituriyentlar uchun qo‘llanma, 1-qism. “O‘zbekiston” nashriyoti. Toshkent.: 2016, 423 b.
12. M.B.Dusmuratov. Fizika (oliy ta’lim muassasalariga kiruvchilar uchun qo‘llanma). Nizomiy nomidagi TDPU bosmaxobasi. Toshkent.: 2016, 521 b.
13. A.Qosimov, X.Jo‘raqulov, A.Safarov. Fizika kursi, mexanika, 1-qism. “O‘zbekiston” nashriyoti. Toshkent.: 1994, 320 b.
14. A.P.Rimkevich. Fizikadan masalalar to‘plami. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1993.
15. K.A.Tursunmetov, A.A.Uzoqov, I.Bo‘riboyev, A.M.Xudoyberganov. Fizikadan masalalar to‘plami. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2001, 256 b.
16. O‘.Q.Nazarov, X.Z.Ikromova, K.A.Tursunmetov. Umumiy fizika kursi (Mexanika va molekulyar fizika). “O‘zbekiston” nashriyoti. Toshkent.: 1992, 280b.
17. Q.P.Egamov, O‘.Egamov. Fizika, darslik. “Aloqachi” nashriyoti. Toshkent.: 2013, 507b.

SINOV UCHUN BERILGAN

Qo‘shimcha adabiyotlar

1. Сборник задач по физике. Часть I. Ш. Б. Ахмедов, С. Г. Таджи-Аглаева, Ш. А. Низамутдинова, Н. З. Кодиров. Toshkent.: 2019.
2. Сборник задач по физике. Часть II. Ш. Б. Ахмедов, С. Г. Таджи-Аглаева, Ш. А. Низамутдинова, Н. З. Кодиров. Toshkent.: 2019.
3. Hojiyev B.I. Fizika. 2008. “Fan” nashriyoti.
4. Usmanov M. Fizikadan masalalar to‘plami (Oliy o‘quv yurtlariga kiruvchilar uchun). Navro‘z nashriyoti. Toshkent.: 2018. 558-b.
5. Uzoqov A. Fizikadan testlar to‘plami (Oliy o‘quv yurtlariga kiruvchilar uchun). “Yangi Asr” nashriyoti. Toshkent.: 2017. 311-b.
6. Abiturent (1–8). “Spectrum media group”. Toshkent.: 2018.311-b.
7. Choriev R. va boshqalar. O'rta maxsus kasb-hunar ta'limi muassasalarida laboratoriya ishlari. T. "Talqin" 2002
8. Suyarov Q. T. va boshqalar. Mexanika va molekulyar fizika - T.: "O'qituvchi", 2002.
9. Xusanov A. X. va boshqalar. Elektrodinamika. Elektromagnit tebranishlar. – T.: "O'qituvchi", 2003.
10. Suyarov Q.T. va boshqalar. Fizikadan laboratoriya va namoyishli tajriba ishlari. –T.: "Talqin", 2002.
11. Suyarov Q. T va boshqalar. Fizika. I kitob. Mexanika. - T.: "Yangi nashr", 2009.
12. Suyarov Q. T., Usmonov Sh., Usarov. J. Fizika. II kitob. Molekulyar fizika. – T. "Yangi nashr", 2010.
13. Физика часть I . «Механика. Молекулярная физика, термодинамика» Т. М. Оплачко, К. А. Турмунметов.
14. Физика часть II . «Электродинамика. Оптика. Атомная физика» Т. М. Оплачко, К. А. Турмунметов.
15. Jurayev U.B., Umarov A. M., Qo’yboqov X. R. Fizika. I-qism. SamDU tahririy-nashriyot. 2020.
16. Jurayev U. B., Umarov A. M., Qo’yboqov X. R. Fizika. II-qism. SamDU tahririy-nashriyot. 2020.
17. Turdiyev N. Sh. va boshqalar. Fizika 10-sinf darsligi. ”Niso poligraf” Toshkent: 2017.
18. Turdiyev N. Sh. va boshqalar. Fizika 11-sinf darsligi. ”Niso poligraf” Toshkent: 2018.
19. A. A. Koptev, A. A. Pasko, A. A. Baranov. Maple v injenernыx raschetax. Tambovskiy gosudarstvennыy texnicheskiy universitet. – Tambov.: 2003
20. Primqulova, R.Turgunbaev, G.Eshchanova, Sh.Ismailov. Maple da matematik masalalarni yechish metodlari (metodik qo‘llanma). Nizomiy nomidagi Toshkent pedagogika Universtiteti. Toshkent.:2009.

