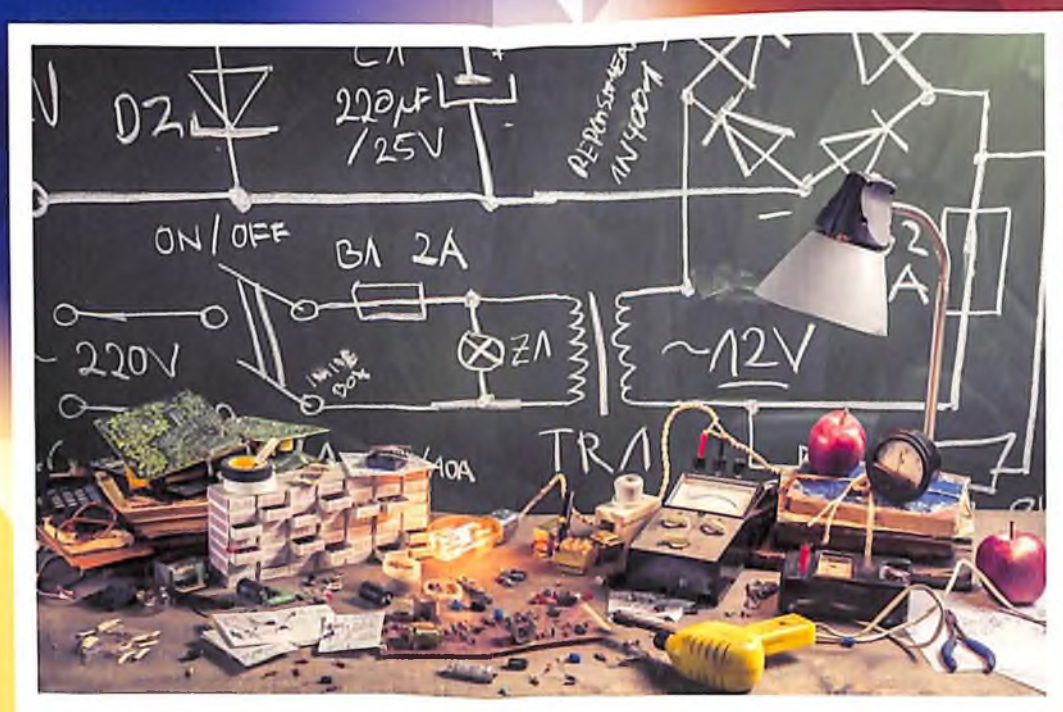


53  
T 86

S.J. Turayev,  
D.O. Ximmataliyev, Z.F. Beknozaro

# FIZIKA

**ELEKTROSTATIKA, ELEKTROMAGNETIZM.  
TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR**



O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIYVAO‘RTAMAXSUSTA’LIMVAZIRLIGI

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI  
VA KOMMUNIKATSIYALARINI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI  
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

S.J.Turayev, D.O.Ximmataliyev, Z.F.Beknozarova

# FIZIKA

**ELEKTROSTATIKA. ELEKTROMAGNETIZM.  
TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR**

*O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi  
tomonidan “5330600-Dasturiy injiniring” bakalavriat ta’lim  
yo‘nalishi uchuno‘quv qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan  
(Guvohnoma-522-024)*

**TOSHKENT – 2021**

**UO‘K: 53(075.8)**

**KBK: 22.3**

**S.J.Turayev, D.O.Ximmataliyev, Z.F.Beknozarova, Fizika (Elektrostatika. Elektromagnetizm. Tebranishlar va to‘lqinlar),(O‘quv qo‘llanma). – T.:«Nihol print» OK, 2021. – 144b.**

**ISBN 978–9943–7342-6-5**

Ushbu o‘quv qo‘llanma ikki bo‘limdan iborat bo‘lib, nazariy ma’lumotlar, masalalar yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalardan tashkil topgan. Birinchi bo‘lim “Elektrostatika. Elektromagnetizm” deb nomlanib elektr o‘zaro ta’sir, elektr maydonda zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish, elektr maydonda dielektriklar va o‘tkazgichlar, elektr toki, magnit maydoni va moddaning magnit xossalari, Bio-Savar-Laplas qonuni, elektromagnit induksiya hodisasi kabi mavzulardan iborat. Ikkinchi bo‘lim “Tebranishlar va to‘lqinlar” deb nomlanib tebranma harakatlar, elektromagnit tebranishlar, to‘lqin hodisalar, to‘lqinlar superpozitsiyasi, elektromagnit to‘lqinlar kabi mavzularni o‘z ichiga oladi. Bundan tashqari fizikaviy jarayonlarni loyihalash, modellashtirish va dasturiy mahsulotini ishlab chiqishda C++ va Delphidasturlash tillaridan foydalanishkeltirib o‘tilgan.

O‘quv qo‘llanma“5330600 – Dasturiy injiniring” bakalavriat ta’lim yo‘nalishining namunaviy dasturi asosida tayyorlangan bo‘lib, undan ushbu ta’lim yo‘nalishida tahsil olayotgan talabalar foydalanishlari mumkin.

**UO‘K: 53(075.8)**

**KBK: 22.3**

**Taqrizchilar:**

**A.G.Gulyamov** – O‘zFAFizika-Quyosh IIB, Fizika texnika instituti, fizika-matematikafanlaridoktori;

**N.I.Jurayeva** – TATU Qarshifiliali, fizika-matematika fanlari nomzodi.

**ISBN 978–9943–7342-6-5**

**© S.J.Turayev, D.O.Ximmataliyev, Z.F.Beknozarova, 2021.**

**© «Nihol print» OK nashriyoti, 2021.**

## KIRISH

Mamlakatimizda zamon talablari asosida ta'lim jarayonini tashkil etish, jumladan, oliy ta'lim tizimida axborot kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish orqali yuqori malakali kadrlar tayyorlashga alohida e'tibor qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasida "Uzluksiz ta'lim tizimini yanada takomillashtirish, sifatli ta'lim xizmatlari imkoniyatlarini oshirish, mehnat bozorining zamonaviy ehtiyojlariga muvofiq yuqori malakali kadrlar tayyorlash siyosatini davom ettirish"<sup>1</sup> muhim ustuvor vazifa sifatida belgilangan. Bu borada dasturiy vositalar asosida bo'lajak dasturchilarni loyihaviy-konstruktorlik va ilmiy-tadqiqotchilik kasbiy faoliyatiga tayyorlash metodikasini metodologik yondashuvlar asosida takomillashtirish, dasturiy injiniring mutaxassisligiga xos sifatlarni va kasbiy faoliyatga tayyorgarlik darajalarini baholash metodikasini ishlab chiqish bo'lajak dasturchilarning loyihalash, konstruktorlik va ilmiy-tadqiqotchilik kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Zamonaviy axborot kommunikatsiya vositalarini ta'lim jarayonlariga joriy etish o'quvchi shaxsining fikrlashini, kommunikativ qobiliyatini, optimal qaror qabul qilish malakasini, estetik tarbiyasini, axborot olish madaniyati hamda kasbiy malaka va ko'nikmalarini rivojlanishini ta'minlaydi.

Shu bilan bir qatorda o'qituvchiga ham o'ziga xos ma'suliyat yuklaydi. Ta'lim muassasalarining zamonaviy axborot kommunikatsiya texnologiyalari bilan ta'minlanishi - pedagoglarning o'z mehnat faoliyatiga yangicha yondashish lozimligini talab qiladi va shu orqali pedagogik faoliyatning mukammallashuviga olib keladi.

Jumladan, umumiy fizika va uning mantiqiy davomi bo'lgan elektronika va sxemotexnika fanlarini o'qitishda, ushbu fanlardan amaliy mashg'ulotlar jarayonida dasturiy vositalardan foydalanish o'qituvchidan xuddi shunday yondashuvni talab qiladi.

Barcha sohalar kabi, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasi doirasida tayyorlanayotgan mutaxassis kadrlar uchun tabiiy jarayonlarni modellashtirish va ularni o'rganishda har xil zamonaviy dasturiy vositalardan foydalana bilish ko'nikmalariga ega bo'lish

---

<sup>1</sup>O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni.// O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari to'plami. – T., 2009. B.31.

ahamiyatlidir. Shuning uchun fizika fanini o‘qitish jarayonida zamonaviy dasturiy tizimlardan foydalanish usullarini ko‘rsatib o‘tish maqsadga muvofiqdir.

Ushbu maqsadlarni ko‘zda tutgan holda, hamda, talabalarni keyinchalik kasbiy faoliyat turlariga tayyorlash maqsadida oliy ta‘lim muassasalarida tahsil olayotgan talabalarning fizika faniga qiziqishini oshirish - ta‘lim sifatini oshirishning mezoni sifatida ushbu o‘quv qo‘llanmada fizikaning “Elektostatika. Elektromagnetizm. Tebranishlar va to‘lqinlar” bo‘limiga dasturiy vositalarni samarali qo‘llash, jumladan, fizik jarayonlargadasturlash tilini qo‘llashshusullari keltiriladi.

Ushbu o‘quv qo‘llanma ikki bo‘limdan iborat bo‘lib, nazariy ma‘lumotlar, masalalar yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalardan tashkil topgan. Birinchi bo‘lim 7 paragraf “Elektr o‘zaro ta‘sir”, “Elektr maydonda zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish”, “Elektr maydonda dielektriklar va o‘tkazgichlar”, “Elektr toki”, “Magnit maydoni va moddaning magnit xossalari”, “Bio-Savar-Laplas qonuni”, “Elektromagnit induksiya hodisasi” dan, ikkinchi bo‘lim 5 paragraf “Tebranma harakatlar”, “Elektromagnit tebranishlar”, “To‘lqin hodisalar”, “To‘lqinlar superpozitsiyasi”, “Elektromagnit to‘lqinlar” dan iborat. Bundan tashqari bo‘limlar oxirida fizikaviy jarayonlarga dasturlash tilining tadbiqui “Fizik kattaliklarni hisoblashda dasturlash tillaridan foydalanish”, “Dasturlash tilidan foydalanib tebranma harakatlarni grafik ko‘rinishda tasvirlash”, “Dasturlash tilida tebranma harakatlarga doir dasturiy mahsulot yaratish” keltirib o‘tilgan.

# I BO‘LIM. ELEKTROSTATIKA. ELEKTROMAGNETIZM

## 1-§. Elektr o‘zaro ta’sir

Tabiatda jismlar ma’lum sharoitda elektr zaryadiga ega bo‘ladi. Jismda elektr zaryadining borligi uning boshqa zaryadlangan jismlarga ta’sirlashishi orqali namoyon bo‘ladi. Elektr zaryadlari ikki turga bo‘linadi va mos ravishda musbat va manfiy deb ataladi. Bir xil ishorali zaryadlar bir birini itaradi, har xil zaryadlar bir-biri bilan tortishadi.

Elektr zaryadi elementar zarralar deb ataladigan ba’zi zarralarning asosiy tavsiflaridan biridir. Barcha elementar zarralarning zaryadi absolyut qiymati jihatidan bir xil. Bunday zaryadlar elementar zaryad deyiladi. Be zaryadni  $e$  harfi bilan belgilaymiz.

Elementar zarralar qatoriga elektron (manfiy zaryadli -  $e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$ ), proton (musbat zaryadli -  $e = +1.6 \cdot 10^{-19} C$ ) va neytronlar (zaryadsiz) kiradi. Odatda jismlar tarkibidagi turli ishorali zaryadlar miqdori teng va hajm bo‘ylab bir xil taqsimlangan bo‘ladi. Bu holda jism tarkibidagi zaryadlangan zarralarning algebraik yig‘indisi nolga teng bo‘ladi va bunday jism elektr nuqtai-nazardan neytral deyiladi.

Istalgan  $q$  zaryad elementar zaryadlarning yig‘indisidan iboratdir, shuning uchun bu zaryad  $e$  ga butun karrali hisoblanadi va diskret qiymatlar qabul qiladi:

$$q = \pm Ne$$

Biroq, elementar zaryad shunday kichikki, istalgan mikroskopik zaryadlar kattaligini uzluksiz o‘zgaruvchan deb hisoblash mumkin.

Elektr zaryadlari yo‘qolishi va yana paydo bo‘lib turishi mumkin. Ammo doim qarama-qarshi ishorali ikki elementar zaryad bir vaqtda paydo bo‘ladi, yoki yo‘qoladi. Shu sababli elektr jihatidan izolyatsiyalangan tizimning umumiy zaryadi o‘zgarmaydi. Bu elektr zaryadning saqlanish qonuni deyiladi va quyidagicha yoziladi:

$$\sum_{i=1}^n q_i = q_1 + q_2 + \dots + q_n = const$$

Agar zaryadlangan zarralar biror jismning hajmi bo‘ylab ma’lum darajada erkin harakatlansa, bunday jism elektr tokini o‘tkazish xususiyatiga ega bo‘ladi. Harakatlanishi hisobidan elektr tokini hosil qiluvchi zaryadlangan zarralar faqatgina elektronlar emas, ionlar ham

bo'lishi mumkin, ya'ni bir necha elektronlarini yo'qotgan yoki qo'shib olgan atom va molekulalar ham zaryad tashuvchi bo'ladi.

Nuqtaviy zaryad deb ataluvchi zaryadlangan zarralarning o'zaro ta'sir kuchi 1785 yilda Kulon aniqlagan qonunga bo'sunadi.

Agar biror zaryadlangan jismning o'lchamlarini shu jismdan boshqa jismlargacha bo'lgan masofa cheksiz kichik deb hisoblash mumkin bo'lsa, bunday zaryadlangan jism nuqtaviy zaryad deb aytiladi.

Kulon o'zining buralma tarozisida ikkita zaryadlangan sharcha orasidagi ta'sir kuchini sharchalardagi zaryadlarning kattaligiga hamda sharchalar o'rtasidagi masofaga bog'liq ravishda o'lchagan.

O'z tajribalari yordamida Kulon quyidagi xulosaga keldi: *ikkita nuqtaviy zaryadning o'zaro ta'sir kuchi har bir zaryad kattaligiga to'g'ri va zaryadlar orasidagi masofaning kvadratiga teskari mutanosibdir.* Kuchning yo'nalishi esa zaryadlar orqali o'tgan to'g'ri chiziq bilan ustma-ust tushadi.

Kulon qonunini quyidagi formula yordamida ifodalash mumkin,

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

bu yerda  $k$  – proporsionallik koeffitsiyenti bo'ib  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ ,

$q_1, q_2$  – zaryadlangan zarralarning miqdorlari,  $r$  – zaryadlar orasidagi masofa.

Kulon qonunini vektor ko'rinishda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (1.2)$$

Bunda  $\vec{r}$  orqali bir zaryaddan ikkinchi zaryadga o'tkazilgan va  $\vec{F}$  kuch ta'sir qilayotgan zaryadga qarab yo'nalgan vektor belgilangan.

(1.2) formulada  $k$  – proporsionallik koeffitsiyenti  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  deb olinadi.

U holda vakuumda joylashgan zaryadlar uchun Kulon qonuni quyidagicha yoziladi:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (1.3)$$

Kulon qonunining (1.3) formula kabi yozilishi ratsionallashtirilgan deb ataladi.

Keltirib o‘tilgan formulalardagi  $\varepsilon_0$  kattali elektr doimiysi deyiladi. Bu kattalikning o‘lchami elektr sig‘imining uzunlikka nisbatidan iborat, ya’ni  $[\varepsilon_0] = 1 \frac{F}{m}$ .

Elektr doimiysi  $\varepsilon_0$  ning qiymatini aniqlash uchun bir biridan  $1m$  masofada turgan va zaryad miqdorlari  $1C$  dan bo‘lgan ikkita zaryad o‘zaro  $9 \cdot 10^9 N$  kuch bilan o‘zaro ta’sirlashadi.

$$9 \cdot 10^9 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

bundan

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

Agar nuqtaviy zaryadlar biror muhitda joylashgan bo‘lsa Kulon qonuni formulasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (1.4)$$

bu yerda  $\varepsilon$  – muhitning dielektrik singdiruvchanligi deyiladi. (1.4) formuladan ko‘rinadiki, agar zaryadlar biror muhitda joylashgan bo‘lsa o‘zaro ta’sir kuchi  $\varepsilon$  marta kamayar ekan.

Zaryadlar o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir elektr maydon vositasida amalga oshadi. Har qanday zaryad o‘zining atrofidagi faoni o‘zgartiradi va bu fazoda elektr maydonini hosil qiladi. Elektr maydonining borligi esa shu maydonning biror nuqtasiga joylashgan elektr zaryadga kuch ta’sir qilishi orqali ma’lum bo‘ladi. Agar biror joyda elektr zaryadi bor yoki yo‘qligini bilmoqchi bo‘lsak, shu joyga zaryadlangan jismni keltirish va bu jismga kuch ta’sir qilayotgan yoki qilmayotganligini aniqlash kerak.

Elektr maydonni bilish va o‘rganish uchun ma’lum “sinov” zaryadi kiritiladi. Elektr maydoni uning ma’lum bir nuqtasiga kiritilgan sinov zaryadiga ta’sir qiluvchi kuch orqali tavsiflanadi.

Sinov zaryadi  $q_0$  yordamida nuqtaviy zaryad  $q$  hosil qilgan maydonni ko‘rib chiqamiz. Zaryad  $q$  ga nisbatan holati radius vektor  $\vec{r}$  bilan aniqlangan nuqtaga sinov zaryadini kiritamiz (1.1-rasm), bu zaryadga quyidagi kuch ta’sir qiladi:

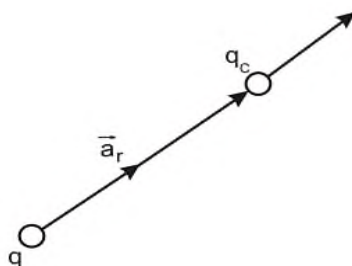
$$\vec{F} = q_0 \left( \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \right) \quad (1.5)$$



(1.5) formuladan sinov zaryadining  $q_0$  har qanday qiymatida  $\vec{F}/q_0$  nisbat o'zgarmay qoladi. Shuning uchun bu nisbatni elektr maydonni belgilovchi kattalik sifatida qabul qilish mumkin:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.6)$$

(1.6) formuladagi vektor kattalik muayyan nuqtadagi (ya'ni sinov zaryadi  $q_0$  ga  $\vec{F}$  kuch ta'sir qilyotgan nuqtadagi) *elektr maydon kuchlanganligi* deb ataladi.



### 1.1 - rasm. Elektr maydoniga kiritilgan sinovchi zaryadga ta'sir etuvchi kuch

Elektr maydon kuchlanganligining miqdori (1.6) formulaga muvofiq maydonning ma'lum nuqtasida joylashgan birlik nuqtaviy zaryadga ta'sir qalayotgan kuchga teng.  $\vec{E}$  vektorning yo'nalishi musbat zaryadga ta'sir qilayotgan kuchning yo'nalishiga mos tushadi.

Biz ko'rib o'tgan (1.5) va (1.6) formulalardan nuqtaviy zaryad maydonining kuchlanganligi zaryad miqdori  $q$  ga to'g'ri va zaryaddan maydonning berilgan nuqtasigacha masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir, ya'ni:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \vec{r}}{r^2} \quad (1.7)$$

$\vec{E}$  vektor zaryad va maydonning berilgan nuqtasi orqali o'tgan to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan. Agar zaryad musbat bo'lsa, yo'nalish zaryaddan tashqariga, zaryad manfiy bo'lsa, zaryad tomonga qaragan bo'ladi.

Agar elektr maydoni biror muhit ichida kuzatilayotgan bo'lsa, maydonning sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuchi  $\epsilon$  marta kamayadi:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q \vec{r}}{r^2} \quad (1.8)$$

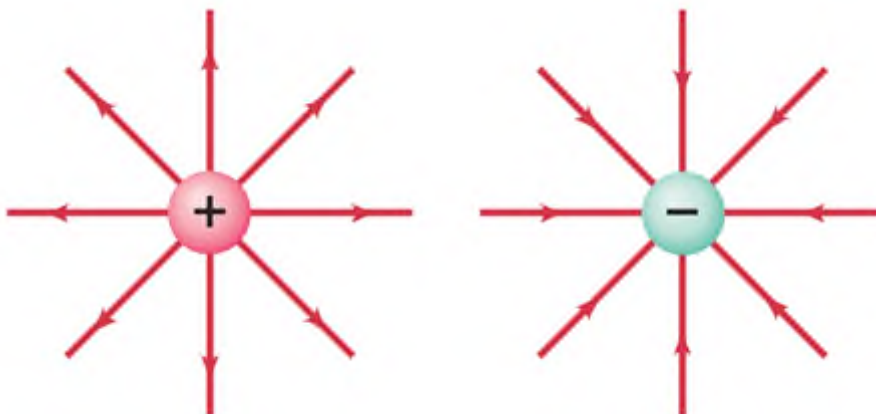
XB tizimida elektr maydon kuchlanganligi volt taqsim metrga teng, ya'ni  $[E] = 1 \frac{V}{m}$  yoki  $[E] = 1 \frac{N}{C}$ .

Agar elektr maydonini bir necha zaryad vujudga keltirayotgan bo'lsa, natijaviy maydonning kuchlanganligi alohida zarralar hosil qilgan elektr maydon kuchlanganliklarining vektor yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (1.9)$$

(1.9) formula elektr maydon superpozitsiya prinsipi deyiladi.

Nuqtaviy zaryadning  $\vec{E}$  chiziqlari radial to'g'ri chiziqlardan iborat bo'lib, zaryad musbat bo'lsa chiziqlar zaryaddan tashqariga va zaryad manfiy bo'lsa zaryadga tomon yo'nalgan bo'ladi (1.2-rasm). Haqiqatdan, ixtiyoriy  $r$  radiusga ega sferaning sirti orqali o'tayotgan chiziqlarning to'liq soni  $N$  chiziqlar qalinligining sfera sirti yuzi  $4\pi r^2$  ga ko'paytmasiga teng. Keltirilgan shartga muvofiq, chiziqlar qalinligi son jihatdan  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$  ga teng.



**1.2-rasm.**

Demak,  $N$  ning son qiymati

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1.10)$$

bo'ladi, ya'ni zaryaddan istalgan masofadagi chiziqlar soni bir xildir. Bundan chiziqlar zaryaddan boshqa hech qayerda boshlanmaydi va tugamaydi, ular zaryaddan boshlanib cheksizlikka ketadi (musbat zaryad uchun) yoki cheksizlikdan kelib zaryadda tugaydi (manfiy zaryad uchun) (1.2-rasm).

Nuqtaviy zaryadni o'rab turgan yopiq sirtning shakli qanday bo'lishidan qat'iy nazar elektr maydon kuchlanganligining oqimi  $\frac{q}{\epsilon_0}$  ga teng bo'lar ekan.

Biror yopiq sirt ichiga qiymatlari ixtiyoriy bo'lgan  $q_1, q_2$  va hokozo nuqtaviy zaryadlar joylashgan bo'lsin. Yuqorida aniqlanganga muvofiq  $\vec{E}$  vektorining oqimi quyidagiga teng:

$$F = \oint_S \vec{E}_n dS \quad (1.11)$$

bu yerda  $F$  –elektr maydon induksiya vektori oqimi deyiladi. (integral belgisidagi aylana yopiq sirt bo'yicha integral olinayotganligini bildiradi).

Maydonning superpozitsiya prinsipiga muvofiq

$$\vec{E}_n = \vec{E}_{n1} + \vec{E}_{n2} + \dots = \sum \vec{E}_{ni} \quad (1.12)$$

(1.12) ni oqim uchun keltirib chiqarilgan ifodaga qo'ysak,

$$\oint_S \vec{E}_n dS = \oint_S (\sum \vec{E}_{ni}) dS = \sum \oint_S \vec{E}_{ni} dS$$

ga ega bo'lamiz. Bu yerda  $E_{ni}$  – $i$ - zaryad alohida turganda hosil bo'ladigan maydon kuchlanganligining tashkil etuvchisi. Demak,

$$\oint_S \vec{E}_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i \quad (1.13)$$

Bu tenglik Gauss teoremasi deyiladi. Bu teoremani quyidagicha ta'riflash mumkin: *elektr maydon kuchlanganligi vektorining yopiq sirt orqali oqimi shu sirt ichida joylashgan zaryadlar algebraik yig'indisining  $\epsilon_0$  ga bo'lgan nisbatiga teng.*

Agar zaryad yopiq sirt ichida doimiy  $\rho$  hajmiy zichlik bilan uzluksiz taqsimlangan bo'lsa, Gauss teoremasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\oint_S \vec{E}_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV \quad (1.14)$$

bu yerda o'ng tomondagi integral sirt o'rab olgan hajm bo'yicha olinadi.

Gauss teoremasi bir qator hollarda maydon kuchlanganligini, nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligi formulasidan va maydon superpozitsiyasi prinsipidan foydalanib topishga qaraganda soddaroq yo'l bilan hisoblash imkoniyatini beradi.

## 2-§. Elektr maydonda zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

Biror qo'zg'almas nuqtaviy zaryad maydonida joylashgan boshqa nuqtaviy zaryadga ta'sir qiluvchi kuchning markaziy kuch ekanligini anglash qiyin emas. Elektrostatik maydonning potensial ekanligini tekshirib ko'ramiz. Bunung uchun qo'zg'almas nuqtaviy zaryad  $q$  hosil qilgan maydon kuchlarining bu maydonda ko'chib yuruvchi nuqtaviy

zaryad  $q'$  ustida bajarilgan ishni hisoblaymiz. Uzunligi  $dl$  ga teng bo'lgan elementar yo'lda bajarilgan ish

$$dA = Fdl \cos \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} dl \cos \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} dr$$

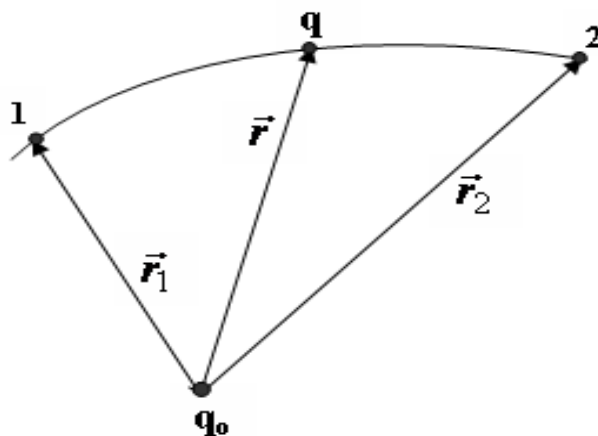
ga teng. Bu formuladan foydalanib nuqtalar orasidagi yo'lda bajarilgan ishni topamiz:

$$A = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{qq'}{r_1} - \frac{qq'}{r_2} \right) \quad (2.1)$$

Olingan natija bajarilgan ish  $q'$  zaryadning elektr maydonda bosib o'tgan yo'liga bog'liq bo'lmay, balki bu zaryadning maydonidagi boshlang'ich va oxirgi vaziyatlariga bog'liq ekan.

(2.1) formuladagi ishni  $q'$  zaryad  $q$  zaryad maydonining 1 va 2 nuqtalaridagi potensial energiyasining farqiga teng ko'rinishda ifodalash mumkin (2.1-rasm):

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r_2} = W_{p1} - W_{p2}$$



### 2.1 - rasm. Qo'zg'almas nuqtaviy qo zaryad maydonida q sinovchi zaryadning harakat trayektoriyasi

Bundan  $q'$  zaryadning  $q$  zaryad maydonidagi potensial energiyasi uchun quyidagini olamiz:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r} + const$$

Bu ifodadagi  $const$  ni potensial energiya uchun tanlanganda, zaryad uzoqlikda potensial energiya nolga tengligi hisobga olinadi.  $r = \infty$  bo'lganda  $W_p = 0$  bo'ladi va

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r} \quad (2.2)$$

kelib chiqadi.

Turli  $q'_{\text{sin}}$ ,  $q''_{\text{sin}}$  va hokozo sinov zaryadlari maydonning berilgan nuqtasida turli  $W'_p$ ,  $W''_p$  va hokozo energiyaga ega bo'ladi. Lekin, barcha zaryadlar uchun  $\frac{W_p}{q_{\text{sin}}}$  nisbat bir xil bo'ladi. Quyidagi kattalik:

$$\varphi = \frac{W_p}{q_{\text{sin}}} \quad (2.3)$$

berilgan nuqtadagi elektr maydon potentsiali deyiladi va elektr maydon kuchlanganligi kabi elektr maydonlarni hisoblashda foydalaniladi. Elektr maydon potentsiali miqdor jihatdan birlik musbat zaryadning elektr maydondagi muayyan nuqtada hosil qilgan potensial energiyasiga teng kattalikdir.

(2.2) va (2.3) formulalardan nuqtaviy zaaryadning elektr maydon potentsiali quyidagiga teng bo'ladi:

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

$q'$  zaryadning zaryadlar tizimi maydonidagi potensial energiyasi quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i q'}{r}$$

bundan

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r} \quad (2.4)$$

Shunday qilib, zaryadlar tizimi hosil qilgan maydon potentsiali tizim tarkibiga kirgan har bir zaryadning alohida hosil qilgan maydon potentsiallarining algebraik yig'indisiga teng.

Elektr maydon kuchlarining  $q$  zaryad ustida bajargan ishini potentsiallar farqi orqali ifodalash mumkin:

$$A = W_{p1} - W_{p2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (2.5)$$

Elektr maydon kuchlarining zaryad ustida bajargan ishi zaryad miqdorining boshlang'ich va oxirgi nuqtalari orasidagi potentsiallar farqiga ko'paytirilganiga teng. Agar  $q$  zaryad potentsiali  $\varphi$  ga teng bo'lgan nuqtadan cheksiz uzoqlashtirilgan bo'lsa, elektr maydonining bajargan ishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$A_{\infty} = q\varphi \quad (2.6)$$

Bundan potensial son jihatdan maydon kuchlarining birlik musbat zaryadni muayyan nuqtadan cheksizlikka ko‘chirishda bajargan ishiga teng.

Potensialning volt deb ataladigan XB tizimidagi birligi uchun shunday nuqtaning potentsiali qabul qilinadiki, 1C zaryadni cheksizlikdan shu nuqtaga ko‘chirish uchun 1J ish bajarish kerak:

$$[\varphi] = \frac{1J}{1C} = 1V$$

Elektrmaydon kuchlanganligi  $\vec{E}$  bolan elektr maydon potentsiali  $\varphi$  orasidagi bog‘lanish maydon kuchlarining  $q$  zaryad ustida yo‘lning  $dl$  kesmasi davomida bajarilgan ishini birinchidan,  $qEdl$  ko‘rinishda, ikkinchidan, zaryad potentsial energiyasining kamayishini ko‘rsatuvchi  $-q \frac{\partial \varphi}{\partial l} dl$  orqali ifodalash mumkin. Xususan,  $E_l = -\frac{\partial \varphi}{\partial l}$  dan

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (2.7)$$

bundan

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

Qavslar ichida olingan ifoda skalyar kattalik  $\varphi$  ning gradiyenti deyiladi. Garadiyent belgisidan foydalanib, ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{E} = -grad\varphi \quad (2.8)$$

Shunday qilib, elektr maydon kuchlanganligi potentsialning teskari ishorada olingan gradiyentiga teng ekan.

### 3-§. Elektr maydonda dielektriklar va o‘tkazgichlar

Agar elektr maydonga dielektrik kiritilsa, shu maydonda hamda dielektrikda bir qancha o‘zgarishlar kuzatiladi. Bu o‘zgarishlarning sodir bo‘lishi sababini tushunish uchun atom va molekulalarning tarkibida musbat zaryadlangan yadrolar va manfiy zaryadlangan elektronlar bor ekanligini hisobga olish kerak. Elektronlar atom va molekular chegaralarida juda katta tezliklar bilan harakat qilib, o‘zlarining yadroga nisbatan holatlarini uzluksiz ravishda o‘zgartirib turadi. Shu sababli har bir elektron tashqi zaryadlarga ta’sir qilganda elektronning vaqt bo‘yicha o‘rtacha holatida joylashgan qo‘zg‘almas zaryad kabi ta’sir qiladi.

Tashqi elektr maydon bo‘lmaganda, musbat va manfiy zaryadlarning og‘irlik markazlari mos tushsa va bir-biriga nisbatan

ma'lum masofaga siljigan bo'lsa bunday molekulalar qutbli molekula deyiladi. Ikkita ishorasi turlicha, modullari teng va orasidagi masofa  $l$  ga teng bo'lgan zaryadlarning dipol momenti quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$\vec{p} = ql \vec{e} \quad (3.1)$$

Tashqi elektr maydon bo'lmaganda turli ishorali zaryadlarning og'irlik markazlari mos tushgan molekula xususiy elektr momentga teng bo'lmaydi va qutbsiz molekula deyiladi. Tashqi elektr maydon ta'sirida qutbsiz molekulalarning zaryadlari bir-biriga nisbatan siljiydi, bunda musbat zaryadlar maydon tomonga qarab, manfiy zaryadlar esa maydonga qarshi tomonga siljiydi. Natijada bunday molekula elektr momentga ega bo'ladi va momentning kattaligi tashqi maydon kuchlanganligiga mutanosib bo'ladi. Agar  $\vec{p}$  va  $\vec{E}$  kattaliklarning yo'nalishlari bir xil ekanliklarini hisobga olsak, quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$\vec{p} = \beta \epsilon_0 \vec{E}$$

bu yerda  $\beta$  – molekulaning qutblanuvchanligi deyiladi.

Tashqi elektr maydon bo'lmasa, dielektriklar molekulalarining dipol momenti nolga teng bo'ladi yoki fazodagi yo'nalishlar bo'yicha ixtiyoriy ravishda taqsimlangan bo'ladi. Ikkala holatda ham dielektriklarning yig'indi elektr momenti nolga teng bo'ladi.

Tashqi maydon ta'sirida dielektrik qutblanadi. Bu esa dielektrikning natijaviy elektr momenti noldan farqli ekanligini ko'rsatadi. Agar maydon va dielektrik bir jinsli bo'lmasa, u holda dielektrikning turli nuqtalaridagi qutblanish darajalari har xil bo'ladi.

Istalgan tipdagi dielektriklarda qutblanish vektori maydonining muayyan nuqtasidagi kuchlanganligi bilan quyidagicha bog'langan:

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

bu yerda  $\chi - \vec{E}$  ga bog'liq bo'lmagan va dielektrikning dielektrik qabul qiluvchanligi deyiladi.

Qutbsiz molekulalardan iborat dielektriklar uchun  $N$  ta molekuladan iborat bo'lsa, dipol momenti  $\sum_{\Delta V} \vec{p}_i = N \beta \epsilon_0 \vec{E}$  ga ega bo'lamiz. Bu ifodani  $\Delta V$  ga bo'lsak, qutblanish vektori formulasi kelib chiqadi:

$$\vec{P} = \frac{\sum_{\Delta V} \vec{p}_i}{\Delta V} = \frac{N\beta\epsilon_0\vec{E}}{\Delta V} = n\beta\epsilon_0\vec{E}$$

bundan  $\chi = n\beta$  kelib chiqadi.

Dielektrlardagi maydon kuchlanganligi  $\vec{E}$  deb haqiqiy elektr maydonni fizikaviy cheksiz kichik hajmi bo'yicha olingan o'rtacha qiymati tushuniladi. Dielektrikdagi haqiqiy (mikroskopik) maydon molekulalar orasidagi masofalarda kuchli o'zgaradi. Lekin maydonning makroskopik jismlarga ta'siri ko'rilganda bu o'zgarishlar sezilmaydi va maydonning ta'siri  $\vec{E}$  ning o'rtacha qiymati bilan aniqlanadi.

Makroskopik  $\vec{E}$  maydon ikkita maydonning ustma-ust tuishib qo'shilishi natijasida paydo bo'ladi. Bu maydonlardan birinchi  $\vec{E}_0$  ni erkin, ya'ni jismlarni bir-biriga tekkizganda bir jismdan ikkinchisiga o'ta oladigan zaryadlar paydo qilsa, ikkinchi  $\vec{E}'$  ni bog'langan zaryadlar paydo qiladi. Maydonning superpozitsiya prinsipiga muvofiq

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \quad (3.2)$$

Bog'langan zaryadlarning erkin zaryadlardan farqi shundaki, ularning tarkibiga kiruvchi molekulaning (atomning) tashqarisiga chiqa olmaydi. Ularning qolgan xossalari boshqa barcha zaryadlarning xossalaridan farq qilmaydi. Bog'langan zaryadlarda  $\vec{E}$  vektorning  $q'/\epsilon_0$  chiziqlari boshlanishi yoki tamomlanishi mumkin. (3.2) ifoda orqali belgilanadigan  $\vec{E}$  vektor uchun Gauss teoremasini quyidagicha yozamiz:

$$F_E = \oiint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} (\sum q + \sum q') \quad (3.3)$$

ya'ni  $\vec{E}$  vektorning yopiq sirt orqali oqimini hisoblaganda faqat erkin zaryadlarning algebraik yig'indisiningina emas, balki shu sirt ichidagi bog'langan zaryadlarning yig'indisini ham e'tiborga olish kerak.

Elektr siljish yoki elektr maydon induksiyasi deb quyidagi kattalik bilan aniqlanadigan fizik kattalikka aytiladi:

$$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P} \quad (3.4)$$

Agar erkin zaryadlar yopiq sirt ichida hajm zichligi  $\rho$  bilan uzluksiz taqsimlangan bo'lsa, (3.4) formula quyidagicha bo'ladi:

$$F_D = \oiint_S D_n dS = \int_V \rho dV \quad (3.5)$$



(3.5) formula elektr siljish vektori uchun Gauss teoremasini ifodalaydi: *elektr siljish vektorining yopiq sirt orqali oqimi shu sirt ichidagi erkin zaryadlarning algebraik yig'indisiga teng.*

Vakuumba  $\vec{P}=0$  bo'lgani uchun (3.4) orqali ifodalangan  $\vec{D}$  kattalik  $\varepsilon_0\vec{E}$  ga aylanadi. Elektr siljish vektori oqimining birligi kulon (1C) orqali belgilanadi. 1C ga teng zaryad o'zini o'rab turgan sirt orqali 1C ga teng siljish oqimini hosil qiladi.

(3.4) formuladan quyidagi formula kelib chiqadi:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \chi\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon_0(1 + \chi)\vec{E} \quad (3.6)$$

Bu formuladagi o'lchamsiz kattalik

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad (3.7)$$

ni muhitning nisbiy dielektrik kirituvchanligi yoki dielektrik kirituvchanlik deyiladi. Demak, (3.6) munosabatni quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E} \quad (3.8)$$

Vakuumba nuqtaviy zaryad maydonining elektr siljishi (elektr maydon induksiyasi) quyidagiga teng:

$$\vec{D} = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (3.9)$$

Elektr siljish birligi  $1\text{C}/\text{m}^2$  deb olinadi. Tashqi maydon bo'lmaganda spontan (o'z-o'zidan) qutblanish qobiliyatiga ega bo'lgan moddalar gruppasi mavjud. Bunday hodisa dastlab segnet tuzida kuzatilganligi bois, ushbu turkumga kiruvchi moddalarning barchasi segnetoelektriklar deyiladi.

Segnetoelektriklar qolgan dielektriklardan bir qator xarakterli xossalari bilan farqlanadi:

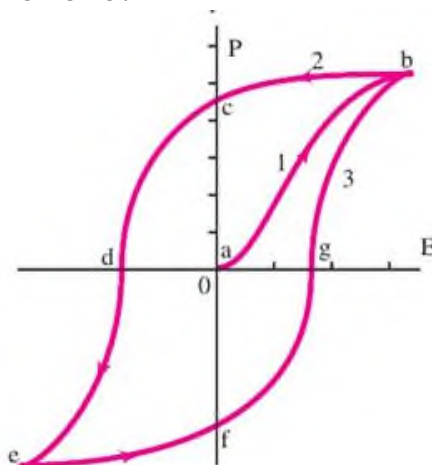
1. Oddiy dielektriklarda  $\varepsilon$  bir necha birlikka, kam hollarda bir necha o'nga (masalan suvda  $\varepsilon = 81$ ) teng bo'lgan vaqtda, segnetoelektriklarning dielektrik kirituvchanligi bir necha mingga yetishi mumkin.

2.  $\vec{D}$  ning  $\vec{E}$  ga bog'lanishi chiziqli emas, ya'ni dielektrik kirituvchanlik maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi (3.1-rasm).

3. Maydon o'zgarganda qutblanish vektori  $\vec{P}$  ning qiymatlari maydon kuchlanganligi  $\vec{E}$  ning qiymatlaridan kechikib o'zgaradi, natijada  $\vec{P}$  va  $\vec{D}$  lar  $\vec{E}$  ning ayni vaqtdagi qiymatlarigagina bog'liq bo'lmay, ilgarigi qiymatlariga ham bog'liq bo'ladi, ya'ni dielektrikda

avval bo‘lib o‘tgan voqealarga ham bog‘liq bo‘ladi. Bu hodisa gisterezis (grekcha “gisterezis”-kechikish) deb ataladi.

Agar maydon davran o‘zgarsa, 3.1-rasmda ko‘rsatilgan egri chiziq, ya’ni  $\vec{P}$  ning  $\vec{E}$  ga bog‘liqligi gisterezis sirtmog‘i deb ataladi. Maydonning dastlabki hosil qilinishida  $\vec{E}$  ning o‘shishi bilan qutblanish ortib boradi va egri chiziqning 1 shoxcha orqali ifodalanadi.  $\vec{P}$  ning kamayishi 2 shoxcha bo‘yicha ro‘y beradi.  $\vec{E}$  ning qiymati nolga teng bo‘lganda modda qutblanishi  $P_r$  ga teng bo‘lib qoladi, bu qiymatni qoldiq qutblanish deyiladi. Kuchlanganligi  $\vec{E}_c$  ga teng bo‘lib, teskari yo‘nalgan maydon ta’siridagina qutblanish nolga teng bo‘lishi mumkin. Maydon kuchlanganligining ushbu qiymati koersitiv kuch deb ataladi. Agar  $\vec{E}$  ni yana o‘zgartirsak, gisterezis sirtmog‘i yana o‘zgaradi va 3 shoxcha paydo bo‘ladi va hokozi.



**3.1-rasm.**

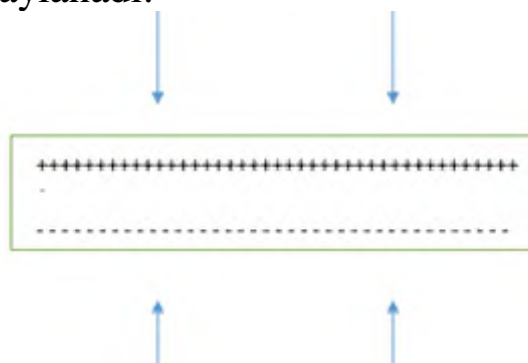
Segnetoelektriklar qutblanishining o‘zgarishi ferromagnetiklar magnitlanishining o‘zgarishiga o‘xshash. Shu sababli segnetoelektriklar ferroelektriklar deb ham ataladi. Segnetoelektriklik xususiyatiga faqat kristall moddalar ega bo‘lib, kristall simmetriya markaziga ega bo‘lmasligi kerak. Segnetoelektrik kristallardagi zaryadlarning o‘zaro ta’sirlashishi natijasida shu zarralarning dipol momentlari spontan ravishda bir-biriga parallel joylashadi. Dipol momentlarining bir xil yo‘nalishi butun kristallga tarqalishi juda kam uchraydigan holdir. Odatda, kristall bir qancha sohalarga bo‘linib, har bir sohadagi dipol momentlar bir-biriga parallel joylashadi. Lekin turli sohalarning qutblanish yo‘nalishlari har xil bo‘ladi. Spontan qutblanish sohalari domenlar deb ataladi. Tashqi maydon ta’sirida domenlarning

momentlari yaxlit moment sifatida buriladi va maydon yo‘nalishiga mos joylashadi.

