

O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O`RTA MAXSUS  
TA`LIM VAZIRLIGI  
TOSHKENT TO`QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT INSTITUTI  
“FIZIKA VA ELEKTROTEXNIKA” KAFEDRASI  
B.E.Turaev, X.Isayev, O.Z.Sultonov, A.T.Doliyev

# **ELEKTROMAGNETIZM VA OPTIKA**

Oliy texnika o`quv yurtlarining muhandislik ishi, ishlab chiqarish texnologiyasi va xizmat ko`rsatish sohasi bo`yicha ta`lim oluvchi bakalavrlar uchun metodik qo`llanma

TOSHKENT 2017

*Ushbu metodik qollanma oliy texnika o`quv yurtlarining bakalavrlari uchun mo`ljallangan bo`lib, u amaldagi «Kadrlar tayyorlash milliy dasturi» va «Davlat ta`lim standartlari» hujjatlariga hamda fizika fanini o`qitishining namunaviy dasturiga asoslanib yaratilgan. Metodik qollanma fizika fanining elektromagnetizm hamda optika bo`limlaridan ma`ruzalar matni, masalalar to`plami va laboratoriya ishlarini o`z ichiga qamrab olgan. Har bir ma`ruzalar matni, masalalar to`plami va laboratoriya ishlari yetarli nazariy materiallar bilan ta`minlangan.*

Mualliflar:

|                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| <b>f.m-f.n.</b> | <b>Turaev B.E</b>   |
| <b>dots.</b>    | <b>Isayev X</b>     |
| <b>ass.</b>     | <b>Sultonov O.Z</b> |
| <b>ass.</b>     | <b>Doliyev A.T</b>  |

Jihozlovchi: J.M.Haqqulov

Taqrizchilar:

O`zbekiston Milliy universiteti fizika fakulteti dots. N.Nurmatov

Toshkent to`qimachilik va yengil sanoat institutining «Fizika va elektrotexnika» kafedراس dots. M.A.Fattaxov

TTYeSI ilmiy uslubiy kengashida muhokama qilingan va chop etishga tavsiya etilgan. №\_\_ – bayonnoma «\_\_» \_\_. 201\_\_ y.

## SO‘Z BOSHI

Oliy texnika o‘quv yurtlari uchun mo‘ljallangan ushbu metodik qo‘llanmada umumiy fizikaning uslubiy dasturida ko‘zda tutilgan “Elektromagnetizm va Optika” bo‘limlarining qisqacha nazariy asoslari bayon etilgan.

Fizika kursini qisqa muddatda bir yoki ikki semestr o‘qitiladigan yo‘nalishlarni inobatga olgan holda, uslubiy dastur asosida eng zarur bo‘lgan nazariy va amaliy ma‘lumotlarni qisqa muddat ichida samarali o‘zlashtirib olishga imkon bera oladigan zamonaviy chet el adabiyotlari foydalanilgan, metodik qo‘llanma tayyorlash zaruriyati tug‘ildi.

Shu munosabat bilan tavsiya qilinayotgan “metodik qo‘llanma” kichik hajmda (bir tomlik) yozilgan va unda oliy matematikaning eng sodda hosilalar va integrallarning jadvallarida berilgan formulalardagina foydalanilgan xolos. Ko‘pgina fizikaviy qonuniyatlarning matematik ko‘rinishlarini keltirib chiqarilishi sodda shaklda berilgan. O‘rganilayotgan fizik jarayonlar va hodisalarni yaxshiroq tushunib olish uchun keltirilgan misollar ishlab chiqarishi bilan bog‘liq bo‘lgan sohalardan olingan.

Ushbu metodik qo‘llanmada fizikaviy kattaliklarning faqat bitta birliklar sistemasi (SI)dan foydalanilgan bo‘lib, bu birliklar bilan bir qatorda sistemaga kirmaydigan (litr, millimetr, simob ustuni, angstrom, elektronvolt va shunga o‘xshashlar) berilgan. Taqdim qilinayotgan kitob besh bobdan iborat. Birinchi bobda elektrostatikaning nazariy asoslari berilgan. Ikkinchi bob, asosan o‘tkazgichlarning elektr sig‘imiga bag‘ishlanadi. Uchinchi bobda, o‘zgarmas elektr toki, turli muhitda elektr tokining qonuniyatlari o‘rganiladi. To‘rtinchi bob, elektr tokining magnit maydoni va moddalarning magnit xossalari qonuniyatlariga bag‘ishlanadi. Beshinchi bobda geometrik va to‘lqin optikasi hamda nurlanishning kvant tabiati qarab chiqiladi. Bundan tashqari ushbu metodik qo‘llanmada har bir bobga tegishli bo‘lgan amaliy masalalarning yechish namunalari va mustaqil masalalar to‘plami hamda laboratoriya mashg‘ulotlari to‘plami keltirilgan.

Mualliflar ushbu metodik qo‘llanmani yozishda, uning sifatini yaxshilash maqsadida o‘zlarining qimmatli fikr va ko‘rsatmalarini bergan hamda katta yordam ko‘rsatgan Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti «fizika va elektrotexnika» kafedrasining barcha professor - o‘qituvchilariga va yordamchi xodimlariga chuqur minnatdorchilik bildiradi.

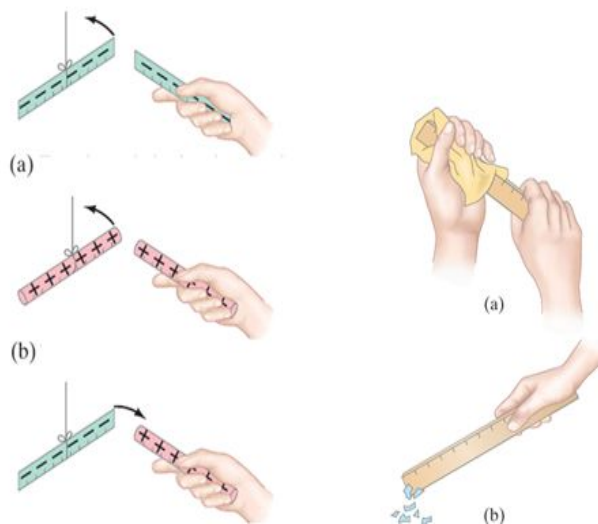
## I – BOB. ELEKTROSTATIKA. ELEKTR MAYDON

### 1.1 - §. Elektrostatik maydon va uning xususiyatlari

Elektrostatika – fizikaning eng muhim bo‘limlaridan biri bo‘lib, zaryadli zarralar, ular orasidagi o‘zaro ta’sirlar, jismlarning zaryadlanish shartlari, elektr maydonning energiyasi va uning amaliy ahamiyati to‘g‘risidagi fizik bilimlar majmuasini o‘z ichiga qamrab olgan. Har qanday elektr zaryad o‘z atrofida elektr maydoni hosil qiladi. Agar zaryad tinch holatda bo‘lsa uning hosil qilgan maydoni *elektrostatik maydon deyiladi*.

**Elektr maydon va uning xususiyatlari.** Qo‘zg‘almas zaryadlar orasidagi o‘zaro ta’sir elektr maydoni orqali sodir bo‘ladi. Nima uchun qo‘zg‘almas zaryadlarning o‘zaro ta’siri deyishimizga katta sabab bor. Magnit maydoni asosan harakatdagi zaryadlarga ta’sir etadi. Aksincha, harakatdagi zaryad magnit maydonini hosil qiladi. Shu sababli, zaryadlarning elektr maydonini o‘rganishda doimo qo‘zg‘almas zaryadlarni tanlab olamiz. Bu bilan elektromagnit maydonini xuddi ikkiga ajratib, faqat elektr maydonidagi hodisalarni o‘rganamiz, deb tasavvur etamiz. Har qanday zaryad o‘zi egallagan fazoda elektr maydoni hosil qilishi bilan, fazoga o‘zgartirish kiritadi. Qahrabo shoyi bilan ishqalanganda uning yengil predmetlarni o‘ziga tortish xususiyatiga ega bo‘lib qolishini odamlar eramizdan avval ham bilishgan. Lekin faqat XVI asrga kelib, ingliz olimi Gilbert bunday xususiyatga qahrabodan tashqari shisha, farfor, ebonit va shunga o‘xshash jismlar ham teri yoki yumshoq mato bilan ishqalanganda ega bo‘lib qolishini isbotladi (1-rasm). Bu jarayonni Gilbert elektrizasiya (elektrlanish) deb atadi. “Elektron” so‘zi grekchasiga “qahrabo” so‘zini bildiradi. Gilbert bu jarayonning fizik mohiyatini tushuntirib bera olmadi. Faqat 1881 yilda nemis fizigi Gelmgols jismlarning elektrlanishi qandaydir elektr zaryadiga ega bo‘lgan elementar zarrachalar bilan bog‘liq bo‘lishi kerak, degan g‘oyani ilgari surdi. Keyinchalik, 1897 yilda ingliz olimi Tomson elektronni ixtiro qilganda o‘z isbotini topdi. 1919 yilda bunga qo‘shimcha sifatida Rezerford protonni kashf qildi. Elektronning massasi  $m_e=9,108 \cdot 10^{-31}$  kg va zaryadi  $q=-1,6 \cdot 10^{-19}$  Kulon. Protonning massasi  $m_p=1836 m_e$  va zaryadi  $q_e= - e$ . Elektrlanmagan jismda manfiy va musbat zaryadlar soni bir xil bo‘ladi, aks holda har xil bo‘ladi.

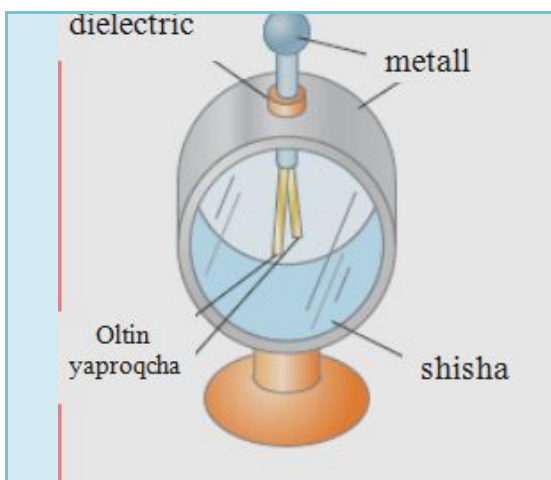
Zaryadlari erkin harakatda bo‘lgan jism o‘tkazgich (metall) deb ataladi. Agar elektronning hammasi bog‘langan bo‘lib, erkin harakat qilaolmasa, bunday jismlar dielektrik (izolyator) deb ataladi. Agar jism kichik elektr o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lsa, u yarimo‘tkazgich deb ataladi. Izolyasiya qilingan jismda zaryadlarning algerbaik yig‘indisi o‘zgarmasdir. Bu elektr zaryadining saqlanish qonunidir. Zaryadning o‘lchov birligi Kulon. Bu birlik tok kuchi bilan bog‘liq:  $q = I \cdot t$  1 kulon =1 amper·1 sekund. Amper haqida keyinroq to‘xtalib o‘tamiz.



**1.1-rasm**

Olingan jismlardagi qarama-qarshi ishorali zaryadlar miqdori teng bo‘lib, ular yo‘qolmaydi. Bu bir jismda bir xil ishorali zaryaddan qancha miqdorda kamaysa, ikkinchi jismda o‘shanday ishorali zaryaddan shuncha miqdorda ortadi, degan ma’no anglatadi. Demak, jismdagi umumiy zaryadning umumiy miqdori o‘zgarmaydi. Bu zaryadning saqlanish qonunini deyiladi. Yopiq sistemadazaryadlarining algebaraik yig‘indisi o‘zgarmasdir:

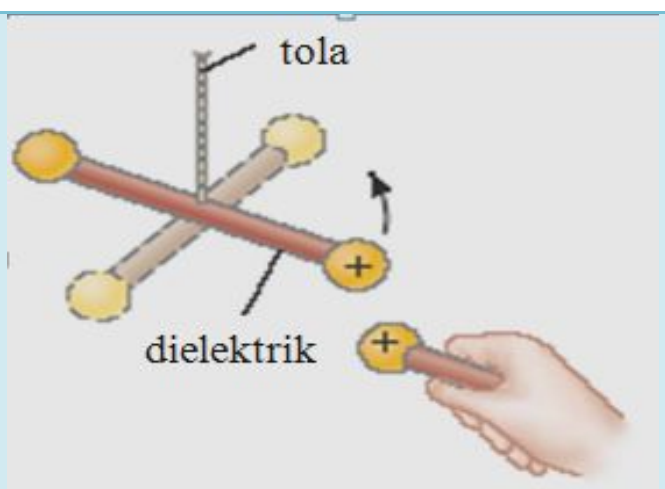
$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \text{const.}$$



**1.2 - rasm.**

Elektroskopning tuzilishi.

Jismlarning zaryadlanganligini aniqlashga imkon beruvchi asbob elektroskop deb ataladi (rasm 2). Elektroskopning ishlashi zaryadlangan jismlarning o‘zaro ta’siriga asoslangan.



**1.3-rasm.**

Kulon tajribasining sxemasi. Bu qurilma gravitatsiya maydonini aniqlash Kavendish tomonidan foydalanilgan qurilmaga o‘xshaydi.

## 1.2 - §. Nuqtaviy zaryad. Kulon qonuni

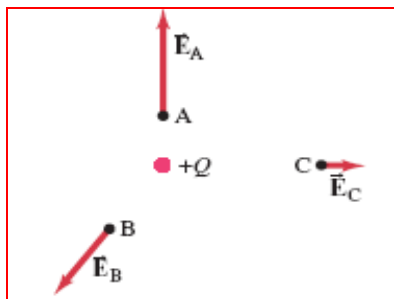
Elektr zaryadlari bir biriga kuch bilan ta'sir qiladi (1.3 – rasm). Bu kuch elektr zaryadi miqdori, ular orasidagi masofa va boshqa fizik kattaliklar bilan qandaydir aloqadorlikka ega. Bu savolga javobni 1780-yilda fransuz fizigi Sharl Kulon topdi. U quyida tasvirlangan buralma tarozidan foydalandi. Agar sharlarni bir xil ishorali zaryadlab, qo'limizdagi zaryadli sharchani gorizontal osilgan xuddi shanday zaryadli sharchaga yaqinlashtirilsa, ular bir-biridan qochishini, aksincha, qarama-qarshi ishorali zaryadli sharchalarni yaqinlashtirilsa, bir-biriga tortilishini kuzatish mumkin.

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

SI sistemasida,  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ , bu erda  $\epsilon_0$  elektr doimiysi (yoki vakuumning dielektrik singdiruvchanligi) deb ataladi. (1.1) ifodani yana quyidagicha yozish mumkin:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad \text{bu yerda } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2} \text{ ga teng.}$$

**Elektr maydon.** Nima uchun zaryadli zarralar bir biri bilan masofadan turib ta'sirlashishayapti? Ular orasida qanaqangi o'zaro ta'sir vositalari mavjud? Bu muammoni taniqli ingliz olimi Maykl Faradey (1791-1867) maydon tushunchasi orqali hal qilish taklifini qo'ydi. Faradey fikriga ko'ra, har qanday elektr zaryadi o'zining atrofida elektr maydon hosil qiladi, ular bir-biri bilan shu maydon vositasida ta'sirlashadi. Bir zaryadning elektr maydonida joylashgan ikkinchi zaryadga elektr maydon ma'lum bir kuch bilan ta'sir qiladi. O'zaro ta'sirlashuvchi zaryadlarning bir-biriga ta'sir kuchlari teng va qarama-qarshi yo'nalgan. Kulon qonuni shu kuchlardan bittasining modulini topishga imkon beradi. Bir yoki bir necha zaryadning hosil qilgan elektr maydonida joylashgan musbat sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuchning masofaga bog'liqligini 1.4-rasmda kuzatish mumkin.



**1.4-rasm.**  $A$ ,  $B$ ,  $C$  nuqtalarda joylashgan kichik sinov zaryadi  $q$  ga  $+Q$  zaryad tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlarning yo'nalishlari.

Rasmdan ko'rinadiki,  $A$  nuqtada joylashgan sinov zaryadi bilan  $+Q$  zaryad orasidagi masofa kichik bo'lganligi uchun sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuchning moduli katta.  $C$  nuqtada joylashgan sinov zaryadi bilan  $+Q$  orasidagi masofa katta bo'lganligi uchun sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuchning moduli kichik. Rasmdan yana shuni kuzatish mumkinki, hamma hollarda zaryadlar orasidagi o'zaro

ta'sir kuchi bir to'g'ri chiziqda joylashgan.

Zaryadli zarralarning orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini elektr maydoni vositasida amalga oshishini quyidagi ifoda yordamida ko'rish mumkin.

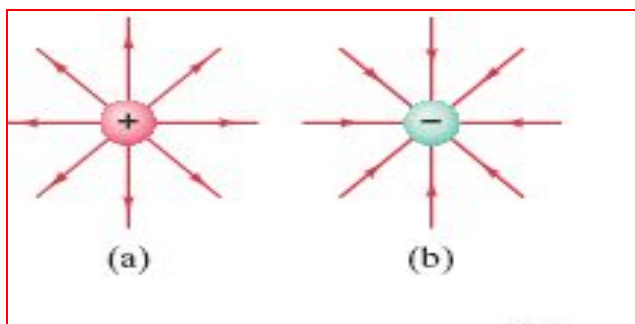
### 1.3 - §. Nuqtaviy zaryad uchun elektr maydon kuchlanganligi

Faraz qilaylik, elektr maydonning biror nuqtasiga  $Q_0$  zaryad ("sinov" zaryadi) joylashgan bo'lsin va unga ta'sir qilayotgan kuch  $F_0$  bo'lsin. Bu kuch  $F_0 = Q_0 \cdot E$  deb olinadi va bu yerda  $E$  maydon kuchlanganligi deb ataladi. Uning fizik ma'nosi shuki, u birlik zaryad ( $Q_0 = 1 \text{ C}$ ) ga ta'sir qiladigan kuchga teng.

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{[N]}{[C]} = m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1} \quad (1.2)$$

Keyinchalik  $\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$  ekanligini ko'ramiz.

**Kuchlanganlik chiziqlari.** Elektr maydon xossalarini kuch chiziqlari tushunchasi yordamida ham chuqurroq tushunish mumkin. Elektr maydon oddiy ko'z bilan ko'rish imkoniyatiga ega bo'lmaganligi uchun bu maydonni elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari deb ataluvchi manzaraviy ko'rinish vositasida ko'rinarli qilib tasvirlash va shu chiziqlar orqali tushuntirish mumkin. Musbat va manfiy zaryadlarning maydon kuchlanganlik chiziqlari 1.5- rasmda tasvirlangan.

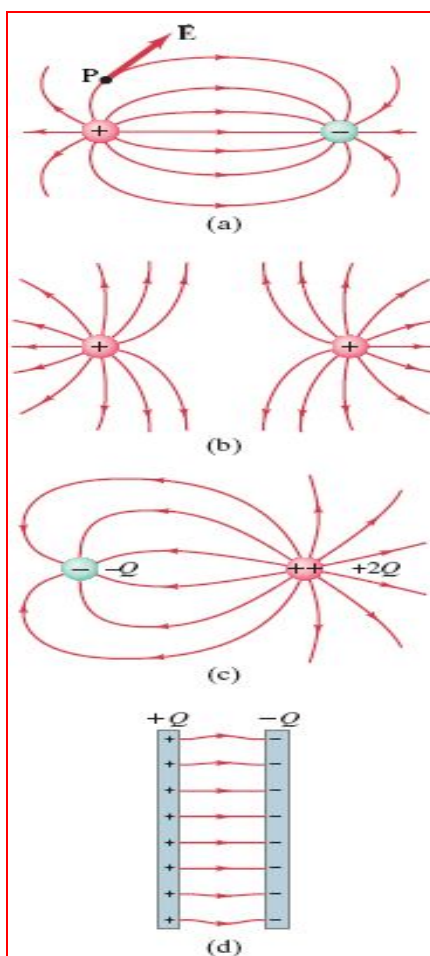


**1.5-rasm.** Musbat va manfiy zaryadli zarralarni elektr maydon kuchlanganligi yo'nalishlari: a – musbat zaryadning maydon kuchlanganlik chiziqlari yo'nalishi, b – manfiy zaryadning maydon kuchlanganlik chiziqlari yo'nalishi.

Bu rasmda qo'zg'almas nuqtaviy zaryadlarning kuchlanganlik chiziqlari tasvirlangan bo'lib, bu chiziqlar musbat zaryaddan boshlanib, manfiy zaryadda tugaydi. Elektr maydonning kuch chiziqlari shunday chiziqlarki, ularning har qanday nuqtasidagi urinma shu nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi vektoriga mos tushadi. Kuch chiziqlarini shunday zichlik bilan chiziladiki,  $1 \text{ m}^2$  yuzani kesib o'tayotgan kuch chiziqlari soni son jihatdan shu yuzadagi elektr maydon kuchlanganligiga teng bo'lishi kerak.

1.6a-rasmda qarama-qarshi ishorali ikki zaryadning elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari tasvirlangan. Bu yerda elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari musbat zaryaddan boshlanib, manfiy zaryadda tugaguncha

egrilanganligini ko‘rish mumkin. Elektr maydoni fazoning har bir nuqtasida elektr maydon kuchlanganlik chiziqlariga o‘rinma bo‘yicha musbat zaryaddan manfiyga tomon yo‘nalgan (rasmdagi P nuqta). 1.6b-rasmda bir xil ishorali musbat zaryadlangan zaryadli zarralarning elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari tasvirlagan va bunday yo‘nalishli elektr maydon kuchlanganligi chiqaruvchi zaryadlar bir biridan qochishi kuzatiladi. Zaryadlangan plastinalar orasidagi elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari biri biriga deyarli parallel bo‘lganligi uchun plastinalarning elektr maydoni bir jinsli deb qaraladi  $E = const$  (1.6c-rasm). Bunda faqat plastina chetlaridagi maydon kuchlanganlik chiziqlari egrilanganligi uchun bir jinslilikdan chetlashadi.



**1.6-rasm.** Har xil ismli zaryadlarni elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari: a-har xil ismli; b-bir xil ismli, ikki har xil ismli zaryadlangan parallel plastinalar.

Agar maydonning istalgan nuqtasida kuchlanganligi  $E$  bir xil bo‘lsa, bu maydon bir jinsli deb ataladi, aks holda bir jinsli bo‘lmagan maydon deb ataladi.

Agar bir qancha  $q_1, q_2, \dots, q_n$  zaryad bo‘lsa, u holda istalgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi shu zaryadning shu nuqtada hosil qilayotgan maydon kuchlanganliklarining vektor yig‘indisiga teng:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (1.3)$$

Bunga superpozitsiya prinsipi deyiladi.  $q$  zaryadning  $r$  masofadagi nuqtada hosil qiladigan maydon kuchlanganligi quyidagi formula orqali topiladi:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.4)$$

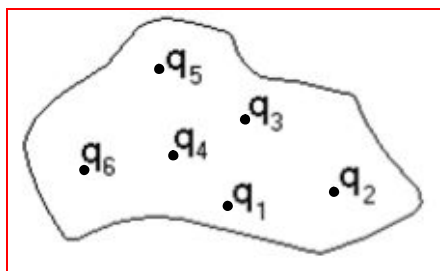
$S$  yuzani kesib o‘tayotgan maydon kuch chiziqlarining soni shu yuzadan o‘tayotgan maydon kuchlanganligi oqimi  $\Phi$  deb ataladi. Agar  $S$  yuza kuch chiziqlariga perpendikulyar bo‘lsa va uning har bir nuqtasida  $E$  bir xil bo‘lsa, u holda  $\Phi = E \cdot S$  deb olinadi.

#### 1.4 - §. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi va uning elektrostatik maydonlarni hisoblashga tadbiqu

**Kuchlanganlik vektorining oqimi.** Avvalgi ma’ruzada ta’riflaganimizdek,  $A$  yuza orqali kuchlanganlik vektorining oqimi  $N = E \cdot A$  ga teng, bunda  $E \perp A$  deb



hisoblanadi. Endi  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  zaryadlar kuchlanganliklarining berk yuza orqali oqimini topamiz (1.7- rasm).



1.7-rasm.

Bunda oqim yuza ichidan tashqariga yoʻnalgan boʻlsa, u musbat deb qabul qilinadi, aks holda manfiy boʻladi. Avval  $R$  radiusli sferik yuzani koʻrib chiqamiz. Uning markazida bitta  $q$  zaryad joylashgan. Formulaga binoan sferaning istalgan nuqtasida kuchlanganlik bir xil boʻladi:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

Kuch chiziqlari radius boʻylab yoʻnalgan. ( $E \perp A$ ). Shuning uchun oqim:

$$N = E \cdot A = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1.5)$$

ga teng.  $A = 4\pi R^2$  – sferaning yuzi. Shunday qilib, bitta nuqtaviy zaryadni oʻrab turuvchi berk sirt orqali oʻtuvchi kuchlanganlik oqimi oʻralib turgan zaryad miqdorining  $\epsilon_0$  ga nisbatiga teng boʻlar ekan. Bu qoidani istalgancha koʻp  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  nuqtaviy zaryadlar uchun umumlashtirib, Ostragradskiy va Gauss quyidagi teoremani aniqlashgan. Zaryadlarni oʻz ichiga oluvchi har qanday berk sirt orqali oʻtuvchi kuchlanganlik oqimi oʻralib olingan zaryadlarning algebraik yigʻindisining  $\epsilon_0$  ga nisbatiga teng boʻladi. Endi berk yuza ichida  $n$  ta zaryad hosil boʻlsin. Ravshanki, yuzadan chiqayotgan (oʻtayotgan) kuchlanganlik chiziqlari oqimi zaryadlarning hosil qilgan oqimlarining yigʻindisiga teng:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i \quad (1.6)$$

Demak, berk yuzani kesib oʻtuvchi kuchlanganlik oqimi shu yuza ichidagi zaryadlarning algebraik yigʻindisiga proporsional ekan. Bu Gauss teoremasi deb ataladi. Bu teorema yordamida har xil shaklli zaryadlangan jismlarning maydon kuchlanganligini topish mumkin.

**Baʼzi elektrotstatik maydonlar uchun Gauss teoremasining tadbiqu.** Har qanday zaryadni cheksiz koʻp sonli nuqtaviy zaryadlarning yigʻindisi sifatida tasavvur qilish mumkin. Shu sababli Ostragradskiy – Gauss teoremasini har qaday shakildagi va oʻlchamdagi zaryadlangan jismlarga tadbiqu qilish mumkin.

Quyida bu teorema yordamida zaryadlangan turli shakldagi jismlar hosil qilgan elektr maydonlarining kuchlanganligi qanday aniqlanishini bir necha misolda ko'rib chiqamiz. Bunda berk sirt bilan chegaralangan hajmdan chiquvchi chiziqlari kuchlanganlikning musbat oqimini, hajmga kiruvchi kuch chiziqlari esa manfiy oqimni vujudga keltiradi deb shartlashib olamiz.

Bundan tashqari, zaryadning sirt zichligi tushinchasidan foydalanamiz. Agar biror  $S$  sirt bo'ylab  $q$  zaryad miqdori tekis taqsimlangan bo'lsa, shu sirtning birlik yuzasiga to'g'ri keladigan zaryad miqdori bilan kattalik zaryadlarning sirt zichligi deyiladi va  $\sigma$  (sigma) harifi bilan belgilanadi.

$$\sigma = q/S = C/m^2 \quad (1.7)$$

Gauss teoremasi – elektrostatikaning asosiy teoremasidir. Berk sirt orqali o'tayotgan elektr maydon kuchlanganligi  $\Phi_E$  oqimi bilan shu sirt ichida joylashgan zaryad kattaligi  $Q$  orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

Berk  $S$  sirt orqali o'tayotgan oqim  $\Phi$  shu sirtning hamma elementlari orqali o'tayotgan oqimlar yig'indisiga teng. Bu teorema XBT (xalqaro birliklar tizimi) da quyidagicha yoziladi:

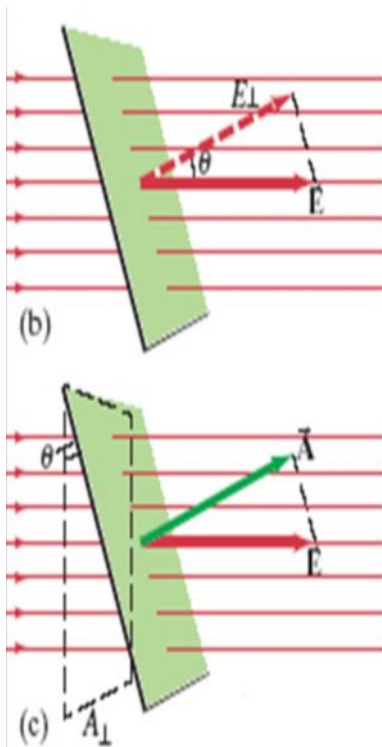
$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (1.8)$$

Bu erda

$\Phi_E \equiv \oint_S E \cdot dS$  — elektr maydon kuchlanganligining biror  $S$  yopiq sirtidan o'tuvchi oqimi.  $Q$  —  $S$  sirt bilan chegaralangan hajmdagi to'la zaryad.  $\epsilon_0$  - elektr doimiysi.

Kuch chiziqlari radius bo'ylab yo'nalgan. ( $E \perp S$ ). Shuning uchun oqim:

$$\Phi = E \cdot S = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot 4\pi R^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1.9) \quad \text{ga teng.}$$



**1.8-rasm.** A yuzali sirtidan o'tuvchi bir jinsli elektr maydon  $E$  (parallel kuchlanganlik chiziqlari tasvirlangan), Bunda  $A$  yuzali sirtning kuchlanganlik chiziqlariga perpendikulyar joylashgan (a) va kuchlanganlik chiziqlariga perpendikulyar bo'lmagan (b) ko'rinishlari tasvirlangan.  $A \perp$  bilan belgilangan shtrixlangan yuza  $E$  elektr maydon kuchlanganlik chiziqlariga perpendikulyar joylashgan ko'rinishi.

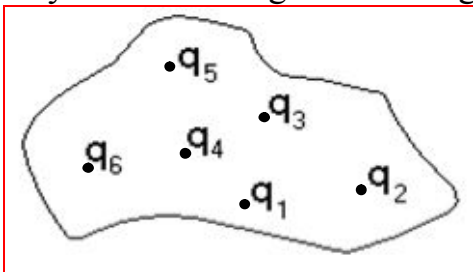
$$\Phi_E = E \cdot A \cdot \cos \theta$$

Bunda oqim yuza ichidan tashqariga yo'nalgan bo'lsa, u musbat deb qabul qilinadi, aks holda manfiy bo'ladi. Avval  $R$  radiusli sferik yuzani ko'rib chiqamiz. Uning markazida bitta  $q$  zaryad joylashgan. Formulaga binoan sferaning istalgan nuqtasida kuchlanganlik bir xil bo'ladi:

$$\Phi_E = E_{\perp} A = EA_{\perp} = EA \cos \theta$$

$$N \sim EA_{\perp} = \Phi_E$$

Avvalgi ma'ruzada ta'riflaganimizdek,  $A$  yuza orqali kuchlanganlik vektorining oqimi  $\Phi = E \cdot A$  ga teng. bunda  $E \perp A$  deb hisoblanadi. Endi  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  zaryadlar kuchlanganliklarining berk yuza orqali oqimini topamiz (1.9- rasm).



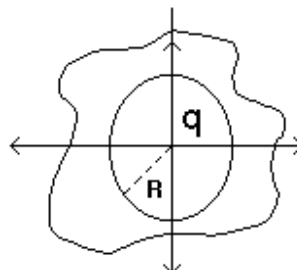
$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (1.10)$$

Endi sferani ixtiyoriy berk yuza bilan qaraymiz. Ko'rinib turibdiki, sferani kesib o'tayotgan har bir kuchlanganlik chizig'i berk yuzadan ham o'tadi. Demak, (1.10) formula har qanday istalgan yuza uchun to'g'ri kelaveradi. Endi berk yuza ichida  $n$  ta zaryad hosil bo'lsin.

**1.9-rasm.**  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$

zaryadlarning elektr maydon kuchlanganligi oqimini topish uchun Gauss teoremasining qo'llanilishi.

Ravshanki, yuzadan chiqayotgan (o'tayotgan) kuchlanganlik chiziqlari oqimi zaryadlarning hosil qilgan oqimlarining yig'indisiga teng:



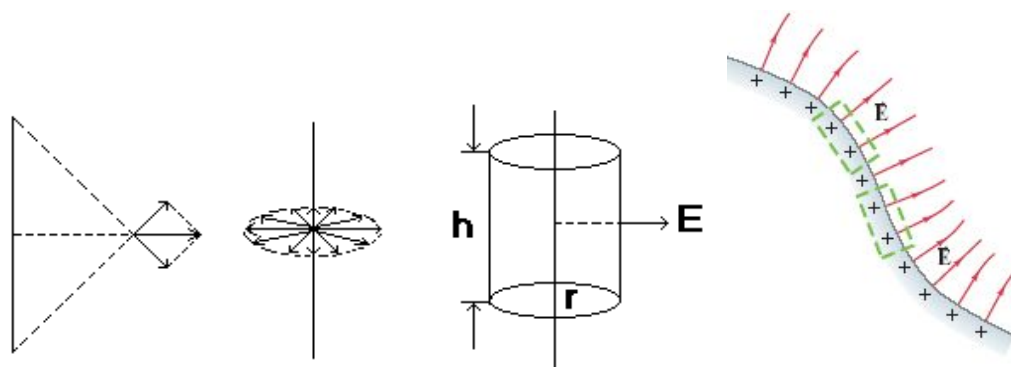
**1.10-rasm.** Ichiga  $n$  zaryadni qamragan elektr maydon kuchlanganligi oqimi o‘tadigan berk sirt.

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i q_i \quad (1.11)$$

Demak, berk yuzani kesib o‘tuvchi kuchlanganlik oqimi shu yuza ichidagi zaryadlarning algebraik yig‘indisiga proporsional ekan. Bu Gauss teoremasi deb ataladi. Bu teorema yordamida har xil shaklli zaryadlangan jismlarning maydon kuchlanganligini topish mumkin.

**Gauss teoremasining qo‘llanilishi.** Gauss teoremasi elektr zaryadi va elektr maydon kuchlanganligi orasidagi bog‘lanishni juda qulay va ajoyib shaklda ifodalashga imkon beradi. Zaryadlar taqsimoti oddiy va simmetrik bo‘lganda bu teorema yordamida elektr maydon kuchlanganligini juda oson topish mumkin. Biroq bunda integrallanuvchi sirtning tanlab olish lozim. Odatda tanlab olingan sirtga elektr maydon kuchlanganligi sirtning hamma nuqtalarida, hech bo‘lmaganda sirtning biror qismida bir xil bo‘lishiga harakat qilinadi.

***Cheksiz uzun zaryadlangan to‘g‘ri simning maydon kuchlanganligi***



**1.11-rasm.** Zaryadlangan cheksiz uzun o‘tkazgichning elektr maydon kuchlanganligini aniqlanayotgan qismining ko‘rinishlari va kuchlanganlik vektorlarining joylashishlari

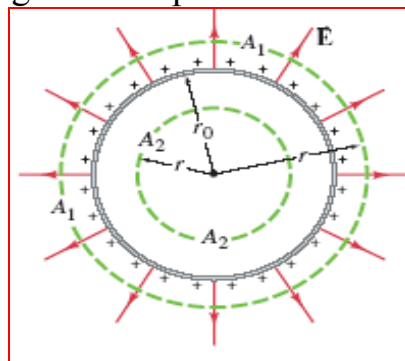
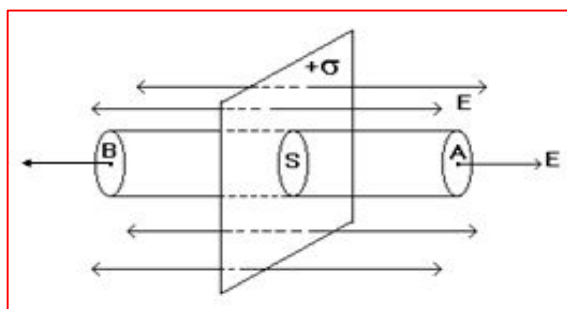
1.11-rasmdan ko‘rinib turibdiki,  $E$  simga perpendikulyar. Simni silindrik yuza bilan o‘raymiz.  $\rho$  -chiziqli zichlik (bir metr uzunlikdagi zaryad miqdori). Gauss teoremasiga asosan:

$$\Phi = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i q_i = \frac{\rho h}{\varepsilon_0} \quad (1.12)$$

Bu yerda  $\sum_i q_i = \rho h$  -silindr ichidagi zaryad. Boshqachasiga  $\Phi = ES = E \cdot 2\pi r h$ ,

yoki,  $\frac{\rho h}{\varepsilon_0} = E \cdot 2\pi r h$ , bundan  $E = \frac{\rho}{2\pi \varepsilon_0 r}$  (1.13)

**Zaryadlangan cheksiz tekislikning maydon kuchlanganligi.** Bu misolda ham  $E$  yuzaga perpendikulyardir.  $A$  nuqtadagi  $E$  kuchlanganlikni topamiz.



**1.12-rasm**

Yuzaga perpendikulyar bo‘lgan silindr yuzani chizamiz. Yuza silindrni teng ikkiga bo‘ladi. Gauss teoremasiga asosan silindr yuzadan o‘tayotgan oqim

$$\sum E_{\perp} \Delta A = E \sum \Delta A = E(4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

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

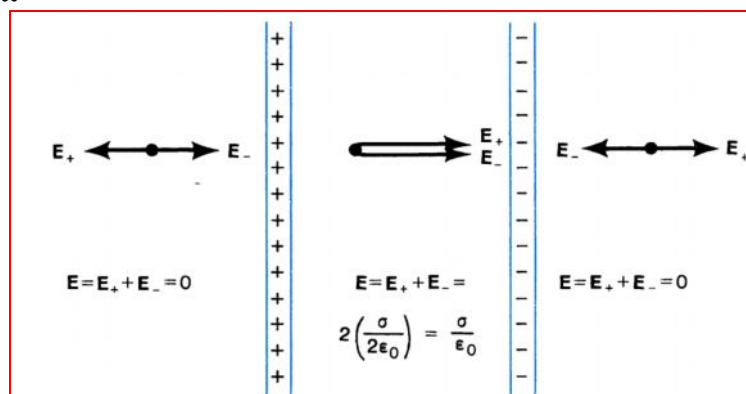
$$N = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i^n q_i = \frac{\delta S}{\epsilon_0}$$

(1.14) ga teng.

Bu yerda  $\delta$  -yuza birligidagi zaryad. Yoki  $N = E \cdot 2S = \frac{\delta S}{\epsilon_0}$ .

Demak,  $E = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$  (1.14) va u yuzadan bo‘lgan masofaga bog‘liq emas.

**Zaryadlangan ikki parallel cheksiz tekislik o‘rtasidagi maydon kuchlanganligi.**



**1.13-rasm.** Zaryadlangan cheksiz plastinaning natijaviy elektr maydon kuchlanganligi.

$$|\sigma^+| = |\sigma^-| \text{ bo'lgani uchun } E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\sigma_0} \quad (1.15) \text{ tekisliklar o'rtasida}$$

$$E = E_+ + E_- \text{ va } E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1.16) \text{ bo'ladi.}$$

Tekisliklardan tashqarida  $E = E_+ - E_-$ . Shuning uchun tashqarida  $E=0$ . Demak, ikki cheksiz parallel tekisliklarda elektr maydoni bir jinsli bo'lib, ular faqat parallel tekisliklar orasida bo'lar ekan.

**Elektr dipol.** Biror kichik  $l$  masofada bir-biriga bog'langan ikki qarama-qarshi  $(+Q, -Q)$  ishorali zaryadlarga elektr dipoli deyiladi.  $Q \cdot l$  kattalik dipol momenti deb ataladi va  $i$  harfi bilan belgilanadi. Juda ko'p molekular dipol momentiga ega, masalan ikki atomli  $SO$  ( $S$  uglerod atomi uncha katta bo'lmagan musbat zaryadga ega,  $o$  zaryadi esa uncha katta bo'lmagan manfiy zaryadga ega); Bu molekula to'raligicha olib qaralganda neytral bo'lishiga qaramasdan, ikki atom orasidagi elektronlar taqsimoti bir xil emas. Bunday molekular qutbli molekular deyiladi. Lekin, bir xil atomli molekular orasida elektronlar bir xil taqsimlanadi. Bunday molekular qutbsiz molekular deyiladi. ( $O_2$  ga o'xshash ikki atomli simmetrik molekular dipol momentiga ega emas. Bir jinsli elektr maydonida joylashgan qutbli molekularning dipol momentini qarab chiqamiz. (1.14-rasm.). Dipol momentini  $ql$  absolyut qiymatga teng bo'lgan manfiy zaryaddan musbat zaryadga tomon yo'nalgan  $p$  vektor ko'rinishida tasvirlash mumkin. Bir jinsli elektr maydonida joylashgan dipolning musbat zaryadiga  $QE$ , manfiy zaryadiga  $-QE$  kuchlar ta'sir qiladi. Ular dipolni markaziga nisbatan aylantiruvchi impuls momenti hosil qiladi

$$\tau = QE \frac{l}{2} \sin\theta + QE \frac{l}{2} \sin\theta = pE \sin\theta, \quad (1.17)$$

yoki vektor ko'rinishida

$$\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E} \quad (1.18)$$

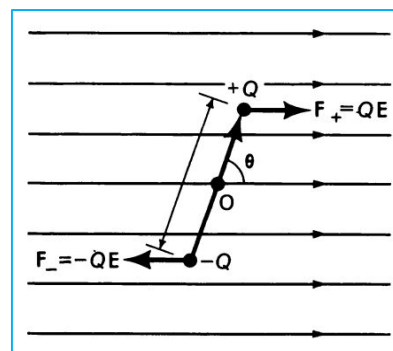
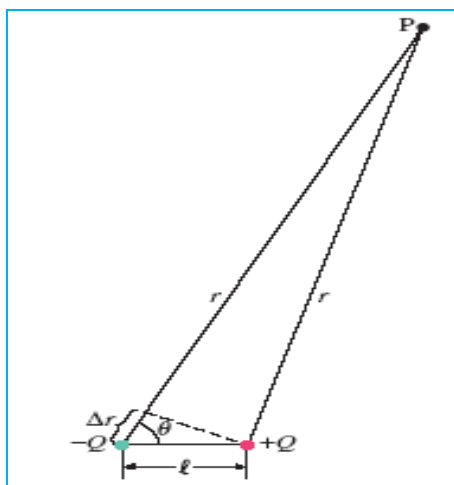
Natijada  $r$  vektor  $E$  ga parallel bo'lgunicha dipol buriladi. Elektr maydonini dipolni  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  burchakka burilguncha bajargan ishi quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta = pE \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = pE(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (1.19)$$

Natijada dipolning potensial energiyasi kamayishi hisobiga elektr maydon ish bajaradi. Agar qachonki,  $\mathbf{p} \perp \mathbf{E} (\theta = 90^\circ)$ ,  $U = 0$  bo'lsa, unda

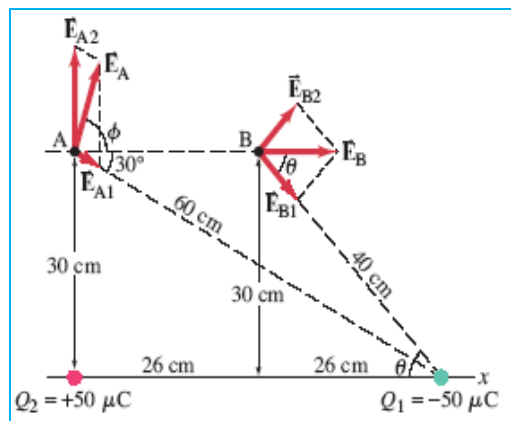
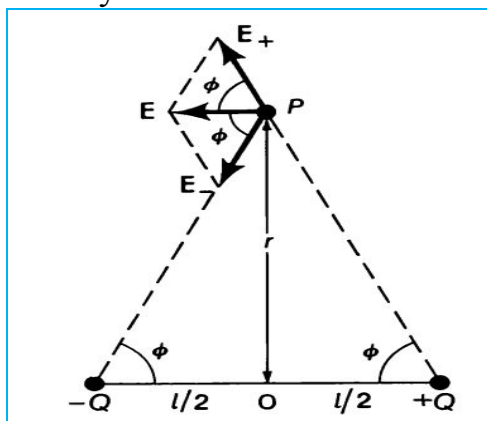
$$U = -W = -pE \cos\theta = -pE \quad (1.20)$$

Agar elektr maydon bir jinsli bo'lmasa, musbat va manfiy zaryadlarga ta'sir qiluvchi kuchlar bir xil bo'lmaydi. Dipolga natijaviy kuch ta'sir qila boshlaydi. Bu tashqi elektr maydoniga joylashtirilgan dipolni qarab chiqamiz:



**1.14-rasm.** Bir jinsli elektr maydonida joylashgan elektr dipoli.

Faraz qilaylik, tashqi maydon yo‘q, dipolning o‘zi hosil qilgan elektr maydonini o‘lchaymiz.



**1.15-rasm.** Elektr dipoli hosil qilgan elektr maydon

Soddalik uchun 1.15-rasmdagi dipol markazidan biror  $R$  masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi miqdorini aniqlaymiz.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_+ + \mathbf{E}_-, \quad (1.21)$$

Bu erda  $E_+$  va  $E_-$  - Dipolning musbat va manfiy zaryadlari hosil qilgan qiymat jihatidan teng bo‘lgan elektr maydon kuchlanganligi:

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(r^2 + \frac{l^2}{4})} \quad (1.22)$$

Ularning  $y$ - $R$  nuqtadagi komponentasi yo‘qoladi, va elektr maydonining absolyut qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E = 2E_+ \cos\phi = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(r^2 + \frac{l^2}{4})} \frac{l}{2\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}} \quad (1.23)$$

yoki

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{(r^2 + \frac{l^2}{4})^{3/2}} \quad [\text{dipol markaziga perpendikulyar bo‘ylab}]. \quad (1.24)$$

Dipoldan yiroqda  $r \gg l$  esa bu ifoda soddalashadi:

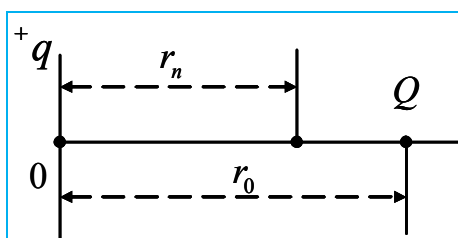
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \quad [\text{dipol markaziga perpendikulyar bo'ylab, } r \gg l \text{ bo'lganida}].$$

(1.25)

Ko'rinib turibdiki, dipolning elektr maydoni nuqtaviy zaryadning elektr maydoniga qaraganda masofa ortishi bilan ko'proq kamayib boradi ( $1/r^3$  – dipolni,  $1/r^2$ -nuqtaviy zaryadni elektr maydon kuchlanganligining masofaga bog'liqligi).

### 1.5 - §. Elektrotstatik maydonda bajarilgan ish va elektrotstatik maydonning potentsiali

**Elektr maydonida joylashgan zaryadli zarrani ko'chirishda bajarilgan ish.**  $Q$  zaryad o'zining elektr maydonda turgan  $q$  zaryadga  $F$  kuch bilan ta'sir qilyapti deb hisoblaylik (1.16-rasm).



**1.16-rasm.**

Bu kuchning qiymati quyidagi formula orqali topiladi;

$$F = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.26)$$

Bu yerda  $r$  o'zgaruvchan masofa, bu kuch ta'sirida  $q$  zaryad harakatga keladi.  $O$  nuqtadan  $q$  nuqtaga zaryadni surishda bajarilgan ishni hisoblaymiz.

$$A = \int_{r_0}^{r_n} F \cdot dr = qQ \int_{r_0}^{r_n} \frac{dr}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_0}^{r_n} \frac{dr}{r^2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_n} \right) = q \left( \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_0} - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_n} \right)$$

(1.27)

$W_p = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r}$  qiymat zaryadning berilgan nuqtadagi potentsial energiyasi deb ataladi;

Agar zaryadlar o'rtasidagi masofa cheksiz ortib borsa ( $r \rightarrow \infty$ ) potentsial energiya nolga intiladi.  $q$  va  $Q$  zaryadlar bir xil ishorali bo'lsa, ular o'rtasida itarish kuchi mavjud bo'ladi va potentsial energiya musbat bo'ladi. Agar  $q$  va  $Q$  zaryadlar har xil ishorali bo'lsa, ular o'rtasida tortishish kuchi mavjud bo'ladi va potentsial energiya manfiy bo'ladi.



$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$  qiymat bir musbat zaryadning ( $q = +1C$ ) potensial energiyasi bo'lib, maydonning potentsiali deb ataladi. Potensial ko'chirilayotgan zaryad miqdoriga bog'liq emas, u maydonni hosil qiluvchi zaryad  $q$  ga bog'liq. (1.23) ni (1.24) ga qo'yamiz va

$$A = q(\varphi_0 - \varphi_n) \quad (1.28)$$

ni hosil qilamiz.  $q = 1$  bo'lsa:

$$\varphi_0 - \varphi_n = A \quad (1.29)$$

Demak, ikki nuqta potentsiallari farqi shu nuqtalar o'rtasida bir birlik musbat zaryadni ko'chirishda bajarilgan ishga teng ekan. Agar zaryadni maydon kuchlariga qarshi cheksizga surib qo'yilsa ( $r_n \rightarrow \infty$ ), u holda  $\varphi_n = 0$  va

$$\varphi_0 = \frac{A}{q} \quad (1.30)$$

bo'ladi. Demak, berilgan nuqtadagi bir birlik musbat zaryadni nuqtadan cheksizga surib borishda bajarilgan ishga teng ekan.