SINOV UCHUN BERILGAN

21. A.V.Pogorelov. Geometriya, 7–11 sinflar. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1992.
22. D.Djankoli. Fizika, 1-chast. Izdatelstvo “Mir”. Moskva.: 1989, 656 s.
23. D.Djankoli. Fizika, 2-chast. Izdatelstvo “Mir”. Moskva.: 1989, 673s.
24. A.N.Remizov, A.YA.Potapenko. Kurs fiziki. OOO «Drofa». Moskva.: 2002, 720 s.
25. Ronald J. Hershberger, James J. Reynolds. Calculus with Applications, the 2nd edition. Lexington, Massachusetts.: Copyright © 1993 by D.C. Heath and Company.
26. Halliday & Resnick. Principles of physics. Cleveland state university. Cover image from © M.Darlush/Shutterstock, 9th edition. 2011. 1248 pages.

Elektron manbalar

1. 10 класс. Физика. Механика. Г.Я. Мякишев.
2. 11 класс. Физика. Оптика квантовая физика. Г. Я. Мякишев.
3. 10 класс. Физика. В.А. Касьянов.
4. 11 класс. Физика. В.А. Касьянов.
5. Nurmatov J. va boshqalar. Fizikadan laboratoriya ishlari. T.: "O'qituvchi", 2002.

SINOV UCHUN BERILGAN

MUNDARIJA

SO‘Z BOSHI	**3**
ELEKTRODINAMIKA ASOSLARI	**5**
I BOB. ELEKTROSTATIKA	**6**
§ 1. Turli elektr hodisalari. Elektr zaryadining saqlanish qonuni	6
§ 2. Zaryadlarning o‘zaro ta’sir qonuni – kulon qonuni	16
§ 3. O’zaro ta’sir prinsiplari. Elektr maydoni, uning kuch chiziqlari. Elektr maydonining kuchlanganligi.	24
§ 4. Turli shakldagi zaryadlangan o‘tkazgichlarning elektr maydon kuchlanganliklari.	32
§ 5. Elektr maydoniga kiritilgan o‘tkazgich va dielektrik.	44
§ 6. Elektr maydon potensiali. Nuqtaviy zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish. Potensial energiya.	53
§ 7. Zaryadlangan o‘tkazgichlarning potensiali. Ekvipotensial sirtlar. Potensial uchun xususiy hollar.	59
§ 8. Elektr sig‘im. Kondensator va ularning turlari. Kondensator energiyasi. Elektr maydon energiya zichligi.	75
§ 9. Kondensatorlarni ketma-ket va parallel ulash. Kondensator uchun xususiy hollar	84
I bobga doir testlar	98
I bobga topshiriqlar	101
II BOB. O‘ZGARMAS TOK QONUNLARI	**105**
§ 10. Elektr toki. Elektr qarshilik. Zanjirning bir qismi uchun om qonuni	105
§ 11. Tokli o‘tkazgich ichidagi dreyf harakat va elektr maydon kuchlanganligi. Elektr qarshilikning temperaturaga bog‘liqligi	114
§ 12. Elektr qarshiliklarni ketma-ket va parllel ulash	120
§ 13. Elektr o‘lchov asboblari. Elektr o‘lchov asboblarining o‘lchash chegaralarini oshirish	127
§ 14. Elektr tokining ishi. Joul-lens qonuni. Elektr quvvati	133
§ 15. To‘liq zanjir uchun om qonuni. To‘liq zanjir uchun Joul-Lens qonuni	146
§ 16. Doimiy tok manbalarini ketma-ket va parallel ulash	155
§ 17. Elektr zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari va ulardan kelib chiqadigan natijalar	160
II bobga doir laboratoriya ishlari	167
II bobga doir testlar	175
II bobga topshiriqlar	179
III BOB. TURLI MUHITLARDA ELEKTR TOKI	**182**
§ 18. Suyuqliklarda elektr toki. Eelektroliz uchun Faradey qonunlari	182