Har bir segnetoelektrik uchun shunday temperaturani ko‘rsatish mumkinki, bu temperaturadan yuqoriroq temperaturada modda o‘zining ajoyib xususiyatlarini yo‘qotadi va oddiy dielektrikka aylanib qoladi. Bu temperaturani Kyuri nuqtasi deyiladi. Segnet tuzining ikkita Kyuri nuqtasi bor:  $-15^{\circ}C$  da va  $+22.5^{\circ}C$  da va bu tuz ko‘rsatilgan qiymatlar bilan chegaralangan temperetura oralig‘idagina segnetoelektrik xususiyatga ega bo‘ladi.

Simmetriya markaziga ega bo‘lmagan ba’zi kristallar deformatsiya vaqtida qutblanadi. Bu hodisani to‘g‘ri p‘ezoelektrik effekt deb ataladi. Qutblanishning kattaligi esa deformatsiyaga to‘g‘ri proporsional. Agar deformatsiyaning ishorasi o‘zgarsa, qutblanishning ham ishorasi o‘zgaradi. Muhim p‘ezoelektriklar qatoriga kvars, segnet tuzi, bariyning metatitanati va boshqalar kiradi.

Agar kvars kristalini plastinka qilib qirqib olinsa va vertikal o‘q bo‘ylab siqilsa, plastinkaning yon sirtlarida zaryadlar hosil bo‘ladi (3.2-rasm). P‘ezoelektrik effektdan amalda foydalanish uchun plastinkaning yon sirtlariga metall qoplamalar o‘rnatiladi. Agar bu qoplamalarni berk zanjirga ulasak, kristallning deformatsiyasi o‘zgarganida zanjirda tok impulslari hosil bo‘ladi. Masalan, p‘ezoelektrik mikrofondan yuqorida keltirib o‘tilgan jarayon kuzatiladi, ya’ni tovush to‘lqini ta’sirida plastinkaning har xil ishorali deformatsiyalanishi shunday chastotali o‘zgaruvchan tokka aylanadi.



**3.2-rasm.**

P‘ezoelektrik effektini quyidagicha tushintirish mumkin. Har qanday kristall panjarasini turli atomlar yoki atomlar guruhi tomonidan tuzilgan va bir-birining ichiga kiritilgan oddiy panjaralardan iborat deyish mumkin. Agar kristall simmetriya markaziga ega bo‘lmasa,

deformatsiya ta'sirida oddiy panjaralar bir-biriga nisbatan siljiydi va bunday siljish natijasida kristallda elektr moment paydo bo'ladi.

P'ezoelektr kristallarda biz yuqorida aytib o'tgan to'g'ri effektdan tashqari teskari effekt ham kuzatilib, elektr maydoni ta'sirida qutblanish natijasida kristall mexanik nuqtai nazardan deformatsiyalanadi.

Shunday qilib, rezonansga sozlangan p'ezoelektr plastinkalardan ultratovush to'lqinlarini o'yg'otish, tebranishlar generatorlarining chastotalarini stabillashtirishda va boshqalarda qo'llaniladi. P'ezoelektr effekt elektr maydonga chiziqli bog'langan bo'lib, maydon yo'nalishi o'zgarganda ishorasini o'zgartiradi.

Agar o'tkazgichga biror  $q$  zaryad berilsa, u o'tkazgich sirti bo'yicha shunday taqsimlanadiki, o'tkazgichdagi maydonning kuchlanganligi nolga teng bo'ladi. Agar  $q$  zaryadga ega bo'lgan o'tkazgichga kattaligi xuddi shunday zaryad berilsa, bu zaryad ham oldingi zaryad kabi taqsimlanishi kerak, aks holda bu o'tkazgichda nolga teng bo'lmagan maydon hosil qiladi.

O'tkazgichdagi zaryadning ko'payishi atrofdagi jismlar zaryadlarining qayta taqsimlanishiga olib kelmagan holdagina yuqorida aytib o'tilgan shart bajarilishini aytib o'tish zarur. Boshqa jismlardan uzoq masofada joylashgan o'tkazgichda kattaliklari har xil bo'lgan zaryadlar yuqoridagiga o'xshash taqsimlanadi, ya'ni jismning istalgan ikkita nuqtasi uchun olingan zaryad zichliklarining nisbati zaryadlarning kattaligi qanday bo'lishiga qaramay doimiy bo'ladi. Zaryad miqdorining bir necha marta orttirilishi o'tkazgich atrofidagi fazoning har bir nuqtasidagi maydon kuchlanganligini shuncha marta orttiradi. Demak, birlik zaryadni cheksizlikdan o'tkazgich sirtiga istalgan yo'l bo'yicha ko'chirishda bajarilgan ish, ya'ni potesial ham shuncha ortadi. Shunday qilib, yagonalangan o'tkazgich uchun quyidagini yozamiz:

$$q = C\varphi \quad (3.10)$$

Potesial va zaryad orasidagi proporsionallik koeffitsiyenti elektr sig'imi deyiladi.

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (3.11)$$

Elektr sig'imi son jihatdan shunday zaryadga tengki, bu zaryad o'tkazgichga berilsa, uning potesiali bir birlikka ortadi.

Radiusi  $R$  ga teng bo'lgan zaryadlangan sharning potesialini hisoblaymiz:

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_R^{\infty} \frac{q}{\epsilon r^2} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon R} \quad (3.12)$$

Radiusi  $R$  ga teng bo'lgan va dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon$  ga teng bo'lgan bir jinsli cheksiz dielektrikka botirilgan yakkalangan sharning elektr sigimi

$$C = \frac{q}{\phi} = 4\pi\epsilon_0 R \quad (3.13)$$

Sig'im birligi sifatida shunday o'tkazgichning sig'imi qabul qilinganki, unga  $1C$  zaryad berilganda potentsiali  $1V$  ga o'zgaradi. Sig'imning bunday birligi Farada ( $1F$ ) deyiladi.

Radiusi  $9 \cdot 10^9 m$  ga teng, ya'ni Yer radiusidan 1500 marta katta radiusli yakkalangan shar sig'imi bir faradaga teng.

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

$$1nF = 10^{-9} F$$

Yakkalangan o'tkazgichlarning sig'imi juda kichik bo'ladi. Hatto o'lchamlari Yerning o'lchamlariga teng sharning sig'imi ham bor yo'g'i  $700\mu F$  ga teng bo'ladi. Shu bilan bir qatorda amalda, atrofdagi jismlarga nisbatan kichik potentsialda sezilarli darajada ko'p zaryad yig'a oladigan qurilmalar kerak bo'ladi. Kondensatorlar deb ataluvchi bunday qurilmalarning tuzilishi asosida o'tkazgichga boshqa jismlar yaqinlashtirilganda sig'imi ortadi. Zaryadlangan o'tkazgich hosil qilgan maydon o'tkazgichga yaqinlashtirilgan jisimga ta'sir qilganda bu jismda induksiyalangan zaryadlar hosil bo'ladi. O'tkazgich zaryadiga teskari ishorali zaryadlar mos ishorali zaryadlarga qaraganda unga yaqinroq joylashadi. Shuning uchun zaryadlangan o'tkazgichga biror jism yaqinlashtirilsa, o'tkazgichning potentsiali absolyut qiymati jihatdan kamayadi, bunda o'tkazgich sig'imi ortadi.

Kondensatorlar bir-biriga yaqin joylashgan ikkita o'tkazgich sifatida yasaladi. Kondensatorni tashkil etuvchi o'tkazgichlar kondensatorning qoplamalari deyiladi. Tashqi jismlar kondensatorning sig'imiga ta'sir qilmasligi uchun qoplamalarning shakli va bir-biriga nisbatan joylashishini ulardagi zaryadlar hosil qilgan maydon butunlay kondensator ichida joylashadigan qilib tanlanadi. Bularni mos ravishda yassi, silindrsimon va sferik kondensatorlar deyish mumkin. Maydon kondensatorning ichida bo'lgani uchun, elektr siljish chiziqlari bir qoplamadan boshlanib, ikkinchida tamomlanadi. Demak, turli qoplamalarda vujudga kelayotgan erkin zaryadlar kattalik jihatidan bir xil bo'lib, ishoralari har xil bo'ladi. Kondensator sig'imi deganda,

zaryadga tug'ri proporsional va qoplamalar orasidagi potentsiallar farqiga teskari proporsional bo'lgan fizik kattalikdir

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (3.14)$$

Sig'imning kattaligi kondensatorning geometrik o'lchamlariga hamda qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligiga bog'liq. Agar qoplamaning yuzi  $S$  bolgan yassi kondensatorning qoplamalari orasidagi elektr maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S}$$

Qoplamalar orasidagi potentsiallar farqi quyidagiga teng:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}$$

bundan yassi kondensator sig'imi uchun quyidagi formula kelib chiqadi:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (3.15)$$

bu yerda  $S$  – qoplamalar yuzi,  $d$  – qoplamalar orasidagi masofa,  $\varepsilon$  – qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

Koaksial silindrik kondensatorning elektr sig'imini hisoblaymiz. Uzunligi  $l$  ga teng bo'lgan silindrning elektr maydon kuchlanganligi

$$E(r) = \frac{1}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{\tau}{r}$$

ga teng. Bu yerda  $\tau$  – zaryadning uzunlik birligidagi zichligi.

Qoplamalar orasidagi potentsiallar farqini integrallab topamiz:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{R_1}^{R_2} E(r) dr = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{r} dr = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

bu yerda  $R_1$  va  $R_2$  lar silindrning ichki va tashqi radiuslari.

Agar  $q$  ni  $\varphi_1 - \varphi_2$  ning topilgan qiymatiga bo'lsak, koaksial silindrik kondensatorning sig'imi uchun quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (3.16)$$

Sferik kondensator qoplamalari orasidagi maydon kuchlanganligi

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

ga teng. Potentsiallar farqini topamiz:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{R_1}^{R_2} E(r) dr = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{r^2} dr = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}$$

bu yerda  $R_1$  va  $R_2$  lar ichki va tashqi qoplamalarning radiuslari. Bu yerdan sig‘im uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (3.17)$$

Bir qancha kondensatorlarga ega bo‘lgan holda, ularni batareya qilib ulash yordamida sig‘im va ish kuchlanishining mumkin bo‘lgan qiymatlarini birmuncha kengaytirish mumkin.

Parallel ulaganda kondensatorning qoplamalaridan biri  $\varphi_1$ , ikkinchisi esa  $\varphi_2$  potensialga ega bo‘ladi. Shunday qilib, qoplamalarning ikki tizimidan har birida

$$q = \sum q_k = \sum C_k (\varphi_1 - \varphi_2) = (\varphi_1 - \varphi_2) \sum C_k$$

ga teng bo‘lgan yig‘indi zaryad to‘planadi.

Agar yig‘indi zaryadni batareyaga batareyaga ulangan kuchlanishga taqsimlasak, batareyaning umumiy sig‘imini topamiz:

$$C = \sum C_k \quad (3.18)$$

Shunday qilib, kondensatorlar parallel ulaganda ularning sig‘imlari qo‘shiladi.

Kondensatorlar ketma-ket ulaganda birinchi kondensatorning ikkinchi qopkamasi ikkinchi kondensatorning birinchi qoplamasi yagona o‘tkazgichni tashkil qilib, batareyaga kuchlanish berilganda bu o‘tkazgichda birinchi kondensatorning birinchi qoplamasi va  $n$ -kondensatorning ikkinchi qoplamasidagi zaryadlarga teng induksiyalangan zaryad hosil bo‘ladi. Xuddi shunday qoida ikkinchi kondensatorning ikkinchi qoplamasida va uchinchi kondensatorning birinchi qoplamasi va hokozalar uchun ham bajariladi. Demak, ketma-ket ulangan hamma kondensatorlar uchun qoplamalardagi zaryad miqdori bir xil bo‘lar ekan. Shuning uchun har bir kondensatordagi kuchlanish quyidagiga teng:

$$U_k = \frac{q}{C_k} \quad (3.19)$$

Bu kuchlanishlarning yig‘indisi batareyaga qo‘yilgan potentsiallar ayirmasiga teng:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \sum U_k = \sum \frac{q}{C_k} = q \sum \frac{1}{C_k}$$

bu yerdan quyidagini topamiz:

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_k} \quad (3.20)$$

Kondensatorlar ketma-ket ulanganda ularning sig'implariga teskari kattaliklar qo'shiladi.

Zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'sir kuchlari konservativ kuchlardir. Demak, zaryadlangan jismlar tizimi potensial energiyaga ega. Cheksizlikdan  $q_1$  zaryadni  $q_2$  dan  $r_{12}$  masofada bo'lgan nuqtaga ko'chirishda bajarilgan ish quyidagiga teng:

$$A_1 = q_1\varphi_1 = q_1 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_{12}} \quad (3.21)$$

bu yerda  $\varphi_1 - q_2$  zaryad  $q_1$  zaryad joylashgan nuqtada paydo qilgan potensialdir.

Xuddi shunday,  $q_2$  zaryadni cheksizlikdan  $q_1$  dan  $r_{12}$  masofadagi nuqtada ko'chirishda bajarilgan ish quyidagiga teng:

$$A_2 = q_2\varphi_2 = q_2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_{12}} \quad (3.22)$$

bu yerda  $\varphi_2 - q_1$  zaryadning  $q_2$  zaryad joylashgan nuqtada paydo qilgan potensialdir.

Yuqoridagi (3.21) va (3.22) ishlarning qiymatlari bir xil va ikkalasi ham tizimning energiyasini ko'rsatadi:

$$W = q_1\varphi_1 = q_2\varphi_2$$

Tizimning energoyasi ifodasiga ikkala zaryad ham simmetrik ravishda kirishi uchun uni quyidagicha yozamiz:

$$W = \frac{1}{2}(q_1\varphi_1 + q_2\varphi_2) \quad (3.23)$$

Zaryadlar tizimiga ketma-ket  $q_1, q_2$  va boshqa zaryadlarni qo'shsak, zaryadlar  $n$  ta bo'lganda tizimning potensial energiyasi

$$W = \frac{1}{2} \sum q_i\varphi_i \quad (3.24)$$

bo'ladi, bu yerda  $\varphi_i - i$ - zaryaddan tashqari qolgan zaryadlar  $q_i$  zaryad joylashgan nuqtada paydo qilgan potensialdir.

O'tkazgichdagi zaryadning miqdori ko'payishi bilan uning potentsiali orta borgani uchun, zaryadning navbatdagi ko'chirishda ko'proq ish bajarilishi talab qilinadi:

$$\Delta A = \varphi\Delta q = \frac{q}{C}\Delta q \quad (3.25)$$



(3.25) formulada bajarilgan ish o'tkazgichning energiyasini orttiradi. Shu sababli differensiallash orqali quyidagini topamiz:

$$W = \int \frac{1}{C} q dq = \frac{q^2}{2C} + const$$

Zaryadlanmagan o'tkazgichning energiyasini nol deb olishimiz mumkin. U holda *const* ham nolga teng bo'ladi. O'tkazgichning sig'imi, zaryadi va potentsiali orasidagi munosabat quyidagicha bo'ladi:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{C\varphi^2}{2} \quad (3.26)$$

Kondensator energiyasini qoplamalar orasidagi bo'shliqdagi elektr maydonini tavsiflovchi kattaliklar orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

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

$\frac{U}{d} = E$  va  $Sd = V$  ekanligini hisobga olsak,

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V \quad (3.27)$$

kelib chiqadi.

Agar maydon bir jinsli bo'lsa, bu maydonning energiyasi fazoda doimiy  $\omega$  zichlikda taqsimlanib, bi zichlik maydon energiyasining maydon to'ldirib turgan hajmga bo'lgan nisbatiga teng. Demak, yassi kondensator maydoni energiyasining zichligi quyidagiga teng:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \quad (3.28)$$

Bu formula bir jinsli bo'lmagan maydon uchun ham to'g'ri keladi va (3.28) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$\omega = \frac{(\varepsilon\varepsilon_0 E) \cdot E}{2} = \frac{DE}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon\varepsilon_0} \quad (3.29)$$

bu yerda  $D = \varepsilon\varepsilon_0 E$  – elektr maydon induksiyasi.

Bir jinsli cheksiz dielektrikka joylashtirilgan  $R$  radiusli zaryadlangan sharning elektr maydon energiyasini hisoblaymiz. Bunda elektr maydon kuchlanganligi faqat  $r$  ning funksiyasi bo'ladi:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon r^2}$$

Sharni orab olgan fazoni qalinligi  $dr$  ga teng konsentrik sharsimon qatlamlarga bo'lamiz. Qatlamning hajmi  $dV = 4\pi r^2 dr$  ga teng. Shu qatlamdagi energiya

$$dW = \omega dV = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} \left( \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon r^2} \right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{1}{2} \frac{q^2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{dr}{r^2}$$

ga teng bo'ladi.

Elektr maydon energiyasi esa

$$W = \int dW = \frac{1}{2} \frac{q^2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R} = \frac{q^2}{2C}$$

bo'ladi. Bu yerda  $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R$  – sharning elektr sig'imi.

#### 4-§. Elektr toki

Agar o'tkazgichda elektr maydon hosil qilinsa, u holda zaryad tashuvchilarning tartibli harakati, ya'ni musbat zaryadlarning maydon yo'nalishi bo'yicha, manfiy zaryadlarning esa maydonga qarama-qarshi yo'nalgan harakati yuzaga keladi. Zaryadlangan zarralarning tartibli harakati elektr toki deyiladi. O'tkazgichning ko'ndalang kesimidan vaqt birligida zaryad tashuvchilar olib o'tgan zaryadga miqdor jihatdan teng bo'lgan skalyar kattalik tok kuchi deyiladi. Agar o'tkazgich ko'ndalang kesimidan  $dt$  vaqt ichida  $dq$  zaryad miqdori oqib o'tsa tok kuchi

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (4.1)$$

ga teng bo'ladi.

Elektr toki musbat zaryad tashuvchilarning harakatidan ham, manfiy zaryad tashuvchilarning harakatidan ham hosil bo'lishi mumkin. Manfiy zaryadning ma'lum bir yo'nalishda ko'chishi miqdor jihatdan shunday bo'lgan musbat zaryadning qarama-qarshi yo'nalishda ko'chishiga ekvivalentdir. Agar o'tkazgichda ishorali zaryad tashuvchilar harakatlanayotgan bo'lib, berilgan yuzadan  $dt$  vaqtda musbat zaryad tashuvchilar biror yo'nalishda  $dq^+$  zaryadni, manfiy zaryad tashuvchilar esa qarama-qarshi yo'nalishda  $dq^-$  zaryadni tashib o'tsa, u holda o'tkazgichdan o'tayotgan tok

$$I = \frac{dq^+}{dt} = \frac{dq^-}{dt}$$

ga teng bo'ladi.

Musbat zaryad tashuvchilarning yo'nalishi tokning yo'nalishi deb qabul qilingan.

Zaryad tashuvchilar molekulyar issiqlik harakatida qatnashadi, maydon bo'lmaganda ham ma'lum tezlik bilan harakatlanadi. Ammo bu

holda o'tkazgichda ixtiyoriy yuzadan ikki tomonga o'tuvchi istalgan ishorali zaryadlarning o'rtacha miqdori bir xil bo'ladi va tok kuchi nolga teng bo'ladi. Maydon ulanganda zaryad tashuvchilarning  $\vec{g}$  xaotik harakat tezligiga  $\vec{u}$  tartibli harakat tezligi qo'shiladi. Shunday qilib, zaryad tashuvchilarning tezligi  $\vec{g} + \vec{u}$  ga teng bo'ladi.

Elektr toki o'zi oqayotgan sirt bo'yicha tekis taqsimlanmagan bo'lishi mumkin. Elektr tokini tok zichligining vektori  $\vec{j}$  orqali to'liqroq tavsiflash mumkin. Bu vektor miqdor jihatdan berilgan nuqtada zaryad tashuvchilarning yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan  $dS_{\perp}$  yuzadan o'tuvchi tok kuchi  $dI$  ni shu yuza kattaligiga nisbatiga teng:

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}} \quad (4.2)$$

Musbat zaryad tashuvchilarning tartibli harakat tezlik vektori  $\vec{u}^+$  ning yo'nalishi  $\vec{j}$  vektorning yo'nalishi deb qabul qilingan.

Tok zichligi vektorining maydonini oquvchi suyuqlikning tok chiziqlari,  $\vec{E}$  vektorning chiziqlarini tok chiziqlari bilan tavsiflash mumkin.

O'tkazgichning har bir nuqtasidagi tok zichligini bilgan holda, istalgan yuzadan o'tuvchi tok kuchini topish mumkin:

$$I = \int_s j dS \quad (4.3)$$

Birlik hajmda  $n^+$  ta musbat va  $n^-$  ta manfiy zaryad tashuvchilar bo'lsin. Zaryad tashuvchilarning absolyut zaryad miqdori mos ravishda  $e^+$  va  $e^-$  ga teng.

Agar maydon ta'sirida zaryad tashuvchilar  $u^+$  va  $u^-$  tezliklarga ega bo'lsa, u holda birlik vaqt ichida yuza birligidan o'zi bilan  $e^+n^+u^+$  zaryadni olib o'tuvchi  $n^+u^+$  musbat zaryad tashuvchi o'tadi. Xuddi shunday manfiy zaryad tashuvchilar  $e^-n^-u^-$  zaryad olib o'tadi. Shunday qilib, tok zichligi uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$j = e^+n^+u^+ + e^-n^-u^- \quad (4.4)$$

Vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydigan tok o'zgarmas tok deyiladi. O'zgarmas tok kuchi  $I$  harfi bilan belgilanadi va quyidagicha yoziladi:

$$I = \frac{q}{t} \quad (4.5)$$

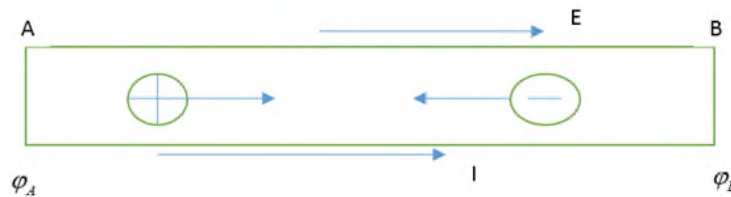
bu yerda  $q$  – qaralayotgan yuzadan  $t$  vaqtda oqib o'tgan zaryad.

XB tizimida tok kuchining birligi Amper (A) hisoblanadi.

$$1A = 1 \frac{C}{s}.$$

Agar o'tkazgichda elektr maydon hosil qilinib, ammo uni saqlab qolish chorasi ko'rilmasa o'tkazgich ichidagi maydon tezlik bilan yo'qolishiga va tokning to'xtashiga olib keladi. Tok uzoq vaqt davomida oqib turishi uchun tok orqali oqib keluvchi zaryadlarni o'tkazgichning kichik potensialga ega bo'lgan nuqtasidan uzluksiz olib ketish va katta potentsialli nuqtasiga uzluksiz keltirib turish zarur.

Biror o'tkazgich olib, bu o'tkazgichning ikki uchida turli ishorali ortiqcha musbat va manfiy zaryadlar bilan ta'minlanganligini nazarda tutib, bu o'tkazgich bo'ylab o'tkazgichning uchlarida hosil bo'lgan  $\varphi_1 - \varphi_2$  potentsiallar ayirmasi uning ichida potensial tushishi tomonga yo'nalgan elektr maydoni hosil bo'lishini tekshiramiz. Bu maydon kuchlari ta'sirida musbat zaryadlar  $A$  dan  $B$  ga qarab, manfiy zaryadlar esa  $B$  dan  $A$  ga qarab tartibli harakatga keladi va natijada o'tkazgich bo'ylab elektr toki oqib o'tadi (4.1-rasm). Ammo bu holat uzoq vaqt davom etmaydi, chunki zaryad tashuvchilarning harakati o'tkazgich ichidagi maydonni tezlik bilan yo'qolishiga va tokning to'xtashiga olib keladi.



**4.1-rasm**

O'tkazgichda uzluksiz ravishda elektr toki mavjud bo'lishi uchun maxsus qurilma bo'lishi va uning ichida hamma vaqt turli ismli zaryadlar ajralib turishi hamda musbat zaryadlar  $A$  uchiga, manfiy zaryadlar esa  $B$  uchiga ko'chib turish zarur. Bunday qurilma tok manbai deyiladi. Tok manbaida zaryadlarni ajratuvchi kuchlar elektrostatik tavsifga ega bo'lmasligi kerak, chunki elektr kuchlar turli ismli zaryadlarni ajratmaydi, balki faqat birlashtirishi mumkin. Shuning uchun tok manbaida zaryadlarni ajratuvchi kuchlar tashqi kuchlar deyiladi. Tok manbalarida zaryadlarni ajratish jarayonida mexanik, kimyoviy, ichki va boshqa turdagi energiyalar elektr energiyasiga aylanadi. Ammo tok manbai ichida zaryadlarning ajralishiga, birinchidan, musbat qutbdan manfiy qutbga yo'nalgan ichki elektr maydoni va ikkinchidan, tok manbai ichida ionlarni harakatiga elektrolitning qarshiligi to'sqinlik

qiladi. Shu tariqa tashqi elektr ajratuvchi kuchining bajargan ishi tok manbai ichidagi elektr maydoni kuchlariga qarshi bajariladi.

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \quad (4.6)$$

kattalik tok manbaining elektr yurituvchi kuchi deyiladi. U quyidagicha ta'riflanadi: *tok manbaining elektr yurituvchi kuchi (EYuK) tashqi kuchlar ta'sirida birlik musbat zaryadni manbani o'z ichiga olgan berk zanjir bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish bilan tavsiflanadi.*

XB tizimida EYuK birligi qilib volt (V) qabul qilingan: 1V - shunday tok manbaining EYuK ki, u manbani o'z ichiga olgan berk zanjir bo'ylab 1C zaryadni ko'chirishda 1J ish bajariladi. Ochiq zanjirdagi tok manbaining EYuK manbaining qutblaridagi potentsiallar farqiga teng:

$$\varepsilon = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (4.7)$$

Tashqi elektr zanjiri bilan tutashtirilgan tok manbai qutblaridagi potentsiallar ayirmasi tok manbaining kuchlanishi deyiladi.

Yopiq zanjir uchun kulon kuchlari ta'sirida birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish shu ikki nuqta orasidagi potentsiallar farqiga teng:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (4.8)$$

Kuchlanish ham, xuddi EYuK kabi volt (1 V)dao'lchanadi.

Berk zanjir uchun *Om* qonunining ifodasi quyidagi ko'rinishga yoziladi:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (4.9)$$

bu yerda  $R$ – tashqi qarshilik,  $r$ – ichli qarshilik.

(4.9) tenglik berk zanjir uchun *Om* qonunining matematik ifodasi bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi: *Berk zanjirdan o'tayotgan tokning kuchi manbaining elektr yurituvchi kuchiga to'g'ri proporsional va zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsionaldir.*

O'tkazgichning qarshiligi  $R = \rho \frac{dl}{dS}$  ni hisoblaganda elementar uzunlik  $dl$  va elementar yuza  $dS$  ni kiritaylik. U holda o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishni  $U = Edl$  deb, undan o'tayotgan tok kuchini esa  $I = jdS$  ga teng deb olamiz. Bularni zanjirning bir jinsli qismi uchun *Om* qonuni (4.9) ifodasiga qo'ysak:

$$jdS = \frac{Edl}{\rho \frac{dl}{dS}} = \frac{dS}{\rho dl} Edl$$

yoki

$$j = \frac{1}{\rho} E \quad (4.10)$$

hosil bo'ladi. Bu yerdagi  $\sigma = \frac{1}{\rho}$  teng ekanligini hisobga olsak (4.10) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$j = \sigma E \quad (4.11)$$

Bu ifoda zanjirning bir jinsli qismi uchun Om qonunining differensial ko'rinishidir.

Tajribalardan ma'lumki, o'tkazgichdan tok o'tganda o'tkazgich qiziydi. Uning qizishga sabab shuki, o'tkazgich bo'ylab harakatlanayotgan elektronlarning kinetik energiyasi elektronni o'tkazgich kristall panjarasining ioni bilan har bir to'qnashishida issiqlikka aylanadi. Joule va Lens mustaqil ravishda o'z tajribalarida o'tkazgichdan tok o'tishi natijasida undan ajralib chiqqan issiqlik miqdori o'tkazgichning qarshiligiga, tok kuchining kvadratiga va tokning o'tib turish vaqtiga proporsional ekanligini topdilar:

$$dQ = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (4.12)$$

Bu munosabat Joule-Lens qonunini ifodalaydi. (4.12) ifoda o'z navbatida o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan  $dt$  vaqt ichida  $I dt$  zaryadni ko'chirishda tokning bajargan ishiga teng bo'ladi:

$$dA = dQ = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (4.13)$$

Elektr tokining quvvati esa quyidagi:

$$N = \frac{dA}{dt} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (4.14)$$

ifodaga teng bo'ladi. (4.12) ifodani quyidagicha yozamiz:

$$dQ = RI^2 dt = \frac{\rho}{dS} (j dS)^2 dt = \rho j^2 dl dS dt \quad (4.15)$$

Agar  $dl \cdot dS = dV$  o'tkazgichning issiqlik ajralayotgan hajmikanligini hisobga olsak,

$$dQ = \rho j^2 dV \cdot dt \quad (4.16)$$

(4.16) ni  $dV \cdot dt$  ga bo'lsak, o'tkazgichning birlik hajmdan birlik vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdorini tavsiflovchi kattalikni topamiz. Bu kattalik tok issiqlik quvvatining zichligi deb ataladi.

$$w = \frac{dQ}{dV dt} = \rho j^2 \quad (4.17)$$

(4.10) va (4.11) ifodalardan foydalanib (4.17) ni quyidagicha yozamiz:

$$w = jE = \sigma E^2 \quad (4.18)$$

Bu ifoda Joul–Lens qonunining differensial ko‘rinishidir.

Yuqorida biz berk zanjirdan iborat tarmoqlanmagan, eng sodda elektr zanjirlarini ko‘rdik. Tarmoqlanmagan zanjirning barcha qismlarida tok kuchi bir xil bo‘ladi. Tarmoqlanmagan zanjirlarni (tok kuchi, EYuK ni va qarshiligini aniqlash) *Om* qonunlari yordamida osongina hisoblash mumkin.

Tarmoqlangan elektr zanjiri ancha murakkab bo‘ladi. Kirxgof qoidalari tarmoqlangan murakkab zanjir qismlarini hisoblashda qo‘llaniladi. Tarmoqlanmagan zanjir berk konturning alohida qismlarida tok kuchlari kattalik va yo‘nalish jihatdan turlicha bo‘lishi mumkin.

Elektr zanjirining kamida uchta o‘tkazgich tutashgan nuqtasi tugun deyiladi. Tugunga kelayotgan toklarni musbat ishora bilan, tugundan ketayotgan toklarni esa manfiy ishora bilan olinadi. Kirxgofning birinchi qoidasiga asosan, *tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig‘indisi nolga teng*,

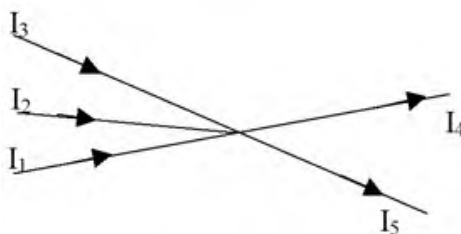
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (4.19)$$

ya’ni 4.2-rasmdagi elektr tugun uchun:

$$\sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad (4.20)$$

yoki

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



**4.2-rasm.**

Kirxgofning ikkinchi qoidasi tarmoqlanmagan zanjirning berk konturiga tegishli. Biror murakkab tarmoqlanmagan elektr zanjiridan ixtiyoriy ABCDA berk konturni ajratib olaylik (4.3-rasm). Bu kontur ixtiyoriy yo‘nalishda aylanganda qo‘shni tugunlar orasidagi zanjir qismlari uchun *Om* qonunini qo‘llaymiz. Bunda quyidagi shartlarga rioya qilish kerak:

1) zanjirning har bir qismidagi qarshilik (*R*) deganda shu qismdagi barcha tashqi va ichki qarshiliklar yig‘indisi tushuniladi;

2)zanjirning ayrim qismlaridagi tokning yo‘nalishi konturni aylanish yo‘nalishi bilan mos tushsa, bunday tokni musbat, aks holda manfiy deb hisoblanadi;

3)zanjirdagi tok manbalarining manfiy qutbidan musbat qutbi tomon yurish konturni aylanish yo‘nalishi bilan mos tushsa, manbaning EYuK musbat ishora bilan aks holda manfiy ishora bilan olinadi.

Shunday qilib, yuqoridagilarni hisobga olib ABCDA kontur uchun quyidagilarni yozaylik:

$$AB \text{ qism uchun, } I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \varepsilon_1$$

$$BC \text{ qism uchun, } I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C + \varepsilon_2 - \varepsilon_3$$

$$CD \text{ qism uchun, } -I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_D$$

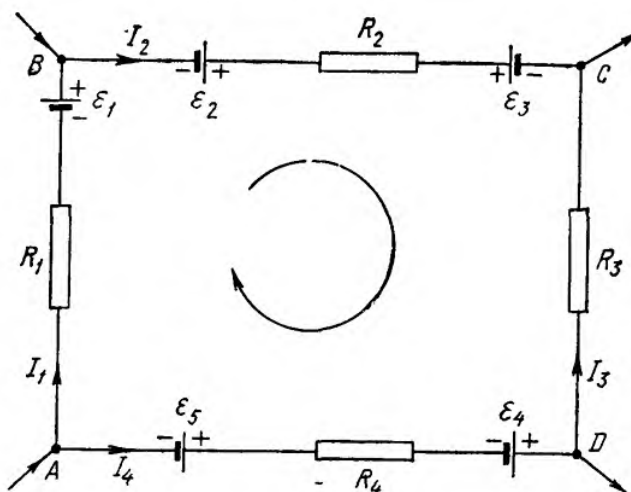
$$DA \text{ qism uchun, } -I_4 R_4 = \varphi_D - \varphi_A - \varepsilon_4 - \varepsilon_5$$

Bu tengliklarni hadlab qo‘shsak:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_4 - \varepsilon_5 \quad (4.21)$$

yoki  $I$  va  $\varepsilon$  lar algebraik kattaliklar ekanligini hisobga olib, (4.21)ni quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_i \varepsilon_i \quad (4.22)$$



4.3-rasm.

(4.22) munosabat Kirxgof ikkinchi qoidasining matematik ifodasidir, u quyidagicha ta’riflanadi: *tarmoqlanmagan elektr zanjirning berk konturida tok kuchlarining bu konturning tegishli qismlari qarshiliklariga ko‘paymalarining algebraik yig‘indisi ushbu konturdagi barcha EYuK larning algebraik yig‘indisiga teng.*

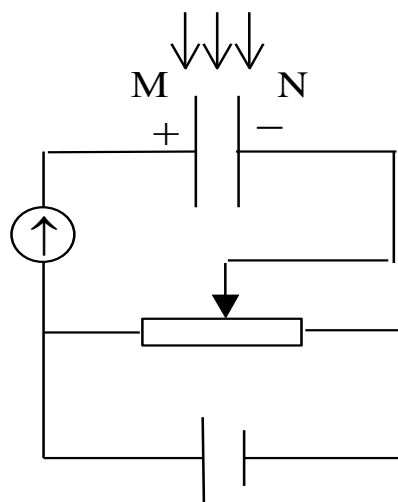
Kirxgofning ikkinchi qoidasini o‘zgaruvchan tok zanjiriga ham tadbiiq qilish mumkin.



Elektr tokning gazlar orqali o'tishiga gaz razryadi deyiladi. Metallar va elektrolitlar tok tashuvchilar har doim mavjuddir, ularga berilgan elektr maydoni mavjud zaryadlarni faqat tartibga soladi. Gazlar esa normal holda izolyator hisoblanadi, ularda tok tashuvchilar bo'lmaydi. Gazlar orqali elektr tokning o'tishini tekshirish uchun 4.4-rasmda tasvirlangan elektr zanjirining chizilmasini tuzaylik. Zanjir orqali elektr tok oqimini ta'minlamoqchi bo'lsak,  $M$  va  $N$  elektrodlar oralig'iga zaryad tashuvchilar vujudga keltirish kerak. Gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirishning ikki usulidan foydalanamiz:

a) gazlarda zaryad tashuvchilar tashqi ta'sirlar natijasida hosil qilinsa, bunday holda kuzatiladigan elektr tokni *nomustaqil gaz razryadi* deyiladi;

b) agar zaryad tashuvchilar elektr maydon ta'sirida vujudga kelsa, shu hodisa tufayli kuzatiladigan elektr tokni *mustaqil gaz razryadi* deyiladi.



**4.4-rasm.**

*Nomustaqil gaz razryadi* gazlarni yuqori haroratgacha qizdirish bilan, ultrabinafsha yoki rentgen nurlari ta'siri bilan, shuningdek,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  nurlanishining ta'siri ostida yuzaga kelishi mumkin. Bu hol  $M$  va  $N$  elektrodlar orasidagi gaz molekulalarining ionlashuviga olib keladi. Ionlashishda gaz molekulasidan, odatda, bitta elektron uzib chiqariladi, buning natijasida molekula *musbat ion* bo'lib qoladi. Uzilib chiqqan elektron juda oz muddat erkin qolishi mumkin, yoki darhol gazning neytral molekulalaridan biriga birlashadi va bu molekulani *manfiy ionga aylantiradi*. Gazdagi ionlashish jarayoni sababchisi bo'lgan tashqi dalillar ionizator deb ataladi. Shunday qilib, ionlashgan gazda musbat ionlar ham, manfiy ionlar ham, erkin elektronlar ham bo'ladi. Gazda

ionlanish bilan birga ionlarning rekombinatsiyalanish o‘zaro qo‘shilishi jarayoni ham boradi.

Tashqi elektr maydoni bo‘lganida ionlashgan gazda turli ismli ionlarning qarama-qarshi yo‘nalishdagi harakati va elektronlarning harakati tufayli tok vujudga keladi.

Ionizator ta’siri to‘xtaganda gaz ionlarining konsentratsiyasi darhol nolgacha kamayadi va tok to‘xtaydi.

*Mustaqil gaz razryadi* vaqtida o‘z-o‘zidan ionlashish jarayonlari tashqi ionizator ta’sir qilmasdan, balki kuchli elektr maydonlar ta’sirida zaryad tashuvchilar vujudga kelishi tufayli sodir bo‘ladi. Elektrodlar zaryad tashuvchilarning hosil bo‘lishini ta’minlovchi quyidagi asosiy jarayonlar bilan tanishib o‘taylik.

1). Zarbdan ionlanish. Tabiiy sharoitlarda gazda hamma vaqt ham oz miqdorda erkin elektronlar va ionlar bo‘ladi, ular kosmik nurlar va atmosferada, tuproqda, suvda bo‘ladigan radiaktiv moddalarni nurlanishi ta’sirida hosil bo‘lishi mumkin.  $10^3 \div 10^5 V/m$  elektr maydonlarida bu zarrachalarni shunday tezliklargacha tezlatish mumkinki, ularning kinetik energiyasi ionlanish ishidan katta bo‘lib ketadi va ular neytral molekulalar bilan to‘qnashib, bu molekulalarni ionlashtiradi. Hosil bo‘lgan elektron va ionlar ham maydon ta’sirida tezlashib o‘z navbatida ular ham yangi neytral molekulalarni ionlantiradi va hakozi. Shu tariqa gazda ionlanish nihoyatda katta qiymatlarga erishadi. Gazning bunday o‘z-o‘zidan ionlanishi *zarbdan ionlanish deyiladi.*

2). Ikkilamchi elektron emissiya. Maydon ta’sirida tezlashtirilgan musbat ionlar metall katodga urilib, *katoddan elektronlarni urib chiqaradi*, bu elektronlar o‘z navbatida maydon tomonidan tezlashtirilib, neytral molekulalarni ionlashtiradi. Bu hodisa ikkilamchi elektron emissiya deyiladi.

3). Avtoelektron emissiya. Bu hodisa nihoyatda kuchli elektr maydonlarda ( $E \sim 10^8 V/m$ ) sodir bo‘ladi. Bunda nihoyatda kuchli elektr maydon metallardan elektronlarni yulib oladi, deyish mumkin.

4). Fotoionlanish. Gaz molekulalari zarbdan ionlanish natijasida vujudga kelgan ion uyg‘ongan holatda bo‘lishi mumkin. Bu ion uyg‘ongan holatdan o‘zining dastlabki holatiga o‘tganda qisqa to‘lqinli nur chiqariladi. Bunday nur energiyasi molekulalarning ionlanishiga yetarli bo‘lib qolganda fotoionlanish hodisasi ro‘y beradi.

5). Termoelektron emissiya. Katodni yetarli darajada qizdirilishi natijasida undan elektronlarni uchib chiqishi tufayli elektronlar to'plami vujudga keladi.

Endi mustaqil gaz razryadining ba'zi turlari bilan tanishaylik.

1.Toj razryad. Bir jinsli bo'lmagan, ya'ni notekis elektr maydonlarida bo'lgan normal bosimli gazda elektrodlar o'tkir qismlarining yaqinida *toj razryad* kuzatiladi. Toj razryad gaz molekulalarning kuchli elektr maydonida katta tezliklargacha tezlatilgan elektronlari va ionlarining zarbdan ionlanishi tufayli yuzaga keladi, bunday kuchli elektr maydonlar elektrodning o'tkir uchli qismlarida vujudga kelishi ma'lum.

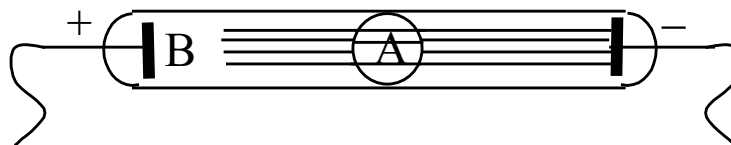
Toj razryad, masalan, yuqori kuchlanishli simlar yaqinida, mactalar uchlarida va boshqa o'tkir uchli simlar yaqinida hosil bo'ladi. Yashin qaytargichning ishlashi toj razryadga asoslangan. Atmosferada momaqaldiroq bo'lgan vaqtda hosil bo'ladigan kuchli elektr maydoni yashin qaytargichning uchida toj razryadi vujudga keltiradi va binolarni yashin zarbidan muhofaza qiladi.

2.Uchqunli razryad. Induksion g'altak chulg'aming ikki uchi orasidagi kuchlanish nihoyatda katta ( $3 \cdot 10^6$  V/m) bo'lganda gazning turtki kabi zarbdan ionlanishi natijasida qisqa vaqtli razryad – yashindir. Yashin bulutlar orasida yoki bulut bilan Yer oralig'ida katta potentsiallar farqi vujudga kelishi natijasida paydo bo'ladi. Uchqun razryad yaqinidagi gaz yuqori ( $10^4$  °C) haroratlargacha qiziydi va keskin kengayadi. Yashinning uzunligi 50 kilometrgacha, tok kuchi 20 000 A gacha yetadi, yashin  $10^{-6}$  sekund davom etadi, shuning uchun uning tovushi, ya'ni momaqaldiroq juda kuchli bo'ladi.

3.Yoy razryad. Yoy razryad bir-biriga yaqin joylashgan ikki elektrod (ko'mir yoki metall) orasida 40 V yaqin kuchlanishda vujudga keladi. Atmosfera bosimida uning harorati 2500 - 4000 °C bo'ladi. Yoy razryad vaqtida tok kuchi ~3000 A dan katta bo'lishi mumkin. Yoy razryad cho'g'langan katodning termoelektron emissiyasidan yuzaga keladi. Yoy razryad 1802 yilda V.V.Petrov tomonidan kashf qilingan. Yoy razryaddan metallarni payvandlashda, maxsus po'latlarni eritish (yoy nechi), yoritishda (yoy proyektor) va boshqa sohalarda qo'llaniladi.