(1.30) formuladan potensialning birligi 1 Voltni chiqaramiz:

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

Demak, 1 Volt shunday nuqtaning potensialiki shu nuqtadan 1 Kulonni

cheksizga surishda bajarilgan ish 1 Joulga teng.  $E = \frac{F}{q} = \left[ \frac{N}{C} = \frac{V}{m} \right]$  ekanligini

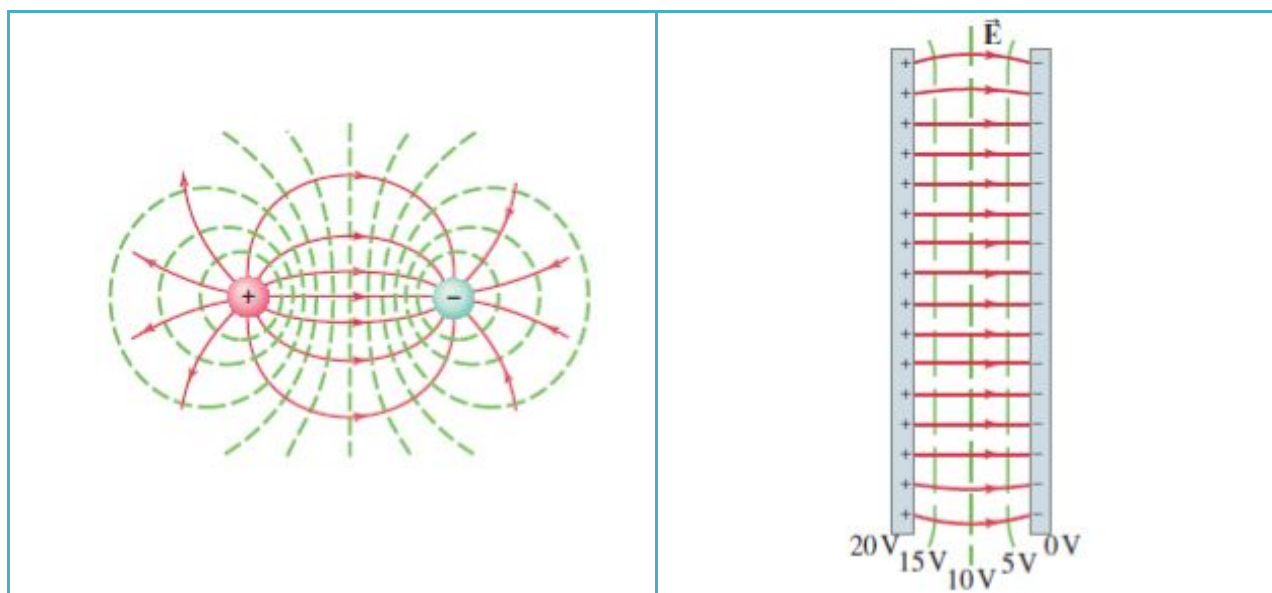
endi isbotlasa bo'ladi. Demak,

$$\frac{N}{C} = \frac{N \cdot m}{C \cdot m} = \frac{Joul}{C \cdot m} = \frac{V}{m}$$

Agar maydonni hosil qiluvchi zaryad  $Q$  manfiy bo'lsa, u holda musbat birlik zaryadni cheksizlikka ko'chirishda bu zaryad qarshilik ko'rsatadi (manfiy ish bajaradi). Manfiy zaryadni potentsiali esa manfiy bo'ladi. Agar  $Q$  musbat bo'lsa, u holda maydon musbat birlik zaryadni cheksizga o'zi ko'chiradi. Bunda zaryad musbat ish bajaradi. Demak musbat zaryadning potentsiali ham musbat bo'ladi:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.31)$$

**Ekvipotensial chiziqlar (sirtlar).** Biz ko'rdikki, zaryadni elektr maydonda ko'chirishda bajarilgan ish yo'lining shakliga emas, balki boshlang'ich va oxirgi nuqtalardagi potentsiallar ayirmasiga bog'liq ekan. Demak elektr kuchlari potensial kuchlar ekan. Potentsiallar bir xil bo'lgan nuqtalardan iborat yuza yoki chiziq ekvipotensial sirt (yoki chiziq) deb ataladi. (1.31) dan ko'rinib turibdiki, ekvipotensial sirt (yoki chiziq)da zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng (chunki  $\varphi_0 = \varphi_n$ ). Demak, maydonning kuch chiziqlari ekvipotensial sirt (chiziq)ga perpendikulyar ekan.



**1.17-rasm.** Zaryadning ekvipotentsial sirtlarining ko‘rinishi.

Shunday qilib, elektr maydon ikkita parametr bilan belgilanar ekan: maydon kuchlanganligi  $\vec{E}$  va potentsial  $\varphi$ .  $E$ -vektor kattalik,  $\varphi$  -esa skalyar kattalikdir.

**$E$  va  $\varphi$  o‘rtasidagi bog‘lanish.** Faraz qilaylik, musbat  $q$  zaryad potentsiali  $\varphi_0$  bo‘lgan yuzadan potentsiali  $\varphi_n < \varphi_0$  bo‘lgan yuzaga maydon ta’sirida ko‘chirilsin. Agar ko‘chish  $dx$  kichik bo‘lsa,  $E = \text{const}$  deb hisoblanishi mumkin va shunda bajarilgan elementar ish

$$\Delta A = qE\Delta x \quad (1.32) \text{ ga teng.}$$

Boshqa nuqtai nazardan,

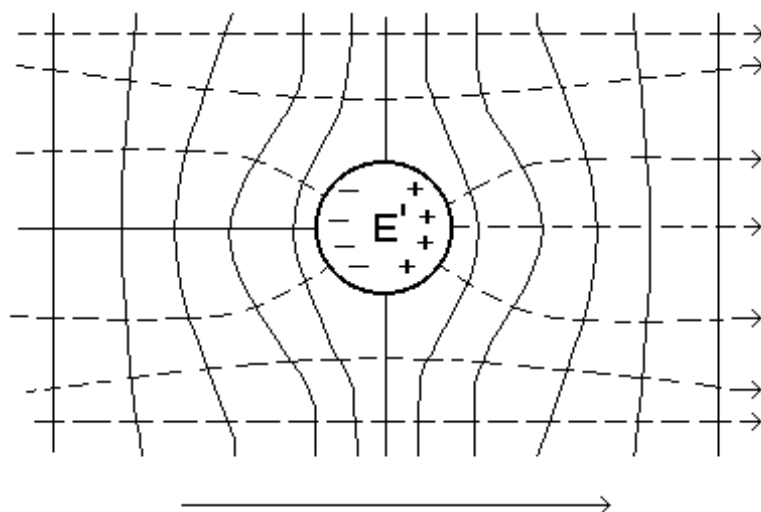
$$\Delta A = q(\varphi_0 - \varphi_n) = q\Delta\varphi \quad (1.33)$$

Bu ikki formulani solishtirsak;  $qE\Delta x = q\Delta\varphi$  (1.34)

Bundan  $E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = -\text{grad}\varphi$  (1.35)

bu erda manfiy ishora shuning uchun qo‘yilganki, kuchlanganlik vektori  $E$  potentsialning kamayish yo‘nalishi bo‘ylab yo‘nalgan, aksincha, potentsial gradienti potentsialning ko‘payish (ortish) tomoniga qarab yo‘nalgan. Demak,  $\vec{E}$  qiymat jihatdan potentsial gradientiga teng, yo‘nalishi bo‘yicha esa unga teskari yo‘nalgan.

Agar metall sharchani bir jinsli elektr maydoniga joylashtirilsa, maydon ta’sirida erkin elektronlar chapga qarab harakatlanib sharning chap yuzasi manfiy, o‘ng yuzasi musbat zaryadlanib qoladi. Bu hodisa elektrostatik induksiya deb ataladi. Zaryadlarning harakati tufayli hosil bo‘lgan ichki maydon tashqi maydonga qarama – qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Harakat esa, ichki maydon tashqi maydonga tenglashguncha davom etadi. Natijada tashqi elektr maydonga kiritilgan o‘tkazgich ichida elektr maydoni bo‘lmaydi. Bundan tashqari o‘tkazgich yuzasidagi nuqtalarda potentsial bir xil bo‘ladi va kuch chiziqlari yuzaga perpendikulyar bo‘ladi (1.18-rasm).



**1.18-rasm.** Sharchada ro‘y berayotgan elektrostatik induksiya.

Bundan tashqari elektr maydon ichi bo‘sh sharda ham nol bo‘ladi. Bu hodisaga elektrostatik himoya asoslangan:

Agar bir qurilmani tashqi maydondan himoya qilish kerak bo‘lsa, uni metall setka ichiga qo‘yiladi.

#### Nazorat savollari

1. Elektrlanishning mazmunini tushuntiring?
2. Elektr zaryadi qanday fizik kattalik?
3. Zaryadning qanday turlari mavjud?
4. Kulon tajribasini izohlang?
5. Kulon qonunini ta’riflang?
6. Elektr maydon kuchlanganligining fizik ma’nosini tushuntiring?
7. Kuch chiziqlari oqimi deb nimaga aytiladi?
8. Elektr maydon kuchlanganligi oqimi nimaga teng?
9. Gaus teoremasini matematik ifodasini tushuntiring?
10. Uzunligi cheksiz va to‘g‘ri chiziqli zaryadlangan simning  $r$  masofadagi elektr maydon kuchlanganligini hisoblang?
11. Zaryadlangan cheksiz tekislikning va zaryadlangan bir - biriga parallel ikki tekislikning elektr maydoni kuchlanganligini aniqlang?
12. Sirt zichligi va chiziqli zichliklarni izohlang?
13. Zaryadlangan yassi plastinka atrofidagi elektr maydon qanday ifodalanadi?
14. Ikki parallel zaryadlangan plastinka oralig‘ida hosil bo‘ladigan maydon kuchlanganligini yozing?

## II-BOB. ELEKTR SIG'IM

### 2.1 - §. Elektr sig'im



Hamma moddalar o'zining elektr xossalriga qarab, o'tkazgichlar, dielektriklar (izoliyatorlarga) va yarim o'tkazgichlarga bo'linadi.

**Elektr sig'im.** Agar o'tkazgichga qo'shimcha zaryadlar berilsa, ular o'tkazgichda bir-biridan itarilib, uning yuzasida taqsimlanadilar va yuza ma'lum potensialga ega bo'lib qoladi. Agar zaryad yana berilsa potensial ham oshadi. Agar zaryad  $dq$  ga oshsa potensial ham  $d\varphi$  ga oshadi va

$$C = \frac{dq}{d\varphi} = \frac{q}{\varphi} \quad (2.1)$$

o'tkazgichning elektr sig'imi deb ataladi. Elektr sig'imi o'tkazgichning o'lchami va shakliga bog'liq. (2.1) formuladan ko'rinib turibdiki, yakkaingan o'tkazgichning elektr sig'imi uning potensialini 1 Voltga o'zgarishi uchun kerak bo'ladigan zaryadga teng ekan. Sig'im birligi Farada deb ataladi. Bu sig'im 1 Kulon zaryad berilganda potentsiali 1 Voltga o'zgaradigan o'tkazgich sig'imidir.

$$1 F = \frac{1C}{1V}$$

|                        |   |
|------------------------|---|
| <p><b>2.1-rasm</b></p> | <p><math>q</math> va <math>\varphi</math> bog'liqligini bilgan holda sig'im <math>C</math> ni quyidagicha ifodalaymiz:</p> $C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$ <p>Plastinka yuzasi <math>A</math> qancha katta bo'lsa, unda zaryadlar shuncha erkin joylashadi, plastinkalar orasida itarishish kamayadi va plastinkalar shuncha ko'p zaryadlanadi.</p> |
|------------------------|---|

Nuqtaviy zaryad va shar markazidan  $r$  masofada maydon (potensial) bir xil.

$$\varphi = \frac{q}{C} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}; \text{ bu erdan}$$

$$C = 4\pi\varepsilon_0 r \quad (2.2)$$

$$\text{va } \varepsilon_0 = \frac{C}{4\pi r} = \left[ \frac{\Phi}{\mathcal{M}} \right]$$

(2.2) dan sharning radiusini topamiz:

Yakkalangan o'tkazgich ham elektr sig'imga ega bo'ladi. Bu holda elektr sig'im elektr zaryadning o'tkazgich potensialiga nisbati bilan aniqlanadi va  $q = C\varphi$  ifoda to'g'ri ekanligini anglatadi.

Masalan, radiusi  $r_0$  va elektr zaryadi  $q$  bo'lgan sferaning potentsiali

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r_0}$$

bo'lsa, sig'imi:

$$C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\varepsilon_0 r_0$$

$$r = \frac{C}{4\pi\varepsilon_0} \quad (2.3)$$

Agar  $C=1F$  bo'lsa va  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\mathcal{M}}$  hisobga olinsa,

$$r = \frac{1F}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 9 \cdot 10^9 \mathcal{M} = 9 \cdot 10^6 \text{ km.}$$

Demak radiusi  $9 \cdot 10^6 \text{ km}$  bo'lgan yolg'iz shar sig'imi  $1F$  ekan. Bu juda katta sig'im. Texnikada shuning uchun mikro va pikofaradalardan foydalaniladi. Yerning sig'imi ( $R=6400\text{km}$ ).

$$C_{Yer} = 4\pi\varepsilon_0 R_{Yer} = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot 64 \cdot 10^5 m \approx 710 \mu F$$

**Elektrostatik maydon energiyasi.** O'tkazgichga zaryad berilayotganda itarish kuchlarini yengish uchun ish bajariladi. Bu ish zaryadlangan o'tkazgichning energiyasiga aylanadi. Sig'imi  $C$  bo'lgan neytral o'tkazgichga sekin-asta  $dq$  zaryad berib boriladi va har gal

$$dA = (\varphi_0 - \varphi)dq \quad (2.4)$$

ish bajariladi. Agar zaryad cheksizdan olib kelinsa  $\varphi_0 = 0$  bo'ladi, demak

$$dA = -\varphi dq = -C\varphi d\varphi \quad (2.5) \text{ bo'ladi.}$$

To'liq ish:

$$A = \int_0^\varphi dA = -C \int_0^\varphi \varphi d\varphi = -\frac{1}{2} C\varphi^2 \quad (2.6)$$

Minus ishora tashqi kuchlar zaryadlangan o'tkazgich maydon kuchlariga qarshi ish bajarishini anglatadi. Demak, zaryadlangan o'tkazgich energiyasi:

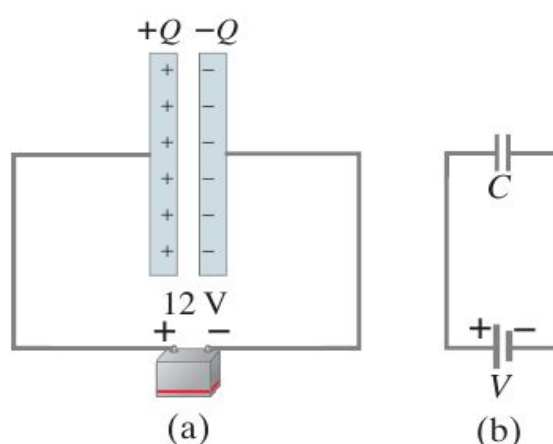
$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (2.7)$$

## 2.2 - §. Kondensatorning elektr sig'imi. Kondensatorlarni ulash

**Kondensatorlar.** Katta sig'imga ega o'tkazgichlar katta o'lchamlarga ega bo'ladi. Masalan, metall shar 1 *mkF* sig'imga ega bo'lishi uchun radiusi 9 km bo'lishi kerak. Lekin bir-biridan dielektriklar bilan ajratilgan o'tkazgichlar sistemasi tuzilsa, bunday sistema kichik o'lchamli bo'lsa ham, katta sig'imga ega bo'lishi mumkin. Bunday sistema kondensator deb ataladi. Eng oddiy kondensator-bir biriga parallel va o'rtasida ingichka dielektrigi bor ikki metall plastinkalardir. Bu plastinkalarga miqdori bir xil, lekin ishorasi har xil zaryad beriladi. Ta'rifga binoan bunday sistemaning sig'imi:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (2.8)$$

ga teng. Bu erda  $q$ -bitta plastinkadagi zaryad.



2.2-rasm

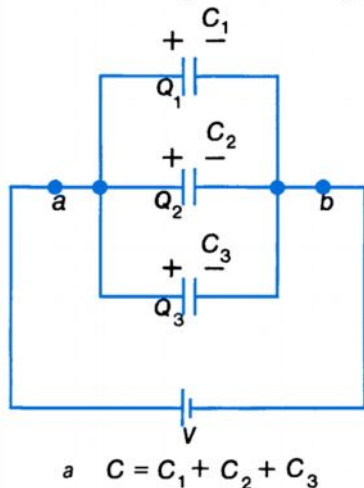
$d$  kichik bo'lsa, ikki plastinka orasidagi maydonni bir jinsli deyish mumkin. Bu hol uchun quyidagi munosabat o'rinlidir:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} d \quad (2.9)$$

$$\left( E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \right)$$

$$C = \frac{q \varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma d} = \frac{\sigma S \varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (2.10)$$

**Kondensatorlarni bir-biriga ulash.** Bir nechta kondensatorlarni ulab, o'zgacha sig'imga ega boshqa kondensatorlarni hosil qilish mumkin (buni kondensatorlar batareyasi deb ham atash mumkin).



2.3-rasm

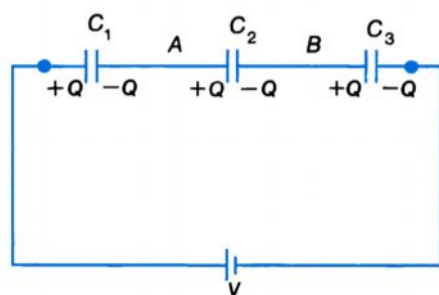
Kondensatorlarni har xil usulda ulash mumkin. Kondensatorlarni ulashning ikkita asosiy usuli mavjud: parallel va ketma - ket. Kondensatorlar 2.3 – rasmda ko'rsatilganidek parallel ulanadi.

Parallel ulangan kondensatorlarning chap qoplamlari bir biri bilan ulangani uchun ularning potentsiali bir xil bo'ladi; xuddi shunday holni o'ng qoplamlar haqida ham aytish mumkin. Unda har bir kondensatorning zaryadi  $q_1 = C_1 \Delta \varphi_1 = C_1 U_1$ ,  $q_2 = C_2 \Delta \varphi_2 = C_2 U_2$ ,  $q_3 = C_3 \Delta \varphi_3 = C_3 U_3$  ga teng bo'ladi. Kondensatorning umumiy zaryadi quyidagicha aniqlanadi:

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

Demak, kondensatorlar parallel ulanganda sistemaning umumiy sig'imi kondensatorlar sig'imlarining yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



6  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

2.4-rasm

**2.4-rasm.** Ketma - ket ulangan kondensatorlarning umumiy kuchlanishi har bir kondensatorning alohida kuchlanishlari yig'indisiga teng

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Kondensatorlar zaryadlari

$$q = q_1 = q_2 = q_3$$

Demak, kondensatorlar parallel ulanganda sistemaning umumiy sig'imi kondensatorlar sig'imlarining teskari

qiymati yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

### 2.3 - §. Elektrostatik maydon energiyasi

Cheksizlikdan  $dq$  elementar zaryadni ko'chirishda elektr maydon kuchlariga qarshi bajarilgan ish

$$dA = \varphi dq \quad (2.11)$$

(2.11) teng bo'ladi.

$$dA = \varphi d(C\varphi) = C\varphi d\varphi \quad (2.12)$$

O'tkazgich potensialini  $\varphi$  ga yetkazish uchun bajarilishi kerak bo'lgan ishni integrallashdan foydalanib aniqlaylik:

$$A = \int_0^{\varphi} C\varphi d\varphi = \frac{C\varphi^2}{2} \quad (2.13)$$

Bu zaryadlangan o'tkazgich energiyasidir, bu energiyani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q\varphi}{2} \quad (2.14)$$

Endi yassi kondensator qoplamalari orasida mujassamlashgan elektrostatik maydon energiyasi ( $W_e$ ) ni aniqlaylik. Yuqoridagi qonuniyatlardan foydalanib kondensator energiyasini quyidagicha yozamiz:

$$W_s = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} E^2 d^2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} E^2 Sd \quad (2.15)$$

bu yerda  $Sd=V$  qoplamalar orasidagi hajmga teng bo'ladi. (2.15)ni hajm ( $V$ )ga bo'lsak, birlik hajmga to'g'ri keluvchi **elektr maydon energiyasini** topamiz:

$$\omega_s = \frac{W_s}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} E^2 \quad (2.16)$$

Bu kattalik **elektr maydon energiyasining zichligi** deyiladi.



### **Nazorat savollari**

1. Elektr maydonida o'tkazgich qanday qutublanadi?
2. Elektr sig'imi deb nimaga aytiladi?
3. Sig'im birligi qanday?
4. Yassi kondensator energiyasi nimaga teng?
5. Parallel va ketma – ket ulangan kondensatorlar sistemasining sig'imi nimaga teng?
6. Elektr maydon energiyasi qanday aniqlanadi, formulasini keltirib chiqaring?
7. Ikkitadan ortiq kondensator ketma-ket ulanganda umumiy sig'im ifodasini yozing?
8. Elektr maydoniga qo'yilgan o'tkazgich qanday ta'sirlashadi?
9. Elektr sig'im qanday fizik kattalik?
10. Kondensator qanday elektr qurilma, u qanday vazifani bajaradi?

### III – BOB. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI. METALLARDA ELEKTR TOKI

#### 3.1 - §. Tok manbalari. Elektr batareyalari

Elektr batareyalarini yaratishda, ikki ingliz olimlari Volta va Galvani orasidagi ilmiy bahslar sabab bo'ldi deb hisoblasa bo'ladi. Boloniya universiteti professori Galvani 1780-yilda, elektr mashinasi yordamida olingan elektr toki yordamida qurbaqa mushaklarining qisqarishi bo'yicha ko'pgina tajribalar o'tkazdi. Galvani mushaklar qisqarishi, qurbaqani metalga tekkizganda ham sodir bo'lishini kuzatdi. Paviya universitetida ishlaydigan Volta ham shunga o'xshagan tajribalar o'tkazdi. Volta elektr tokini ikki metall bir-biriga tekizganda hosil bo'ladi degan xulosaga keldi. Qurbaqa mushaklarining qisqarishi, elektr tokining kuchlanishini aniqlaydigan nozik element bo'lib xizmat qilishini tushundi. Keyinchalik bu mulohazalar asosida elektrometrlar yaratildi.

O'tkazilgan tajribalar asosida Volta, metallar bir-biriga tekkizilganda elektr yurituvchi kuch hosil bo'lishini taxmin qildi. Keyinchalik Volta kumush va rux disklari orasiga tuz eritmasi yoki kislota eritmasidan shimdirilgan qog'oz qo'yib, bu elementlarni bir nechtasini ustma-ust qo'yib, ustunlar(batareya) hosil qildi. Ustunlar uchlariga sim ulab, bu simlar bir-biriga tekkizilganda uchqunlar hosil bo'lishini aniqladi. Shunday qilib Volta birinchi marta elektr toki manbalarini yasadi. Bu ixtironi 1800-yilda e'lon qildi. Keyinchalik Volta ustun(batareya)lari asosida quvvatli tok manbalari yaratildi.

Keyinchalik aniqlanishicha, Volta ixtiro qilgan batareyalarda, kimyoviy energiya elektr energiyasiga aylanar ekan. Hozirgi vaqtda har xil elektr elementlari yoki batareyalari kashf qilingan. Eng sodda batareya bu galvanik elementdir. Bunda elementning elektrodleri har



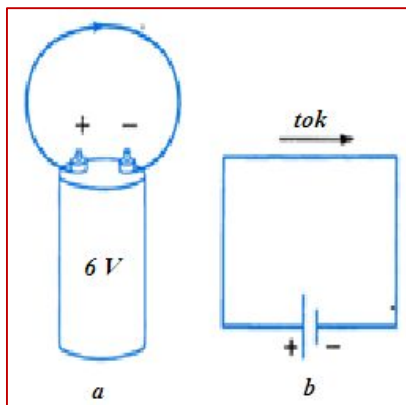
xil metallardan qilingan ikkita sterjendan (ko'pincha ulardan biri ko'mirdan qilinadi) iborat bo'ladi. Elektrodler elektrolitga tushirilgan bo'ladi. Suyultirilgan kislota elektrolit vazifasini bajaradi. Quruq elementlarda elektrolit quyuc ishqorlardan qilingan bo'ladi. Elektrolitda kimyoviy reaksiyalar asosida musbat va manfiy ionlar hosil bo'ladi. Bu ionlar elektrodlerga o'tirib, musbat va manfiy zaryadlangan qutblarni hosil qiladi. Musbat elektrod anod deb, manfiy elektrod katod deb yuritiladi. Qutblar orasida potentsiallar ayirmasi yoki kuchlanish saqlanib turadi. Batareya qutblarida hosil bo'lgan potentsiallar farqi, tashqi zanjirga ulanmaganda elektr yurituvchi kuch(EYuK) deb ataladi va  $\epsilon$  harfi bilan belgilanadi.

Batareya tipidagi har qanday qurilma potentsiallar farqini hosil qilsa va tashqi zanjir bo'ylab zaryadlar oqimini yuzaga keltirsa, bunday qurilma EYuK

manbai deb ataladi. Element va batareyalardan tashqari, elektr toki generatorlari, fotoelementlar, termoparalar va boshqalar ham EYuK manbalari bo'lib xizmat qiladi.

### 3.2 - §. Elektr toki. Tok kuchi va uning zichligi

*Tartiblangan holda, yo'nalish olib harakatlanuvchi zaryadlar oqimini elektr toki deyiladi.* Elektr maydon ta'siri ostida o'tkazgichdagi erkin zaryadlar harakatlanib, musbatlari maydon bo'ylab, manfiylari esa teskari yo'nalishda



siljiy boshlaydilar. Buni **o'tkazuvchanlik toki** deb ataymiz. O'tkazuvchanlik toki elektr maydonining tasiri ostida hosil bo'ladi. Bu holda, o'tkazgichdagi zaryadlarning (elektrostatik) taqsimot muvozanati buziladi uning sirti va hajmi sohalari ekvipotentsial bo'lmay qoladi. O'tkazgichning ichida elektr maydoni paydo bo'ladi, uning sirtidagi maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisi esa  $\vec{E} \neq 0$  bo'ladi. o'tkazgichdagi zaryad taqsimoti

uning barcha nuqtalari ekvipotentsial holga kelmaguncha davom etadi. Agar tok fazodagi zaryadli makroskopik jismlarning siljishi tufayli hosil bo'lsa, uni **konveksiya toki** deb yuritimiz.

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

- Metallarda erkin elektronlar;
- Elektrolitlarda musbat va manfiy zaryadli ionlar;
- Gazlar va plazmada ionlar va elektronlar;
- Yarim o'tkazgichlarda elektronlar va kovaklar;

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

Batareya qutblarini o'tkazgich sim bilan birlashtirsak elektr zanjiri hosil bo'ladi.

Elektr zanjirlarida batareyalarni  $\text{---|---}$  simvolik ko'rinishda belgilanadi. Bunda uzun chiziqcha musbat qutb, qisqa chiziqcha esa manfiy qutb deb qabul qilinadi. Bu zanjir orqali elektr zaryadi bir qutbdan ikkinchi qutbga ko'chishi mumkin. Bu zaryadlarning oqimi elektr toki deb ataladi.

Elektr tokini miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun **tok kuchi** degan skalyar fizik kattalik kiritiladi. *Vaqt birligi ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesim*

yuzasidan oqib o'tuvchi zaryad miqdorini aniqlovchi kattalikni **tok kuchi** deb ataymiz.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (3.1)$$

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

$$I = dQ / dt \quad \text{agar } I = \text{const bo'lsa, } I = Q / t \quad (3.2)$$

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

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

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

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}, \quad I = \frac{dQ}{dt} = ne \langle \mathcal{G} \rangle A \quad (3.3)$$



Shunda, tok zichligi:

$$\vec{j} = ne \langle \vec{\mathcal{G}} \rangle \quad (3.4)$$

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

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

Istalgan  $A$  sirt orqali o'tuvchi tok kuchi  $j$  vektorning oqimi sifatida aniqlanadi:

$$I = \int_s j dA \quad (3.5)$$

bunda  $\vec{dA} = \vec{n} dA$  ( $\vec{n} - dA$  yuzaga o'tkazilgan birlik normal vektor)

Agar  $A$  berk sirt bo'ylab,  $dA$  vektor hamma joyda tashqi  $\vec{n}$  normal bo'yicha o'tkazilgan bo'lsa; unda:  $dQ = -Idt$ .  $\oint \vec{j} dA = -\frac{dQ}{dt}$  (3.6)

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

### 3.3 - §. Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish

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

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

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

$$\varepsilon = A/q_0 \quad (3.7)$$

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

$$\vec{F}_m = \vec{E}_m q_0 \quad (3.8)$$

bunda  $\vec{E}_m$  - tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi. Zanjirning berk qismida  $q_0$  zaryadni ko'chirishda bajariladigan ishni aniqlaymiz:

$$A = \oint \vec{F}_m d\vec{l} = q_0 \oint \vec{E}_m d\vec{l} \quad (3.9)$$

yoki  $\varepsilon = \oint \vec{E}_m d\vec{l} \quad (3.10)$

Zanjirning chegaralangan 1-2 qismi uchun esa:

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_T d\vec{l} \quad (3.11)$$

$q_0$  zaryadga tashqi kuchlardan tashqari elektrostatik maydon kuchlari ham ta'sir qiladi.

$$\vec{F}_e = q_0 \vec{E}$$

yoki

$$\vec{F} = \vec{F}_T + \vec{F}_e = q_0 \left( \vec{E}_m + \vec{E} \right)_2$$

$$A_{12} = q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l} + q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l} \quad (3.12)$$

Bundan esa quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$A_{12} = q_0 \varepsilon_{12} + q_0 (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (3.13)$$

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

$$A_{12} = q_0 \varepsilon_{12} \quad (3.14)$$

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

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12} \quad (3.15)$$

Agar zanjirning qaralayotgan qismida EYuK bo'lmasa: unda kuchlanish zanjirning shu qismidagi potentsiallar farqiga teng bo'ladi.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (3.16)$$

**Om qonuni va uning integral hamda differentsial ko'rinishlardagi ifodasi. O'tkazgichlar qarshiligi.** Zanjirning bir jinsli (ya'ni EYuK mavjud bo'lmagan) qismidan o'tuvchi tok shu qismdagi  $U$  kuchlanishga to'g'ri, uning  $R$  qarshiligiga esa teskari proporsional bo'ladi:

$$I = U / R \quad (3.17)$$

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

$$G = 1/R \quad [R] = \Omega, \quad [G] = sm \text{ (simens)} \quad (3.18)$$

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

$$R = \rho l / S \quad (3.19)$$

bunda  $\rho$  **solishtirma elektr qarshiligi** bo'lib, u o'tkazgichning materialini xarakterlaydi.

Solishtirma elektr qarshiligining o'lchov birligi:

$$[\rho] = \Omega \cdot m$$

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

Yuqoridagilarga asoslanib, Om qonunini, quyidagicha yozish mumkin:

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

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

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

$$j = \gamma E \quad \text{yoki} \quad \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (3.20)$$

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

### 3.4 - §. Tokning ishi va quvvati. Joul-Lens qonuni

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

$$dA = UdQ = IUdt$$

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

$$dA = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt. \quad (3.21)$$

Tokning quvvati esa:

$$p = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (3.22)$$

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

$$dQ = dA \quad (3.23)$$

Yuqoridagilarni jamlab, xulosalaymiz:

$$dQ = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (3.24)$$

Bu ifoda **Joul – Lens qonunini** ifodalaydi.

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

$$dQ = I^2 R dt = \frac{\rho dl}{dS} (jdS)^2 dt = \rho j^2 dV dt \quad (3.25)$$

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

$$\omega = \rho j^2 = jE = \gamma E^2 \quad (3.26)$$

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

### 3.5 - §. Zanjirning bir jinlimas qismi uchun Om qonuni

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



$$\begin{aligned}
 A_{12} &= q_0 E_{12} + q_0 (\varphi_1 - \varphi_2) \\
 Q &= I^2 R t = IR (It) = IR q_0 \\
 \text{yoki } I &= \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}
 \end{aligned}
 \tag{3.27}$$

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

Uning xususiy hollardagi tadbiqui bilan tanishamiz.

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

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2) / R = U / R \tag{3.28}$$

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

$$I = \varepsilon / (R + r) \tag{3.29}$$

bunda  $r$  - manbaning ichki qarshiligi.

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \rho &= \rho (1 + \alpha t) \\
 R &= R_0 (1 + \alpha t)
 \end{aligned}
 \tag{3.30}$$

bunda  $\rho$  va  $\rho_0$ ,  $R$  va  $R_0$ - mos holda o'tkazgichning  $t$  va  $\theta^0$  C dagi solishtirma qarshiligi va to'la qarshiligi.  $\alpha$ - **qarshilikning temperaturaviy koeffitsienti** bo'lib, u toza metallar uchun (juda past bo'lmagan temperaturalarda)  $1/273 \text{ K}^{-1}$  ga yaqin qiymatni qabul qiladi. Demak, qarshilikning temperaturaga bog'liqligini quyidagicha ifodalash mumkin:  $R = \alpha R_0 T$  bunda  $T$  – termodinamik temperatura. Lekin, tajribalar ko'pgina metall (Al, Pb, Zn ...) va qotishmalarning elektr qarshiligi **kritik temperatura** deb nomlanuvchi, juda past (0,14-20K) temperaturalarda, to'satdan nolga aylanib absolyut o'tkazuvchi bo'lib qolishini ko'rsatdi. Bu hodisani **o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi** deb yuritiladi.

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

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

**Qarshiliklar termometri** deb ataluvchi asbobning ta'siri, metallar elektr qarshiligining temperaturaga bog'liqligiga asoslanadi. Bu o'lchov asbobida uning qarshilik va temperatura orasidagi gradiurovkaga bog'liq tarzda 0,003 K

aniqlikda temperaturani o'ldash imkoniyatini beradi. Ishchi modda sifatida maxsus texnologiya bo'yicha tayyorlangan yarim o'tkazgich asosida ishlaydigan termistorlar temperaturasining  $10^{-6} K$  miqdoridagi o'zgarishlarini ham qayd qila oladi.

### 3.6 - §. Zanjirning tarmoqlangan qismi uchun Kirxgof qoidalari

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

Kirxgofning birinchi qoidasi:

**Tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.**

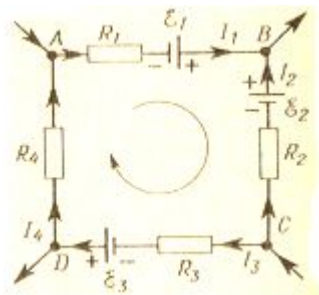
$$I = \sum_k I_k = I_1 + I_2 + \dots + I_\kappa = 0, \quad \kappa = 3, 4, \dots \quad (3.31)$$

Kirxgofning birinchi qoidasi elektr zaryadlarining saqlanish qonunidan kelib chiqadi.

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

Uch qismdan iborat konturni ko'rib chiqamiz.

Ixtiyoriy ravishda, soat milining aylanish yo'nalishini musbat deb olamiz. Tok manbalari beradigan toklarning yo'nalishiga qarab, ularning ishoralarini belgilab olamiz. Zanjirning mos qismlariga Om qonunini qo'llab, quyidagini hosil qilamiz:



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

bunda esa:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (3.32)$$

Bu tenglik **Kirxgofning ikkinchi qoidasi** ni ifodalaydi:

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

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k \quad (3.33)$$

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

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

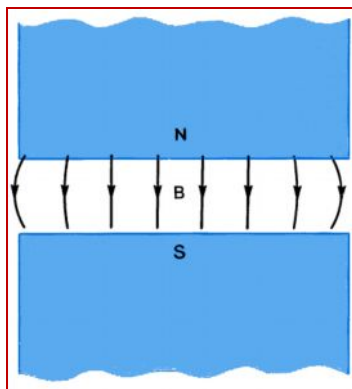
### **Nazorat savollari**

1. Om qonunining differentsial ko'rinishini keltirib chiqaring.
2. Joul-Lens qonunining differentsial shaklni hosil qiling.
3. Tokning solishtirma issiqlik quvvati qanday fizik ma'noni anglatadi?
4. Umumlashgan Om qonunini tahlil qilib bering.
5. Tugun tushunchasini yoriting.
6. Kirxgofning birinchi qoidasini ta'riflang, u qanday qonunga asoslanadi?
7. Kirxgofning ikkinchi qoidasini ta'riflang, u qanday qonunga asoslanadi?
8. Agar zanjirga  $n$ -dona bir xil  $\varepsilon$  EYuKli manbalar o'zaro ketma-ket ulansa natijaviy  $\varepsilon_n$  nimaga teng bo'ladi?

## IV – BOB. TOKNING MAGNIT MAYDONI

### 4.1- §. Magnit maydoni. O'zgarmas tokning magnit maydoni. Bio-Savar qonuni

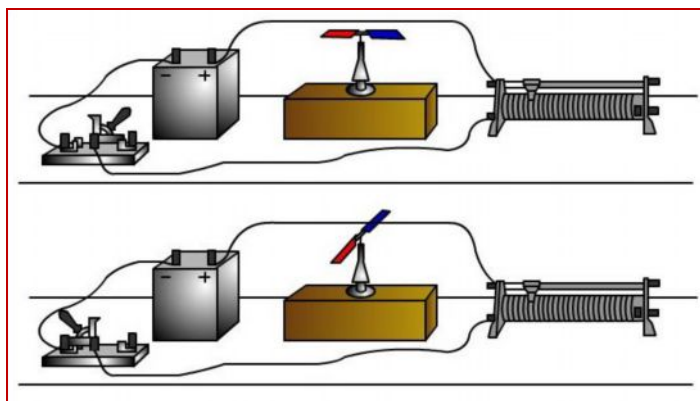
Magnit maydonini faqat doimiy magnitlar hosil qilmaydi, balki elektr toki ham magnit maydon hosil qiladi (Erstedning buyuk tajribalari). Aynan mana shu jihatiga ko'ra magnit maydoni alohida e'tibor bilan o'rganiladi. Magnit maydonining eng oddiy holi bir jinsli magnit maydonidir, qaysiki nuqtadan nuqtaga o'tganida o'zgarmaydigan. Keng joylarda bir jinsli magnit maydonini hosil qilish bir muncha qiyin ish hisoblanadi. Doimiy magnit maydoni hosil qiluvchi jismning (doimiy magnit) magnit qutblari tekislikdan iborat bo'lsa, bir jinsli magnit maydoniga yaqin bo'lgan magnit maydon hosil qilish mumkin (4.1-rasm).



**4.1-rasm.** Qutblari orasidagi magnit maydoni deyarli bir jinsli bo'lgan magnit maydoni (qutblar chetlarini hisobga olmaganda).

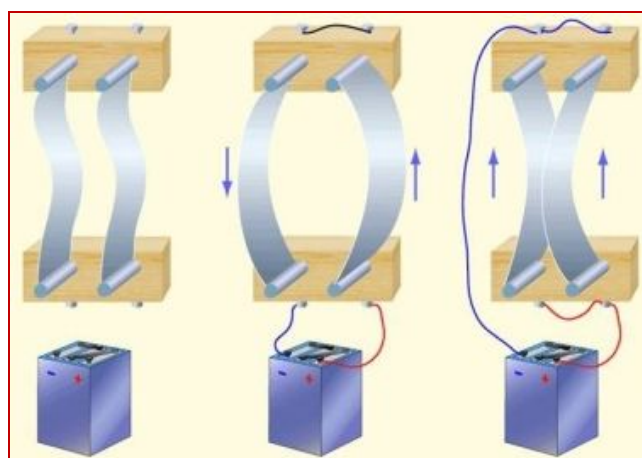
Faqat doimiy magnitning chetlarida bir jinslilik buziladi. Magnit maydon kuch chiziqlari bir-biriga nisbatan parallel joylashgan bo'lsa, magnit maydoni bir jinsli deb hisoblanadi. Lekin ko'pincha magnit maydoni nuqtadan nuqtaga o'tganida o'zgarib turadigan magnit maydoni, ya'ni bir jinsli bo'lmagan magnit maydoniga duch kelinadi. Biz bir necha oddiy hollarda magnit maydon induksiyasi vektorini qanday hisoblab topishni va magnit maydoni va uning manbalari orasidagi bog'lanishlarni ko'rib chiqamiz.

1820 yilda Daniyalik fizik G.X.Ersted (1777-1851) tajribalarda elektr tokini magnit strelkasiga ta'sirini aniqlagan.



**4.2-rasm.** O'zgarimas tok atrofida magnit maydoni hosil qilish bo'yicha Ersted tajribalari.

Tajribada magnit strelkasining ustiga parallel joylashtirilgan o'tkazgichdan tok o'tganda, magnit strelkasining dastlabki vaziyatdan o'tgani va o'tkazgichdan tokning o'tishi to'xtatilsa, magnit strelkasi yana dastlabki vaziyatga qaytishi kuzatilgan. 1820-yilda Amper tajribalarda tok o'tayotgan ikki ingichka to'g'ri chiziqli o'tkazgichda tok bir tomonga o'tsa, ular bir-birini tortishi, agar qarama-qarshi tomonga o'tsa, bir-biridan qochishi aniqlangan. Tajriba ko'rsatadiki, parallel o'tkazgichlarning har birining birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi o'zaro ta'sir kuchi ulardagi  $I_1$  va  $I_2$  toklarga to'g'ri proporsional va ular orasidagi b masofaga teskari proporsional



**4.3-rasm.** Parallel joylashgan tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sirlashuvi.

$$F = k \frac{2 I_1 I_2}{r} \quad (4.1)$$

Bu yerda,  $k = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}$  -proporsionallik koeffitsenti,  $I_1$ ,  $I_2$ -o'tkazgichlardan o'tuvchi tok kuchi,  $r$ -o'tkazgichlar orasidagi masofa. Bu toklarning o'zaro ta'sir qonunidir.

Tajribalarning ko'rsatishicha toklarning o'zaro va magnit strelkasiga ta'siriga sabab shuki har qanday tokli o'tkazgich atrofida alohida tabiatli magnit

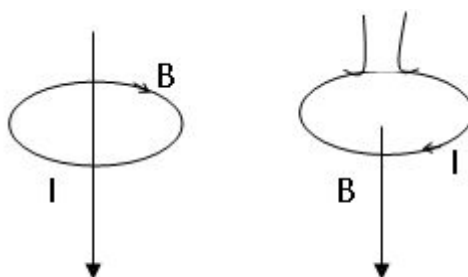
maydoni hosil bo‘ladi va bu magnit maydon ikkinchi tokli o‘tkazgichga yoki magnit strelkasiga ta’sir ko‘rsatadi. Magnit maydonni tekshirish uchun, maydonning tekshirilayotgan nuqtasiga tokli berk kontur kiritiladi va uni «sinov konturi» deb ataladi.

Konturning miqdoriy xarakteristikasi sifatida konturdan o‘tuvchi tok kuchi  $I$  ni konturning yuzi  $S$  ga ko‘paytmasidan foydalaniladi. Bu ko‘paytma konturning magnit momenti deb ataladi va  $P_m$  deb belgilanadi.

$$P_m = I \times S \quad (4.2)$$

Agar magnit maydonning tanlab olingan nuqtasiga magnit momentlari ( $P_m$ ) turlicha bo‘lgan sinov konturlarini kiritsak, ularga ta’sir etuvchi aylanma momentlarning maksimal qiymatlari ( $M_{max}$ ) ham turlicha bo‘ladi. Lekin har bir sinov konturiga ta’sir etuvchi maksimal aylanma momenti ( $M_{max}$ ) ning  $P_m$  ga nisbati magnit maydonning shu nuqtasi uchun o‘zgarmas kattalik bo‘ladi, ya’ni

$$\frac{M_{max}}{P_m} = const \quad (4.3)$$



#### 4.4-rasm. Berk konturdagi magnit maydon induksiya vektorining hosil bo‘lishi va yo‘nalishi sxemasi

Bu nisbat magnit maydonning miqdoriy xarakteristikasini ifodalaydi va magnit induksiya ( $B$ ) deb ataladi. Magnit induksiyasi vektor kattalik bo‘lib, uning yo‘nalishi maydonning tekshirilayotgan nuqtasiga kiritilgan «sinov konturi»ning muvozanat vaziyatdagi

$$\bar{B} = \frac{\bar{M}_{max}}{P_m} \quad (4.4)$$

musbat normalarning yo‘nalishi bilan, qiymati esa sinov konturiga maydon tomonidan ta’sir etuvchi aylanma momentining maksimal qiymatini sinov konturining magnit momentiga bo‘lgan nisbati bilan aniqlanadi. SI da magnit induksiyani o‘lchov birligi 1 tesla.

$$[B] = \left[ \frac{M_{max}}{P_m} \right] = \frac{N \cdot m}{A \cdot m^2} = T \text{ (Tesla)} \quad (4.5)$$

1 tesla (1T) magnit maydon shunday nuqtasining magnit induksiyasiki bu nuqtaga kiritilgan magnit momenti  $1 A \cdot m^2$  bo‘lgan yassi konturga magnit

maydon tomonidan ta'sir etadigan aylantiruvchi momentning maksimal qiymati  $1 \text{ N} \cdot \text{m}$  ga teng bo'lishi lozim.

**Bio - Savar qonuni.** 1820-yili Fransuz olimlari Bio va F.Savar turli shakldagi tokli o'tkazgichdan atrofidagi magnit maydonlarini tekshirish natijasida tokli o'tkazgichdan  $r$  masofadagi nuqtaning magnit induksiyasi o'tkazgichdagi tok kuchiga ( $I$ ) to'g'ri proporsional,  $r$  ga esa teskari proporsional ekanligini aniqladilar. Maydonlar superpozitsiya prinsipiga ko'ra quyidagicha ta'riflanadi: Agar magnit maydoni bir necha toklar tufayli vujudga kelayotgan bo'lsa, shu maydonning biror ixtiyoriy nuqtadagi magnit induksiyasi ( $\vec{B}$ ) alohida toklar vujudga keltirayotgan maydonlarning shu nuqtadagi magnit induksiyalarining vektor yig'indisiga teng:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n \quad (4.6)$$

Bio-Savar qonuni quyidagicha ta'riflanadi: ixtiyoriy tokli o'tkazgichdan biror  $r$  masofadagi nuqtaning magnit induksiyasi o'tkazgichni elementar uzunligiga, o'tkazgichdan o'tuvchi tok kuchiga, elementar o'tkazgich va undan nuqtagacha bo'lgan chiziq orasidagi burchak sinusiga to'g'ri proporsional, oraliq masofa kvadratiga teskari proporsionaldir:

$$dB = k \frac{Idl \cdot \sin \alpha}{r^2}; \quad d\vec{B} = k \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3} \quad (4.7)$$

SI tizimida

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \cdot \sin \alpha}{r^2}; \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}$$

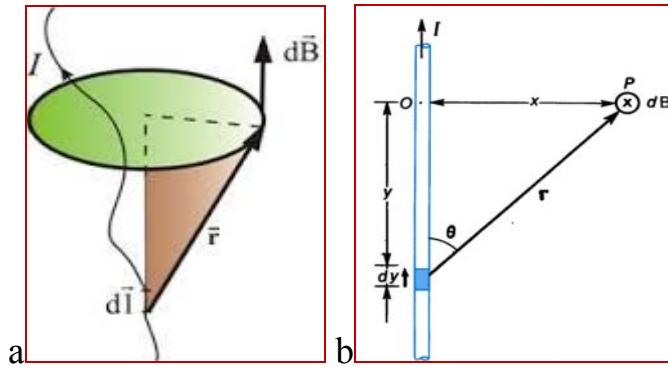
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}} \quad (4.8)$$

$d\vec{B}$  ning yo'nalishi o'ng vint qoidasi asosida topiladi. Magnit maydonni tavsiflashda magnit maydon induksiyasi vektori  $\vec{B}$  bilan birgalikda magnit maydonning kuchlanganlik vektori deb ataluvchi  $\vec{H}$  fizik kattalikdan ham foydalanadi. Agar magnit maydonning biror nuqtasini induksiyasi  $B$  buzilsa u holda shu nuqtada magnit maydonning kuchlanganligi  $\vec{H} = \vec{B}/\mu\mu_0$  yoki  $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$ , bunda  $\mu$ - muhitni nisbiy magnit singdiruvchanligi,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}$ .

**Bio-Savar qonunini qo'llanilishi.** Bio-Savar qonunidan foydalanib, turli shakldagi tokli o'tkazgichlar maydonlarining magnit induksiyasini hisoblash mumkin.

1. Cheksiz uzun to'g'ri chiziq shaklidagi o'tkazgichdan o'tayotgan  $I$  tok (to'g'ri tok) tufayli vujudga kelgan maydonning magnit induksiyasini

hisoblaylik (4.5-rasm). Tanlab olingan  $A$  nuqtaning to'g'ri tokdan uzoqligi  $r_0$  bo'lsin.



**4.5-rasm.** Bio-Savar qonuniga asosan  $I$  tok o'tuvchi o'tkazgichning  $dl = dy$  qismidan  $\vec{r}$  masofasidagi nuqtasidagi magnit maydon induksiyasi vektori modulini aniqlash.

Tok o'tayotgan o'tkazgichni  $dl$  uzunlidagi elementlarga ajratamiz. Bu tok elementlari vujudga keltirgan barcha  $dB$  larning yo'nalishlari bir xil bo'lib, ular chizmaning orqa tomoniga yo'nalgan. Natijaviy magnit maydon induksiyasi  $B$   $dB$  lar modullarining yig'indisidan iborat.  $A$  nuqtadan  $r$  masofa uzoqlikdagi tok elementi vujudga keltirgan magnit maydon induksiyasining moduli Bio-Savar qonunidan topilishi lozim bo'lganligi uchun  $B$  ning moduli quyidagi integrallashga keltiriladi:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (4.9)$$

4.5-rasmdan foydalansak:  $r = \frac{r_0}{\sin \alpha}$ ;  $dl = \frac{r d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{r_0 d\alpha}{\sin \alpha}$

ekanligini topamiz. Shuning uchun:

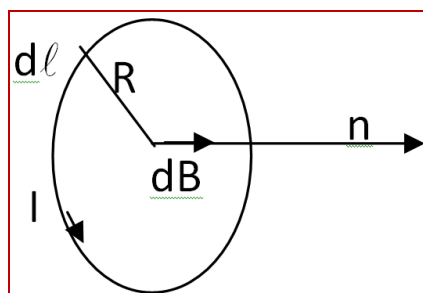
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_0^\pi r_0 \frac{d\alpha \cdot \sin \alpha}{\sin^2 \alpha \cdot \frac{r_0^2}{\sin^2 \alpha}} = \frac{\mu_0}{4\pi r_0} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0} \quad (4.10)$$

bo'ladi. Shunday qilib, cheksiz uzun to'g'ri tok tufayli vujudga kelayotgan maydonning ixtiyoriy nuqtasidan magnit induksiyasi o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchiga to'g'ri proporsional va induksiyasi o'lchanayotgan nuqtasining o'tkazgichdan uzoqligiga teskari proporsionaldir.