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 19. Galvanik element. Daniyel elementi. Akkumlyatorlar.	187
§ 20. Yarim o‘tkazgichlarda elektr toki	192
§ 21. Vakuumda elektr toki	200
§ 22. Gazlarda elektr toki. razryad va uning turlari	205
III bobga doir laboratoriya ishlari	211
III bobga doir testlar	213
III bobga topshiriqlar	216
IV BOB. MAGNETIZM	**218**
§ 23. Magnit hodisalar. Magnit maydonning mavjudligini isbotlovchi tajribalar	218
§ 24. Amper kuchi va uning yo‘nalishi. Chap qo‘l qoidasi. Parallel toklarning o‘zaro ta’siri.	231
§ 25. Magnit maydonidagi tokli konturning magnit momenti, burovchi momenti va potensial energiyasi. Tokli konturni burishda bajarilgan ish.	237
§ 26. Bio-Savar-Laplas qonuni va undan kelib chiqadigan natijalar	242
§ 27. Maydon sirkulyatsiyasi tushunchasi. Amper qonuni. Solenoid va toroidning magnit maydoni.	250
§ 28. Lorents kuchi. Magnit maydondagi zaryadli zarraning traektoriyasi	259
§ 29. Magnitlanish vektori. Magnit maydon kuchlanganligi. Magnit qabul qiluvchanlik va magnit singdiruvchanlik	264
§ 30. Magnetiklar va ularning turlari	270
§ 31. Magnit oqimi. Elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qoidasi	274
§ 32. Elektromagnit induksiya qonuni va uning turli tadbiqlari	280
§ 33. O‘zinduksiya hodisasi. G‘altakning induktivligi magnit maydon energiyasi. O‘zaro induksiya hodisasi	289
IV bobga doir laboratoriya ishlari	297
IV bobga doir testlar	299
IV bobga topshiriqlar	303
V BOB. MEXANIK TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR	**308**
§ 34. Mexanik tebranish haqida asosiy tushunchalar	308
§ 35. Prujinali mayatnik	313
§ 36. Matematik mayatnik	317
§ 37. Mexanik tebranishlarni qo‘shish	326
§ 38. Mexanik to‘lqinlar haqida asosiy tushunchalar	332
§ 39. Mexanik to‘lqinlar uchun qaytish, o‘tish, sinish, interferensiya va difraksiya hodisalari	342
§ 40. Akustika elementlari. Tovush hodisalari	353
§ 41. Tovush to‘lqinlarida Doppler effekti	366
V bobga doir laboratoriya ishlari	379

SINOV UCHUN BERILGAN

V bobga doir testlar	382
V bobga topshiriqlar	385
VI BOB. ELEKTR TEBRANISHLARI VA ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLARI	**387**
§ 42. Tebranish konturi. elektr tebranishlar. Tomson formulasi	387
§ 43. O‘zgaruvchan tok zanjirida aktiv qarshilik va o‘rtacha quvvat	394
§ 44. O‘zgaruvchan tok zanjirida kondensator va induktiv g‘altak	399
§ 45. O‘zgaruvchan tok zanjiri uchun Om qonuni	404
§ 46. Transformator va unda elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatish	415
§ 47. Elektromagnit maydon nazariyasi. Gers tajribalari. Elektromagnit to‘lqinlarini xossalari	422
§ 48. Radioaloqa, televideniya va radiolokatsiya haqida tushucha. Radioto‘lqin shkalasi	428
VI bobga doir laboratoriya ishlari	433
VI bobga doir testlar	437
VI bobga topshiriqlar	441
Test va topshiriqlarning javoblari	444
ILOVALAR	**447**
Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati	457

SINOV UCHUN BERILGAN