4.Yolqin razryad. Yolqin razryad gaz bosimi 0,1mm simob ustuniga, elektrodlanga berilgan kuchlanish bir necha yuz voltga teng bo'lganda kuzatiladi. Yolqin razryad gaz-razryad nayining elektrodleri orasida deyarli butun fazoni to'ldiruvchi sokin nurlanuvchi A ustun

(*musbat ustun*) ko‘rinishida bo‘ladi (4.5-rasm), faqat katod yaqinidagi kichik V sohagina nurlanmay qoladi (*katod qorong‘i fazasi*). Nurlanish qo‘zg‘algan molekulalarni vujudga keltiradi. Nurlanishning rangi gaz tabiatiga bog‘liq bo‘ladi, masalan, neon-qizil, argon-ko‘kish, geliy-sariq rangdagi nurlanishni beradi.



**4.5-rasm.**

Yolqin razryad musbat ionlarning katoddan urib chiqargan elektronlarining zarbidan ionlashuvi tufayli hosil bo‘ladi. Katod yaqinida bu elektronlar maydon ta‘sirida hali tezlashib ulgurmagan bo‘ladi. Yolqin razryadning xususiyatlaridan kunduzgi yorug‘lik lampalarida, ko‘rgazmalarni yoritish, bezash maqsadlarida foydalaniladi.

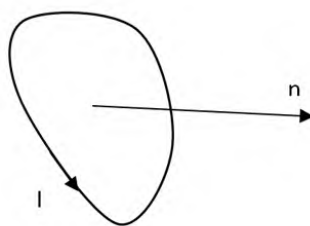
### **5-§. Magnit maydoni va moddaning magnit xossalari**

Toklarning o‘zaro ta‘siri magnit maydoni deb ataluvchi maydon orqali amalga oshadi. Bu nom 1920 yilda Ersted payqaganidek, tok hosil qilgan maydonning magnit strelkasiga ta‘siridan kelib chiqqan.

Shunday qilib, harakatlanayotgan zaryadlar o‘zlarini o‘rab olgan fazoning xususiyatini o‘zgartiradi, ya‘ni unda magnit maydon hosil qiladi. Bu maydon o‘zida harakatlanuvchi zaryadlarga kuch ta‘sir qilishida namoyon bo‘ladi.

Sinov konturi – kishik o‘lchamga ega bo‘lgan yassi yopiq konturdan oquvchi sinov toki qo‘llaniladi (5.1-rasm). Agar konturni normal yo‘nalishi bilan tashqi magnit maydon yo‘nalishi mos kelmaydigan qilib joylashtirsak, konturni muvozanat holatiga qaytaruvchi aylanma moment hosil bo‘ladi. Moment kattaligi  $\alpha = \pi/4$  bo‘lganda o‘zining maksimal  $M_{\max}$  qiymatiga erishadi.

Aylantiruvchi moment berilgan nuqtadagi maydon hamda konturning xususiyatiga bog‘liq. Bir nuqtaning o‘ziga har xil sinov konturlarini kiritib,  $M_{\max}$  ning kattaligi konturdagi tok kuchiga va konturning yuziga to‘g‘ri proporsional ekanligini aniqlash mumkin.



### 5.1-rasm.

Magnit maydonning tokli yassi konturga ta'siri konturning magnit momenti deb ataluvchi

$$p_m = IS \quad (5.1)$$

ifoda bilan aniqlanadi.

Kontur  $I$  tok kuchi va  $S$  yuzadan tashqari o'zining fazodagi vaziyati bilan tavsiflanadi. Shuning uchun momentning yo'nalishi musbat normal yo'nalishga mos keladigan vektor kattalik sifatida qaraladi:

$$\vec{p}_m = p_m \vec{n} \quad (5.2)$$

Maydonning berilgan nuqtasida  $p_m$  ning qiymatlari bilan bir-biridan farq qiladigan sinov konturlariga turli kattalikdagi  $M_{\max}$  aylantiruvchi momentlar ta'sir ko'rsatadi. Lekin  $M_{\max}/p_m$  nisbat barcha konturlar uchun bir xil bo'lib, bu kattalik magnit induksiyasi ( $B$ ) deb ataladi:

$$B \square \frac{M_{\max}}{p_m} \quad (5.3)$$

Magnit induksiyasi vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi sinov konturiga o'tkazilgan normalning yo'nalishi bilan aniqlanadi.

Magnit induksiya vektorining XB tizimidagi birligi Tesla ( $Tl$ ) deb ataladi.

$$1Tl = \frac{1N \cdot m}{1A \cdot m^2} = 1 \frac{N}{A \cdot m}$$

(5.3) ga binoan magnit maydonning induksiya vektorini quyidagicha ta'riflash mumkin:

*Magnit maydonning biror nuqtasidagi induksiya vektori deb, maydonning shu nuqtasiga kiritilgan, magnit momenti bir-birlikka teng bo'lgan "sinov konturi" ga ta'sir qiluvchi maksimal aylantiruvchi kuch momentiga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.*

Magnit maydonni grafik usulda tasvirlash uchun magnit induksiya chiziqlaridan foydalaniladi. Magnit induksiya chiziqlari deb shunday

egri chiziq'larga aytiladiki, uning har bir nuqtasida magnit induksiya vektori urinma ravishda yo'nalgan.

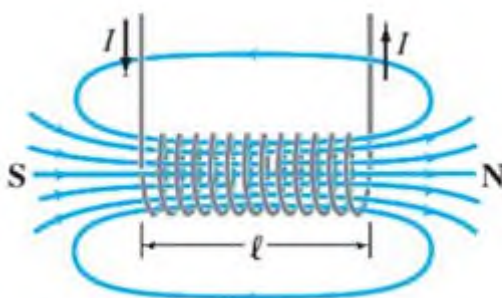
Magnit induksiya chiziqlarining zichligi, ya'ni magnit induksiya vektoriga perpendikulyar joylashgan bir-birlik yuza orqali o'tuvchi induksiya chiziqlarining soni, maydonning ushbu sohasidagi magnit induksiya vektorini miqdor jihatdan xarakterlaydi. Maktab fizika kursidan ma'lumki, yupqa qatlam qilib temir qipiq'lari sepilgan kardondan vertical o'tkazilgan to'g'ri tok atrofida vujudga kelgan magnit maydoni markazi vertical o'qda yotgan konsentrika ylanalardan iborat bo'ladi (5.2-rasm).



**5.2-rasm.**

Magnit induksiya chiziqlarining yo'nalishini aniqlashda parma qoidasidan foydalanamiz: *agar o'ng parmaning ilgari harakati tokning yo'nalishi bilan mos tushsa, parma dastasining aylanish yo'nalishi magnit induksiya chiziqlarining yo'nalishini ko'rsatadi.*

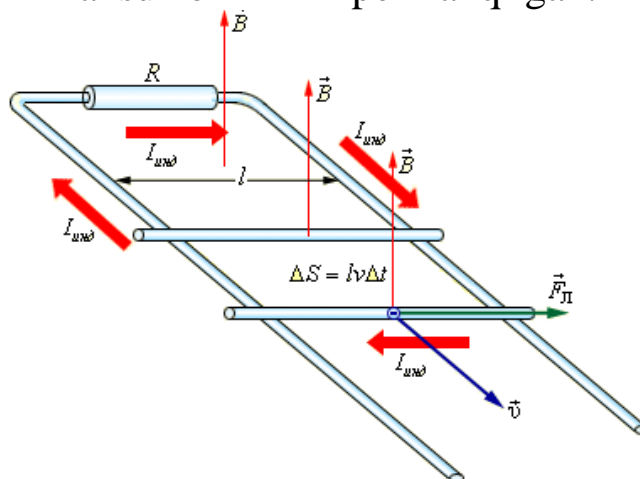
Endi 5.3-rasmida ko'rsatilgan g'altakdan o'tayotgan tokni umumiy o'qqa ega bo'lgan aylanma toklar sistemasi deb qarab, uning magnit maydonining grafik tasvirini ko'raylik. G'altakning ichki qismida magnit induksiya chiziqlari g'altak o'qiga parallel chiziq'lardan iborat bo'ladi.



**5.3-rasm.**

Shunday qilib, har qanday tokli o'tkazgichlarning shakllaridan qat'iy nazar bu o'tkazgichlar atrofida hosil bo'lgan magnet induksiya chiziqlari berk chiziqlardan iborat bo'ladi.

Magnet maydonidagi tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchlarni aniqlash masalasini fransuz olimi Amper hal qilgan.



5.4-rasm.

Magnet maydonning tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuchini quyidagi qurilma yordamida kuzatish mumkin (5.4-rasm).  $dl$  uzunlikdagi tokli o'tkazgichni bir jinsli magnet maydonida ( $B = const$ ) erkin ko'cha oladigan qilib o'rnataylik. Rasmda tasvirlanganidek ikkita metall sterjenlar ustiga ko'ndalang qilib joylashtirilgan  $dl$  o'tkazgichdan tok o'tkazaylik. Bu tokli o'tkazgichga chizma tekisligiga perpendikulyar ravishda yo'nalgan magnet maydonining ta'sir etuvchi Amper kuchining qiymati

$$dF_A = I[Bdl] \quad (5.4)$$

ifoda bilan, uning moduli esa

$$dF_A = I Bdl \sin \alpha \quad (5.5)$$

tenglama bilan aniqlanadi. Bunda  $\alpha$  -  $dl$  bilan  $\vec{B}$  vektor orasidagi burchak (5.4) va (5.5) munosabatlar Amper kuchini ifodalaydi. Bu kuchning yo'nalish  $dl$  elementning ko'chish yo'nalishi bilan mos tushganligi uchun bajarilgan ish

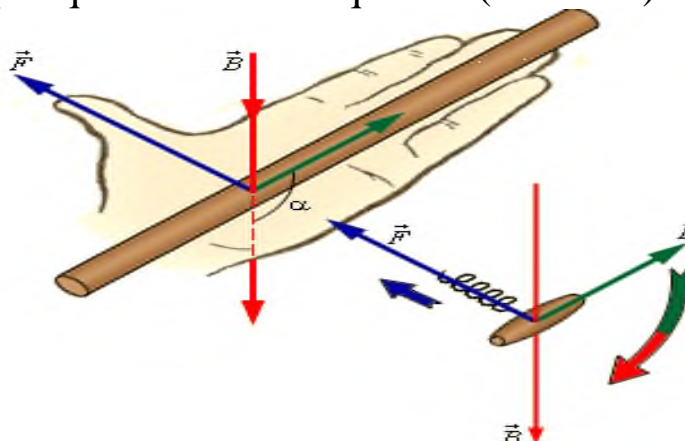
$$dA = dF_A b = I \cdot Bdl \cdot b \quad (5.6)$$

$dl \cdot b = dS$  deb olsak (5.6) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$dA = I \cdot BdS = I \cdot d\Phi \quad (5.7)$$

bunda  $d\Phi$  - kontur yuzi  $dS$  ni kesib o'tayotgan magnet oqimidir.

Amper kuchi  $d\vec{F}_A$  o'tkazgich va magnit maydon induksiya vektori  $\vec{B}$  yotgan tekislikka perendikulyar yo'nalgan bo'lib, uning yo'nalishni quyidagi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi (5.5-rasm).



5.5 - rasm. Chapqo'lqoidasi

Agar chap qo'lning ochiq kaftiga  $\vec{B}$  induksiya vektorining o'tkazgich uzunligi  $dl$  ga perendikulyar tashkil etuvchisi tushayotganda, to'rt barmoq tokning yo'nalishi bilan mos tushsa, bosh barmoq o'tkazgichga ta'sir qiluvchi  $dF_A$  Amper kuchining yo'nalishini ko'rsatadi. Magnit maydondagi tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch harakatlanuvchi alohida zaryadlarga ta'sir etuvchi kuchlar yig'indisidan iborat, bundan esa ta'sir zaryadlardan ular harakatlanayotgan o'tkazgichlarga berilishi mumkin degan fikrni Lorens berdi. Shuning uchun Amper qonunidan foydalanib magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadga ta'sir etuvchi kuchni topaylik. O'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi

$$I = jS = en\vartheta S \quad (5.8)$$

ekanidan, (5.8) ni har ikkala tomonini  $dl$  ga ko'paytiraylik, u holda quyidagini olamiz:

$$I dl = en\vartheta S dl = en\vartheta dV \quad (5.9)$$

bu yerda  $s$  - o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzi,  $n$  - o'tkazgichning birlik hajmidagi zaryad tashuvchilarning soni,  $\vartheta$  - zaryad tashuvchining tartibli harakat tezligi,  $e$  - elektron zaryadi,  $dV = S dl$  - o'tkazgich elementining hajmi. Agar  $n \cdot dV$  ni,  $dV$  hajmdagi zaryad tashuvchilarning sonini  $dn$  deb belgilasak (5.9) quyidagicha yoziladi:

$$I dl = e\vartheta dn \quad (5.10)$$

Bu ifodani Amper kuchi bilan solishtirib

$$dF = [\vartheta B] edn \quad (5.11)$$



ifodani hosil qilamiz.

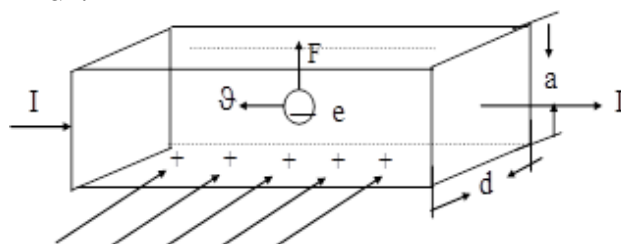
(5.11) ifoda  $dn$  dona harakatlanuvchi zaryad tashuvchiga magnit maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuchni xarakterlaydi. Bir dona zaryad tashuvchiga ta'sir etuvchi kuch Lorens kuchi deb ataladi:

$$F_l = \frac{dF}{dn} = e[\vartheta B] \quad (5.12)$$

Lorens kuchining yo'nalishi ham Amper kuchiga o'xshab, chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.

Xoll effekti. Xoll effektining mohiyati shundan iboratki, metall yoki yarim o'tkazgichdan yasalgan plastinka magnit maydoniga joylashtirilib undan tok o'tkazilsa, ( $\vec{B}$  va tok yo'nalishiga tik yo'nalishda) plastinkaning qarama-qarshi yoqlarida noldan farqli bo'lgan potentsiallar ayirmasi hosil bo'ladi.

Metall plastinka (eni  $d$ , qalinligi  $a$ ) magnit induksiya chiziqlariga ( $\vec{B}$ ) perpendikulyar joylashgan bo'lsa, Lorens kuchlari ta'sirida elektronni xarakat yo'nalishi o'zgaradi va natijada plastinkaning yuqori qirrasida ortiqcha manfiy zaryadlar, qarama-qarshi qirrasida ortiqcha musbat zaryadlar to'planadi (5.6-rasm). Shu sababli plastinkaning qarama-qarshi yoqlarida pastdan yuqoriga yo'nalgan ko'ndalang elektr maydoni hosil bo'ladi.



**5.6-rasm.**

*Elektr kuchlari Lorens kuchlariga teng bo'lganda plastinkaning qarama-qarshi yoqlarida hosil bo'lgan Xoll potentsiallar ayirmasi magnit induksiya kattaligiga ( $\vec{B}$ ), tok kuchi ( $I$ ) ga to'g'ri proporsional bo'lib, plastinkaning qalinligiga ( $a$ ) teskari proporsional bo'ladi.*

$$\Delta\phi = R \cdot \frac{IB}{a} \quad (5.13)$$

(5.13)- tenglikda  $R = 1/ne$  ( $n-1\text{sm}^3$  hajmdagi zaryadlar soni,  $e$ -elektron zaryadi) Xoll doimiysi bo'lib moddaning turiga bog'liq bo'ladi. O'lchangan Xoll doimiysining qiymatlariga ko'ra, o'tkazgichdagi elektronlar sonini va  $R$  ning ishorasiga qarab tekshirilayotgan o'tkazgichning qanday o'tkazuvchanlikka ega ekanligini aniqlash mumkin.

## 6-§. Bio-Savar-Laplas qonuni

Bio va Savar har xil shakldagi toklarning magnit maydonlarini o'rganar ekanlar, ular barcha hollarda magnit induksiyasi o'tkazgichdagi tok kuchi  $I$  ga to'g'ri proporsional, o'tkazgichdan magnit induksiyasi aniqlanadigan masofa  $r$  ning kvadratiga esa teskari proporsional ekanligini aniqladilar. Laplas, Bio va Savar tajribalarining natijalarini analiz qilib istalgan tokning magnit maydonini tokning alohida elementar bo'lakchalari hosil qilgan maydonlarning vektor yig'indisi sifatida hisoblash mumkinligini aniqladi, ya'ni

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n = \sum_{i=1}^n B_i \quad (6.1)$$

(6.1) ifoda bir necha elementar toklar tufayli vujudga kelgan magnit induksiya vektorining superpozitsiya prinsipi deyiladi. Har bir tok elementi vujudga keltirgan maydonning magnit induksiyasi

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^3} |d\vec{l} \cdot \vec{r}| \quad (6.2)$$

munosabat bilan aniqlanadi.  $d\vec{B}$  ning modulini quyidagicha yozamiz:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \alpha}{r^2} \quad (6.3)$$

Bu munosabatlar Bio-Savar-Laplas qonunini ifodalaydi. (6.2) va (6.3) larda  $r$  - tok elementidan magnit induksiyasi aniqlanayotgan nuqtaga o'tkazilgan radius-vektor,  $\alpha$  - o'tkazgichning elementar bo'lagi  $dl$  bilan  $r$  orasidagi burchak;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$  bo'lib, magnit doimiysi deb ataladi.

Bio-Savar-Laplas qonunining ba'zi tadbirlarini ko'raylik.

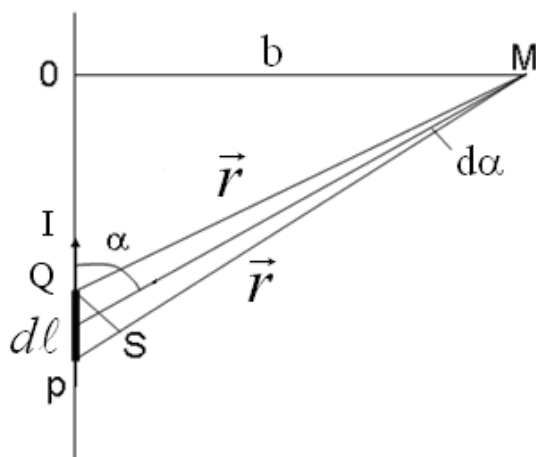
1. Cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgichdan o'tayotgan  $I$  tok tufayli vujudga kelgan maydonning  $A$  nuqtadagi magnit induksiyasi  $B$  ni hisoblaylik.  $B$  ning qiymati  $dB$  lar modullarining yig'indisidan iborat bo'ladi. (6.3) dan foydalansak:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \int \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (6.4)$$

6.1-rasmdan  $r = \frac{r_0}{\sin \alpha}$ ;  $dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha} = \frac{r_0 d\alpha}{\sin^2 \alpha}$  ekanligini aniqlab uni (6.4) ga qo'ysak:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_0^\pi \frac{r_0 d\alpha \sin^2 \alpha \sin \alpha}{\sin^2 \alpha r_0^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{1}{r_0} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0} \quad (6.5)$$

hosil bo'ladi.



### 6.1 - rasm. Uzunligi cheksiz bo'lgan tokli o'tkazgichning magnit maydon kuchlanganligi

Demak, cheksiz uchun to'g'ri tokning magnit induksiyasi o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchiga to'g'ri proporsional va induksiyasi o'lchanayotgan nuqtaning o'tkazgichdan uzoqligiga teskari proporsional ekan.

2.  $I$  tok o'tayotgan  $R$  radiusli aylana shakldagi o'tkazgichning markazidagi magnit maydon induksiyasi

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot R} \quad (6.6)$$

teng bo'ladi.

3. G'altak (markazlari umumiy o'qda yotuvchi bir-biri bilan ketma-ket ulangan aylanma toklar yig'indisi (solenoid)dir) ichidagi magnit maydonning induksiyasi

$$B = \mu_0 n_0 I \quad (6.7)$$

bo'ladi. Bundagi  $n_0 = \frac{n}{l}$  g'altakning birlik uzunligidagi o'ramlar soni,  $n_0 I$  ko'paytma esa birlik uzunlikdagi amper-o'ramlar soni deb ataladi.

4. Toroid (G'altakni (solenoidni) egib halqa shakliga keltirilgani) ichidagi magnit maydon induksiyasi  $B$  quyidagi formula bilan aniqlaydi:

$$B = \mu_0 \frac{n}{2\pi r} I \quad (6.8)$$

Bunda  $l = 2\pi r$  toroid uzunligi  $r$  - halqa markazidan barcha o'ramlar markazlarigacha bo'lgan masofa.

Agar tokli o'tkazgichlar biror muhitda joylashgan bo'lsa, u holda magnit maydoni o'zgaradi. Bunga sabab har qanday modda magnetikdir, ya'ni u magnit maydoni ta'sirida magnit momentga ega bo'ladi. Magnitlangan modda toklar tomonidan hosil bo'lgan magnit maydoni  $\vec{B}_0$

ga qo'shiladigan magnit maydoni  $\vec{B}$  ni hosil qiladi. Natijada ikkala maydon qo'shib natijaviy maydonni beradi:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' \quad (6.9)$$

Amper jismlarning magnitlanishini tushuntirish uchun moddalarning molekulalarida aylanma toklar mavjud deb qaradi. Har bir shunday tok magnit momentiga ega va atrof fazoda magnit maydon hosil qiladi. Tashqi maydon ta'siri bo'lmaganda molekulyar toklar tartibsiz orientatsiyalanadigan bo'ladi, natijada ularning natijaviy magnit maydoni nolga teng bo'ladi. Har bir molekulaning magnit momenti tartisiz orientatsiyalangan bo'lgani sababli jismning yig'indi momenti ham nolga teng bo'ladi. Maydon ta'sirida molekulalar momentlarining ma'lum bir yo'nalishda orientatsiyalanishi nolga teng bo'ladi, buning natijasida magnetik magnitlanadi – uning yig'indi magnit momenti noldan farqli bo'lib qoladi. Bu holda har bir molekulyar tokning magnit maydonlari bir-birini susaytirmaydi va  $\vec{B}$  maydon hosil bo'ladi.

Magnetikning magnitlanishi birlik hajmdagi magnit maydoni momenti orqali tavsiflanadi. Bu miqdor  $\vec{J}$  orqali belgilanadi va uni magnitlanish vektori deb yuritiladi. Agar magnetikning magnitlanishi bir jinsli bo'lmasa, berilgan nuqtadagi magnitlanish vektori quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V} \quad (6.10)$$

bu yerda  $\Delta V$  – qaralayotgan nuqta atrofida olingan cheksiz kichik hajm,  $\vec{p}_m$  – alohida molekulaning magnit moment. Yig'indi  $\Delta V$  – hajmda joylashgan barcha molekulalar bo'yicha olinadi.

Vektor  $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$  ning ixtiyoriy yopiq sirtidan o'tuvchi oqimini topamiz:

$$\Phi_B = \oint_S B_n dS = \oint_S (\vec{B}_0 + \vec{B}')_n dS = \int_S B_{0n} dS + \oint_S B'_n dS.$$

$\vec{B}_0$  vektorining chiziqlarining har doim yopiq ekanligidan, tenglikning o'ng qismidagi har ikkala integral nolga teng. Demak,

$$\Phi_B = \int_S B_n dS = 0 \quad (6.11)$$

Bu formula  $\vec{B}$  vektor uchun Gauss teoremasini ifodalaydi: *istalgan yopiq sirt orqali o'tuvchi magnit induksiya vektorining oqimi nolga teng.*

Natijaviy maydon  $\vec{B}$  vektorining sirkulyatsiyasi kontur o'rab olgan toklarning yig'indisiga proporsional:

$$\oint B_l dl = \mu_0 \sum i + \mu_0 \sum I_m \quad (6.12)$$

Bu yerda  $I_m$  – molekulyar tok.

Molekulyar toklarning yi'g'insisi esa

$$\sum I_m = \oint J_l dl \quad (6.13)$$

(6.12) va (6.13) formulalardan molekulyar toklar yig'indisini chiqarib, quyidagi ifodani hosil qilish mumkin:

$$\oint \left( \frac{B}{\mu_0} + J \right) dl = \sum i \quad (6.14)$$

Bu yerda  $\frac{\vec{B}}{\mu_0} + \vec{J} = \vec{H}$  bo'lib magnit maydon kuchlanganligi deyiladi.

(6.14) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\oint H_l dl = \sum i \quad (6.15)$$

Agar makroskopik toklar fazoda  $\vec{J}$  zichlik bilan taqsimlangan bo'lsa, (6.15) formula quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\oint H_l dl = \oint j_n dS \quad (6.16)$$

(6.6) va (6.7) formulalar  $\vec{H}$  vektorining sirkulyatsiyasi to'g'risidagi teoremani ifodalaydi: *magnit maydon kuchlanganligi vektorining sirkulyatsiyasi bu kontur tomonidan egallangan makroskopik toklarning algebraik yig'indisiga teng.*

Magnitlanish vektori uchun quyidagi tenglik o'rinli:

$$\vec{j} = \chi_m \vec{H} \quad (6.17)$$

bu yerda  $\chi_m$  – magnetikning magnit xususiyatlarini ifodalovchi kattalik bo'lib, magnit qabul qiluvchanlik deyiladi.

$\vec{J}$  va  $\vec{H}$  larning o'lchov birliklari bir xil bo'lgani uchun  $\chi_m$  o'lchamsiz kattalikdir.

Magnitlanish vektori  $\vec{J}$  va magnit maydon kuchlanganligi  $\vec{H}$  orasidagi bog'lanishdan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$H = \frac{B}{\mu_0(1 + \chi_m)} \quad (6.18)$$

bundan

$$1 + \chi_m = \mu \quad (6.19)$$

muhitning magnit singdiruvchanligi deyiladi. (6.19) belgilash asosida (6.18) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu} \quad (6.20)$$

Demak, izotrop muhitda magnet maydon kuchlanganlik vektori magnet induksiya vektori bilan bir xil yoʻnalishga ega va modul jihatdan undan  $\mu\mu_0$  marta kichik boʻladi. Magnetikning magnet singdiruvchanligi  $\mu$  oʻlchamsiz kattalik u magnetikdagi magnet maydonni vakuumdagiga qaraganda necha marta farqlanishini ifodalaydi.

Barcha magnetiklar oʻzlarining magnet qabul qiluvchanliklarining ishorasi va qiymatlariga qarab uch sinfga boʻlingan:

1) *diamagnetiklarda*  $\chi_m < 0$  boʻladi. Bu sinfga oid boʻlgan moddalarda, masalan, fosfor, oltinugurt, surma, uglerod, simob, oltin, kumush, mis kabi elementlar, shuningdek suv va koʻpgina organik birikmalarda magnet maydon bir oz susayadi;

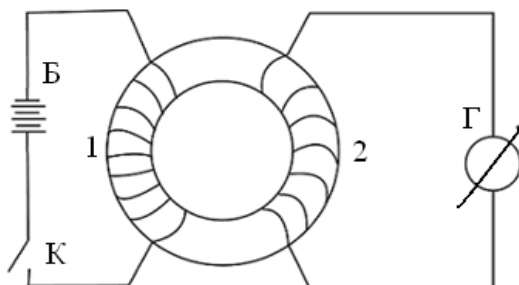
2) *paramagnetiklarda*  $\chi_m > 0$  boʻladi. Bu sinfga kiruvchi kislorod azot, alyuminiy, platina, volfram kabi elementlarda magnet maydon bir oz kuchayadi;

3) *ferromagnetiklarda*  $\chi_m \gg 0$  boʻladi. Bu sinfga kiruvchi temir, nikel, kobalt kabi metallarda va ularning qotishmalarida magnet maydon juda zoʻrayib ketadi.

Shunday qilib, magnetlanish vektori  $\vec{j}$  yoʻnalish jihatidan  $\vec{H}$  ga mos kelishi (para va ferromagnetiklarda) va qarama-qarshi tomonga yoʻnalgan boʻlishi mumkin (diamagnetiklarda).

## 7-§. Elektromagnit induksiya hodisasi

Elektromagnit induksiya hodisasi hozirgi zamon fizikasi va texnikasining eng muhim hodisalaridan biri boʻlib, u Faradey tomonidan 1831 yilda kashf qilingan. Faradey oʻtkazgan tajribalaridan birida temir halqa olib, unga koʻp oʻramlardan iborat boʻlgan ikkita mis choʻlgʻam oʻradi: 1 - choʻlgʻam uchlariga tok manbai bilan K kalit ulangan boʻlib, ikkinchisiga galvanometr ulangan (7.1 - rasm).



7.1-rasm. Ikki choʻlgʻamli transformator

Birinchi cho‘lg‘amda kalit ulanib, tok hosil bo‘lganda, ikkinchi cho‘lg‘amda tok impulsi hosil bo‘lgan va galvanometr mili bir tomonga og‘a boshlagan va juda tez nolga qaytgan. Birinchi cho‘lg‘am kaliti uzilganda ham ikkinchi cho‘lg‘amda tok impulsi hosil bo‘lib, galvanometr mili teskari tarafga og‘ib, yana juda tez nolga qaytgan.

Ko‘p sonli tajribalardan quyidagi qonuniyatlar aniqlangan: 1. Vaqt bo‘yicha o‘zgaradigan tashqi magnit maydonida joylashgan o‘tkazgichda elektr yurituvchi kuch paydo bo‘ladi. 2. Agar o‘tkazgich yopiq bo‘lsa, unda induksion tok hosil bo‘ladi. O‘tkazgichda induksiya hisobiga hosil bo‘lgan EYK kattaligi shu o‘tkazgichni kesib o‘tuvchi magnit induksiyasi oqimining o‘zgarish tezligiga proporsionaldir:

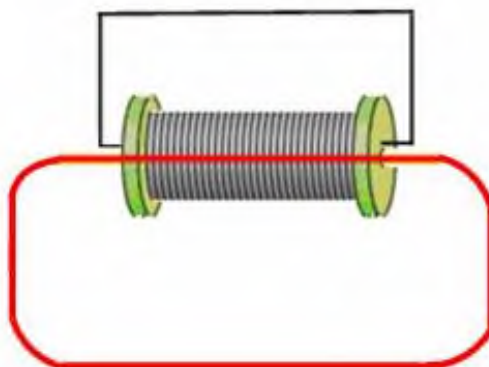
$$\varepsilon_V = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (7.1)$$

Bu ifoda Faradey-Maksvell qonuni deb ataladi. (7.1) formulada minus ishora, yopiq zanjirni kesib o‘tuvchi ( $\frac{d\Phi}{dt} > 0$ ) oqim oshishi bilan induksiyaviy EYK manba EYK ga teskari yo‘nalgan bo‘ladi, oqim kamayganda ( $\frac{d\Phi}{dt} < 0$ ) ikkala EYK lar yo‘nalishi bir xil bo‘ladi.

Lens qoidasiga asoslanib induksiyaviy EYK yo‘nalishini aniqlash mumkin: induksiyaviy EYK va tok doimo shunday yo‘nalishga ega bo‘ladiki, u hosil qilgan magnit maydoni shu tokni vujudga keltiruvchi magnit oqimining o‘zgarishiga qarshilik qiladi. Agar yopiq zanjir  $N$  - ta o‘ramlardan iborat bo‘lsa va magnit oqimining kuch chiziqlarining har biri shu o‘ramlarni kesib o‘tsa (7.2 - rasm), u holda bu oqimning o‘zgarishi, zanjirda induksiyaviy EYK ni hosil qiladi:

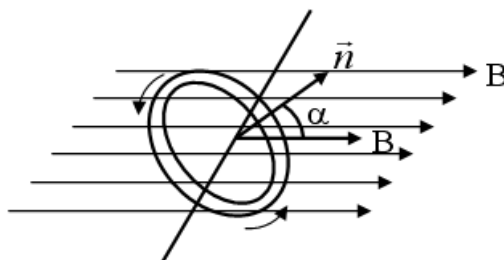
$$\varepsilon_V = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt} \quad (7.2)$$

bu yerda  $\psi = N\Phi$  - oqim tutilishi deb ataladi.



**7.2 - rasm.  $N$  ta o‘ramlardan iborat yopiq zanjir**

Kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan o'q atrofida,  $B$  induksiyali bir jinsli magnit maydonida  $\omega$  doimiy burchak tezlik bilan aylanayotgan, har bir  $S$  yuzaga ega bo'lgan  $N$  o'ramlardan iborat ramkaning elektromagnit induksiyasini ko'rib chiqamiz (7.3 - rasm).



### 7.3 - rasm. $B$ induksiyali magnit maydonida aylanayotgan $N$ o'ramli ramka

Ramkada magnit oqimining tutilishi quyidagiga teng:

$$\psi = NBS \cos \alpha \quad (7.3)$$

Induksiyaviy EYK esa, quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varepsilon_U = \frac{d\psi}{dt} = NBS \cdot \omega \cdot \sin \omega t = \varepsilon_o \sin \omega t$$

Zanjir qarshiligi  $R$  bo'lsa, ramkadagi induksion tok

$$I = \frac{\varepsilon_o}{R} \sin \omega t = I_o \cdot \sin \omega t \quad (7.4)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda,  $\varepsilon_o$  va  $I_o$  – induksion EYK va tokning maksimal qiymatlaridir. (7.4) - ifoda bo'yicha o'zgaruvchi tok, sinusoidal o'zgaruvchan tok deb ataladi.

Elektr toki oqayotgan har bir o'tkazgich o'zining xususiy magnit maydoni ta'sirida bo'ladi. Tok hosil qilgan magnit oqimi yoki oqim tutilishi, barcha sharoitlarda tok kuchiga proporsionaldir:

$$\psi = LI \quad (7.5)$$

bu yerda  $L$  - proporsionallik koeffitsiyenti - o'tkazgichning induktivligi deb ataladi. O'tkazgichning induktivligi uning shakli, o'lchami va magnit singdiruvchanlikka bog'liqdir. O'tkazgichda magnit maydonining o'zgarishi unda induksiya elektr yurituvchi kuchini qo'zg'atadi va u o'zinduksiya EYK deb ataladi.

Konturda hosil bo'ladigan o'zinduksiya EYK quyidagiga teng:

$$\varepsilon_{o,z} = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d(IL)}{dt} = -\left(L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}\right) \quad (7.6)$$

Agarda tok kuchi o'zgarganida induktivlik o'zgarmasa ( $L = const$ , bu hol faqat moddada ferromagnit xususiyati yo'qligida yuz berishi mumkin), u holda



$$\varepsilon_{o'z} = -L \frac{dI}{dt} \quad (7.7)$$

Bu ifodadagi minus ishora Lens qoidasiga asosan paydo bo'lgan va induksion tok uni vujudga keltiruvchi sabablarga doimo qarshilik qilish tarafiga yo'nalganligini bildiradi.

XB tizimida o'tkazgich induktivligining birligi sifatida, o'tkazgichdagi tok kuchi har sekundda 1Aga o'zgarganda 1Vbga teng  $\psi$  - magnit oqimi tutilishini hosil qilaoladigan induktivlik qabul qilingan va u bir Genri ( $H$ ) ga teng.

$$1H = 1 \frac{Vb}{A} \left( \frac{Veber}{Amper} \right) \quad (7.8)$$

Uzunligi diametridan katta bo'lgan solenoid induktivligini hisoblalymiz.  $I$  tok oqayotganda, solenoid ichida induksiyasi  $B = \mu_0 \mu_n I$  ga teng bo'lgan bir jinsli magnit maydoni hosil bo'ladi.

Har bir o'ramdan o'tayotgan magnit oqimi  $\Phi = BS$  ga teng bo'lib, solenoid bo'yicha to'la magnit oqim tutilishi

$$\psi = N\Phi = nl \cdot B \cdot S = \mu_0 \mu_n^2 l \cdot S \cdot I \quad (7.9)$$

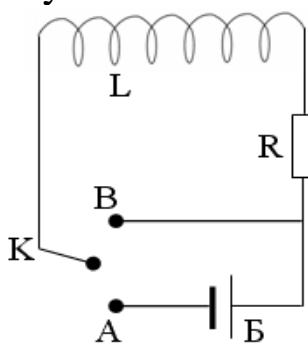
ga teng bo'ladi. Bu yerda  $l$  - solenoid uzunligi,  $S$  - uning ko'ndalang kesimi yuzasi,  $n$  - birlik uzunlikdaga o'ramlar soni. Solenoidning umumiy o'ramlar soni  $N = nl$  ekanligidan

$$L = \mu_0 \mu_n^2 l \cdot S = \mu_0 \mu_n^2 \cdot V \quad (7.10)$$

bu yerda  $V = lS$  - solenoid hajmi. Bu ifodadan  $\mu_0$  ning o'lchov birligini topishimiz mumkin:

$$\mu_0 = \frac{L}{n^2 V}, \quad [\mu_0] = 1 \frac{H}{m}.$$

Katta induktivlikka ega bo'lgan zanjirni tok manбайдan uzishda vujudga keladigan o'zinduksiya hodisasini ko'rib chiqamiz (7.4 - rasm).



**7.4- rasm. Katta induktivli elektr zanjir**

KkalitAkontaktga ulanganda, zanjirdan miqdori Om qonuni bilan aniqlanadigan  $I_0$  o'zgarimas tok oqa boshlaydi.  $t = 0$  momentda kalitni tok manбайдan uzib, Bkontaktga ulaymiz va yopiq zanjir hosil qilamiz. Tok

o'zgarib, kamaya boshlaydi va zanjirning induktivlik qismida o'zinduksiya EYK hosil bo'ladi va tokning kamayishiga qarshilik qilib, uni ma'lum vaqtgacha saqlab qolishga intiladi. Om qonuniga asosan:

$$IR = \varepsilon_{o'z} = -L \frac{dI}{dt}$$

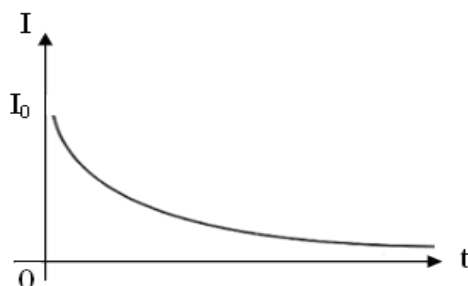
yoki o'zgaruvchilarni alohida guruhlasak,

$$\frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} dt \quad (7.11)$$

Bu differensial tenglamaning chap tarafini  $I_0$  dan  $I$  gacha, o'ng tomonini 0 dan  $t$  gacha integrallasak, quyidagiga natijaga ega bo'lamiz:

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad (7.12)$$

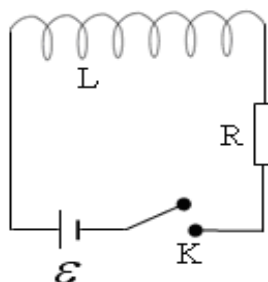
Katta induktivli zanjirni tok manba'idan uzishda hosil bo'lgan tokning vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi 7.5 - rasmda keltirilgan.



**7.5 - rasm. Induktivli elektr zanjirida induksion tokning vaqtga bog'liq o'zgarishi**

Tok qiymatining nolga tenglashish vaqti  $\frac{R}{L}$  nisbatga bog'liq bo'lib,  $L$  induktivlik qancha katta bo'lsa, u vaqt shuncha katta bo'ladi.

Boshlang'ich momentda zanjir ochiq va zanjirdagi tok qiymati nolga teng bo'lsin (7.6 - rasm).



**7.6 - rasm. Induktivlik va qarshilikdan iborat elektr zanjiri**

$t=0$  vaqt momentida zanjirni manbaga ulasak, undagi tok 0 dan  $I_0$  qiymatgacha oshaboradi.

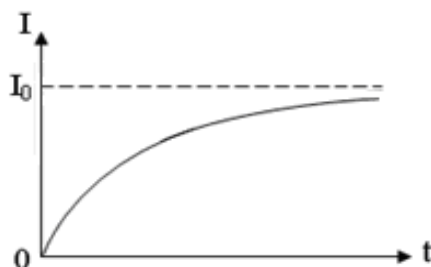
Tokning o‘shishi (o‘zgarishi) qo‘shimcha o‘zinduksiya EYK ni vujudga keltiradi. Om qonuniga asosan, quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$IR = \varepsilon + \varepsilon_{o'z} = \varepsilon - L \frac{dI}{dt} \quad (7.13)$$

Bir jinsli bo‘lmagan differensial tenglamaning yechimi ( $t = 0$  da  $I = I_0$ ga teng bo‘lganda)

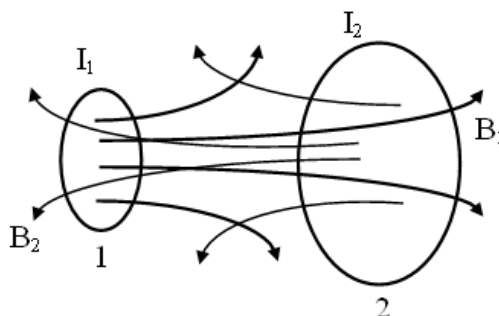
$$I = I_0 \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \quad (7.14)$$

dan iboratdir (7.7-rasm).



**7.7 - rasm. Zanjirni tok manbaiga ulashda hosil bo‘lgan induksion tokning vaqtga bog‘liq o‘zgarishi**

7.8- rasmda bir-biriga yaqin joylashgan ikkita konturni olamiz.



**7.8 - rasm. Ikkita yopiq kontur orasidagi o‘zaroinduksiya**

Birinchi konturdad $t$  vaqt ichida  $I_1$  tokni  $dI_1$  qiymatga o‘zgartirsak, 2-konturda o‘zinduksiya EYK ni hosil boladi:

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d\psi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt} \quad (7.15)$$

Ikkinchi konturda  $I_2$  tok qiymatini o‘zgartirsak, 1-konturda  $\varepsilon_{21}$  - o‘zinduksiya EYK hosil bo‘ladi:

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d\psi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_2}{dt} \quad (7.16)$$

Bir konturda tokning o‘zgarishi ikkinchisida induksiya EYK ni hosil qilish hodisasi - o‘zaro induksiya hodisasi deb ataladi.

$L_{12}$  va  $L_{21}$  koeffitsiyentlar qiymatlari konturlarning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishiga bog'liqdir, undan tashqari atrof muhitning magnit singdiruvchanligiga ham bog'liqdir.

Shunday qilib, ikkinchi zanjirda induksiyalangan EYK qiymati o'zaro induksiya koeffitsiyenti va birinchi zanjirdagi tokning o'zgarish tezligiga proporsionaldir.

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \quad (7.17)$$

Bunday induksiya EYK ning paydo bo'lishi, odatda transformatorlarda kuzatiladi.

$dA = \varepsilon I dt$  ekanligidan, (7.17) formulaga asosan quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$dA = LI dI \quad (7.18)$$

(7.18) ifodani  $I$  dan 0 qiymatgacha integrallasak, magnit maydon yo'qolguncha ketgan vaqt ichida tokning bajarilgan ishi:

$$A = -\int_{I_0}^0 LI dI = \frac{LI^2}{2} \quad (7.19)$$

Magnit maydoni butunlay yo'qolganda, tok oqimi to'xtaydi, bajarilgan ish zanjirda ajralgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

$$W_M = \frac{LI^2}{2} \quad (7.20)$$

bu yerda,  $W_M$  - magnit maydon energiyasi. Bu ifoda magnit maydon energiyasi o'tkazgichda (induktivlikda) joylashgan bo'ladi va tokka bog'liq ( $L$  - o'tkazgich induktivligi,  $I$  - tok).

Solenoid induktivligi uchun  $L = \mu_0 \mu n^2 \cdot V$  va magnit maydon kuchlanganligi uchun  $H = nI$  (7.20) formuladan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$W_M = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \cdot V \quad (7.21)$$

Bu yerda,  $\mu$  va  $H$  - muhitning magnit sindiruvchanligi va solenoid ichidagi maydon kuchlanganligi,  $V$  - solenoid hajmi.