Radiusi  $R$  bo'lgan aylana shaklidagi o'tkazgichdan  $I$  tok o'tayotgan bo'lsin (4.6-rasm). Shu aylananing markazidagi magnit maydon induksiyasini aniqlaylik. Aylananing har bir  $dl$  elementi va radiusi  $r$  orasidagi burchak  $\pi/2$  ga teng bo'lganligi uchun Bio-Savar qonuniga asosan:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl}{R^2} \quad (4.11)$$





4.6-rasm.

Barcha  $dB$  lar aynan bir xil yoʻnalishda, yaʼni, aylana markazidan oʻtuvchi musbat normal boʻylab yoʻnalgan. Shuning uchun natijaviy maydonning aylana markazidagi magnit induksiyasi:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R} \quad (4.12)$$

hosil boʻladi. Aylana shaklidagi tokli konturning momenti

$$P_m = I \cdot S = I\pi R^2$$

boʻlganligi uchun (4.12) ni quyidagicha oʻzgartirib yozish mumkin

$$B = \frac{\mu_0 I \pi R^2}{2R \cdot \pi R^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2P_m}{R^3} \quad (4.13)$$

Solenoid va toroid markazidagi maydonning magnit induksiyasi

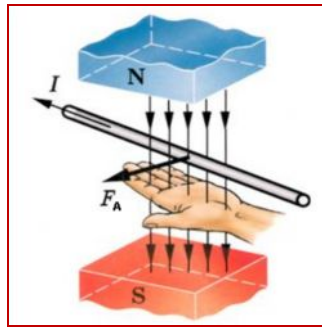
$$B = \mu_0 I \frac{N}{l}; \quad N\text{-oʻramlar soni}$$

$$B = \mu_0 I n \quad n = \frac{N}{l}$$

#### 4.2- §. Magnit maydonida joylashgan tokli oʻtkazgichga taʼsir etuvchi kuch. Amper qonuni

**Magnit maydonning tokli oʻtkazgichga taʼsiri. Amper kuchi.** Elektrdan amalda foydalanishda magnit maydonning tokka taʼsir kuchlaridan foydalanish katta rol oʻynaydi. Magnit maydonida joylashgan tokli oʻtkazgichga maydon tomonidan taʼsir etuvchi kuch shu maydonning magnit induksiyasi  $B$  ga, oʻtkazgichning uzunligiga va undan oʻtayotgan tok kuchi  $I$  ga bogʻliqligini 4.7-rasmdagi qurilma yordamida kuzatish mumkin.

Bir jinsli magnit maydondagi tokli oʻtkazgichga taʼsir qiluvchi  $F_A$  kuch oʻtkazgichdan oʻtayotgan tok kuchi  $I$  ga, oʻtkazgichning uzunligi  $l$  ga, magnit maydon induksiyasi  $B$  ga va  $B$  vektor bilan oʻtkazgich orasidagi burchak sinusiga toʻgʻri proporsionaldir, yaʼni



**4.7-rasm.** Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuch.

$$F_A = I l B \sin \alpha$$

Bu Amper qonunining matematik ifodasi. Umumiy holda, ya'ni ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich bir jinsli bo'lmagan magnit maydonda ( $B \neq \text{const}$ ) joylashgan bo'lsa, o'tkazgichni xayolan kichik  $dl$  elementlarga ajratamiz. Har bir element joylashgan sohadagi magnit maydon induksiyasini o'zgarmas deb hisoblash mumkin. Bu holda o'tkazgichning  $dl$  elementiga ta'sir etuvchi kuchni

$$dF = I [dl \cdot B] \quad (4.14)$$

ifoda bilan, uning modulini esa

$$dF = I B dl \sin \alpha \quad (4.15)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bu ifodalar Amper qonunini xarakterlaydi.

Ta'sir etuvchi kuchning (odatda bu kuchni Amper kuchi deb ham ataladi) yo'nalishi chap qo'l qoidasi bo'yicha topiladi. Buning uchun chap qo'limizni shunday joylashtirishimiz kerakki, bunda  $\vec{B}$  vektor kaftimizga tik kirsin, uzatilgan to'rtta barmog'imiz tokning yo'nalishi bilan mos tushsin. U holda ochilgan bosh barmog'imiz Amper kuchini yo'nalishini ko'rsatadi.

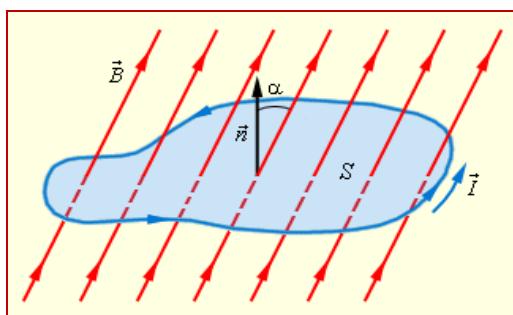
V vektorning  $dS$  sirt oqimi yoki magnit oqimi deganda

$$dF_B = B_n dS \quad (4.16)$$

kattalik tushuniladi. Magnit induksiya vektorininng ixtiyoriy  $S$  sirt oraliq oqimi esa

$$\Phi_B = \int B_n dS \quad (4.17)$$

ifoda yordamida aniqlanadi. Bir jinsli magnit maydonda yassi sirt  $B$  vektorga perpendikulyar tarzda joylashgan bo'lsa, (ya'ni  $B_n = B = \text{const}$  bo'lgan holda), (4.17) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi;



**4.8-rasm.**  $S$  yuzali berk sirtni kesib o'tayotgan magnet oqimi.

$$\Phi_B = BS \quad (4.18)$$

Mazkur munosabatdan foydalanib magnet oqimining SI dagi birligi-veber (Vb) ni aniqlash mumkin: 1 Vb -magnet induksiyasi 1Tl bo'lgan bir jinsli magnet maydonda maydon yo'nalishiga perpendikulyar ravishda joylashgan 1 m<sup>2</sup> yuzli yassi sirtni teshib o'tadigan magnet oqimdir.

$\vec{B}$  uchun Gauss teoremasi quyidagicha ta'riflanadi: Magnet maydon induksiyasi vektorning ixtiyoriy shakldagi berk sirt oraliq oqimi nolga teng:

$$\oint B dS = 0 \quad (4.19)$$

Mazkur teorema magnet induksiya chiziqlarining berk ekanligini, ya'ni berk sirt ichiga kirayotgan  $B$  chiziqlarining soni, sirdan chiqayotgan  $B$  chiziqlarining soniga aynan tengligini ifodalaydi.

$\oint B d\ell = \mu_0 \mathcal{I}$  , agar sirkulyasiya olinayotgan kontur tokni o'rab olsa;

$\oint B d\ell = 0$  , agar sirkulyasiya olinayotgan kontur tokni o'rab olmasa

**Tokli o'tkazgichni magnet maydonda ko'chirishda bajarilgan ish.**  $d\ell$  uzunlikdagi tokli o'tkazgich bir jinsli magnet maydonda erkin ko'cha olish imkoniga ega bo'lsin. Bunday tajribani amalga oshirish uchun ikki metall sterjenni (4.9-rasm) tok manbaiga ulaylik. Sterjenlar ustiga ko'ndalang qilib joylashtirilgan  $d\ell$  uzunlikdagi o'tkazgichdan konturning qo'zg'aluvchi qismi sifatida foydalanish mumkin. Bu tokli o'tkazgichga chizma tekisligiga perpendikulyar ravishda yo'nalgan magnet maydon tomonidan ta'sir etuvchi Amper kuchining qiymati

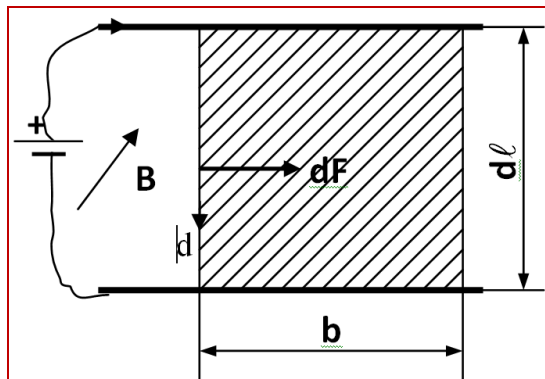
$$dF = IBd\ell \quad (4.20)$$

bo'ladi.

Bu kuchning yo'nalishi  $d\ell$  elementning ko'chish yo'nalishi bilan mos tushganligi uchun bajarilgan ish

$$dA = dF \times dx = IBdl \times dx \quad (4.21)$$

4.9 -rasmdan ko‘rinishicha,  $dl$  elementning  $b$  masofaga ko‘chishi tufayli konturning yuzi



**4.9-rasm.** Tokli o‘tkazgichni magnit maydonida ko‘chirishda bajarilgan ish.

$dS = dl \times dx$  ga ortadi. Shuning uchun (4.21) ni quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$dA = IBdS = Id\Phi \quad (4.22)$$

Bu ifodadagi  $d\Phi$ -kontur yuzining  $dS$  o‘zgarish tufayli kontur yuzini teshib o‘tayotgan magnit oqimining o‘zgarishidir. Boshqacha aytganda, konturning o‘zgaruvchi  $dl$  element ko‘chish davomida kesib o‘tgan magnit oqimdir.

### 4.3- §. Magnit maydonning harakatdagi zaryadlangan zarraga ta’siri. Lorens kuchi

Yuqorida magnit maydondagi tokli o‘tkazgichga ta’sir etuvchi kuch bilan tanishdik. Bu kuchning vujudga kelishini Lorens quyidagicha tushuntirdi: o‘tkazgichda tok tashishda qatnashib tartibli harakat qilayotgan zaryadlarga magnit maydon ta’sir etadi. Lekin bu zaryadlar o‘tkazgich sirti bilan chegaralangan hajm ichida harakat qilayotganliklari uchun ularga magnit maydon tomonidan ta’sir qilayotgan kuchlarning yig‘indisi tokli o‘tkazgichga ta’sir etuvchi kuch sifatida namoyon bo‘ladi. Shuning uchun Amper qonunini ifodasidan foydalanib magnit maydonda harakatlanuvchi zaryadga ta’sir etuvchi kuchni topish mumkin. Buning uchun o‘tkazgichdan o‘tayotgan tok kuchining qiymati

$$I = jS = qn\vartheta S \quad (4.23)$$

ekanligidan foydalanib, tok kuchi  $I$  ning o‘tkazgich elementi  $dl$  ga ko‘paytmasini quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$Idl = qn\vartheta Sd = q\vartheta ndV \quad (4.24)$$

(4.23) va (4.24) larda  $j$  -tok zichligi,  $S$ -o‘tkazgichning ko‘ndalang kesimi,  $n$ -o‘tkazgichning birlik hajmidagi zaryad tashuvchilarning soni,  $\vartheta$ -zaryad

tashuvchining tartibli harakat tezligi,  $q$ -uning zaryadi,  $dV = Sd$  o'tkazgich elementining hajmi. Agar  $n dV$  ni, ya'ni o'tkazgichning  $dV$  hajmidagi zaryad tashuvchilarning sonini  $dn$  deb belgilasak, (4.24) quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Idl = q\vartheta dn \quad (4.25)$$

Buni Amper kuchi  $dF = BIdl \sin\alpha$  ga qo'ysak  $dF = Bq\vartheta dn \sin\alpha$  buni vektor ko'rinishi

$$dF = [\vartheta B]qdn \quad (4.26)$$

Mazkur ifoda  $dn$  dona harakatlanuvchi zaryad tashuvchiga magnit maydon tomondan ta'sir etuvchi kuchni xarakterlaydi. Shuning uchun bir dona zaryad tashuvchiga ta'sir etuvchi kuch (bu kuchni, odatda, Lorens kuchi deb ataladi):

$$F_L = [\vartheta B]q \quad F_L = B\vartheta q \sin\alpha \quad (4.27)$$

Lorens kuchining yo'nalishi ham chap qo'l qoidasi asosida topiladi. Lekin bu yo'nalish musbat zaryadli ( $q > 0$ ) zarralarga magnit maydonda ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi bo'ladi. Manfiy zaryadli ( $q < 0$ ) zarraga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi esa qrama-qarshi bo'ladi. Lorens kuchi zarraning harakat yo'nalishiga perpendikulyardir. Shuning uchun Lorens kuchi ta'sirida yo'nalishi o'zgaradi xolos.

**Zaryadli zarralarning magnit maydondagi harakati.** Bir jinsli magnit maydonga  $\vartheta$  tezlik bilan kirgan zaryadli zarraning harakati qanday bo'ladi? Zaryadli zarraning harakati magnit maydon induksiyasi chiziqlari bo'ylab sodir bo'layotgan holda  $\vartheta$  va  $\vec{B}$  vektorlar orasidagi burchak  $0$  yoki  $\pi$  ga teng. Zero, (4.27) formulaga asosan,  $F_L = 0$ . Demak, mazkur holda magnit maydon zaryadli zarraga tasir etmaydi, zarra magnit maydonda to'g'ri chiziqli tekis harakatini davom ettiraveradi.

Zaryadli zarra  $B$  chiziqlariga perpendikulyar ravishda magnit maydonga kirgan holda  $u$  va  $B$  orasidagi burchak  $\pi/2$  yoki  $3\pi/2$  ga teng. Shuning ushun zarraga tasir etadigan Lorens kuchining yo'nalishi doimo tezlikka perpendikulyar, moduli ( $F_L = q\vartheta B$ ) o'zgarmaydi. Bunday kuch tasirida zarra aylana bo'ylab harakatlanadi. Aylana radiusi  $R$  ni

$$q\vartheta B = m\vartheta^2/R \quad (4.28)$$

tenglikni echib topish mumkin.

$$R = m\vartheta/qB \quad (4.29)$$

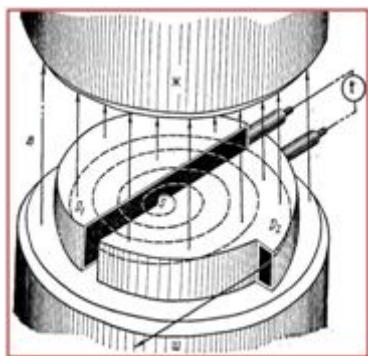
Bundagi  $m$ -zarraning massasi,  $q$ -zarraning zaryadi. Zarraning bir marta to'liq aylanishi uchun ketgan vaqt

$$T = \frac{2\pi R}{\vartheta} = \frac{2\pi}{\vartheta} \cdot \frac{m\vartheta}{qB} = \frac{2\pi}{(q/m)B} \quad (14.30)$$

Zarraning aylanish davri deb ataladi, u zarraning solishtirma zaryadi ( $q/m$ ) va maydonning magnit induksiyasiga bog'liq zaryadning tezligiga esa mutlaqo bog'liq emas.

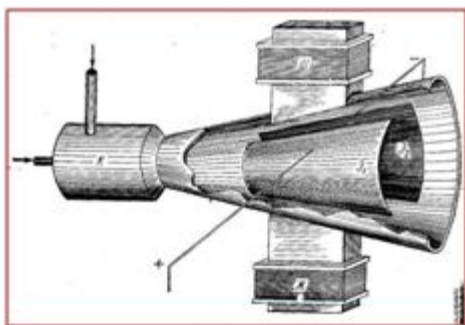
Zarra tezligi magnit maydon yo'nalishi bilan ixtiyoriy  $\alpha$  burchak tashkil etsin. Bu holda tezlik vektori  $\vartheta$  ni ikki tashkil etuvchiga- $B$  bo'ylab yonalgan  $\vartheta_{11}$  va  $B$  ga perpendikulyar ravishda yonalgan  $u_1$  ga ajratish mumkin. Zero, zaryadli zarra  $\vartheta_{11}$  tufayli magnit induksiya chiziqlari bo'ylab to'g'ri chiziqli tekis

harakatda,  $\vartheta_1$  tufayli esa maydonga perpendikulyar tekislikda aylana bo‘ylab tekis harakatda qatnashadi. Bu ikki harakatning superpozitsiyasi (qo‘shilishi) zarra harakatini tasvirlaydi: o‘qi magnit maydonga parallel bo‘lgan vintsimon spiral chiziq bo‘yicha zarra harakatlanadi. Harakatlanayotgan zarralarga magnit maydon ko‘rsatadigan ta’sirdan siklik tezlatgichlar (sklotron, sinxrotron, sinxrofazotron), magnitogidrodinamik generatorlarda foydalaniladi. Siklotronning asosiy qismi kuchli elektromagnitdir (4.10-rasm), bu elektromagnitning qutblari orasida yassi silindrik vakuum kamera joylashgan. Kamera duant deb ataladigan  $D$ -simon ikki bo‘lak  $D_1$  va  $D_2$  dan iborat. Duantlar elektrodlar vazifasini ham o‘taydi. Ular o‘zgaruvchan kuchlanishli yuqori chastotaviy generatorning qutblariga ulangan. Shuning uchun duantlar navbatma-navbat goh musbat, goh manfiy zaryadlanib turadi.



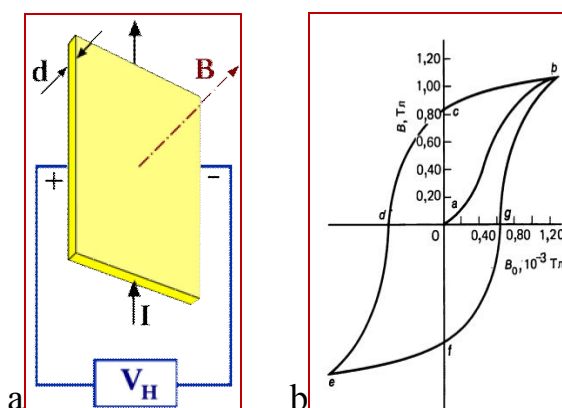
**4.10-rasm.** Siklotron – lementar zarralarni kuchaytirgich

Elektr maydon faqat duantlar oralig‘idagi tirqishdagina mavjud bo‘ladi. Tezlatilishi lozim bo‘lgan zaryadli zarralar kameraga maxsus qurilma (rasmda  $S$  deb belgilangan) oraliq kiritiladi. Kameraga kiritilgan musbat zaryadli zarra darhol manfiy zaryadlangan duant tomon tortiladi. Duant ichida zarraning harakati yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan magnit maydon zarrani aylanaviy orbita bo‘ylab harakatlanishga majbur qiladi (chunki bu erda zarraga Lorens kuchi ta’sir qiladi). Zarra yarim aylanani bosib o‘tgach, yana duantlar oralig‘idagi tirqishga etib keladi. Lekin o‘tgan vaqt ichida elektr maydon yo‘nalishini o‘zgartirgan bo‘ladi. Shuning uchun zarra ikkinchi duant tomon tortilib tezlashadi. Ikkinchi duant ichida yarim aylanani bosib o‘tadi va yana tirqishga yetib keladi. Bu erda uchinchi marta tezlashadi va hakoza. Har safardan so‘ng zarraning tezligi va orbitasining radiusi ortib boradi. Zarraning traektoriyasi rasmda ko‘rsatilgan. 4.11-rasmda magnitogidrodinamik (MGD) generatori tasvirlangan. Yonish kamerasi ( $K$ ) da yuksak darajada ionlashagan gaz-plazma elektrodlar ( $E_1$  va  $E_2$ ) oralig‘ida harakatlanishi borasida magnit maydoning ta’siriga uchraydi va o‘z yo‘nalishini o‘zgartiradi. Musbat ionlar  $E_1$  katod elektrod(lar)ga, manfiy ionlar  $E_2$  anod elektrod(lar)ga o‘tirib ularni mos ravishda zaryadlanishga sababchi bo‘ladi. Elektrod(lar)ga tashqi nagruzka (biror  $R$  qarshilik) ulansa, zanjir bo‘ylab elektr tok oqa boshlaydi.



**4.11-rasm.** Magnitohidrodinamik (MGD) generator

**Xoll effekti.** 1880-yilda E.Xoll tomonidan aniqlangan bu effektning mohiyati quyidagidan iborat. Metall yoki yarim o'tkazgichdan yasalgan plastinkani (4.12-rasm) magnit maydonga shunday joylashtiraylikki, bunda magnit maydonning yo'nalishi  $Oz$  o'qiga, plastinkadan o'tayotgan tokning yo'nalishi esa  $Oy$  o'qiga mos bo'lsin. U holda tok hosil qilayotgan zaryadlarga Lorens kuchi tasir qilib, ularni  $Ox$  yo'nalishida og'diradi. Agar tok tashuvchilar manfiy zaryadli zarralar bo'lsa, ular  $j$  ga teskari yo'nalishda harakat qilganliklari uchun plastinkaning o'ng



**4.12-rasm.** Xoll effekti: a – zanjir sxemasi, b – gizterizis halqasi.

qirrasi tomoniga qarab og'adi. Natijada o'ng qirrada ortiqcha manfiy zaryad vujudga keladi. Bu esa o'z navbatida plastinkaning chap qirasida manfiy zaryad etishmasligiga, yani unda musbat zaryadning vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Agar tok tashuvchilar musbat zaryadli zarralar bo'lsa ular elektr tok tashishda qatnashib  $j$  yo'nalishi bo'ylab harakat qilishlari kerak. Bu harakat magnit maydonda sodir bo'layotganligi uchun Lorens kuchi tasirida zarralar plastinkaning o'ng qirrasi tomon og'adi. Natijada plastinkaning o'ng qirrasi musbat, chap qirallari orasida elektr maydon (bu maydon kuchlanganligi  $E_x$  bo'lsin) vujudga keladi. Bu elektr maydonda zaryadga tasir etuvchi kuch ( $qE_x$ ). Lorens kuchiga teskari yonalgan. Shuning uchun bu kuchlar miqdoran tenglashganda muvozanat vaziyati vujudga kelib, zaryadlar og'masdan tok tashish vazifasini bajaraveradi. Muvozanat vaziyatida plastinaning o'ng va



chap qirralari orasida vujudga kelgan potentsiallar farqi ( $\Delta\varphi_x$ ) ni Xoll potentsiallar farqi deb atash odat tusiga kirgan.

Xoll potentsiallar farqini topish uchun induksiyasi  $B$  bo'lgan magnit maydonda u tezlik bilan harakat qilayotgan  $q$  zaryadga tasir etuvchi Lorens kuchi va  $q$  zaryadga kuchlanganligi  $E_x$  bo'lgan elektr maydoni tomonidan tasir etuvchi kuchlar modullarini tenglashtiramiz, yani

$$q\vartheta B = qE_x$$

bundan  $E_x = \vartheta B$  ekanligini topamiz.

Potentsiallar farqi vujudga kelgan plastina qirralari orasidagi masofani  $d$  deb belgilasak,

$$\Delta\varphi_x = E_x d = \vartheta B d \quad (4.31)$$

bo'ladi. Bundagi  $\vartheta$  o'rniga tok zichligi ifodasi ( $\mathbf{j} = qn\vartheta$ ) dan topiladigan  $\vartheta = \frac{j}{qn}$  qiymatni qo'yib

$$\Delta\varphi = \frac{1}{qn} j B d = R j B d \quad (4.32)$$

munosabatni hosil qilamiz. Bu ifodadagi  $R = \frac{1}{qn}$  Xoll doimiysi deb ataladi.

Xoll doimiysi plastinka materialiga bog'liq. U ba'zi moddalar uchun musbat, ba'zilar uchun esa manfiy qiymatga ega bo'ladi.

#### 4.4 - §. Ikki parallel toklarning o'zaro ta'siri

**Ikki parallel toklarning o'zaro ta'siri.** Tok o'tayotgan o'tkazgich magnit maydon hosil qilishini ko'rgan edik. Shuningdek, magnit maydonga qo'yilgan tok o'tayotgan o'tkazgichga kuch ta'sir qilishini ham ko'rgan edik. Shu tufayli, ikki tok o'tayotgan o'tkazgichlar bir – biriga kuch bilan ta'sirlashishini taxmin qilamiz.

4.13a – rasmda ko'rsatilganidek, bir – biridan  $d$  masofa uzoqlikda joylashgan ikki tok o'tayotgan o'tkazgichlarni muhokama qilamiz. Ulardan mos ravishda  $I_1$  va  $I_2$  qiymatli toklar o'tmoqda. Har bir tok ikkinchisi tomonidan seziluvchi magnit maydon hosil qiladi, demak, har bir o'tkazgich ikkinchisiga kuch bilan ta'sir qiladi. Masalan, 4.13– rasmdagi kitobga yo'nalgan ikkinchi o'tkazgich joylashgan nuqtada  $I_1$  tomonidan hosil qilingan  $B_1$  magnit maydon tenglama bilan beriladi va quyidagi qiymatga ega

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}.$$



Faqat  $I_1$  hosil qilgan maydon ko'rsatilgan 4.13b – rasmga qarang. Yuqoridagi tenglamaga asosan,  $I_2$  tok o'tayotgan  $\ell_2$  uzunlikli ikkinchi o'tkazgichga  $B_1$  tomonidan  $F_2$  kuch ta'sir qiladi, uning qiymati

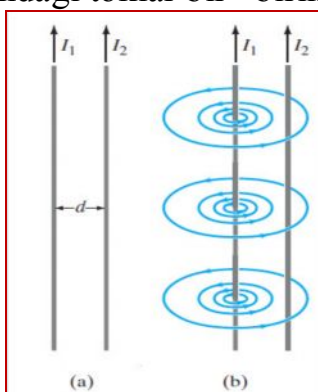
$$F_2 = I_2 B_1 \ell_2$$

ga teng.  $I_2$  ga ta'sir qiluvchi kuch faqat  $I_1$  hosil qilgan maydon tufayli ekanligiga etibor bering. Tabiiyki,  $I_2$  ham maydon hosil qiladi, ammo u o'ziga – o'zi kuch bilan ta'sir qilmaydi.  $B_1$  ni o'rniga qo'yib,  $\ell_2$  uzunlikli ikkinchi o'tkazgichga ta'sir qiluvchi  $F_2$  kuchni topamiz:

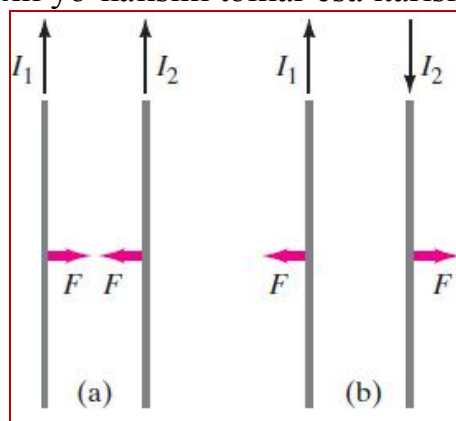
$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \ell_2$$

4.13–rasmga o'ng qo'l qoidaini qo'llasak, 4.13b – rasmda ko'rsatilganidek  $B_1$  kuch chizqilarini ko'rishimiz mumkin. Keyinchalik, rasmga o'ng qo'l qoidaini qo'llasak, 4.13b – rasmdagi  $I_2$  ga ta'sir qiluvchi kuch chapga yo'nalganini ko'rishimiz mumkin. Ya'ni,  $I_1$  tortuvchi kuch bilan  $I_2$  ga ta'sir qiladi (4.14a – rasm). Bu o'tkazgichlardagi tok bir yo'nalishda bo'lgandagina to'g'ri. Agar  $I_2$  yo'nalishi  $I_1$  yo'nalishiga teskari bo'lsa, o'ng qo'l qoidasidan kuch teskari yo'nalishda bo'lishini ko'rsatadi. Ya'ni  $I_1$  itaruvchi kuch bilan  $I_2$  ga ta'sir qiladi (4.14b – rasm).

Yuqorida ko'rsatilganlarga asoslanib  $I_2$  o'tkazgich  $I_1$  ga qarama – qarshi yo'nalgan teng kuch bilan qilishini olamiz. Bu Nyutonning uchinchi qonunidan kelib chiqib o'rindir. Shu sababdan, 4.14 – rasmda ko'rsatilganidek bir xil yo'nalishdagi toklar bir – birini tortadi, xar xil yo'nalishli toklar esa itarishadi.



**4.13 – rasm.** (a)  $I_1$  va  $I_2$  tok o'tayotgan ikki parallel o'tkazgichlar. (b)  $I_1$  hosil qilgan  $\vec{B}_1$  magnit maydon. ( $I_2$  ning maydoni ko'rsatilmagan.)  $I_2$



**4.14 – rasm.** (a) Bir xil yo'nalishda tok o'tayotgan ikki parallel o'tkazgichlar bir – birini kuch bilan tortadi. (b) Antiparallel tok o'tayotgan o'tkazgichlar bir – birini

turgan joyda  $\vec{B}_1$  kitobga yoʻnalgan kuch bilan itaradi.

#### 4.5 - §. Magnit maydon energiyasi

**Magnit maydonning energiyasi.** Bilamiz-ki magnit maydoni elektr toki bilan uzviy bogʻlangan: tok paydo boʻlsa, magnit maydoni ham paydo boʻladi, tok yoʻqolsa, magnit maydoni xam yoʻqoladi. Demak, tok energiyasining bir qismi magnit maydonini hosil qilishga ketar ekan. Boshqacha ayitganda, magnit maydoni uni hosil qilishga ketgan elektr energiyasiga teng energiyaga ega boʻlishi kerak. Bundan shunday xulosa chiqarish mumkin-ki, agar magnit maydoni yoʻqolsa, uning energiyasi yoʻqolmaydi, bu energiya oʻzinduksiya tokining energiyasiga aylanadi.

Demak, elektromagnit induksiya hodisasi elektr va magnit energiyalarining bir-biriga aylanish jarayoniga asoslangan. Faraz qilaylik, bir konturda (induktivligi  $L$ ) tok oqa boshlasin. Tok, noldan maksimal  $I$  qiymatiga koʻtarilguncha,  $F$  magnit oqimini hosil qiladi:

$$\Phi = LI \quad (4.33)$$

Tok kichik  $dI$  qiymatga oʻzgarsa oqim xam kichik  $d\Phi$  qiymatga oʻzgaradi.

$$d\Phi = LdI$$

Lekin bilamiz-ki magnit oqimi  $d\Phi$  ga oʻzgarishi uchun tok  $dA$  ishini bajarish kerak.

$$dA = Id\Phi = LI dI$$

U holda, tok 0 dan  $I$  gacha oʻzgarganda  $A$  ishini bajaradi

$$A = \int_0^I LI dI = \frac{LI^2}{2} \quad (4.34)$$

Demak, kontur bilan bogʻliq magnit energiya barobar

$$W = \frac{LI^2}{2} \quad (4.35)$$

Biz kondensatorlarni koʻrib chiqqanimizda koʻrgan edik-ki, elektr energiyasining zichligi  $\omega_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$ ; Analogiya sifatida aytish mumkin-ki, magnit maydonining zichligi  $\omega_m = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$ ; Demak, fazoda elektr va magnit maydonlari bir paytda boʻlsa, u holda elektromagnit energiyasining zichligi  $\omega_{\text{em}} = \frac{1}{2}(\epsilon \epsilon_0 E^2 + \mu_0 \mu H^2)$  boʻladi.

Elektromagnit energiya fazoda toʻlqin koʻrinishda tarqladi, tarqalish tezligi teng:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}} \quad (4.36)$$

Bu formulaga  $\varepsilon_0$  va  $\mu_0$  larning qiymatini qo'ysak:  $v = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \text{ m/c}$

Vakuum uchun  $\varepsilon = \mu = 1$  bo'lgani uchun elektromagnit to'lqining vakuumdagi tezligi  $v = c = 300000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$  ga teng bo'ladi.

#### 4.6 - §. Moddalarning magnit xossalari. Magnetiklar

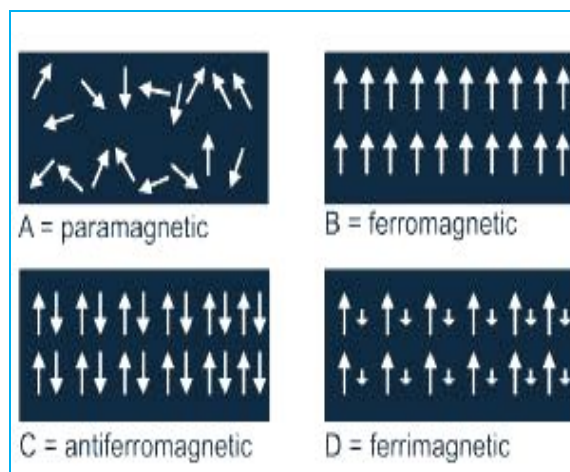
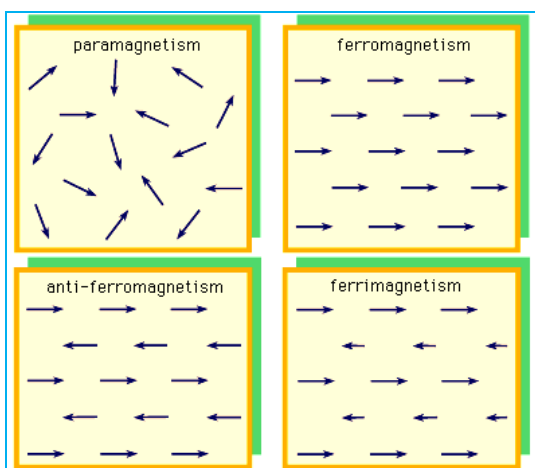
**Magnetiklar.** Tajriba va nazariya shuni ko'rsatadi-ki agar jismni tashqi magnit maydoniga joylashtirilsa bu jism magnit xossalariga ega bo'lib qolar ekan. Bunda ba'zi jismlar tashqi maydonni susaytirar ekanlar, boshqalari kuchaytirar ekanlar. Susaytirdiganlari diamagnit, kuchaytiradiganlari paramagnitlar deb ataladi. Agar kuchaytirishi juda katta bo'lsa, bunday jismlar ferromagnetiklar deb ataladi. Dia-para va ferromagnetizm sabablari qanday.

Har qanday atom va molekulalarda o'z orbitalarida aylanayotgan elektronlarni aylana yoki orbital tok deb qarash mumkin. Har bir orbital tokning orbital magnit momenti bo'ladi:  $P_m = IS$ , bu erda  $I = \frac{e}{T}$ ,  $e$ -elektron zaryadi,  $T$  -aylanish davri. Magnit moment vektor qiymatiga ega bo'lib, aylanish tekisligiga perpendikulyardir. Bundan tashqari elektron o'z o'qi atrofida aylanishi bilan bogliq bo'lgan spin magnit momentiga ega. Spin momentiga yana yadro ham ega bo'ladi. Elektronning orbital va spin momentlarining va yadroning spin momentlarining geometrik yigindisi atomning (molekulaning) magnit momentini hosil qiladi.

Diamagnetiklarda  $\chi < 0$  bo'ladi. Bu sinfga oid bo'lgan moddalar (fosfor, oltingugurt, sur'ma, uglerod, simob, oltin, kumush, mis kabi elementlar suv va ko'pchilik organik birikmalar)da magnit maydon bir oz susayadi ( $\mu = 1 + \chi < 1$ ).

Paramagnetiklarda  $\chi > 0$  bo'ladi. Bu sinfga kiruvchi kislorod, azot, alyuminiy, platina, vol'fram kabi elementlarda magnit maydon bir oz kuchayadi. ( $\mu = 1 + \chi > 1$ )

Ferromagnetiklarda  $\chi \gg 0$  bo'ladi. Bu sinfga kiruvchi temir, nikel, kobal't kabi metallarda va ularning qotishmalarida magnit maydon juda zo'rayib ketadi.



**4.15-rasm.** Moddaning turli magnit xossalarida dipolar hosil qilgan ichki magnit maydonlari.

**Diamagnetizm va paramagnetizm.** Tabiatda mavjud hamma elementlar magnit xossalariga ega. Yuqorida moddalarning magnit xossalariga ko‘ra uch guruhi ko‘rsatilgan. Shulardan  $\mu < 0$  yoki  $\chi < 0$  bo‘lgan moddalar –diamegnetiklar deb yuritiladi.

Diamagnetiklar va paramagnetiklar bir- biridan farqini molecular sathlarida modda molekulasida dipole magnit moment bor yoki yo‘qligi bilan farq qiladi. Paramagnetlarning molekula (yoki ionlari) dipol magnit momentiga ega ekan<sup>1</sup>. Tashqi magnit maydoni molekular ixtiyoriy joylashadi va magnit ta’sirlar mavjud emas. Agar modda tashqi magnit maydoniga joylashtirilsa (masalan, solenoidda), bu maydon magnit dipollarida aylantiruvchi moment hosil qiladi va ularni maydon bo‘yicha joylashtiradi. To‘la magnit maydon induksiyasi (Tashqi magnit maydon induksiyasi va tartibli joylashgan magnit dipollarining yig‘indisi),  $B_0$  ni biroz ko‘chaytiradi. Ammo molekularning issiqlik harakati magnit dipollari tartibini buzib turadi. Moddaning magnitlanganlik vektori (moddaning magnit qabul qiluvchanligi)  $\chi$  ni qulay ko‘rinishdagi xarakteristikasi birlik hajmdagi magnit dipoli momenti bilan aniqlanadi:

$\chi$  = Moddaning magnitlanganlik vektori (moddaning magnit qabul qiluvchanligi)  $\chi$  ni qulay ko‘rinishdagi xarakteristikasi birlik hajmdagi magnit dipoli momenti bilan aniqlanadi:

$$\chi = \frac{M}{V}, \quad (4.37)$$

Bu yerda  $M$ - namunaning magnit dipoli moment,  $V$  -modda hajmi  $\frac{M}{V}$ ,

Bu erda  $M$ - namunaning magnit dipoli moment,  $V$  -modda hajmi. Eksperimentlarning tasdiqlashicha moddaning magnitlanganlik vektori  $\chi$  tashqi magnit maydoniga to‘g‘ri proporsional (dipollarni tartibga soluvchi maydon induksiyasi) va absolyut harorat  $T$  ga teskari proporsional (dipolar joylashuvini

<sup>1</sup> Ba‘zan tabiatda boshqa turdagi paramagnetlar, ya‘ni ko‘p miqdorda elektronlari mavjud bo‘lganlari ham uchrab turadi.

ixtiyoriy bo‘lishini xarakterlovchi kattalik). Bu bog‘lanishni birinchi bo‘lib aniqlagan P’er Kyuri (1859-1906) sharafiga Kyuri qonuni deyiladi:

$$\chi = C \frac{B}{T},$$

Bu erda C-Kyuri doimiysi.  $B/T$  ning katta qiymatlarida Kyuri qonuni

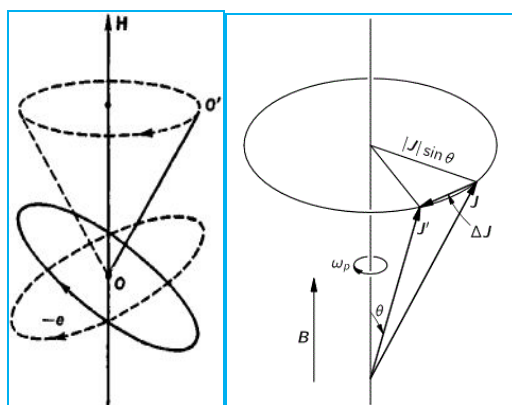
bajarilmaydi (ya’ni  $B$  ning juda katta qiymatlarida yoki  $T$  ning juda kichik qiymatlarida.  $B$  ning qiymati oshib borsa (yoki  $T$  ning qiymati kamayib borsa, biror nuqtada magnitlanganlik qiymati  $\chi$  o‘qining maksimal qiymatiga erishadi va bu qiymat o‘zgarmaydi.

Diamagnetiklar doimiy magnit dipoli momentlariga ega bo‘lmagan moddalardir. Tashqi magnit maydon ta’sirida hosil bo‘lgan magnit dipoli moment tashqi maydonga qarama-qarshi ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun modda ichida magnit maydoni tashqi magnit maydoniga qaraganda ancha kuchsizroq. Diamagnetizmning hamma moddalarga xos, ammo paramagnetiklar va ferromagnetiklarda paramagnet va ferromagnet ta’sirlar (effektlar) bilan kuchli niqoblangan. Har qanday moddaning temperaturasini pasaytirib diamagnetikka aylantirish mumkin.

Tashqi magnit maydon ta’siri ostida atomning elektron orbitalari aylanma tokka ekvivalent bo‘luvchi pretsessin harakat sodir qiladi. Chunki induksiya vektori orbita tekisligiga nisbatan pastga yoki yuqoriga yo‘nalishidan qat’iy nazar, elektronning orbital harakatida  $F = m_e \omega_0^2 r$  bilan aniqlanadigan chastota o‘zgarishi sodir bo‘ladi. Agar elektronning orbital magnit moment vektori  $\vec{P}_m$  tashqi magnit maydon induksiya vektori  $\vec{B}$  bilan  $\alpha$  burchak hosil qilsa, orbita bo‘ylab harakat qilayotgan elektronga qiymati  $M = P_m B \sin \alpha$  bo‘lgan aylantiruvchi moment ta’sir etadi. Natijada  $\vec{P}_m$  vektorning  $\vec{B}$  atrofida protsession harakati vujudga keladi. Bu harakatning burchak tezligi **Larmor chastotasi** deyiladi.

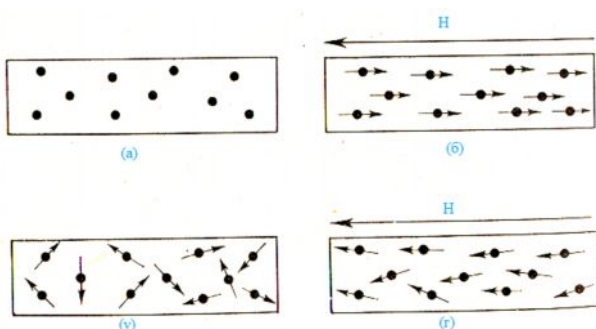
$$\omega_L = \frac{eB}{2m_e} = \frac{e\mu_0 H}{2m_e} \quad (4.38)$$

Demak, elektronning magnit momenti fazoda qanday joylashishidan qat’iy nazar, tashqi magnit maydon ta’sirida elektronning orbital magnit momenti yadro markazidan o‘tgan o‘qqa nisbatan  $\omega_L$ -doiraviy chastota bilan protsession harakat qiladi. Bu xulosa **Larmor teoremasi** deb ataladi.



**4.16-rasm.** Tashqi magnet maydon ta'sirida elektronning orbital magnet momenti yadro markazidan o'tgan o'qqa nisbatan harakati.

Elektronning harakati tufayli hosil bo'luvchi mikro tok tashqi magnet maydonining ta'sirida induksiyalangan sababli, Lents qoidasiga binoan amalda tashqi maydonga qarama-qarshi yo'naladigan maydon paydo bo'ladi. Shu tariqa orbita bo'ylab harakat qilayotgan elektron tashqi magnet maydon ta'sirida  $\vec{B}$  vektorga teskari yo'nalgan qo'shimcha magnet momentini vujudga keltiradi (4.17-rasm).



**4.17-rasm.** Moddalardagi diamagnetik effekt, ya'ni elektron tashqi magnet maydon ta'sirida  $\vec{B}$  vektorga teskari yo'nalgan qo'shimcha magnet momentini vujudga keltirishi.

Bu hodisa **diamagnetik effekt** deb ataladi. Diamagnetik effekt atomlarining magnet momentlari 0 ga teng bo'lgan moddalarda namoyon bo'ladi. Tashqi magnet maydoni bo'lmagan taqdirda bunday moddalar atomlari tarkibidagi elektronlarning magnet momentlari o'zaro bir-birini kompensatsiyalaydi. Bunday moddalarning qabul qiluvchanligi manfiy bo'ladi. Ularni **diamagnetiklar** deb aytiladi. Eng kuchli diamagnetik hisoblangan vismut uchun  $\chi = 1,4 \cdot 10^{-6}$  ga teng.

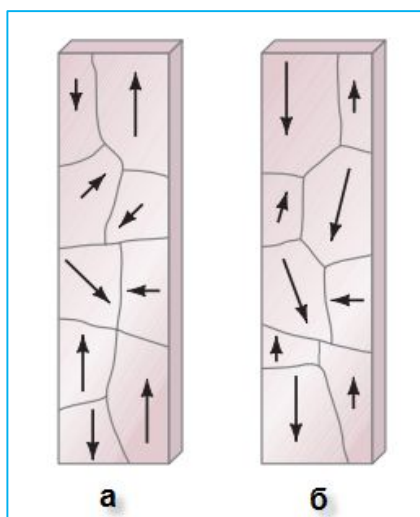
Tashqi maydon bo'lmagan taqdirda modda atomlarining magnet momenti 0 dan farqli bo'lsa, magnet maydon bunday modda atomlarining magnet momentlarini maydon bo'ylab yo'naltirishga harakat qiladi. Natijada tashqi magnet maydoni kuchayadi. Bu hodisani **paramagnetik effekt** unga mos keluvchi moddalarni esa **paramagnetiklar** deb ataladi.

- Diamagnetizm barcha jismlarga birday taalluqli xususiyat hisoblanadi, chunki u tashqi magnet maydonining modda atom va molekulalardagi elektron orbitalashga ta'sirini namoyon qiladi.

- Orbitalardagi elektron harakat tezligining o'zgarishi oqibatida tashqi maydonga teskari yo'nalib, uni susaytiradigan qo'shimcha magnit maydoni hosil bo'ladi (Lents qonuni). Shunday qilib, har qanday modda uning ichiga magnit maydoni kirib kelishiga to'sqinlik qiladi.
- Diamagnit effekt orbitalar joylashuvining tartiblanishi bilan bog'liq emas. SHuning uchun daimagnit qabul qiluvchanlik  $\chi$  temperaturaga farqsiz.
- Moddaning atom va molekulari xususiy magnit momentiga ega bo'lmagan taqdirdagina u diamagnit bo'la oladi. Bu holda moddaning unga ta'sir qiluvchi tashqi magnit maydoniga ko'rsatadigan birdan-bir reaksiyasi faqat diamagnit effektidan iborat bo'ladi.

**Ferromagnetizm: Domenlar va Gisterezis.** Biz temirdan (va birnecha boshqa materiallar) kuchli magnitlar tayyorlana olinishini o'tgan darslarda da ko'rdik. Bu materiallar ferromagnetik deb aytiladi.

### *Ferromagnetizmning manbalari*



**4.18 - rasm** (a) temirning magnitlanmagan parchasi tasodifiy joylashgan domenlardan tashkil topgan. Har bir domen kichik magnit hisoblanadi; vektorlar magnitlanish yo'nalishini ko'rsatadi, yani vektor uchi N qutb bo'ladi. (b) magnitda domenlar bir yo'nalishda tartiblangan (bu holatdapastrga yo'nalgan) va magnitlanish jarayoni bo'yicha o'lchamda o'zgaradi.

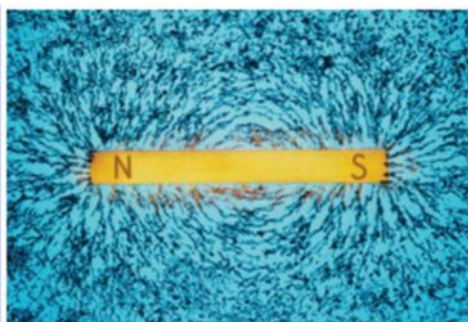
Misroskopik kuzatuvlar shuni ko'rsatadiki, temir parchasi uzunligi yoki kengligi 1 mmdan kam bo'lgan domenlarkichik muhitda tayyorlanadi. Har bir domen shimoliy va janubiy qutbi bilan kichik magnit harakteriga ega. Magnitlanmagan temir parchasida, domenlari tasodifiy joylashgan bo'ladi, 4.18a - rasm.

Domenlarning magnit effektlari har biri tartibsiz joylashadi, shuning uchun bu temir parchasi magnit emas. Magnitda domenlar 4.18b - rasmda ko'rsatilgandek (pastga yo'nalgan bu holatda) bir yo'nalishda yo'nalgan bo'ladi. Magnit magnitlanmagan temir parchasidan kuchli magnit maydonda joylashtirish orqali tayyorlanadi. (Siz igna magnetik tayyorlay olasiz, masalan, kuchli magnitning bir qutbi tekizish orqali). Domenlarning magnitlanish



yoʻnalishi tashqi maydonga deyarli parallel boʻlib sekin buriladi va domenlarning chegaralari koʻcha oladi, shuning uchun tashqi maydonga parallel yoʻnalgan magnetik bilan domenlar kattaroq oʻsadi (4.18a va b larni solishtiring).

Biz nozir qanday qilib magnit magnitlanmagan temir parchalarini huddi qogʻoz qisqichdek yigʻa olishini tushintira olamiz. Magnitning maydoni magnitlanmagan obektdagi domenlarning kam boshqa holatda qoʻyilishiga sabab boʻladi, shuning uchun u doimiy magnit janubiy qutbi uning shimoliy qutbi yuzlashtirish bilan vaqtinchalik magnit boʻladi; binobarin, taʼsir natijalari. Shunga oʻxshash, magnit maydonda choʻzilgan temir parchalari magnit maydon shakliga mos tartibli domenlar va oʻzlari tartiblanishga erishadi, 4.19 - rasm.



**4.19-rasm.** Doimiy maydon atrofida magnit maydon chiziqlari

Temir magnit uzoq vaqt magnitlangan holatda saqlanadi va “doimiy magnit” deb aytiladi. Lekin, agar siz magnitni polga tashlam yuborsangiz yoki uni bolgʻa bilan ursangiz, siz domenlarni tartiblantisiz va magnit magnitizmning hammasini yoki bir qismini yoʻqotadi. Doimiy magnitni qizdirish magnetizmning yoʻqolishiga sabab boʻladi, temperatura oshgani uchun tartibsizlanishga intilgan domen atomlarning tasodifiy issiqlik harakati oshadi. Yuqorida takidlangan temperatura Kyuri temperaturasi (temir uchun 1046 K) deyiladi, bu holatda magnit tayyorlana olinmaydi.

Magnit boʻlagi va elektr tok halqasi orqali hosil boʻlgan maydonlar orasidagi oʻxshashlik shunday hulosaga olib keladiki, ehtimol elektr toki orqali hosil boʻlgan magnit maydonlar ferromagnetizm bilan qiliniladi. Zamonaviy atom nazariyasiga koʻra, atomlar markaziy nuvlonlar atrofidagi elektronlar deyarli vizual boʻladi. Elektronlar zaryadlangan, shuning uchun elektr tok vujudga keladi va magnit maydon hosil boʻladi. Lekin, maydonlar orbital elektronlar ohiriga hech narsa qoʻshilmasligiga sabab boʻladi. Elektronlarning oʻzlari qoʻshimcha magnit maydon hosil qiladi, agar ular va ularning elektr zaryadi ularning hususiy yoʻnalishlarida aylanasa. Bu magnit maydon elektron spinifaylidir, yani u asosiy ferromagnetik materiallarda ferromagnetiz hosil qilish sanaladi.