(7.20) ni hajm  $v$  ga bo'lsak, magnit maydon energiya zichligi formulasi kelib chiqadi:

$$w_m = \frac{\mu \mu_0 H^2}{2} \quad (7.22)$$

1863 yilda Maksvell yagona elektromagnit maydon nazariyasini ishlab chiqdi, bu nazariyaga muvofiq, o'zgaruvchan elektr maydoni, o'zgaruvchan magnit maydonini, o'zgaruvchan magnit maydoni esa, o'zgaruvchan elektr maydonini vujudga keltiradi. Bu ikkala

o'zgaruvchan maydonlar uyurmali xarakteriga ega, ya'ni vujudga keltirayotgan maydonning kuch chiziqlari, vujudga kelayotgan maydonning kuch chiziqlari bilan konsentrik o'rab olingan. Natijada o'zaro o'ralgan elektr va magnit maydonlar sistemasi hosil bo'ladi.

Magnit maydon induksiyasi chiziqlarining yo'nalishi shu maydonning vujudga kelishiga sababchi bo'layotgan elektr maydon induksiya vektorining vaqt davomida o'zgarishini xarakterlovchi  $\frac{\partial D}{\partial t}$  vektorining yo'nalishi bilan o'ng vint qoidasi asosida bog'langan.

Elektr maydonning o'zgarishi va bu o'zgarish tufayli vujudga kelayotgan magnit maydon orasidagi miqdoriy bog'lanishni topish uchun Maksvell siljish tokideb ataladigan tushunchani kiritadi. Siljish toki bilan yaqinroq tanishish maqsadida yassi kondensatorli zanjirdan o'zgaruvchan tok oqqandagi jarayonlarni tekshiraylik. U holda kondensator plastinka-larini birlashtiruvchi o'tkazgichlar orqali o'tkazuvchanlik toki o'tadi, lekin plastinkalar oralig'idagi dielektrikdan o'tmaydi.

Maksvell tashqi zanjirda oquvchi o'tkazuvchanlik toki kondensator ichida alohida tok - siljish toki bilan tutashadigan o'z g'oyasini ilgari surdi, siljish toki elektr maydon induksiya vektorining o'zgarish tezligi  $\left(\frac{\partial D}{\partial t}\right)$  proporsional va tashqi zanjirdagi o'tkazuvchanlik tokiga teng bo'ladi. Zanjirdan o'tayotgan tokning oniy qiymati  $I$  bo'lsin, kondensator qoplamalaridagi zaryadning sirt zichligini  $\sigma = \frac{q}{S}$  deb olaylik. U holda kondensator plastinkasi ichidagi o'tkazuvchanlik toki zichligining qiymati

$$j_{o'ik} = \frac{I}{S} = \frac{dq}{S} \frac{1}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{q}{S} \right) = \frac{d\sigma}{dt}$$

yoki

$$j_{o'ik} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (7.23)$$

bo'ladi.

Ikkinchi tomonidan shu momentdagi plastinkalar oralig'idagi elektr maydon kuchlanganligining qiymati

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

teng edi.

Maydonning elektr induksiyasi esa

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \sigma \quad (7.24)$$

ga teng. Vaqt o'tishi bilan plastinkalardagi zaryadning sirt zichligi o'zgaradi. Bu esa plastinkalar oralig'idagi elektr maydon induksiyasi qiymatining o'zgarishiga sababchi bo'ladi, ya'ni:

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (7.25)$$

Hamma vaqt  $\frac{\partial D}{\partial t}$  ning yo'nalishi o'tkazuvchanlik tokining yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.  $\frac{\partial D}{\partial t}$  ning birligi

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{C}{m^2} \cdot \frac{1}{c} = \frac{A}{m^2}$$

bo'ladi.

$\frac{\partial D}{\partial t}$  kattalik Maksvell gipotezasiga asosan, siljish tokining zichligidir, ya'ni:

$$j_{silj} = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (7.26)$$

Shunday qilib, o'zgaruvchan tok zanjirida o'tkazgichlardagi o'tkazuvchanlik tokining chiziqlari kondensator plastinkalari oralig'idagi siljish tokining chiziqlariga ulanib ketadi.

Maksvell nazariyasining asosini uning nomi bilan ataladigan to'rtta tenglama tashkil etadi.

1. Qo'zg'almas zaryad qatrolidagi fazoda elektr maydon hosil qiladi. Bu maydon potensial maydondir. Bu maydon kuchlanganlik vektori  $E$  ning ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng:

$$\oint_l E_{qt} dl = 0 \quad (7.27)$$

Uyurmaviy elektr maydon kuchlanganligi  $E_B$  ning chiziqlari doimo berk. Shuning uchun,  $E_B$  - vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi noldan farqli

$$\oint_l E_{Bt} dl = - \int_s \left( \frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS \quad (7.28)$$

Natijaviy maydon kuchlanganligi  $E_q$  va  $E_B$  maydon kuchlanganliklarning yig'indisidan iborat bo'lishi kerak, ya'ni

$$E = E_q + E_B$$

(7.27) va (7.28) tenglamalarni qo'shsak

$$\oint_l E_t dl = - \int_s \left( \frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS \quad (7.29)$$

Bu ifodaning chap tomonidagi integral ixtiyoriy berk kontur bo'yicha, o'ng tomonidagi integral esa shu konturga tiralgan ixtiyoriy sirt bo'yicha olinadi. *Bu Maksvellning birinchi tenglamasidir.*

2. Magnit maydon harakatdagi zaryadlar atrofidagina emas, balki fazoning vaqt davomida o'zgarib turuvchi elektr maydon mavjud bo'lgan barcha sohalarida ham vujudga keladi. O'zgaruvchan elektr maydon induksiyasi vektorining o'zgarish tezligini xarakterlovchi  $\frac{\partial D}{\partial t}$  kattalikni siljish tokining zichligi  $j_{silj}$  deb yuritiladi. Agar zanjirdagi to'liq tok zichligini  $j_T$  deb belgilasak

$$j_T = j_{o'tk} + j_{silj} = j_{o'tk} + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (7.30)$$

hosil bo'ladi. (7.30) dan foydalansak, magnit maydon kuchlanganlik vektorining ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi uchun quyidagini yozamiz:

$$\oint_l H_l dl = - \int_S \left( j_{o'tk} + \frac{\partial D}{\partial t} \right)_n dS \quad (7.31)$$

Bu ifoda *Maksvellning ikkinchi tenglamasi* deb ataladi. U magnit maydon kuchlanganlik vektori  $N$  ning ixtiyoriy berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi, shu konturga tiralgan ixtiyoriy  $S$  - sirtni teshib o'tuvchi makroskopik va siljish toklarining algebraik yig'indisiga tengligini ko'rsatadi.

3. Elektr induksiya vektori  $\bar{D}$  ning ixtiyoriy berk sirt orqali oqimi shu sirt ichidagi barcha erkin zaryadlarning algebraik yig'indisiga teng:

$$\oint S D_n dS = \int_V q dV \quad (7.32)$$

bundagi  $\rho$  - berk sirt ichida joylashgan zaryadlarning hajmiy zichligi. *Bu Maksvellning uchinchi tenglamasidir.*

4. Magnit maydon qanday usul bilan hosil qilinmasin magnit induksiya chiziqlari doimo berk bo'ladi. Shuning uchun umumiy holda:

$$\oint B_n dS = 0 \quad (7.33)$$

*Bu Maksvellning to'rtinchi tenglamasidir.* Yuqoridagi to'rtta tenglama integral ko'rinishdagi Maksvell tenglamalaridir.

Endi Maksvell tenglamalarini differensial ko'rinishini yozaylik:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \operatorname{rot} H = j_{\text{uk}} + \frac{\partial B}{\partial t} \\ \operatorname{div} D = \rho \\ \operatorname{div} B = 0 \end{cases} \quad (7.34)$$

Maksvellning bu tenglamalari tabiat qonunlarining ifodasidir.

## 7.1-§. Fizik kattaliklar va formulalarni hisoblashda dasturlash tilidan foydalanish namunalari

**1. Kulon qonuni** -  $F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}$ ,  $q_1, q_2$  - zaryadlar,  $k$  - proporsionallik koefitsiyenti deyilib  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$ ,  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  - elektr doimiysi.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double k=9*pow(10,9);
int main ()
{
    cout<<"Kulon qonuni:"<<endl;
    cout<<"F=kq1q2/R2"<<endl;
    cout<<"q1,q2,R tartibida kiriting!"<<endl;
    double F,q1,q2,R;
    cin>>q1>>q2>>R;
    cout<<"q1="<<q1<<endl;
    cout<<"q2="<<q2<<endl;
    cout<<"R="<<R<<endl;
    F=k*q1*q2/pow(R,2);
    cout<<"F=kq1q2/R2="<<F<<endl;
    return 0;
}
```

**2. Elektr maydon kuchlanganligi** -  $E = \frac{F}{q} = k \frac{q^2}{r^2}$ ,  $F$  - zaryadga ta'sir qiluvchi kuch,  $q$  - zaryad miqdori,  $r$  - zaryaddan kuzatilayotgan nuqtagacha masofa.

```
#include <iostream>
```



```

#include <math.h>
using namespace std;
const double k=9*pow(10,9);
int main ()
{
    cout<<"Elektr maydon kuchlanganligi:"<<endl;
    cout<<"F=kq/R2"<<endl;
    cout<<"q,R tartibida kiriting!"<<endl;
    double F,q,R;
    cin>>q>>R;
    cout<<"q="<<q<<endl;
    cout<<"R="<<R<<endl;
    F=k*q/pow(R,2);
    cout<<"F=kq/R2="<<F<<endl;
    return 0;
}

```

### 3. Zaryadlangan cheksiz tekislik elektr maydon kuchlanganligi-

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0},$$
 $\sigma$  – zaryadning sirt zichligi,  $\varepsilon$  – muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $\varepsilon_0$  – elektr doimiysi.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12),pi=3.1415926;
int main ()
{
    cout<<"Zaryadlangan cheksiz tekislik elektr maydon
kuchlanganligi:"<<endl;
    cout<<"E=p/2eeo"<<endl;
    cout<<"t-zaryad sirt zichligi"<<endl;
    cout<<"e, p tartibida kiriting!"<<endl;
    double E,e,p;
    cin>>e>>p;
    cout<<"e"<<e<<endl;
    cout<<"p="<<p<<endl;
    E=p/(2*e*e0);
    cout<<"E=p/2eeo="<<E<<endl;
    return 0; }

```

**4. Zaryadlangan cheksiz uzun ipning elektr maydon kuchlanganligi** -  $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 a}$ , bunda  $\tau$  – zaryadning chiqli sirt zichligi,  $a$  – cheksiz uzun ipdan nuqtagacha masofa,  $\epsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik,  $\epsilon_0$  – elektr doimiysi.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12),pi=3.1415926;
int main ()
{   cout<<"Zaryadlangan cheksiz uzun ipning elektr maydon
kuchlanganligi:"<<endl;
    cout<<"E=t/2pieea"<<endl;
    cout<<"t-zaryad chiziqi zichligi"<<endl;
    cout<<"a-nuqtaning ipdan uzoqligi"<<endl;
    cout<<"e, t, a tartibida kiriting!"<<endl;
    double E,e,t,a;
    cin>>e>>t>>a;
    cout<<"e"<<endl;
    cout<<"t"<<endl;
    cout<<"a"<<endl;
    E=t/(2*pi*e*e0*a);
    cout<<"E=t/2pieea="<<E<<endl;
    return 0;
}
```

**5. Zaryadlangan disk elektr maydon kuchlanganligi** -  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0(\sqrt{R^2 + a^2})}$ , bunda  $\sigma$  – sirt zichligi,  $R$  – disk radiusi,  $a$  – disk markazidan o‘tuvchi o‘q bo‘yicha diskdan uzoqligi,  $\epsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik,  $\epsilon_0$  – elektr doimiysi.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12);
int main ()
{   cout<<"Zaryadlangan disk elektr maydon kuchlanganligi:"<<endl;
    cout<<"E=d/2eeo(1-a/sqrt(R2+a2))"<<endl;
```

```

cout<<"d-zaryad sirt zichligi"<<endl;
cout<<"a-markazdan a uzoqlikdagi elektr maydon
kuchlanganligi"<<endl;
cout<<"e, d, R, a tartibida kiriting"<<endl;
double E,e,d,R,a;
cin>>e>>d>>R>>a;
cout<<"e"<<endl;
cout<<"d="<<d<<endl;
cout<<"R="<<R<<endl;
cout<<"a="<<a<<endl;
E=d/(2*e*e0)*(1-a/sqrt(pow(R,2)+pow(a,2)));
cout<<"E=d/2ee0(1-a/sqrt(R2+a2))="<<E<<endl;
return 0;
}

```

**6. Elektr maydon energiya zichligi** -  $W = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$ ,  $E$  - elektr maydon kuchlanganligi,  $[W] = 1 \frac{J}{m^3}$ ,  $\epsilon$  - dielektrik singdiruvchanlik,  $\epsilon_0$  - elektr doimiysi.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12);
int main ()
{
    cout<<"Elektr maydon energiya zichligi:"<<endl;
    cout<<"W=ee0E2/2"<<endl;
    cout<<"e,e0,E tartibida kiriting!"<<endl;
    double W,e,E;
    cin>>e>>E;
    cout<<"e="<<endl;
    cout<<"E="<<E<<endl;
    W=e*e0*pow(E,2)/2;
    cout<<"W=ee0E2/2="<<W<<endl;
    return 0;
}

```

**7. Yassi kondensator elektr sig‘imi** -  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$ ,  $S$  – kondensator qoplamasining yuzi,  $d$  – qoplamalar orasidagi masofa,  $\epsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik,  $\epsilon_0$  – elektr doimiysi.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12);
int main ()
{
    cout<<"Yassi kondensator elektr sig‘imi"<<endl;
    cout<<"C=ee0S/d"<<endl;
    cout<<"e, S, d tartibida kiriting!"<<endl;
    double C,e,S,d;
    cin>>e>>S>>d;
    cout<<"e="<<e<<endl;
    cout<<"S="<<S<<endl;
    cout<<"d="<<d<<endl;
    C=e*e0*S/d;
    cout<<"C=ee0S/d="<<C<<endl;
    return 0;
}
```

**8. Koaksial silindrik kondensator elektr sig‘imi** -  $C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 L}{\ln \frac{R}{r}}$ ,

$L$  – silindrik kondensator uzunligi,  $R$  – silindrning tashqi radiusi,  $r$  – silindrning ichki radiusi,  $\epsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik,  $\epsilon_0$  – elektr doimiysi.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12), pi=3.1415926;
int main ()
{
    cout<<"Silindrik kondensator elektr sig‘imi"<<endl;
    cout<<"C=2piee0L/lnR/r"<<endl;
    cout<<"e, L, R, r tartibida kiriting!"<<endl;
    double C,e,L,R,r;
    cin>>e>>L>>R>>r;
```

```

cout<<"e="<<e<<endl;
cout<<"L="<<L<<endl;
cout<<"R="<<R<<endl;
cout<<"r="<<r<<endl;
C=2*pi*e*e0*L/log(R/r);
cout<<"C=2piee0L/lnR/r="<<C<<endl;
return 0;
}

```

**9. Sferik kondensator elektr sig‘imi** -  $C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 Rr}{R-r}$ ,  $R$  – sferaning tashqi radiusi,  $r$  – sferaning ichki radiusi,  $\epsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik,  $\epsilon_0$  – elektr doimiysi.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e0=8.85*pow(10,-12), pi=3.1415926;
int main ()
{
    cout<<"Sferik kondensator elektr sig‘imi"<<endl;
    cout<<"C=4piee0Rr/(R-r)"<<endl;
    cout<<"e, R, r tartibida kiriting!"<<endl;
    double C,e,R,r;
    cin>>e>>R>>r;
    cout<<"e="<<e<<endl;
    cout<<"R="<<R<<endl;
    cout<<"r="<<r<<endl;
    C=4*pi*e*e0*R*r/(R-r);
    cout<<"C=4piee0Rr/(R-r)="<<C<<endl;
    return 0;
}

```

**10. Tok kuchi** -  $I = \frac{q}{t}$ ,  $q$  – zaryad miqdori,  $t$  – vaqt,  $[I] = 1A(Amper)$

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main ()
{
    cout<<"Tok kuchi:"<<endl;

```

```

cout<<"I=q/t"<<endl;
cout<<"q, t tartibida kiriting"<<endl;
double I,q,t;
cin>>q>>t;
cout<<"q="<<q<<endl;
cout<<"t="<<t<<endl;
    I=q/t;
cout<<"I=q/t="<<I<<endl;
return 0;
}

```

- 11. Qarshilik** -  $R = \rho \frac{l}{S}$ , bunda  $\rho$  – solishtirma qarshilik,  $l$  – o‘tkazgich uzunligi,  $S$  – ko‘ndalang kesim yuzi.  $[R] = 1\Omega$ .

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main ()
{
    cout<<"Qarshilik:"<<endl;
    cout<<"R=rl/S"<<endl;
    cout<<"r-solishtirma qarshilik"<<endl;
    cout<<"l-o‘tkazgich uzunligi"<<endl;
    cout<<"S-ko‘ndalang kesimi"<<endl;
    cout<<"r, l, S tartibida kiriting"<<endl;
    double R,r,l,S;
    cin>>r>>l;
    cin>>S;
    cout<<"r="<<r<<endl;
    cout<<"l="<<l<<endl;
    cout<<"S="<<S<<endl;
    R=r*l/S;
    cout<<"R=rl/S="<<R<<endl;
    return 0;
}

```

- 12. Berk zanjir uchun Om qonuni** -  $I = \frac{E}{R+r}$ ,  $I$  – zanjirdan o‘tayotgan tok kuchi,  $E$  – manbaning elektr yurituvchi kuchi,  $R$  – tashqi qarshilik,  $r$  – ichki qarshilik.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main ()
{
    cout<<"Berk zanjir uchun Om qonuni:"<<endl;
    cout<<"I=E/(R+r)"<<endl;
    cout<<"R-tashqi qarshilik"<<endl;
    cout<<"r-ichki qarshilik"<<endl;
    cout<<"E, R, r tartibida kiriting"<<endl;
    double I,E,R,r;
    cin>>E>>R>>r;
    cout<<"E="<<E<<endl;
    cout<<"R="<<R<<endl;
    cout<<"r="<<r<<endl;
    I=E/(R+r);
    cout<<"I=E/(R+r)="<<I<<endl;
    return 0;
}

```

### 13. O‘zinduksiya hodisasida tok kuchining kamayishi -

$I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$ ,  $I_0$  – boshlang‘ich tok,  $R$  – qarshilik,  $L$  – induktivlik.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e=2.7;
int main ()
{
    cout<<"O‘zinduksiya hodisasida tok kuchining
kamayishi:"<<endl;
    cout<<"I=I0e^(-Rt/L)"<<endl;
    cout<<"I0-boshlang‘ich tok kuchi"<<endl;
    cout<<"I-oxirgi tok kuchi"<<endl;
    cout<<"R-aktiv qarshilik"<<endl;
    cout<<"L-induktivlik"<<endl;
    cout<<"I,I0,R,L,t-tartibida kiriting"<<endl;
    double I,I0,R,L,t;
    cin>>I0>>R>>L>>t;
}

```

```

cout<<"I0="<<I0<<endl;
cout<<"R="<<R<<endl;
cout<<"L="<<L<<endl;
cout<<"t="<<t<<endl;
I=I0*pow(e,-R*t/L);
cout<<"I=I0e^(-Rt/L)="<<I<<endl;
return 0;
}

```

**14. O‘zinduksiya hodisasida tok kuchining ortishi -**

$I = I_0(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$ ,  $I_0$  – boshlang‘ich tok,  $R$  – qarshilik,  $L$  – induktivlik.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double e=2.7;
int main ()
{
    cout<<"O‘zinduksiya hodisasida tok kuchining ortishi:"<<endl;
    cout<<"I=I0(1-e^(-Rt/L))"<<endl;
    cout<<"I0-boshlang‘ich tok kuchi"<<endl;
    cout<<"I-oxirgi tok kuchi"<<endl;
    cout<<"R-aktiv qarshilik"<<endl;
    cout<<"L-induktivlik"<<endl;
    cout<<"I0,R,L,t-tartibida kiriting"<<endl;
    double I,I0,R,L,t;
    cin>>I0>>R>>L>>t;
    cout<<"I0="<<I0<<endl;
    cout<<"R="<<R<<endl;
    cout<<"L="<<L<<endl;
    cout<<"t="<<t<<endl;
    I=I0*(1-pow(e,-R*t/L));
    cout<<"I=I0(1-e^(-Rt/L))="<<I<<endl;
    return 0;
}

```

**15. O‘zgaruvchan tok uchun kuchlanish va tok kuchi**

**orasidagi fazalar farqi -**  $\varphi = \arctan(\frac{R_L - R_C}{R})$ ,  $R_L$  – induktiv qarshilik,

$R_C$  – sig‘im qarshilik,  $R$  – aktiv qarshilik.

```

#include <iostream>

```



```

#include <math.h>
using namespace std;
int main ()
{
    cout<<"Kuchlanish va tok kuchi orasidagi fazalar farqi:"<<endl;
    cout<<"f=arctan(RL-RC)/R"<<endl;
    cout<<"RL=wL-induktiv qarshilik"<<endl;
    cout<<"RC-1/wC-cig'im qarshilik"<<endl;
    cout<<"R-aktiv qarshilik"<<endl;
    cout<<"R,w,L,C-tartibida kiriting"<<endl;
    double f,R,w,L,C;
    cin>>R>>w>>L>>C;
    cout<<"R="<<R<<endl;
    cout<<"w="<<w<<endl;
    cout<<"L="<<L<<endl;
    cout<<"C="<<C<<endl;
    f=atan((w*L-1/(w*C))/R);
    cout<<"f=arctan(RL-RC)/R="<<f<<endl;
    return 0;
}

```

- 16. O'zgaruvchan tokka ketma-ket ulangan aktiv induktiv, sig'im qarshiliklar uchun umumiy qarshilikni hisoblash -**  
 $Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}$ , bunda  $R_L$  – induktiv qarshilik,  $R_C$  – sig'im qarshilik,  $R$  – aktiv qarshilik.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main ()
{
    cout<<"Umumiy qarshilik:"<<endl;
    cout<<"Z=sqrt(R^2+(RL-RC)^2)"<<endl;
    cout<<"RL=wL-induktiv qarshilik"<<endl;
    cout<<"RC-1/wC-cig'im qarshilik"<<endl;
    cout<<"R-aktiv qarshilik"<<endl;
    cout<<"R,w,L,C-tartibida kiriting"<<endl;
    double Z,R,w,L,C;
    cin>>R>>w>>L>>C;
    cout<<"R="<<R<<endl;

```

```

cout<<"w="<<w<<endl;
cout<<"L="<<L<<endl;
cout<<"C="<<C<<endl;
Z=sqrt(pow(R,2)+pow(w*L-1/(w*C),2));
cout<<"Z=sqrt(R^2+(RL-RC)^2)="<<Z<<endl;
return 0;
}

```

**17. Elektroliz uchun Faradey I-qonuni** -  $m = kq$ ,  
 $k$  - elektrokimyoviy ekvivalent,  $q$  - zaryad miqdori,  $m$  - elektrodda  
ajralib chiqqan zaryad miqdori.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main ()
{
    cout<<"Elektroliz uchun Faradey 1-qonuni:"<<endl;
    cout<<"m=kIt"<<endl;
    cout<<"k-elektrokiyoviy ekvivalent"<<endl;
    cout<<"r-ichki qarshilik"<<endl;
    cout<<"k, I, t tartibida kiriting"<<endl;
    double m,k,I,t;
    cin>>k>>I>>t;
    cout<<"k="<<k<<endl;
    cout<<"I="<<I<<endl;
    cout<<"t="<<t<<endl;
    m=k*I*t;
    cout<<"m=kIt="<<m<<endl;
    return 0;
}

```

**18. Elektroliz uchun Faradey II-qonuni** -  $k = \frac{1}{F} \frac{M}{z}$ ,  
 $k$  - elektrokimyoviy ekvivalent,  $F = 96500 \frac{F}{m}$  Faradey diomiysi,  
 $M$  - moddaning molyar massasi,  $z$  - valentlik.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
const double F=96500;

```

```

int main ()
{
    cout<<"Elektroliz uchun Faradey 2-qonuni:"<<endl;
    cout<<"k=M/Fz"<<endl;
    cout<<"M-molyar massa"<<endl;
    cout<<"z-valentlik"<<endl;
    cout<<"M, z tartibida kiriting"<<endl;
    double k,M,z;
    cin>>M>>z;
    cout<<"M="<<M<<endl;
    cout<<"z="<<z<<endl;
    k=M/(F*z);
    cout<<"k=M/Fz="<<k<<endl;
    return 0;
}

```

### **Nazorat savollari**

1. Magnit maydoni nima? Elektromagnit ta'sirning asosiy mohiyati nimada? Tokli o'tkazgichlar orasidagi ta'sir kuchi qanday formula orqali aniqlanadi?
2. Magnit maydonni kuch xarakteristikasi qanday fizik kattalik bilan aniqlanadi?
3. Qanday chiziqlar magnit induksiya chiziqlari deyiladi? Ularning yo'nalishi qanday aniqlanadi?
4. Bio-Savar-Laplas qonunini tushuntiring va uni har xil o'tkazgichlarga qanday tadbiq qilish mumkin?
5. To'liq tok qonuni nima? Solenoid va toroidlarning maydon induksiyasi qanday topiladi?
6. Elektromagnit induksiya hodisasi nima? Elektromagnit induksiya hodisasi uchun Faradey va Lens qonunlari tushuntiring. Induksiya va o'zinduksiya elektr yurutuvchi kuchlari qanday aniqlanadi?
7. Solenoidning induktivligi qanday topiladi?
8. Elektr zanjirini tok manbaiga ulash va uni manbadan uzishda hosil bo'ladigan toklarning qiymati qanday formulalar bilan aniqlanadi?
9. Magnit maydon energiyasi qanday formula bilan topiladi?
10. Maksvell formulalarining yozib tushuntirib bering.

### **Masala yechish namunalari**

1. Havoda bir-biridan  $r_1 = 20 \text{ sm}$  masofada joylashgan ikkita nuqtaviy zaryad o‘zaro qandaydir kuch bilan ta’sirlashadi. Xuddi shunday kuch bilan moyda o‘zaro ta’sirlashishi uchun ularni qanday  $r_2$  masofaga joylashtirish kerak? Havo uchun muhitning dielektrik singdiruvchanligi  $\varepsilon_1 = 1$  va moy uchun  $\varepsilon_2 = 5$  deb oling.

Berilgan:  $F_1 = F_2$ ,  $\varepsilon_1 = 1$ ,  $\varepsilon_2 = 5$ ,  $r_1 = 20 \text{ sm}$

Topish kerak:  $r_2 - ?$

Yechilishi: Zaryadlarning havoda o‘zaro ta’sir kuchi  $F_1 = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon_1 r_1^2}$  kabi aniqlanadi, zaryadlarning moydagi o‘zaro ta’sir kuchi esa  $F_2 = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon_2 r_2^2}$  ga teng. Masala shartiga ko‘ra  $F_1 = F_2$  bo‘lani uchun

$$k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon_1 r_1^2} = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon_2 r_2^2}, \text{ bundan } r_2^2 = \frac{\varepsilon_1 r_1^2}{\varepsilon_2} \text{ yoki } r_2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 r_1^2}{\varepsilon_2}}. \text{ Javobi: } 9 \text{ sm.}$$

2. Ikkita  $q_1 = 8 \text{ nC}$  va  $q_2 = -6 \text{ nC}$  nuqtaviy zaryad o‘rtasidagi nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligini toping. Zaryadlar oralig‘i  $r = 10 \text{ sm}$ ,  $\varepsilon = 1$ .

Berilgan:  $q_1 = 8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ,  $q_2 = -6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ,  $r = 10 \text{ sm}$ ,  $\varepsilon = 1$

Topish kerak:  $E - ?$

Yechilishi:  $q_1$  zaryadni  $r_1 = \frac{r}{2} = 5 \text{ sm}$  masofada hosil qilgan maydon

kuchlanganligi  $E_1 = k \frac{q_1}{\varepsilon r_1^2}$  (1),  $q_2$  zaryadni  $r_2 = \frac{r}{2} = 5 \text{ sm}$  masofada hosil

qilgan elektr maydon kuchlanganligi  $E_2 = k \frac{q_2}{\varepsilon r_2^2}$  (2). Maydon

kuchlanganligining superpozitsiya prinsipiga ko‘ra  $E = E_1 + E_2$  (3), (1)

va (2) ni (3) ga qo‘ysak  $E = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_2}{r_2^2}}$  (4), bundan qidirilayotgan  $E$

kattalik hisoblanadi.

Javobi:  $50400 \text{ V/m}$

3. Yer sharining sig‘imini toping. Yer sharining radiusini  $6400 \text{ km}$ . Yer shariga  $1 \text{ C}$  elektr miqdori berilsa potinsiali qanchaga o‘zgaradi?

Berilgan:  $R = 6400 \text{ km}$ ,  $q = 1 \text{ C}$ ,  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

Topish kerak:  $C - ?$ ,  $\varphi - ?$

Yechilishi: Sharning elektr sig'imi  $C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$  ekanligini bilgan holda hisoblaymiz va  $C = 711 \text{ mkF}$  ekanligini topamiz.  $\varphi = \frac{q}{C}$  dan  $\varphi = 1400 \text{ V}$  kelib chiqadi.

Javobi:  $1400 \text{ V}$ .

4. Yassi kondensator plastinkalar orasidagi potentsiallar ayirmasi  $U = 90 \text{ V}$ . Har bir plastinkalarning yuzi  $S = 60 \text{ sm}^2$  va zaryadi  $q = 10^{-9} \text{ C}$ . Plastinkalar orasidagi masofani toping.

Berilgan:  $U = 90 \text{ V}$ ,  $q = 1 \text{ nC}$ ,  $S = 60 \text{ sm}^2$

Topish kerak:  $d - ?$

Yechilishi: O'tkazgichning elektr zaryadi bilan potentsiali orasidagi bog'lanish formulasidan quyidagini yozamiz  $q = \frac{C}{U}$  (1). Ikkinchi tomondan yassi kondensator sig'imi uchun  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$  (2), bundan  $d = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{C}$  (3). (3) ni (1) ga ta'sir ettirib  $d = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U}{C}$  ekanini aniqlaymiz va hisoblaymiz. Javobi:  $d = 477.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ .

5. Plastinkalari orasidagi masofa havo bo'lgan yassi kondensator plastinkalarining yuzasi  $S = 0.01 \text{ m}^2$ , plastinkalar oralig'i esa  $d = 5 \text{ mm}$ . Agar razryad vaqtida  $4.19 \text{ mJ}$  issiqlik ajralib chiqishi uchun plastinkalar orasiga qancha potentsiallar farqi berish kerak?

Berilgan:  $R = 1 \text{ m}$ ,  $\varphi = 30 \text{ kV}$ ,  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ ,  $\epsilon = 1$

Topish kerak:  $U - ?$

Yechilishi: Zaryadlangan kondensator energiyasi  $W = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U^2}{2d}$  (1).

Razryad vaqtida bu energiya issiqlik ajralishga sarflanadi ya'ni  $Q = W$  va  $Q = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U^2}{d}$  (2). Bundan  $U = \sqrt{\frac{2dQ}{\epsilon\epsilon_0 S}}$  (3). Hisoblasak,  $U = 21.7 \text{ kV}$  kelib

chiqadi. Javobi:  $U = 21.7 \text{ kV}$

6. Uzunligi  $500 \text{ m}$  va diametri  $2 \text{ mm}$  bo'lgan mis simdan o'tayotgan tokning kuchi  $2 \text{ A}$  ga teng bo'lsa undagi kuchlanish topilsin.

$$\rho = 0.017 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}.$$

Berilgan:  $l = 500 \text{ m}$ ,  $d = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ,  $I = 2 \text{ A}$

Topish kerak:  $U - ?$

Yechilishi: Uzunligi  $l$  ga teng bo'lgan mis simdan o'tayotgan tok Om qonuniga ko'ra  $I = \frac{U}{R}$  (1), mis simning qarshiligi esa  $R = \rho \frac{l}{S}$  (2), bunda  $\rho -$

mis simning qarshiligi, esa ko'ndalang kesimining yuzasi bo'lib  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  (3) ga teng. (3) ga ko'ra (2) dan  $R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$  (4) va bu formulani (1) ga olib borib qo'ysak,  $U = IR = \frac{4I\rho l}{\pi d^2}$  (5). (5) ifoda hisoblansa  $5.4V$  kelib chiqadi. Javobi:  $U = 5.4V$ .

7. Quvvati  $40W$  bo'lgan  $120V$  li lampochka berilgan. Lampochka  $220V$  kuchlanishli tarmoqqa normal yonishi uchun unga ketma-ket qanday qo'shimcha qarshilik ulanishishi kerak? Shunday qarshilikni yasash uchun diametri  $0.3mm$  bo'lgan nixrom simdan necha metr olish kerak? Nixrom uchun  $\rho = 1 \Omega m \cdot m^2 / m$ .

Berilgan:  $P_l = 40W$ ,  $U_l = 120V$ ,  $U_t = 220V$ ,  $d = 0.3mm$

Topish kerak:  $R_q - ?$

$U_t$ -tarmoq kuchlanishi,  $U_q$ -qo'shimcha ulangan qarshilikdagi potesial tushuvi,  $P_l$ -lampochka quvvai,  $U_l$ -lampochka ulangandagi potesial tushuvi,  $R_q$ -ketma-ket ulangan qo'shimcha qarshilik.

Yechilishi: Qo'shimcha qarshilik ketma-ket ulanganligi uchun tok kuchi hamma qismlarda bir xil bo'ladi, kuchlanish esa  $U_t = U_l + U_q$  bo'lgani uchun  $U_q = U_t - U_l = 100V$ . Lampochka quvvati uchun  $P_l = U_l I$ , bundan tarmoqdagi tok kuchini topamiz:  $I = \frac{P_l}{U_l} = 0.33A$ . Tarmoqdagi tok kuchi

ma'lum bo'lgach qo'shimcha ulanishi kerak bo'lgan qarshilikni topish qiyin emas. Ohm qonuniga ko'ra  $R_q = \frac{U_q}{I} = 300\Omega$ . Ushbu  $300\Omega$  qarshilikni hosil qilish uchun kerak bo'ladigan nixrom simning uzunligi esa  $R_q = \rho_n \frac{l}{S}$  formuladan quyidagicha hisoblab topishimiz mumkin:

$l = \frac{R_q S}{\rho_n} = \frac{R_q \pi d^2}{4\rho_n}$ , nixromning solishtirma qarshiligi  $\rho_n = 10^{-6} \Omega \cdot m$  ni qo'yib

$l = 21.2m$  ni topamiz. Javobi:  $R_q = 300\Omega$   $l = 21.2m$ .

8. Mis simli galtak chulg'aming qarshiligi  $14^\circ C$  da  $10\Omega$  ga teng. Tokka ulagandan keyin chulgamning qarshiligi  $12.2\Omega$  ga teng bo'lib qoladi. Chulg'am qancha temperaturagacha qiziydi? Mis qarshiligining temperatura koeffitsienti  $6 \cdot 10^{-3} grad^{-1}$  ga teng.

Berilgan:  $t_1 = 14^\circ C$ ,  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 12.2\Omega$ ,  $\alpha = 4.15 \cdot 10^{-3} grad^{-1}$

Topish kerak:  $t_2 - ?$

Yechilishi: Mis simli g'altakning  $t_1$  temperaturadagi qarshiligi  $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$  (1),  $t_2$  temperaturada esa  $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$  (2), bunda  $R_0$   $t = 0^\circ C$  dagi qarshilik. (2) ni (1) ga bo'lsak,  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$  (3), (3) dan  $t_2$  ni topamiz  $t_2 = (R_2 / R_1)(1 + \alpha t_1) - 1 / \alpha$  (4). Masala shartidagi kattaliklarni (5) ga qo'ysak  $t_2 = 70^\circ C$  kelib chiqadi.

Javobi:  $t_2 = 70^\circ C$ .

9. Razryad trubkasining 10sm oraliqdagi elektrodlariga 5V potentsiallar ayirmasi berilgan. Trubka ichidagi gaz ionlashib, unda  $1m^3$  hajmdagi juft ionlar soni  $10^8$  ga teng. Ionlar harakatchanligi  $u_+ = 3 \cdot 10^{-2} m^2 / V \cdot s$  va  $u_- = 3 \cdot 10^2 m^2 / V \cdot s$ . 1) Trubkadagi tok zichligi va 2) musbat ionlar orqali to'la tokning qancha qismi o'tishini toping.

Berilgan:

$$U = 5V, d = 10sm = 0.1m, n = 10^8 m^{-3}, u_+ = 3 \cdot 10^{-2} m^2 / V \cdot s, u_- = 3 \cdot 10^2 m^2 / V \cdot s$$

Topish kerak:  $j - ?$ ,  $\frac{j^+}{j} - ?$

Yechilishi: Gazlardagi zichligi uncha katta bo'lmagan toklar uchun tok zichligi Om qonuniga ko'ra  $j = qn(u_+ + u_-)E$  (1). Masala shartiga ko'ra  $q = e = 106 \cdot 10^{-19} C$ ,  $E = \frac{U}{d}$  ekanligidan  $j = en \frac{(u_+ + u_-)U}{d}$  (2). (2) dan hisoblansa  $j = 0.24 \cdot 10^{-6} A / m^2$ . Masalaning ikkinchi shartini quyidagicha aniqlaymiz: musbat ionlar zichligi uchun  $j^+ = \frac{enu^+U}{d}$ , ushbu ifodaga

$$\text{ko'ra } \frac{j^+}{j} = \frac{enu^+U}{d} = \frac{enu^+U}{0.24 \cdot 10^{-6}} = \frac{enu^+U}{0.24 \cdot 10^{-6} d} = 10^{-4}. \text{ Javobi: } j = 0.24 \cdot 10^{-6} A / m^2, \frac{j^+}{j} = 10^{-4}.$$

10. Induksiyasi  $0.05Tl$  bo'lgan magnit maydonda uzunligi  $1m$  bo'lgan sterjen aylanmoqda. Aylanish o'qi sterjenning bir uchidan o'tgan bo'lib, u magnit maydonning kuch chiziqlariga parallel. Sterjenning har bir aylanishida u bilan kesishuvchi magnit oqimining o'zgarishi topilsin.

Berilgan:  $B = 0.05Tl$ ,  $l = 1m$

Topish kerak:  $\Phi - ?$

Yechilishi: Masala shartiga ko'ra magnit maydon induksiyasi  $B$  yoki magnit maydon kuchlanganligi  $H - S$  ga perpendikulyar bo'lganligidan:  $\Phi = BS$  (1). Sterjen aylanishidan hosil bo'lgan sirt  $S = \pi l^2$  (2).  $B = \mu\mu_0 H$  ekanligini hisobga olib  $\Phi = \mu\mu_0 H \pi l^2$  (3) formulani hosil qilamiz va hisoblansa  $\Phi = 157mWb$  kelib chiqadi. Javobi:  $\Phi = 157mWb$ .

11. Bir xil tezlik bilan harakatlangan proton va elektron bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi. Proton trayektoriyasining egrilik radiusi  $R_1$  elektron trayektoriyasi radiusi  $R_2$  dan qancha katta bo'ladi?

Berilgan:  $\vartheta_1 = \vartheta_2$

Topish kerak:  $\frac{R_1}{R_2} - ?$

Yechilishi: Magnit maydoni tomonidan elektron va protonga Lorens kuchi ta'sir qiladi:  $F_1 = F_2 = qB\vartheta$  (1) chunki bir jinsli ( $B = const$ ) magnit maydonda elektron va proton bir xil tezlikda harakatlanganligi uchun ya'ni  $\vartheta_1 = \vartheta_2$  bo'lganligi uchun  $F_1 = F_2$  kelib chiqadi, o'z navbatida zarralar quyidagi bir xil tezlanish bilan harakatlanadi  $a = \frac{F}{m} = \frac{qB\vartheta}{m}$  (2).

Agar  $a = \frac{\vartheta^2}{R}$  ekanligini inobatga olsak  $\frac{qB\vartheta}{m} = \frac{\vartheta^2}{R}$  kelib chiqadi bundan

$R_2 = \frac{m_e \vartheta}{q_e B}$  -elektron uchun,  $R_1 = \frac{m_p \vartheta}{q_p B}$ , ikalasini nisbatidan hisonlasak,

$\frac{R_1}{R_2} = \frac{m_p}{m_e} = 1840$ . Javobi: 1840 marta.

12. Kichik diametrlil va  $l = 30 \text{ sm}$  uzunlikdagi solenoid ichida magnit maydon energiyasining hajmiy zichligi  $1.35 \text{ J/m}^3$  ga teng bo'lishi uchun amper o'ramlar soni qancha bo'lishi kerak?

Berilgan:  $l = 30 \text{ sm} = 0.3 \text{ m}$ ,  $W_0 = 1.75 \text{ J/m}^3$

Topish kerak:  $IN - ?$

Yechilishi: Bizga ma'lumki,  $w_0 = \frac{HB}{2}$  (1). Solenoid uchun magnit

maydon kuchlanganligi  $H = nI = I \frac{N}{l}$  (2). Agar  $B = \mu\mu_0 H$  ekanligini

inobatga olsak  $w = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$  (3). Bunga (2) ni ta'sir ettirsak,

$w_0 = \frac{\mu\mu_0 (IN)^2}{2l^2}$  (4) va bundan  $IN = l \sqrt{\frac{2w_0}{\mu\mu_0}}$  bo'ladi va hisoblashlar

natijasida  $IN = 500 \text{ A} \cdot \text{o'ram}$  degan javobga ega bo'lamiz. Javobi:  $IN = 500 \text{ A} \cdot \text{o'ram}$ .

13. Induksiyasi  $1 \text{ Tl}$  bo'lgan magnit maydoniga yuzi  $0.01 \text{ m}^2$  bo'lgan doiraviy sim joylashtirilgan. O'ram tekisligi magnit maydoniga tik. Maydon 0.01 sekund uzib qo'yilsa, o'ramda hosil bo'lgan EYUK ning o'rtacha qiymatini toping.

Berilgan:  $B = 1 \text{ Tl}$ ,  $S = 0.01 \text{ m}^2$ ,  $t = 10 \text{ s}$



Topish kerak:  $\varepsilon_i - ?$

Yechilishi: Faradeyning elektromagnit induksiya qonuniga ko'ra

$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$  (1), bu yerda  $d\Phi = SdB$  (2), masala shartiga ko'ra B kattalik

$lI$  dan 0 gacha o'zgaradi va  $\Delta B = -1 Tl$ . Shunga ko'ra  $\varepsilon_i = -\frac{SdB}{dt}$  (3).

(3) ni hisoblanadi.

Javobi:  $\varepsilon_i = 1 V$ .

14. O'ramlari soni 400 bo'lgan g'altakning uzunligi 20 sm va ko'ndalang kesimi  $9 \text{ sm}^2$ . 1) G'altakning induktivligi va 2) shu g'altak ichiga temir o'zak kiritilgandagi induktivligi topilsin. Shu sharoitda o'zakning magnit kirituvchanligini 400 deb oling.

Berilgan:  $l = 20 \text{ sm} = 0.2 \text{ m}$ ,  $N = 400$ ,  $S = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ,  $\mu = 400$

Topish kerak:  $L_1 - ?$ ,  $L_2 - ?$

Yechilishi: g'altakning induktivligi:  $L = \mu\mu_0 n^2 lS$ , bunda  $n = \frac{N}{l}$  bo'lgani

uchun  $L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} S$ . Javobi:  $L_1 = 0.9 \text{ mH}$ ,  $L_2 = 0.36 \text{ H}$ .

15. O'zgaruvchan tok kuchlanishi  $u = U_0 \sin(\omega t + \pi/6)$  qonuni bo'yicha o'zgaradi. Davrning  $1/12$  ulushidagi bu kuchlanishning oniy qiymati  $u = 10\sqrt{3}$  bo'lsa, uning amplitudaviy qiymatini toping.

Berilgan:  $t = \frac{T}{12}$ ,  $u = 10\sqrt{3} \text{ V}$ ,  $u = U_0 \sin(\omega t + \pi/6)$

Topish kerak:  $U_0 - ?$

Yechilishi: Kuchlanishning o'zgarish qonunini  $u = U_0 \sin(\frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{6})$  deb yozib olib, unga  $t$  ning va  $u$  ning qiymatlarini qo'yamiz:

$$10\sqrt{3} = U_0 \sin(\frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{6}), U_0 = \frac{10\sqrt{3}}{\sin(\frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{6})} = 20 \text{ V}. \text{ Javobi: } U_0 = 20 \text{ V}.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Ikkita nuqtaviy zaryad o'zaro ta'sir kuchining ular orasidagi masofaga bog'lanish grafigi chizilsin. Grafik  $2 \leq r \leq 10 \text{ sm}$  intervalda 2 sm oraliq bilan chizilsin. Zaryadlar miqdori mos ravishda  $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  va  $3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ .

2. Ikkita protonning Nyuton tortishish kuchi ularning Kulon itarishish kuchidan necha marta kichik? Protonning zaryadi miqdor jihatdan elektron zaryadiga teng ( $1.25 \cdot 10^{36}$  marta).
3. Zaryadi  $q$  va massasi  $m$  bo'lgan ikkita zarrachaning elektrostatik o'zaro ta'sir energiyasi ularning gravitatsion o'zaro ta'sir energiyasidan necha marta katta? Masalani: 1) elektronlar uchun, 2) protonlar uchun yeching.

$$\left( \frac{W_{el}}{W_{gr}} = 4.17 \cdot 10^{42}, \frac{W_{pr}}{W_{gr}} = 1.24 \cdot 10^{36} \right).$$

4. Massasi  $m = 3 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ , zaryadi  $q_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  bo'lgan sharcha havo ( $\varepsilon = 1$ ) da tok o'tkazmaydigan ingichka ipga osilgan. Agar sharchadan pastga  $r = 0.1 \text{ m}$  masofada ikkinchi  $q_2 = -1.5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  zaryad joylashtirilgan bo'lsa, ipning taranglik kuchini toping. Og'irlik kuchining tezlanishini  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  deb oling. ( $32.1 \text{ N}$ ).
5. Og'irligi  $980 \text{ mN}$ , zaryadi  $q = 20 \text{ nC}$  bo'lgan sharcha havo ( $\varepsilon = 1$ ) da ingichka ipak ipga osilgan. Ipning taranglik kuchi ikki marta kamayishi uchun pastga bu zaryadga ishorasi va miqdori bir xil bo'lgan boshqa bir zaryadni qanday masofaga joylashtirish lozim? ( $8.57 \text{ sm}$ ).
6. Uzunligi  $l = 20 \text{ sm}$  bo'lgan iplarga osilgan ikkita bir-xil sharcha bir-biriga tegib turibdi. Sharchalarga umumiy  $q_0 = 0.4 \text{ mC}$  zaryad berilgandan keyin, ular bir-biridan shunday uzoqlashganki, bunda iplar orasidagi burchak  $\alpha = 60^\circ$  ni tashkil etgan. Har bir sharchaning massasini toping. ( $1.59 \text{ g}$ ).
7. Har birining uzunligi  $60 \text{ sm}$  dan bo'lgan ikkita ipak ipga massalari  $0.42 \text{ g}$  bo'lgan ikkita sharcha osilgan. Bu iplarning bir uchi bitta nuqtaga mahkamlangan bo'lib ikkinchi uchiga mahkamlangan sharlar bir xilda zaryadlanib suvga tushirilgan. Agar sharlar itarishish kuchi tufayli bir-biridan  $6 \text{ sm}$  uzoqlashgan bo'lsa ularda qancha zaryad bor? Suv uchun  $\varepsilon = 81$  ga teng ( $q = 79.6 \text{ nC}$ ).
8. Bir-biridan  $5 \text{ sm}$  masofada turgan ikkita zaryad  $\varepsilon_1 = 1$  bo'lgan muhitda  $120 \text{ mN}$  kuch bilan ta'sirlashmoqda, boshqa muhitda  $10 \text{ sm}$  masofada  $15 \text{ mN}$  kuch bilan ta'sirlashmoqda.  $\varepsilon_2$  ni toping ( $\varepsilon_2 = 2$ ).
9. Har bir uchida  $2.33 \text{ nC}$  zaryad turgan kvadratning markaziga manfiy zaryad joylashtirilgan. Agar har zaryadga ta'sir etuvchi natijaviy kuch nolga teng bo'lsa, markazdagi zaryad miqdori qancha? ( $q = -2.23 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ).

10. Muntazam oltiburchakning uchlariga uchta musbat va uchta manfiy zaryad joylashtirilgan. Har bir zaryadning miqdori  $q = 1.5nC$ . Oltiburchakning tomoni 3 sm. Bu zaryadlarni turli kombinatsiyalarda joylashtirib, oltiburchak markazidagi elektr maydon kuchlanganligi toping (Zaryadlarning joylashishiga qarab  
 1)  $E = 0$ , 2)  $E = 6 \cdot 10^4 V/m$ , 3)  $E = 3 \cdot 10^4 V/m$ ).
11. Radiusi va og'irligi bir xil bo'lgan ikkita sharcha iplarga osilgan bo'lib, ularning sirtlari bir-biriga tegib turadi. Osilish no'qtasidan sharchaning markazigacha bo'lgan masofa 10 sm. Har bir sharchaning og'irligi  $5 \cdot 10^{-13} kG$ . Iplarning tarangligi  $0.098N$  ga teng bo'lishi uchun sharchalarga qancha zaryad berish kerak? ( $q = 1.1 \cdot 10^{-6} C$ ).
12. Radiusi va og'irligi bir xil bo'lgan zaryadlangan ikkita sharchani bir xil zaryadlangan ikkita sharchani bir xil uzunlikdagi iplarga osib, zichligi  $\rho_1$  va dielektrik kirituvchanligi  $\epsilon$  bo'lgan suyuq dielektrikka tushirildi. Havoda va dielektrikda iplarning bir-biridan uzoqlashish burchagi bir xil bo'lishi ushun sharchalar materialining zichligi qancha bo'lishi kerak? ( $\rho = \frac{\epsilon \rho_1}{\epsilon - 1}$ ).
13.  $3 \cdot 10^{-8} C/cm$  chiziqli zichlikda, bir xil ishorada zaryadlangan va bir-biridan 2 sm uzoqlikda bo'lgan ikkita cheksiz uzun iplar (uzunlik birligida) qanday kuch bilan itarishadi? Bu iplar bir-biriga 1 sm gacha yaqinlashtirish uchun (uzunlik birligida) qanday ish bajarish kerak?  
 ( $\frac{F}{l} = 8.1 N/m$ ,  $\frac{A}{l} = 0.112 J/m$ ).
14. Diametri 1 sm bo'lgan mis shar yog' ichiga joylashtirilgan. Yog'ning zichligi  $\rho = 800 kG/m^3$ . Agar bir jinsli elektr maydonida shar yog' ichida muallaq bo'lsa, sharining radiusi qancha bo'ladi?  
 ( $q = \frac{4\pi r^3 g(\rho_1 - \rho_2)}{3E} = 1.1 \cdot 10^{-8} C$ ).
15. Gorizontal holatdagi yassi kondensator plastinkalari orasi zaryadlanib simob tomchisi muvozanat holatida turibdi. Elektr maydonning kuchlanganligi  $E = 600V/sm$ . Tomchi zaryadi  $0.8nC$  ga teng. Tomchining zaryadini toping.  
 ( $r = 4.4 \cdot 10^{-7} m$ ).
16.  $10^8 sm/s$  tezlik bilan qarama-qarshi harakatlanayotgan ikkita elektron bir-biriga qancha masofagacha yaqinlashishi mumkin? ( $r = 5.1 \cdot 10^{-10} m$ ).

17. Radioaktiv yemirilishda poloniy atomining yadrosidan  $\alpha$ -zarracha  $1.6 \cdot 10^9 \text{ sm/s}$  tezlik bilan uchib chiqadi.  $\alpha$ -zarrachaning kinetik energiyasi va  $\alpha$ -zarrachani xuddi shunday tezlikda haydab chiqarishdagi maydon potentsiallarining ayirmasi topilsin  
( $W = 8.5 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ ,  $U = 2.66 \cdot 10^6 \text{ V}$ )
18. Zaryadlangan cheksiz uzun ipdan  $r_1 = 4 \text{ sm}$  oraliqda  $q = 2/3 \text{ nC}$  nuqtaviy zaryad turibdi. Maydon ta'sirida zaryad  $r_2 = 2 \text{ sm}$  oraliqqa siljiydi, bunda  $A = 50 \text{ erg}$  ish bajaradi. Ipdagi zaryadning chiziqli zichligi topilsin ( $\tau = 6 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}$ ).
19. Musbat zaryadlangan cheksiz uzun ip elektr maydoni hosil qilgan. Shu maydon ta'sirida  $\alpha$ -zarracha ipdan  $x_1 = 1 \text{ sm}$  uzoqlikdagi nuqtadan  $x_2 = 4 \text{ sm}$  uzoqlikdagi nuqtaga qarab harakatlanib o'z tezligini  $2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  dan  $3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  ga o'zgartirdi. Ipdagi zaryadning chiziqli zichligi topilsin ( $\tau = 3.7 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}$ ).
20.  $1 \text{ sm}$  radiusli,  $4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  zaryadli shar yog' ichiga joylashtirilgan. Shar sirtidan  $x = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ sm}$  uzoqlikdagi maydon nuqtalaridan  $U = f(x)$  bog'lanish grafigini chizing.
21. Massasi  $1 \text{ g}$  va zaryadi  $10^{-8} \text{ C}$  bo'lgan sharcha potentsiali  $600 \text{ volt}$ ga teng bo'lgan  $A$  nuqtadan potentsiali nolga teng nuqtaga ko'chirildi. Agar sharcha  $B$  nuqtada  $20 \text{ sm/s}$  tezlikka erishgan bo'lsa, uning  $A$  nuqtadagi tezligi qanday bo'lgan?  
( $g = 16.7 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ ).
22. Bir jinsli elektr maydonida elektron  $10^{14} \text{ sm/s}^2$  tezlanish oladi. 1) Elektr maydon kuchlanganligi, 2) boshlang'ich tezligi nolga teng bo'lgandagi elektronning  $10^{-6} \text{ s}$  da oladigan tezligi, 3) bu vaqt ichida elektr maydon kuchining bajargan ishi hamda 4) bunda elektronning o'tgan potentsiallar ayirmasini toping.  
( $E = 5.7 \text{ V/m}$ ,  $g = 10^6 \text{ m/s}$ ,  $A = 4.5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ,  $U = 2.8 \text{ V}$ ).
23.  $R_1 = 10 \text{ sm}$  va  $R_2 = 10.5 \text{ sm}$  radiusli ikkita konsentrik sferadan iborat sferik kondensatorning sig'imi topilsin. Sferalar orasidagi bo'shliq yog' bilan to'ldirilgan. Yog'ga joylashtirilgan shar xuddi shunday sig'imga ega bo'lishi uchun uning radiusi qancha bo'lishi kerak?  
( $C = 1.17 \cdot 10^{-9} \text{ F}$ ,  $R = 2.1 \text{ m}$ ).
24.  $3000 \text{ V}$  potentsialgacha zaryadlangan  $10 \text{ sm}$  radiusli  $A$  sharni kuchlanish manbaidan uzib (sig'imi hisobga olinmaydigan) sim bilan oldin uzoqlashtirilgan zaryadsiz  $B$  sharga ulandi, so'ngra  $B$  shardan uzilgandan so'ng uzoqlashtirilgan zaryadsiz  $C$  sharga ulandi.  $C$  va  $B$

- sharlarning radiusi 10 sm. 1)  $A$  sharining boshlang'ich energiyasi 2) ulangandan keyin  $A$  va  $B$  sharlarning energiyasi va ulanishdagi razryad ishi, 3) ulangandan keyin  $A$  va  $C$  sharlarning energiyasi va ulanishdagi razryad ishini toping
- (1)  $5 \cdot 10^{-5} J$ , 2)  $E = 1.25 \cdot 10^{-5} J$ ,  $A = 2.5 \cdot 10^{-5} J$ , 3)  $E = 31.25 \cdot 10^{-7} J$ ,  $A = 62.5 \cdot 10^{-7} J$ ).
25.  $U_1 = 20 V$  potentsiallar farqigacha zaryadlangan kondensator  $C_2 = 33 \text{ mkF}$  sig'imli  $U_2 = 4 V$  potentsiallar farqigacha zaryadlangan boshqa kondensator bilan parallel ulangan. Agar kondensatorlar ulangandan keyin ularning qoplamalaridagi kuchlanish  $U = 2 V$  bo'lsa, kondensatorlar o'zaro har xil ishorali zaryadlangan qoplamalar bilan ulangan deb olib birinchi kondensator sig'imini toping
- ( $C_1 = 11 \text{ mkF}$  yoki  $C_1 = 3 \text{ mkF}$ ).
26. Yassi kondensator qoplamalari orasi bir xil  $d = 0.5 \text{ mm}$  qalinlikdagi shisha ( $\epsilon_1 = 7$ ), slyuda ( $\epsilon_2 = 6$ ) va parafinlangan qog'oz ( $\epsilon_3 = 2$ ) dan iborat dielektriklar bilan to'ldirilgan. Agar kondensator qoplamalarining yuzi  $S = 200 \text{ sm}^2$  bo'lsa, kondensatorning elektr sig'imini toping ( $C = 437 \text{ pF}$ ).
27. Radiuslari mos ravishda  $R_1 = 5 \text{ sm}$ ,  $R_2 = 10 \text{ sm}$ ,  $R_3 = 15 \text{ sm}$  va zaryadlari  $q_1 = 200 \text{ nC}$ ,  $q_2 = 300 \text{ nC}$ ,  $q_3 = 500 \text{ nC}$  bo'lgan uchta metal shar ingichka sim bilan ulanganda sharlarda qayta taqsimlangan  $q'_1, q'_2, q'_3$  zaryadlar va potensialini toping ( $q'_1 = 1/6 \text{ mkC}$ ,  $q'_2 = 1/3 \text{ mkC}$ ,  $q'_3 = 1/2 \text{ mkC}$ ,  $\varphi = 30 \text{ kV}$ ).
28. Agar boshlang'ich tezlikka ega bo'lmagan elektron yassi kondensatorida bir plastinkadan ikkinchi plastinkagacha bo'lgan masofani o'tganda  $\vartheta = 10^9 \text{ sm/s}$  tezlikka erishgan bo'lsa, kondensator qoplamalaridagi zaryadlarning sirt zichligini toping. Kondensator qoplamalari orasidagi masofa  $d = 3 \text{ sm}$ , elektronning massasi  $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , zaryadi  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . ( $\sigma = 8.4 \cdot 10^{-8} \text{ C/m}^2$ )
29. 2sm radiusli zaryadlangan  $A$  shar 3sm radiusli  $B$  sharga tekkizildi. Keyin sharlarni bir-biridan ajratganda  $B$  sharining energiyasi  $0.4 J$  ga teng bo'lib qoldi. Tekkizilguncha  $A$  sharda qancha zaryad bo'lgan?
- ( $q = 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ).
30. Fotokamera chaqmog'i  $C = 600 \text{ mkF}$  sig'imli kondensator orqali  $U = 330 V$  kuchlanish ostida qancha zaryad yig'adi? Chaqnash davomiyligi  $t = 1 \text{ mks}$  bo'lsa quvvat sarfini hisoblang.
- ( $W = 36 J$ ,  $P = 36 \text{ kW}$ )

31. Har birining yuzi  $100 \text{ sm}^2$  bo'lgan kondensator plastinkalari potentsiallari ayirmasi  $280 \text{ V}$ . Plastinkalardagi zaryadning sirt zichligi.
- 1) Kondensator ichidagi maydon kuchlanganligi,
  - 2) plastinkalar oralig'i,
  - 3) elektronning kondensatorning bir plastinkasidan to ikkinchi plastinkasigacha bo'lgan masofani o'tishidagi olgan tezligi,
  - 4) kondensatorning energiyasi,
  - 5) kondensatorning sig'imi,
  - 6) kondensator plastinkalarining o'zaro tortishish kuchini toping
- 1)  $P = 560 \text{ V} / \text{sm}$ , 2)  $d = 5 \text{ mm}$ , 3)  $\mathcal{G} = 10^7 \text{ m} / \text{s}$ , 4)  $W = 6.95 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ ,  
 5)  $C = 1.77 \cdot 10^{-11} \text{ F}$ , 6)  $13.9 \cdot 10^{-5} \text{ N}$ .
32. Ikkita bir xil zaryadlangan kondensatorlar bir xil qutblari bilan o'zaro tutashtirilgan. Kondensator qoplamalarining yuzi  $s$  va ularning umumiy zaryadi  $q$  ga teng. Kondensator qoplamalari orasidagi masofa birinchi kondensator uchun  $d_1 = d_0 + \mathcal{G}t$ , ikkinchi kondensator uchun esa  $d_2 = d_0 + \mathcal{G}t$  qonuniyat bo'yicha o'zgargan bo'lsa zanjirdan o'tuvchi tok kuchini toping.
- $(I = \frac{q\mathcal{G}}{2d_0})$ .
33. Quyidagi hollarda nuqtadagi elektr maydon energiyasining hajm zichligi topilsin: 1) nuqta  $1 \text{ sm}$  radiusli zaryadlangan shar sirtidan  $2 \text{ sm}$  uzoqlikda, 2) cheksiz zaryadlangan tekislik yaqinida va 3) zaryadlangan cheksiz uzun ipdan  $2 \text{ sm}$  uzoqlikda joylashgan. Shar va tekislikdagi zaryadning sirt zichligi  $1.67 \cdot 10^{-5} \text{ C} / \text{m}^2$  va ipdagi zaryadning chiziqli zichligi  $1.67 \cdot 10^{-7} \text{ C} / \text{m}$ . Uchala hol uchun muhitning dielektrik singdiruvchanligini  $\epsilon$  ga teng deb oling.
- 1)  $W_0 = \frac{\sigma^2 R^2}{2\epsilon\epsilon_0(R+x)^4} = 9.7 \cdot 10^{-2} \text{ J} / \text{m}^3$ , 2)  $W_0 = \frac{\sigma^2}{8\epsilon\epsilon_0} = 1.97 \text{ J} / \text{m}^3$ ,  
 3)  $W_0 = \frac{r^2}{8\pi^2 \epsilon\epsilon_0 x^2} = 0.05 \text{ J} / \text{m}^3$ .
34. Tok kuchi  $I$  vaqt  $t$  ga qarab  $I = 4 + 2t$  tenglama buyicha o'zgaradi, bunda  $I$  amperlarda va  $t$  sekundlarda ifodalangan. 1) Utkazgihning ko'ndalang kesimidan  $t_1 = 2 \text{ s}$  dan  $t_2 = 6 \text{ s}$  gacha vaqt oralig'ida o'tadigan elektr miqdori va 2) shu vaqt oralig'ida o'tkazgich ko'ndalang kesimidan shuncha elektr miqdori o'tishi uchun o'zgarmas tokning kuchi qancha bo'lishi kerakligini aniqlang.
- (1)  $q = 48 \text{ C}$ , 2)  $I = 12 \text{ A}$ ).
35. Elektr lampochkasi volfram ipining qarshiligi  $20^\circ \text{C}$  da  $35,8 \Omega$  ga teng,  $120 \text{ V}$  kuchlapishli elektr tarmog'iga ulangan lampochka

tolasidan  $0,33 A$  tok o'tsa, uning temperaturasi qancha bo'ladi? Volfram qarshiligining temperatura koeffisienti  $4.6 \cdot 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$  ga teng ( $t_2 = \frac{R_2 - R_0}{R_0 \alpha} = 2200^\circ C$ ).

36. Elementni oldin  $R_1 = 2 \Omega$  li tashqi qarshilikka so'ngra  $R_2 = 0.5 \Omega$  li tashqi qarshilikka ulandi. Bu hollarning har birida tashqi zanjirda olinadigan quvvat bir xil va  $2.54 W$  ga teng bo'lsa, elementning *EYUK* i va uning ichki qarshiligini toping.

( $\varepsilon = 4V, r = 1\Omega$ ).

37. Doiraviy kontur tekisligi magnit maydoniga, maydon kuch chiziqlari bilan  $90^\circ$  burchak hosil qiladigan qilib o'rnatilgan. Magnit maydonining kuchlanganligi  $2000 \text{ ersted}$ . Konturning radiusi  $2 \text{ sm}$  bo'lib, undan  $2 A$  tok o'tadi. O'tkazgichning harakat tezligi  $20 \text{ sm/s}$  va magnit maydoni yo'nalishiga tik yo'nalgan. 1) O'tkazgich 10 sekund davomida harakat qilgandagi bajargan ishi va 2) shu harakatga sarflangan quvvat topilsin.  $1 \text{ ersted} = \frac{1}{4\pi} 10^{-3} A/m$

( $A = 0.2 J, P = 2 \cdot 10^{-2} W$ ).

38. Kvadrat ramka simga shunday osilganki, magnit maydonining kuch chiziqlari ramka tekisligiga o'tkazilgan normal bilan  $90^\circ$  burchak tashkil qiladi. Ramkaning tomonlari  $1 \text{ sm}$ . Maydonning magnit induksiyasi  $1.37 \cdot 10^2 Tl$ . Ramka bo'ylab  $I = 1 A$  tok o'tganda, u  $1^\circ$  burchakka buriladi. Simning siljish moduli topilsin. Simning uzunligi  $10 \text{ sm}$ , ipning radiusi  $0.1 \text{ mm}$  ( $5 \cdot 10^{10} N/m^2$ ).

39.  $300 V$  potentsiallar ayirmasi bilan tezlashtirilgan elektron  $4 \text{ mm}$  uzoqlikdagi to'g'ri uzun simga parallel ravishda harakatlanadi. Simdan  $5 A$  tok o'tsa, elektronga qanday kuch ta'sir qiladi? ( $4 \cdot 10^{-16} N$ ).

40. Elektron magnit maydoniga uning kuch chiziqlariga tik uchib kiradi. Elektronning tezligi  $g = 4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ . Magnit maydonining induksiyasi  $10^{-3} Tl$ . Magnit maydonida elektronning normal va tangensial tezlanishi qanchaga teng bo'ladi? ( $a_t = 0, a_n = \text{const} = 7 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$ ).

41. Zaryadli zarracha aylana bo'yicha  $10^6 \text{ m/s}$  tezlik bilan magnit maydonida harakat qiladi. Magnit maydonining induksiyasi  $0.3 Tl$ . Aylananing radiusi  $4 \text{ sm}$ . Zarrachaning energiyasi  $12 \text{ keV}$  ga teng bo'lganda uning zaryadini toping.

( $q = 3.2 \cdot 10^{19} C$ ).

42. Ikki parallel cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgich vakkumda bir-biridan  $r = 40 \text{ sm}$  masofada joylashgan. Agar ularning biridan  $I_1 = 12 \text{ A}$ , ikkinchisidan esa  $I_2 = 18 \text{ A}$  tok o'tayotgan bo'lsa, simlarning uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi kuchini toping ( $F/l = 1.08 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}$ ).
43.  $I = 12.5 \text{ A}$  tok o'tayotgan, tomonlari  $l = 40 \text{ sm}$  dan bo'lgan kvadrat kontur joylashgan. O'tkazgich bilan kontur bir tekislikda yotadi. Agar to'g'ri o'tkazgichdan konturning eng yaqin tomonigacha bo'lgan masofa  $a = 10 \text{ sm}$  bo'lsa, konturga ta'sir qiluvchi kuchni toping ( $F = 32 \text{ mN}$ ).
44. Vakuumba har bir metrining massasi  $m/l = 20 \text{ g/m}$  bo'lgan ikki parallel cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgichlarga parallel joylashgan o'qqa uzunligi  $l_0 = 10 \text{ sm}$  ga teng vaznsiz iplar bilan osilgan. Agar o'tkazgichlardan miqdor jihatdan teng va qarama-qarshi yo'nalgan toklar o'tganda iplar vertikalidan  $\alpha = 20^\circ$  burchakka og'gan bo'lsa, tok kuchuning qiymatini toping.
45. Galvanometrning  $N = 40$  ta o'ramli to'g'ri to'rtburchak shalkidagi ramkasi  $B_0 = 0.8 \text{ Tl}$  induksiyali bir jinsli magnit maydonda joylashgan. Agar ramkaga  $M_{\max} = 6.4 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$  bo'lgan maksimal aylantiruvchi kuch ta'sir etayotgan bo'lsa, ramkadan o'tayotgan tokning kuchini toping ( $I = 0.02 \text{ A}$ ).
46. Induksiyasi  $B = 0.2 \text{ Tl}$  bo'lgan bir jinsli magnit maydonda  $r = 30 \text{ sm}$  radiusli, o'ramlar soni  $N = 75$  bo'lgan yupqa g'altak turibdi. Agar g'altak o'ramlari orqali  $I = 8 \text{ A}$  tok o'tayotgan bo'lsa, g'altakning magnit momenti va g'altakka ta'sir etuvchi aylantiruvchi kuch momenti nimaga teng bo'ladi? G'altak tekisligiga o'tkazilgan normal bilan magnit induksiyasi orasidagi burchak  $\alpha = 30^\circ$  ( $p_m = 170 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ,  $M = 1.6 \text{ N} \cdot \text{m}$ ).
47. Vertikal holatda joylashgan o'tkazgich bo'ylab yuqoridan pastga  $I = 8 \text{ A}$  tok o'tadi. Yer va tok magnit maydonlari qo'shilishidan hosil bo'lgan maydonning kuchlanganligi o'tkazgichdan qanday  $r$  uzoqlikda yuqoriga vertikal yo'nalgan bo'ladi? Yer maydonining gorizontal tashkil etuvchisi  $H_2 = 0.2 \text{ ersted}$   $1 \text{ ersted} = \frac{1}{4\pi} 10^{-3} \text{ A/m}$  ( $r = 0.08 \text{ m}$ ).
48.  $U = 3000 \text{ V}$  potentsiallar ayirmasi bilan tezlashtirilgan elektron solenoid magnit maydoni ichiga uning o'qiga nisbatan  $\alpha = 30^\circ$  burchak ostida uchib kiradi. Solenoidning amper-o'ramlar soni 5000. Solenoid uzunligi 25 sm. Solenoid magnit maydonidagi elektron vintsimon trayektoriyasining qadami topilsin.



$$(l = 3.94 \text{ sm}).$$

49. O‘ramlari soni  $N = 100$  va ko‘ndalang kesimi yuzi  $S = 50 \text{ sm}^2$  bo‘lgan solenoid vakuumdagi bir jinsli magnit maydonda chulg‘aming tekisligi kuch chiziqlariga perpendikulyar ravishda joylashgan. Solenoid  $t = 0.1 \text{ s}$  vaqt ichida  $180^\circ$  burchakka burilganda solenoidda hosil bo‘ladigan induksion elektr yurituvchi kuchni toping. Magnit maydon kuchlanganligi  $H = 5 \cdot 10^4 \text{ A/m}$  ( $\varepsilon = 0.628 \text{ V}$ ).
50. Toroid temir o‘zagining uzunligi  $l_2 = 1 \text{ m}$ , havo bo‘shlig‘ining uzunligi  $l_1 = 3 \text{ mm}$ . Toroid o‘ramlarining soni  $N = 2000$ . Cho‘lg‘amlardan  $I = 1 \text{ A}$  tok o‘tganda havo bo‘shlig‘idan magnit maydonning kuchlanganligini toping  
( $H_1 = \frac{B_1}{\mu_0 \mu_1} = 6.2 \cdot 10^5 \text{ A/m}$ ).
51. Toroid temir o‘zagining uzunligi  $2 \text{ mm}$ . Toroid chulg‘amlarining amper-o‘ramlar soni  $2000$ . Shu amper-o‘ram miqdorida havo bo‘shlig‘ining uzunligi ikki marta orttirilganda, havo bo‘shlig‘ining magnit maydon kuchlanganligi qancha marta kamayadi? ( $1.9$  marta).
52.  $20 \text{ mkF}$  sig‘imlik kondensator va  $130 \Omega$  aktiv qarshilikka ega reostat  $50 \text{ Hz}$  chastotali o‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan. 1)  
Kondensator dagiva 2)  
reostat dagi kuchlanishning tushishi zanjirga berilgan kuchlanishning qancha qismini tashkil qiladi? ( $72.5\%$ ,  $68.5\%$ ).
53. Kondensator bilan elektr lampochka  $440 \text{ V}$  kuchlanishli va  $50 \text{ Hz}$  chastotali o‘zgaruvchan tok zanjiriga ulangan. Lampochkadan  $0.5 \text{ A}$  tok o‘tishi va lampochkadagi potensialning tushishi  $110 \text{ V}$  ga teng bo‘lishi uchun kondensatorning sig‘imi qanday bo‘lishi kerak?  
( $C = 3.74 \text{ mkF}$ ).
54.  $220 \text{ V}$  kuchlanishli o‘zgaruvchan tok zanjiriga  $C$  sig‘im,  $R$  aktiv qarshilik va  $L$  induktivlik ketma-ket ulangan. Kondensator dagi kuchlanishning tushishi  $U_C = 2U_R$  va induktivlik dagi kuchlanishning tushishi  $U_L = 3U_R$  bo‘lsa, aktiv qarshilik dagi kuchlanish tushuvi  $U_R$  topilsin ( $U_R = 156 \text{ V}$ ).

## II BO‘LIM. TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR

### 8-§. Tebranma harakatlar

U yoki bu darajada takrorlanuvchanligi bilan ajralib turadigan jarayonlarga tebranishlar deyiladi. Takrorlanayotgan jarayonning fizik tabiatiga qarab tebranishlar mexanik, elektromagnit, elektromexanik vahokozo tebranishlarga ajraladi. Tebranishlar tabiatda va texnikada keng tarqalgan. Ko‘p hollarda ular salbiy oqibatlarga olib kelishi mumkin. Poezd relsining turtkilar ta’sirida ko‘prikning tebranishi, suzish vintining aylanishi natijasida kema tanasining tebranishi, samolyot qanotida hosil bo‘ladigan tebranishlar halokatga olib keladigan jarayonlardir. Bunday hollarda vazifa tebranishlarni yuzaga kelishiga yo‘l qo‘ymaslik yoki tebranishlarning xavfli chegarasiga ko‘tarilishiga qarshi kurashishdan iborat.

Tebranayotgan tizimga ko‘rsatilayotgan ta’sirning tavsifiga qarab, erkin tebranishlarga, majburiy tebranishlarga, avtotebranishlarga va parametrik tebranishlarga ajratiladi.

Bir marta turtki berilgandan yoki muvozanat holatidan chiqarilgandan keyin davom etadigan tebranishlarga erkin tebranishlar deyiladi. Bunga misol qilib ipga osilgan sharchani (mayatnikni) olish mumkin. Tebranishlar hosil qilish uchun sharchani turtib yuborish yoki muvozanat vaziyatdan chiqarib qo‘yib yuborish kifoya. Davriy ravishda o‘zgaruvchi tashqi kuch ta’sirida bo‘ladigan tebranishlar majburiy tebranishlar deyiladi.

Avtotebranishlar vaqtida majburiy tebranishlardagi kabi tebranuvchi tizimga tashqi kuchlar ta’sir qiladi, ammo bunday ta’sir ko‘rsatilishi zarur bo‘lgan vaqt momentlarini tebranuvchi tizimning o‘zi belgilaydi. Avtotebranuvchi tizimga mayatnikli soatni misol qilib olish mumkin. Mayatnik ko‘tarib qo‘yilgan toshning yoki buralgan prujinaning energiyasi hisobiga turtki olib turadi, bunda bu turtkilar mayatnik o‘rta holatdan o‘tayotgan momentlardagina beriladi.

Parametrik tebranishlar vaqtida tashqi ta’sir hisobiga tizimning biror parametri, masalan tebranayotgan sharcha osilib turgan ipning uzunligi davriy ravishda o‘zgarib turadi. Eng sodda tebranish bu garmonik tebranish bo‘lib, unda tebranuvchi kattalik vaqt bo‘yicha sinus yoki kosinus qonuni bo‘yicha o‘zgaradi:

$$y = A \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (8.1)$$

bu yerda  $y$  – tebranuvchi kattalik,  $A$  – tebranuvchi kattalik amplitudasi (maksimal siljishi),  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$  – doiravoy yoki siklik chastota,  $\varphi$   $t=0$  vaqtdagi tebranishning boshlang'ich fazasi. Garmonik tebranuvchi tizimning ayrim holatlari tebranish davri deb ataluvchi  $T$  vaqtdan so'ng takrorlanib turadi. Bu davrda esa tebranish fazasi  $2\pi$  ga o'zgaradi:

$$\omega_0(t+T) + \varphi = (\omega_0 t + \varphi) + 2\pi$$

Bu yerdan tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

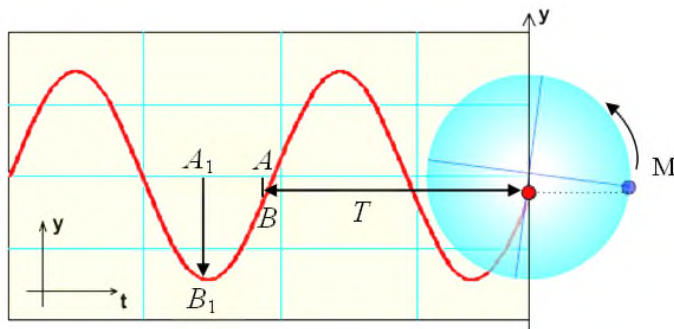
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (8.2)$$

Tebranish davriga teskari bo'lgan kattalik vaqt birligidagi tebranishlar sonini bildiradi va u tebranish chastotasi deyiladi

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (8.3)$$

Chastota birligi Gers ( $1H = \frac{1}{s}$ ) bilan o'lchanadi.

$M$  nuqta  $A$  radiusli aylana bo'ylab  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  burchak tezlik bilan tekis harakatlanayotgan bo'lsin (8.1-rasm).



### 8.1 - rasm. Moddiy nuqtaning aylana trayektoriyasidagi holatini u – o'qqa proyeksiyasining garmonik tebranishi

Harakat boshlanishi  $t=0$  da nuqta  $M_0$  holatda deb hisoblaymiz. Shu nuqtaga o'tkazilgan  $A = OM_0$  aylananing radiusi  $M$  nuqtaning burchak tezligiga teng tezlik bilan aylanadi. Agar  $t=0$  da radius gorizontal o'q bilan  $\varphi$  burchak hosil qilgan bo'lsa,  $t$  vaqt o'tgandan so'ng esa  $\omega t + \varphi$  qiymatga ega bo'ladi.  $M$  nuqta aylana bo'ylab  $\omega$  burchak tezlik bilan harakatlanganda uning tik diametrga proyeksiyasi  $N$  aylana markazi atrofida garmonik tebranishlar hosil qiladi.

$N$  nuqtaning tik diametr bo'yicha siljishi yoki tebranishi sinus qonuni bilan ifodalanadi:

$$y = A \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (8.4)$$

bu yerda  $y-M$  nuqtaning tik diametrga proyeksiyasi  $N$  nuqtaning  $O$  aylana markaziga nisbatan holatidir.

$M$  nuqtaning  $OX$  o'qqa nisbatan proyeksiyasi ham shunday qonun asosida tebranadi:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$N$  nuqtaning siljishini  $t$  vaqt ichida bosib o'tgan yo'li deb hisoblasak,  $t$  vaqtdagi uning tezligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$g = \frac{dy}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi) \quad (8.5)$$

Tezlanishni ham xuddi shunday aniqlaymiz:

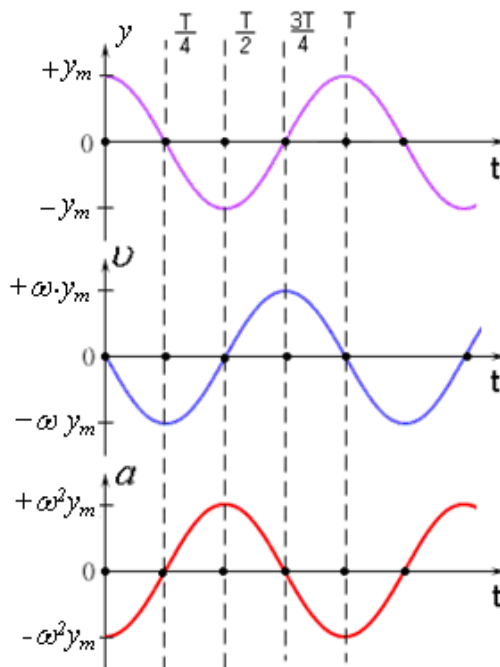
$$a = \frac{dg}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 y \quad (8.6)$$

Garmonik tebranyotgan nuqtaning tezlanishi siljishga proporsional bo'lib, ishorasi bo'yicha teskari bo'ladi.

Yuqorida keltirib o'tilgan (8.1), (8.5), (8.6) ifodalar garmonik tebranishning kinematik qonunlaridir (8.2-rasm).

(8.6) ifodaning ikki tomonini tebranyotgan nuqta massasiga ko'paytirsak, garmonik tebranish dinamikasining qonuniga ega bo'lamiz:

$$\vec{F} = m\vec{a} = -m\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi) = -m\omega^2 y \quad (8.7)$$



**8.2 - rasm. Garmonik tebranish kinetik parametrlarining vaqtga bog'liq o'zgarishlari**

Garmonik tebranayotgan jismga qo‘yilgan kuch siljishga teskari yo‘nalgan bo‘lib, u jismni muvozanat holatga qaytarishga intiladi, shuning uchun bu kuch qaytaruvchi kuch deb ataladi.

Kuchning siljishga bog‘liqligi deformatsiya ta‘siridagi elastiklik kuchini eslatgani uchun, uni kvazielastik kuch deb ataladi. Shuning uchun garmonik tebranma harakat qiyayotgan jismlarning to‘la mexanik energiyasi o‘zgarmaydi:

$$E = T + U = \text{const} \quad (8.8)$$

Garmonik qonuniyat bilan tebranayotgan jismning kinetik energiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$T = \frac{m\dot{y}^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)}{2} \quad (8.9)$$

Kinetik energiya maksimal qiymatga ega bo‘lganda potesial energiya nolga teng bo‘ladi va aksicha.

Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq tebranayotgan jismlar uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$F = ma = m \frac{d^2 y}{dt^2} = -m\omega^2 y$$

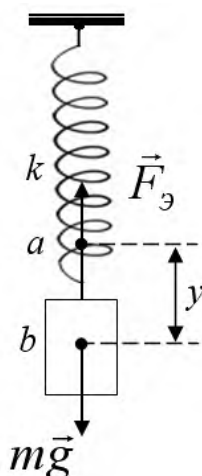
$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \quad (8.10)$$

(8.10) ifoda garmonik tebranishlarning differensial tenglamasi deyiladi. Uning yechmi

$$y = A \sin(\omega t + \varphi)$$

dan iborat.

*Prujinali mayatnik* – qo‘zg‘almas qilib qotirilgan spiralli prujinaga ilingan  $m$  massali yukdan iborat (8.3-rasm). Prujinaning massasi yukning massasidan juda kichik deb olamiz.



**8.3 - rasm. Prujinali mayatnik**

Agar spiralli prujinani cho‘zib yukni qo‘yib yuborsak, u holda yuk yuqoriga va pastga tomon tebrana boshlaydi. Bunda yukga ta’sir etuvchi kuch quyidagiga teng:

$$F = -ky \quad (8.11)$$

bu yerda  $k$  – prujinaning bikirligi deyiladi.  $[k] = 1 \text{ N/m}$ .

Nyutonning II qonuniga asosan,

$$\vec{F} = m\vec{a} = -m\omega^2 \vec{y} = -k\vec{y}, \quad k = m\omega^2$$

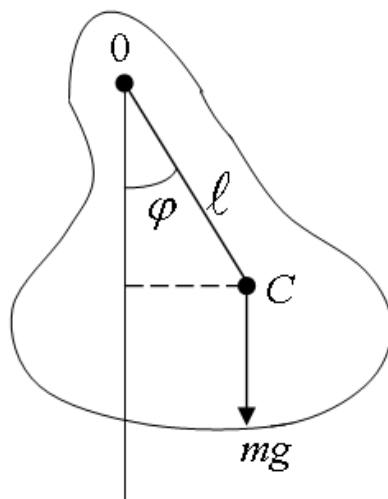
yoki,

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Prujinali mayatnikning tebranish davri

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8.12)$$

*Fizik mayatnik* – bu og‘irlik markazidan o‘tgan o‘q atrofida tebranadigan jismdan iborat (8.4-rasm).



**8.4 - rasm. Fizik mayatnik**

bu yerda  $O$  – tebranish o‘qi markazi,  $C$  – tebranayotgan  $m$  massali jismning og‘irlik markazi,  $mg$  – og‘irlik kuchi,  $l$  – fizik mayatnik yelkasi.

Agar mayatnik kichik  $\varphi$  burchakka og‘dirilsa, mayatnikka qo‘yilgan kuch momenti

$$M = -mgl \sin \varphi \approx -mgl\varphi \quad (8.13)$$

ga teng bo‘ladi. Aylanma harakatning asosiy qonuni  $M = I \frac{d^2\varphi}{dt^2}$  ni (8.13)

ga tenglashtirsak, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

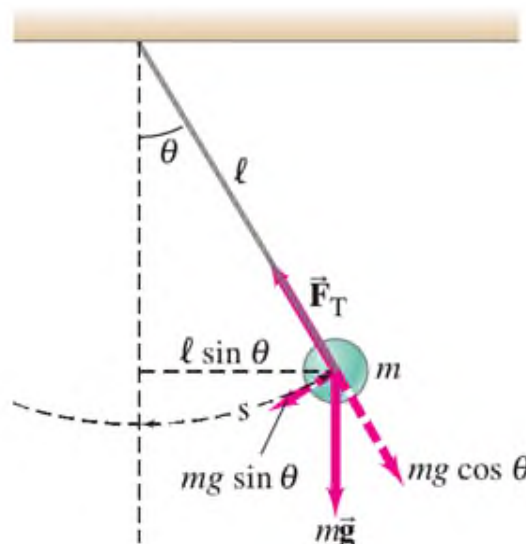
$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mgl\varphi$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{mgl}{I}\varphi = 0 \quad (8.14)$$

Bundan fizik mayatnikning tebranish davri quyidagicha ifodalanadi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (8.15)$$

*Matematik mayatnik* – fizik mayatnikning xususiy holi bo‘lib, og‘irligi hisobga olinmaydigan  $l$  uzunlikdagi ipga osilgan  $m$  massali moddiy nuqta (8.5-rasm).



**8.5-rasm. Matematik mayatnik**

Ip vertikalidan  $\varphi$  burchakka siljitilsa,  $m$  massali moddiy nuqtaning inersiya momenti  $I = ml^2$  ga teng bo‘ladi. Inersiya momenti formulasini (8.15) ga o‘rniga qo‘ysak, matematik mayatnikning tebranish davri ifodasiga ega bo‘lamiz:

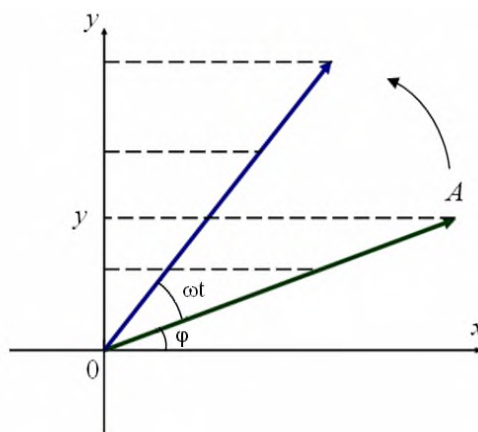
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{ml^2}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (8.16)$$

Jism bir vaqtda bir yo‘nalish va turli yo‘nalishlar bo‘ylab sodir bo‘layotgan bir necha tebranishlarda ishtirok etish mumkin.