Bugungi kunda, barcha magnit maydonlar elektr toki orqali hosil qilinadi. Bu magnit maydon chiziqlari hamma vaqt elektr maydonga oʻhxamagan va



halqaga yaqin bo‘ladi, yani musbat zaryaddan boshlanib, manfiy zaryadda tugaydi.

#### 4.7 - §. Magnit singdiruvchanlik. Gisterezis

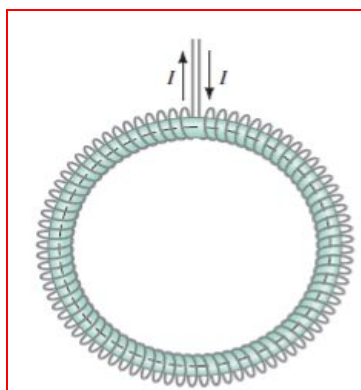
**Magnit singdiruvchanlik.** Agar temirga o‘xshash ferromagnetik material parchasi elektromagnitlangan solenoid ichiga joylashtirilsa, magnit maydon solenoid ichidagi tok orqali 100 yoki 1000 marta oshadi. Buning sababi, temir ichidagi domenlar solenoid g‘altak tok tufayli hosil bo‘lgan tashqi maydon orqali tartiblangan bo‘ladi.

Umumiy  $\vec{B}$  magnit maydoni, ikki atamani yigindisiga teng,

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_m \quad (4.39)$$

$B_0$  bu solenoid g‘altakdagi tok maydoni,  $B_m$  esa temir sababli kushimcha maydon. Odatda  $B_m \gg B_0$  tenglik buladi. Umumiy maydonni, 4.39 tenglamadagi (solenoidlar uchun  $B = \mu_0 NI/l$ ) konstanta  $\mu_0$  ni boshqa, g‘altakni ichidagi materialni xususiyati bo‘lmish, magnit o‘tkazuvchanligi nomli konstanta  $\mu$  bilan almashtirib ham yozishimiz mumkin.

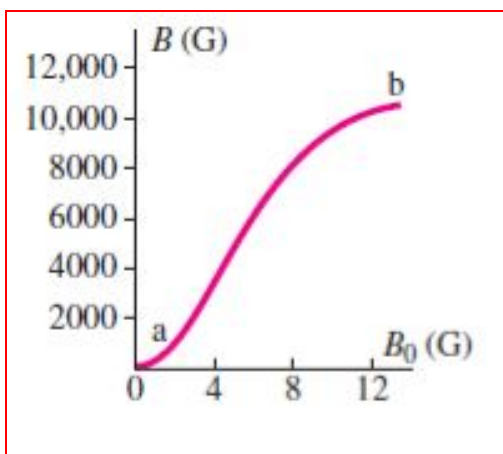
**Gisterezis.** Magnit materiallar o‘lchovida ko‘pincha torus yoki toroiddan foydalaniladi, qaysiki xuddi uzun teshik kulcha ko‘rinishga kelgan solenoid shaklida bo‘ladi, (4.20-rasm), shuning uchun deyarli  $\vec{B}$  ning barcha chiziqlari toroid ichida buladi. Boshlanishida magnitlanmagan, temir uzakka ega bulgan va sim xalqasida tok bulmagan toroidni tasavvur qiling.



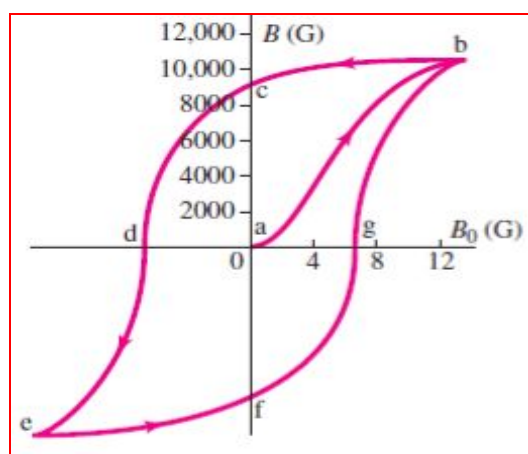
4.20-rasm. Temir o‘zakli taroid

Shundan sung  $B = \mu NI/l$  tenglik chikadi. Ferromagnetik materiallar uchun  $\mu$  ancha katta bo‘ladi  $\mu_0$  ga karaganda. Boshqa hamma materiallar uchun,  $\mu$  qiymati  $\mu_0$  qiymatiga juda yaqin bo‘ladi. Ammo ferromagnetik materiallar uchun  $\mu$  qiymati doimiy emas, quyidagi tajribada berilganidek  $\mu$  tashqi maydon kuchiga bog‘liq.

Keyin  $I$  toki sekin o‘shishni boshlaydi, va  $B_0$  (faqatgina  $I$  ga boglik)  $I$  bilan chiziqli usib boradi. Umumiy  $V$  maydon xam o‘sadi, lekin  $B$  va  $B_0$  umumiy grafigi 4.21 - rasmda tasvirlagan egri chiziqqa ergashadi. Dastlab, a nuqtasida, maydon tasodifiy yo‘nalgan bo‘ladi.  $B_0$  o‘sib borgani sari, b nuqtaga etib borguncha maydon yana va yana tekislanib boraveradi, deyarli hammasi tekislanadi. Temir to‘yinishga qarab boriladi deb ham aytiladi.



**4.21-rasm.** Temir o'zakli taroidga umumiy  $B_{\text{tashqi}}$   $B_0$  maydon funksiyasidek bo'ladi ( $B_0$  g'altakdagi I tokiga sabab bo'ladi). Biz gaussni ( $1\text{G}=10^{-4}\text{ Tl}$ ) olamiz.



**4.22-rasm.** Gistrezis egri chizig'i

Keyingi holatda g'altakdagi tokni kamaydi deb tasavvur qilaylik,  $B_0$  maydon ham kamayadi. Agar tok (va  $B_0$ ) nolgacha tushsa, 4.22 - rasmdagi c nuqta, maydonlar butunlay tasodifiy bo'lmaydi. Buning o'rniga ba'zi doimiy magnitlanish temir o'zagida qoladi. Agar tok teskari yo'nalishga o'ssa, yetarlicha maydonlar orqaga qayrilib, d nuqtada, umumiy  $B$  nolga teng bo'lib qoladi. Teskari tok o'sib borgani sari, qarama qarshi yo'nalishda, e nuqtada, temir to'yinib boradi. Oxir oqibat tok yana nol nuqtaga tushsa (f nuqtada), va keyin asl yo'nalishida ohsa, umumiy maydon e,f,g,b nuqtalari yo'lini bosib o'tadi, va yana b nuqtada to'yinishga yaqinlashadi.

Ushbu siklda maydon boshlang'ich (a nuqta) nuqtadan o'tmaganligiga ahamiyat bering. Egri chiziqni bosgan yo'lini yana qaytib bosmasligi gisterezis deb ataladi. b,d,e,f,g,b egri chizig'i gisterezis halqasi deyiladi. Shunday davrda, maydonlarning qayta tekislanishiga ketgan energiya issiqliq (ishqalanish) energiyasiga aylanadi. c va f nuqtalarda temir o'zagi magnitlangan bo'ladi garchi g'altaklarda hech qanday tok bo'lmasada bunday nuqtalar doimiy magnet nuqtasiga tegishli bo'ladi. Har bir ferromagnetik **Kyuri nuqtasi**  $T_k$  deb ataluvchi aniq bir temperaturada o'zining ferromagnetiklik xususiyatlarini yo'qotadi. Bunda u oddiy paramagnetga aylanadi. Magnet qabul qiluvchanlik  $\mu$  ning absolyut temperaturaga bog'liqligini **Kyuri-Veyss qonuni** ifodalaydi:

$$\chi = \frac{C}{T - T_k}$$

bunda  $C$ -doimiy miqdor (ayni shu berilgan modda uchun).

#### 4.8 - §. Elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qoidasi

**Elektromagnit induksiya hodisasi. Faradey tajribasi.** 1831 yilda Faradey berk kontur orqali o'tayotgan magnet oqimini vaqt bo'yicha o'zgartirganda unda elektr toki hosil bo'lishini topdi. Bu tajriba har xil variantda bajarildi (4.23 - rasm). Kontur deformatsiya qilinadi, kontur ilgari lama xarakat qiladi yoki

magnit maydoniga nisbatan buriladi. Magnit maydoni vaqt bo'yicha o'zgarib turadi. Berk kontrurda magnit oqimining o'zgarishi natijasida hosil bo'ladigan tok induksion tok deb ataladi, hodisaning o'zi esa elektromagnit induksiya deb ataladi. Induksion tokni yuzaga keltiradigan kuchni induksion elektr yurituvchi kuch deb ataladi.

Faradeyning asosiy tajribalarini ko'rib chiqaylik



4.23-rasm

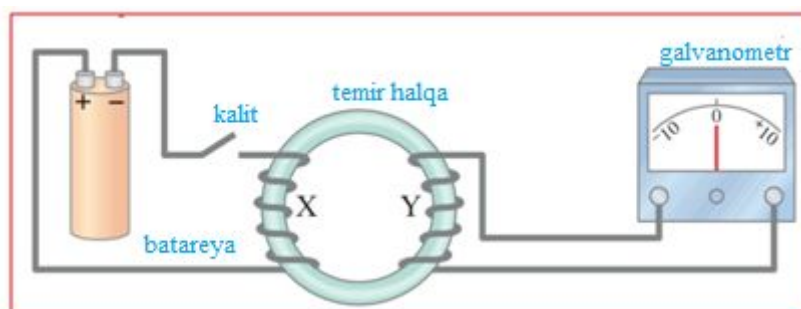
(e) Magnit tayoqchasini chulg'amga kiritsak, tok paydo bo'lganini sezamiz va bir zumda tok yo'qoladi (galvonometr o'rsatgichi nolga kaytadi), so'ngra magnit chchikarib olsak, yana boladi, faqat teskari yonalishda tok yuzaga keladi.

Fizikani buyuk qonunlaridan biri bo'lgan Faradeyning induksiya qonuni va unga ko'ra magnit oqimini o'zgarishi EYuKni hosil qiladi. Bu rasimga ko'ra, chulg'am ichida magnit tayoqchasi harakatda bo'lsa, galvonometrda tok hosil bo'lganini ko'rish mumkin. Ko'plab turmushda asbob-uskunalar, shu qatorda generatorlar, transformatorlar, lentaga yoki diskga (qattiq disk) va kompyuter xotirasiga magnit orqali yozish elektromagnit induksia hodisasi asosida ishlaydi. O'tgan bobda keltirilgan elektr hamda magnetizmning bog'liqligini ikki ko'rinishini ham muhokama etganmiz. Elektr toki magnit maydon hosil qiladi; va magnit maydon elektr tokiga yoki xarakatdagi zaryadli zarraga kuch bilan ta'sir ko'rsatadi. Bu hodisalar 1820-1821 yillarda kashf qilingan. Shundan so'ng olimlar bir narsadan hayratga tushishdi: agar elektr toki magnit maydon hosil qilsa, magnit maydon ham elektr toki hosil qila olarmikan? Oradan o'n yil o'tib, amerikalik olim Jozef Genri (Joseph Henry) (1797-1878) va ingliz olimi Maykl Faradey (Michael Faraday) (1791-1867) mustaqil ravishda buni imkoni bor ekanligini aniqlashgan. Aslida Genri buni birinchi bo'lib kashf qilgan lekin Faradey o'zining natijalarini ertaroq chop qilgan va bu hodisani batafsil o'rgangan. Hozir bu hodisani va uning dunyoni o'zgartirgan tatbiqlari, hamda elektr generatorini ko'rib chiqamiz,

Yuqoridagi tasvirda ko'rsatilganidek magnit tayoqchasi chulg'amga kiritildi va u erda bir daqiqaga shu holatda qoldirildi; so'ngra uni chulg'amga kiritib chiqarilsa, galvonometrda nima kuzatish mumkin?

O'zgarmaydi (ko'rsatkich nolga qoladi Magnit tayoqchasi chulg'am ichida tursa, kichik tok oqimi yuzaga keladi. Magnit tayoqchasi chulg'am ichiga kiritilsa, tok paydo bo'ladi, so'ngra yo'qoladi. Tok paydo bo'ladi va tok kichik qiymatda to'yinadi.

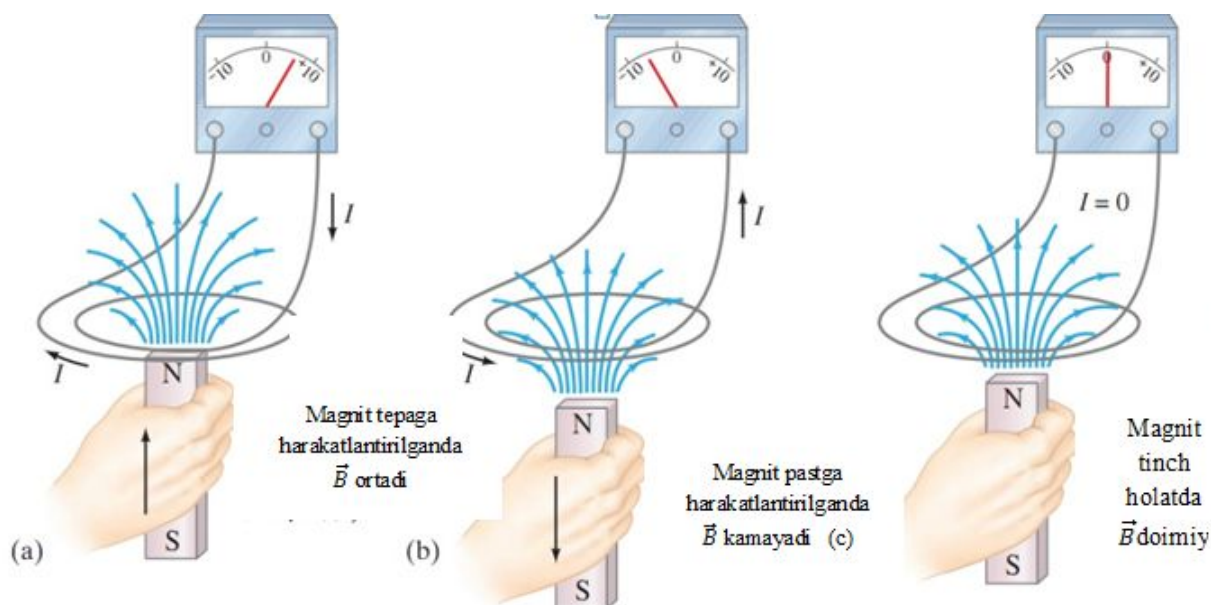
**Induksiya EYuK.** Faradey magnit maydon orqali elektr toki hosil qilishga urinishlarida, 4.24 - rasmda ko'rsatilgan qurilmadan foydalanadi. U X chulg'amni manbaga uladi, natijada ushbu zanjir orqali elektr tok oqimi yuzaga keldi va temir xalqadagi X chulg'am orqali magnit maydon hosil bo'ldi. Faradey X chulg'amda kuchli to'yingan tok natijasida yuzaga keladigan etarli darajada kuchli bo'lgan magnit maydon, aynan temir xalqaning Y chulg'amida tok yuzaga keltirishiga umid qilgan.



**4.24-rasm.** Induksiya EYuKi bo'yicha Faradey tajribasi

Ikkinchi Y zanjirda, har qanday tokni aniqlash uchun faqat galvanometr joylashtirilgan edi. Ushbu tajriba doimiy tok bilan muvafaqiyatsizlikka uchradi. Biroq uzoq izlanishlardan so'ng, Faradey X zanjirda kalitni ulaganda, Y zanjirdagi galvanometr ko'rsatkichi kuchli og'ishgan, kalitni uzganda esa teskari tomonga kuchli og'ish kuzatildi. X chulg'amdagi doimiy tok, doimiy magnit maydon yuzaga kelishi oqibatida Y chulg'amda tok hosil bo'lmadi. Faqatgina X chulg'amda tok o'tishni boshlashi bilanoq yoki kalit uzilish jarayonida, Y chulg'amda tok yuzaga kelgan. Tajriba asosida Faradey shunday xulosa qildi: doimiy magnit maydon o'tkazgichda tok hosil qila olmasa ham, o'zgaruvchan magnit maydoni elektr toki vujudga keltiradi. Bunday tok - induksion tok deyiladi. Y chulg'amdagi magnit maydon o'zgarganda, Y chulg'amda tok hosil bo'ladi, xuddi zanjirda EYuK bordek. Demak, o'zgaruvchan magnit maydoni induksiya EYuKini yuzaga keltirar ekan.

Faradey elektromagnit induksiya soxasida ko'plab tajribalar o'tkazdi, bu xodisa elektromagnit induksiya xodisasi deb ataldi. Masalan, 4.25-rasmda ko'rsatilganidek, agar magnit chulg'am ichida tez-tez harakatga keltirilsa, simda induksion tok yuzaga keladi. Agar magnit tezlik bilan chikarib olinsa, tok yo'nalishini teskari tomonga o'zgartiradi (B chulg'am bo'ylab kamayadi). Bundan tashqari, agar doimiy magnit mahkamlangan bo'lsa va chulg'am magnit bo'ylab chiqarib va tushirib turilsa, yana induksiya EYuKi yuzaga keladi va induksion tok oqa boshlaydi. Induksiya EYuKi yuzaga kelishi uchun harakat yoki o'zgarish bo'lishi kerak. Bu holda magnit harakatlanadimi yoki chulg'am harakatlanadimi buni ahamiyati yo'q. Bu ularning harakatini nisbiyligi hisobigadir.



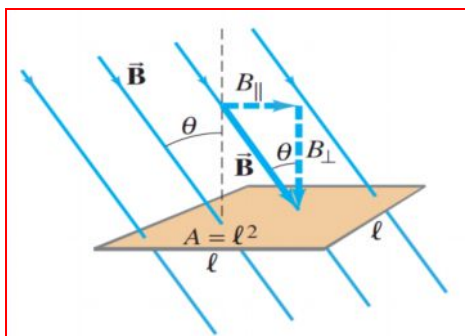
**4.25-rasm.** (a) Magnit tayoqchasi chulg'am bo'ylab harakatlansa, darhol chulg'amdagi magnit maydon ortadi va induksion tok yuzaga keladi. (b) Agar magnit tayoqchasi chulg'amdand chikarib olinsa, tok yo'nalishi teskari tomonga o'zgartiradi ( $B$  kamayadi). Galvanometrning nol qiymati shkala markazida joylashgan, tok oqimining yo'nalishiga qarab uning strelkasi o'ng yoki so'lga og'adi. (c) Agar magnit tayoqchasi chulg'amga nisbatan harakatga kelmasa, induksion tok paydo bo'lmaydi. Bu erda harakatlar o'zaro bog'liqligi hisobga olinadi: magnit tayoqchasi mahkamlanib, chulg'am harakatga keltirilsa ham induksiya EYuKi yuzaga keladi.

**Faradeyning induksiya qonuni: Lens qonuni.** Faradey induksiya EYuKi miqdor jihatdan qanday kattaliklarga bog'liq ekanini o'rganib chiqqan. Uning birinchi aniqlagan narsasi shu bo'lganki: Magnit maydon qanchalik tez o'zgarsa, induksiya EYuK shunchalar katta bo'ladi. Bundan tashqari induktiv EYuK halqa yuzasiga bog'liq (va  $B$  bilan halqa yuzasi orasida hosil bo'lgan burchakka ham bog'liq). Haqiqatda esa, induksiya EYuKi aylana yoki halqa yuzasi ( $A$ ) orqali o'tuvchi  $F_V$  magnit oqimining o'zgarishiga to'g'ri proporsional.  $A$  yuza orqali o'tuvchi bir jinsli magnit maydon oqimi quyidagicha ifodalanadi:

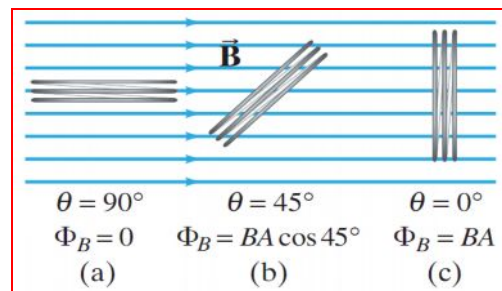
$$F_V = B_{\perp} A = B A \cos \epsilon \quad (4.40)$$

Bu erda  $B$  bir jinsli maydon. Halqa yuziga perpendikulyar bo'lgan  $B_{\perp}$  bir jinsli magnit maydon  $B$  ning tashkil etuvchisidir, burchak  $\epsilon$  bu  $B$  vektor va halqa yuziga perpendikulyar bo'lgan chiziq orasidagi burchak. Bu kattaliklar, tomoni  $l$ , maydoni  $A=l^2$  ga teng bo'lgan to'rtburchak halqa 4-4-rasmda ko'rsatilgan. Halqaning yuzi  $B$  vektorga parallel bo'lganda,  $\epsilon=90^\circ$  va  $\Phi_B=0$ .  $B$  vektor halqaning yuziga perpendikulyar bo'lganda,  $\epsilon=0^\circ$  va  $\Phi_B=BA$  (bir jinsli).





**4.26-rasm.** Simdan yasalgan tekis sohaga mos keladigan oqimni aniqlang. Bu soha to'rtburchak shakldan iborat bo'lib, tomoni  $l$  ga teng va yuzasi  $A=l^2$  ga teng.



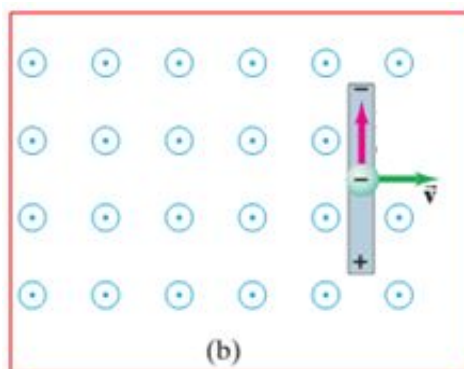
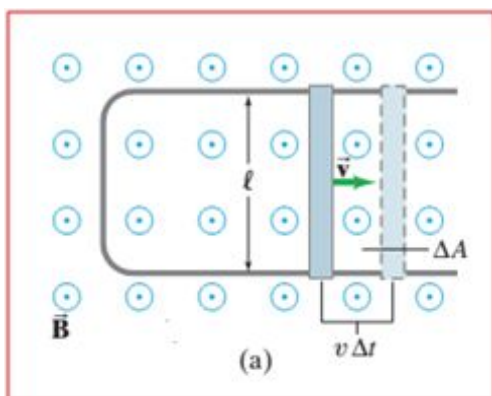
**4.27-rasm.**  $\Phi_B$  magnit oqimi chulg'am halqalari orqali oqib o'tuvchi  $\mathbf{B}$  magnit chiziqlari soniga proporsional (bu rasmda halkalar soni 3ta).

Biz o'tgan bobda ko'rganimizdek,  $B$  chiziqlarini ( $E$  chiziqlariga o'xshash) shunday tarzda chizish mukkin, yuzi birligidagi chiziqlar soni, maydon kuchlanganligiga proporsional. Keyin  $\Phi_B$  oqim halqa bilan qoplangan maydondan o'tuvchi chiziqlar soniga to'g'ri proporsional deb qarash mumkin. 4.27 - rasmda keltirilgandek,  $\theta=90^\circ$  uchun halqalardan magnit maydon chiziqlari kesib o'tmaydi, ya'ni  $\Phi_B=0$ ,  $\theta=0^\circ$  bo'lganda,  $\Phi_B$  maksimum qiymatga erishadi. Magnit maydon oqimi birligi  $\text{tesla} \cdot \text{metr}^2$ , yoki veber deb nomlanadi:  $1\text{Wb}=1\text{T} \cdot \text{m}^2$ , 4.40 tenglamadagi oqimni ifodasidan Faradeyning izlanishlarini yozishimiz mumkin: Zanjirdagi induksiya EYuKi, zanjirdagi magnit oqimi o'zgarish munosabatiga teng.

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (4.41)$$

Bu fundamental natijalar Faradeyning induksiya qonuni deyiladi va bu qonun elektromagnitizm asoslaridan biri hisoblanadi.

Induksiya EYuKi hamisha magnit oqimining dastlabki yo'nalishini o'zgarishiga teskari yo'nalgan bo'ladi.



**4.28 - rasm.** (a)  $B$  doimiy magnit maydonidagi U-formalik o'tkazuvchining o'ng tomoniga xarakatlanuvchi o'tkazuvchan tayoqcha. Tok soat strelkasi

bo'yicha yo'nalgan. (b) B sababli metal tayoqchada elektrondagi tepaga yo'nalgan kuch; elektronlar + zaryadlarni pastda qoldirgan holatda tayoqchanning tepasiga yig'iladi.

EYuK ni paydo qilishni boshqa bir yo'li 4.28a rasmda tasvirlangan bulib bu holat EYuK ni tabiatini yoritib berishga yordam beradi. Faraz qiling,  $B$  doimiy magnit maydoni U- shaklga ega o'tkazuvchi bilan chegaralangan yuzaga perpendikulyar va harakatlanuvchi tayoqcha tinch holatda turibdi. Agar tayoqcha o'ng tomonga  $v$  tezlik bilan harakatlanadigan bo'lsa, u  $\Delta t$  vaqtda

$\Delta x = v\Delta t$  masofa bosadi. Shuning uchun, halqaning yuzasi  $\Delta A$  vaqtda

$\Delta A = l\Delta x = lv\Delta t$  ga ortadi. Faradey qonuni bo'yicha vujudga kelgan EYuK  $\mathcal{E}$

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = Blv \quad (4.42)$$

Vujudga kelgan tok soat strelkasi bo'yicha yo'nalgan (o'sib borayotgan oqimga qarshilik qilib) 4.42 tenglama  $B$ ,  $l$  va  $v$  o'zaro perpendikulyar holatidagina tog'ri bo'ladi. (Agar shunday bo'lmasa, biz faqatgina bir biri bilan o'zaro perpendikulyar bo'lgan komponentlarini ishlatamiz.) Magnit maydonda harakatlanayotgan o'tkazuvchida vujudga kelgan EYuK ba'zida **harakat EYuK** si deyiladi.

4.42 tenglamani Faradey qonunini ishlatmay ham hosil qilishimiz mumkin.  $B$  magnit maydonga perpendikulyar  $v$  tezlikda harakatlanayotgan zaryadlangan zarracha  $F = qvB$  kuchini ta'sir etadi. 4.28a - rasmdagi tayoqcha o'ng tomonga  $v$  tezlik bilan harakatlansa, tayoqchadagi elektronlar ham shunday tezlikda harakatlanadi. Shuning uchun,  $\vec{v} \perp \vec{B}$  bo'lgani kabi, har bir elektron  $F = qvB$  kuchini his etadi, 4.28b - rasmdagi singari qizil strelka bilan tepaga yo'nalgan bo'ladi. Agar tayoqcha U- shaklga ega o'tkazuvchi bilan aloqada bo'lmasa, elektronlar tayoqchanning tepa qismida yig'ilib oladi, pastki qismini musbat holatda qoldirgan holda. (4.28b – rasmdagi ishoralarga qarang). Shuning uchun ham bu yerda EYuK bo'lishi kerak. Agar tayoqcha U- shaklga ega o'tkazuvchi bilan aloqada bo'lsa (4.28a – rasm), elektronlar U tomon oqa boshlaydi. Bu yerda xalqa ichida soat strelkasi buyicha yunalgan tok buladi. EYuK ni hisoblash uchun, biz  $qzaryadni$  tayoqchanning bir uchidan boshqa uchi tomon xarakatga keltirish uchun kerak bo'ladigan  $W$  ishni hisoblaymiz:  $W =$  kuch x masofa  $= (qvB)(\ell)$ . EYuK ishning zaryad birligi nisbatiga teng bo'ladi:

$$\mathcal{E} = W/q = qvB\ell/q = Blv, \text{ 4.42 tenglama kabi bir xil natija (Faradey)}$$

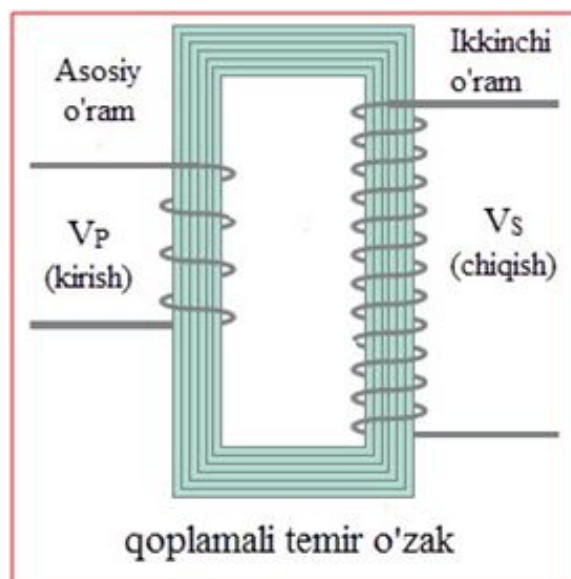
4.28 - rasmdan magnit tayoqchasi va chulg'am orasidagi o'zaro harakatga bog'liqligiga Lens qonuni tatbig'ida ko'rishimiz mumkin. Chulg'amdan o'tuvchi oqim induksiya EYuKini yuzaga keltiradi va tok vujudga keladi. Ushbu induksion tok o'z magnit maydonini hosil qiladi. Keltirilgan 4.28a - rasmda magnit tayoqchasi va chulg'am orasidagi masofa kamayadi. Chulg'amdagi doimiy magnit atrofidagi magnit maydon (maydon chiziqlari) ortadi, buning natijasida oqim ortadi. Magnit maydon chiziqlari pastdan tepaga tomon

yoʻnalgan (oʻquvchidan qogʻozga tomon). Qarama qarshi tomondan tepaga ortishi uchun, chulgʻam ichidagi induksion tok hosil qilgan magnit maydon pastga yoʻnalgan boʻlishi kerak. Demak, Lens qonuniga koʻra, tok 4.28a - rasmda keltirilgandek harakat qiladi (oʻng qoʻl qoidasi boʻyicha). 4.28b - rasmdagi holat uchun magnit maydon oqimi kamayadi, chunki magnit tayoqchasi uzoqlashadi va magnit maydoni  $V$  kamayadi, natijada halqadagi induksion tok oʻz oldingi holatini chaqlashga intilib halqa boʻylab tepaga yoʻnalgan magnit maydoni hosil qiladi. Shunday qilib, 4.28b rasmdagi tok yoʻnalishi 4.28a - rasmdagi nisbatan teskari yoʻnalgan boʻladi. Shuni takidlash muhimki, chulgʻamdagi oʻtuvchi oqim oʻzgarish yuz bersa induksiya EYuKi yuzaga keladi, va quyida baʼzi qoʻshimcha ehtimolliklar koʻrib chiqiladi.



**4.29-rasm.** Sim yogʻochdagi pasaytiruvchi

Transformator oʻzgaruvchan tokni kuchaytiruvchi yoki pasaytiruvchi qurilma. Transformatorlarni hoʻxlagan joyda uchratish mumkin: sim yogʻochdagisi (4.29 rasm) elektr kompaniyasidan keladigan yuqori kuchlanishni uylarda foydalanish (120V yoki 240V) telefonlar, noutbuklar va elektrik asboblari uchun kamaytirib uzatadi, mashinangizdagi svichalarga kerakli kuchlanishni etkazib berishda va boshqa holatlarda etkazib beriladi. Transformator ikkita oʻramdan tashkil topgan, birinchi va ikkinchi oʻramdan. Ikkaita oʻram oʻzaro bogʻlangan (izolyatsiyalangan sim bilan); yoki ular chekkasida eng kam elektr yoʻqotadigan temir qatlamli asos bilan bogʻlanadi 4.30 rasmda koʻrsatilganidek. Transformatorlar birinchi bilan ikkinchi oʻramdan oqib oʻtuvchi elektr toki orqali magnit oqimini yasash uchun tashkillashtiriladi. Biz shuningdek yoʻkotilgan energiyani (qarshilikda) hisobga olmaymiz - bu unumdorligi 99 % dan yuqori boʻlgan haqiqiy transformatorlar uchun yaxshi. Kuchlanish birinchi oʻramga etib kelganida, magnit maydonidagi oʻzgarish ikkinchi oʻramda bir xil tebranishga sabab boʻladi. Biroq oʻramlar soni tufayli



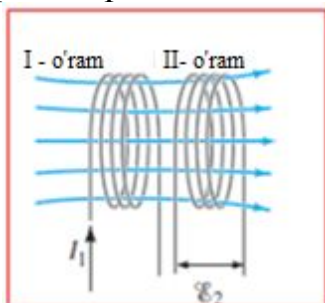
**4.30-rasm.** Kuchaytiruvchi transformator, transformatorni taʼmirlash



kuchlanish xar o‘ramda har xil bo‘ladi. Faradeyning qonuniga asosan ikkinchi o‘ramdagi kuchlanish:  $U_s = N_s \times \Delta\Phi / \Delta t$

$N_s$  ikkinchi o‘ramdagi o‘ramlar soni,  $\Delta\Phi / \Delta t$  magnit oqimi o‘zgarishining tezligi. Birinchisidagi kuchlanish  $U_p$ , u orqali o‘tadigan oqimning o‘zgarish tezligiga bog‘liq:  $U_p = N_p \times \Delta\Phi / \Delta t$

$N_p$  birinchi o‘ramdagi o‘ramlar soni. Bu shunday bo‘ladi, chunki birinchi o‘ramdagi oqim o‘zgarishi teskari kuchlanishni ishlab chiqaradi va agarda qarshilikdagi kuchlanish hisobga olinmasa kelgan kuchlanish balansda bo‘ladi (Kirkoff konuni). Biz tenglamani ikki bo‘lakka bo‘lamiz, juda kam yoki umuman oqim yo‘qolmagan deb hisoblab  $U_s / U_p = N_s / N_p$  (4.43) ni topamiz. Transformator tenglamasi birinchi o‘ramdagi kuchlanish ikkinchisiga qanday bog‘langanini aytadi,  $U_s$  va  $U_p$  4.43 tenglamadagi ikkalasi xam rms yoki eng yuqori qiymat bo‘ladi. O‘zgarish kuchlanish magnit oqim o‘zgarishligi tufayli ish bajarmaydi. Agar ikkinchi chulg‘am birinchisidan ko‘proq chulg‘am tashkil etsa ( $N_2 > N_1$ ), transformatorimiz kuchaytiruvchidir. Bunda ikkinchi chulg‘amdagi kuchlanish birinchisidagidan kattaroq bo‘ladi. Masalan, ikkinchi chulg‘am birinchisiga qaraganda 2 marta ko‘proq o‘ram bo‘lsa, undagi kuchlanish ham 2 marta katta bo‘ladi. Agar  $N_1$  imiz  $N_2$  dan kichik bo‘lsa, transformatorimiz pasaytiruvchidir. Elektr kuchlanishimiz transformator bilan kamaytirilib yoki oshirilishiga karamasdan biz hech bir narsaga ega bo‘lmaymiz. Energiya saqlanishi bizga chiquvchi quvvat kiruvchi quvvatdan hech qanaqasiga kattaroq bo‘lolmasligini aytadi. Yaxshi ishlab chiqilgan transformator 99% dan ko‘proq FIK li bo‘la oladi. Bunda issiqlikka kam energiya yo‘qoladi. Shu sababli chiquvchi quvvat kiruvchi quvvatga teng bo‘ladi.  $I_s / I_p = N_p / N_s$



**4.31-rasm.** Bir g‘altakdagi tokning o‘zgarishi, ikkinchi g‘altakda tok hosil qiladi.  
1 va 2 g‘altak.

4.31 - rasmda ko‘rsatilganidek ikki g‘altak bir biriga yaqin bo‘lsa, birida sodir bo‘lgan tokning o‘zgarishi ikkinchisida EYuK ni xosil qiladi. Biz ikkinchi g‘altakka Faradey qonunini ishlatamiz: ikkinchi g‘altakda xosil bo‘lgan  $\mathcal{E}_2$  EYuK, g‘altak orasidan oqib o‘tuvchi magnetik oqimning o‘zgarish darajasiga teng. Ikkinchi g‘altakdagi oqimning o‘zgarishini birinchi g‘altakdagi  $I_1$  tokning o‘zgarishi keltirib chiqaradi. shuning uchun birinchi g‘altakdagi tokni o‘zgarish darajasi  $\mathcal{E}_2$  ga teng.

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (4.44)$$

bu erda  $\Delta t$  vaqt oraligi juda xam kichik va doimiy teng,  $M$  esa o'zaro induktivlik deb nomlanadi. (manfiylik ishorasi Lenz qoidasiga ko'ra, vujudga kelgan EYuK oqim o'zgarishiga qarshi bo'ladi). O'zaro induktivlikni birligi  $V \cdot s / A = \Omega \cdot s$  bulib genri (N) deb, Josef Genri sharafiga quyilgan:  $1 H = 1 \Omega \cdot s$   $M$  o'zaro induktivligi "o'zgarimas" bo'lib  $I_1$  ga bog'lik emas.  $M$  geometrik omillar : hajmi, shakli, o'ramlar soni, ikki o'ramning joylashuv o'rni va temir (yoki boshqa ferromagnetik material turi) ga bog'lik. Masalan 4.31 rasmdagi kabi ikki g'altak bir biridan qancha uzoqda bo'lsa shunchalik kam oqim ikkinchi g'altakdan oqib o'tadi, shuning uchun  $M$  kichik bo'ladi. agar biz teskari xolatni ko'rib chiqsak: ikkinchi g'altakda tokni o'zgarishi birinchi g'altakdagi EYuK ni xosil qilsa, doimiy o'zgarimas  $M$  bir xil qiymat beradi.

$$\varepsilon_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (4.45)$$

Uzaro induktivlikka misol qilib transformatorni olishimiz mumkin, bunda hamma oqimlar ikkala g'altakdan o'tgani uchun bog'lanish maksimum holatda bo'ladi, uzaro induktivlikni, qayta zaryadka qilsa bo'ladigan batareyali: uyali telefon, elektr avtomobili va boshqa qurilmalarni induktiv zaryadlash kabi boshqa xislatlari ham bor. Bazi bir elektron yurak stimulyatorlari kasallarga yurakka qonni doimiy oqib turishini ta'minlaydi, yurak yaqinidagi yurak stimulyatorida joylashgan ikkinchi g'altakka, tashqi g'altakdan uzaro induktivlik orqali quvvatni yetkazib beradi. Bu turdagilar, boshqa batareya bilan quvvatlanadigan yurak stimulyatoridan afzalligi bor, jarroxlikda zaryadi tugaganda almashtirish xo'jati yo'q.

**O'zinduktivlik.** Induktivlik atamasini yakka izolyatsiya qilingan g'altaklarga ham nisbatan qo'llash mumkin. Qachonki g'altakdan yoki solenoiddan o'tayotgan tok o'zgarsa, o'zgaradigan magnit oqim g'altak ichida paydo bo'ladi, va bu o'z navbatida EYuK ni hosil qiladi. Bu EYuK ning mavjud bo'lishi oqim o'zgarishiga qarshi bo'ladi (Lenz qonuni). bu xuddi motor orqali xosilga kelgan orqa EYuK ga o'xshaydi. (masalan, g'altak ichidagi tok oshadi, magnetik oqimini oshishi EYuK ni xosil qiladi, o'z navbatida u xaqiqiy tokni o'sishiga qarshi chiqadi). Hosil bo'lgan EYuK  $\mathcal{E}$  tokning o'zgarish darajasiga teng bo'ladi. (o'zgarishiga qarama qarshi yo'nalishda bo'ladi, shu sababli manfiy ishora bo'ladi)

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (4.46)$$

Doimiylikka teng  $L$  uz-induktivlik yoki oddiy qilib aytganda g'altak induktivi deb ataladi. Bu ham genrida o'lchanadi.  $L$  ning kattaligi temir o'zagi bor yoki yo'qligiga va g'altakni hajmi va shakliga bog'lik bo'ladi. O'zgaruvchi tok zanjirida har doim ba'zi bir induktivlik mavjud bo'ladi, agar zanjir ko'p halqa va o'ramlardan tashkil topmagan bo'lsa, odatda bu juda ham kichik bo'ladi.

Xalqada mavjud bo'lgan sezirarli o'zinduktivlik  $L$  induktor deb ataladi. Zanjir tasvirida quyidagicha belgilanadi:



(induktor belgisi)

## Nazorat savollari

1. Magnit maydon energiyasi qanday aniqlanadi.
2. Magnit maydon induksiyasi va kuchlaganlik o'zaro qanday bog'langan.
3. Mikrotoklar qanday tok.
4. Magnitlanuvchi vektor qanday aniqlanadi.
5. Magnit qabul qiluvchanlikning mazmunini tushuntiring.
6. Magnit singdiruvchanlikning fizik ma'nosini tushuntiring.
8. Diamagnit effekt qanday effekt.
9. Paramagnit effekt qanday hodisa.
10. Diamagnit jismlarning paramagnit jismlardan asosiy farqi nimada.
11. Kompas strelkasi Yer sathi bo'ylab har doim ham balans holda parallel emas, bir uchi pastga ogib turishi mumkin. Tushuntiring.
12. Taqasimon magnit shimol qutbi chapga va janub qutbi unnga qaragan holda vertikal turibti. Sim qutblar orasidan o'tmoqda, teng masofada, sizdan to'g'ridan tugri qochgan holatda. Simdagi kuch qayerga yo'nalgan bo'ladi? Tushuntiring.
13. Magnit alyumin yoki misdan qilingan metall jismni o'ziga tortadimi? Urinib ko'ring. Nima uchun shunday?
14. Ikki temir ustun uchlari qanday bir biriga yaqin joylashganidan qat'iy nazar tortishyapti. Ikkalasi ham magnitmi? Tushuntiring.
15. Uyingizdagi simlardagi tok sabab magnit maydon kompasga ta'sir etishi mumkin. Ta'sirni toklar orqali tushuntiring, agar ular uzgaruvchan yoki o'zgarmas tok bo'lsa.
16. Agar manfiy zaryadlangan zarracha doimimiy magnit maydon ko'chasiga kirs va magnit maydon zarracha tezligiga perpendikulyar bo'lsa, zarrachaning kinetik energiyasi oshadimi, kamayadimi yoki o'zgarmas bo'ladimi? Javobingizni tushuntiring.
17. Faraz qiling sizda uchta temir tayokchalari mavjud, ikkitasi magnitlashgan va bittasi magnitlashmagan. Siz kanday qilib boshqa qo'shimcha asboblarni ishlatmasdan ikkitasi magnitligini aniqlaysiz?
18. Siz tinch etgan elektronni magnit maydoni yordamida harakatga keltira olasizmi? Elektr maydoni yordamidachi? Tushuntiring.
19. O'zinduksiya hodisasini izohlang.
20. O'zaro induksiya qanday yuzaga keladi.
21. Konturning induktivligi qanday fizik kattalik.
22. Induktivlik o'lchov birligi qanday aniqlanadi.
23. Soleniod induktivligi ifodasi qanday ko'rinishga ega.
24. O'tkazgich halqa doimiy magnit maydon orqali aylanmasdan doimiy tezlik bilan harakatlanadi. Halqadagi yuzaga keluvchi tok
25. Bir-biridan kichik masofaga ajratilgan ikkita halqa bitta o'qqa mahkamlangan. Birinchi halqada tok oqimi quvvat manbai bilan boshqarilmoqda va u magnit maydonini yuzaga keltirmoqda. Ikkinchi halqa faqatgina ampermetrga ulangan. Ampermetr ikkinchi halqadagi tok oqimini ko'rsatishi mumkinmi?
26. Quyidagi qaysi holatda transformator funksiyasi bajariladi?

27. Noutbuk kuchlanishi  $120\text{ V}$  bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish bilan zaryadlanmoqda, biroq u past kuchlanishni talab qiladi. Bunda zaryadlovchi qurilma ichida diod yoki to'g'rilagich o'zgaruvchan tokni quyida keltirilgan qurilmalarda doimiy tokka aylantiradi.

28. Kuchlanishi  $10\text{ V}$ , tok kuchi  $1.0\text{ A}$  bo'lgan doimiy tok birlamchi g'altak o'ramlar soni 10 ta va ikkilamchi g'altak o'ramlar soni 20 ga teng bo'lgan kuchaytiruvchi transformator orqali o'tmoqda. Chiqishdagi kuchlanish va tok kuchini baholang?

## V – BOB. GEOMETRIK OPTIKA

### 5.1 - §. Yorug‘likning asosiy qonunlari

Ko‘rish imkoniyati favqulodda juda muhim, chunki ko‘rish orqali tashqi olamdan juda ko‘p ma‘lumotlarni olamiz. Biz qanday ko‘ramiz? degan savolni qo‘yamiz. Yorug‘likdan boshqa hech narsa, ko‘zimizga tushganida ko‘rish sezgisini hosil qilmaydi. Yorug‘lik o‘zi nima? Kuzatishlarda ko‘rish sezgisi orqali qay yo‘sinda haddan tashqari ko‘p hodisalarni korishga erishamiz. Quyida qaralayotgan bir necha mavzular predmeti yoruglik bo‘ladi.

Shunday qilib yorug‘lik – moddalardan chiquvchi ko‘zga ko‘rinadigan elektromagnit to‘lqindir. Yorug‘lik to‘g‘risida ikki xil nazariya mavjud bo‘lib, bular Nyutonning “Korpuskulyar” va Gyugensning “To‘lqin” nazariyalaridir. Nyuton nazariyasiga asosan yorug‘lik zarralar oqimidan iborat. Gyugens nazariyasiga asosan yorug‘lik to‘lqin tabiatiga ega. Dastlab , Nyuton nazariyasi, keyinchalik Gyugens nazariyasi yorug‘likni tushuntirishda ustun kelib turdi, lekin keyinchalik yorug‘lik ikki xil tabiatga ega ekanligi ma‘lum bo‘ldi. Yorug‘lik moddadan chiqayotganda yoki moddaga yutilayotganida o‘zini xuddi zarradek tutadi, fazoda tarqalayotganda esa o‘zini to‘lqindek tutadi.

Yorug‘lik to‘g‘risida uchta asosiy qonuniyat mavjud: yorug‘likni bir jinsli muhitda tarqalishi, yorug‘likni qaytishi va yorug‘likni sinishi. Bu qonuniyatlar optikaning geometrik optika qismida o‘rganiladi.

**Geometrik optikada**-yorug‘likning tabiati haqida so‘z yuritilmaydi, uning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish, qaytish va sinish qonunlari o‘rganiladi. Oddiy ko‘zoynakdan tortib, ulkan astronomik qurilmalardagi murakkab obektivlargacha bo‘lgan barcha optik asboblarni yasashdagi hisob-kitob geometrik optika qonunlari asosida amalga oshiriladi.

**Fizik optikada**-yorug‘likning tabiati va yorug‘lik hodisalariga aloqador muammolar o‘rganiladi.

**Fiziologik optika**-esa yorug‘likning rivojlanuvchi organizmga ta‘sirini o‘rganadi.

**Yorug‘lik manbalari.** Yorug‘lik manbalari deganda, istalgan turdagi energiyani yorug‘lik energiyasiga aylantiruvchi, ya‘ni yorug‘lik chiqaruvchi moddalar nazarda tutiladi. Ular tabiiy va sun‘iy bo‘lishi mumkin. Tabiiy yorug‘lik manbalariga Quyosh, yulduzlar va boshqa turli xil razryadlar misol bo‘ladi. Sun‘iy yorug‘lik manbalariga cho‘g‘lanma elektr lampalari, gazli lampalar va h.k. misol bo‘ladi

**Nuqtaviy manba..** Xususiy o‘lchamlari chiqarayotgan yorug‘ligining ta‘siri o‘rganilayotgan joygacha bo‘lgan masofaga nisbatan e‘tiborga olinmaydigan darajada kichik bo‘lgan yorug‘lik manbayi nuqtaviy manba deyiladi .

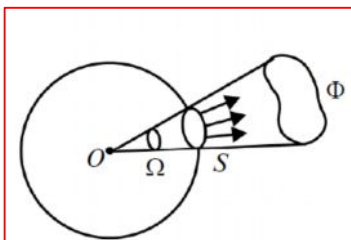
**Fotometriya.** Optikaning yorug‘likning energetik xarakteristikalarini o‘rganuvchi bo‘limi fotometriya deyiladi. Fotometriyada quyidagi kattaliklardan foydalaniladi:

– energetik kattaliklar: bunda yorug‘likning energetik xarakteristikalari uning qabul qiluvchiga ta’sirini e’tiborga olinmay qaraladi;

– yorug‘lik xarakteristikalari: bunda yorug‘likning ko‘zga yoki boshqa qabul qiluvchilarga fiziologik ta’siri e’tiborga olinib, uning kuchi aynan shu ta’sirga asosan baholanadi. Fotometriyaning asosiy energetik kattaligi nurlanish oqimidir.

Nurlanish oqimi deb, nurlanish quvvatiga, ya’ni vaqt birligidagi nurlanish energiyasiga aytiladi. Nuqtaviy manbaning istalgan yo‘nalishdagi, ya’ni istalgan fazoviy burchak orqali nurlanish oqimi bir xil bo‘ladi.

**1.  $\Phi$  yorug‘lik oqimi** – vaqt birligida istalgan yuza orqali o‘tadigan nurlanish energiyasi. 5.1- rasmda  $W$  fazoviy burchak qarshisidagi  $S$  yuza orqali nuqtaviy manba chiqarayotgan yorug‘lik oqimi ko‘rsatilgan. Agar barcha yo‘nalishlardagi yorug‘lik oqimlari qo‘shib chiqilsa, manbaning to‘la yorug‘lik oqimi hosil bo‘ladi[1].



5.1-rasm.

Yorug‘lik oqimining SI dagi birligi – lumen .

**2.  $I$  yorug‘lik kuchi** - yorug‘lik manbayidan fazoviy burchak bo‘ylab tarqalayotgan yorug‘lik oqimining shu fazoviy burchakka nisbati bilan aniqlanadi:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (5.1)$$

Yorug‘lik kuchining SI dagi birligi – kandela (cd).

Agar to‘la fazoviy burchak  $4\pi$  sr ga tengligini nazarda tutsak,

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \quad (5.2)$$

ni hosil qilamiz. Agar (5.1) dan yorug‘lik oqimini aniqlasak,

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad (5.3)$$

ni olamiz. Topilgan ifoda yordamida yorug‘lik oqimining SI dagi birligi lumenni (lm) aniqlash mumkin.

*Lumen* – 1 sr burchak bo‘ylab 1 cd yorug‘lik kuchiga teng nurlanish chiqaradigan nuqtaviy manbaning yorug‘lik oqimi.

**3. Yoritilganlik** –  $S$  yuzali sirtga tushayotgan  $\Phi$  yorug‘lik oqimining shu yuzaga nisbati bilan aniqlanadi:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (5.4)$$

Yoritilganlikning birligi – luks (lx).

*Luks* – 1 lm yorug‘lik oqimining 1  $m^2$  yuzada tekis taqsimlanganda hosil qiladigan yoritilganligi.

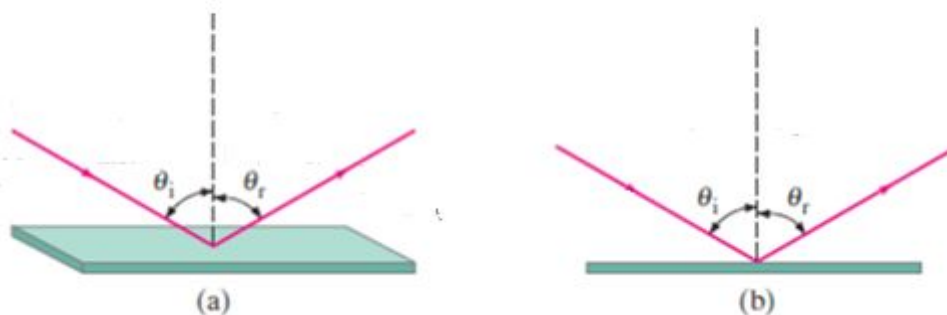
Demak, yorug‘lik tushayotgan sirtidagi yoritilganlik yorug‘lik kuchiga to‘g‘ri, yorug‘lik manbayidan yoritilayotgan sirtgacha bo‘lgan masofaning kvadratiga esa teskari proporsional bo‘lar ekan.

**Geometrik optika** – optikaning yorug‘lik nurlari haqidagi tasavvurlar asosida optik nurlanish (yorug‘lik)ning tarqalish qonuniyatlarini o‘rganadigan bo‘limi.

Geometrik optikada ozgina tushuncha va qonunlar (yorug'lik nuri to'g'risida tasavvur, yorug'likning qaytishi va sinishi qonunlari)ga asoslanib, ko'pgina muhim amaliy natijalarni olish mumkin.

**Yorug'lik tabiati to'g'risidagi tasavvurlarning rivojlanishi.** Optika fani fizikaning katta va muhim bir qismi bo'lib, yorug'likning tabiati, qonuniyatlari va jism bilan o'zaro ta'sirlashuv jarayonini o'rganadi. Inson qachonlardir olamga kelib ko'zini ochganda, albatta birinchi bo'lib uning ko'ziga nur tushgan, olamni ko'rgan. Lekin nurning tabiati to'g'risida ilmiy tushunchalar faqat XIX asrga kelib shakillana boshladi. Bu vaqtga kelib bir-biridan prinsipial ravishda farq qiladigan ikki nazariya paydo bo'ldi. Nyuton ishlab chiqqan korpuskulyar nazariya va Gyuygens ishlab chiqqan to'lqin nazariya XIX asrning oxirigacha korpuskulyar nazariya ustunlik qilib keldi. Faqat XIX asrning boshlarida Yung (1801y) va Frenel (1815 y) to'lqin nazariyasini ancha takomillashtirdilar, yangi to'lqin nazariya asosiga Gyuygens-Frenel prinsipi qo'yildi. Tez orada Gyuygens-Yung-Frenel nazariyasi deyarli hamma optik jarayonlarni, shu jumladan, interferensiya, difraksiya va polyarizatsiyani tushuntirib bera oldi, bunda efir tushunchasi ishlatilmadi. Natijada korpuskulyar nazariya vaqtincha chetga surib qo'yildi. Lekin yorug'likning to'lqin tabiati ekanligi haqidagi tushunchalar XIX asrning oxirigacha hukmron bo'lib keldilar, lekin bu paytga kelib to'lqin nazariya tushuntirib bera olmaydigan anchagina ilmiy faktlar yig'ilib qoldi, kimyoviy elementlarning nurlanish spektrlari, issiqlik nurlanishining spektral taqsimoti, fotoeffekt va boshqa optik jarayonlar.

**Yorug'likning qaytish qonunlari.** Tajriba va nazariya shuni ko'rsatadiki, yorug'lik har xil shaffof muhitlarda har xil tezlik bilan tarqaladi, bu tezliklar yorug'likning vakuumdagi tezligidan kam bo'ladi. Yorug'lik ikki muhit chegarasiga tushganda, shu sirdan qaytadi. Nur o'zining yo'nalishini o'zgartiradi va shu muhitning o'ziga qaytadi. 5.2-rasmda nurlar dastasi yassi sirdan qaytishi ko'rsatilgan. Bu jarayon ma'lum qonuniyatga bo'ysunadi. Bu qonunga – yorug'likning qaytish qonuni deyiladi. 5.2-rasmda tushuvchi nur qaytuvchi va yorug'lik tushuvchi sirtning nuqtasiga tushirilgan perpendikulyar  $OC$  tasvirlangan.

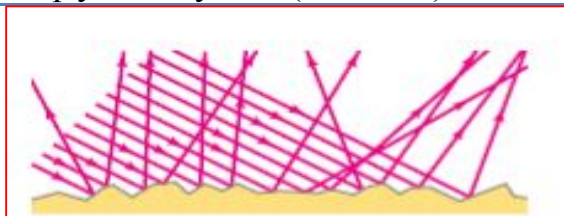


5.2-rasm.

Tushish burchagi  $\theta_1$  bilan belgilangan, 5.2-rasm. **Yorug'likning qaytishi** ya'ni yorug'lik tushish nuqtasiga tushgan nur va perpendikulyar orasidagi burchak. Yorug'likning qaytish burchagi  $\theta_2$  bilan belgilanadi, ya'ni perpendikulyar bilan

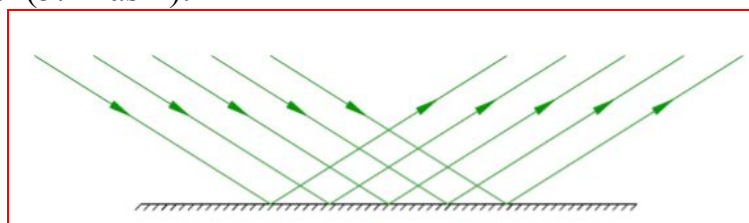


qaytgan nur orasidagi burchak. Yorug'likning qaytish qonuni: sirtga tushuvchi nur, qaytgan nur va yorug'lik tushish nuqtasiga tushirilgan perpendicular bitta tekislikda yotadi; Yorug'likning tushish burchagi qaytish burchagiga teng:  $\theta_1 = \theta_2$ . Agar yorug'lik nurlari dastasi notekis (g'adir – budir) sirtga tushsa, qaytuvchi nurlar hamma tarafga sochilib qaytadi. Bunday qaytishga diffuz qaytish deyiladi (5.3-rasm).



**5.3-rasm.** Notekis sirtga tushgan parallel nurlar dastasining sochilishi.

Sirtga tushirilgan parallel nurlar dastasi parallel qaytsa, bunday qaytishga ko'zgu qaytish deyiladi (5.4-rasm):



**5.4-rasm.** Yassi qaytaruvchi sirtga tushirilgan nurlar dastasi va qaytgan nurlar dastasi.

Diffuz qaytishda qaytgan nurlarni har tarafdin qaraganda ham ko'rish mumkin (5.5a-rasm), ko'zgu qaytishda qaytgan nurlarni faqat bir yo'nalish bo'yicha ko'rish mumkin, boshqa tarafdin qaraganda nurlar kuzatuvchiga tushmaydi (5.5b-rasm).

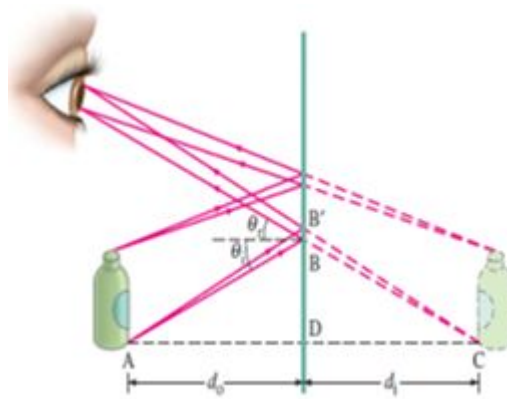


**5.5-rasm.**

Tekis sirtli ko'zgu – bu tushuvchi nurlarni ko'zgu qaytaruvchi tekislik bo'lagi. Uyingizda kundalik foydalaniladigan jihozlardan biri bo'lgan yassi ko'zgudir. Ammo biz hozir nima uchun ko'zguna qaraganda o'z aksimizni va atrofimizdagi jismlarni ko'rishimiz mumkinligini sabablarini muhokama qilamiz.

Yorug'likning  $S$  nuqtaviy manbasi hamma tomonga nurlarini sochadi (5.6-rasm), ulardan ko'zguna tushuvchi ikki nurini olib qaraymiz. Bunda qaytayotgan nurlar nur chqaruvchi  $S$  nuqtaga simmetrik bo'lgan  $S_0$  nuqtadan chiqayotganday ko'ramiz.

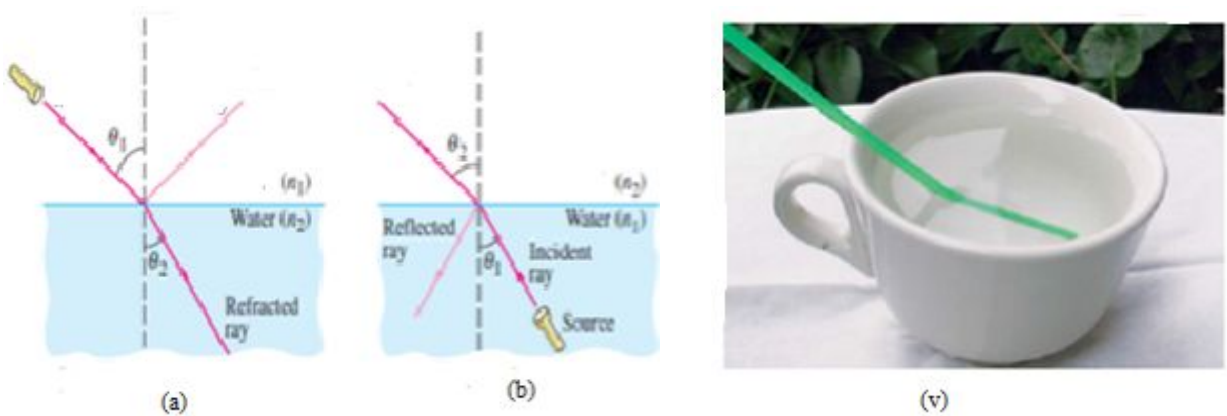




5.6-rasm.

Eng qizig'i  $S_0$  chiqayotgan nurlar ko'zimizga tushadi. O'ziga xos jihati shundaki, bizning tasavvurimizda ko'zimizga tushayotgan nurlaning davomlari kesishgan nuqtada  $S_0$  mavhum yorug'lik manbai joylashgan. Go'yoki  $S_0$  yorug'lik chiqaruvchi manbaday tuyiladi. Bu nuqta  $S$  nuqtaning ko'zgudagi aksini ta'sirlaydi. Albatta, haqiqatda ko'zgu orqasida hech narsa nur sochmaydi, hech qanday energiya manbai yo'q, bu faqat illyuziyadir. SHuning uchun ko'zgudagi  $S_0$  nuqta  $S$  manbaning mavhum tasviridir [3].

**Yorug'likning sinish qonunlari.** Yorug'likning sinish qonuni. Bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tgan nurning o'z yo'nalishini o'zgartirishiga yorug'likni sinishi deyiladi. *Tushayotgan nur, singan nur hamda ikki muhit chegarasidagi, nurning tushish nuqtasiga o'tkazilgan perpendikular bir tekislikda yotadi.*



5.7-rasm. a,b,v.

*Tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati shu ikki muhit uchun o'zgarmas kattalikdir:*

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{12} \quad (5.5)$$

bu erda  $n_{12}$  – ikkinchi muhitning birinchisiga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichi.

**Muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi.** Muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi deb, uning vakuumga nisbatan olingan sindirish ko'rsatkichiga

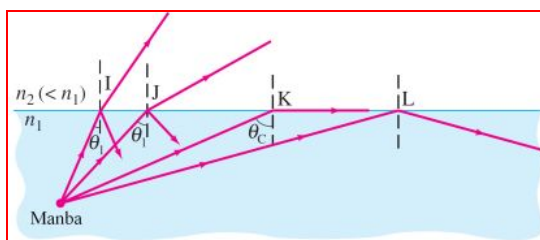
aytiladi. U yorug'likning bo'shliqdagi tezligi  $c$  ning shu muhitdagi tezligi  $v$  ga nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni

$$n = \frac{c}{v} \quad (5.6)$$

**To'la ichki qaytish.** Yorug'lik biror materialda  $n$  sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lgan ikkinchi materialga (masalan, suvdan havoga) o'tsa, singan yorug'lik nurlari 5.8-rasmdagi  $I$  va  $J$  nurlar kabi normaldan ko'proq og'adi. Ba'zi tushish burchaklarida nurlarning sinish burchaklari  $90^\circ$  ga eng bo'lib, singan nur ikki materialni chegarasi bo'ylab tarqaladi ( $K$  nur).  $\theta_c$  tushish burchagiga – chegaraviy burchak deyiladi. Snellius qonunidan  $\theta_c$  quyidagicha topiladi

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}, \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.7)$$

$\theta_c$  dan kichik bo'lgan ba'zi bir tushish burchagida, nurning bir qismi sinadi boshqa qismi esa ikki muhit chegarasida qaytadi. Ammo, tushish burchagi  $\theta_c$  dan kattaroq bo'lgan hol uchun, Snellius qonunidan bizga ma'lum bo'ladiki, ya'ni  $n_2 < n_1$  bo'lganida  $\sin \theta_2 = (n_1 \sin \theta_1 / n_2)$  ifodaning qiymati 1.00 dan katta bo'ladi. Burchakning sinusini qiymati hech qachon 1.00 dan katta bo'lishi mumkin emas. Bu holda sinuvchi nur umuman yoruq va 5.8-rasmdagi  $L$  nurga o'xshab, hamma yorug'lik qaytadi. Bu hodisaga yorug'likning to'la qaytishi deb ataladi. Faqat ikkinchi muhitning sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lganida, ikki muhit chegarasiga tushgan nurlarning to'la ichki qaytishi hodisasi ro'y beradi. Ikkinchi muhitning sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lgandagina, to'la ichki qaytishi hodisasi ro'y beradi.



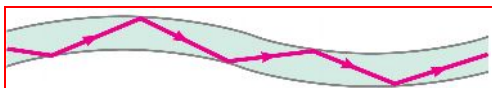
**5.8-rasm.**  $n_2 < n_1$  bo'lganida, agar tushish burchagi  $\theta_1 > \theta_c$  bo'lsa, xuddi  $L$  nur kabi yorug'lik nurlari to'la ichki qaytadi. Agar  $\theta_1 < \theta_c$ ,  $I$  va  $J$  kabi yorug'lik nurlarining bir qismi qaytadi va qolgan qismi sinadi.

*Optik tolalar; Meditsina qurilmalari*

*Optik tolalar-kommunikatsiya (aloqa tizimi) tarmoqlarida va meditsinada qo'llaniladi -bronxoskopiya, kolonoskopiya va endoskopiya.*

Optik tolalarning ishlash prinsipi asosida to'la ichki qaytish yotadi. Odatda, diametri bir necha millimetrdan tashkil topgan ingichka shisha yoki plastik tolalardan foydalaniladi. Slindrsimon shaffof tolalar o'ramiga – svetovod (yorug'lik tashuvchi truba) yoki optik tolali kabel deyiladi. Yorug'lik shaffof tola bo'ylab to'la ichki qaytish orqali deyarli so'nmasdan tarqaladi. 5.9-rasmda

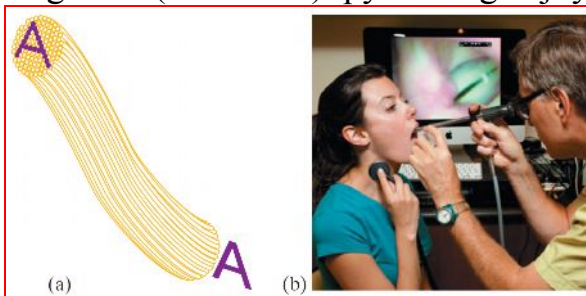
yorug'lik nurining qanday qilib ingichka tola devorlariga faqat qiya urilib qaytishi ko'rsatilgan va bunda to'la ichki qaytish hodisasi sodir bo'lishi ko'rsatilgan. Hatto agar svetovod kabel chigal holda o'ralib biroz bukilganda ham chegaraviy burchak o'zgarib ketmaydi, yorug'li amalda kamaymasdan (o'zgarmasdan) oxirgi nuqtagacha boradi. Yo'qotishlar juda kichik qiymatlarda sodir bo'ladi, asosan tola ichida ketma-ket qaytishlarning oxirida yorug'lik absorbsiyasi (yutilishi) hisobiga juda kichik yoqotiladi.



**5.9-rasm.** Yorug'lik shisha yoki shaffof plastik tolaning ichki sirtida to'liq qaytadi.

Kommunikatsiya va meditsinada sohasida optik tolali kabellarni qo'llash juda muhim hisoblanadi. Ular (optik tolalar) telefon tarmoqlarida, video signallar va kompyuter ma'lumotlarini uzatishda simlar o'rnida foydalaniladi. Signallar yorug'li nurlariga modulyatsiyalanadi (yorug'lik nurlari intensivligi tez o'zgaradi) va ma'lumotlar juda katta tezliklarda, kam yo'qotishlar bilan va mis simlardagi elektr signallari bo'lganidan ko'ra kam interferensiyalar (ya'ni, interferensiya hodisasi tufayli to'sqinliklar) bilan uzatiladi. Optik tola yuzdan ortiq har xil uzunlikli to'lqinlar bilan sekundiga 10 gigabit ( $10^{10}$  bit) informatsiya (axborot) ni o'tkazaoladigan qilib ishlangan. Bu yuzdan ortiq to'lqinlarni sekundiga bir terrabit tezlik bilan o'tkazaoladi degan gapdir.

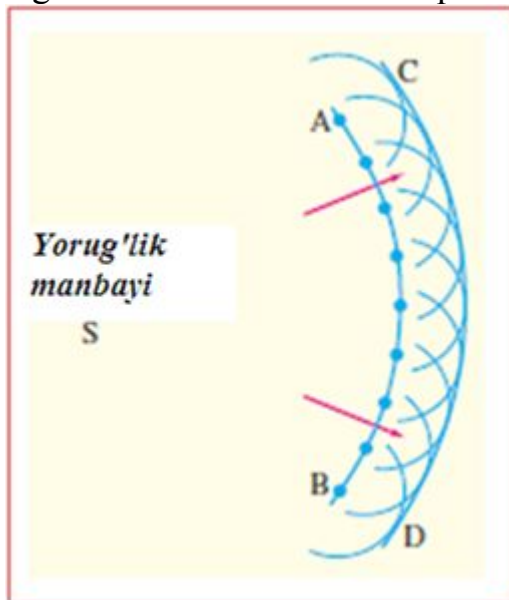
5.10-rasmdagiga o'xshash, optik tolalarni tasvirni aniq uzatish xususiyati asosan meditsinada ahamiyatlidir. Masalan, bemorning og'zi orqali bronxoskop deb ataluvchi optik tolali kabelni osongina qo'yib, o'pkasining pastki bronxlarini tekshirish mumkin. O'pkani yoritish uchun chetki qo'shimcha optik tolalar orqali yorug'lik yuboriladi. Qaytgan yorug'lik asosiy optik tolalar orqali qaytadi. Yorug'lik bevosita har bir optik tola orqali yuqoriga etib keladi. Optik tolaning bir tomonida kuzatuvchi xuddi televizor ekraniga o'xshash yorug' va qora dog'lar seriyasini ko'radi, tasvir esa tolaning ikkinchi tomonida hosil bo'ladi. Har bir tolaning uchiga linzalar qo'yiladi. Tasvirni esa bevosita ekranda yoki plyonkada ko'rish mumkin. Tolalar bir biridan sindirish ko'rsatkichi tolanikidan kichik bo'lgan qoplama bilan izolyatsiyalangan (ajratilgan) bo'lishi lozim. Tolalar qanchalik ko'p bo'lib, shunchalik ingichka bo'lishi tasvirning aniq bo'lishiga olib keladi. Bronxoskop, kolonoskop (yo'g'on ichakni tekshirish uchun) va endoskop (oshqozon yoki boshqa organlar uchun) kabi qurilmalar o'rganish (tekshirish) qiyin bo'lgan joylarda juda foydalidir.



**5.10-rasm.** (a) Optik tolali tasvirning qanday qili hosil bo'lishi. (b) Misol uchun, optik tolali asbob tovush paychalarini tekshirib, tasvirini ekranda hosil qilishi uchun og'iz orqali qo'yilgan.

Ko'p asrlik tajribalar natijasida va yorug'lik haqidagi tasavvurlarning kengayishi oqibatida yorug'likning korpuskulyar (N.Nyuton) va to'lqin (R.Guk va X.Gyuygens) nazariyalari yaratildi. Korpuskulyar nazariyaga binoan yorug'lik-nurlanayotgan jismlardan otilib chiquvchi zarra (korpuskula)lardan iborat bo'lib, ular to'g'ri chiziq bo'ylab tarqaladilar. To'lqin nazariyasida esa yorug'lik efir deb ataluvchi muhitda tarqaluvchi elastik to'lqindan iborat bo'lib, u barcha jismlardan sizib o'tuvchi va elastiklikka hamda ma'lum zichlikka ega bo'lgan muhit deb qabul qilingan.

To'lqin nazariyasi Gyuygens prinsipiga asoslanadi:  $S$  yorug'lik manbaidan tarqalayotgan  $AB$  to'lqin frontini ko'rib chiqamiz. Yorug'lik tarqalayotgan muhit izotrop muhit (ya'ni to'lqin tezligi hamma yo'nalishda bir xil) deb qabul qilamiz.  $AB$  to'lqin frontining  $t$  vaqtdan keyingi vaziyatini aniqlash uchun radiusi  $r=vt$  to'lqin etib borgan har bir nuqta ikkilamchi to'lqin manbai bo'lib hisoblanadi. Ulardan paydo bo'lgan to'lqinlarning qo'shilib, bir sirtga birlashishi natijasida vaqtning keyingi momenti uchun  $CD$  to'lqin fronti hosil bo'ladi.



5.11- rasm.

Gyuygens prinsipi yorug'likning tarqalishini tahlil qilishga hamda uning qaytish va sinish qonunlarini keltirib chiqarishga imkon beradi (5.11- rasm). Bu nazariyalar amalda qo'llanilganda ba'zan o'zaro teskari xulosalar, natijalar kelib chiqdi. Buni yorug'likning sinishi misolida ko'rishimiz mumkin [1].

1. Nyuton nazariyasiga binoan:

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{g}{c} > n \quad (5.8)$$

bunda  $c$  – yorug'likning vakumda,  
Muhitda doimo  $n > 1$  bo'lgani uchun

$g$  - esa muhitda tarqalish tezliklari  
 $g > c$  kelib

5.11-rasm. chiqadi, bu tajriba natijalariga ziddir.

2. *Gyuygens nazariyasiga binoan:* 
$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{c}{g} > n \quad (5.9)$$

1851-yilda e.Fuko (va unga bog‘liq bo‘lmagan holda A.Fizo) yorug‘likning suvda tarqalish tezligini o‘lchab, u ( 5.9 ) formulaga mos kelishini aniqladilar.

Shuningdek, ingliz fizigi T.Yung va fransuz olimi O.Frenellarning tadqiqotlari natijasida yorug‘likning to‘lqin nazariyasi butunlay e’tirof etildi.

Lekin shunga qaramasdan to‘lqin nazariyasi efir tufayli interferensiya, difraksiya va qutblanish kabi hodisalarni tushuntirishida qator qiyinchiliklarga uchradi. Bu nazariya turli ranglar mavjudligining fizikaviy tabiatini ochib berolmadi.

Keyinchalik, yorug‘likning elektr va magnetizm bilan o‘zaro bog‘liqligi ma’lum bo‘ldi. Shunga asoslanib Maksvell yorug‘likning elektromagnit nazariyasini yaratdi.

Undan  $c/g = \sqrt{\epsilon\mu} = n$  ekanligi ma’lum bo‘ldi.

Bu ifoda moddaning optik,elektrik va magnit doimiylarini o‘zaro bog‘laydi. Lekin bu nazariya yorug‘likning dispersiyasini tushuntira olmadi, Lorens yorug‘likning elektron nazariyasini yaratib, bu muammoni bartaraf etdi.

Shuningdek, Maksvell nazariyasi yorug‘likning nurlanish va yutilishi jarayonlarini, fotoelektrik effektini, Kompton sochilishlarini tushuntira olmadi. Lorens nazariyasi ham absolyut qora jism issiqlik nurlanishida energiyaning to‘lqin uzunliklari bo‘yicha taqsimlanishi qanday bo‘lishini hal qilib berolmadi.

Yuqorida qayd qilingan kamchilik va qarama-qarshiliklar M.Plank tomonidan yaratilgan yorug‘likning kvant nazariyasi asosida to‘la bartaraf etildi. M.Plank, yorug‘likning nurlanishi va yutilishi faqat ma’lum diskret porsiya (kvant)lar shaklida sodir bo‘ladi degan gipotezani ilgari surdi. Bunda kvant energiyasi tebranishlar chastotasi  $\nu$  bilan aniqlanadi [2].

$$\epsilon_0 = h\nu$$

bunda  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  – Plank doimiysi

Plank nazariyasi efir tushunchasiga ehtiyoj sezmedi. U qora jism nurlanishini to‘la tushuntirib berdi. 1905-yilda A. Eynshteyn yorug‘likning kvant nazariyasini ishlab chiqdi. Unga binoan nafaqat yorug‘likning nurlanishi balki uning tarqalishi ham yorug‘lik kvantlari oqimi fotonlar tarzida sodir bo‘ladi.

Bu fotonlarning massasi: 
$$m_f = \frac{\epsilon_0}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

Yorug‘likning kvant tasavvuri yorug‘likning nurlanish va yutilishi qonunlariga, shuningdek yorug‘likning moddalar bilan o‘zaro ta’sirlashuv qonunlariga mutlaqo mos tushadi.

Lekin ayni paytda yorug‘likning interferensiya, difraksiya va qutblanish nazariyalariga esa to‘g‘ri kelmadi. Ma’lumki, ular yorug‘likning to‘lqin

tasavvuri asosida juda oson tushuntiriladi. Yuqoridagilardan yorug‘likning murakkab tabiatga ega ekanligi ma’lum bo‘ladi.

U o‘zaro teskari, ya’ni ayni bir paytda ham diskret, ham uzluksiz bo‘lgan – korpuskulyar (kvant) va to‘lqin (elektromagnit) kabi harakat turlarining birligini o‘zida namoyon etadi. Hozirgi tasavvurga ko‘ra yorug‘lik korpuskulyar-to‘lqin dualizmi tabiatiga ega.

## 5.2 - §. Yorug‘lik interferensiyasi

**Yorug‘lik interferensiyasi. Kogerent to‘lqinlar.** Mexanika qismida biz suv ustida tarqalayotgan to‘lqinlarning interferensiyasi bilan tanishgan edik. Agar ikki to‘lqin o‘zaro uchrashib bir birini kuchaytirsam yoki susaytirsam bunday to‘lqinlarni kogerent to‘lqinlar deb atagan edik. Bunday xossa yorug‘lik to‘lqinlarida ham bo‘lishi mumkin. Albatta, ikkita nur sohib turgan jismlar kogerent manba bo‘la olmaydilar, ulardagi atomlar bir-biri bilan bog‘lanmagan ravishda nur chiqaradilar, shuning uchun bu nurlarning fazalari xaotik ravishda o‘zgarib turadi va ularning farqi (ayirmasi) vaqtga bog‘liq bo‘lib qoladi. Shuning uchun yorug‘lik tarqatayotgan ikki jism hech qachon kogerent manba bo‘la olmaydilar. Buning uchun suniy bir uslubdan foydalaniladi. Bitta manbadan chiqayotgan nurni ikkiga ajratiladi. Buning bir nechta yo‘li bor. Ikkita monoxromatik yorug‘lik to‘lqini ustma-ust tushib, fazoning biror nuqtasida bir xil yo‘nalishli tebranishni hosil qilayotgan bo‘lsin:

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ va } x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Bunda  $x$  o‘rniga to‘lqinning  $e$ - elektr yoki  $H$ - magnit maydon kuchlanganliklaridan biri olinadi.  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  vektorlar o‘zaro perpendikulyar tekisliklarda tebranishadi hamda ular superpozitsiya prinsipiga ham bo‘ysunishadi. Berilgan nuqtada natijaviy tebranishning ampliturasi quyidagicha aniqlanadi:

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

To‘lqinlar o‘zaro kogerent bo‘lgani uchun,  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$  vaqt bo‘yicha o‘zgarmas (lekin, fazoning har bir nuqtasida o‘zgacha) miqdorga ega bo‘ladi, shuning uchun natijaviy to‘lqinning intensivligi ( $I \sim A^2$ )

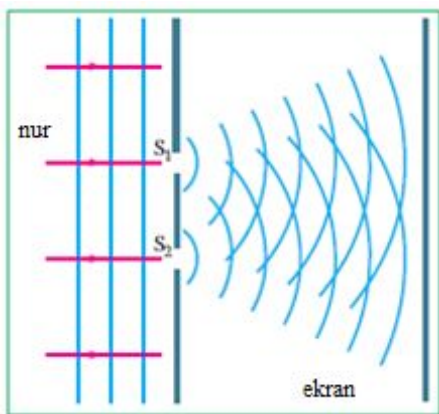
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Fazoning  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) > 0$  shart bajariladigan nuqtalarida  $I > I_1 + I_2$ ,

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) < 0$  nuqtalarida esa  $I < I_1 + I_2$  holat vujudga keladi. Kogerent bir necha yorug‘lik to‘lqinlarning ustma-ust tushishi oqibatida yorug‘lik oqimining fazoviy qayta taqsimlanishi ro‘y beradi.

Natijada fazoning bir nuqtasida maksimum intensivlik, ikkichisida minimum intensivlik yuzaga keladi. Bu hodisani **yorug‘likning interferensiyasi** deyiladi 5.12 rasm.





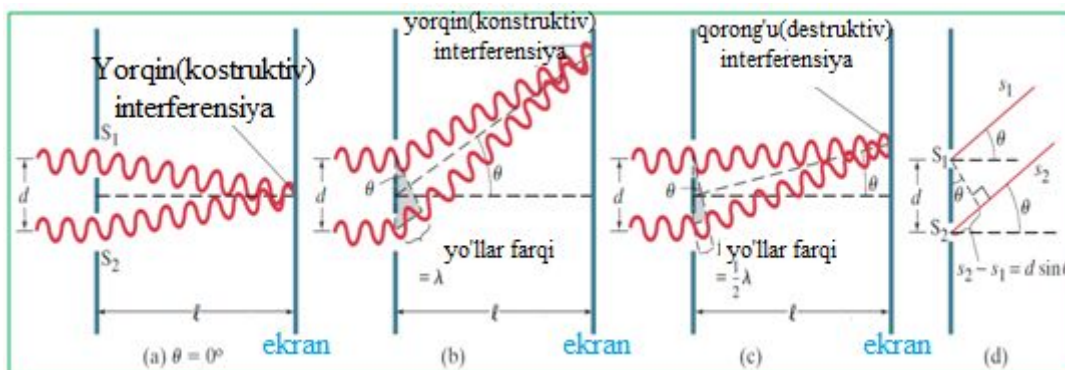
5.12-rasm

Nokogerent to‘lqinlardagi fazalar farqi  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$  ning vaqt bo‘yicha o‘rtacha qiymati nolga teng bo‘ladi. Natijaviy to‘lqinning intensivligi esa barcha nuqtada bir xil bo‘ladi, xususan  $I_1=I_2$  bo‘lganda  $I=2I_1$  (kogerent to‘lqinlarda xuddi shunday sharoit uchun maksimumda  $I=4I_1$ , minimumda  $I=0$  bo‘ladi).

Kogerent yorug‘lik to‘lqinlari olish uchun, ayni bir manbadan chiqqan nurni ikki qismga ajratib, ular turli optik yo‘llarni bosib o‘tishgach – yana ularni ustma-ust tushiriladi.

$L=S n$  miqdorni *yorug‘lik to‘lqinining optik yo‘li* va  $\Delta=L_2-L_1$  ni esa *optik yo‘llar farqi* deb yuritiladi. Bunda  $S$  - yorug‘lik to‘lqini bosib o‘tadigan geometrik yo‘l uzunligi,  $n$  - muhitning sindirish ko‘rsatkichi. Hosil bo‘ladigan ikki kogerent *to‘lqinning fazalar farqi* quyidagiga teng:

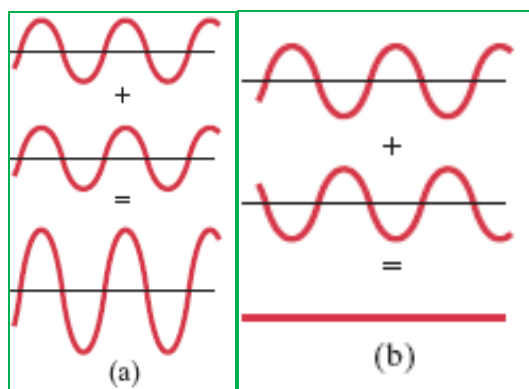
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta \text{ bunda } \lambda_0 \text{ yorug‘likning vakuumdagi to‘lqin uzunligi.}$$



5.13-rasm

Buning qanday yuz berishini tushunish uchun, yassi to‘lqinlarni monoxromatik, ya‘ni “bitta rangli” deb ataluvchiyakka to‘lqin uzunligidan tashkil topgan deb hisoblab, 20.1 rasmda ko‘rsatilgandek ikkita tirqishga tushishini qaraymiz. Diffraksiya tufayli, ikki kichik tirqishdan o‘tayotgan to‘lqinlar ko‘rsatilgandek sochilib ketadi. Bu narsa ikki toshni ko‘lga otganda hosil bo‘ladigan interferensiyon manzaraga yoki ikki ovozli karnaylardan chiqqan tovushlarning interferensiyasiga ekvivalent bo‘ladi.

Interferensiyon manzara qanday hosil bo‘lishini yaqqol ko‘rish uchun biz 5.12- rasmdan foydalanamiz.  $\lambda$  to‘lqin uzunligining to‘lqinlari orasidagi masofa  $d$  bo‘lgan  $S_1$  va  $S_2$  tirqishlarda ko‘rsatilgan. To‘lqinlar tirqishlardan o‘tgandan so‘ng barcha yo‘nalishlarga tarqalib ketadi (5.12 rasm), lekin ular 5.13 a, b, va s rasmlarda uch xil  $\alpha$  burchaklarda taqsimlanadi. 5.13a rasmda, to‘lqinlar devor o‘rtasiga tushganligini ko‘rish mumkin ( $\alpha=0$ ). Ikki tirqishdan chiqqan to‘lqinlar bir xil masofa bosib o‘tadi, va quyidagi traektoriyada bo‘ladi: bir to‘lqinning o‘rkachi boshqa to‘lqinning o‘rkachi bilan bir vaqtda bo‘ladi.



5.14- rasm.

Shu sababli 5.14a-rasmda ko'rsatilgandek ikki to'lqinning amplitudalari birlashib kattaroq amplituda hosil qiladi. Bu konstruktiv interferensiya bo'lib, bu erda yorqin chiziq devor markazida bo'ladi. Ikki nurlarning yo'li bir to'lqin uzunligiga farqlanganda hamkonstruktiv interferensiya hosil bo'ladi (5.14b - rasm), shuningdek bu erda ham yorqin chiziq devorda bo'ladi.

Biroq, agar bitta nur bir yarim (yoki  $3/2 \lambda$ ,  $5/2 \lambda$ , va shu yo'sinda) to'lqin uzunligiga qo'shimcha masofa bosib o'tsa, ikki to'lqinlar devorga etganida ular aniq traektoriyadan tashqarida bo'ladi: bitta to'lqin o'rkachi boshqa bir to'lqin do'ngligi bilan bir vaqda etib keladi va ular nol amplitudani hosil qilish uchun o'zaro birlashadi (5.14b- rasm). Bu destruktiv interferensiya deyiladi va devor to'q rangli bo'ladi (5.13s -rasm). Shunday qilib markaziy devorda bir qancha yorqin va to'q rangli chiziqlar bo'ladi. Yorqin chiziqlar qaerga tushganini aniqlash uchun, birinchi bo'lib 5.13- rasm biroz bo'rttirilganiga e'tibor bering. Haqiqiy holda tirqishlar orasidagi masofa devordagi  $l$  masofa bilan solishtirilganda juda kichik bo'ladi. Har bir holat uchun har bir tirqishdagi nurlar ahamiyatli ravishda parallel bo'ladi, va 5.13d- rasmda ko'rsatilgandek ular gorizontga nisbatan hosil qilgan burchak  $\alpha$  ga teng bo'ladi. 5.3b va s - rasmlarda o'ng tomondagi bo'yalgan uchburchaklardan shuni ko'rishimiz mumkinki, pastroqdagi nurning qo'shimcha bosib o'tgan masofasi  $d \sin \alpha$  ga teng (5.13d - rasmda aniqroq ko'ringan). Konstruktiv interferensiya paydo bo'ladi va devorda yorqin chiziq ko'rinadi, *traektoriya orasidagi farq*,  $d \sin \alpha$  to'lqin uzunliklarining umumiy soniga teng bo'lganda:

**Interferensiya maksimumini kuzatish sharti:**

$$\Delta = \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$\delta = \pm 2m\pi$$

$$d \sin \alpha = m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad [ \text{maksimumlik sharti} ] \quad (5.10)$$

$m$ ning qiymati **chiziq tartibi** deb ataladi (5.15- rasm). Masalan, birinchi tartib ( $m = 1$ ), markaziy chiziqning har bir tomonidagi birinchi chiziqqa ( $\alpha = 0$ ,  $m = 0$ ) teng bo'ladi. Destruktiv interferensiya traektoriyalar farqi  $d \sin \alpha$ ,  $1/2 \lambda$ ,  $3/2 \lambda$  ga teng bo'lganda paydo bo'ladi, va quyidagicha bo'ladi:

**Interferensiya minimumni kuzatish sharti esa:**

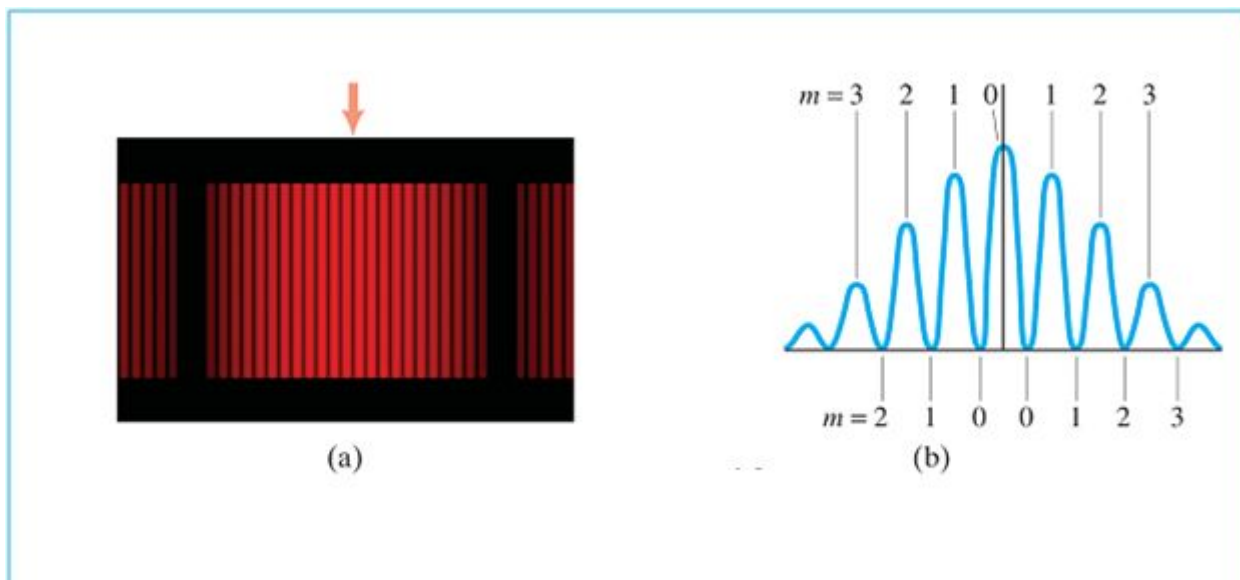


$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0,1,2,\dots)$$

$$\delta = \pm(2m+1)\pi$$

$$d \sin\alpha = (m+1/2)\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad [\text{minimumlik sharti}]$$

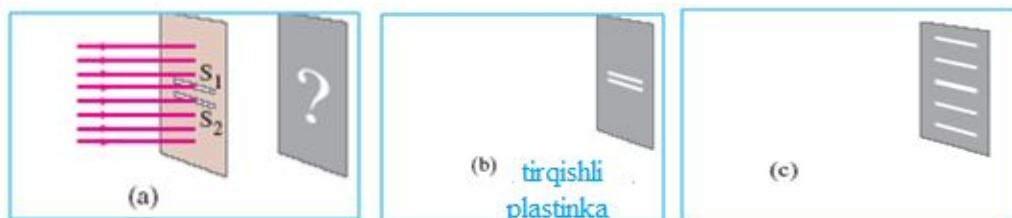
Yorug'lik chiziqlar yorug'lik kuchining maksimumida yoki cho'qqida, to'q chiziqlar esa minimumda bo'ladi.



**5.15 - rasm.** (a) Interferensiya chiziqlari ikki-tirqish tajribasida paydo bo'ladigan va ko'rish ekranida joylashgan fotosurat orqali aniqlangan. O'q markaziy chiziqni belgilaydi. (b) Interferensiya manzarasidagi yorug'lik intensivligi grafiqi.

Markaziy chiziqda, yorug'lik intensivligi eng yuqori bo'ladi va yuqori tartibda kelganda yorug'lik intensivligi kamayadi, 5.15 - rasmda ko'rsatilganidek. Tartibning oshishi bilan intensivlikning qanchalik kamayishi ikkilamchi-tirqish kengligiga bogliq.

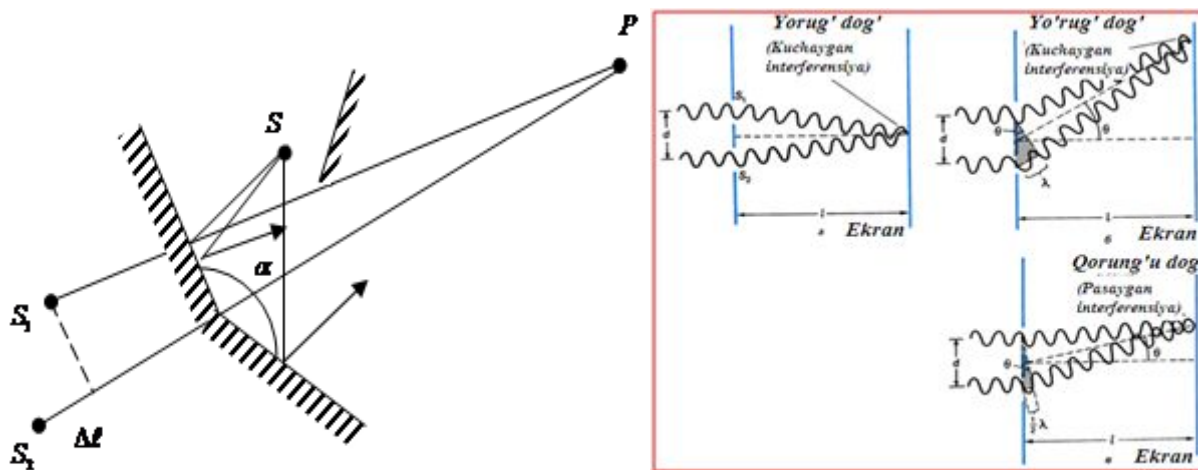
**Yorug'lik interferensiyasini kuzatish usullari.** 1801-yil ingliz olimi Tomas Yung yorug'lik nurlarini to'liq xususiyatga ega ekanligini aniq ma'lumotlar asosida isbotladi va yorug'lik nurlarining to'liq uzunligini aniqladi. Quyoshdan kelayotgan yorug'lik  $S$  tirqishdan o'tib, ikkinchi ekranga tushadi 5.16 rasm. Bu ekranda bir-biriga yaqin joylashgan ikkita  $S_1$  va  $S_2$  tirqishlar qirqib qo'yilgan. Agar yorug'lik zarrachalardan iborat bo'lganda, tirqishdan keyingi qo'yilgan ekranda ikkita yorug' chiziq hosil bo'lishi kerak edi(b rasm). Lekin Yung ekranda bir qator yorug' nurlarni kuzatdi(5.16b-rasm) va bu manzarani yorug'lik nurlarining interferensiyasi deb tushuntirdi. Yung fikrini tushunish uchun, keyingi rasmda ko'rsatilgandek bir xil chastotali(monoxromatik nur) yassi to'liq ikkita tirqishga tushayotgan bo'lsin. Tirqishdan o'tgan nurlar difraksiya hodisasiga binoan, rasmda ko'rsatilgandek tarqaladi.



5.16-rasm

Interferension manzara hosil bo'lishini tushunish uchun quyidagi rasmdan foydalanamiz. Bu rasmda oralaridagi masofa  $d$  bo'lgan ikkita  $S_1$  va  $S_2$  tirqishdan o'tayotgan,  $\lambda$  to'lqin uzunlikli yorug'lik nuri ko'rsatilgan. Yorug'lik nuri tirqishlardan o'tgandan so'ng hamma tomonga tarqaladi, rasmda uch xil burchak ostida tarqalayotgan nurlar keltirilgan. 5.17a-rasmda ekran markaziga ( $\theta = 0$ ) tushayotgan to'lqinlar ko'rsatilgan. Bunda, ekranga har bir tirqishdan o'tayotgan to'lqin bir xil masofa bosib o'tib, bir xil fazada yetib boradi. Bu holda interferensiyani kuchayishi kuzatiladi va ekran markazida yorug' dog' hosil bo'ladi. Bir xil to'lqin uzunlikda va ikki to'lqinning bosib o'tgan yo'llar farqi bir xil bo'lsa, har doim interferensiyani kuchayishi kuzatiladi (5.17b-rasm). Lekin nurlardan biri qo'shimcha yana yarim to'lqin masofa o'tsa, ikkala to'lqin qarama-qarshi fazada ekranga tushadi va interferensiyani susayishi kuzatiladi, ekranda qora dog' hosil bo'ladi. Shu yo'l bilan ketma-ket yorug' va qora yo'l(chiziq)lar hosil bo'ladi (5.17v-rasm). Rasmda, ikki tirqishda hosil bo'lgan interferension manzara keltirilgan. Strelka bilan ko'rsatilgan yorug' yo'l nolinchinchi yo'l dir.

**Ikkinchi uslubni** fransuz fizigi Frenel qo'llagan.



5.17- rasm.

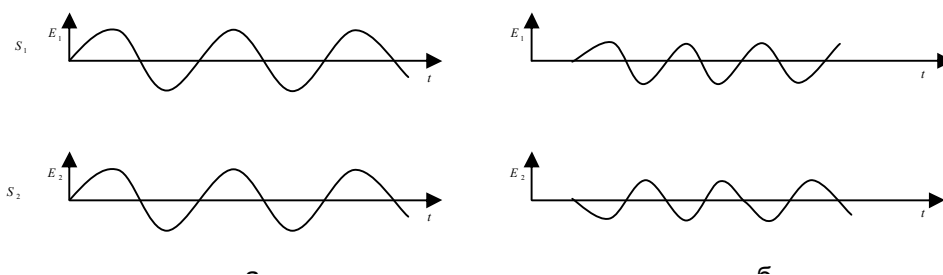
5.17-rasmda bir-biriga nisbatan  $\alpha$  burchak ostida joylashgan ikki ko'zgu keltirilgan.  $S$  manba bu ko'zgularda o'zining  $s_1$  va  $s_2$  tasvirini hosil qiladi. Bu tasvirlar ikki kogerent manba bo'lib qoladi. Ulardan tarqagan ikki nur  $P$  nuqtada uchrashsa interferensiya kuzatilishi mumkin. Lekin interferensiya natijasi ikki to'lqinning yo'l farqi  $\Delta l$  ga bog'lik bo'ladi. Agar  $\Delta l = PS_2 - PS_1$

masofada yarim to‘lqin uzunliklardan juft soni joylashsa, u holda P nuqtada interferensiya maksimumi kuzatiladi:

$$\Delta \ell = n\lambda = 2n \frac{\lambda}{2} \quad \text{maksimum sharti.} \quad (5.11)$$

Agar  $\Delta \ell$  masofada yarim to‘lqin uzunliklardan toq soni joylashsa minimum kuzatiladi:  $\Delta \ell = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$  minimum sharti (5.12)

bu erda  $n = 0, 1, 2, \dots, \lambda$  - to‘lkin uzunliigi. Nima uchun shunday bo‘ladi. 7.8-rasmda R nuqtaga  $s_1$  va  $s_2$  manbalardan etib kelgan ikki to‘lqinning vaqtga bogliqlik grafigi keltirilgan.



5.18 – rasm.