Yo‘nalishlari va chastotalari bir xil bo‘lgan ikkita garmonik tebranishlarning qo‘shilishini qarab chiqaylik. Tebranuvchi jismning  $y$  siljishi quyidagidek ko‘rinishga ega bo‘lgan  $x_1$  va  $x_2$  siljishlarning yig‘indisidan iborat:

$$\begin{cases} y_1 = A_1 \cos(\omega_0 t + \varphi_1) \\ y_2 = A_2 \cos(\omega_0 t + \varphi_2) \end{cases} \quad (8.17)$$

Bu ikki tebranishlarni vektorlar diagrammasi orqali qo‘shamiz (8.6-rasm).



### 8.6 - rasm. Garmonik tebranishning vektor diagramma orqali grafik tasviri

Natijaviy vektorni proyeksiyasi qo‘shiluvchi vektorlar qo‘shiluvchi vektorlar proyeksiyalari yig‘indisiga teng, ya’ni  $y = y_1 + y_2$ .

Demak,  $\vec{A}$  vektor natijaviy tebranishdan iborat. Bu vektor ham  $\vec{A}_1$  va  $\vec{A}_2$  vektorlar kabi aylanadi. Shuning uchun natijaviy harakat chastotasi  $\omega_0$ , amplitudasi  $A$  va boshlang‘ich fazasi  $\varphi$  bo‘lgan garmonik tebranishdan iborat bo‘ladi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki,

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (8.18)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2} \quad (8.19)$$

Shunday qilib, garmonik tebranishlarni vektorlar yordamida tasvirlash usuli bir necha tebranishlarni qo‘shish operatsiyasini vektorlarni qo‘shish operatsiyasiga keltirishga imkon berar ekan.

(8.18) ifodaga muvofiq agar tebranishlar fazalari ayirmasi  $\varphi_1 - \varphi_2$  nolga teng bo‘lsa, natijaviy tebranishning amplitudasi  $A = A_1 + A_2$  bo‘ladi. Agar  $\varphi_1 - \varphi_2$  ayirma  $+\pi$  yoki  $-\pi$  ga teng bo‘lsa natijaviy tebranish amplitudasi  $A = A_1 + A_2$  ga teng bo‘ladi.

Agar  $y_1$  va  $y_2$  tebranishlarning chastotalari har xil bo‘lsa,  $\vec{A}_1$  va  $\vec{A}_2$  vektorlar har xil tezlik bilan aylanadi. Bunday holda natijaviy vektorning kattaligi pulsatsiyalanib turadi va o‘zgaruvchan tezlik bilan aylanadi. Erkin tebranishlarda tizim tashqi kuchlar tomonidan muvozanat holatidan chiqqan va unga faqat kvazielastik kuch bilan muhitning qarshilik kuchita’sir qilayotgan holatda bo‘ladi. Kichik tebranishlarda tizimning tezligi ham kichik bo‘ladi va qarshilik kuchi tezlikka proporsional bo‘ladi:

$$f_r = -r\vartheta = -r \frac{dy}{dt} \quad (8.20)$$



bu yerda  $r$  – qarshilik koeffitsiyenti deyilib, “–” ishora  $f_r$  va  $g$  qarama-qarshi yo‘nalganligini bildiradi.

Tebranayotgan jism uchun Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan:

$$m\ddot{a} = -k\bar{y} - r\dot{\bar{y}} .$$

Bundan,

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + r \frac{dy}{dt} + ky = 0 \rightarrow \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dy}{dt} + \frac{k}{m} y = 0$$

Agar  $\frac{r}{m} = 2\beta$  va  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$  kabi belgilashlar kiritsak,

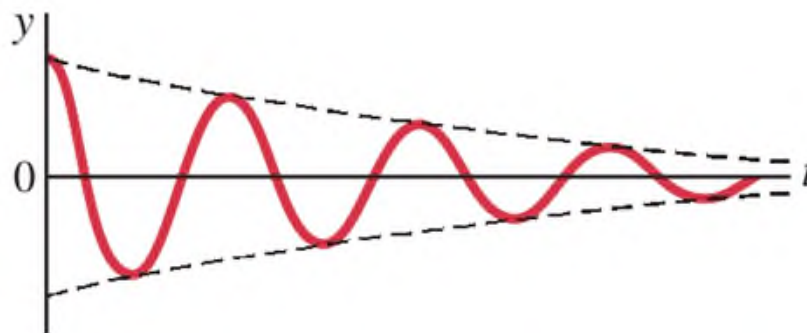
$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\beta \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = 0 \quad (8.21)$$

(8.20) tenglama so‘nunchi tebranma harakatning differensial tenglamasi deyiladi. Bu yerda  $\omega_0$  – tebranayotgan tizimning xususiy tebranish chastotasi,  $\beta$  – so‘nish koeffitsiyenti deyiladi. (8.20) tenglamaning yechimi

$$y = A(t) \cos(\omega t + \varphi) \quad (8.22)$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Bu yerda  $A(t) = Ae^{-\beta t}$ ,  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  ga teng bo‘lganligi uchun (8.22) tenglamani quyidagicha yozish mumkin (8.7-rasm):

$$y = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (8.23)$$



**8.7-rasm. So‘nunchi tebranish**

Umuman olganda, bir davrga farq qiladigan vaqt momentlariga tegishli amplitudalarning nisbati quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\beta T} .$$

Bu nisbat so‘nish dekrementi, uning logarifmi esa so‘nishning logarifmik dekrementi  $\lambda$  deyiladi:

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T \quad (8.24)$$

Tebranish tizimini tavsiflash uchun ko‘pincha tebranish tizimining aslligi deb ataluvchi

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e \quad (8.25)$$

Kattalikdan foydalaniladi. Konturning aslligi uning ta'rifiga ko'ra tebranishlar amplitudasi  $e$  marta kamayishi uchun ketgan  $\tau$  vaqt ichidagi tizimning  $N_e$  tebranishlari soniga teng ekanligi ko'rinib turibdi.

Tebranuvchi tizimga davriy o'zgaruvchi tashqi kuch ta'sirida sodir bo'luvchi tebranishlar majbur etuvchi kuch vaqt bo'yicha garmonik

$$f = F_0 \cos \omega t \quad (8.26)$$

qonun bo'yicha o'zgaradi deb faraz qilaylik.

Tebranuvchi tizimga ta'sir ko'rsatadigan kvazielastik va muhitning qarshilik kuchlarini hisobga olgan holda harakat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -ky - r \frac{dy}{dt} + F_0 \cos \omega t .$$

Bu tenglamani ikkinchi darajali chiziqli differensial tenglama ko'rinishiga keltiramiz:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\beta \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = f_0 \cos \omega t \quad (8.27)$$

bu yerda  $f_0 = \frac{F_0}{m}$ ,  $\beta = \frac{r}{2m}$  - so'nish koeffitsiyenti,  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  - tebranuvchi tizimning xususiy chastotasi.

Differensial tenglamalar nazariyasidan ma'lumki, bir jinsli bo'lmagan tenglamaning umumiy yechimi bir jinsli tenglamaning umumiy yechimi bilan bir jinsli bo'lmagan tenglamaning xususiy yechimi yig'indisiga teng:

$$y = A_0 e^{-\beta t} \sin\left(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}\right)t + A \sin(\omega t + \varphi) \quad (8.28)$$

Bu yerda  $A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\beta^2 \omega^2}}$ ,  $\varphi = -\frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \beta^2}$ .

Tebranishning amplitudasi va fazasi tizimning  $\omega_0$  va  $\beta$  parametrlariga bog'liqdir.  $\omega_0$  va  $\beta$  ning aniq qiymatlarida  $\omega$  chastotani o'zgartirib amplitudaning maksimal qiymatiga erishish mumkin.

$\omega \rightarrow \omega_{rez}$  bo'lganda majburiy tebranishlar amplitudasining birdaniga oshishi hodisasi - rezonans hodisasi deb ataladi.

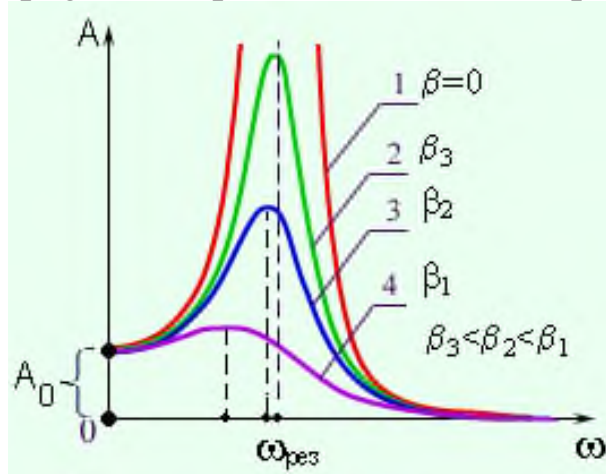
Rezonans hodisasi sodir bo'ladigan chastota rezonans chastotasi deb ataladi.

$$\frac{d}{d\omega} \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2} = 0$$

$$(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\beta^2 = 0$$

$$\omega_{rez} = \sqrt{\omega_0^2 + 2\beta^2}$$

8.8-rasmda majburiy tebranishlar amplitudasi tashqi kuchning chastotasiga bog‘liq egri chiziqlari - rezonans chiziqlari keltirilgan.



**8.8-rasm. Majburiy tebranishlar amplitudalarining rezonans chiziqlari**

Rezonans chastotasi  $\beta$ -so‘nish koeffitsiyentiga bog‘liq va  $\beta \rightarrow 0$  bo‘lganda,  $\omega_{rez} = \omega_0$ ,  $A \rightarrow \infty$  ga intiladi.  $\beta$  qancha kichik bo‘lsa, egri chiziq shuncha yuqoriga ko‘tariladi va o‘tkir xarakterga ega bo‘ladi. Natijada, rezonans chastotasi tizimning  $\omega_0$  xususiy chastotasiga yaqinlashadi.

## 9-§. Elektromagnit tebranishlar

Elektromagnit tebranishlar induktiv g‘altak va kondensatordan tuzilgan elektr zanjirlarda hosil bo‘lishi mumkin. Bunday elektr zanjirni tebranish konturi deyiladi.

Tebranish konturida tebranish vaqtida kondensatordagi  $U_c = \frac{q}{C}$  va induktiv g‘altakdagi  $U_L = L \frac{dI}{dt}$  kuchlanish tushuvlari yig‘indisi nolga teng bo‘ladi

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} = 0.$$

Bu ifodani g'altak induktivligi  $L$  ga bo'lib quyidagi tenglamaga kelamiz:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{\sqrt{LC}}q = 0 \quad (9.1)$$

bu yerdan  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  belgilash kiritsak (9.1) tenglama

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2q = 0 \quad (9.2)$$

ko'rinishga keladi. Ma'lumki, bu tenglamaning yechimi

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (9.3)$$

funksiya bo'ladi.

Shunday qilib, kondensator qoplamalaridagi zaryad garmonik qonun bo'yicha o'zgarar ekan. Tebranish davri uchun Tomson formulasi deb ataluvchi quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (9.4)$$

Kondensatordagi kuchlanish zaryaddan  $\frac{1}{C}$  ko'paytuvchi bilan farq qiladi:

$$U = \frac{q_0}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (9.5)$$

(9.3) funksiyani vaqt bo'yicha differensiallab, tok kuchi ifodasini topamiz:

$$I = -\omega_0 q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (9.6)$$

(9.5) va (9.6) formulalardan

$$U_0 = \frac{q_0}{C}, \quad I_0 = \omega_0 q_0$$

ekanligi kelib chiqadi.  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  dan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$U_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} I_0 \quad (9.7)$$

Har qanday real kontur aktiv qarshilikka ega. Konturda yig'ilgan energiya shu qarshilikda asta-sekin issiqlikka aylanadi, natijada erkin tebranishlar so'nadi. Tebranish tenglamasini sig'imdagi, induktivlikdagi va aktiv qarshilikdagi kuchlanish tushuvlari yig'indisi nolga teng bo'lishi kerakligidan hosil qilish mumkin:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C}q = 0.$$

Bu ifodani  $L$  ga bo'lib  $I$  ni  $\frac{dq}{dt}$  orqali,  $\frac{dI}{dt}$  ni  $\frac{d^2q}{dt^2}$  orqali belgilasak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (9.8)$$

Bunda  $\frac{1}{LC}$  kattalik konturning xususiy chastotasi  $\omega_0$  ning kvadratiga tengligini hisobga olib va  $\beta = \frac{R}{2L}$  belgilash kiritib (9.8) tenglamani quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0 \quad (9.9)$$

Ushbu tenglama elektromagnit tebranishlar uchun differensial tenglama deyilib uning yechimi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (9.10)$$

bu yerda  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L}}$ .

Shunday qilib so‘nuvchi tebranishlar chastotasi xususiy chastota  $\omega_0$  dan kichik bo‘lar ekan. Kondensatordagi kuchlanish tebranishi quyidagicha:

$$U = \frac{q_0}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (9.11)$$

Tok kuchini tebranish tenglamasini topish uchun (9.10) ni vaqt bo‘yicha differensiallaymiz:

$$I = \frac{dq}{dt} = q_0 e^{-\beta t} [-\beta \cos(\omega t + \varphi) - \omega \sin(\omega t + \varphi)].$$

Majburiy tebranishlar hosil qilish uchun tizimga davriy o‘zgaruvchi tashqi kuch ta’sir qilishi kerak. Elektromagnit tebranishlarda buni amalga oshirish uchun kontur elementlariga ketma-ket qilib o‘zgaruvchan EYK ulash kerak yoki konturni uzib, hosil bo‘lgan kontaktlarga o‘zgaruvchan kuchlanish berish kerak.

Kontur elementlaridagi kuchlanishlar tushuvi yig‘indisini zanjirda berilgan kuchlanishga tenglaymiz:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C} q = U_0 \cos \omega t$$

Tok kuchini zaryad orqali ifodalab, quyidagi tenglamani yozamiz:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = \frac{U_0}{L} \cos \omega t. \quad (9.12)$$

Bu tenglama elektromagnit tebranishlarning differensial tenglamasi deyiladi va uning xususiy yechimi quyidagicha ko‘rinishga ega:

$$q = q_0 \cos(\omega t + \psi)$$

bunda

$$q_0 = \frac{\left(\frac{U_m}{L}\right)}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \quad \text{tg}\psi = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}.$$

Bu ifodalarga  $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$  va  $\beta = \frac{R}{2L}$  ning qiymatlarini qo‘ysak,

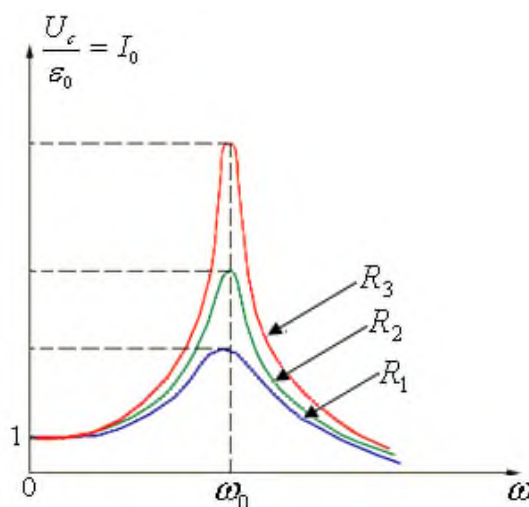
$$q_0 = \frac{U_0}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (9.13)$$

$$\text{tg}\psi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L} \quad (9.14)$$

larni hosil qilamiz. Agar xususi yechimga bir jinsli tenglamaning umumiy yechimini qo‘shsak, berilgan differensial tenglamaning umumiy yechimi hosil bo‘ladi.

Tok kuchining amplitudasi konturning ( $L, R$  va  $C$ ) parametrlaridan tashqari  $\varepsilon_0$  majburlovchi EYuK va uning siklik chastotasiga ham bog‘liq.

$I_0$  tok kuchi amplitudasining  $\omega$  – siklik chastotaga bog‘liqligi 9.1-rasmda keltirilgan.



**9.1-rasm. Tebranish konturi tok kuchi amplitudasining siklik chastotaga bog‘liq o‘zgarishi  $R_1 < R_2 < R_3$**

Majbur etuvchi EYK ning  $\omega$  chastotasi o‘zgarishi bilan

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

teng bo‘lish holatiga erishish mumkin va konturning reaktiv qarshiligi nolga aylanadi:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (9.15)$$

Bu shart bajarilganda zanjirdagi tok kuchining amplitudasi maksimal bo‘ladi va faqat aktiv qarshilikka bog‘liq bo‘ladi.

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R} \quad (9.16)$$

$R$ ,  $L$ ,  $C$ ga majbur etuvchi EYK ni ketma-ket ulanganda tebranish konturidagi tok kuchi amplitudasining birdan oshish hodisasi kuchlanishning rezonansi deb ataladi. Rezonans sodir bo‘ladigan  $\omega_{rez}$  chastota rezonans chastotasi deb ataladi.

$$\omega_{rez} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad (9.17)$$

bu yerda  $\omega_0$  – tebranish konturining xususiy chastotasidir. Barcha egri chiziqlarning maksimumi, mexanik rezonansdan farqli ravishda,  $\omega_{rez}$  chastotaga to‘g‘ri keladi.

Kuchlanishning rezonansida  $U_L$  va  $U_C$  o‘zlarining maksimal qiymatlariga erishadilar:

$$U_{L_0} = U_{C_0} = \varepsilon_0 \frac{\sqrt{L}}{R}, \quad \frac{U_{C_0}}{\varepsilon_0} = \frac{\sqrt{L}}{R} = \eta \quad (9.18)$$

nisbat tebranish konturining aslligi deb ataladi. Bu yerda  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  tebranish konturning to‘lqin qarshiligi.

## 10-§. To‘lqin hodisalar

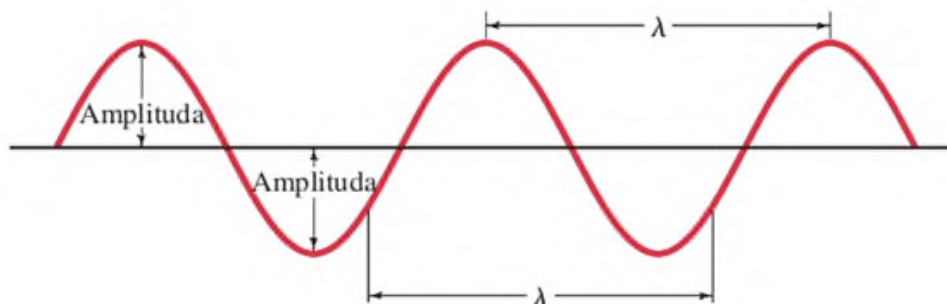
Agar elastik muhitning biror joyidagi zarralar tebrantirilsa, u holda zarralarning o‘zaro ta’sirlashishi natijasida bu tebranishlar muhitda biror  $\vartheta$  tezlik bilan zarradan zarraga tarqala boshlaydi. Tebranishlarning fazoda tarqalish jarayoni to‘lqin deyiladi.

To‘lqin tarqatayotgan muhitning zarralari to‘lqin bilan birga ko‘chmaydi, ular faqat o‘z muvozanat holatlari atrofida tebranib turadi xolos. Zarralarning tebranishi to‘lqin tarqalayotgan yo‘nalishga nisbatan qanday yo‘nalganligiga qarab to‘lqinlar bo‘ylama va ko‘ndalang to‘lqinlarga ajraladi. Bo‘ylama to‘lqinda muhit zarralari to‘lqin tarqalayotgan yo‘nalish bo‘ylab tebranadi. Ko‘ndalang to‘lqinda muhit zarralari to‘lqin tarqalayotgan yo‘nalishga perpendikulyar yo‘nalishda tebranadi. Ko‘ndalang to‘lqinlar faqat siljish qarshiligiga ega bo‘lgan muhitda hosil bo‘lishi mumkin. Shu sababli suyuq va gaz holatdagi

muhitlarda faqat bo'ylama to'lqinlar hosil bo'ladi. Qattiq muhitda esa bo'ylama to'lqinlar ham ko'ndalang to'lqinlar ham hosil bo'lishi mumkin.

Bir xil fazada tebranayotgan o'zaro yaqin zarralari orasidagi masofa to'lqin uzunligi deyiladi (10.1-rasm). To'lqin uzunligi to'lqinning bir davr ichida tarqalgan masofasiga teng:

$$\lambda = gT \quad (10.1)$$



**10.1-rasm.**

$T = \frac{1}{\nu}$  ekanligidan quydagi munosabat kelib chiqadi:

$$g = \lambda \nu \quad (10.2)$$

To'lqin tebranish jarayonida manbadan tarqalib fazoning yangi qismlarini egallay boradi. Tebranishlarning biror vaqt momentida yetib kelgan nuqtalarning geometrik o'rni to'lqin fronti deyiladi. To'lqin fronti fazoning to'lqin tarqalgan qismidan tebranishlar hali yuzaga kelmagan qismini ajratib turuvchi sirdan iborat.

Bir xil fazada tebranuvchi nuqtalarning geometrik o'rni to'lqin sirti deyiladi. To'lqin sirtini fazoning to'lqin jarayoni bo'layotgan istalgan nuqtasi orqali o'tkazish mumkin. Demak, vaqtning har bir momentiga bitta to'lqin fronti mos kelsa, to'lqin sirlari cheksiz ko'p bo'lar ekan. To'lqin sirlari harakatlanmaydi, to'lqin fronti esa ko'chib yuradi.

To'lqin sirlari istalgan shaklda bo'lishi mumkin. Eng sodda holda tekislik yoki sfera shaklda bo'ladi. Bu hollarda to'lqin mos ravishda yassi yoki sferik to'lqin deyiladi. Yassi to'lqinda to'lqin sirlari bir-biriga parallel tekisliklardan, sferik to'lqinda esa konsentrik sferalardan iborat bo'ladi.

Tebranayotgan nuqtaning siljishini uning  $x, y, z$  koordinalari va  $t$  vaqtning funksiyasi sifatida ifodalovchi tenglama

$$\xi = \xi(x, y, z; t) \quad (10.2)$$

to'lqin tenglamasi deb ataladi. (10.2) funksiya  $t$  vaqtga nisbatan ham,  $x, y, z$  koordinatalarga nisbatan ham davriy bo'lishi kerak.



$\xi$  ning  $t$  ga nisbatan davriy ekanligi  $x, y, z$  koordinatali nuqtaning tebranishini tasvirlanganidan kelib chiqadi. Uning koordinatalar bo'yicha davriyligi esa bir-biridan  $\lambda$  masofada yotgan nuqtalar bir xil tebranganligidan kelib chiqadi.

Yassi to'lqin tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\xi = A \cos(t - \tau) = A \cos\left(t - \frac{x}{g}\right) \quad (10.2)$$

bu yerda  $g$  – to'lqinning tarqalish tezligi,  $\tau$  – kechikish vaqti.

Yassi to'lqin tenglamasiga  $t$  va  $x$  ga nisbatan simmetrik ko'rinishda berish mumkin. Buning uchun to'lqin soni deb ataluvchi  $k$  kattalikni kiritamiz:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (10.3)$$

To'lqin soni  $k$  aylanish (siklik) chastotasi  $\omega$  va to'lqinning faza tezligi  $g = \frac{dx}{dt}$  orasidagi quyidagicha munosabat bor degan xulosa chiqadi:

$$g = \frac{\omega}{k} \quad (10.4)$$

(10.4) ifodaga ko'ra yassi to'lqin tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\xi = A \cos(\omega t - kx) \quad (10.5)$$

Uch o'lchamli fazoda yassi to'lqin tenglamasini radius vektor  $\vec{r}$  ning koordinata o'qlariga proyeksiyalari irqali ifodalaymiz:

$$\xi(x, y, z; t) = A \cos(\omega t - k_x x - k_y y - k_z z) \quad (10.6)$$

Agar to'lqinning barcha yo'nalishlari bo'ylab tarqalish tezligi bir xil bo'lsa, u holda nuqtaviy manba hosil qilayotgan to'lqin sfera bo'ladi. Manbaning tebranishlari fazadi  $\omega t$  ga teng bo'lsin. U holda  $r$  radiusli to'lqin sirtida yotivchi nuqtalar  $\omega\left(t - \frac{r}{g}\right)$  faza bilan tebranadi. Tebranishlar amplitudasi  $A$  esa manbadan uzoqlashgan sari  $\frac{1}{r}$  qonuniyat bilan kamaya boradi. Demak, sferik to'lqinning tenglamasi quyidagicha ko'rinishda bo'lar ekan:

$$\xi = \frac{A}{r} \cos \omega\left(t - \frac{r}{g}\right) \quad (10.7)$$

Ma'lum bo'lishicha, istalgan to'lqinning tenglamasi differensial to'lqin tenglamasi deb ataluvchi differensial tenglamaning yechimidan iborat. Yassi to'lqinni ifodalovchi (10.6) funksiyani koordinatalar va vaqt bo'yicha ikkinchi xususiy hosilalarini taqqoslaymiz. (10.6) ni har bir o'zgaruvchi bo'yicha ikki marta differensiallab quyidagini topamiz:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r})) = -\omega^2 \xi \quad (10.8)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = -k_x A \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r})) = -k_x^2 \xi \\ \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} = -k_y A \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r})) = -k_y^2 \xi \\ \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = -k_z A \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r})) = -k_z^2 \xi \end{cases} \quad (10.9)$$

(10.9) tenglamalarni o‘zaro qo‘shib, (10.8) va (10.9) tenglamalarni bir-biriga taqqoslasak quyidagini topamiz:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (10.10)$$

Agarda yassi to‘lqin faqat  $x$  o‘qi bo‘ylab tarqalayotgan bo‘lsa, to‘lqin tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\rho}{E} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (10.11)$$

bu  $\rho$  – muhit zichligi,  $E$  – Yung moduli bo‘lib, (10.11) tenglamani (10.10) tenglama bilan solishtirib quyidagini topamiz:

$$g = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (10.12)$$

Shunday qilib, bo‘ylama elastik to‘lqinlarning faza tezligi Yung modulining muhit zichligiga nisbatidan olingan kvadrat ildiziga teng ekan.

Ko‘ndalang to‘lqinlar uchun tezlikning ifodasi:

$$g = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (10.13)$$

bu yerda  $G$  – siljish moduli.

Energiya zichligining muhitni har bir nuqtasidagi o‘rtacha qiymati quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\bar{u} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \quad (10.14)$$

Energiya zichligining o‘rtacha qiymati muhitning zichligi  $\rho$ , chastotaning kvadrati  $\omega^2$  va to‘lqin amplitudasu kvadratiga teng. Ushbu munosabat faqat yassi to‘lqin uchungina emas, barcha turdagi to‘lqinlar uchun ham o‘rinlidir.

To‘lqin yuzaga keladigan muhit qo‘shimcha energiya zahirasiga ega. Bu energiyaning tebranishlar manbaidan muhitning turli nuqtalariga to‘lqinning o‘zi tashib keladi. To‘lqin biror sirt orqali vaqt birligi ichida tashib kelgan energiya miqdori sirt orqali o‘tuvchi energiya

oqimi  $\phi$  deyiladi. Energiya oqimi skalyar kattalik bo'lib, uning o'lchamligi energiya o'lchamligining vaqt o'lchamligiga nisbatiga teng.

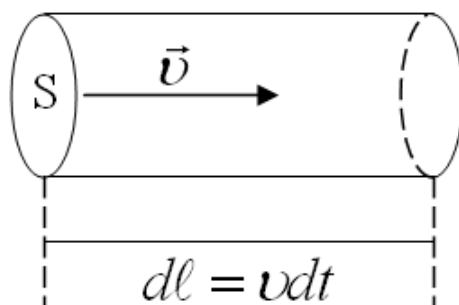
Energiya oqimi muhitning turli nuqtalarida turli intensivlikka ega bo'lishi mumkin. Fazoning turli nuqtalarida energiyaning oqish jarayonini tavsiflash uchun energiya oqim zichligi degan kattalik kiritiladi. Bu kattalikning qiymati berilgan nuqtada energiya ko'chayotgan yo'nalishga perpendikulyar joylashgan birlik yuza orqali o'tuvchi energiya oqimiga teng. Energiya oqimi zichligi vektorining yo'nalishi energiya ko'chayotgan yo'nalish bilan ustma-ust tushadi.

To'liq tarqalayotgan yo'nalishga perpendikulyar  $\Delta S_{\perp}$  yuza orqali  $\Delta t$  vaqt ichida  $\Delta E$  energiya olib o'tsin. U holda energiya oqimining zichligi  $j$  ta'rifga asosan quyidagiga teng bo'ladi:

$$j = \frac{\Delta E}{\Delta S_{\perp} \Delta t} \quad (10.15)$$

$\Delta S_{\perp}$  yuza orqali  $\Delta t$  vaqt ichida  $\mathcal{G} \Delta t$  energiya oqib o'tadi (10.2-rasm). U holda  $\Delta E$  energiyani energiya zichligi  $u$  ning hajm  $\Delta V = \Delta S_{\perp} \mathcal{G} \Delta t$  ga ko'paytmasi sifatida topish mumkin:

$$\Delta E = u \Delta S_{\perp} \mathcal{G} \Delta t$$



10.2 - rasm.

### To'liq tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuzadan ko'chiriladigan energiya oqimi

$\Delta E$  ifodasini (10.15) formulaga qo'ysak, quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$\vec{j} = u \vec{\mathcal{G}} \quad (10.16)$$

Energiya oqimi zichligi vektorini birinchi marta rus olimi N.A.Umov kiritgan bo'lib, uni Umov vektori deb ataladi.

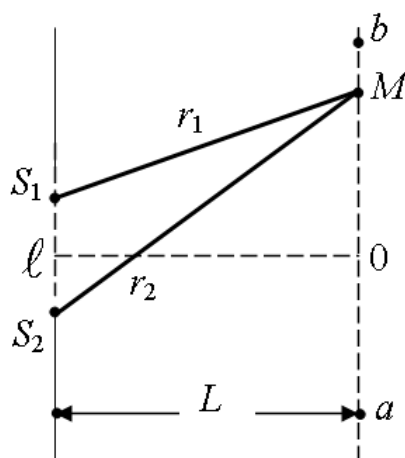
## 11-§. To‘lqinlar superpozitsiyasi

Agar muhirda bir vaqtda bir necha to‘lqin tarqalayotgan bo‘lsa, u holda muhit zarralarining tebranishi zarralarning har bir to‘lqin alohida-alohida tarqalgan vaqtdagi tebranishlarining geometrik yig‘indisidan iborat bo‘lar ekan. Demak, to‘lqinlar bir-birini buzmasdan to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘shilar ekan. Tajribadan kelib chiqadigan bu fikr to‘lqinlarning superpozitsiya prinsipi deyiladi.

Agar muhitning har bir nuqtasidagi ayrim-ayrim to‘lqinlar yuzaga keltirgan tebranishlarning fazalari farqi o‘zgarmas bo‘lsa bunday to‘lqinlar kogerent deyiladi. Bundan ko‘rinadiki, faqat bir xil chastotali to‘lqinlarga kogerent bo‘lishi mumkin.

Kogerent to‘lqinlar qo‘shilganida interferensiya hodisasi kuzatiladi. Bu hodisa shundan iboratki, tebranishlar ba’zi nuqtalarda bir-birini kuchaytirsa, ba’zi nuqtalarda bir-birini susaytiradi.

Fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan  $s_1$  va  $s_2$  nuqtaviy manbalar tarqatayotgan ikkita to‘lqinni tekshiraylik. To‘lqinlarning har biri hosil qilayotgan tebranishlarning ikkalasi ham bir xil yo‘nalishga ega (11.1-rasm).



11.1 - rasm.

### Ikkitanuqtaviymanbadanbirxilyo‘nalishdatarqalayotganto‘lqinlarning qo‘shilishi

$s_1$  va  $s_2$  manbalarning tebranish fazalari mos ravishda  $(\omega t + \varphi_1)$  va  $(\omega t + \varphi_2)$  larga teng bo‘lsin. U vaqtda berilgan nuqtadagi tebranish quyidagi tebranishlarning yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$\begin{aligned}\xi_1 &= A_1 \cos(\omega t + \varphi_1 + kr_1), \\ \xi_2 &= A_2 \cos(\omega t + \varphi_2 + kr_2).\end{aligned}\tag{11.1}$$

bu yerda  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  – to‘lqinlarning tekshirilayotgan nuqtadagi amplitudalari,  $k$  – to‘lqin soni,  $r_1$  va  $r_2$  – to‘lqin manbalaridan berilgan nuqtagacha masofa.

Quyidagi shart bilan aniqlanadigan tebranishlar bir-birini kuchaytiradi:

$$k(r_1 - r_2) - (\varphi_1 - \varphi_2) = \pm 2\pi n \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (11.2)$$

va natijaviy harakat  $\omega$  chastotali va  $A_1 + A_2$  amplitudali garmonik tebranishlardan iborat bo‘lmaydi.

Quyidagi

$$k(r_1 - r_2) - (\varphi_1 - \varphi_2) = \pm 2\pi \left( n + \frac{1}{2} \right) \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (11.3)$$

shartni qanoatlantiradigan nuqtalarda esa tebranishlar bir-birini zaiflashtiradi va natijaviy harakat  $|A_1 - A_2|$  amplitudali garmonik tebranishlardan iborat bo‘ladi.  $A_1 = A_2$  bo‘lgan xususiy holda bu nuqtalarda tebranish bo‘lmaydi.

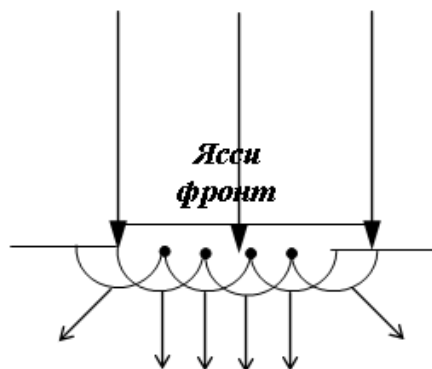
(11.2) va (11.3) shartlardan

$$r_1 - r_2 = \text{const} \quad (11.4)$$

degan xulosa chiqadi.

To‘lqinlar o‘z yo‘lida to‘siqqa uchrasa uni aylanib o‘tadi. Bu hodisa difraksiya deyiladi. Difraksiyani hosil bo‘lishini Gyugens prinsipiga asoslanib tushuntirish mumkin. Bu prinsip to‘lqin frontining vaqtning  $t$  momentida ma’lum bo‘lgan vaziyatga asoslanib  $t + \Delta t$  vaqt momentidagi to‘lqin frontini yasash usulini beradi. Gyugens prinsipiga binoan to‘lqin harakat yetib borgan har bir nuqta ikkilamchi to‘lqinlar uchun markaz bo‘lib xizmat qiladi.

Ko‘p teshikli yassi to‘siqqa unga parallel bo‘lgan to‘lqin fronti tushayotgan bo‘lsin (11.2-rasm).



**11.2-rasm. Ikkilamchi to‘lqinlar frontining hosil bo‘lishi**

Gyuygens prinsipiga asosan, yassi to‘lqinning har bir teshigiga to‘g‘ri kelgan nuqtalar ikkilamchi to‘lqinlar markaziga aylanadilar. Bu ikkilamchi to‘lqinlarni o‘rab oluvchi egri chiziqni chizsak, u ikkilamchi to‘lqin fronti geometrik soya sohasini ham egallay boshlaydi.

Ikkita bbir xil amplitudali bir-biriga qarab yo‘nalgan yassi to‘lqinlar o‘zaro qo‘shilganda juda muhim intenferensiya hodisasi kuzatiladi. Natijada yuzaga keluvchi tebranma jarayon turg‘un to‘lqin deyiladi. Amalda turg‘un to‘lqinlar ular to‘siqdan urilib qaytganda kuzatiladi. To‘siqqa kelib tushayotgan to‘lqin bilan unga qarshi kelayotgan qaytgan to‘lqin bir-biriga qo‘shilib turg‘un to‘lqin hosil qiladi.

Qarama-qarshi yo‘nalishda tarqalayotgan ikkita yassi to‘lqin tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$\begin{aligned}\xi_1 &= A \cos(\omega t - kx), \\ \xi_2 &= A \cos(\omega t + kx).\end{aligned}$$

Bu ikki tenglamani o‘zaro qoshsak, quyidagi tenglikka ega bo‘lamiz:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = 2A \cos kx \cos \omega t \quad (11.5)$$

(11.5) tenglama turg‘un to‘lqin tenglamasi deyiladi. Ko‘rinib turibdiki, turg‘un to‘lqinning har bir nuqtasida uchrashayotgan to‘lqinlarning chastotasiga teng chastota bilan tebranishlar sodir bo‘ladi va bu tebranishlarning amplitudasi  $x$  ga bog‘liq ekan:

$$\begin{aligned}A(\text{natijaviy}) &= \left| 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \right|, \\ 2\pi \frac{x}{\lambda} &= \pm n\pi, \quad (n = 0, 1, 2, \dots)\end{aligned} \quad (11.6)$$

tenglikni qanoatlantiruvchi nuqtalarda tebranishlar chastotasi maksimal  $2A$  qiymatga erishadi. Bu nuqtalar turg‘un to‘lqinning do‘ngliklari deyiladi. (11.6) shartdan do‘ngliklarning koordinatalari qiymatlari kelib chiqadi:

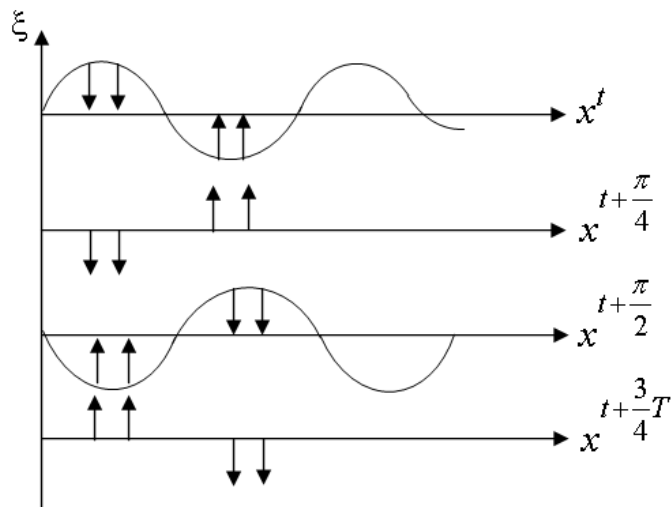
$$\begin{aligned}x_{\text{do'ng}} &= \pm n \frac{\lambda}{2}, \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \\ 2\pi \frac{x}{\lambda} &= \pm \left( n + \frac{1}{2} \right) \pi \quad (n = 0, 1, 2, \dots)\end{aligned} \quad (11.7)$$

tenglikni qanoatlantiruvchi nuqtalarda tebranish amplitudasi nolga teng bo‘ladi. Bu nuqtalar turg‘un to‘lqinning tugunlari deyiladi. Muhitning tebranishlar tugunida joylashgan nuqtalari tebranmaydi. Tugunlarning koordinatalari quyidagi qiymatlarga ega:

$$x_{tug} = \pm \left( n + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (11.8)$$

(11.7) va (11.8) formulalardan qo'shni do'ngliklar orasidagi masofa xuddi qo'shni tugunlar orasidagi masofa kabi  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng degan xulosa kelib chiqadi. Do'ngliklar va tugunlar bir-biriga nisbatan chorak to'lqin uzunligiga siljigan.

(11.5) tenglamada  $2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$  ko'paytma nol qiymatidan o'tayotganda o'z ishorasini o'zgartiradi. Shunga mos ravishda tugunning turli tomonlaridagi tebranishlarning fazasi  $\pi$  ga farq qiladi, ya'ni tugunning turli tominlarida yotgan nuqtalar qarama-qarshi fazalarda tebranadi (11.3-rasm).



**11.3 - rasm. Turg'un to'lqinlar**

Tovush to'g'risidagi ta'limot akustika deb ataladi. Inson va hayvonlarning tovushni sezishi sababi havo yoki boshqa elastik muhitda tarqalayotgan elastik to'lqinlarning eshitish organlariga ta'siridir. Bu elastik to'lqinlar manbai tebranayotgan jismlardir. Tebranayotgan jism o'z atrofida tebranayotgan muhit zarrachalarining siyraklashishi yoki quyuvlashishini hosil qiladi. Zarrachalarning siyraklashishi va quyuvlashishi, muhitning elastikligi sababli, unda tarqalib, tovush to'lqinlarini hosil qiladi.

Tovush to'lqinlari, odatdagi mexanik to'lqinlarga o'xshab, sferik yoki yassi frontga ega bo'lishi mumkin. Tovush to'lqinlari gazli, suyuqlik va qattiq muhitlarda tarqalishi mumkin. Gaz va suyuqliklarda ular bo'ylama to'lqin shaklida bo'ladi, qattiq jismlarda bo'ylama va ko'ndalang to'lqin shaklida bo'ladi.

Tovush o‘zining kuchi, balandligi va tembri bilan tavsiflanadi. Tovushning kuchi yoki jadalligi to‘lqin tarqalishi yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan birlik yuza kesimidan uzatilayotgan to‘lqin energiyasi miqdori bilan aniqlanadi. To‘lqin uzatayotgan energiya to‘lqin amplitudasining va chastotasining kvadratlariga proporsional bo‘lgani uchun, tovush kuchi ham shu kattaliklarga proporsionaldir.

$$I = \frac{1}{2} A^2 \omega^2 \rho \vartheta \quad (11.9)$$

bu yerda  $A$  to‘lqin amplitudasi,  $\omega$  – to‘lqinning siklik chastotasi,  $\rho$  – muhit zichligi,  $\vartheta$  – to‘lqin tarqalishining fazaviy tezligidir.

Misol uchun, chastota o‘zgarmas bo‘lganda, amplituda ikki marotaba kuchayadi, tovush jadalligi esa bir marotaba oshadi. XB tizimida tovush jadalligi birligi  $W/m^2$  da o‘lchanadi.

Elastik muhitda bo‘ylama tovush to‘lqinlarining tarqalishi muhitning hajmiy deformatsiyalanishi bilan bog‘liqdir. Shuning uchun muhitning har bir nuqtasidagi bosim uzluksiz tebranib turadi va u muhit bosimining muvozanatdagi qiymati va  $\Delta P$  qo‘shimcha bosim yig‘indisiga tengdir.  $\Delta P$  qo‘shimcha bosim muhitning tovush bosimi deb ataladigan deformatsiyasi ta’sirida vujudga keladi.

Sinusoidal to‘lqin tovush bosimi, muhitning to‘lqin qarshiligini  $(\rho\vartheta)$  zarrachalarning tebranish tezligiga  $\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)$  ko‘paytmasiga teng:

$$\Delta P = \rho\vartheta \frac{\partial S}{\partial t} \quad (11.10)$$

Tovush bosimi balandligining birligi qilib «Bell» olingan. «Bell» katta o‘lchov birligi bo‘lgani uchun uning o‘ndan bir qismi detsibell (dB) olinadi.

Fiziologik akustikada tovush sezishining tavsifi sifatida tovushning balandligi, tembri va qattiqligi qabul qilinadi. Tovush balandligi deb, tebranish chastotasi va eshitish qobiliyatiga bog‘liq bo‘lgan, deyarli, davriy tovushning sifatiga aytiladi. Chastota pasayishi bilan tovushning balandligi pasayadi.

Tovushning kuchi va jadalligidan farqli, tovush qattiqligi eshitish sezgirligi kuchining subyektiv bahosidir, u muhitning zichligi va quloqning sezgirligiga bog‘liqdir.

Tovush qattiqligi birligi sifatida «fon» qabul qilinadi va uni chastotasi 103 Gs bo‘lgan tovushning hosil qilgan bosimi 1 dB ga tengligini bildiradi.