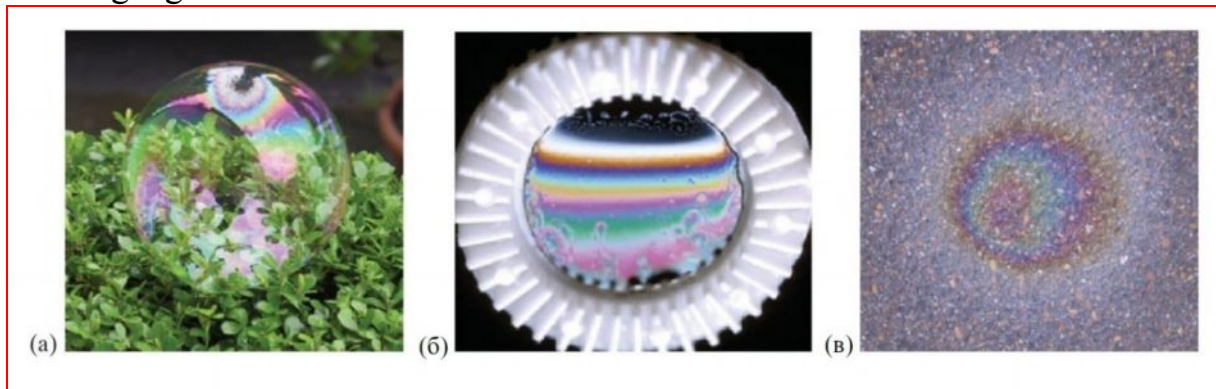
5.17.a-rasmda ikki to‘lqinning istalgan  $t$  vaqtdagi fazalar farqi nolga teng ekanligi (elektr maydon ishorasining bir xilligi) ko‘riib turibdi, bunday to‘lqinlar qo‘shilsa bir-birini kuchaytiradi. Bu hol  $\Delta \ell$  masofada yarim to‘lqin uzunlik juft son marta joylashsagina yuz berishi mumkin.

5.17.b-rasmda P nuqtaga etib kelgan ikki to‘lqinning fazalar farq  $180^\circ$  ga teng holi ko‘rsatilgan. Boshqcha aytganda, bu ikki to‘lqinning elektr maydon kuchlanganliklari istalgan vaqtda bir-biriga teng va qarama-qarshi ishorali bo‘lishini bildiradi. Bunday to‘lqinlar qo‘shilsa bir-birini susaytirib nol natijani beradi. Bu hol  $\Delta \ell$  masofada yarim to‘lqin uzunlik toq son marta joylashganda yuz beradi.

**Kogerentlik.** Ikki tirqish radiatsiyaning ikki manbai bo‘lganida ular orasida interferensiya hosil bo‘ladi. Ular kogerentlik manbalari deb ataladi, chunki ulardan taralayotgan to‘lqinni, to‘lqin uzunligi va chastotalari bir xil bo‘ladi va hamma vaqt bir biri bilan bir xil fazada bo‘ladi. Bunday bo‘lishining sababi, to‘lqinlar chap tomondagi ikki tirqish orasidan, bir manbadan keladi. Manbalar kogerentlikda bo‘lganidagina interferensiya manzarasini ko‘rish mumkin. Agar ikkita lampa tirqishning o‘rni bilan almashtirilganida, interferensiya manzarasini ko‘rib bo‘lmas edi. Bir lampadan chiquvchi yorug‘lik, ikkinchi yorug‘likka nisbatan tasodifiy fazaga ega bo‘ladi, va ekran ko‘prok eki kamrok bir xil yoritilgan bo‘ladi. Bir biri bilan hech qanday doimiy fazalar farqiga ega bo‘lmagan ikki shunday manba kogerentlanmagan manbalar deyiladi.

**Yupqa pardada interferensiya.** Yorug‘lik interferensiyasini sovun pufakchasidan va suv yuzasidagi yog‘ yoki benzin yupqa plenkasidan qaytgan

yorugʻlikning turli ranglarda koʻrinishi signari kundalik hodisalarda kuzatish mumkin (5.19 – rasm). Bu va boshqa hollardagi ranglar yupqa parda ikkita yuzasidan qaytgan yorugʻlik interferensiya natijasi hisoblanadi. Bu effekt pardaning qalinligi yorugʻlik toʻlqin uzunligi tartibida boʻlganda kuzatiladi. Agar parda qalinligi yorugʻlik toʻlqin uzunligidan katta boʻlsa bu effekt ranglari aralashganga oʻxshab koʻrinadi.



**5.19 – rasm.** Yupqa pardadagi yorugʻlik interferensiyasi: (a) sovun pufagi, (b) sovunli suv aralashmasining yupqa pardasi, (v) nam yoʻlkadagi yogʻning yupqa pardasi

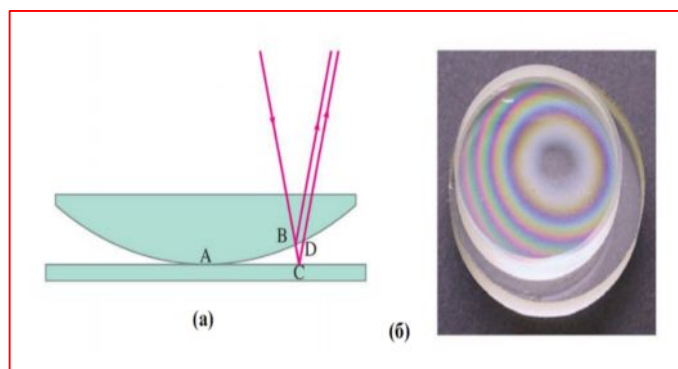
Yupqa pardada yorugʻlik interferensiyasi roʻy berishini kuzatishda suv silliq qatlami ustida joylashgan suvning sindirish koʻrsatkichiga nisbatan sindirish koʻrsatkichi kichik boʻlgan boshqa moddaning maxsus yupqa qatlami qaraladi. Tushuvchi yorugʻlikni monoxromatik yorugʻlik deb faraz qilamiz. Tushuvchi yorugʻlikning bir qismi qatlamning tashqi yuzasidan va yorugʻlikning qolgan qismini ichki yuzadan qaytadi. Ichki qatlam yuzasidan qaytgan yorugʻlik qatlamdan ikki marta oʻtadi. Agar ushbu yoʻllar farqi plenkadagi bir yoki bir nechta toʻlqin uzunliklariga teng boʻlsa, u holda ikkita toʻlqin kuzatuvchi koʻzida interferensiyalashadi. Bundan plenka AC soha yuzasida yorugʻ soha paydo boʻladi.

Oq yorugʻlik dastasi bu kabi plenkaga tushganda bitta toʻlqin uzunlik uchun ABC yoʻllar farqi  $\lambda_n$  (yoki  $m\lambda_n$ ,  $m$  butun son) kuzatish burchagi beriladi.  $\lambda$  toʻlqin uzunligiga mos keluvchi rang juda yorugʻ boʻlib koʻrinadi. Agar tushuvchi yorugʻli burchaklari bir-biridan kam farq qilsa, ABC yoʻllar farqi mos ravishda qisqa va uzun boʻladi va turli ranglar interferensiyalashadi. Shunday qilib, oq yorugʻlik chiqaruvchi keng manba uchun galma-gal keluvchi yorugʻ ranglar seriyasi boʻlib koʻrinadi. Parda qalinligini oʻzgartirish orqali yoʻllar farqini ham oʻzgartirish mumkin, shuning uchun rangli yorugʻli katta miqdorda qaytadi.

**Nyuton halqalari.** Shisha plastinkaga qoʻyilgan shishaning egri yuzasi 5.20-rasmda keltirilgandek oq yorugʻlik yoki monoxromatik toʻlqinlar bilan yoritilganda kuzatish nuqtasida konsentrik halqalar seriyasi kuzatiladi. Bu halqalar Nyuton halqalari deb nomlanadi va ular havo bilan ajratilgan shishalarning yuzalaridan qaytgan nurlarning interferensiyalanishiga asoslangan. Bu havo boʻshligʻining qalinligi shishalar birlashgan markaziy

nuqtadan ularning chekka nuqtalariga tomon ortib boradi va shisha yuzalaridan qaytuvchi to‘lqinlar uchun qo‘shimcha yo‘l uzunlikka ega bo‘ladi. U  $0, \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, 2\lambda$  larga teng bo‘lib bu interferension maksimum va minimumlarga muvofiq keladi. Kuzatilayotgan halqalardagi ranglar interferension maksimumga mos keladi; bu halqalarda boshqa ranglar to‘liq yoki qisman interferension minimumga mos keladi. (Agarda monoxromatik yorug‘likdan foydalanilsa, halqalar navbatma-navbat joylashgan yorqin va qorong‘u halqalardan iborat bo‘ladi).

Ikkala shisha birlashgan nuqta 5.20b -rasmda ko‘rsatilgandek qorong‘u doira shaklida bo‘ladi. Bunda yo‘llar farqi nolga teng bo‘lgani uchun, bizning dastlabki tahlillarimizdagidek har bir yuzadan qaytgan yorug‘lik bir hil fazali bo‘lib, markaziy soha yorqinligi nolga teng. Biroq qorong‘u soha, ikkita to‘lqinlar fazalari qarama-qarshi bo‘lishini anglatadi. Buning ro‘y berishi faqatgina



**5.20- rasm.** Nyuton halqalari. (a) havo bo‘shlig‘i bilan ajratilgan ikkita plastinka ichki yuzalaridan qaytgan yorug‘lik interferensiyalashadi. (b) Oq yorug‘likdan foydalanib olingan interferension manzara fotosurati.

bunda qaytgan to‘lqinlar fazalari  $180^0$  ga yoki  $\frac{1}{2}\lambda$  yo‘llar farqiga ega bo‘ladi. Haqiqatan, bu va boshqa tajribalarda yuzaga normal tushuvchi yorug‘lik dastalari tarqaluvchi muhit sindirish ko‘rsatkichidan sindirish ko‘rsatkichi katta bo‘lgan muhitga tushganda fazasi  $180^0$  ga yoki  $\frac{1}{2}$  davrga o‘zgaradi. Bu faza o‘zgarishi  $\frac{1}{2}\lambda$  yo‘llar farqi singari ta’sir ko‘rsatadi. Agar muhit sindirish ko‘rsatkichi yorug‘lik tarqaluvchi muhitnikidan kichik bo‘lsa, u holda faza o‘zgarishi ro‘y bermaydi.

### Nazorat savollari

1. Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonunini izohlang
2. Yorug‘likning qaytish qonunini ta’riflang.
3. Yorug‘likning sinish qonunining ta’riflang va ifodasini yozing.
4. Yorug‘likning tabiati haqida qanday fikrlar mavjud bo‘lgan.
5. Yorug‘likning korpuskulyar nazariyasini tushuntiring.
6. Yorug‘likning to‘lqin nazariyasini tushuntiring.

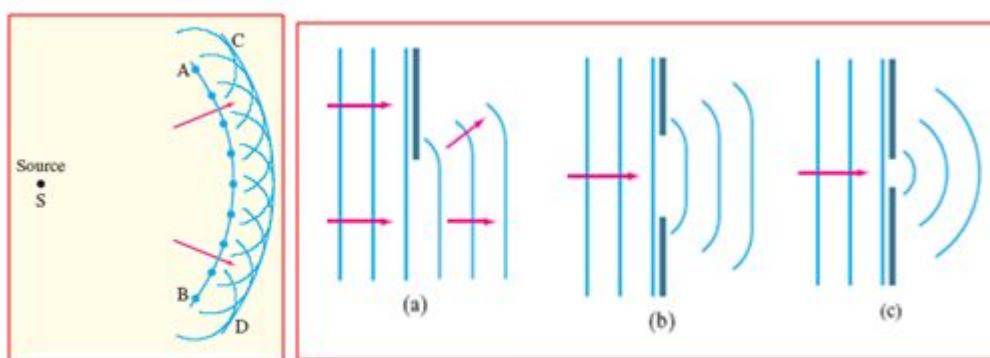
7. Arximedning aytishicha, u katta sferik ko'zgu bilan Quyosh nurlarini bir joyga to'plab, Italiyaning Sirakuza shahridagi kemalar bandargohidagi Rim flotining hamma kemalarini yoqib yuborgan. Bu aqlga to'g'ri keladimi?
8. Yassi ko'zguning fokus masofasi nimaga teng? Yassi ko'zguning kattalashtirishichi?
9. Sferik ko'zguning bosh optik o'qi bo'ylab obekt joylashtirilgan. Obektning tasviri  $-2.0$  marta kattalashtirildi. Tasvir haqiqiy yoki mavhummi, to'ntarilganmi yoki to'rimi? Ko'zgu botiqmi yoki qavariqmi? Tasvir ko'zguning qaysi tomonida joylashadi?
10. Agar qavariq ko'zgu haqiqiy tasvir hosil qilsa, tasvir albatta to'ntarilgan bo'ladi? Tushuntirib bering.
11. Yorug'lik nuri ikki muhit chegarasiga perpendikular tushganida sinish burchagi nimaga teng bo'ladi?
12. Kogerent manbalar deb nimaga aytiladi.
13. O'zaro kogerent nurlar qanday xususiyatlarga ega.
14. Interferensiya hodisasini tushuntirng.
15. Interferensiya hodisasini tajribada hosil qilish usullariga misollar keltirng.
16. Nurlar qo'shilishda maksimum shartini izohlang.
17. Nurlar qushilishda minimum shartini tushuntiring.
18. Ikkita kogerent manbalar danchiqayotgan nurlarning yo'l farqi qanday aniqlanadi.
19. Bir xil manbadan chiqadigan yorug'lik nurining ikki nuri ularning yo'l uzunliklari qanchaga farqlansa susaytiruvchi interferensiyalanadi?
20. Monoxromatik (faqatgina bir rangdan iborat) kizil rang ikkilamchi tirqishda tushayapti, va interferensiya diagrammasi uzoqda ekranda namoyon bo'ldi. Agar kizil yorug'lik manbaini o'rniga ko'k yorug'lik manbai o'rnatilsa, interferentsion tasvir qanaqa o'zgarishini tushuntiring.
21. Agar Yungning ikkilamchi-tirqish tajribasi suv ostiga tushirilsa, interferentsion tasvir qanaqa o'zgaradi?
22. Nima uchun uzoqdan kelayotgan avtomobilning ikkita chiroqlaridan chiqayotgan yorug'lik interferension manzarani hosil qilmaydi?



### 5.3 - §. Yorug'lik difraksiyasi

To'lqinlarning o'z yo'lida uchragan to'siqlarni aylanib o'tishi yoki boshqacha aytganda geometrik optika qonunlarga bo'ysunmasdan tarqalish hodisasiga *difraksiya* deyiladi (5.21-rasm). Difraksiya tufayli to'lqinlar geometrik soyalar sohasiga o'tib qolishi, to'siqlarni chetlab o'tishi yoki ekrandagi kichkina tirqishlardan sizib o'tishi mumkin [3].

5.22 – rasmda, nuqtaviy yorug'lik manbai yordamida tanganing soyasi hosil qilingan. Soyaning markazida yorug' dog' hosil bo'ladi. Soyaning tashqarisida yorug' va qorong'i yo'llar hosil bo'ladi.



5.21-rasm.

5.22-rasm.

Bu manzara difraksiyon manzara nomini olgan. Difraksiya hodisasi barcha to'lqin jarayonlari uchun o'rinalidir. Unda nima sababdan yorug'lik to'lqin tabiatiga ega bo'lishiga qaramasdan aniq soyalar hosil bo'ladi? Bu savolga Gyuygens prinsipi faqatgina to'lqin frontining tarqalish yo'nalishi masalasini hal qiladi, u turli yo'nalishlarda tarqalayotgan to'lqinlar intensivligini va to'lqin amplitudasini hisoblash imkoniyatini bermadi. Frenel-Gyuygens prinsipiga fizikaviy mazmun bag'ishlab, unga ikkilamchi to'lqinlar interfrensiyasi g'oyasi bilan to'ldirdi. Nemis olimi Kristian Gyuygens(1629–1695) Nyutonning zamondoshi bo'lib, yorug'likka to'lqin nazariyasi ko'proq to'g'ri kelishini tushuntirgan. Gyuygens nazariyasi to'lqin frontining boshi qaerdaligi aniqlansa, to'lqin fronti qaerdan o'tishini ko'rsatadi. To'lqin fronti deb biz ikki yoki uch o'lchamli to'lqinning cho'qqisini nazarda tutamiz va uni okeanda ko'rganimizda oddiygina “to'lqin” deb ataymiz. **Gyuygens prinsipi:** *Yorug'lik frontidagi har bir nuqta to'lqin manbasi deb qaralishi mumkin va ular to'lqin tezligida oldinga tomon kichik to'lqinchalar tarqatadi. Yangi to'lqin fronti to'lqinchalarni o'z ichiga olib ularga urinma bo'lib qoladi.*

Gyuygens prinsipiga misol qilib 5.21-rasmdagi S manbadan chiqqan AB to'lqinni ko'rsatishimiz mumkin.

Agar muhitni izotropik desak, unda barcha yo'nalishlarda to'lqinlarning tezliklari bir xil bo'ladi. Qisqa vaqt ichida AB da bo'ladigan to'lqin frontini

topish uchun, AB bo'ylab radiusi  $r = vt$  bo'lgan kichik doiralar chiziladi. Bu aylanalarning markazlari havo rangda bo'lib, ular AB to'lqin frontida joylashgan va bular Gyuygens to'lqinchalarini bildiradi. Qisqa vaqt  $t$  dan so'ng bu to'lqinchalarga urinma bo'lib CD, ya'ni to'lqinning yangi o'rni hosil bo'ladi, chunki to'lqin harakatlanadi. Gyuygens prinsipi to'lqinlar to'siqqa uchraganda yoki to'lqinlarda uzilish bo'lganda ularga nima bo'lganini analiz qilish uchun ishlatishga qulay hisoblanadi. To'siqni egib o'tgan to'lqinlarning to'siq ortidagi ko'rinmas joyda tarqalishi **diffraktsiya** deyiladi. Diffraktsiya faqat to'lqinlarda uchraydi, zarralarda bunday hodisa bo'lmaydi va bu hodisa yorug'likning o'ziga xos hislatidir.

5.23-rasmda ko'rsatilganidek to'siqlar orasi to'lqin uzunligidan kichik bo'lganda diffraktsiya yaqqol seziladi, agar to'siqlar orasi to'lqin uzunligidan katta bo'lsa, u holda diffraktsiya sezilmaydi. Yorug'likda diffraktsiya kuzatiladimi? O'n ettinchi asr o'rtalarida Franchesko Grimaldi (1618-1663) kichik teshikdan tushgan yorug'lik qarama qarshi tarafdagi devorda katta soya hosil qilishini kuzatgan. Yana u devorga tushgan yorug'likchetlari rangli chegaradan tashkil topganini kuzatgan. Grimaldi bularni yorug'lik diffraktsiyasiga mansubligini aytgan.

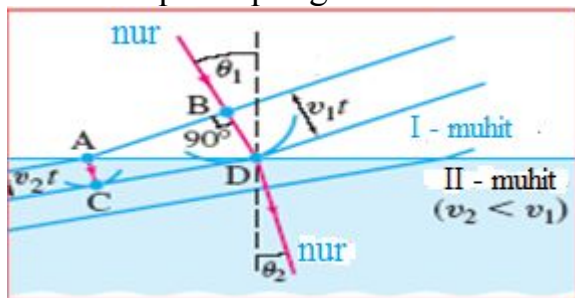
Yorug'likning to'lqin modelini diffraktsiyaga taalluqli deyish mumkin. Lekin nur modeli bunga taalluqli emas va nur modelini bunday kamchiliklarini bilish juda muhim hisoblanadi. Nur modelini ishlatadigan optik geometriya juda ko'p holatlarda yaxshi samara beradi, chunki to'siqlarorasidagi massofa(yoki tirqish kengligi)to'lqin uzunligidan katta, shuning uchun bularda juda kichik diffraktsiya hosil bo'ladi.

Yorug'likni qaytish va sinish qoidalari Nyuton davrida ham ma'lum edi. Yorug'likni qaytish qoidasi yuqorida keltirilgan ikkita nazariyani: "To'lqin va zarra",- ni farqlab berolmaydi. To'lqinlar to'siqqa borib urilganda, urilish burchagi qaytish burchagiga teng bo'ladi. Bu qoida jismlarga ham taalluqlidir, misol uchun tennis to'pini ma'lum burchakda devorga uloqtirsangiz, o'sha burchak ostida qaytadi.

Yorug'likning sinish qoidasi boshqa masala. Faraz qiling yorug'lik nuri, o'zining normalidan og'ganyo'nalishda muhitga kirmoqda, yani havodan suvga o'tmoqda. 5.23 rasmda ko'rsatilganidek, agar ikkinchi muhitdagi yorug'lik tezligini kamroq deb ta'savvur qilsak( $v_2 < v_1$ )bu bukilishni Gyuygens prinsipi orqali ko'rsatishimiz mumkin.  $t$  vaqt ichida AB to'lqin frontidagi B nuqta D nuqtaga etguncha  $v_1 t$  masofani bosib o'tadi. A nuqta esa C nuqtaga borguncha  $v_2 t$  masofani bosib o'tadi va  $v_2 t < v_1 t$ . Gyuygens prinsipi C va Dnuqtalardagi to'lqinchalarni aniqlash uchun A va B nuqtalarga qo'llaniladi. To'lqin fronti bu to'lqinchalarga urinma bo'ladi va yangi to'lqin fronti CD hosil bo'ladi. To'lqin frontiga perpendikulyar bo'lgan yorug'lik nuri rasmda ko'rsatilganidek normaldan og'adi. Nyuton yorug'likning zarra nazariyasi tarafdori bo'lgan va u ikkinchi muhitdagi tezlikni kattaroq deb hisoblagan. To'lqin nazariyasi esa buni aksini ko'rsatgan. 1850-yilda fratsuz fizigi Jan Fokalt suvdagi yorug'lik tezligini o'lchash uchun tajriba o'tkazgan va bu tajriba natijasi to'lqin nazariyasining



to'g'riligini bildirgan. Keyinchalik yorug'lik nazariyasi barcha olimlar tomonidan qabul qilingan.



5.23 – rasm. Gyuyens prinsipi.

Shnellning sinish qonuni Gyuyens prinsipiga asoslanib, o'sha muhitdagi yorug'lik tezligi vakumdagi yorug'lik tezligi  $s$  va sindirish ko'rsatkichi  $n$  bilan bog'liqdir, tenglama  $v = c/n$ . 5.23 - rasmda Gyuyens konstruksiyasiga asoslanib burchak ADCni  $\theta_2$  va burchak BAD ni  $\theta_1$  deymiz. O'shanda AD ikkita uchburchak uchun umumiy tomon bo'ladi va

$$\sin \theta_1 = \frac{v_1 t}{AD} \quad \sin \theta_2 = \frac{v_2 t}{AD}$$

Bu ikki tenglamani bir biriga bo'lsak bizda

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{hosil bo'ladi.}$$

Yuqoridagi tenglamaga asosan  $v_1 = c/n_1$  va  $v_2 = c/n_2$  shundan

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$  hosil bo'ladi, bu Shnellning sinish qoidasidir.

Yorug'lik bitta muhitdan boshqasiga o'tganda uning chastotasi o'zgarmasdan uning to'lqin uzunligi o'zgaradi. Buni 5.23-rasmda ko'rishimiz mumkin, havo rangdagi chiziqlar to'lqin frontini bildiradi. Va

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{v_2 t}{v_1 t} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.13)$$

tenglamaning ohirida  $v = c/n$  ishlatdik, agar  $n=1$  bo'lsa  $l_1 = l$  teng bo'ladi. Agar  $n$  ning qiymati o'zgarsa

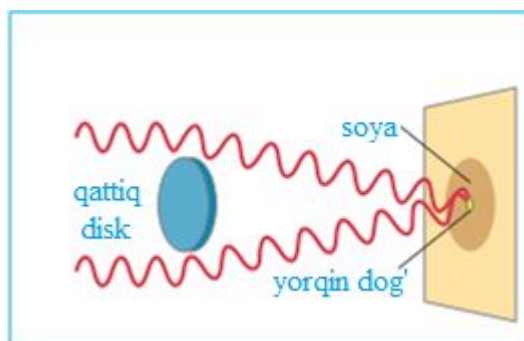
$$l_n = \frac{l}{n} \quad (5.14)$$

ga teng bo'ladi. Lekin chastota o'zgarmas bo'lib qoladi  $c = fl$ .

**Yagona tirqish yoki disk orqali diffraksiya.** Yungning ikkitirqishli tajribasi yorug'likning to'lqin nazariyasiga yangilik olib kirdi. Lekin, to'liq ushbu fikrning ma'qullanishi diffraksiyani o'rgangandan keyingina, o'n yildan keyin, 1810 va 1820 yillar orasida amalga oshdi.

Biz allaqachon diffraksiyani suv va yorug'lik to'liqlari bilan birgalikda qisqagina muxokama qildik. Biz diffraksiyani qirralar atrofida yoyilishi yoki og'ishini ko'rdik. Keling, batafsil o'rganib chiqaylik.

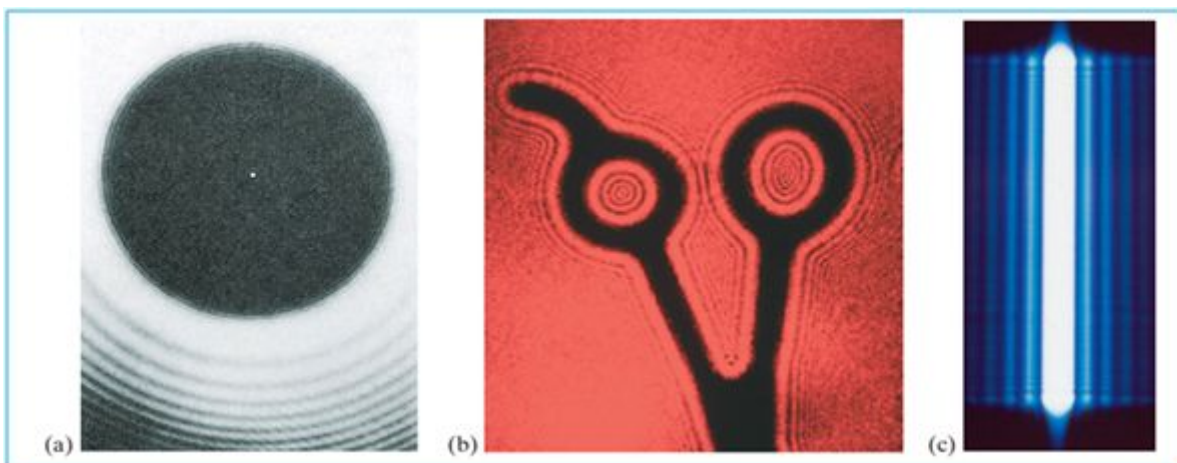
1819-yilda Avgustin Frenel (1788-1827) Fransiya akademiyasiga yorug'lik to'liqini nazariyasini taqdim qildi va interferensiya xamda diffraksiya effektlarini oldindan aytib, tushuntirib ham berdi. Deyarli shu zaxoti Simon Puasson (1781-1840) kutilmagan, mantiqqa zid hulosani aytib o'tdi: Frenelning to'liqin nazariyasi bo'yicha, agar nuqta manbadan chiqadigan yorug'lik qattiq diskka tushadigan bo'lsa, tushgan yorug'likning bir qismi qirralar atrofida yoyiladi va disk soyasining markaziga tushadi (5.24-rasm).



**5.24 – rasm.** Agar yorug'lik to'liqin bo'lsa, yorqin dog diskning soyasining markazida paydo bo'ladi.

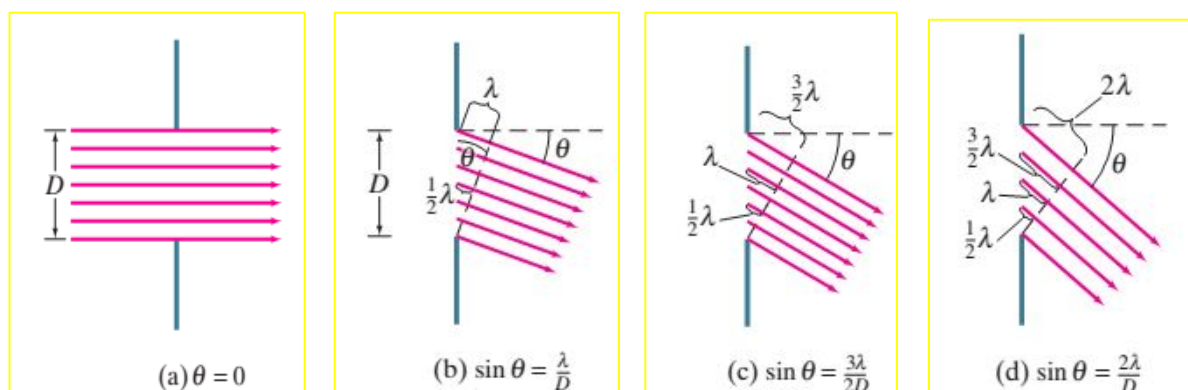
Ushbu bashorat xaqiqatga yaqin emas edi. Lekin, bu tajriba Fransua Arago tomonidan o'tkazilganda, yorqin dog' soyaning qoq markazida ko'ringani ma'lum bo'ldi (5.25a - rasm). Bu to'liqin nazariyasining kuchli isboti bo'ldi.

5.25a - rasmda tanganing soyasi yorug'likning nuqtaviy manbasi bo'lmish lazer tomonidan tushirilganini ko'rishimiz mumkin. Yorqin dog' markazda aniq tasvirlangan. Yorqin va qorongi chiziqlarni soya atrofida ko'rishimiz mumkin. Bular ikkilamchi-tirqishning interferensiya chiziqlariga o'xshaydi. Aslida ham, bular to'liqinlar interferensiyasi sabablidir, qaysiki to'liqinlar diskning tashqi qirralari atrofida sinadi va yo'llar (chiziqlar) guruxi diffraktogramma deyiladi. Diffraktogramma nuqtaviy manbadan yoritilgan istalgan o'tkir qirrali jism atrofida paydo bo'ladi, 5.25 b va s rasmlarda ko'rsatilgan. Biz har doim ham diffraksiyani sezmaymiz, chunki ko'plab yorug'lik manbalari hozirgi kunda nuqtaviy emas, shuning uchun manbaning turli qismlardan keladigan yorug'lik tasvirni "yuvib" tashlaydi.



**5.25 - rasm.** Diffraktogramma (a) dumaloq diskning (tanga), (b) qaychining, (c) yagona tirqish, har biri monoxromatik (faqatgina bir rangdan iborat) yorug'lik nuqtaviy manbasi orqali yoritilgan.

Diffraktogramma qanday qilib vujudga kelganini ko'rish uchun, biz monoxromatik (faqatgina bir rangdan iborat) nurni tor tirqishdan o'tishini muhim holatini kuzatamiz (5.25s rasmdagi kabi). Faraz qilaylik, nurning parallel chiziqlari (yassi to'lqinlari)  $D$  qalinlikdagi tirqish orqali juda uzoqdagi ko'rinadigan ekranga tushadi. Bizning suv to'lqinlarini va Gyuygens prinsipini o'rganganimiz orqali bilishimizcha, tirqish orqali o'tadigan to'lqinlar har yo'nalishga yoyilib ketadi. Biz hozir qanday qilib to'lqinlarning turli tirqish qismlaridan o'tishi orqali bir biri bilan kesishishini o'rganib chiqamiz.



**5.26 – rasm.**  $D$  kalinlikdagi tor tirqishdan o'tadigan nur orqali paydo bo'lgan diffraktogrammaning taxlili. (*Yorqin Qorong'i, Yorqin, Qorong'i*)

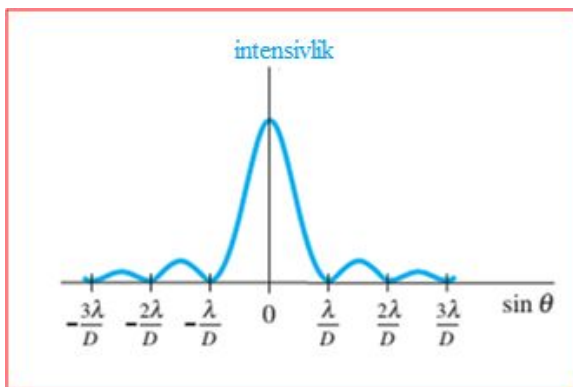
Monoxromatik yorug'likning parallel nurlari 5.26a - rasmda ko'rsatilganidek tor tirqishdan o'tadi.  $D$ qalinlikdagi tirqish nurning  $\lambda$  to'lqin uzunligi tartibi bo'yichadir, lekin tirqishning uzunligi (saxifaning ichkarisi va tashqarisi bo'ylab)  $\lambda$  qaraganda uzunroq bo'lishi mumkin. Yorug'lik nurlari juda uzoqdagi deb qaralgan ekranga tushadi, shuning uchun istalgan nuqtaga qaralgan nurlar

ekranda uchrashishidan oldinroq deyarli parallel bo‘ladi. Birinchi bo‘lib biz 5.26 rasmdagi kabi to‘g‘ri chiziqdek o‘tadigan nurlarni muhokama qilamiz. Ular hammasi bir fazada joylashgan bo‘lib, ekranning markazida bir yorqin dog‘ paydo qiladi (5.26s – rasimga qarang). 5.26b – rasmda biz  $\theta$  burchak ostida harakatlanaётgan nurlarni o‘rganamiz. Nurlar shunday  $\theta$  burchak ostida harakatlanadiki, tirqish tepasidan o‘tadigan nur tirqishning pastki qismidagi nurdan aniq bir to‘lqin uzunligi masofasi uzoqligida ekranga etib borish uchun harakatlanadi. Tirqishning ayni markazidan o‘tadigan nur esa tirqishning pastki qismidan o‘tadigan nurdan bir yarim to‘lqin uzunligi masofasi uzoqligida harakatlanadi. Ushbu ikki nurlar fazalari bo‘yicha bir biri bilan aniq mos kelmaydi va shuning uchun ham ekranda ustma ust tushishganda ular sust kesishadi. Pastdagidan sal tepada joylashgan nur markazdan shuncha masofa teparoqda joylashgan nur bilan qisqarib ketadi. Tirqishning pastki bo‘lagidan o‘tadigan har bir nur mos ravishda tepa bo‘lagidan o‘tadigan nur bilan yeyishib ketishadi. Shuning uchun ham, barcha nurlar juftlikda sust kesishadi va yorug‘lik intensivligi ushbu burchak ostida ekranda nolga teng bo‘ladi. Ushbu xodisa sodir bo‘ladigan  $\theta$  burchagi 5.26b – rasmda ko‘rinishi mumkin, qachonki  $\lambda = D \sin \theta$  bo‘lganda, va

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{D} [\text{birinchi minimum}] \quad (5.15)$$

Yorug‘lik intensivligi  $\theta = 0^\circ$  da maksimum bo‘ladi va 5.15 tenglamada berilgan  $\theta$  burchakda minimumga tushadi (intensivlik = nol).

5.25s – rasm bo‘yicha endi biz kattarok  $\theta$  burchakni o‘rganamiz, unda tirqish tepasidan o‘tadigan nur tirqishning pastki qismidagi nurdan  $3/2 \lambda$  masofa uzoqligida xarakatlanadi. Ushbu xolatda, tirqishning uchdan bir qismining pastidan o‘tadigan nurlar uchdan bir qismining o‘rtasidan o‘tadigan nurlar bilan juftlikda eyishib ketadi, chunki ular  $\lambda/2$  masofaga fazalari bo‘yicha mos tushmaydi. Biroq tirqishning uchdan bir qismining tepasidan o‘tadigan nurlar ekrangacha etib boradi, shuning uchun  $\sin \theta \approx 3\lambda/2D$  yaqinida markaziy yorqin dog‘ paydo bo‘ladi, lekin u  $\theta = 0^\circ$  xolatdagi kabi yorqin dog‘ bo‘lmaydi. hatto kattarok  $\theta$  burchak uchun tepa nur pastki nurdan  $2 \lambda$  to‘lqin uzunligi masofasi uzoqligida harakat qilsa ham, tirqishning to‘rt dan bir qismining pastidan o‘tadigan nurlar o‘sha qismning (to‘rt dan bir qismning) shundoq tepasidan o‘tadigan nurlar bilan juftlikda yeyishib ketadi, chunki yo‘l uzunliklari  $\lambda /2$  ga farq qiladi va yana tirqishning to‘rt dan bir qismining shundoq markazining tepasidan o‘tadigan nurlar o‘sha qismning (to‘rt dan bir qismning) shundoq tepasidan o‘tadigan nurlar bilan eyishib ketadi. Ushbu burchakda yana diffraktogrammada minimum nol intensivligi kuzatiladi.



**5.27 - rasm.** Intensivlik yagona tirqish diffraksiya diagrammasida  $\sin \theta$  funksiyasidir. Markaziy maksimum xar bir tomondagi maksimumlarga qaraganda faqatgina katta emas, balki ikki barobar kengroq xamdir ( $2\lambda/D$ ), boshqalariga nisbatan (xar biri  $\lambda/D$  kengligida)

Burchak funksiyasi bo‘lgan intensivlik grafigi 5.27 – rasmda ko‘rsatilgan. Bu 21-6s rasm bilan o‘zaro mos tushadi. Axamiyat bering, minimumlar (nol intensivlik) markazning ikkala tomonida xam uchrab turadi:

$$d \sin \theta = m\lambda, m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, [\text{minimumlar}]$$

(5.16)

lekin  $m = 0$  da uchramaydi, sababi bu erda u eng yuqori maksimumga erishadi. Minimumlar orasida, kichik intensivlikda maksimumlar uchraydi, taxminan  $m \approx 3/2, 5/2, \dots$  masofalarda.

Diffraktogrammada minimumlar, 5.26 – rasm, ikkitirqishli interferensiyasidagi maksimumlar (yorqin dog‘lar) ga juda ham o‘xshab ketadi, 5.16 tenglama.

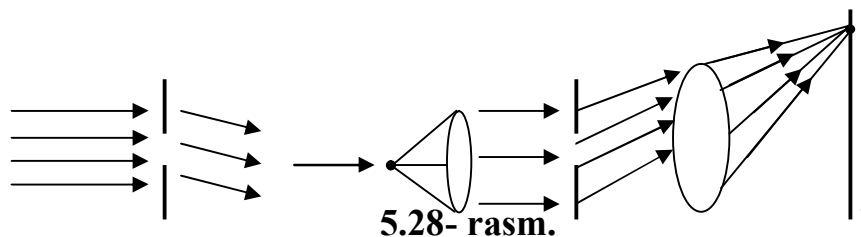
#### Nazorat savollari.

1. Yorug‘lik diffraksiyasi qanday fizik hodisa.
2. Frenel zonalar uslubi nima maqsadda kiritilgan.
3. Zonalardan foydalanishning xususiyatini tushuntiring.
4. Natijaviy amplituda qiymati qanday izohlanadi.
5. Frenel zonasining radiusi qanday ko‘ninishga ega.
6. Bir qo‘lingizni ko‘zingizga yaqinlashtirib va uzoqda turgan yorug‘lik manbasini ikkala barmog‘ingiz bilan hosil qilingan ingichka tirqishda fokuslang. (Barmoqlarni shunday joylashtiringki tiniq tasvir hosil bo‘lsin.) Siz ko‘rayotgan tasvirni tavsiflab bering.
7. Bitta tirqishdagi diffraksiya uchun, (a) tirqish kengligi ortishi, (b) to‘lqin uzunligining ortishi qanday effektlarni yuzaga keltiradi?
8. Kengligi (a) 60 nm, (b) 60000 nm bo‘lgan tirqishga oq yorug‘lik tushganda hosil bo‘lgan bir tirqishli diffraksiya manzarasini tushuntiring.
9. Agar qurilmaga havo o‘rniga (a) suv, (b) vakuum ishlatilsa, bir tirqishning diffraksion manzarasi qanday o‘zgaradi?

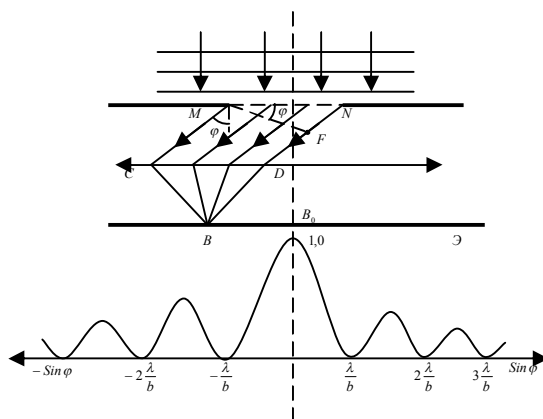
10. Orasidagi masofa  $10^{-4} \text{ sm}$  bo'lgan ikkita tirqish va  $10^4 \text{ tirqish/sm}$  li difraksion panjarada hosil qilingan interferensiyon manzaralarning farqi nimada?
11. Difraksion panjara uchun qaysi biri muhimroq (a) ko'p tirqishga ega bo'lishi, (b) juda yaqin joylashgan tirqishlarga ega bo'lishi?
12. Oq yorug'lik (a) difraksion panjaraga va (b) prizmagaga tushmoqda. Ikkala holatda ham gorizontal tushayotgan nur yo'nalishidan sal pastroqdagi devorda kamalak hosil qiladi. Har ikki holatda, kamalakning eng yuqori qismidagi rang qaysi?
13. Qutblanish bizga yorug'likning qaysi tabiatini tushuntirib beradi?
14. Qutblovchi ko'zoynakning oddiy ko'zoynakdan afzalligini tushuntiring.
15. Ikkita ko'zoynakning qutblovchi yoki qutblovchi emasligini qanday aytish mumkin?
16. Agar Erning atmosferasi bo'lmaganda, osmon qaysi rangda ko'rinardi?

## 5.4 - §. Yorug'lik difraksiyasi turlari va dispersiyasi

**Fraunhofer difraksiyasi.** Nemis fizigi I.Fraunhofer (1787-1826) parallel nurlarning difraksiyasini ko'rib chiqdi, bunda difraksion manzara to'siqdan cheksiz uzoqlikda joylashgan nuqtada kuzatiladi. Bunday difraksiyani kuzatish uchun yorug'lik manbaini linzaning fokusiga va ekranni to'siqdan keyin o'rnatilgan linzaning fokal tekisligiga joylashtirish kifoya 5.28 – rasm.



**Tirqishda Fraunhofer difraksiyasi.** Kengligi  $MN = b$  bo'lgan tirqishga perpendikulyar yo'nalishda monoxromatik yorug'lik tushayapti deb hisoblaylik(5.29 – rasm). Tirqishning ikki chetidan  $\varphi$  burchak ostida tarqayotgan  $MC$  va  $ND$  nurlarning yo'l farqi quyidagiga teng.



**5.29 – rasm.**

$$\Delta = NF = b \sin \varphi \quad (5.17)$$

$MN$  tirqishni tirqish qirrasiga parallel bo'lgan polosalar(zonalarga) bo'lamiz. Bu zonalarning kengligi shunday olinadi-ki,ularning chetlaridan tarqayotgan nurlarning yo'l farqi  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng bo'lishi kerak, boshqacha ayitganda tirqish kengligida ( $\Delta : \frac{\lambda}{2}$ ) ta zona bo'ladi. Tushayotgan yoruglik fronti tirqish tekisligiga parallel bo'lgani uchun ikkilamchi nurlarning ham fazalari va amplitudalari bir xil bo'ladi.



(5.17) dan ko‘rinib turibdiki, zonalar soni burchak  $\varphi$  ga bog‘liq. Zonalar soniga esa ikkilamchi to‘lqinlarning interferensiya natijasi bog‘liq. Qo‘shni ikki zonadan kelgan ikkilamchi to‘lqinlar bir-birini susaytiradi (yo‘l farqi  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng bo‘lganligi uchun). Demak Frenel zonalarining soni juft bo‘lsa yoki:

$$b \sin \varphi = \pm(2m) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (5.18)$$

bo‘lsa, B nuqtada difraksion minimum kuzatiladi. Agar zonalar soni toq bo‘lsa, B nuqtada difraksion maksimum kuzatiladi:

$$b \sin \varphi = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (5.19)$$

$\varphi = 0$  yo‘nalishda tirqish bitta Frenel zonasidek ishlaydi, shuning uchun  $B_0$  nuqtasida markaziy difraksion maksimum kuzatiladi.

Maksimumlar joylashgan joy  $\varphi$  ga bog‘liq. Shuning uchun 5.29 – rasmda chizilgan manzara monoxromatik nur uchun chizilgan. Oq nurda chetdagi maksimumlar rangli bo‘ladi.

**Difraksion panjara.** Teng intervallardan iborat ko‘p sonli parallel tirqishlar diffraksiya panjarasi deyiladi, garchi «interferensiya panjarasi» termini to‘g‘ri kelgan taqdirda ham. Panjaralar parallel chiziqlardan iborat aniq ishlov yo‘llari orqali shishadan qilingan plastinkadan yasaladi. Chiziqlar orasidagi tegilmagan oralar tirqishlar bo‘lib xizmat qiladi. Dastlabki panjaraning fotografik shaffofligi arzon panjaralarni tayyorlashga yordam beradi. Har bir santimetrga 10,000 chiziqlardan yoki tirqishlardan iborat panjaralar keng tarqalgan bo‘lib, to‘lqin uzunliklarini aniq o‘lchash uchun juda ham foydalidir. Tirqishlardan iborat diffraksiya panjarasi *shaffof (o‘tkazuvchi) diffraksiya panjarasi* deyiladi. Difraksiya panjarasining boshqa bir turi *aks etuvchi diffraksiya panjarasi* bo‘lib, metal yoki shishadan qilingan yuzada yuritilgan chiziqlar orqali nurning aks etishidan paydo bo‘ladi. Bu tahlil shaffof diffraksiya panjarasi uchun ham bir xil va biz buni hozir muhokama qilamiz.

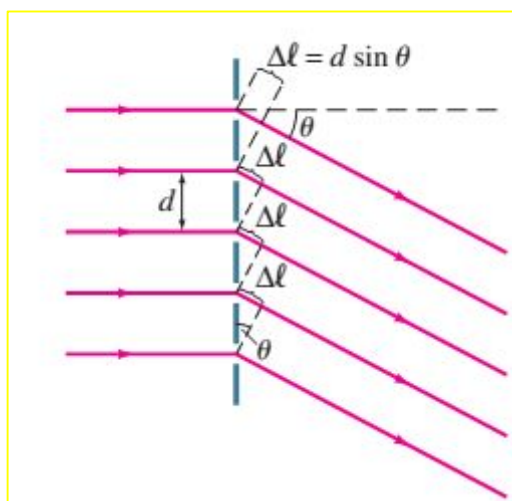
Difraksiya panjarasining tahlili Yungning ikkitirqishli tajribasiga juda xam o‘xshashdir. 5.30 – rasmda ko‘ra yorug‘likning parallel nurlari panjara bo‘ylab tushayotganini ko‘rishimiz mumkin. Tirqishlar etarlicha tor joylashgan bo‘lib, har birining orasidagi diffraksiya yorug‘lik nurini panjaradan uzoqdagi ekranga katta burchak orqali yoyilishiga imkon beradi, va boshqa hamma tirqishlardan o‘tadigan yorug‘lik nuri bilan interferensiya paydo bo‘lishi mumkin. Har bir tirqishdan har qanday og‘ishlarsiz ( $\theta = 0$ ) o‘tadigan yorug‘lik nurlari ekranning markazida maksimum yorqinlikni amalga oshirish uchun kuchayuvchi (konstruktiv) tarzda kesishadi. Konstruktiv interferensiya shunday  $\theta$  burchagi ostida xam paydo bo‘lishi mumkinki, unda qo‘shni tirqishlardan o‘tadigan nurlar qo‘shimcha masofa  $\Delta l = m\lambda$  ni bosib o‘tadi,  $m$  butun sonidir. Agar  $d$  tirqishlar



orasidagi masofa bo'lsa, 5.30 – rasmdan ko'rinib turganidek  $\Delta l = d \sin \theta$  ga teng va

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \text{ [diffraksiya panjaraning asosiy maksimumi]} \quad (5.20)$$

bu maksimum yorug'lik mezonidir. Bu tenglama ikkilamchi-tirqish tenglamasi bilan bir xil va  $m$  diagrammaning tartibi deyiladi.

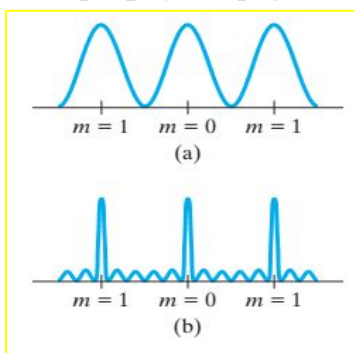


**5.30 – rasm.** Diffraksiya panjara

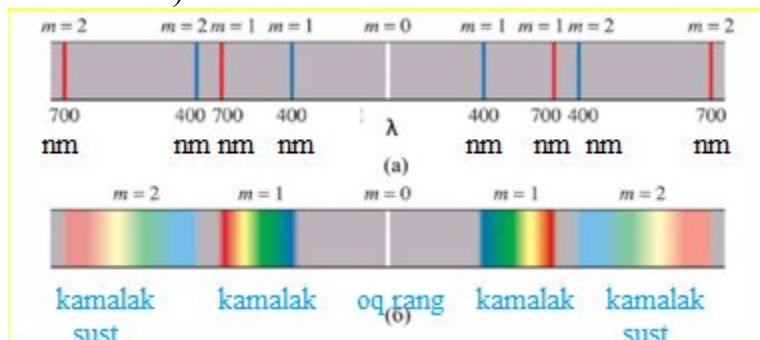
Ikki tirqishli va ko'plik-tirqishlari diagrammalari orasida muxim bir farq bor. Panjara uchun maksimum yorug'lik o'tkirroq va torroq bo'ladi. Nima uchun? Faraz qiling, 5.30 - rasmdagi  $\theta$  burchak maksimum uchun kerakli  $\theta$  burchakka oshdi. Faqatgina ikki tirqish uchun, ikki to'lqin fazadan ozgina chiqib ketadi, shuning uchun deyarli to'liq

konstruktiv interferensiya sodir bo'ladi. Bu maksimumlar etarli darajada keng deganidir. Panjara uchun, ikki qo'shni tirqishlardan o'tadigan to'lqinlar fazadan ahamiyatli darajada chiqib ketmaydi. Lekin bir tirqishdan chiqadigan to'lqinlar va yuzlab tirqishlar uzoqligidagi boshqa ikkinchi tirqishdan chiqadigan to'lqinlar aniq fazadan chiqib ketishi mumkin; barcha yoki deyarli barcha nurlar bunday juftliklarda qisqarib ketishi mumkin. Masalan, faraz qiling  $\theta$  o'zining birinchi tartibli maksimumidan salgina farq qiladi, va qo'shni juft tirqishlar uchun qo'shimcha masofa uzunligi  $\lambda$  emas, balki  $1.0010\lambda$  ga teng bo'ladi. Bir tirqishdan va ikkinchisi 500 ta tirqish pastroqdan o'tadigan to'lqin  $1\lambda + (500)(0.0010\lambda) = 1.5000\lambda$  masofa farqiga ega bo'ladi, ekinchi to'lqin uzunligiga, shuning uchun ikkalasi fazadan tashqarida bo'ladi va yo'q bo'lib ketishadi. Tirqishlar juftligi, har biridan bitta pastroqdagilari ham o'z o'zidan qisqarib ketishadi. Bu degani, masalan birinchi tirqishdan chiqadigan nur 501-tirqishdan chiqadigan nur bilan qisqarib ketadi; ikkinchi tirqishdan chiqadigan nur 502-tirqishdan chiqadigan nur bilan qisqarib ketadi va hokazo. Shuning uchun ham, hatto  $1/1000\lambda$  uzunlikdagi qo'shimcha masofaga mos keluvchi kichik burchak uchun susaytiruvchi interferensiya mavjud va diffraksiya panjarasining maksimumlari juda xam tordir. Panjarada qancha ko'p tirqishlar bo'lsa, uning uchlari shuncha o'tkir bo'ladi (5.31- rasmni ko'ring). Chunki panjara faqatgina ikki tirqishlardan ko'ra ko'prok o'tkir maksimumlar va yorqinroq maksimumlar ishlab chiqaradi, chunki qancha tirqishlar ko'p bo'lsa panjara shuncha yuqori aniqligda to'lqinlarni o'lchaydigan asbob bo'ladi.