Inson qulog‘i tovushning ayrim jadalligini qabul qiladi. Past yoki sust tovushlarni inson qabul qila olmaydi.

Tovushning har bir chastotasi uchun eshitish chegarasi deb ataladigan ayrim tovush jadalligi mavjud, ya’ni bundan past holatlarda shu chastotali tovush eshitilmaydi. Kuchli tovushlarni ham, inson qulog‘i eshitmasligi mumkin, chunki u faqat quloqda og‘riq qo‘zg‘atishi mumkin.

Inson qulog‘i ayrim chastotali tovushlarni qabul qilishi mumkin va u har xil odamlarda har xildir, ammo inson o‘rtacha 20 Gs dan 20000 Gs gacha bo‘lgan chastotadagi tovushlarni qabul qiladi.

Chastotasi 20 H dan past tovushlar - infratovushlar, 20000 H dan yuqorisi - ultratovushlar deb ataladi.

Odatda, ultratovush to‘lqinlarni generatsiya qilish uchun, asosan pyezoelektrik va magnitostriksiyaviy nurlatgichlar ishlatiladi.

Ultratovushli to‘lqinlar bir qator o‘ziga xos xususiyatlarga ega. Ulardan eng muhimi, yorug‘likka o‘xshab tor yo‘nalgan dastalar - ultratovushli nurlar kabi nurlanishi mumkin.

Ultratovushli nurlarning ikki muhit chegarasida qaytishi va sinishi geometriyaviy optika qonunlariga asosan sodir bo‘ladi. Shuning uchun ultratovush nurlari tarqalish yo‘nalishini o‘zgartirish va fokuslashda har xil formadagi oynalar, tovushli linzalar, prizmalar va boshqa qurilmalar qo‘llaniladi.

Tovushli linzalar, tovush tarqaladigan muhitdagi tezligidan farq qiluvchi tezlikka ega bo‘lgan materiallardan foydalaniladi. Masalan, suyuqlikdan iborat bo‘lgan muhitga mo‘ljallangan tovushli linzalar plastmassalardan tayyorlanadi.

Optikadagiga o‘xshash, tovushli oyna va linzalarga bir-biriga qarama-qarshi bo‘lgan talablar qo‘yiladi.

Tovushli oynalar ultratovushli to‘lqinlarni iloji boricha to‘la qaytarish xususiyatiga ega bo‘lishlari kerak.

Shuning uchun oynaga mo‘ljallangan moddaning to‘lqin qarshiligi  $\ll \rho_1 g_1 \gg$  muhitning to‘lqin qarshiligidan  $\ll \rho_2 g_2 \gg$  juda ko‘p marta katta bo‘lishi zarur.

$$\gamma = \frac{\rho_2 g_2}{\rho_1 g_1} \gg 1$$

Aksincha, tovushli linzalar ultratovush to‘lqinlar uchun judayam tiniq bo‘lishi kerak. Shu sababli, linzalar uchun ishlatiladigan moddalarning

to‘lqin qarshiligi muhit qarshiligiga iloji boricha teng bo‘lishi kerak, yani  $\gamma = 1$ .

Ultratovushlarning to‘g‘ri chiziqli tarqalishi qonuniga asosan, ularni defektoskopiya va ultratovushli lokatsiyada qo‘llaniladi.

Kuchli ultratovushlar hosil qiladigan tovush bosimining amplitudasi katta bo‘lgani tufayli, suyuqlikda kavitatsiya hodisasi paydo bo‘ladi, ya’ni uzluksiz ichki uzilishlar hosil bo‘ladi va yo‘qolib turadi. Natijada, suyuqlikda makro organizmlar, qattiq jismlar parchalanishiga olib keladi.

Gaz, suyuqlik va qattiq jismlarda ultratovushlarning tarqalishi va yutilishiga bog‘liq tajribalarni kuzatish orqali moddalarning tuzilishi, termodinamik xususiyatlarini, molekulyar jarayonlar kinetikasi, o‘zaro ta’siri, moddaning issiqlik sig‘imi elastikligi va b.ga tegishli qonuniyatlarni o‘rganish mumkin.

Yopiq xonalarda, devorlar orasidagi masofa kichik bo‘lgani uchun, devordagi qaytgan tovush (exo), asosiy tovush bilan qo‘shilishi mumkin.

Ikkita muhit chegarasida tovush faqat qaytishi emas, balki yutilishi ham mumkin, chunki to‘lqin bosimi energiyasining bir qismi qaytishi, qolgan qismi muhitga o‘tib tartibsiz molekulalar harakat energiyasiga aylanishi mumkin.

## 12-§. Elektromagnit to‘lqinlar

O‘zgaruvchan elektr maydoni magnit maydonini, o‘zgaruvchan magnit maydoni elektr maydonini yuzaga keltiradi va hokozo. Zaryadlar yordamida o‘zgaruvchan elektr maydoni yoki magnit maydoni o‘yg‘otilsa fazoda nuqtadan-nuqtaga tarqaluvchi elektr va magnit maydonlarning ketma-ket o‘zaro a; mashinavi sodir bo‘ladi. Elektromagnit to‘lqinlar mavjudligi to‘g‘risidagi xulosa Maksvell tenglamalaridan kelib chiqadi.

Elektr va magnit to‘lqinlarining majmuasi elektromagnit to‘lqin deb ataladi.

Bu holda, elektromagnit to‘lqin o‘tuvchi har bir nuqtada  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  kuchlanganliklarning har biri maksimumgacha o‘sib, nolgacha kamayishga intiladi.

Agarda boshlang‘ich nuqtada maydon kuchlanganligi uzoq vaqt  $E = E_0 \sin \omega t$  qonuniyat bilan tebranib tursa, u holda to‘lqin o‘tadigan har bir nuqtada  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  maydon kuchlanganliklari ham shu qonuniyat bilan

tebranadilar. Bu ikkala vektorlar bir-biriga perpendikulyar bo‘lib, to‘lqin tarqalishi yo‘nalishiga perpendikulyardir, yani elektromagnit to‘lqin ko‘ndalang to‘lqindir.

Kirituvchanlik doimiylari  $\varepsilon$  va  $\mu$  bo‘lgan bir jinsli neytral ( $\rho=0$ ) o‘zagarmas ( $\vec{j}=0$ ) muhit uchun Maksvell tenglamalarini yozamiz. Bunda,

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t},$$

$$\text{div} \vec{B} = \mu\mu_0 \text{div} \vec{H} \quad \text{va} \quad \text{div} \vec{D} = \mu\mu_0 \text{div} \vec{E}.$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (12.1)$$

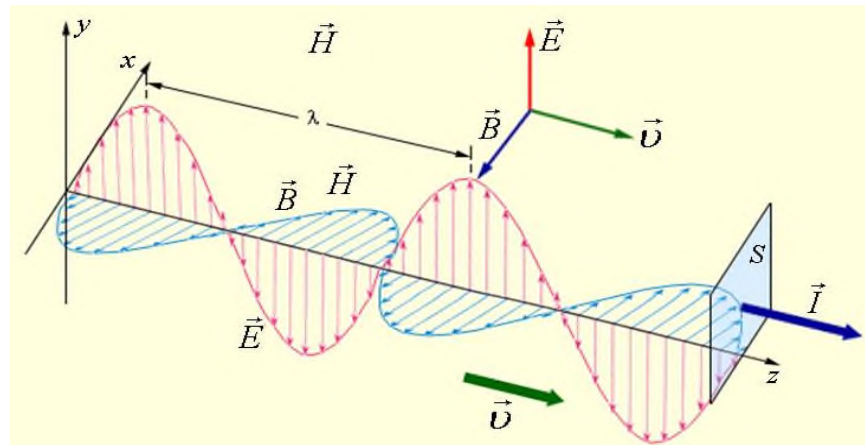
$$\text{div} \vec{H} = \frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0 \quad (12.2)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (12.3)$$

$$\text{div} \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \quad (12.4)$$

Maksvell tenglamalaridan quyidagi differensial tenglama kelib chiqadi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} &= \varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2} &= \varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \end{aligned} \right\} \quad (12.5)$$



**12.1 - rasm. Elektromagnit to‘lqinning elektr va magnit kuchlanganlik vektorlari yo‘nalishlari**

Bu elektr va magnit to‘lqinlarining mos ravishda to‘lqin tenglamalaridir. Bu tenglamalarni to‘lqinning differensial tenglamasi

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{g^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (12.6)$$

bu yerda

$$g = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}}$$

ya'ni faqat to'liqin tarqaladigan muhitning dielektrik va magnit singdiruvchangliklariga bog'liq ekan.

Vakuumdagi  $\varepsilon = \mu = 1$  ga teng bo'lgani uchun to'liqinlarning fazali tezliklari yorug'likning vakuumdagi tezligiga teng:

$$g = c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 299729 \text{ km/s}.$$

Elektromagnit to'liqinining istalgan muhitdagi tarqalish tezligi quyidagicha:

$$g = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (12.7)$$

Xo'qi bo'ylab tarqalayotgan yassi elektromagnit to'liqin uchun  $E_z = H_x = 0$  ekanligini hisobga olsak, Maksvell tenglamasidan quyidagi differensial tenglamalarini keltirib chiqaramiz:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2}$$

Bu tenglamalarning eng oddiy yechimlari quyidagi funksiyalardan iboratdir:

$$E_y = E_0 \sin(\omega t - kx + \varphi_1); \quad H_z = H_0 \sin(\omega t - kx + \varphi_2) \quad (12.8)$$

Bu yerda  $\omega$  - to'liqin chastotasi,  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{u}$  to'liqin soni,  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$   $x=0$  nuqtadagi tebranishning boshlang'ich fazalari.

Elektromagnit to'liqin uchun, quyidagi tenglik:

$$\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2 = \mu\mu_0 H_0^2 \quad (12.9)$$

o'rinlidir. Bu tenglikdan elektr va magnit maydon vektorlarining tebranishlari bir xil fazada ( $\varphi_1 = \varphi_2$ ) sodir bo'lishi ko'rinib turibdi va bu vektorlarning amplitudalari bir-biri bilan quyidagicha bog'langan:

$$E_0 \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H_0 \sqrt{\mu\mu_0} \quad (12.10)$$

Yassi elektromagnit to'liqin tenglamasining vektor ko'rinishi quyidagicha:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - kx); \quad \vec{H} = \vec{H}_0 \sin(\omega t - kx) \quad (12.11)$$

bu yerda  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ .

Elektromagnit to‘lqinlar, har qanday to‘lqinlarga o‘xshash, energiyani ko‘chirish xususiyatiga egadirlar.

Elektromagnit maydon energiyasi zichligi  $\omega$  elektr va magnit maydonlar energiya zichliklari yig‘indisidan iborat:

$$\omega = \omega_E + \omega_H = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \quad (12.12)$$

Fazoning berilgan nuqtasida  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  vektorlar bir xil fazada o‘zgaradi. To‘lqinning elektr va magnit maydonlari energiyalari zichligi vaqtning har bir momenti uchun bir xil:  $\omega_E = \omega_H$ . Shuning uchun

$$\omega = 2\omega_E = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 \text{ o‘rinli.}$$

$E\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H\sqrt{\mu\mu_0}$  tenglikdan foydalanib, quyidagicha ifodani yozish mumkin:

$$\omega = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0} EH = \frac{1}{g} EH$$

bu yerda  $g$  - elektromagnit to‘lqinning tarqalish tezligi. Elektromagnit to‘lqin energiyasi oqimi zichligi vektori quyidagicha:

$$S = \omega g = EH \quad (12.13)$$

$\vec{E}$  va  $\vec{H}$  vektorlar o‘zaro bir - biriga perpendikulyar va to‘lqin tarqalishi yo‘nalishi bilan o‘ng burama tizimini tashkil etadi. Shu sababli,  $[\vec{E}\vec{H}]$  vektor yo‘nalishi energiyaning ko‘chishi yo‘nalishiga mos keladi.

Elektromagnit to‘lqin energiyasi oqimi zichligi vektorini  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  ning vektor ko‘paytmasi sifatida tasavvur qilish mumkin:

$$\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}] \quad (12.14)$$

va bu  $\vec{S}$  - vektor Umov-Poyting vektori deb ataladi.

Amalda elektromagnit to‘lqinlar manbai bo‘lib istalgan elektr tebranish konturi yoki o‘zgaruvchan elektr toki oqayotgan o‘tkazgich bo‘lishi mumkin. Elektromagnit to‘lqinlarni qo‘zg‘atish uchun fazoda o‘zgaruvchan elektr maydonini (siljish tokini) yoki mos ravishda o‘zgaruvchan magnit maydonini hosil qilish zarurdir. Manbaning nurlanish qobiliyati uning shakli, o‘lchamlari va tebranish chastotasi bilan aniqlanadi.

Nurlanish sezilarli bo‘lishi uchun, o‘zgaruvchan elektr maydoni hosil bo‘ladigan fazoning hajmi katta bo‘lishi kerak. Shu sababli, elektromagnit to‘lqinlar hosil qilish uchun yopiq tebranish konturlarini ishlatib bo‘lmaydi, chunki kondensator qoplamalari orasida elektr maydoni, induktivlik g‘altagi ichida magnit maydoni joylashgan bo‘ladi.

Yopiq tebranish konturida sig‘im va induktivlik katta qiymatga ega bo‘lgani uchun tebranish davri va elektromagnit to‘lqin uzunligi katta bo‘ladi.

$$\lambda = \mathcal{G}T = 2\pi\nu\sqrt{LC} \quad (12.14)$$

To‘lqin uzunligini qisqartirish uchun induktivlik va sig‘im qiymatini qisqartirish kerak. Shu sababli, Gers o‘z tajribalarida g‘altak o‘rami va kondensator qoplamalari yuzasini kamaytirib, qoplamalar orasini kengaytirish hisobiga yopiq tebranish konturidan ochiq tebranish konturiga o‘tish usulini topdi.

Natijada chaqnash oralig‘i bilan ajralgan ikkita sterjenli (simli) tebranish konturini hosil qildi. Agarda, yopiq tebranish konturida o‘zgaruvchan elektr maydoni kondensator qoplamalari orasiga joylashgan bo‘lsa, ochiq tebranish konturida esa, o‘zgaruvchan elektr maydoni kontur atrofidagi fazoni egallaydi va elektromagnit nurlanish jadalligini kuchaytiradi.

Ikkita sterjenli tebranish konturining uchlariga qarama-qarshi zaryadlar kiritilsa, sterjen atrofida elektr maydoni kuch chiziqlari hosil bo‘ladi. Qarama-qarshi zaryadlar bir-biri bilan tortishib o‘tkazgichda tok hosil qiladilar, bu tok o‘z navbatida o‘tkazgich atrofida elektr maydoni hosil qiladi.

Vibratorning o‘rtasida qarama-qarshi zaryadlar duch kelsa, ular bir-birini neytrallaydi va elektr kuch chiziqlarining uchlari zaryadlardan uziladi. Ajralgan elektr maydon kuch chiziqlari vibratorning barcha taraflariga tarqala boshlaydi.

Gers shunday vibrator orqali 100 mHz chastotali elektromagnit to‘lqinlarni hosil qila oldi. Bu to‘lqinlarning to‘lqin uzunligi taxminan 3 m ga teng.

Sterjenlarning qalinligi va uzunligini yanada kamaytirish hisobiga P.N.Lebedov  $\lambda = 6 \div 4 \text{ mm}$  li elektromagnit to‘lqinlarini hosil qildi.

Elektromagnit to‘lqinlar keng chastota spektri yoki to‘lqin uzunligiga ( $\lambda = C/\nu$ ) ega bo‘lib, bir-biridan generatsiya va qayd qilish usullari va o‘zining xususiyatlari bilan farq qiladi. To‘lqin uzunligi  $0,1 \div 10^3 \text{ m}$  kenglikdagi elektromagnit to‘lqinlar radioaloqa va tasvirni uzatishda (uzun, o‘rta, qisqa, ultraqisqa va detsimetrli radio to‘lqinlar) ishlatiladi.

To‘lqin uzunligi  $10^{-8} \div 10^{-4} \text{ m}$  kenglikda bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlar, uchta gruppada optik to‘lqinlardan iboratdir: infraqizil,

ko‘zga ko‘rinadigan ( $7,6 \cdot 10^{-7} \div 4 \cdot 10^{-4} m$ ) va ultrabinafsha nurlardir (12.1-jadval).

Nihoyatda qisqa to‘lqinli nurlar modda ichiga kirish xususiyatiga ega bo‘lgan rentgen va gamma - nurlardan iborat.

***Elektromagnit to‘lqinlar shkalasi***

**12.1-jadval**

<b>Nurlanish turlari</b>	<b>To‘lqin uzunligi, m</b>	<b>To‘lqin chastotasi, H</b>	<b>Nurlanish manbalari</b>
Radioto‘lqinlar	$10^{-4} - 10^3$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^{12}$	Tebranish konturi Gers vibratori lampali generator
Yorug‘lik to‘lqinlari: Infraqizil Ko‘zga ko‘rinadigan nurlar	$8 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-7}$ $8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{11} - 3,75 \cdot 10^{14}$ $3,75 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$	
Ultrabinafsha nurlar	$10^{-9} - 4 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	Lazerlar
Rentgen nurlari	$6 \cdot 10^{-12} - 2 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$	Rentgen trubalari
$\gamma$ nurlar	$< 6 \cdot 10^{-12}$	$> 5 \cdot 10^{19}$	Radioaktiv nurlanish, yadro reaksiyalari, kosmik nurlanish

**12.1-§. Dasturlash tilidan foydalanib tebranma harakatlarni grafik ko‘rinishda tasvirlash**

**Dev-C++ dasturlash tilida:**

Dev-C++ dasturida dasturlash amalga oshirish jarayonida funksiyaning argumentga bog‘lanish tenglamasini kiritish maqsadga muvofiq. Dasturlash jarayonida masshtabni, koordinatalar boshini va

ketma-ketlik koeffitsiyenti  $k$  ni to‘g‘ri tanlash lozim. Dev-C++ (4.1.1.2) dasturlash tilida avval grafik rejimga o‘tish va dasturlashni amalga oshirish kerak bo‘ladi. Kompilyatsiya jarayonini amalga oshirganimizdan so‘ng grafik chizish Dev-C++ da Console oynasida qora chiziqlar orqali amalga oshiriladi (12.1.1-rasm).

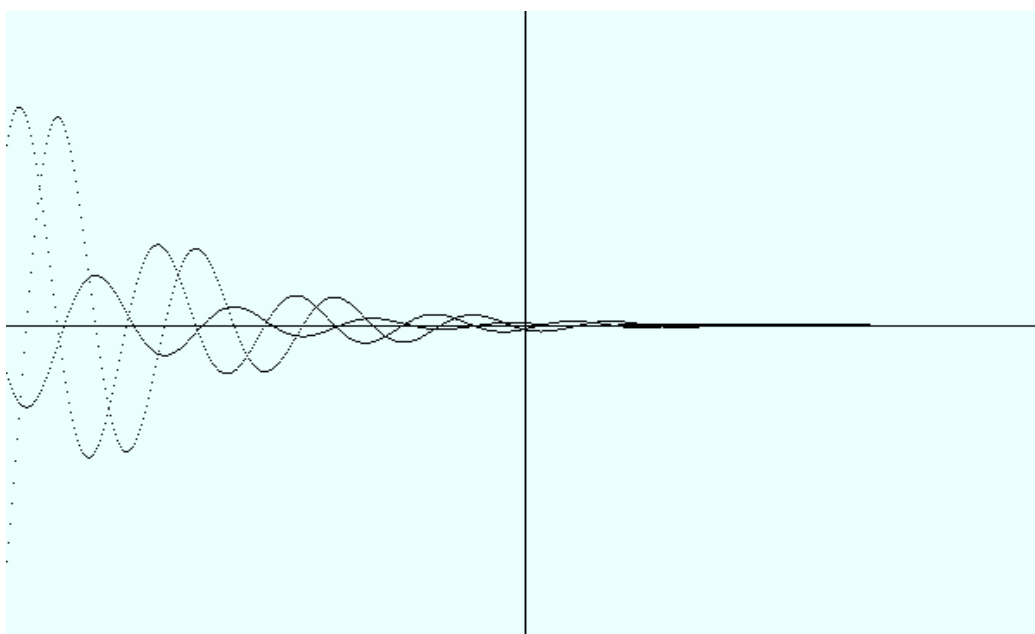
```
#include <conio.h>
#include <iostream>
#include <graphics.h>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    initwindow(600,400);
    setbkcolor(WHITE);
    clearviewport();
    setcolor(BLACK);
    line(0,200,getmaxx(),200);
    line(300,0,300,getmaxy());
    double x,y,i,pi=3.14,k=0.1;
    for(int i=-250;i<300;i=i+1)
    {
        x=250+i;
        y=200-10*(exp(-0.125*k*i))*sin(pi/4*k*i+pi/6);
        putpixel(x,y,BLACK);
        y =200-(2.5*pi*cos(pi/6+pi/4*k*i)*exp(-0.125*k*i)-
        (1.25*sin(pi/6+pi/4*k*i))*exp(-0.125*k*i));
        putpixel(x,y,BLACK);
    }
}
```



```

y=200-(0.15625*sin(pi/6+pi/4*k*i)*exp(-0.125*k*i)-
0.625*pi*cos(pi/6+pi/4*k*i)*exp(-0.125*k*i)-
5*pi*pi*sin(pi/6+pi/4*k*i)/(8*exp(0.125*k*i)));
putpixel(x,y,BLACK);
delay(10);
}
getch();
closegraph();
return 0;
}

```



### 12.1.1-pacm. DevC++ Console oynasida chizilgan grafik tasviri

Fizikaviy jarayonlarni dasturlash tillaridan foydalanib o‘rganish kelajakda yosh dasturchidan mukammal dasturlarni yaratishida asos bo‘ladi. Fizikadan amaliy mashg‘ulot jarayonida zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish, xususan Dev-C++, Java(SE-8)-eclipse kompyuter dasturlarini samarali grafik rejimda qo‘llanilishi o‘quvchi amaliy faoliyatini faollashtirishiradi hamda dastulash tillarini chiqur o‘zlashtirishida amaliy yordam beradi.

**Delphi7 dasturlash tilida:**

Borland Delphi7 dasturlash tilini ishga tushirib komponentalar paletrasidagi System tarkibidan PaintBox ni va Standard tarkibidan Button tugmachalarini tanlab formaga tushiramiz. Formada PaintBox, Button1 va Button2 tugmachalarni ketma-ket sichqonchani ikki martadan bosib dastur kodi kiritiladi. Dastur kodini kiritishda koordinatalar boshini, masshtabni va qadam berishni to‘g‘ri tanlash lozim bo‘ladi. Natijada tugmachalarni har birini bosganda grafiklar ketma-ket chiziladi.

### **Dastur kodi quyidagicha:**

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms, Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls;
type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    PaintBox1: TPaintBox;
    Button2: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var i:integer;
    x0,y0,x1,x2,fx,fy:integer;
begin
  Canvas.Pen.Color:=clBlack;
  PaintBox1.Canvas.MoveTo(30,200);
  PaintBox1.Canvas.LineTo(30,0);
```

```

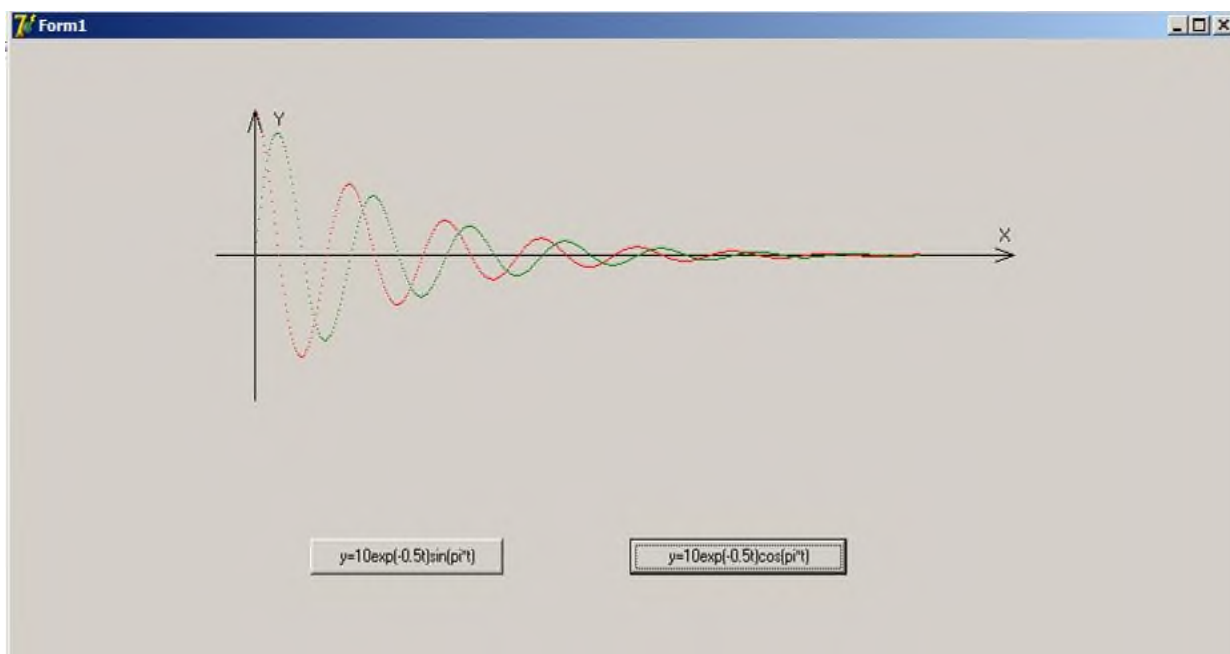
PaintBox1.Canvas.MoveTo(600,100);
PaintBox1.Canvas.LineTo(0,100);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(600,100);
PaintBox1.Canvas.LineTo(585,105);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(600,100);
PaintBox1.Canvas.LineTo(585,95);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(35,15);
PaintBox1.Canvas.LineTo(30,0);
PaintBox1.Canvas.MoveTo(25,15);
PaintBox1.Canvas.LineTo(30,0);
Canvas.Pen.Color:=clBlack;
PaintBox1.Canvas.TextOut(590,80,'X');
Canvas.Pen.Color:=clBlack;
PaintBox1.Canvas.TextOut(45,0,'Y');
x0:=30;y0:=100;
begin
x1:=0;x2:=500;
x:=x1;
while x<x2 do
begin
fx:=x0+round(x);
fy:=y0-round(100*exp(-0.01*x)*cos(5*x*pi/180));
for i:=0 to 500 do
PaintBox1.Canvas.Pixels[fx,fy]:=clRed;
x:=x+1;
end;
end;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var i:integer;
x0,y0,ux,uy:integer;
x,x3,x4:real;
begin
x0:=30;y0:=100;
begin
x3:=0.01;x4:=500;
x:=x3;
while x<x4 do

```

```

begin
ux:=x0+round(x);
uy:=y0-round(100*exp(-0.01*x)*sin(5*x*pi/180));
for i:=0 to 500 do
PaintBox1.Canvas.Pixels[ux,uy]:=clGreen;
x:=x+1;
end;
end;
end;
end.

```



### 21.1.2-rasm. Delphi7 dasturida soʻnuvchi tebranish grafigi

Fizikadan taʼlim jarayonida zamonaviy Dev-C++, Java(SE-8)-eclipse,

Borland Delphi7, Borland C++ Builder, Embarcadero RAD Studio kabi dasturlash tillaridan samarali grafik rejimda qoʻllanilishi oʻquvchi amaliy va ijodiy faoliyatini faollashtirish bilan bir qatorda fanlararo uzviylikni taʼminlaydi.

### 12.2-§. Dasturlash tilida tebranma harakatga doir dasturiy mahsulot yaratish texnologiyasi

Fizikani oʻrganish jarayoniga kompyuter dasturlarini qoʻllashning jiddiy muammolaridan biri dasturlash tilini tanlashdir. Tilni tanlash

foydalaniladigan kompyuterlar turiga bog'liq. Kompyuterni o'quv jarayoniga unumli tadbir qilish uchun kompyuter bilan ta'minlangan hamma ta'lim muassasalar sinf xonalari uchun yagona dasturlash tilini tanlab olish zarur. Bu narsa hozirgi vaqtda ko'p sonli mutaxassislar tomonidan turli yo'nalishlarda ishlab chiqilayotgan pedagogik dasturiy vositalardan foydalanishni ancha soddalashtiradi. Bundan tashqari dasturlarni ko'paytirish va tayyor dasturlarni ta'lim muassasalar sinf xonalariga uzatish mumkin bo'ladi.

Fizikadan laboratoriya mashg'ulotlari jarayonida noan'anaviy uslub sifatida kompyuter va axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish ekologik mazmun kasb etish bilan bir qatordaham o'qituvchiga, ham o'rganuvchi-talabaga bir qator afzalliklarini yaratadi. Fizikadan laboratoriya mashg'ulotlari sifatini va talabalarning laboratoriya mashg'ulotlariga bo'lgan qiziqishini oshirish maqsadida zamonaviy axborot kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish, laboratoriya mashg'ulotlari jarayoniga dasturiy vositalarni qo'llash bugungi kunda har qachongidan ko'ra muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga fizikadan laboratoriya mashg'ulotlari jarayoniga dasturiy vositalarni qo'llash, masalan, fizikadan laboratoriya ishlarida olingan natijalarga elektron ishlov berish va hisobotini elektron tashkil etish birinchidan talabaga laboratoriya ishlarini topshirish jarayonini osonlashtiradi va tezlashtiradi, ikkinchidan o'qituvchiga ham bir qator qulayliklar yaratadi. Ma'lumki fizikadan laboratoriya mashg'ulotlari jarayoni virtual yoki fizik jihozlar yordamida amalga oshiriladi, bunda olingan natijalar daftarga hisobot shaklida yozilib jadval asosida to'ldiriladi so'ngra o'qituvchi hisobotlarni tekshirib tegishli ball bilan baholaydi.

Yuqorida keltirilgan muammolarni yechimiga yaqinlashish, fizikadan laboratoriya ishlarini bajarish, olingan natijalarga elektron ishlov berish va tahlil qilish, hisobot topshirish jarayonini soddalashtirish, hamda talaba amaliy faoliyatini faollashtirish maqsadida maqolada, namuna sifatida, fizikaviy stendlar yoki virtual usulda olingan natijalarga elektron ishlov berish, hisobotini elektron shaklda to'ldirish va topshirish jarayonini Borland C++ va Borland Delphi7 dasturlash tililarida dasturini ishlab chiqamiz.






### **Borland C++ builder6 dasturlash tilida:**

Dasturiy mahsulotni ishlab chiqish jarayoni quyidagi keltirilgan ketma-ketlik orqali bajarishda o‘z ifodasini topadi:

➤ Microsoft Access dasturi yordamida ma’lumotlar bazasini hosil qilamiz va **db1.mdb** kabi saqlaymiz:

Код	L	N	t	T_davr	g	g_o'rt	delta_g	delta_g_o'rt	g_haqiqiy	epsilon
1	1,5		10,40	2,08	9,11		0,64			
2	1,17		15,1	2,15	9,38		0,37			
3	1,26		13,25	2,2	9,77		0,02			
4	1,35		11,19	2,24	10,21		0,46			
5	1,46		14,41	2,4	9,58		0,17			
6	1,57		17,54	2,5	9,46	9,75	0,29	0,31	9,81	3,16
7	1,68		20,4	2,55	9,7		0,05			
8	1,75		12,9	2,58	10,07		0,32			
9	1,85		13,2	2,64	10,18		0,43			
10	2,6		16,9	2,81	9,98		0,23			
11	0,58		11,6	1,4	10,06		0,85			
12	0,7	10	16,95	1,695	9,6		0,15			
13	0,99		17,22	1,91	9,72		0,03			
14										
*	(Счетчик)									

➤ 4 ta yangi forma ochamiz va 1-formaga komponentalar palitrasidagi quyidagi komponentalar joylashtiramiz:

ADO->ADO Connection , ADO->ADO Table , Data Access->Data Source , Standard->Main Menu ;ActiveX->ShockwaveFlash ;

ADO Connection tarkibiga Connection String xossasiga db1.mdb ma’lumotlar bazasini biriktiriladi va LiginPromt xossasiga true o‘rnatiladi;

Data Source tarkibidan Data Set xossasiga ADO Table1 o‘rnatiladi;



DBGrid tarkibidan DataSource xossasiga DataSource1 o‘rnatiladi, natijada DBGrid oynasida jadval paydo bo‘ladi;

ADOTable tarkibidan Active xossasini true ga o‘zgartiriladi;

Main Menu tarkibiga Yuriqnoma, Laboratoriya ishi, Jadval, Jadval PDF, Grafik, Pechat (Yuriqnoma, Jadval), Dasturdan chiqish, Dastur haqida o‘rnatiladi;





➤ Borland C++ builder6 dasturlash tili komponentalar palitrasida hujjatlar bilan ishlovchi **FastReport4** yuqligi uchun **fr4bcb6.exe** drayverini o‘rnatamiz bu esa o‘z navbatida hujjatlar bilan ishlash imkoniyatini yaratadi;

➤ 2-formaga quyidagikomponentalarni joylashtiramiz:

Fast Report 4.0->frxReport , Fast Report 4.0->frxPreview ; frxReport tarkibidan Name xossasiga frxReport1 o‘rnatamiz va

frxReport->Fayl->New Page yangi oynasiga yo'riqnomani joylashtiramiz;

➤ 3-formaga quyidagikomponenetalarni joylashtiramiz:

Fast Report 4.0->frxReport , Fast Report 4.0->frxDBDataset ,  
Fast Report 4.0->frxPreview , Fast Report 4 export->frxPDFExport ;

FrxDBDataset tarkibidan DataSource xossasiga Form1.DataSource1 o'rnatiladi; frxPreview komponentaga sichqoncha chap tugmasi ikki marta bosilib Fayl->NewReport, Report->Data...o'rnatiladi;

Data Controls tarkibidan DB Edit komponentasini formaga joylashtiriladi va DataSource xossasini Form1.DataSource1 nom bilan, DataField xossasini jadvaldagi tegishli nom bilan belgilanadi;

➤ 4-formaga Data Controls tarkibidan TDBChart komponentasi joylashtiriladi va Chart->Add->Fast Line, Series->DataSource->Data Set->Form1.Table1 kabi belgilanadi.

1-forma komponentalari uchun yozilgan dastur kodlari quyidagicha:

```
#include <vcl.h>
#include <mshtml.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit1.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit3.h"
#include "Unit4.h"
#include "Unit5.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma link "SHDocVw_OCX"
#pragma link "ShockwaveFlashObjects_OCX"
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}
```

```

//-----void__fastcall
TForm1::LABORATORIYAISHI1Click(TObject *Sender)
{
ShockwaveFlash1->Movie=ExtractFilePath(Application-
>ExeName)+"/pendulum-lab.swf";
ShockwaveFlash1->Play();
}
//-----
void__fastcall TForm1::MENYU1Click(TObject *Sender)
{
Form2->Show();
Form2->frxReport1->ShowReport();
}
//-----
void__fastcall TForm1::DASTURDANCHIQISH2Click(TObject
*Sender)
{
Form1->Close();
}
//-----
void__fastcall TForm1::JADVAL1Click(TObject *Sender)
{
Form3->Show();
Form3->frxReport1->ShowReport();
}
//-----
void__fastcall TForm1::GRAFIK1Click(TObject *Sender)
{
Form4->Show();
}
//-----
void__fastcall TForm1::YURIQNOMA1Click(TObject *Sender)
{
Form2->frxReport1->ShowReport();
Form2->frxReport1->Print();
}
//-----
void__fastcall TForm1::JADVAL2Click(TObject *Sender)

```

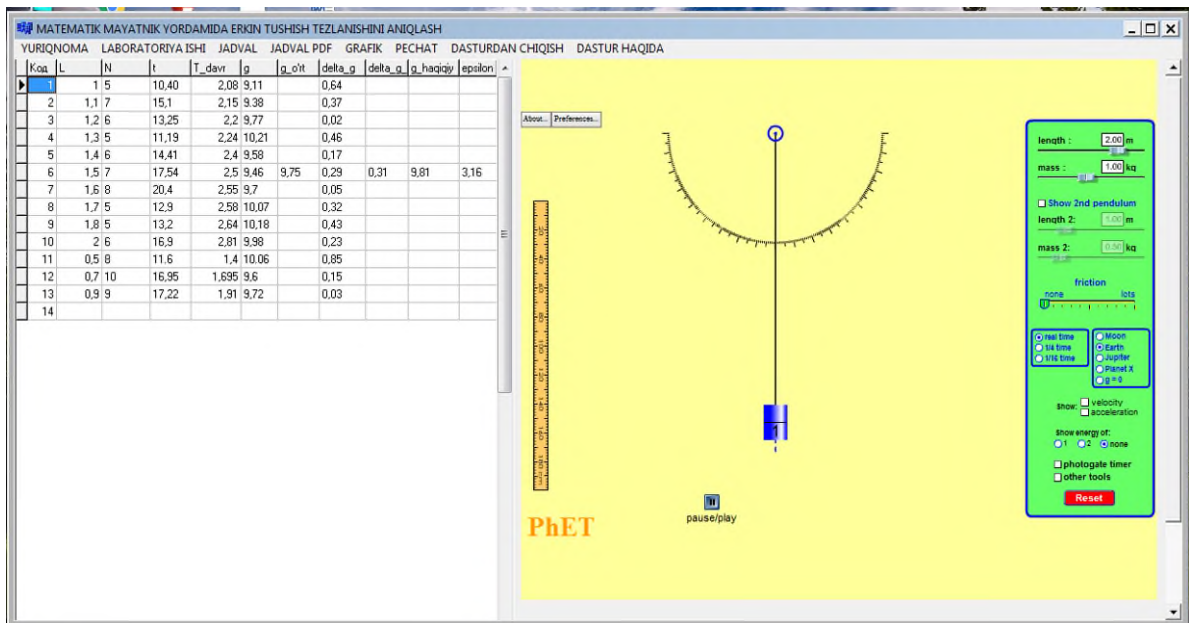


```

{
Form3->frxReport1->ShowReport();
Form3->frxReport1->Print();
}
void__fastcall TForm1::JADVALPDF1Click(TObject *Sender)
{
Form3->frxReport1->ShowReport();
Form3->frxReport1->Export(Form3->frxPDFExport1);
}
void__fastcall TForm1::DASTURHAQIDA1Click(TObject *Sender)
{
Form5->Show();
Form5->frxReport1->ShowReport();
}
{
ADOConnection1-
>ConnectionString="Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;User
ID=Admin; DataSource="+ExtractFilePath(Application->ExeName)+
"db1.mdb;Mode=Share Deny None;Jet OLEDB:System database="";Jet
OLEDB:Registry Path="";Jet OLEDB:Database Password="";Jet
OLEDB:Engine Type=5;Jet OLEDB:Database Locking Mode=1;Jet
OLEDB:Global Partial Bulk Ops=2;Jet OLEDB:Global Bulk
Transactions=1;Jet OLEDB:New Database Password="";Jet
OLEDB>Create System Database=False;Jet OLEDB:Encrypt
Database=False;Jet OLEDB:Don't Copy Locale on Compact=False;Jet
OLEDB:Compact Without Replica Repair=False;Jet
OLEDB:SFP=False;";
ADOConnection1->Connected=true;
ADOTable1->Active=true;
}

```

Kompilyatsiyajarayoniamalga oshirilgach quyidagi natija kelib chiqadi:



### Dasturning afzalliklari:

- ✓ Virtual laboratoriya ishini bajarish;
- ✓ Jadvalma'lumotlarkiritish nisodali givaqulayligi;
- ✓ Avtomatik ravishda grafik tasvirni hosil qilish;
- ✓ Jadvalni PDF formatga o'tkazish;
- ✓ Jadval yoki yo'riqnomadan nusxa chop etish;
- ✓ Laboratoriya ishida olingan natijalarni tahrir qilish;
- ✓ Laboratoriya ishini topshirish va qabul qilishni tezlashtirish;
- ✓ Laboratoriya ishini bajarishda ortiqcha qog'oz bozlikka yo'l qo'ymaslik;
- ✓ Hisobotlarni uzoq muddat va ishonchli saqlanishi;
- ✓ Dasturdan foydalanib o'quvchilarni masofaviy o'qitishimkoniyatlar mavjud.

Mazkur dasturdan foydalanib O'zbekiston Respublikasi akademik litseylari, kasb-unar kollejlari va umumta'lim maktablarida fizika fanidan laboratoriya darslarida, ayniqsa oliy ta'lim muassasalarining masofaviy ta'lim tizimidan foydalangan holda ta'lim shakli kunduzgi, sirqi va maxsus sirtqi bo'gan talabalarga laboratoriya mashg'ulotlarini o'tkazish mumkin.

### Delphi7 dasurlash tilida:

Ta'lim jarayonida virtual laboratoriya ishlarini bajarish, topshirish va qabul qilishda hanzgacha murakkabliklar mavjud. Talaba virtual laboratoriya ishini o'qituvchi kuzatuv ostida bajarsagina ijobiy baholanadi, masofaviy tarzda bajarilgan ishni o'qituvchiga isbotlab

berish esa mushkul vazifa. Ushbu muammoni barataraf etish maqsadida ob'yekga yo'naltirilgan dasturlash tilining innovatsion muhitidan foydalanamiz. Borland Delphi7 – ob'yektga yo'naltirilgan dasturlash tili hisoblanib yuqori imkoniyatlarga ega.

Borland Delphi7 dasturlash tilini ishga tushiramiz:

*Borland Delphi7->File->New->Application.*

Formaga komponentalar palitrasidan quyidagi komponentalarni joylashtiramiz:

1. MainMenu, StringGrid, ShockwaveFlash, Chart, Panel;
2. MainMenu tarkibiga yo'riqnoma, laboratoriya ishi, grafik, pechat, dastur haqida, dasturdan chiqish kiritiladi;
3. Panel tarkibiga Edit komponentalari joylashtiriladi;
4. StringGrid komponentasidan jadval hisoblashlarda foydalaniladi;
5. Chart komponentasidan grafiklar hosil qilishda foydalaniladi;
6. ShockwaveFlash komponentasidan virtual laboratoriya ishini yuklashda qo'llaniladi.

Dastur kodlari quyidagicha kiritiladi:

*ShockwaveFlash komponentasi uchun:*

```
procedure TForm1.LABORATORIYAISHI1Click(Sender:
TObject);
begin
ShockwaveFlash1.Movie:=ExtractFilePath(Application.ExeName)
+'resonance.swf';
ShockwaveFlash1.Play();
end;
```

*Chart komponentasi uchun:*

```
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var
i:integer;
begin
for i:=1 to StringGrid1.RowCount-1 do
begin
Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]),StrTo
Float(StringGrid1.Cells[3,i]),',',clRed);
Chart1.Series[1].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]),StrTo
Float(StringGrid1.Cells[4,i]),',',clGreen);
```

```

Chart1.Series[2].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]),StrTo
Float(StringGrid1.Cells[5,i]),',',clBlue);
    end;
end;

```

*Jadvalni avtomatik to 'ldirish uchun:*

```

procedure TForm1.BitBtn9Click(Sender: TObject);
var
j:integer;
begin

```

```

    q:=StrToInt(LabeledEdit1.Text);
    for j:=1 to q do
    StringGrid1.Cells[0,j]:=IntToStr(j);
    Panel3.Visible:=False;
    StringGrid1.RowCount:=q+1;
    StringGrid1.Cells[0,0]:='№';
    StringGrid1.Cells[1,0]:='w (rad/s)';
    StringGrid1.Cells[2,0]:='w0 (rad/s)';
    StringGrid1.Cells[3,0]:='A1 (m)';
    StringGrid1.Cells[4,0]:='A2 (m)';
    StringGrid1.Cells[5,0]:='A3 (m)';
    Windows.SetFocus(Edit8.Handle);

```

```

end;
procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    i:=i+1;
    q:=StrToInt(LabeledEdit1.Text);
    StringGrid1.Cells[1,i]:=Edit4.Text;
    Edit4.Text:='';
    if i=q then Panel1.Visible:=False;
    b1:=StrToFloat(Edit1.Text);
    b2:=StrToFloat(Edit2.Text);
    b3:=StrToFloat(Edit3.Text);
    w:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,i]);
    w0:=StrToFloat(Edit8.Text);
    Form1.Edit8.Text:=FloatToStrF(w0,ffFixed,3,3);
    StringGrid1.Cells[2,i]:=Edit8.Text;
    A1:=10/sqrt((w0*w0-w*w)*(w0*w0-w*w)+4*b1*b1*w*w);

```

```

Form1.Edit5.Text:=FloatToStrF(A1,ffFixed,3,3);
StringGrid1.Cells[3,i]:=Edit5.Text;
A2:=10/sqrt((w0*w0-w*w)*(w0*w0-w*w)+4*b2*b2*w*w);
Form1.Edit6.Text:=FloatToStrF(A2,ffFixed,3,3);
StringGrid1.Cells[4,i]:=Edit6.Text;
A3:=10/sqrt((w0*w0-w*w)*(w0*w0-w*w)+4*b3*b3*w*w);
Form1.Edit7.Text:=FloatToStrF(A3,ffFixed,3,3);
StringGrid1.Cells[5,i]:=Edit7.Text;
end;

```

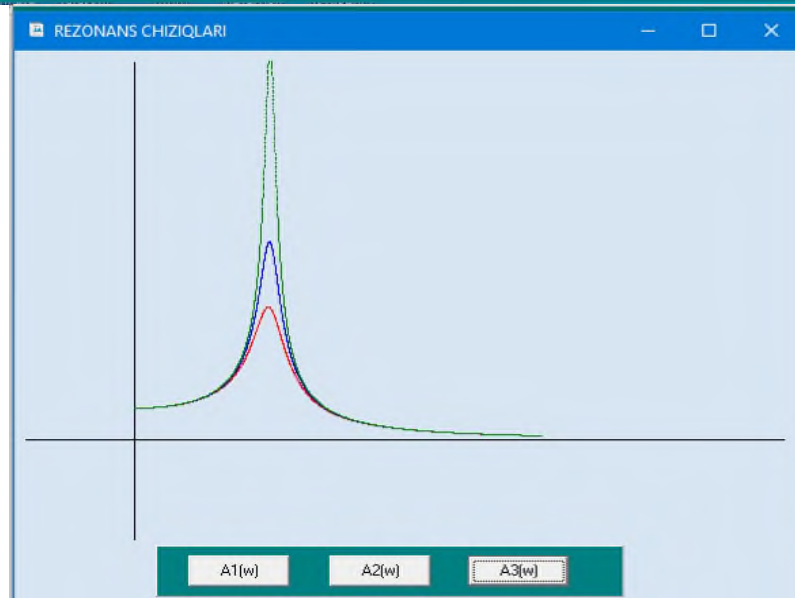
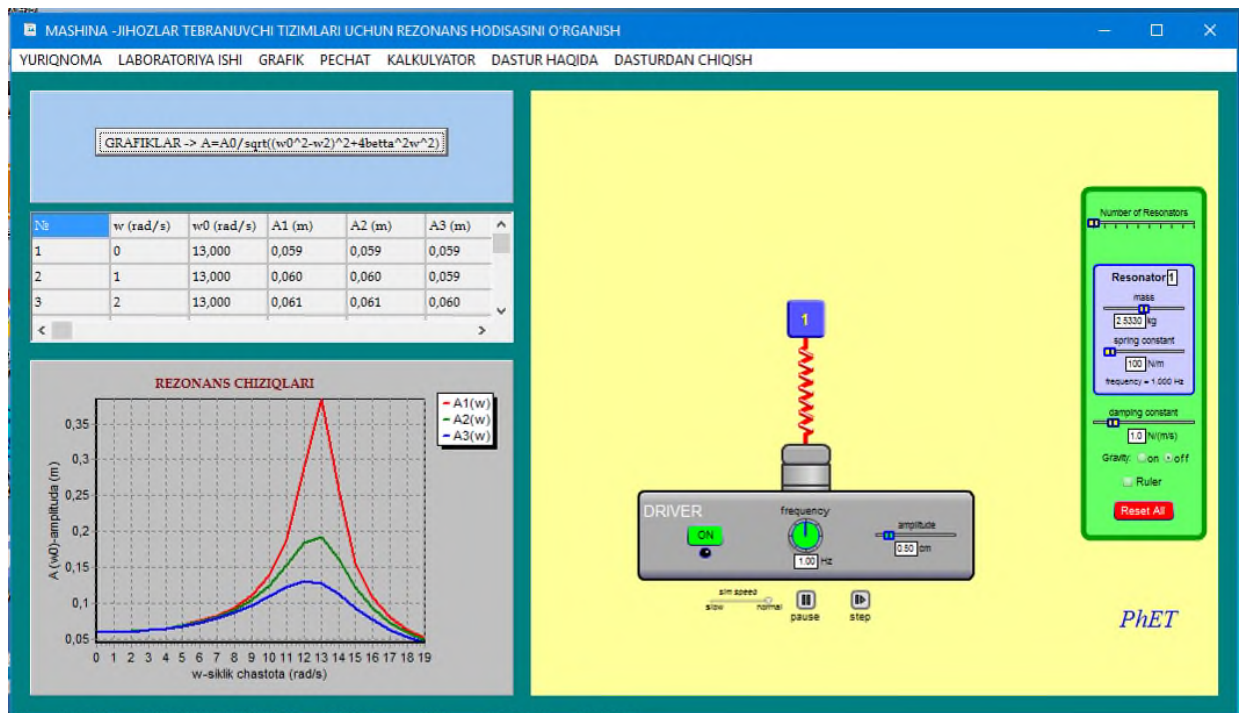
*Funksiya grafigini hosil qilish uchun:*

```

procedure TForm5.Button2Click(Sender: TObject);
var i:integer;
    ox,oy,x0,y0,x,x1,x2,px,py:integer;
    w,w0,w2,b2:real;
begin
x0:=80;y0:=300;
begin
w0:=100;
b2:=8;
w2:=300;
while w<=w2 do begin
px:=x0+round(w);
py:=y0-round(250000/sqrt((w0*w0-w*w)*(w0*w0-
w*w)+4*b2*b2*w*w));
for i:=1 to 180 do
PaintBox1.Canvas.Pixels[px,py]:=clBlue;
w:=w+0.05;
end;
end;
end;

```

Kopmilyatsiya jarayoni amalga oshiramiz va quyidagi natijaga ega bo‘lamiz:



Yaratilgan dasturning funksional imkoniyatlari:

- Dasturdan foydalanish qulayligi va soddaligi;
- Kattaliklarni avtomatik hisoblash;
- Jadvalni avtomatik to'ldirish;
- Yuqori sifatli grafik tasvirlar;
- Virtual laboratoriya ishini bajarish;
- Masofaviy ta'limni qo'llab-quvvatlash;
- Fizik kattaliklarni kiritish va hisoblash tezkorligi;
- Ta'lim sifati va samaradorligini oshirish.

Mazkur dasturdan foydalanib oliy ta'lim muassasalarining masofaviy ta'lim tizimidan foydalangan holda ta'lim shakli kunduzgi,

sirqi va maxsus sirtqi bo‘gan talabalarga laboratoriya mashg‘ulotlarini o‘tishda qo‘llash mumkin.

### Nazorat savollari

1. To‘lqin nima? Qanday to‘lqinlarni bilasiz?
2. To‘lqinlarning tarqalish tezligi qanday fizik kattaliklarga bog‘liq?
3. To‘lqinning siljish tenglamasi qanday ko‘rinishda? Differensial ko‘rinishi qanday yoziladi?
4. To‘lqinlarning faza va guruh tezligini tushuntirib bering.
5. To‘lqinlarni qo‘shish. Superpozitsiya prinsipi qanday bo‘ladi?
6. Turg‘un to‘lqinlar va ularning tenglamasi qanday ko‘rinishda?
7. Akustika nima?
8. Elektromagnit to‘lqinlarni hosil bo‘lishi va differensial tenglamasi qanday ko‘rinishda? Ularni tarqalish tezligini hisoblang?
9. Umov - Poyting vektorini tushintiring.

### Masala yechish namunalari

1. Massasi 10g bo‘lgan moddiy nuqta  $x = 5 \sin(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}) \text{ sm}$  tenglama bo‘yicha tebranadi. Nuqtaga ta’sir etuvchi maksimal kuch va tebranayotgan nuqtaning to‘la energiyasini toping.

Berilgan:  $m = 10 \text{ g} = 10^{-2} \text{ kg}$ ,  $x = 5 \sin(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}) \text{ sm}$

Topish kerak:  $F_m - ?$ ,  $W_t - ?$

Yechilishi: Dastlab garmonik tebranayotgan moddiy nuqtaning tezlanishini topamiz:  $a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2} (5 \sin(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4})) = \frac{\pi^2}{5} \sin(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}) \text{ sm/s}^2$ .

Moddiy nuqtani garmonik tebranma harakatga keltiruvchi kuch:

$F = ma = m \frac{\pi^2}{5} \sin(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}) \cdot 10^{-2}$ , bu kuch maksimal qiymatga  $\sin(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}) = 1$

bo‘lganda erishadi.  $F_m = m \frac{\pi^2}{5} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ . Garmonik tebranayotgan

moddiy nuqtaning to‘liq energiyasi esa:  $W_k = m \frac{2\pi^2}{T^2} A$ . Masala shartida

berilgan harakat tenglamasidan  $\frac{\pi}{5}t = \frac{2\pi}{T}$  va  $T = 10 \text{ s}$  ekanligini aniqlaymiz. To‘liq energiyani hisoblasak:  $W = 5 \mu\text{s}$ .

2. Prujinaga osilgan mis sharcha vertikal tebranmoqda. Prujinaga mis sharcha o'rniga shunday radiusli alyuminiy sharcha osilsa, tebranish davri qanday o'zgaradi?

Berilgan:  $\rho_1 = 8600 \text{ kg/m}^3$  - misning zichligi,  $\rho_2 = 2600 \text{ kg/m}^3$  - alyuminiy zichligi.

Topish kerak:  $T_1/T_2 - ?$

Yechilishi: Mis va alyuminiy sharlarning tebranishlari mos holda quyidagicha bo'ladi:  $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}$ ,  $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}}$ . Bundan  $T_1/T_2 = \sqrt{m_1/m_2}$ .

Masala shartiga ko'ra  $v_1 = v_2$  bo'lgani uchun  $T_1/T_2 = \sqrt{\rho_1/\rho_2} = 1.82$ .

3. Agar  $g = 6 \text{ m/s}$  tezlik bilan tarqalayotgan to'lqinning chastotasi  $\nu = 6 \text{ Hz}$  ekanligi ma'lum bo'lsa uning to'lqin uzunligini va bir-biridan  $l_2 - l_1 = 50 \text{ sm}$  oraliqda yotgan nuqtalarning  $\varphi_2 - \varphi_1$  fazalar farqini toping.

Berilgan:  $\nu = 6 \text{ Hz}$ ,  $g = 6 \text{ m/s}$ ,  $l_2 - l_1 = 0.5 \text{ m}$

Topish kerak:  $\lambda - ?$ ,  $\varphi_2 - \varphi_1 - ?$

Yechilishi: To'lqin uzunligini quyidagicha topamiz:  $\lambda = \frac{g}{\nu} = 1 \text{ m}$ .

Nuqtalarining orasidagi masofa  $\Delta l$  to'lqin uzunligiga nisbatan qancha o'zgarsa fazalar farqi ham  $2\pi$  ga nisbatan shunchaga o'zgaradi, ya'ni:  $\frac{l_2 - l_1}{\lambda} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2\pi}$  yoki,  $\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = 3.14$ , fazalar farqi burchak xarakteriga ega ekanligi uchun  $\varphi_2 - \varphi_1 = 180^\circ$ .

Yechilishi:  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , ikkinchi tomondan ma'lumki  $\lambda = cT$ , bunda  $c$  - elektromagnit to'lqinning tezligi  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Bu ikkala formulani birgalikda yechsak:  $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC} = 2 \cdot 10^3 \text{ m}$  ga teng bo'ladi.

4. Induktivligi  $L = 3 \cdot 10^{-5} \text{ H}$  bo'lgan g'altak plastikalarining sathi  $S = 10 \text{ sm}^2$  va ular oraliqlari  $d = 0.1 \text{ mm}$  bo'lgan yassi kondensatorga ulangan. Agar kontur  $750 \text{ m}$  uzunlikdagi to'lqinga rezonanslashsa, plastinkalar oraliq'ini to'ldiruvchi muhitning dielektrik singdiruvchanligi nimaga teng?

Berilgan:  $L = 30 \mu\text{H}$ ,  $S = 0.01 \text{ m}^2$ ,  $d = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 750 \text{ m}$

Topish kerak:  $\varepsilon - ?$



Yechilishi: Biz bilamizki yassi kondensator sig‘imi quyidagiga teng:  $S = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ , yuqoridagi masalaning yechilishidan ma’lumki  $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$ , bundan tenglikning ikkala tomonini kvadratga oshirsak  $\lambda^2 = 4\pi^2 c^2 LC$ . Yassi kondensatorning sig‘imi uchun yozilgan yuqoridagi tenglamani ta’sir ettirsak  $\lambda^2 = 4\pi^2 c^2 LC \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ , bundan  $\varepsilon$  ni topsak  $\varepsilon = \frac{\lambda^2 d}{4\pi^2 c^2 LS\varepsilon_0}$ . Masala shartidan va  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} F/m$  ekanligidan  $\varepsilon = 6$ .

5. Tebranish konturidagi tok kuchining vaqt bo‘yicha o‘zgarish tenglamasi quyidagi ko‘rinishda berilgan:  $I = -0.02 \sin 400\pi t$  A. Konturning induktivligi 1 H. 1) Tebranish davri, 2) kontur sig‘imi, 3) kondensator qoplamalaridagi maksimal potentsiallar ayirmasi, 4) magnet maydonning maksimal energiyasi, 5) elektr maydonning maksimal energiyasi topilsin.

Berilgan:  $I = -0.02 \sin 400\pi t$ ,  $L = 1H$

Topish kerak:  $T - ?$ ,  $C - ?$ ,  $U_m - ?$ ,  $W_m - ?$ ,  $W_e - ?$

Yechilishi: Masala shartiga ko‘ra:  $I = -0.02 \sin 400\pi t$  (1). Zanjirdagi tokning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniga ko‘ra  $I = C \frac{dU}{dt} = -CU_0 \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t$  (2). Ushbu tenglamalarni taqqoslasak  $T = 5ms$  kelib chiqadi, ikkinchi tomondan Tomson formulasiga ko‘ra:  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  dan  $C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = 0.63\mu F$ . (1)

formuladan ko‘rinadiki agar  $\sin 400\pi t = 1$  bo‘lgandagi tok eng katta qiymatga erishadi, ya’ni  $I_{\max} = 0.02A$ . U holda magnet maydonning maksimal energiyasi  $W_m = \frac{LI_{\max}^2}{2} = 0.2mJ$ . Energiyaning saqlanish qonuniga

ko‘ra  $W_e = W_m = \frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = 0.2 mJ$ .

Javoblar:  $T = 5ms$ ,  $C = 0.63\mu F$ ,  $W_m = 0.2mJ$ .

## Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Garmonik tebranishlar amplitudasi 50 mm, davri 4 sekund va boshlang'ich fazasi  $\pi/4$ . 1) Mazkur tebranishning tenglamasini yozing. 2)  $t = 0$ ,  $t = 15s$  bo'lganda tebranayotgan nuqtaning muvozanat vaziyatdan siljishini toping. 3) Bu harakat grafigini chizing  
(1)  $x = 50 \sin(\frac{\pi t}{2} + \frac{\pi}{4}) mm$ , 2)  $x_1 = 35.2 mm$ ,  $x_2 = 0$ ).
2.  $x = 7 \sin 0.5\pi t$  tenglama bo'yicha harakat qilayotgan nuqta harakat boshlanishidan qancha vaqt o'tgach muvozanat vaziyatidan maksimal siljishiga qadar yo'lni bosib o'tadi? ( $1s$  dan so'ng).
3. Nuqtaning harakat tenglamasi  $x = 2 \sin(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}) sm$  ko'rinishida berilgan. 1) Tebranishlar davrini, 2) nuqtaning maksimal tezligini, 3) uning maksimal tezlanishini toping. (1)  $4s$ , 2)  $3.14 \cdot 10^{-2} m/s$ , 3)  $4.94 \cdot 10^{-2} m/s^2$ ).
4. Nuqtaning maksimal tezlanishi  $49.3 sm/s^2$ , tebranish davri 2 sekund va nuqtaning muvozanat vaziyatidan 25 mm ga siljigan paytdagi garmonik tebranishning harakat tenglamasini yozing  
( $x = 5 \cdot 10^{-2} \sin(\pi t + \frac{\pi}{6}) m$ ).
5. Garmonik tebranishning boshlang'ich fazasi nolga teng. Nuqta muvozanat vaziyatidan 2.4 sm siljiganda nuqtaning tezligi 3 sm/s bo'ladi. 2.8 sm siljiganda esa tezligi 2 sm/s bo'ladi. Shu tebranishning amplitudasi va davrini toping.  
( $A = 3.1 \cdot 10^{-2} m$ ,  $T = 4.1 s$ ).
6. Vaqtning 1)  $t = \frac{T}{12} s$ , 2)  $t = \frac{T}{8} s$ , 3)  $t = \frac{T}{6} s$  paytlari uchun garmonik tebranayotgan nuqta kinetik energiyasining uning potensial energiyasiga bo'lgan nisbati nimaga teng? Tebranishning boshlang'ich fazasi nolga teng.  
(1)  $\frac{W_k}{W_p} = 3$ ; 2)  $\frac{W_k}{W_p} = 1$ ; 3)  $\frac{W_k}{W_p} = \frac{1}{3}$ ).
7. Garmonik tebranma harakatda bo'lgan jismning to'la energiyasi  $3 \cdot 10^{-5} J$ , jismga ta'sir etuvchi maksimal kuch  $1.5 \cdot 10^{-3} N$  ga teng. Tebranish davri 2 sekund va boshlang'ich faza  $60^\circ$  bo'lsa, bu jismning harakat tenglamasini yozing.  
( $x = 0.04 \sin(\pi t + \frac{\pi}{3}) m$ ).

8. Moddiy nuqtaning garmonik tebranishlar amplitudasi  $A = 2\text{sm}$ , tebranishlarning to'la energiyasi  $W = 3 \cdot 10^{-7}\text{J}$ . Muvozanat vaziyatidan qancha siljiganda tebranayotgan nuqtaga  $F = 2.25 \cdot 10^{-5}\text{N}$  kuch ta'sir etadi? ( $x = \frac{FA^2}{2W} = 1.5 \cdot 10^{-2}\text{m}$ ).
9. Avtomobilning massasi  $m = 1200\text{kg}$  bo'lib har bir oyog'iga  $300\text{kg}$  massa tug'ri keladi. Avtomobil o'z yuki ta'sirida prujinasining siqilishi  $3\text{sm}$  ga teng bo'lsa bikrligini aniqlang. ( $k = \frac{F}{x} = 4.5 \cdot 10^{-2}\text{m}$ ).
10. Prujinaga toshlar qo'yilgan tarozi pallas osilgan. Bunda vertikal tebranishlar davri  $0.5\text{s}$  ga teng. Pallaga qo'shimcha toshlar qo'yilganidan keyin vertikal tebranishlar davri  $0.6\text{s}$  bo'ladi. Shu qo'shimcha yuk tufayli prujina qanchaga cho'zilgan? ( $\Delta l = 2.7\text{sm}$ ).
11. Uzunligi  $40\text{sm}$  va radiusi  $1\text{mm}$  bo'lgan rezinka shnurga og'irligi  $0.5\text{kG}$  tosh osilgan. Shu rezinkaning Yung moduli  $0.3\text{kG/mm}^2$  ekanligi ma'lum bo'lsa, toshning vertikal tebranish davrini toping. ( $T = 0.93\text{s}$ ).
12. Kamerton bilan suvda hosil qilingan to'lqin bir qirg'oqdan  $S = 200\text{m}$  masofadagi ikkinchi qirg'oqqa  $t = 125\text{s}$  da yetib keladi. Agar suv to'lqinining qirg'oqqa urilish chastotasi  $\nu = 0.4\text{Gs}$  bo'lsa, uning to'lqin uzunligini toping.  
( $\lambda = 4\text{m}$ ).
13. Chastotasi  $\nu = 500\text{Hz}$  va amplitudasi  $A = 0.25\text{mm}$  bo'lgan tovush havoda tarqalmoqda, to'lqin uzunligi  $\lambda = 70\text{sm}$ . 1) Tebranishning tarqalish tezligini 2) havo zarrachalarining maksimal tezligini toping.  
(1)  $350\text{m/s}$ , 2)  $0.785\text{m/s}$ ).
14. So'nmaydigan tebranish  $x = 4 \sin 600\pi t \text{sm}$  tenglama ko'rinishida berilgan. Tebranish boshlangandan  $0.01\text{s}$  o'tgandan keyin tebranishlar manbaidan  $75\text{sm}$  masofada turuvchi nuqtaning muvozanat vaziyatdan siljishini toping. Tebranishning tarqalish tezligi  $300\text{m/s}$ . ( $x = 0.04\text{m}$ ).
15. Tebranish manbaidan  $10\text{m}$  va  $16\text{m}$  masofadagi ikki nuqtaning tebranishining fazalar farqi qanchaga teng bo'ladi? Tebranish davri  $0.04\text{s}$  va tarqalish tezligi  $300\text{m/s}$  ( $\Delta\varphi = \pi$  - nuqtalar qarama-qarshi fazada tebranadi).
16. Tovushning kerosindagi tarqalish tezligi  $1330\text{m/s}$ , kerosinning siqilish koeffitsiyenti topilsin. Kerosin zichligi  $800\text{kg/m}^3$  deb oling.  
( $\beta = \frac{1}{\rho g^2} = 7.1 \cdot 10^{-10}\text{m}^2/\text{N}$ ).

17. Okeanning chuqurligi exolot yordamida o'lgan. Agar tovush paydo bo'lgan paytdan unu qabul qilib olguncha  $t = 5s$  vaqt o'tgan bo'lsa, okeanning chuqurligini toping. Tovushning okean suvida tarqalish tezligi  $\varrho = 1450m/s$  deb oling ( $h = 36.5m$ ).
18. Cho'yanda tovushning tarqalish tezligini birinchi marta fransuz olimi Bio quyidagicha aniqlagan. Cho'yan bir uchida zang urildi, bunda quvurning ikkinchi uchidagi kuzatuvchiga ikkita tovush: dastlab cho'yan bo'ylab kelgan bir tovush, biro z vaqtdan keyin havo bo'ylab kelgan ikkinchi tovush eshitildi. Quvurning uzunligi  $s = 930m$ , yetib kelgan tovushlar vaqtining farqi  $\Delta t = 2.5s$  bo'lsa, tovushning cho'yanda tarqalish tezligini toping. Tovushning havodagi tezligi  $\varrho = 340m/s$ . ( $\varrho = 3925m/s$ ).
19. Tovush havodan suvga o'tgandauning to'lqin uzunligining necha marta kata bo'lishini aniqlang. Tovushning havodagi tezligi  $\varrho_0 = 340m/s$ , suvda tarqalish tezligi esa  $\varrho = 1450m/s$ , ( $\frac{\lambda}{\lambda_0} = 4.26$ ).
20. Pianino simi uzunligi  $1.10m$ , massasi esa  $9.0g$ . Chastotasi  $131Gs$  bo'lgan tovush hosil qilish uchun pianino simiga qanday kuch bilan ta'sir qilish lozim?  
( $F_t = \mu \varrho^2 = \frac{m}{l} \varrho^2 = 679N$ ).
21. "lya" tonining chastotasi  $\nu = 435Gs$  ga mos kelgan, plastinkaning markazidan  $r = 12sm$  masofada yozilgan tovush to'lqinining do'ngliklari orasidagi masofani toping. Plastinkaning aylanish chastotasi  $\nu_0 = 33ayl/min$ , ( $l = 2\pi r \frac{\nu_0}{\nu} = 0.95mm$ ).
22. Inson qulog'i eshitishi uchun kerak bo'ladigan eng kichik tovush intensivligi  $I_0 = 1.0 \cdot 10^{-12}W/m^2$  bo'lib tovush balandligi  $\beta = 75Db$  bo'lsa havodagi tovush intensivligini aniqlang ( $I = I_0 \cdot 10^{\beta/10} = 3.2 \cdot 10^{-5}W/m^2$ ).
23. Tebranish konturi  $0.2\mu F$  sig'imli kondensator va  $5.07 \cdot 10^{-3}H$  induktiv g'altakdan iborat. 1) Kondensator qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasi qanday so'nish logarifmik dekrementida  $10^{-3}s$  ichida uch baravar kamayib ketadi. 2) bunda kontur qarshiligi qanchaga teng?  
(1)  $T = 2ms$ , 2)  $R = 11.1\Omega$ )
24. Tebranish konturi  $10^{-2}H$  induktivlik,  $0.405\mu F$  sig'im va  $2\Omega$  qarshilikdan iborat. Bir davrda kondensator qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasi necha marta kamayishi topilsin (1.04 marta)

25. Tebranish konturi  $1.1 \cdot 10^{-9} F$  sig'imga va  $5 mH$  induktivlikka ega. So'nish logarifmik dekrementi  $0.005$  ga teng. So'nish tufayli konturning  $99\%$  energiyasi qancha vaqtda yo'qoladi? ( $6.8 \cdot 10^{-3} s$ ).
26. Agar tebranish konturi kondensatorining qoplamalaridagi maksimal zaryad  $q_0 = 2.5 \cdot 10^{-8} C$ , konturdan o'tayotgan maksimal tok  $I_0 = 31.4 mA$  bo'lsa, konturdagi elektromagnit tebranishlar chastotasini toping. Agar konturning induktivligi  $L = 2 \cdot 10^{-7} H$  ga teng bo'lsa, konturdagi kondensator sig'imi nimaga teng bo'ladi? ( $\nu = 200 kGs, C = 3.2 \mu F$ ).
27. Tebranish konturi  $0.025 \mu F$  sig'imli konturdan hamda  $1.015 H$  induktivlikka ega g'altakdan iborat. Zanjirning qarshiligini hisobga olmaymiz. Kondensator  $2.5 \cdot 10^{-6} C$  elektr miqdori bilan zaryadlangan.
- 1) Bu tebranma kontur uchun kondensator qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasining (sonli koeffitsiyentlar bilan) va zanjirdagi tok kuchining vaqtga bog'liq ravishda o'zgarish tenglamasi yozilsin.
  - 2)  $\frac{T}{8}, \frac{T}{4}$  va  $\frac{T}{2} s$  ga teng vaqtdagi kondensator qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasining qiymati va zanjirdagi tok kuchi topilsin.
  - 3) bir davr chegarada bu bog'lanishlarning grafiklarini chizing.
- (1)  $U = 100 \cos(2\pi \cdot 10^3 t) V$ ,  $I = -15.7 \sin(2\pi \cdot 10^3 t) mA$ , 2)  $U_1 = 70.7 V$ ,  $I_1 = -11.1 mA$ ,  $U_2 = 0$ ,  $I_2 = -15.7 mA$ ,  $U_3 = 100 V$ ,  $I_3 = 0$ ).
28. Tebranish konturi kondensatori qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasining vaqtga qarab o'zgarish tenglamasi  $U = 50 \cos 10^4 \pi t V$  ko'rinishga ega. Kondensatorning sig'imi  $10^{-7} F$  ga teng. 1) Tebranish davri, 2) kontur induktivligi, 3) vaqt bo'yicha zanjirdagi tok kuchining o'zgarish qonuni, 4) shu konturga muvofiq keluvchi to'lqin uzunligini toping.
- (1)  $T = 2 \cdot 10^{-4} s$ , 2)  $L = 10.15 mH$ , 3)  $I = -157 \sin 10^4 \pi t mA$ , 4)  $\lambda = 600 m$ ).
29. Radiolokator  $\lambda = 20 sm$  li to'lqin uzunlikda  $n = 5000 \frac{1}{s}$  impuls chiqaradi. Agar impulsning davomiyligi  $\tau = 2 \mu s$  bo'lsa, har bir impulsdagi tebranishlar soni va radiolokatorning ta'sir masofasini toping ( $N = 3000, S = 30 km$ ).
30. Radiolokator  $\lambda = 15 sm$  li to'lqin uzunlikda ishlab, har bir sekundda  $n = 4000 \frac{1}{s}$  impuls chiqaradi. Agar impulsning davomiyligi  $\tau = 0.2 \mu s$  bo'lsa, har bir impulsda joylashgan ultraqisqa to'lqinlar soni

va radiolokator ta'sir masofasini toping.

$$(n = \frac{\tau}{T} = 40, S = \frac{g}{2n} = 37.5km).$$

31. Agar radiolokatorning ta'sir masofasi  $S = 25km$  bo'lsa, impulsning maksimal chastotasini toping. ( $\nu = \frac{c}{2S} = 6000\frac{1}{s}$ ).

32. Televizion eshittirishni eltuvchi ultraqisqa to'lqinning chastotasi  $\nu = 50MGs$  bo'lib,  $t = 40ms$  davomida tasvirning  $N = 50000$  elementini uzatadi. Impulsdan iborat bo'lgan har bir tasvir elementga joylashgan ultraqisqa to'lqinlar sonini toping. ( $n = \frac{\tau}{T} = \frac{t/N}{1/\nu} = 40$ ).

33.  $t = \frac{T}{8} s$  vaqt payti uchun tebranish konturi magnit maydon energiyasining elektr maydon energiyasiga nisbatini toping. ( $\frac{W_m}{W_e} = 1$ ).

34. Uzunligi  $l = 50sm$  va ko'ndalang kesimining yuzi  $S = 10sm^2$  bo'lgan g'altak  $\nu = 50Gs$  chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan. G'altakning o'ramlar soni  $N = 3000$ . Kuchlanish bilan tok o'rtasidagi fazalar siljishi  $60^\circ$  bo'lsa, g'altak aktiv qarshiligini toping ( $R = 4.1\Omega$ ).

35. Elektr doimiysi ( $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ ) va magnit doimiysi ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N \cdot s^2}{C^2}$ ) ni bilgan holda elektromagnit to'lqinlarning vakuumdagi tezligini hisoblang. ( $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ ).

## ILOVALAR

I jadval

### *Asosiy fizik kattaliklar*

<b>Fizik kattaliklar</b>	<b>Son qiymati</b>
Tortishish kuchi doimiysi $\gamma$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{sek}^2$
1kmol dagi molekularsr soni (Avogadro soni) $N_0$	$6,025 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$
Normal sharoitlarda 1 kmol'ideal gazning hajmi $V_0$	$22,4 \text{ m}^3$
Universal gaz doimiysi R	$8,31 \cdot 10^3 \text{ j/kmol} \cdot \text{grad}$
Bol'sman doimiysi $k$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ j/grad}$
Faradey soni F	$9,65 \cdot 10^7 \text{ k/kg} \cdot \text{ekv}$
Stefan –bolsman doimiysi $\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ bt/m}^2 \text{grad}^4$
Plank doimiysi h	$6,625 \cdot 10^{-19} \text{ k}$
Elektron zaryad $e$	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ k}$
Elektronning tich holatidagi massasi $m_e$	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ m.a.b.}$ (massa atom birligi)
Protonning tinch holatdagi massasi $m_p$	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00759 \text{ m.a.b}$
Neytronning tinch holatdagi massasi $m_n$	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00899 \text{ m.a.b}$
Yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi	$3,00 \cdot 10^8 \text{ m/sek}$

II jadval

### *Ba'zi astronomik kattaliklar*

Yerning o'rtacha radiusi	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Yerning o'rtacha tezligi	$5500 \text{ kg/m}^3$
Yerning massasi	$5,96 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Quyoshning radiusi	$6,95 \cdot 10^8 \text{ m}$
Quyoshning massasi	$1,97 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Oyning radiusi	$1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$
Oyning massasi	$7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Oy va Yerning markazlari orasidagi o'rtacha masofa	$3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$
Yer va Quyoshning markazlari orasidagi o'rtacha masofa	$1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Oyning yer atrofidan aylanish davri	

*Quyosh sistemasining planetalari to'g'risidagi ba'zi ma'lumotlar*

	<b>Merkuriy</b>	<b>Venera</b>	<b>Yer</b>	<b>Mars</b>	<b>Yupiter</b>	<b>Saturn</b>	<b>Uran</b>	<b>Neptun</b>
Quyoshdan o'rtacha masofa mln.km	57,9	108,0	149,5	227,8	777,8	1426,1	2869,1	4495,6
Quyosh tevaragida aylanish davri, yer yili	0,24	0,62	1,0	1,88	11,86	29,46	84,02	164,8
Ekvatorial diametr, km	4840	12400	12742	6780	139760	115100	51000	50000
Yer hajmiga nisbatan hajmi	0,055	0,92	1,0	0,150	1345	767	73,5	59,5
Yer massasiga nisbatan massasi	0,054	0,81	1,0	0,107	318,4	95,2	14,58	17,26
Yer yuzidagi totish kuchi tezlanishiga nisbatan og'irlik kuchi tezlanishi (g=980,7 sm/sek <sup>2</sup> )	0,38	0,85	1,0	0,38	2,64	1,17	0,92	1,14

*Atomlar va molekulalarning diametrlari*

Geliy (He)	$2 \cdot 10^{-10}$ m
Vodorod (H <sub>2</sub> )	$2,3 \cdot 10^{-10}$ m
Kislorod (O <sub>2</sub> )	$3 \cdot 10^{-10}$ m
Azot (N <sub>2</sub> )	$3 \cdot 10^{-10}$ m



V jadval

*T<sub>k</sub> va P<sub>k</sub> kritik qiymatlari*

Modda	T <sub>k</sub> , °K	P <sub>k</sub> , atm	p <sub>k</sub> · 10 <sup>-6</sup> , N/m <sup>2</sup>
Suv bug‘i	647	217	22,0
Karbonat anhidrid	304	73	7,4
Kislorod	154	50	5,07
Argon	151	48	4,87
Azot	126	33,6	3,4
Vodorot	33	12,8	1,3
Geliy	5,2	2,25	0,23

VI jadval

*Turli temperaturalarda fazoni to‘yintiruvchi suv  
bug‘larining elastikligi*

t, ° C	P <sub>b</sub> , mm simob ustini	t, ° C	P <sub>b</sub> , mm simob ustini
-5	3,01	16	13,6
0	4,58	18	15,5
1	4,93	20	17,5
2	5,29	25	23,8
3	5,69	30	31,8
4	6,10	40	55,3
5	6,54	50	92,5
6	7,01	60	149
7	7,71	70	234
8	8,05	80	355
9	8,61	90	526
10	9,21	100	760
12	10,5	150	4,8 atm
14	12,0	200	15,3 atm

VII jadval

*Turli temperaturalarda suvning bug‘lanish solishtirma issiqligi*

t, ° C	0	50	100	200
r, kal/g	595	568	539	464

$r \cdot 10^{-5}, \text{J/kg}$	24,9	23,8	22,6	19,4
--------------------------------	------	------	------	------

VIII jadval

*Ba'zi bir suyuqliklarning xossalari*

Suyuqlik	Zichlik, $\text{kg/m}^3$	20 <sup>0</sup> C lagi solishtirma issiqlik sig'imi		20 <sup>0</sup> C dagi sirt taranglik koeffisenti, N/m
		J/kg · grad	kal/g · grad	
Benzol	880	1720	0,41	0,03
Suv	1000	4190	1,0	0,073
Gliserin	1200	2430	0,58	0,064
Kanakunjit moyi	900	1800	0,43	0,035
Kerosin	800	2140	0,051	0,03
Simob	13600	138	0,033	0,5
Spirt	790	2510	0,6	0,02

IX jadval

*Ba'zi bir qattiq jismlarning xossalari*

Modda	Zichlik $\text{kg/m}^3$	Erish tempe- raturasi <sup>0</sup> C	Solishtirma issiqlik sig'imi		Erish solishtirma issiqligi, J/kg	Chiziqli issiqlik kengayish koeffisienti , grad <sup>-1</sup>
			J/kg · grad	kkal/kg · rad		
Alyuminiy	2600	659	896	0,214	$3,22 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Temir	7900	1530	500	0,119	$2,72 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Jez	8400	900	386	0,092	-	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Muz	900	0	2100	0,5	$3,35 \cdot 10^5$	-
Mis	8600	1100	395	0,094	$1,76 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Qalayi	7200	232	230	0,055	$5,86 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Platina	21400	1770	117	0,028	$1,13 \cdot 10^5$	$0,89 \cdot 10^{-5}$
Po'kak	200	-	2050	0,49	-	-
Qo'rg'oshin	11300	327	126	0,030	$2,26 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Kumush	10500	960	234	0,056	$8,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Po'lat	7700	1300	460	0,11	-	$1,06 \cdot 10^{-5}$
Rux	7000	420	391	0,093	$1,17 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-5}$

X jadval

*Ba'zi bir qattiq jismlarning elastilik xossalari*

Modda	Mustahkamlik chegarasi	Yung moduli
	$N/m^2$	$N/m^2$
Alyuminiy	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Temir	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Mis	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Qo'rg'oshin	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Kumush	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Po'lat	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$

XI jadval

*Ba'zi bir qattiq jismlarning issiqlik o'tkazuvchanligi*  
*( $\lambda$   $W/m \cdot grad$ )*

Alyuminiy	210
Namat	0,046
Temir	58,7
Eritilgan kvars	1,37
Mis	390
Quruq qum	0,325
Po'kak	0,050
Kumush	460
Ebonit	0,174

XII jadval

*Dielektriklarning dielektrik kirituvchanligi*

Mum	7,8
Suv	81
Kerosin	2
Moy	5
Parafin	6
Slyuda	6
Shisha	6
Chinni	6
Ebonit	2,6
Parafinlangan qog'oz	2

XIII jadval

*O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi ( $0^0$  C da  $\Omega \cdot m$ )*

Alyuminiy	$2,53 \cdot 10^{-8}$
Grafit	$3,9 \cdot 10^{-7}$
Temir	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Mis	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Nixrom	$1 \cdot 10^{-6}$
Simob	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Qo'rg'oshin	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Po'lat	$1,0 \cdot 10^{-7}$

XIV jadval  
Ionlarning elektrolitlardagi  
harakatachanligi  
( $\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ )

$\text{NO}_3^-$	$6,4 \cdot 10^{-8}$
$\text{NO}^+$	$3,26 \cdot 10^{-7}$
$\text{K}^+$	$6,7 \cdot 10^{-8}$
$\text{Cl}^-$	$6,8 \cdot 10^{-8}$
$\text{Ag}^+$	$5,6 \cdot 10^{-8}$

XV jadval  
Elektronlarning metallardan  
chiqishdagi ishi  
(MeV da)

W	4,5
W + Cs	1,6
W + Th	2,63
Pt + Cs	1,40
Pt	5,3
Ag	4,74
Li	2,4
Na	2,3
K	2,0
Cs	1,9

XVI jadval

**Sindirish ko'rsatkichlari**

Olmos .....	2,42	Uglerod	sulfid
Suv .....	1,33	.....	1,63
Muz .....	1,31	Skipidar .....	1,48
		Shisha .....	1,5-1,9

XVII jadval

Volfram .....	0,178	Platina .....	0,158
Oltin .....	0,153	Kumush .....	0,484
Mis .....	0,38		

XVIII jadval

**Simob yoyining spektral chiziqlari ( $\text{Å}$  da)**

2537	4047	5461	6128
3650	4358	5770	6908
3655	5235	5791	7082

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.// Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари тўплами. –Т., 209. Б.31.
2. Sh.M.Mirziyiyev. Buyuk kelajagimizni mard va oliyanob xalqimiz bilan birga quramiz. Toshkent: “O‘zbekiston”, 2017 y.
3. Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A. FIZIKA. Darslik. Toshkent. 2018 y.
4. Абдурахманов К.П., Эгамов Ў. “Физика”. Дарслик. Тошкент. 2013 й.
5. Xudayberdiyev A.T., Jumayev N.A., Turayev S.J.. Umumiy fizikadan masalalar va ularni yechishda dasturiy vositalardan foydalanish namunalari. O‘quv qo‘llanma. Qarshi “Nasaf”. 2019 y.
6. Douglos C. Giancoli., Physics principles with applications. USA-206. V.1, p-978.
7. Serway R.A., Jewett J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 8ed., Brooks Cole, 202. – 1558p.
8. Young H.D., Freedman R.A. University Physics with modern Physics, 13<sup>th</sup> Edition. – Addison-Wesley, 204. – 1598p.
9. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 1,2,3. Москва 2018 г.
10. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. М.: АСТ. Астрель. 2005г.
11. Типлер П.А., Ллуэллин Р.А. Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах) (1том). М. Мир. 2007. 496 с.
12. Типлер П.А., Ллуэллин Р.А. Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах) (2том). М. Мир. 2007. 416 с.
13. Трофимова Т.И. Курс физики. М. Высшая школа 1991. 543 с.
14. Холмедов Х.М., Туляганова Ш.А. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу физики. II-часть. «Колебания и волны. Оптика.», 209 с.
15. Абдужаббаров А.А., Каримов Х.Н. “Сборник задач и методические указания по физике. Часть I. Механика.”, 209.
16. Horton I.-Beginning Visual C++ 2012/ I. Horton. Published imultaneously in Canada.-204.-P.988.
17. Бежанова И.Ю. - Delphi7 самоучитель программиста.

## MUNDARIJA

KIRISH.....	3
<b>I BO‘LIM. ELEKTROSTATIKA. ELEKTROMAGNETIZM.....</b>	<b>5</b>
1-§. Elektr o‘zaro ta’sir .....	5
2-§. Elektr maydonda zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish.....	10
3-§. Elektr maydonda dielektriklar va o‘tkazgichlar .....	13
4-§. Elektr toki .....	25
5-§. Magnit maydoni va moddaning magnit xossalari.....	35
6-§. Bio-Savar-Laplas qonuni .....	41
7-§. Elektromagnit induksiya hodisasi .....	45
7.1-§. Fizik kattaliklar va formulalarni hisoblashda dasturlash tilidan foydalanish namunalari .....	55
<b>II BO‘LIM. TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR.....</b>	<b>81</b>
8-§. Tebranma harakatlar .....	81
9-§. Elektromagnit tebranishlar.....	90
10-§. To‘lqin hodisalar.....	94
11-§. To‘lqinlar superpozitsiyasi.....	99
12-§. Elektromagnit to‘lqinlar.....	105
12.1-§. Dasturlash tilidan foydalanib tebranma harakatlarni grafik ko‘rinishda tasvirlash .....	110
12.2-§. Dasturlash tilida tebranma harakatga doir dasturiy mahsulot yaratish texnologiyasi.....	115
ILOVALAR .....	134
Foydalanilgan adabiyotlar .....	140

S.J.Turayev,  
D.O.Ximmataliyev, Z.F.Beknozarova

# FIZIKA

ELEKTROSTATIKA. ELEKTROMAGNETIZM.  
TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR

*(O‘quv qo‘llanma)*

**Toshkent – «NIHOL PRINT» OK – 2021**

Muharrir: A.Tog‘ayev  
Tex. muharrir: F.Tog‘ayeva  
Musavvir: B.Esanov  
Musahhiha: O.Muxammadiyeva  
Kompyuterda  
sahifalovchi: G.Tog‘ayeva

9323



№ 7439-765f-47f1-7ea1-a683-4648-1314.  
Bosishga ruxsat etildi: 27.05.2021. Bichimi 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Shartli bosma tabog‘i 9,0. Nashr bosma tabog‘i 8,75.  
Adadi 100. Buyurtma № 60.

«Nihol print» Ok da chop etildi.  
Toshkent sh., M. Ashrafiy ko‘chasi, 99/101.