Faraz qiling, diffraksiya panjarasiga urilaetgan nur monoxromatik (faqatgina bir rangdan iborat) emas, balki ikki va undan ortiq turli to‘lqin uzunliklaridan iborat.  $m = 0$  tartibdan farqli boshqa tartiblar uchun har bir to‘lqin uzunligi turli xil burchak ostida maksimum ishlab chiqaradi, ekranda chiziqni paydo qilgan holda (5.32 – rasm).



**5.31 – rasm.** Intensivlik ko‘rinadigan burchak  $\theta$  funksiyasi (eki ekrandagi joylashuvi), (a) ikki tirqish uchun, (b) olti tirqish uchun. Diffraksiya panjarasi uchun, tirqishlar soni juda ham katta ( $=10^4$ ) va uchlari torroq.



**5.32 – rasm.** Diffraksion panjarada spektrlarga ajratilgan yorug‘lik: (a) 400 va 700 nmli ikkita to‘lqin uzunliklar; (b) Oq yorug‘lik. Birinchi tartibli interferensiyaga nisbatan ikkinchi tartibli intensivligi sustroq. (Bu yerda yuqori tartiblar ko‘rsatilmagan). Agar panjara davri etarlicha kichik bo‘lsa, ikkinchi va yuqori tartiblar spektrda kuzatilmagan bo‘lardi. Agar oq yorug‘lik panjaraga tushsa, markaziy maksimum ( $m=0$ ) keskin oq chiziq bo‘ladi. Biroq boshqa barcha tartiblar uchun. Chunki, diffraksion panjara yorug‘likni to‘lqin uzunliklar komponentalarga ajratadi, natijada esa spektr deb nomlanadi.

**Diffraksion panjarada Fraunhofer diffraksiyasi.** Diffraksion panjara bir-biridan bir xil masofada joylashgan, bir-biriga parallel bo‘lgan va bitta tekislikda yotgan tirqishlardan iborat qurilmadir (5.30-rasm). Panjarada kuzatiladigan diffraksion manzara hamma tirqishlardan keladigan kogerent to‘lqinlarning o‘zaro interferensiyasi natijasida hosil bo‘ladi.

Misol tariqasida ikki tirqishdan ( $MC$  va  $ND$ ) iborat diffraksion panjaradagi parallel nurlar diffraksiyasini ko‘rib chiqamiz. Tirqish kengligi  $b$  tirqishlar orasidagi no-shaffof qism kengligi  $a$ ,  $d = a + b$  kattalikni diffraksion panjaraning doimiysi (davri) deb ataladi. Tirqishlar bir-biridan bir xil masofada joylashganlari uchun qo‘shni tirqishlardan tarqayotgan nurlarning yo‘l farqi teng.

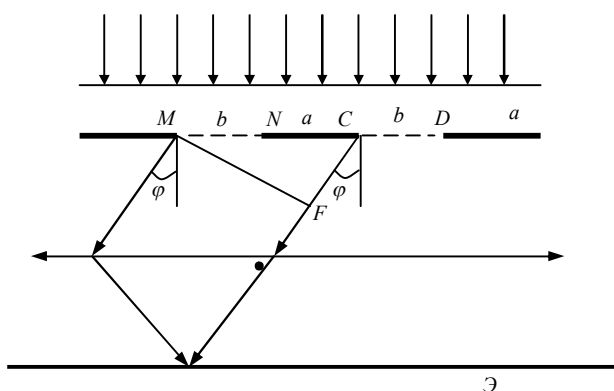
$$\Delta = CF = (a + b) \sin \varphi = d \sin \varphi \quad (5.21)$$

Har bitta tirqishning berayotgan minimumi bir xil joyda bo‘ladi, tirqishning o‘z-o‘ziga parallel siljishi bunga tasir qilmaydi:

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (5.22)$$

Bundan tashqari, ikki tirqishdan kelayotgan nurlar qo‘shimcha minimumlar berishi mumkin. Bu minimumlar  $\frac{\lambda}{2}$ ,  $3\frac{\lambda}{2}$ ..... larga teng yo‘l farqi hosil bo‘ladigan yo‘nalishlarda kuzatiladi, masalan tirqishlarning chap tomondagi chetidan chiqqan nurlar. Demak, qo‘shimcha minimumlar sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.23)$$



5.33 – rasm.

Lekin bir tirqishning nurlarini ikkinchi tirqishning nurlari quyidagi shart bajarilganda kuchaytiradi (bosh maksimumlar sharti):

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.24)$$

Demak, to‘liq difraksiyon manzara quyidagi shartlarga asoslanadi:

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 1, 2, 3) \quad \text{bosh minimumlar}$$

$$d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \text{qo‘shimcha minimumlar}$$

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad \text{bosh maksimumlar}$$

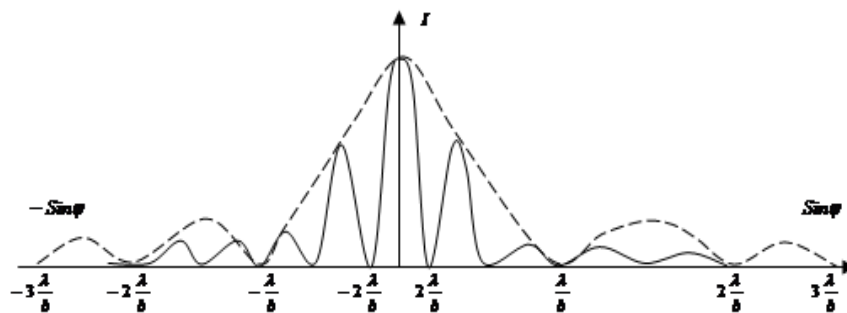
Bularni boshqacha yozamiz:

$$\text{Avvalgi (bitti tirqishdan) minimumlar} \quad b \sin \varphi = \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda$$

$$\text{Ko‘shimcha minimumlar} \quad d \sin \varphi = \frac{\lambda}{2} \quad \frac{3\lambda}{2} \quad \frac{5\lambda}{2}$$

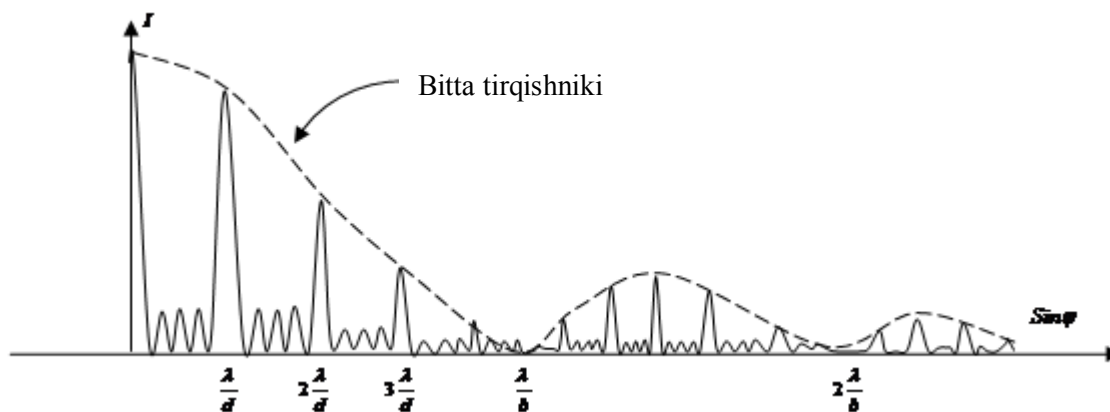
$$\text{Bosh maksimumlar} \quad d \sin \varphi = \lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda$$

5.34-rasmda ikki tirqishda kuzatiladigan interferensiya manzarasi ko‘rsatilgan:



5.34 – rasm.

Tirqishlarning soni  $N$  ta bo'lsa, biz bunday qurilmani difraksiyon panjara deyviz. 5.34 – rasmda difraksiyon panjaradagi interferensiya manzarasi ko'rsatilgan:



5.34-rasm.

Endi  $N$  tirqish uchun quyidagi shartlar bajariladi:

Avvalgi minimumlar:  $b \sin \varphi = \lambda \quad 2\lambda$

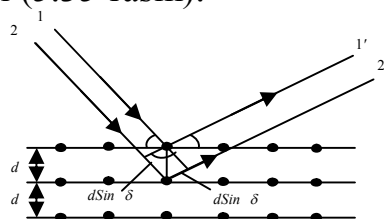
Bosh maksimumlar:  $d \sin \varphi = 0 \quad \lambda \quad 2\lambda$

Qo'shimcha minimumlar:  $d \sin \varphi = \frac{\lambda}{N}, \frac{2\lambda}{N}, \dots, N-1 \frac{\lambda}{N}, \dots, N+1 \frac{\lambda}{N}, \dots$

Boshqacha aytganda, ikki qo'shni maksimumlar o'rtasida  $(N-1)$  ta qo'shimcha minimumlar joylashadi.

**Rentgen nurlari difraksiyasi. Vulf-Bregg formulasi.** Difraksiyon manzarani kuzatish uchun panjara doimiysi va to'liq uzunligi bilan deyarli bir xil bo'lishi kerak:  $d \approx \lambda$ . Kristallar uch o'lchamli fazoviy panjaralardir, ularning panjara doimiysi  $10^{-10}$  m atrofida, shuning uchun optik diapazonda ( $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-7}$  m) difraksiya kuzatilishi mumkin emas. Lekin rentgen nurlari ( $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-8} \div 10^{-12}$  m) buning uchun juda mos kelishi mumkin, bu fikrni birinchi marta nemis fizigi M.Laue (1879-1960) aytgan.

Rentgen nurlarining kristall panjarasidagi difraksiyasini oddiy yo‘l bilan hisoblashni birinchi marta G.V.Vulf (1863-1425) va ingliz olimlari Bregglar (1862-1942-otasi va (1890-1971) taklif etishgan. Ularning fikri bo‘yicha, rentgen nurlari difraksiyasi kristall panjaralarida atomlar yotgan tekisliklardan qaytish natijasida yuz beradi (5.35-rasm):



5.35 – rasm.

Kristallografik tekisliklar bir-biridan  $d$  masofada joylashgan, parallel rentgen nurlari esa shu tekislikka  $\theta$  burchagi ostida tushayapti. Bu nurlar atomlar bilan ta'sirlashib ikkilamchi kogerent nurlarni ( $1'$  va  $2'$ ) hosil qiladi,

Ular esa o'z navbatida o'zaro interferensiya qiladi. Interferension maksimumlar  $1'$  va  $2'$  nurlar o'rtasidagi yo'l farqi  $\Delta m \lambda$  ga teng bo'lsagina kuzatiladi.

$$\Delta = 2d \sin \theta = m \lambda \quad (5.25)$$

Bu munosabat Vulf –Bregg formulasi deb ataladi. Demak, difraksiya tushish burchagi ma'lum qiymatga teng bo'lsagina kuzatilar ekan. Bu formula ikki muhim narsani aniqlashga yordam beradi.

Agar tushish burchagi  $\theta, m$  va  $\lambda$  ma'lum bo'lsa, bu formula orqali panjara doimiysi  $d$  ni aniqlash mumkin, boshqacha ayitganda, kristallning strukturasi o'rganish mumkin Bu metod rentgenostruktura analizi deb ataladi.

Agar panjara doimiysi  $d$  ma'lum bo'lsa,  $\theta$  va  $m$  larni difraksion manzaradan o'lchab olib rentgen nurining to'lqin uzunligi  $\lambda$  ni topish mumkin. Bu usul rentgen spektroskopiyasi degan yo'nalishning asosida yotadi.

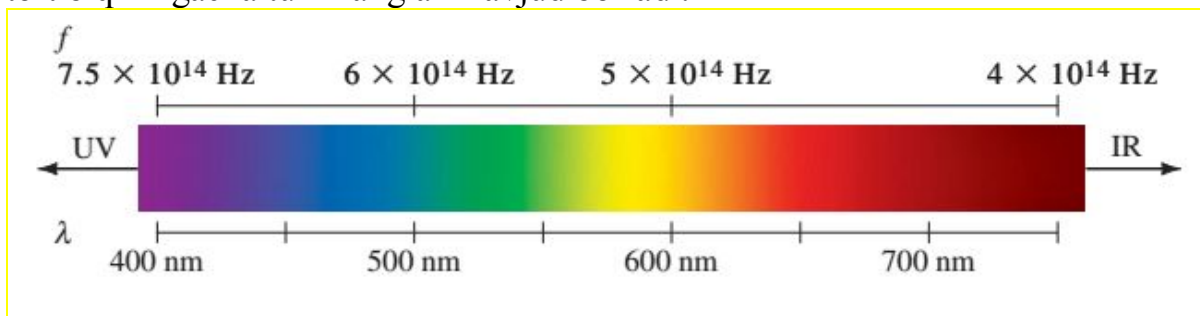
**Yoruglik dispersiyasi.** Modda sindirish ko'rsatkichining yorug'lik chastotasiga (to'lqin uzunligi  $\lambda$  ga) bog'liq bo'lishligi dispersiya deb ataladi:  $n = n(\lambda)$ . Nazariya shuni ko'rsatadiki,  $n$  quyidagi ko'rinishga ega ekan:

$$n^2 = 1 + \frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m \omega_0^2 - \omega^2} \quad (5.26)$$

$\epsilon_0$  - elektr doimiysi,  $e$  - elektron zaryadi,  $m$  - elektron massasi,  $n_0$  - moddadagi atomlar konsentratsiyasi,  $\omega_0$  - atomdagi elektronning rezonans chastotasi,  $\omega$  - yorug'lik chastotasi.

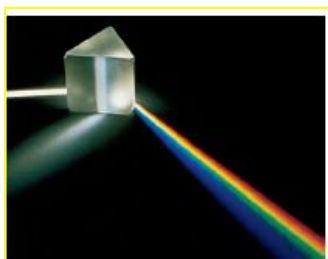
Yorug'likning to'lqin nazariyasidagi yozilgan yorug'likning ikki muxim xususiyatlari bu: intensivlik (yoki yorqinlik) va rang. Birlik yuzadagi birlik vaqtda o'tgan energiya yorug'lik intensivligi deb ataladi, va xar qanday to'lqin kabi, to'lqinning amplitudasi kvadrati bilan bogliq. Rang yorug'likning chastotasiga eki yorug'likning  $\lambda$  to'lqin uzunligiga bogliq. Bizning ko'zlarimiz seza oladigan, ko'rinadigan yorug'lik chastotasi  $4 \cdot 10^{14}$  Hz dan  $7.5 \cdot 10^{14}$  Hz orasida bo'ladi, xavoda to'lqin uzunliklari 400 nm dan 750 nm gacha bo'ladi. Bu ko'zga

ko‘rinadigan spektr deyiladi va 5.36 - rasmda ko‘rsatilganidek unda binafshadan tortib qizil gacha turli ranglar mavjud bo‘ladi.



**5.36 – rasm.** Ko‘zga ko‘rinadigan yorug‘lik spektri, havodagi turli ranglarning to‘lqin uzunliklari va chastota darajalarini ko‘rsatadi.

To‘lqin uzunligi 400 nm (= binafsha) dan kichik bo‘lgan (xavoda) yorug‘lik ultrabinafsha (UB) deyiladi, va to‘lqin uzunligi 750 nm (=qizil) dan uzun bo‘lgan yorug‘lik infraqizil (IQ) deb ataladi. Garchi inson ko‘zi UB va IQ ni sezmasa ham, ba‘zi-bir fotografik filmlar va detektorlar uni sezadi. 5.37 – rasmda ko‘rsatilganidek prizma kamalakdagi oq rangni ajrata oladi. 5.38 – rasmda bir nechta materiallarda ko‘rsatilganidek, bu, materialning sindirish ko‘rsatkichi to‘lqin uzunligiga bogliq bo‘lgan holatda sodir bo‘ladi. Oq rang ko‘zga ko‘rinadigan barcha to‘lqin uzunliklarining aralashmasidan tashkil topgan bo‘ladi va prizma tushganda 5.39 – rasmdagi kabi bo‘ladi, turli uzunlikdagi to‘lqin uzunliklari turli darajada og‘gan bo‘ladi.



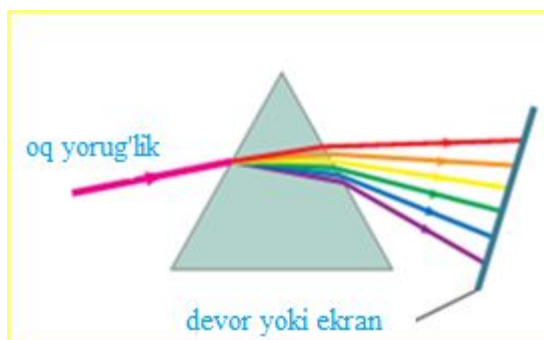
**5.37 – rasm.** Prizmadan o‘tuvchi oq yorug‘lik ranglarga ajraladi.



**5.38 – rasm.** Sindirish ko‘rsatkichi to‘lqin uzunligi funksiyasi bo‘yicha

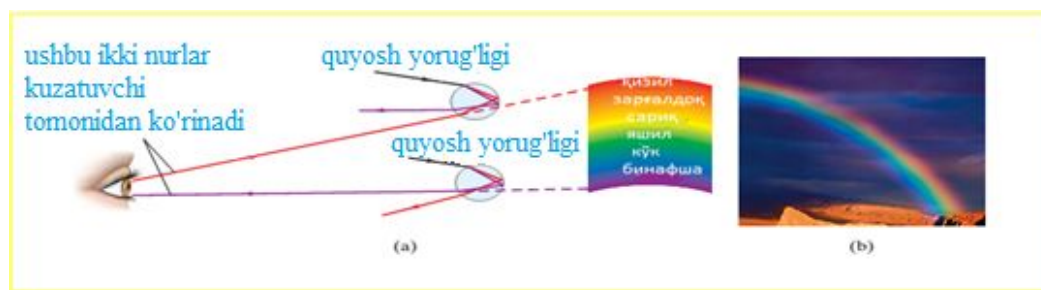
Kalta to‘lqin uzunliklari sindirish ko‘rsatkichi yuqori bo‘lgani uchun, 5.39 - rasmda ko‘rsatilganidek binafsha rang yorug‘liklar eng ko‘p sinuvchi va qizil rang yorug‘liklar eng kam sinuvchi hisoblanadi. To‘liq spektr ichi bo‘ylab oq yorug‘likni tarqalishi dispersiya deb ataladi. Tomchi suv kabi, kamalaklar dispersiyaga yaqqol misol bo‘la oladi. Siz tomayotgan suv tomchisiga orqangizda qesh turganda qarasangiz, kamalakni ko‘rishingiz mumkin.





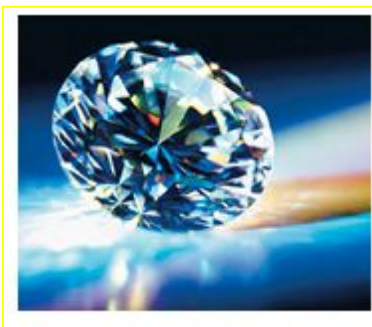
**5.39 – rasm.** Oq yorug'lik prizmada yoyilib, ko'rinadigan spektrga ajraldi.

5.40 – rasm qanday qilib qizil va binafsha rang nurlar sharsimon suv tomchisida egilishini va tomchi orqa yuzasidan aks berishini ko'rishingiz mumkin. Rasmda ko'rsatilganidek, qizil kamroq bukiladi va baland osmondagi tomchi orqali kuzatuvchini ko'ziga yetib keladi. Shuning uchun ham kamalakning eng yuqori qismi qizil rangda.



**5.40 - rasm.** (a) Nur diagrammasi qanday qilib kamalak paydo bo'lishini ko'rsatayapti, (b) kamalak

(5.41 – rasm) dispersiya birikmasi va ichki to'liq aksga erishganidan olmoslar yorqinlikka ko'rinadi. Chunki olmoslarning sindirish ko'rsatkichi juda yuqori bo'ladi, va to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi  $25^\circ$ . Olmos ichida yorug'lik spektrga dispersiyalanadi, shuning uchun olmos ichida  $25^\circ$  dan kichik bo'lganda yorug'lik olmos ichki yuzalarining ko'p qismiga kelib uriladi va ko'rinadi. Shunaqa akslarning ko'p takrorlanishidan so'ng, yorug'lik ranglari alohida ko'ra oladigan darajada etarli ko'p sayohat qilgan bo'ladi va olmosdan chiqqandan so'ng ko'zni yorqin qiladi (quvontiradi).



**5.41 - rasm.** Olmos

### Nazorat savollari

1. Fraunhofer difraksiyasi qanday nur uchun sodir bo'ladi.
2. Fraunhofer difraksiyasida maksimum va minimum shartlarini izohlang.
3. Difraksion panjara qanday qurilma.

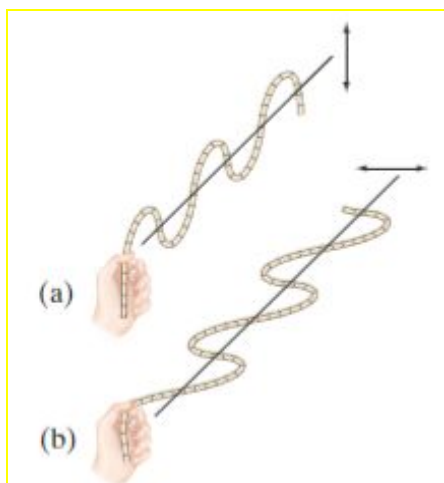


4. Difraksion panjaradan o'tgan nurlarning bir-birini kuchaytirish, susaytirish shartlarini bildiruvchi ifodani yozing.
5. Rentgen nurlari difraksiyasi qanday sharoitda ro'y beradi.
6. Normal va anomal dispersiya hodisalarini tushuntiring.
7. Yorug'lik nurining qanday xususiyatlari bor?
8. Yorug'lik moddada tarqalganda kanday hodisa yuz beradi?
9. Yorug'lik dispersiyasi deb nimaga aytiladi?
10. Elektron nazariyaga ko'ra sindirish ko'rsatkichi nimalarga bog'liq?
11. Normal dispersiya deb nimaga aytiladi ?
12. Anomal dispersiya deb nimaga aytiladi?

## 5.5 - §. Yorug'likning qutblanishi

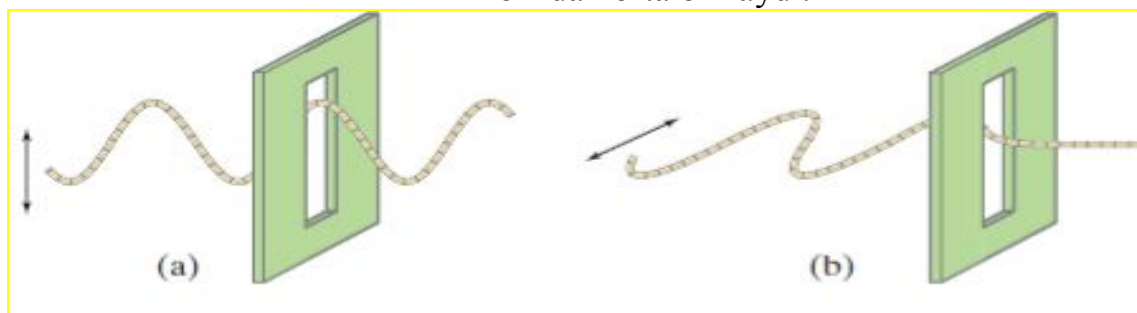


**Tabiiy va qutblangan yorug'lik.** Yorug'likning yana bir muhim va foydali xususiyati uni polarizatsiyalanishi mumkinligidadir. Bu nimani anglatishini ko'rish uchun keling arqonda tarqalayotgan to'qlinlarni qaraylik. Arqon vertikal tekislikda 5.42a - rasm yoki gorizontal tekislikda 5.42b - rasm tebranishi mumkin. Bunday holatda to'qlin **chiziqli qutublangan** yoxud **yassi qutublangan** deyishimiz mumkin – tebranishlar bir tekislikda ro'y bermoqda.



**5.42 – rasm.** Arqonda ko'ndalang to'qlinlar(a) vertikal tekislikda (b) gorizontal tekislikda qutublanih.

Agar to'qlinning yo'liga vertikal tirqishi bor to'siq joylashtirsak, 5.43 - rasm, vertikal qutublangan to'qlin vertikal tirqishdan bimalol o'ta oladi, lekin gorizontal qutublangan to'qlin esa yo'q. Agar gorizontal tirqish qo'yilsa, vertikal qutublanihga ega to'qlin o'ta olmaydi. Agar ikkala tirqish ham qo'llanilsa ikkala to'qlin ham biridan o'tib biridan o'ta olmaydi.

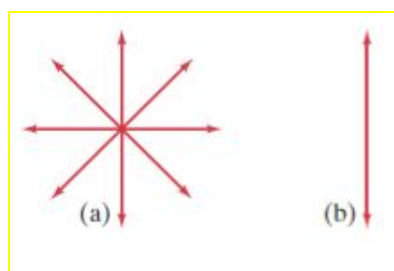


**5.43 - rasm.**(a) vertikal qutublangan to'qlin vertikal tirqish o'qdan o'tmoqda, lekin (b) gorizontal qutublanganini o'ta olmaydi.

Shuni ta'kidlasak qutublanish faqat ko'ndalang to'lqinlarda mavjud, tovush kabi bo'ylama to'lqinlarda esa mavjud emas. Faqat tebranma harakat yo'nalishidagi tirqish bo'ylab to'lqinlar o'ta oladi, boshqa orientatsiyadagi tirqish ularni to'xtatadi.

Elektromagnit to'lqinlar uchun Maksvellning nazariyasida elektromagnit to'lqin ko'ndalang to'lqin bo'lganda yorug'lik qutublangan bo'lishi mumkinligini oldindan aytib bergan. Yassi qutublangan elektromagnit to'lqinda qutublanish yo'nalishi elektr maydoni vektori  $\vec{E}$  yo'nalishida tanlab olingan.

Yorug'lik albatta qutublangan bo'ladi deyishimiz mumkin emas. Yorug'lik qutublanmagan bo'lishi mumkin, bu shuni anglatadiki bir vaqtning o'zida manba har xil tekislikdagi tebranishlarga ega, 5.44 – rasmda ko'rsatilgandek.

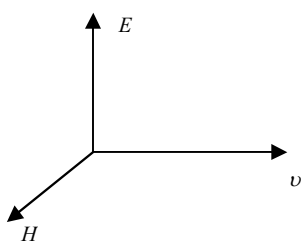


**5.44 – rasm.** (a) tabiiy yorug'lik, (b) qutublangan yorug'lik.

Oddiy lampochkalar Quyoshdan kelayotgan yorug'lik singari polarizatsiyalanmagan yorug'lik chiqaradi. Maksvell nazariyasidan shu narsa ma'lum bo'ladiki elektromagnit maydonni tashkil etuvchi elektr va magnit maydon kuchlanganliklari o'zaro

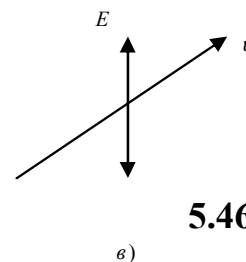
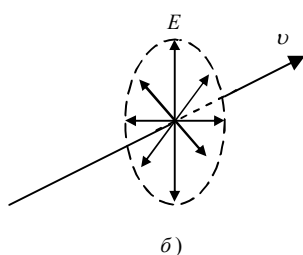
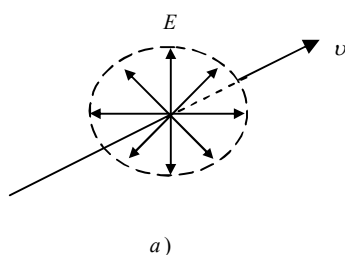
perpendikulyar bo'lib, ular o'z navbatida tarqalish tezligiga perpendikulyar yo'nalishda tebranadilar (5.45 – rasimga qarang).

Shuning uchun yorug'likning qutblanganlik holatini o'rganish uchun faqat bitta,  $\vec{E}$  yoki  $\vec{H}$ , vektorning tebranishini ko'rib chiqish etarli bo'ladi. Odatda nur haqida gap yuritilganda uning elektr maydoni kuchlanganligi  $E$  ko'zda tutiladi, chunki atomdagi elektronga bo'lgan ta'sirni asosan shu maydon ko'rsatadi.  $E$  vektorining tebranadigan tekisligini qutblanish tekisligi deb ataladi.



**5.45 – rasm.**

Yorug'lik ko'pgina atomlarning nurlatishdan hosil bo'ladi, atomlar esa bir – biriga bog'liq bo'lmagan holda nur chiqaradi, shuning uchun jismdan chiqayotgan yorug'likda har hil yo'nalishda tebranayotgan  $E$  vektorlari bo'ladi (5.46 – rasimga qarang).



**5.46 – rasm.**

Albatta, har bir atomdan chiqqan nur (yoki sug) qutblangan bo‘ladi, bu nurning E vektori bita o‘zgaras tekislikda yotib tebranadi. lekin atomlar ko‘p bo‘lganligi uchun ulardan chiqqan nurlarning qutblanish tekisliklari har xil bo‘ladi. Natijada, bunday yorug‘likda istalgan yo‘nalishda tebranayotgan E vektori bo‘lishi mumkin. Bunday yorug‘likni tabiiy yorug‘lik deb ataladi. Agar qandaydir tashqi ta‘sir natijasida yorug‘likdagi E vektorlar ma‘lum yo‘nalishda ko‘payib, boshqa yo‘nalishlarda kamayib qolsa, bunday yorug‘lik qisman qutblangan deb ataladi. Agar ta‘sir natijasida yorug‘likdagi E vektorlar faqat bir yo‘nalishda bo‘lib qolsa (demak faqat bita tekislikda tebranaboshlasa), bunday yorug‘likning tekis qutblangan (yoki chiziqli qutblangan) yorug‘lik deb ataladi (5.46v-rasm)

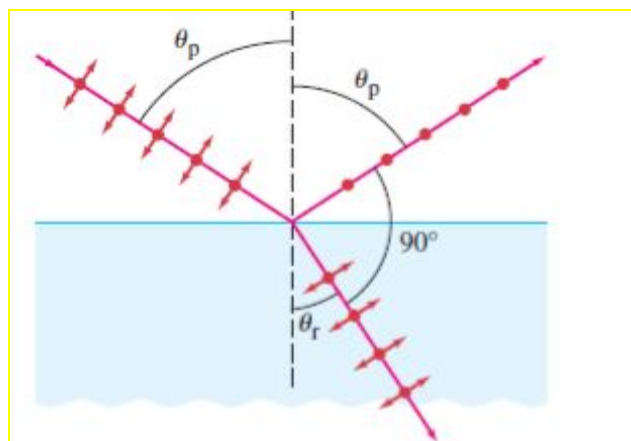
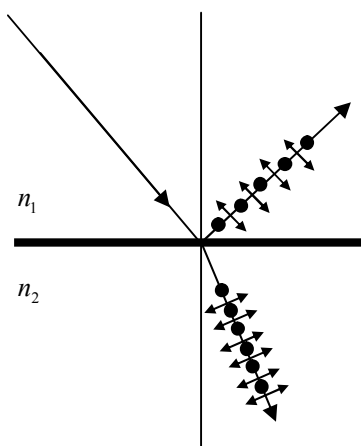
Qutblanganlik darajasi deb quyidagi parametr qabul qilingan:

$$P = \frac{I_{\text{мак}} - I_{\text{мин.}}}{I_{\text{мак}} + I_{\text{мин.}}} \quad (5.27)$$

Bu yerda  $I_{\text{мак}}$  va  $I_{\text{мин}}$  lar E vektorining bir – biriga perpendikulyar bo‘lgan komponentlariga tegishli yorug‘liklarning intensivligidir. Tabiiy nurga  $I_{\text{мак}} = I_{\text{мин}}$  va  $R = 0$ , tekis qutblangan nurda  $I_{\text{мин}} = 0$  va  $R = 1$ .

**Yorug‘likning qaytishi va sinishidagi qutblanishi.** Qutblangan yorug‘likni hosil qilishining yana bir boshqa uslubi bor – bu yorug‘likning qaytish va sinishda qutblanishi jarayoni.

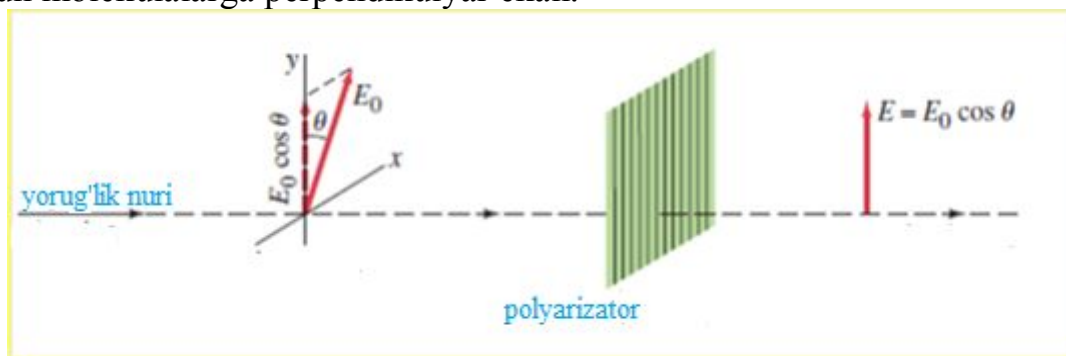
Agar tabiiy yorug‘lik ikki dielektrik chegarasiga (masalan, havo va shisha) tushsa, uning bir qismi qaytadi, qolgan qismi sinadi va ikkinchi muhitda tarqala boshlaydi. Polyarizator yordamida qaytgan va singan nurlar qisman qutblanib qolishi kuzatilgan. Tekshirishlar shuni ko‘rsatadiki, qaytgan nurning ko‘p qismida E vektor tushish tekisligiga perpendikulyar bo‘lar ekan (5.46-rasmda bu holat nuqtalar bilan ko‘rsatilgan), singan nurning ko‘p qismida E vektor bu tekislikka parallel bo‘lar ekan (5.46- rasmga qarang bu holat rasmda strelkalar bilan ko‘rsatilgan).



5.47 – rasm.

**Polyaroidlar (yutilishdagi qutublanish).** Polyarizatsiyalanmagan yorug‘likdan turmalin kabi ma’lum kristallar orqali yassi polyarizatsiyalangan yorug‘lik olish mumkin. Yoki odatda **polyaroid plyonka** ko‘p qo‘llaniladi. (Polyaroid materiallar 1929 - yilda Edvin Lend tomonidan kashf qilingan.) Polyaroid plyonkalar bir biriga parallel joylashgan uzun kompleks molekulalardan tashkil topgan. Bunday polyaroid polrizatsiyaning bir orientatsiyasini o‘tkazishda parallel tirqishlar kabi vazifani bajaradi. Bu yo‘nalish polyaroidning *o‘tkazish o‘qi* deb ataladi. Qutublanish bu yo‘nalishga perpendikulyar bo‘lsa, odatda yorug‘lik polyaroidda to‘liq yutiladi.

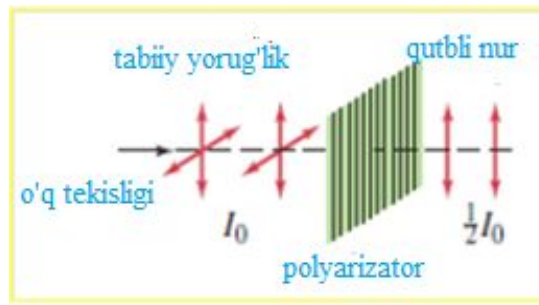
Polyaroidda yutilishni molekulyar sathlar bilan tushuntiriladi. Elektr maydoni  $\vec{E}$  uzun molekulalarga nisbatan parallel tebransa molekulalar bo‘ylab elektronlarni harakatga keltiradi, ularda ish bajariladi va energiya uzatiladi. Bundan, agar  $\vec{E}$  molekulalarga parallel tebransa yutiladi. Elektr maydoni  $\vec{E}$  uzun molkeulalarga perpendikulyar bo‘lsa, unda ish bajarish va energiya uzatilish ehtimolligi yo‘q, shuning uchun yorug‘lik polyaroiddan erkin o‘tadi. Polyaroidning *o‘tkazish o‘qi* haqida gapirganimizda biz polyaroiddan o‘tgan elektr maydoni  $\vec{E}$  yo‘nalishini nazarda tutamiz, shuning uchun Polyaroid o‘qi uzun molekulalarga perpendikulyar ekan.



**5.48 – rasm.** Vertikal polryaoid faqat to‘lqinning (elektr maydon)vertikal tashkil etuvchisini o‘tkazadi.

Agar yassi polyarizatsiyalangan yorug‘lik nuri Polyaroidga tushayotgan va o‘tkazish o‘qi tushayotgan polyarizatsiya yo‘nalishiga  $\theta$  burchak ostida bo‘lsa, yassi polyarizatsiyalangan nur polyaroidning o‘tkazish o‘qiga parallel bo‘ladi va  $E$  ning amplitudasi  $E_0 \cos \theta$  ga kamayadi, 5.48 – rasm. Shunday qilib, polyaroid faqat o‘tkazish o‘qiga parallel bo‘lgan poyarizatsiya (elektr maydon vektori,  $\vec{E}$ ) ning shu tashkil etuvchisini o‘tkazadi. Chunki yorug‘lik nurining intensivligi amplitudaning kvadratiga proporsional bo‘ladi, yassi polyarizatsiyalangan nurning intensivligi polyarizatoridan  $(E_0 \cos \theta)^2$  ga proporsional ravishda o‘tadi, bu munosabatni Malyus qonuni deyiladi,

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



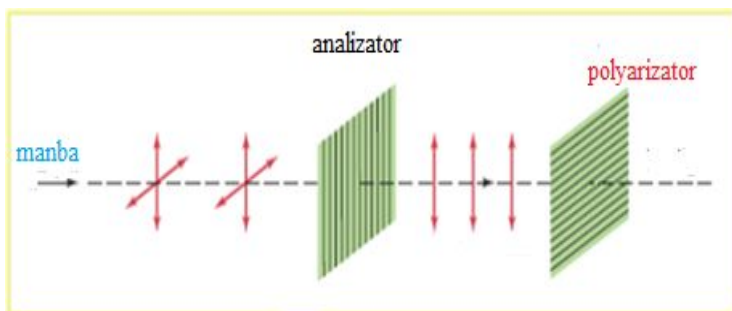
**5.49 – rasm.** Qutblangan yorug'lik bir xil intensivlikda vertikal va gorizontal tashkil etuvchilarga ega. Polarizatoridan o'tgandan keyin ularning bitta tashkil etuvchisi yo'qoladi. Yorug'lik intensivligi yarimga kamayadi.

Polyaroid analizator vazifasida yorug'lik polarizatsiyalanganmi va polarizatsiya tekisligini aniqlash uchun ham qo'llanilishi mumkin. Polyaroid unga ma'lum miqdorda yorug'lik uni o'qiga ixtiyoriy orientatsiya bilan tushganda analizator sifatida ishlaydi, agar yorug'lik polarizatsiyalanmagan bo'lsa; bir juft polyaroid ko'zoynaklarining bir oynasini lampochkaga qaragan holda buraganda. Agar yorug'lik polarizatsiyalangan bo'lsa, u holda polyaroidni buragan paytda polarizatsiya tekisligi polyaroidning o'tkazish o'qiga parallel bo'lganda o'tgan nur maksimum bo'ladi, perpendikulyar bo'lganda esa minimum bo'ladi. Agar shuni osmonga qarab bajarsak Quyosh yo'nalishiga to'g'ri burchak ostida osmon nuri polarizatsiyalanganini ko'rish mumkin. (Quyosh nuri polarizatsiyalanmagan, lekin polarizator bo'lishidan qat'iy nazar quyoshga tik qarash mumkin emas, ko'zni shikastlashi mumkin). Agar yorug'lik analizatoridan o'tganda polyaroid bir orientatsiya bo'yicha nolga tushadi, keyin yorug'lik 100% polarizatsiyalangan bo'ladi. Agar u minimuni hosil qilgan bo'lsa, yorug'lik qisman polarizatsiyalangan bo'ladi.

Polarizatsiyalanmagan yorug'lik tasodifiy yo'nalishda polarizatsiyalangan yorug'likdan tashkil topgan. Bu har bir polarizatsiya yo'nalishlari o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda ikkita tashkil etuvchilarga ajratish mumkin. Polarizatsiyalanmagan nurni o'rtacha bir xil qiymatga ega va o'zaro perpendikulyar polarizatsiyalangan nur deb qarashimiz mumkin. Polarizatsiyalanmagan nur polarizatoridan o'tganda bir tashkil etuvchisi o'tmaydi. Shunday qilib, tushayotgan yorug'likning intensivligi yarimga kamayadi, sababi yorug'likning yarmi o'tmaydi:  $I = \frac{1}{2} I_0$  (5.49 – rasm).

Ikkita polyaroid kesishsa, ya'ni ularning polarizatsiya o'qlari bir-biriga perpendikulyar bo'lsa-polarizatsiyalanmagan yorug'lik undan butunlay o'ta olmasligi mumkin. 23-9 rasmda ko'rsatilgandek, polarizatsiyalanmagan yorug'lik birinchi polyaroid (polarizator) dan o'tganda polarizatsiyalandi.

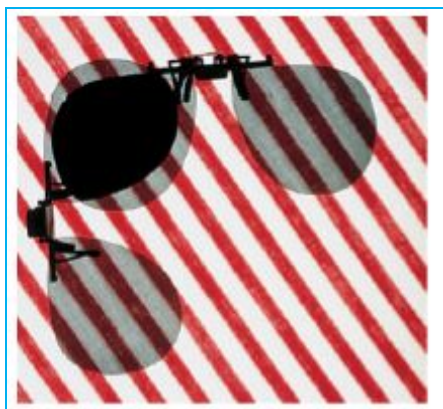




**5.50 –rasm.** Kesuvchi polyaroidlar yorug‘likni to‘liq o‘tkazmaydi

Ikkinchi polyaroid, analizator uning bu tashkil etuvchisini o‘tkazmaydi, uning o‘tkazish o‘qi birinchi polyaroidnikiga perpendikulyar.

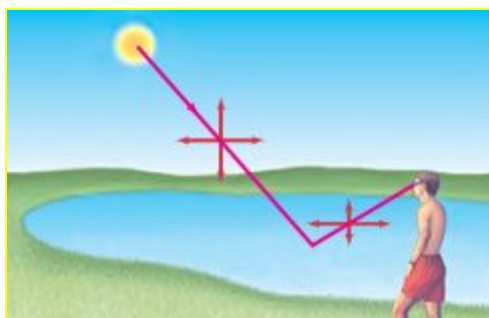
Siz buni quyosh nuridan saqlaydigan polaroid ko‘zoynaklar bilan sinab ko‘rishingiz mumkin (5.51 – rasm). Quyosh nuridan saqlaydigan polaroid ko‘zoynaklar 50% gacha qutblanmagan yorug‘lik nurini utkazmaydi, chunki ularda qutblash xususiyati bor; ular ranglarga bo‘yalganliklari uchun bundanda ko‘proq nurni yutishadi. Har qanday yo‘nalishdagi chiziqli-qutblangan nur xam kesishgan polaroidlar tomonidan to‘xtatib qolinadi.



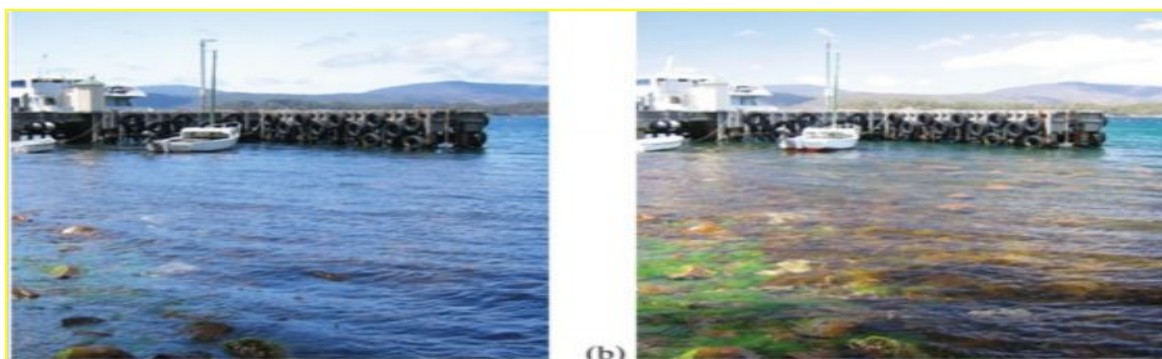
**5.51 – rasm.** Kesishgan polyaroidlar. Ikki quyosh nuridan saqlaydigan polyaroid ko‘zoynak linzalari ustma ust tushsa, o‘qlari bir biriga perpenduklyar holda, deyarli hech qanday yopug‘lik o‘tmaydi.

**Bryuster qonuni.** Qutblanmagan nurdan qutblangan nurni xosil qilishning boshqa yo‘li bu aks ta’siridir. Yorug‘lik nuri metallmas yuzaga perpendikulyar yo‘nalishdan tashqari istalgan burchak ostida kelib urilganda, qaytgan nur ko‘pincha yuzaga parallel tekislikda qutblanadi, 5.52 – rasm. Boshqa suz bilan aytganda, yuzaga perpendikulyar tekislikda qutblanish komponenti yuboriladi yoki yutiladi. Siz buni quyosh nuridan saqlaydigan polaroid ko‘zoynaklari orqali tekis daryoga yoki yo‘l yuzasiga ko‘zoynaklarni aylantirgan holda sinab ko‘rishingiz mumkin. Ko‘p tashqi yuzalar gorizontaal bo‘lganligi sababli, quyosh nuridan saqlaydigan polaroid ko‘zoynaklar o‘qlari qaytgan nurlarning gorizontaal komponentini yo‘qotish maqsadida vertikal ko‘rinishida qilinadi, va shu bilan yarqirashni kamaytiradi.





**5.52 – rasm.** Metallmas yuzadan qaytgan nur, masalan daryoning suvining sokin sathi, yuzaga parallel holda qisman qutblanadi.



**5.53 - rasm.** Ko‘lning foto rasmlari, (a) Barcha nurlarning kamera linzalari orqali utishi, va (b) polarizatorning ishlatilishi. Polarizator suv yuzasidan qaytayotgan nurni (qutblangan) ko‘p qismini yutish uchun qo‘llaniladi, ko‘lning tagidagi xira nurlarni va baliqlar bo‘lsa baliqlarni yaxshiroq ko‘rishga ruxsat beradi.

Baliq oviga boradigan odamlar ko‘l yuzasidan aks etadigan yarqiroq nurlarni yo‘qotish maqsadida Polaroid ko‘zoynaklarini taqib olishadi va shuning uchun xam suv tubini tiniqroq ko‘rishadi.

Qaytgan nurning qutblanish qiymati burchakka bog‘liq bo‘ladi, normal tushishdagi yo‘q qutblanishdan tortib **qutblanish burchagi**  $\theta_p$  deb ataladigan burchakda 100% qutblanishgacha o‘zgaradi. Ushbu burchak chegaraning ikkala tomonidagi ikki materialning sinish indeksiga bog‘liq:

$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.28) \quad \text{Bryuster qonuni}$$

$n_1$  bu xarakatdagi tushayotgan nurning manbai bo‘lmish materialning sinish indeksi,  $n_2$  esa aks etuvchi chegaraning buyog‘idagi muxitning sinish indeksidir. Agar nur xavoda xarakatlansa  $n_1 = 1$ , va 23.3a tenglama o‘zgaradi:

$$\tan \theta_p = n \quad (5.29)$$

Qutblanish burchagi  $\theta_p$  **Bryuster burchagi** ham deyiladi, tenglama Bryuster qonuni deyiladi, 1812-yil tajriba asosida ishlab chiqqan Shotlandiya fizigi Devid Bryuster (1781-1868) nomiga atalgan. 5.29 tenglamalar yorug‘likning elektromagnit to‘lqinlar nazariyasidan olingan. Bryuster burchagida aks etgan nur va singan nur bir biri bilan  $90^\circ$  burchak hosil qiladi; bu degani  $\theta_p + \theta_r = 90^\circ$ ,  $\theta_r$  bu sinish burchagi.

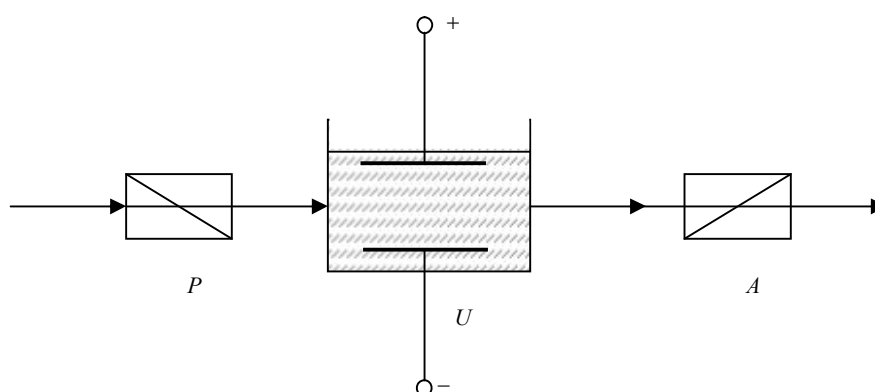
**Sun'iy anizotropiya.** Ikkilanib sinish faqat anizotrop muhitlarda bo'ladi. Lekin izotrop muhitlarda suniy usul bilan anizotropiya hosil qilish mumkin: bir yo'nalishda siqish yoki cho'zish, muhitlarni (qattiq jism, suyuqlik yoki gazni) elektr (Kerr effekti) yoki magnit maydonga kiritish. Keltirilgan holatlarda jism anizotrop kristall xususiyatlarga ega bo'lib qoladi. Bunda uning optik o'qi deformatsiya, elektr va magnit maydon yo'nalishiga parallel bo'lib qoladi. Paydo bo'ladigan optik anizotropiyaning me'yoriy sifatida optik o'qqa perpendikulyar yo'nalishdagi  $n_0$  va  $n_e$  larni ayirmasi hizmat qiladi:

$$n_0 - n_e = k_1 \sigma \quad (\text{deformatsiya qilinganda})$$

$$n_0 - n_e = k_2 E^2 \quad (\text{elektr maydon ta'sir qilinganda})$$

$$n_0 - n_e = k_3 H^2 \quad (\text{magnit maydon ta'sir qilinganda})$$

$k_1, k_2, k_3$  lar jismlarning hossalari bilan bog'liq parametrlar,  $\sigma$  mexanik kuchlanganlik  $E$  va  $H$  elektr va magnit maydoni kuchlanganligi.



5.54 – rasm.

5.54 – rasmda elektr maydon ta'sirida yuz beradigan Kerr effektini kuzatishga mo'ljallangan qurilma ko'rsatilgan. Bunda R polyarizator, A analizator,  $U$  suyuqlik (masalan natrobenzol) solingan idish, suyuqlik ichiga kondensator joylashtirilgan. Bu kondensatorga yuqori kuchlanish (30÷50 kV) beriladi. Elektr maydoni berilmagan paytda sistema orqali nur o'tolmaydi, R va A bir – biriga nisbatan optik o'qlari perpendikulyar joylashgani uchun. Elektr maydoni berilganda suyuqlik anizotrop muhitga aylanadi, natijada nur ikkilanib sinadi va analizatoridan keyin nur paydo bo'ladi.  $\ell$  masofada oddiy va oddiy bo'lmagan nurlar o'rtasida yo'l farqi paydo bo'ladi:

$$\Delta = \ell(n_0 - n_e) = k_2 \ell E^2$$

Shunga muvofiq fazalar farqi paydo bo'ladi:

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = 2\pi B \ell E^2 \quad (5.30)$$

bu erda  $B = \frac{k_2}{\lambda}$  - Kerr doimiysi.

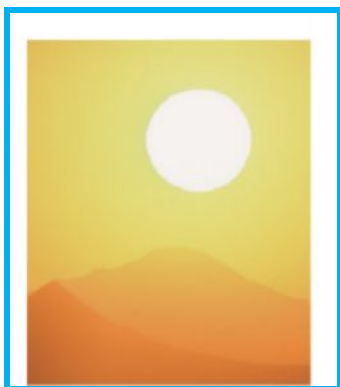
Kerr effekti texnikaning ko'p sohalarida qo'llaniladi: nur zatvori, ovoz yozishda, katta tezlikda rasm olishda, optik lokatsiyada, lazerlarda va hokazo.

### **Nazorat savollari**

1. Qutblangan yorug'lik qanday yorug'lik.
2. Ikkita qutblangan yorug'lik qo'shilsa qanday hodisa ro'y beradi.
3. Yorug'likning qaytishi va sinishida qutblanishni tushuntiring.
4. Bryuster burchagi qanday burchak.
5. Yorug'lik ikkilanib sinishida qutblanish tabiati qanday.
6. Oddiy va g'ayrioddiy nurlarning qanday xususiyatlari mavjud.
7. Malyus qonunini tushuntiring.
8. Su'niy qutblanish qanday hodisa.
9. Qutblanish bizga yorug'likning qaysi tabiatini tushuntirib beradi?
10. Qutblovchi ko'zoynakning oddiy ko'zoynakdan afzalligini tushuntiring.
11. Ikkita ko'zoynakning qutblovchi yoki qutblovchi emasligini qanday aytish mumkin?

## 5.6 - §. Yorug'likning kvant xossalari

Konveksiya orqali issiqlik uzatish uchun va yana issiqlik o'tkazish jarayonida aniq modda bo'lishi kerak. Yerdagi hayotning bo'lishi bu quyosh energiyasiga bog'liq. Quyosh bilan Yer orasida modda bilan to'lmagan bo'lib u moddiy bo'shliq ya'ni fazodan iborat. Energiyaning bunday uzatilishi faqat issiqlik almashuvi hisobiga sodir bo'ladi va u nurlanish deb ataladi. Quyosh harorati ( $6000^{\circ}\text{K}$ ) bo'lib Yer yuzasi haroratidan ancha yuqoridir.



**5.55 – rasm.** Quyosh yuzasida ( $6000^{\circ}\text{K}$ ) –bu Yer yuzidagi haroratdan juda yuqoridir.

Bizning olovdan oladigan issiqligimiz ham nurlanish orqali amalga oshadi. Misol uchun pechni qizdirish jarayonida havoning qizigan katta qismi konveksiya orqali bizga etib kelmasdan truba orqali yuqoriga chiqib ketadi. Nurlanish bu elektromagnit to'ldirish bo'lib uni keyingi bobda ko'rib chiqamiz

Bu yerda shuni etarlicha qayd qilish kerakki, quyosh yorug'ligi ko'rinadigan yorug'lik bo'lib unda boshqa to'ldirish uzunlikdagi nurlar bo'lib uni inson ko'zi sezmaydi. Tajribalar ko'rsatadiki (nazariya tasdiqlaydi) qizdirilgan jism tomonidan vaqt birligi ichida ajralib chiqqan nurlanish absolyut haroratning to'rtinchi darajasiga proporsionaldir. Bu shuni anglatadiki harorati mos ravishda 2000 va 1000 K bo'lgan ikki jisimni taqqoslasak, birinchi jism, ikkinchi jismga qaraganda  $2^4=16$  marta ko'p miqdorda energiya nurlaydi. Yetarli darajagacha qizdirilgan jismlar o'zidan nur chiqara boshlaydilar. Bunday nurlanish issiqlik nurlanishi deb ataladi. Tekshirishlar shuni ko'rsatadiki jismlarning nurlanishi uchun ularni qizdirish shart emas ekan, jismlarning harorati  $T > 0$  bo'lsa bas, harqanday nolga teng bo'lmagan haroratga ega jism o'zidan nurlanish chiqaraverar ekan. Demak, bunday nurlanish hamma jismga hos universal jarayondir. Issiqlik nurlanishi atom va molekularning issiqlik xarakati energiyasi hisobiga yuz beradi. Uning spektri uzluksiz bo'lib, spektrning maksimumi temperaturaga bog'liq. Yuqori temperaturada asosan qisqa to'ldirish uzunligi, past temperaturada esa asosan katta to'ldirish uzunligi elektromagnit to'ldirish nurlanishi (infraqizil nurlar).

Lekin har qanday nur tarqatuvchi jism o'z navbatida boshqa jismlarning nurlatgan energiyalarini yutadi, natijada, nur chiqarib va yutib, jism atrof muhit bilan muvozanatga keladi, bu holatda jism qancha yorug'lik nurlatsa shunchasini yutib turadi. Ana shu holatga mos kelgan temperatura muvozanat temperaturasi deb ataladi. Issiqlik nurlanishini ifodalash uchun quyidagi tushunchalar kiritiladi:

- jismning to'ldirish nur chiqarish qobiliyati  $E$  – birlik yuzadan 1 sek ichida chiqayotgan energiya miqdori, birligi  $\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{sek}$ .

- jismning to'la nur yutish qobilyati  $A$  – jism yutadigan energiyaning unga tushayotgan energiyaga bo'lgan nisbati.  $A$  ning birligi yo'q va u har doim  $\leq 1$ . masalan, optik diapozonda  $Al$  uchun  $A=0,1$ , Su uchun  $A=0,5$ , suv uchun  $A=0,67$ .  $E$  va  $A$  lar jismning tabiatiga va to'lqin uzunligiga bog'liq.

- jismning  $\Delta\lambda$  intervaliga to'g'ri keladigan nur chiqarish qobilyati spektral nur chiqarish qobilyati deb ataladi va u  $E_\lambda$  deb belgilanadi. Xuddi shunday qilib spektral nur yutish qobilyati ta'riflanadi va u  $A_\lambda$  bilan belgilanadi.

Har qanday temperaturada ham o'ziga tushgan energiyaning hammasini yutadigan jism **absolyut qora jism** (a.q.j.) deb ataladi. A.q.j. uchun  $A_\lambda = A = 1$  A.q.j.ga optik diapozonda o'z xossalari bilan qora kuya yaqinroq ( $A_\lambda = 0,95$ ).

A.q.j nur yutar ekan, o'z navbatida nur ham chiqaradi. Demak, nur chiqarish va nur yutish jarayonlari o'zaro bog'liqdir. Faraz qilaylik ikki jismdan iborat bo'lgan berk sistemada bu jismlar har hil temperaturaga ega va o'zaro faqat nur yutish va nur chiqarish orqali energiya almashadilar. Ma'lum vaqtdan keyin ular o'rtasida issiqlik muvozanati paydo bo'ladi: har bir jism vaqt birligi ichida qancha energiya yutsa, shuncha energiya nurlatadi. Bu jismlarning muvozanat temperaturasidagi nur chiqarish va nur yutish qobilyatlari  $E', E''$  va  $A', A''$  lar bilan belgilaymiz. Birinchi jism ikkinchisiga qaraganda  $1 \text{ m}^2$  yuzadan  $1 \text{ sek}$  ichida  $n$  marta ko'p energiya chiqaryapti deb hisoblaylik (5.56-rasm):

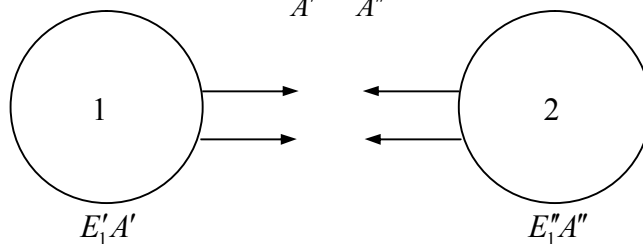
$$E' = nE''$$

SHunday ekan, bu jism o'z navbatida energiyani  $n$  marta ko'p yutishi ham kerak:

$$A' = nA''$$

Natijada hosil bo'ladi:

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''}$$



5.56 – rasm.

Agar berk sistemada jismlar ko'p bo'lsa va ular orasida bir jism absolyut qora jism bo'lsa, u holda quyidagi munosabat bajariladi:

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''} = \frac{E'''}{A'''} = \dots \varepsilon \quad (5.31)$$

$\varepsilon$  – a.q.j. ning nur chiqarish qobilyati, uning nur yutish qobilyati  $A=1$ . ifoda Kirxgof qonuni deb ataladi va u quyidagicha aytiladi:

**Kirxgof qonuni.** Berilgan temperaturada hamma jismlar uchun ularning nur chiqarish qobilyatlarning nur yutish qobilyatlariga bo'lgan nisbati o'zgarmas

miqdor bo'lib, u a.q.j. ning o'sha temperaturadagi nur chiqarish qobiliyatiga teng.

Bu qonun jismlarning spektral nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlariga ham tegishli, yoki  $E_\lambda = A\varepsilon_\lambda$

Kirxgof qonunidan quyidagi 3 ta xulosa chiqarish mumkin:

1. Istalgan temperaturada harqanday jismning nur chiqarish qobiliyati uning nur yutish qobiliyatining a.q.j. ning nur chiqarish qobiliyatiga bo'lgan ko'paytmasiga teng:

$$\begin{aligned} E &= A\varepsilon \\ E_\lambda &= A_\lambda\varepsilon_\lambda \end{aligned} \quad (5.32)$$

2. Harqanday jismning nurchiqarish qobiliyati a.q.j. ning nur chiqarish qobiliyatidan kichik ( $E = A\varepsilon$ ,  $A < 1$  bo'lganligi uchun  $E < \varepsilon$ ).

3. Agar jism qandaydir to'liq uzunligida nurni yutmasa, u bunday nurni chiqarmaydi ham ( $E_\lambda = A_\lambda\varepsilon_\lambda$ , shuning uchun  $A_\lambda = 0$  bo'lsa  $E_\lambda = 0$  bo'ladi).

A.q.j. ga tegishli yana ikkita qonunni keltiramiz: **Stefan–Bolsman qonuni**. Nurlanish energiyasining qiymati yana nurlanuvchi jisim ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liq. Vaqit birligi ichida nurlanish energiyasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{Q}{t} = \varepsilon\sigma AT^4 \quad (5.33)$$

«Absolyut qora jismning to'la nur chiqarish qobiliyati temperaturaning to'rtinchi darajasiga to'g'ri proporsional»: **Bu Stefan-Boltsman qonuni** deyiladi, bu erda  $\sigma$ -universa doimiy bo'lib Stefan-Boltsman doimiysi deyiladi. Unig son qiymati

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Bu erda  $\varepsilon$ -o'lchamsiz kattalik bo'lib uning qiymati 0 va 1 oraliqda olinib, nurlanish qobiliyati deyiladi va u moddaning xususiyatini xarakterlaydi. Yuzasi juda qora bo'lgan jismlar uchun  $\varepsilon$ -ning qiymati 1-ga yaqin, yaltiroq yuzali moddalar uchun  $\varepsilon$  qiymati nolga yaqin. Umuman olganda  $\sigma$ -ning qiymati haroratga oz miqdorda bog'liq bo'ladi.

Har qanday jism faqat energiya nurlantirmasdan balki boshqa jism nurlatgan energiyani yutadi ham. Agar jismning nurlanish qobiliyati  $\varepsilon$  –ga, yuzasi  $A$  va sirt harorati  $T_1$  ga teng bo'lsa, u holda jism vaqit birligi ichida nurlagan energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:  $\varepsilon\sigma AT^4$

Jismning atrof muhit bilan o'ralgan xoli uchun  $T_2$  haroratda vaqit birligi ichida energiya nurlasa u  $T_2^4$  proporsional bo'ladi, xuddi jism tomonidan yutgan energiya ham  $T_2^4$  ga proporsional bo'ladi. Shunday qilib jism tomonidan nurlangan natijaviy issiqlik oqimi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{Q}{t} = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4), \quad (5.34)$$

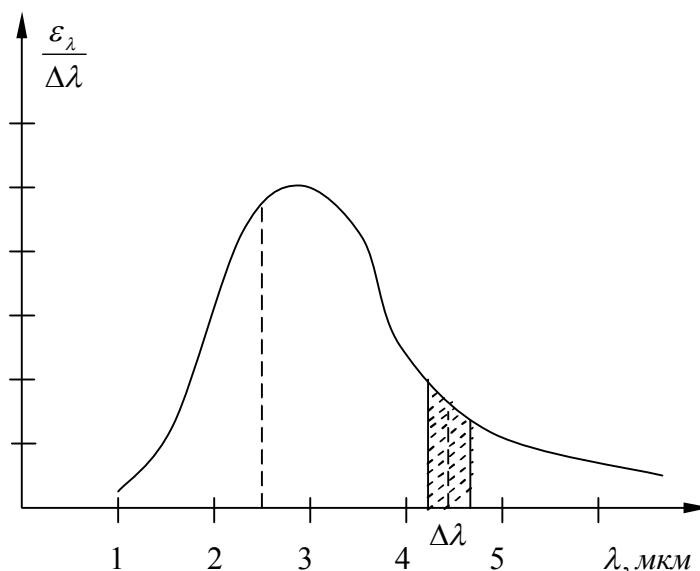
Bu erda  $A$ -jism sirt yuzasi,  $T_1$ -uning harorati,  $\varepsilon$ - ( $T$  haroratda) uning nurlanish qobiliyati va  $T_2$ - atrof muhit harorati. Shuni etiborga olish kerakki (5.34)

ifoddadan jism tomonidan vaqt birligida yutgan energiya  $\epsilon\sigma AT_2$  ga teng deb qabul qilingan.  $T_2$ -dan oldingi proporsionallik koeffitsienti nurlanuvchi va yutuvchi jismlar uchun bir xil bo'ladi. Bu dalil tajriba natijalari bilan mos tushadi. Qachonki jism va atrof muhit haroratlari teng bo'lsa issiqlik muvozanati vujudga keladi boshqacha so'z bilan aytganda  $\frac{Q}{t}$  qiymat  $T_1=T_2$  holat uchun nolga teng bo'ladi. Shunday qilib jism qancha ko'p miqdorda energiya nurlasa, shuncha ko'p miqdorda energiya yutadi va aksincha. Qora va juda qora jismlar yaxshi nurlantiruvchi bo'lib deyarli butun energiyani to'liq yutadi. Shuning uchun yozda oq kiyim kiyish maqsadga muvoffiqdir, chunki oq jism faqat energiya nurlantirmasda, kam.

**Vinning siljish qonuni.** «Absolyut qora jism nuryutish spektrining maksimumiga to'g'ri keladigan to'lqin uzunligi  $\lambda_m$  uning temperaturasiga teskari proporsionaldir»:

$$\lambda_m \cdot T = b \quad (5.35)$$

Bu qonun Vin qonuni deb ataladi  $b$  – Vin doimiysi.  $b=0,28910^2 \text{ m} \cdot \text{grad}$ . Absolyut qora jism nurlatishining spektri eksperimentda 19 asrning oxirida o'lchagan. A.q.j. sifatida ichi bo'sh va ustida kichik teshigi bo'lgan sfera, polirovka qilingan platinali plastinka va ko'mir ishlatildi. 5.57-rasmda temperaturasi  $1260^0\text{K}$  bo'lgan a.q.j. ning nurchiqarish qobilyati bo'lib, u eksperimentda  $\Delta\lambda$  spektral diapozonda aniqlanadi. Demak, grafik o'rab olgan yuza (u shtrixlangan) a.q.j. ning to'la nurchiqarish qobilyati  $\epsilon$  ga teng bo'ladi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, a.q.j. ning  $1260^0\text{K}$  dagi nurlatish maksimumi  $\lambda_m=2,4\text{mkm}$  ga to'g'ri kelar ekan.



5.57-rasm.

Stefan – Bolsman va Vin qonunlari a.q.j. nurlatishning xususiy xollarini ifodalaydilar, ular a.q.j. nurlatadigan energiyaning to'lqin uzunligi bo'yicha taqsimlanishi  $\epsilon_\lambda = f(\lambda, T)$ ni beraolmaydilar. XIX asrning oxirlarida bu



funksiyani nazariy jihatdan chiqarishga urinishlar bo‘ldi, lekin olingan natijalar tajribaga qarama – qarshi bo‘laverdi.

**Plank gipotezasi. Plank formulasi.** Faqat 1900 yilda nems fizigi M.Plank  $\varepsilon_\lambda = f(\lambda, T)$  funksiyaning to‘g‘ri ko‘rinishini topa oldi. Lekin u buning uchun fanga butunlay yangi bo‘lgan tushunchalarni kiritdi. Uning asosiy fikri gipotezasi quyidagidan iborat: elektromagnit energiyaning yutishi, nurlatishi va tarqalishi kichik porsiyalar bilan (kvant bilan) yuz beradi. Avval bu jarayonlar uzluksiz ravishda yuz beradi, deb hisoblangan. Shunday qilib Plank fanga kvant tushunchasini kiritdi. Demak elektromagnit to‘lqinni kvantlar oqimi deb qarash mumkin.

Kvant – bu energiyaning kichik bo‘lagidir. Har bir kvantning energiyasi chastotaga to‘g‘ri proporsionaldir:

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (5.36)$$

Bu erda  $s$  – yorug‘lik tezligi,  $\lambda$  - uning to‘lqin uzunligi,  $h$  esa Plank doimiysi deb ataladi va u  $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{c}^1$  ga teng. Bu formula yordamida chastotasi (to‘lqin uzunligi) ma’lum bo‘lgan yorug‘lik kvantining energiyasini hisoblash mumkin. Masalan, yashil nur uchun  $\lambda = 0,55 \text{ mkm}$  deb olsak, bu nur kvantining energiyasi barobar bo‘ladi:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,5 \cdot 10^{-7}} \approx 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$$

Issiqlik nurlanishining kvant tabiatini hisobga olib Plank a.q.j. ning spektral nur chiqaruvchi qobilyati uchun quyidagi formulani keltirib chiqardi:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon_\nu = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (5.37)$$

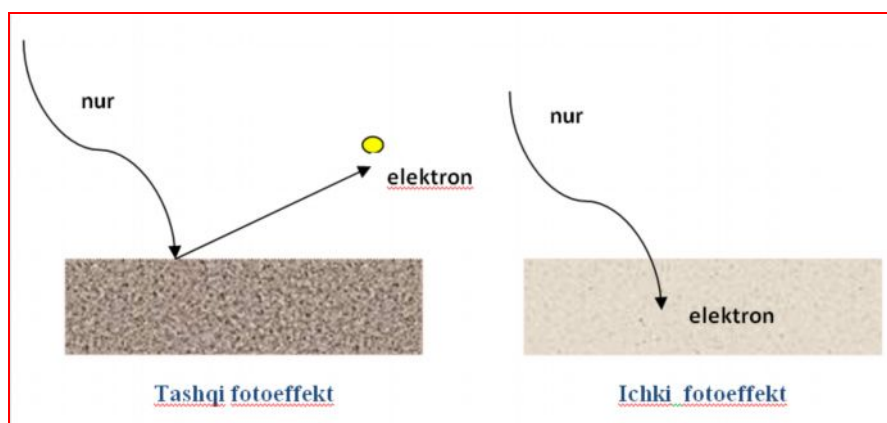
Bu formula eksperimentga to‘la javob beradi, amalda olinadigan natijalar u bilan 100% mos keladi. Stefan – Bolsman va Vin qonunlari ham shu formuladan kelib chiqadi. Plank nazariyasi asosida A.Eynshteyn 1905 yilda yorug‘likning foton (kvant) nazariyasini, 1913 yilda N.Bor atomlar kvant nazariyasini yaratdi.

### Nazorat savollari

1. Absolyut qora jism deganda nimani tushunasiz.
2. Jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlarini tushuntiring.
3. Kirxgof qonuning ifodasini yozing.
4. Stepan-Bolsman qonunini tushuntiring.
5. Vinning siljish qonunini ta’riflang.
6. Plank nazariyasining mohiyati nimada.
7. Plank formulasini yozing. U qanday xulosaga olib keladi.

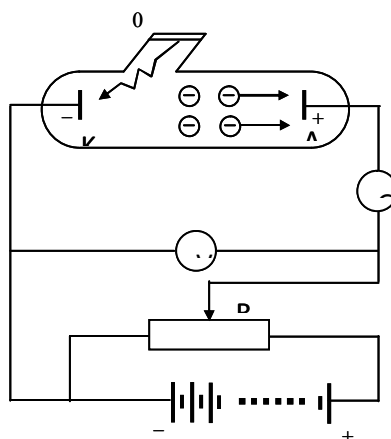
## 5.7 - §. Fotoeffekt hodisasi va uning qonunlari

**Fotoeffekt hodisasi va uning qonunlari.** Fotoeffekt deb nur ta'sirida elektronlarning o'z atomlaridan yoki molekularidan ajralib chiqib ketishiga aytiladi. Agar elektron jismdan tashqariga chiqib ketsa, bunday jarayon tashqiy fotoeffekt deb ataladi. (1887 yilda Gers kashf etgan va 1888 yilda A.G.Stoletov eksperimentda tekshirgan). Agar elektron nur ta'sirida o'z atomidan aloqani uzib chiqib ketsa-yu, lekin jismning ichida qolsa («Erkin» elektron sifatida), bunday jarayon ichki fotoeffekt deb ataladi (1873 yilda amerikalik fizik U. Smit kashf qilgan).



5.58 – rasm.

Odatda tashqiy fotoeffekt metallarda kuzatiladi (5.58 – rasmga qarang). Metaldan qilingan ikki elektrod (A – anod va K - katod) ichidan havo so'rib olingan trubka ichida joylashtirilib, katodga minus potensial va anodga plus potensial beriladi. Bunday sharoitda sxemada tok paydo bo'lmaydi, chunki zanjir berk emas. Agar o'yna orqali katodga yorug'lik tushurilsa undan elektronlar otilib chiqadi va anodga qarab yo'naladi. Natijada zanjirda tok hosil bo'ladi (fototok). Bu sxema fototok kuchini ( $G$  galvanometr bilan) anod va katod o'rtasiga berilgan  $U$  kuchlanishga va o'ynadan tushadigan nur intensivligiga qanday bog'liq ekanligini tekshirishga imkon beradi (5.58 – rasmga qarang).



5.59 – rasm.

Tadqiqotlar fotoeffektning quyidagi qonunlari borligini ko'rsatadi:

1. Fototokning to'yingan qiymati  $I_{to'y}$  (nur ta'sirida metaldan 1 sek ichida otilib chiqayotgan elektronlarning maksimal soni) nur oqimi  $F$  ga to'g'ri proporsional:

$$I_{to'y} = k\Phi \quad (5.38)$$

$k$  – metal yuzining fotosezgirligi deb ataladi.

$\Phi$ – nur oqimi deb biror bir yuzadan 1 sek ichida o'tadigan elektromagnit energiyasiga aytiladi.

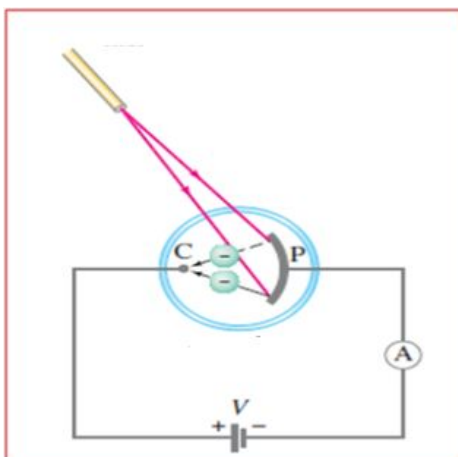
2. Fotoelektronlarning tezligi nurning chastotasi oshishi bilan ortaboradi, lekin nurning intensivligiga bog'liq emas.

3. Nurning chastotasi ma'lum «qizil chegara» deb qaralgan qiymatdan katta bo'lsagina fotoeffekt kuzatiladi va bu hodisa nurning intensivligiga bog'liq emas.

**1905 yilda Eynshteyn tomonidan maxsus nisbiylik nazariyasi ishlab chiqildi,** Eynshteyn o'z g'oyalari kvant gepotezasi bilan umumlashtirib yorug'lik nazariyasini yangi talqinini ishlab chiqdi. Plank gepotezasi tebranuvchi atom energiyasi hisobidan jism o'zidan kvantlangan energiya  $E = nhf, n = 1,2,3,\dots$  nurlaydi. Molekulyar tebranish energiyasi  $E = nhf, n = 1,2,3,\dots$  bo'lib o'zidan yorug'lik chiqarsa energiyasi kamayib boshqa kvant holatga  $E = (n-1)hf, n = 1,2,3,\dots$  o'tadi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan nurlangan yorug'lik kvanti energiyasi

$$E = hf, \quad (5.39)$$

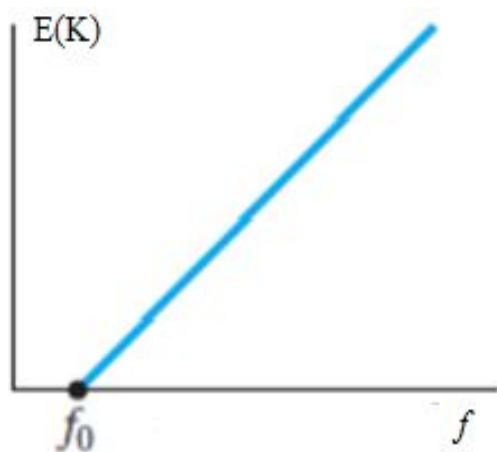
Barcha yorug'lik radiatsion manbalardan kelib chiqadi, bu g'oyaga ko'ra yorug'lik zarrachalar oqimi yoki fotonlar deb ataladi, to'lqin shartini bajarsa Maksvell elektrodinamikasi orqali tushintirish mumkin. Yorug'likning foton nazariyasida klassik g'oyalardan keskin voz kechildi. Eynshteyn yorug'lik kvant nazariyasiga fotoelektrik effekt ustida olib borgan o'lchashlarni taklif etdi. Qaysiki, metal sirtiga tushgan yorug'lik metal tarkibidan elektronlarni urib chiqaradi, bu hodisa fotoelektrik effekt deb ataladi. 5.60 – rasmda bu tajriba qurilmasini ko'rish mumkin.



**5.60 – rasm.** Fotoelektrik effekt

Metal qoplama P va undan kichikroq metal qoplama C shisha trubkaga joylashgan bo'lib uni fotoelement deb ataladi. Elektrodlar rasmda ko'rsatilganidek ampermetr orqali EYuK ga ulangan. Agar qorong'u bo'lsa ampermetr nolni ko'rsatadi, ammo metal qoplama P ga etarli chastotadagi yorug'lik tushirilsa zanjir orqali tok o'tayotganligini ko'rish mumkin.

Yorug'lik ta'sirida elektronlar uchib chiqib C qoplamaga kelib tushadi va zanjirdan tok o'ta boshlaydi. Yorug'lik ta'sirida elektronlarning metal sirtidan uchib chiqishini yorug'lik elektromagnit to'lqin nazariyasi orqali tushintirish mumkin. Elektr maydon kuchi ta'sirida elektronlar metal sirtidan urib chiqariladi. Eynshteynning ta'kidlashicha yorug'lik to'lqin nazariyasi ham foton nazariyasi ham fotoelektrik effekt turli metallar uchun turlicha bo'lar ekan. Misol uchun 12-4 rasmda bir modda uchun urib chiqarilgan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi  $E_{\max}$  ni hisoblash mumkin.



**5.61 – rasm.** Kinetik energiya va yoru'lik chastotasi orasidagi bog'lanish.

Elektrodlarga ulangan EYuK ni yunalishini o'zgartirib o'lchash ishlarini olib boorish mumkin, bu erda P-manfiy, C-musbat elektrodlar. EYuK ning manfiy qutbini P elektrodga, musbat qutbini esa C elektrodga ulansa tez elektronlar ta'sirida kuchlanish kam bo'lsa ham zanjirdan tok o'ta boshlaydi.

Aksincha ulansa zanjirdagi tok nolga teng bo'ladi, ya'ni elektronlar etarli kinetik energiyagi erishmaydi. Bu to'xtatuvchi potensial, tormozlovchi kuchlanish deyiladi.

$$E_{\max} = eU_0 \quad (5.40)$$

Endi eynshteynning foton nazariyasidan to'lqin nazariyasiga o'tamiz va shu orqali o'rganamiz.

Yorug'likni to'lqin nazariyasida monoxromatik yorug'likni olamiz. Yorug'lik to'lqini uchun ikkita asosiy tushuncha chastota va intensivlikni qabul qilamiz. Bu ikkala kattalikning o'zgarishi quyidagi natijani beradi:

1. Agar yorug'lik intensivligi katta bo'lsa, urib chiqarilgan elektronlar soni ortadi va maksimal kinetik energiyasi ham oshadi, agar elektr maydon ortsa elektronlar soni ortadi hamda ularning maksimal tezligi oshadi.

2. Yorug'lik chastotasi elektronlar maksimal kinetik energiyasiga ta'sir etmaydi.

Yorug‘lik foton nazariyasida umuman boshqacha talqin qilinadi. Fotonlar intensivligi ortsa fotonlar soni ortadi, fotonlar soni ortsa har bir foton energiyasi va chastotasi o‘zgarmay qoladi.  $A_{ch}$  –chiqish ishi deyiladi. Agar  $hf > A_{ch}$  bo‘lsa elektronlar metal sirtidan uchib chiqadi va kinetik energiya oladi.

$$hf = A_{ch} + E_{\max} \quad (5.41)$$

Bu formula fotoelektrik effekt uchun Eynshteyn formulasi deyiladi.

Agar yorug‘lik intensivligi ortsa urib chiqarilgan elektronlar soni ortadi, bunda har bir foton energiyasi o‘zgarmaydi, demak har bir elektron maksimal kinetik energiyasi ham ozgarmaydi.

1. Agar yorug‘lik chastotasi ortsa elektronlarning maksimal kinetik energiyasi chiziqli ortadi.

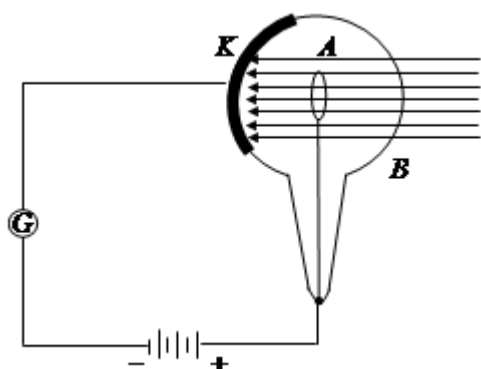
2. Yorug‘lk intensivligi qancha katta bo‘lmasin chastotasi kam bo‘lsa birorta ham elektron uchub chiqmaydi.

Bu fikrlardan qaysidir yorug‘lik foton nazariyasi boshqasi to‘lqin nazariyaga asoslanadi. 1913-1914 yillarda Millikin bir necha tajribalar o‘tkazdi. Natija esa to‘laligicha eynshteynning foton nazariyasini tasdiqladi. Boshqa o‘tkazilgan tajribalar ham yorug‘likni foton nazariyasini tasdiqlaydi. Agar yorug‘lik intensivligi etarlicha kichik bo‘lsa kechikish sodir bo‘ladi, elektron etarlicha energiya yutgandan sung chiqish ishini bajarib elektron emissiya kuzatiladi. Fotonning chastotasi etarlicha katta bo‘lsa hech qanday kechikish bo‘lmaydi, bu eynshteyn foton nazariyasi orqali to‘liq tasdiqlanadi.

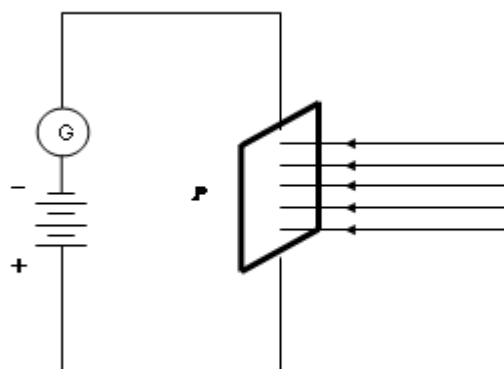
Jadvalda ba’zi bir metallar uchun «qizil chegara» to‘lqin uzunligi  $\lambda_0$  va chiqish ishlari  $A$  ning qiymatlari keltirilgan:

| <b>Metal</b>                         | $\lambda_0$ (mkm) | <b>A (eV)</b> |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| <b>Platina</b>                       | 0,235             | <b>5,29</b>   |
| <b>Volfram</b>                       | 0,276             | <b>4,50</b>   |
| <b>Rux</b>                           | 0,290             | <b>4,19</b>   |
| <b>Toriy</b>                         | 0,364             | <b>3,41</b>   |
| <b>Natriy</b>                        | 0,552             | <b>2,25</b>   |
| <b>Seziy</b>                         | 0,620             | <b>1,89</b>   |
| <b>Volfram yuzida seziy plenkasi</b> | <b>0,913</b>      | <b>1,36</b>   |

Fotoeffektga asoslanib har hil qurilmalar yasalgan. Ulardan biri vakuum fotoelementi (5.62 – rasmga qarang). Havosi so‘rib olingan  $B$  ballonning ichki yuzasiga metal plenkasi yotqizilsa, u katod  $K$  rolini bajaradi, metallardan qilingan va ballonning markaziga o‘rnashtirilgan halqa  $A$  anod vazifasini bajaradi. Agar katodga tashqaridan nur yuborsak, undan elektronlar otilib chiqadi. Ularni anodga berilgan musbat potensial o‘ziga tortadi va natijada fototok hosil bo‘ladi.



5.62 – rasm.

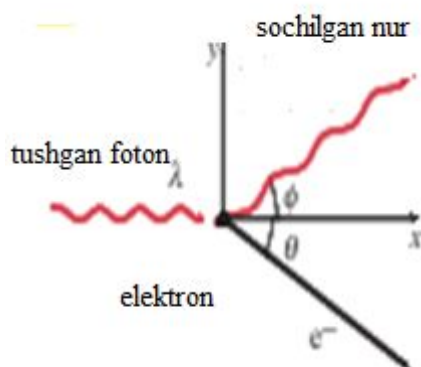


5.63-rasm

Ichki fotoeffekt asosan yarimo‘tkazgichlarda kuzatiladi. 5.63 – rasmda ko‘rsatilgan sxemada  $P$ – yarimo‘tkazgich plastinka bylab unga nur tushmaganda zanjirda  $G$  orqali o‘tadigan tok juda kichik bo‘ladi, chunki yarimo‘tkazgichning qarshiligi ancha katta. Lekin plastinkaga nur tushsa zanjirda tok keskin ravishda ortadi. Buning sababi shuki, yarimo‘tkazgichga nur tushganda u elektronlarni o‘z atomlaridan ajratib erkin elektronlarga aylantiradi va natijada yarimo‘tkazgichning elektr o‘tkazuvchanligi ortadi (qarshiligi kamayadi).

### Kompton effekti

Fotelektrik effekt va yigirmanchi asr boshlarida o‘tkazilgan boshqa tajribalar foton nazariyasini tasdiqladi. Kompton effekti 1923 yilda A.H.Kompton (1892-1962) tomonidan kashf qilingan. Komptonning maqsadi qisqa to‘lqinli (Rentgen nurlari) turli materiallardan o‘tganda tirli burchaklarda sochilishini o‘rganish edi. Kompton sochilgan to‘lqin uzunligi tushgan to‘lqin uzunligidan katta va energiya yuqolishini topdi. Kompton natija foton nazariyasiga asoslanadi va material tarkibidagi elektronlar bilan to‘qnashadi.



5.64 – rasm. Kompton effekti

**Kompton effekti formulasi quyidagicha:**

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\phi) \quad (5.43)$$

Bu erda  $m_0$  – elektron massasi,  $\frac{h}{m_0 c}$  – yorug‘lik o‘lchovi hisoblanib elektron uchun Kompton to‘lqin uzunligi deyiladi. Tushgan fotonlar qaytishda  $\phi$  – burchak ostida sochiladi. Yuqoridagi formula Kompton tomonidan 1923 yil ishlab chiqilgan. To‘lqin nazariyasi shuni ko‘rsatadiki, tushgan elektromagnit to‘lqin chastotasi va sochilgan to‘lqin chastotasi bir-xil bo‘ladi. Agar sochilgan to‘lqin biror burchak ostida qaytsa u holda chastota o‘zgaradi. Kompton effekti yorug‘likning foton nazariyasini eksperimental asosini tashkil etadi.

Kompton effektidan suyak kasalliklari osteoporosisni diagnoz qilishda foydalanish mumkin. Qisqa to‘lqinli gamma va rentgen nurlanishli radioaktiv moddalar suyakda sochiladi.

Sochilgan nurlanish intensivligi elektronlar zichligiga to‘g‘ri proporsional, elektronlar zichligi suyak zichligini bildiradi, suyak zichligining kamligi osteroporosis kasalligidan darak beradi.

Foton. Fotonlarning energiyasi va massasi. Biz bilamizki, Eynshteynning nisbiylik nazariyasiga binoan, massasi va energiyasi o‘zaro quyidagicha bog‘langan:

$$W = mc^2 \quad (5.44)$$

Bu formulani yorug‘lik qvantiga ishlatamiz. Fotonning energiyasi  $W = h\nu$  bo‘lganligi uchun yozishimiz mumkin:

$$h\nu = m_\phi c^2 \quad \text{va} \quad m_\phi = \frac{h\nu}{c^2} \quad m_\phi - \text{fotonning massasi}$$

Fotonning tezligi  $s$  bo‘lganligi uchun uning impulsi teng:

$$m_\phi c = \frac{h\nu}{c} \quad (5.45)$$

Fotonning massasi juda kichikdir. Optik diapozondagi nur fotonining massasi taxminan  $\approx 4 \cdot 10^{-36}$  kg ga teng, lekin  $\gamma$  – nur uchun uning massasi  $\approx 2 \cdot 10^{-30}$  kg ga teng va elektronning massasidan ham ko‘p. Demak, chastotasi katta to‘lqinlarning ( $\gamma$  – va rengen nurlarining) fotonlari yaxshigina zarrachaga o‘xshab qoladilar. Bunday fotonlar elektronga sezilarli darajada turtki berishlari mumkin. Buni Kompton – effektida kuzatish mumkin. Foton relyativistik zarra; u yorug‘lik tezligida harakatlanadi. Fotonning massasi, impulsi va energiyasini maxsus nisbiylik nazariyasi formulalari orqali hisoblash mumkin. Foton massasi

$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  formula orqali aniqlanadi. Agar foton tezligi  $v = c$  bo‘lsa massasi

nolga teng bo‘ladi. Energiyasi  $E = mc^2$  cheksiz, shu bilan birga foton hech qachon tinch holatda bo‘lmaydi, impulsi esa  $p = \frac{E}{c}$ .



$E = hf$  dan foton impulsi va energiyasi orasidagi bog‘lanish  $p = \frac{h}{\lambda}$ .

Foton energiya nurlaydiga elektron pozitron juftligini hosil qiladi. 5.64 – rasmda elektron va pozitroning tug‘ilishi ko‘rsatilgan. Bu jarayon juftliklarning tug‘ilishi deyiladi va foton yo‘qolishi kuzatiladi. Juftliklarning tug‘ilish Eynshreynning  $E = mc^2$  formulasiga to‘liq to‘g‘ri keladi. Diqqat qiladigan bo‘lsak, foton bitta elektron hosil qilmaydi bu zaryadlarning saqlanish qonuniga zid keladi.

Elektron-pozitron juftligining hosil bo‘lishi bo‘sh fazoda tug‘ilmaydi, bunda energiya va impuls bir vaqtda saqlanmaydi.

# ELEKTROMAGNETIZM VA OPTIKA KURSIDAN LABORATORIYA ISHLARI

## Xatoliklar haqida tushuncha

Tajriba o'tkazuvchining sezgi (ko'rish; eshitish) organlari va o'lchov asboblarning etarli takomillashmagani sababli har qanday o'lchash ishlarida ham fizik kattaliklarning faqat taqribiy qiymatini olish mumkin. Natijada har qanday o'lchash muayyan aniqlik bilangina bajarishni talab qiladi. Bevosita va bilvosita o'lchash turlari bor.

Agar fizik kattalikning son qiymatini to'ppadan-to'g'ri o'lchov asbobi yordamida aniqlash mumkin bo'lsa, buni - **bevosita o'lchash** deb ataladi. Masalan: uzunlik, massa, temperatura, vaqt kabi kattaliklar aynan shunday o'lchash bilan topiladi.

**Bevosita o'lchash** – biror kattalikni bevosita o'lchanishi mumkin bo'lgan kattaliklarning funksional bog'lanishidan aniqlash demakdir. Masalan: o'tkazgichning solishtirma qarshiligi  $\rho$ , o'tkazgichning qarshiligi  $R$ , o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzi  $S$  va o'tkazgich uzunligi  $l$  bilan quyidagi funksional bog'lanishga ega:  $\rho = \frac{RS}{l}$  demak,  $\rho$  ni aniqlash uchun  $R$ ,  $S$  va  $l$  kattaliklar bevosita o'lchanadi.

**O'lchash puxtaligi** o'lchov asboblarning aniqligi bilan belgilanadi. **Asbob aniqligi** esa shkalaning eng kichik ulushi bilan berilib, u o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashish darajasini belgilaydi. Bu kattalik **asbobning aniqlik klassi** deb ataluvchi kattalik bilan xarakterlanib, uning pasportiga yoki paneliga yozib qo'yilgan bo'ladi. Aniqlik klassi ushbu asbobda o'lchanishi mumkin bo'lgan eng kichik qiymatni asbob strelkasi maksimal og'andagi qiymatiga nisbatining 100% bilan ko'paytirilganiga teng. Shuningdek, o'lchash aniqligiga tajriba o'tkazish jarayoni va tajriba o'tkazuvchining kuzatish holatlari ham ta'sir qiladi. Yuqorida ko'rib o'tilgan ta'sirlarni o'rganish va qiymatlarini hisobga olish maqsadida tajriba o'tkazish jarayoniga **o'lchash xatoliklari** degan tushuncha kiritiladi. O'lchash xatoliklarini ikki turga bo'lish mumkin:

1. **Sistematik xatoliklar.** Bu ham o'z navbatida uch xilga bo'linadi:

a) o'lchov asboblarning sozlanmaganligidan kelib chiquvchi xatoliklar. Masalan: elektr zanjiriga ulanmagan ampermetrning strelkasi nol o'rniga, aytaylik 0,1 A ni ko'rsatib turibdi yoki termometrning noli muzning erish nuqtasiga mos tushmaydi. Bunday «nolning siljishiga» kerakli tuzatma kiritish lozim. Agar ampermetr ish jarayonida 1,2 A ni ko'rsatsa, uni 1,1 A deb yozib olishga to'g'ri keladi.

b) tadqiqotchining individual imkoniyatlari darajasi bilan bog'liq xatolik. Masalan: tadqiqotchilardan biri doimo sekundomerni barvaqtroq, ikkinchisi esa kechikibroq ulaydi.

v) noma`qbul o`lchash usulidan foydalanish tufayli hosil bo`ladigan xatolik. Masalan, agar tadqiqotchining ko`zi menisk deb ataluvchi belgidan pastda yoki yuqorida joylashib qolsa, shkala bo`yicha suv sathining hisobi noto`g`ri olinadi.

Garchi sistematik xatoliklarni bartaraf qilish mumkin bo`lsada, ko`p hollarda ularni hisobga olib, mos tuzatmalarni kiritish oson kechadi.

2. **Tasodifiy xatoliklar** – muayyan usul va o`lchash asboblardan foydalanilganda miqdori turlicha bo`ladigan xatolikdir. Bunday xatoliklar o`lchash ob`ektida havoning turlicha tebranishi, tajriba o`tkazuvchining qo`l harorati, aniq tarozi pallasidagi chang zarrasi, tajriba o`tkazuvchining hayajonlanishi, asbob shkalasining to`liq yoritilmaganligi kabi hodisalar natijasida paydo bo`ladi. Tajriba o`tkazishda ehtiyotlikni oshirish, o`lchash malakasini yuksaltirish bilan bunday xatolikni kamaytirish mumkin, lekin butunlay bartaraf qilib bo`lmaydi.

Tasodifiy xatoliklar o`lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatini oshirishi yoki kamaytirishi mumkin. Shu sababli ko`p o`lchashlar bajarilganda qarama-qarshi ishorali xatoliklarning ta`siri o`zaro eyishib ketadi. Masalan, biror kattalik  $x$  bevosita o`lchovchi asbob (chizg`ich, termometr va h.k.) yordami bilan  $n$  marta o`lchanib,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  natijalar hosil qilinsin. Ehtimollar nazariyasiga ko`ra bu natijalarning o`rtacha arifmetik qiymati:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

izlanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga eng yaqin bo`ladi. Bu qiymat ba`zan **tanlangan o`rtacha qiymat** ham deb yuritiladi.

Tajribalar natijasi asosida o`rtacha arifmetik qiymatdan og`ishlarni quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta x_1 = \langle x \rangle - x_1$$

$$\Delta x_2 = \langle x \rangle - x_2$$

. . .

$$\Delta x_n = \langle x \rangle - x_n$$

yoki

$$\Delta x_i = \langle x \rangle - x_i \quad (2)$$

bunda  $\Delta x_i$  - miqdor  $i$  - o`lchashning **absolut xatoligi** deb yuritiladi. Shuningdek bajarilgan barcha o`lchashlar uchun absolut xatolikning o`rtacha qiymatini ham hisoblab topish mumkin:

$$\langle \Delta \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta_i| = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} \quad (3)$$

O`lchash aniqligini xarakterlash uchun birgina absolut xatolikni bilish etarli emas. Masalan, aytaylik  $\langle \Delta l \rangle = 1 \text{ cm}$  absolut xatolik bilan quyidagilar o`lchangan bo`lsin:

$$\text{qalamning uzunligi} \quad l = 10 \pm 1 \text{ cm}$$

$$\text{qurilish devorining uzunligi} \quad l = 10000 \pm 1 \text{ sm.}$$

Bundan ko`rinib turibdiki, garchi birday absolut xatolikka yo`l qo`yilgan bo`lsa ham ikkinchi holdagi o`lchash ming marta aniqroq bajarilgan, chunki qalamni

o'lchashdagi nisbiy xatolik 10% ni, qurilish devorini o'lchashdagi nisbiy xatolik esa 0,01% ni tashkil etadi.

Shu sababli o'lchash aniqligi **nisbiy xatolik** bilan xarakterlanadi. Nisbiy xatolikning son qiymati, absolut xatolik o'lchanayotgan kattalikning qanday qismini tashkil etishini ko'rsatadi:

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\% \quad (4)$$

Ko'p hollarda nisbiy xatolikni aniqlash oson bo'lganligi tufayli, undan absolut xatolikni bilish uchun ham foydalaniladi:

$$\langle \Delta x \rangle = \pm \varepsilon \langle x \rangle \quad (5)$$

Endi nisbiy xatolikni, – aniqlanayotgan kattalikni hisoblash formulasidan foydalanib qanday topish kerakligini ko'rib chiqaylik. Misol uchun, suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini Stoks usuli bilan aniqlash jarayonidagi xatolikni topamiz.

Ma'lumki suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{2}{9} (\rho - \rho_0) \frac{gr^2t}{l}$$

Nisbiy xatolikni topish formulasidan:

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta \eta \rangle}{\langle \eta \rangle} = d(\ln \eta) \quad (6)$$

Bundan, nisbiy xatolikning formulasi natural logarifmning differensialiga monandligi bilinib turibdi. Shuning uchun avvalo hisoblash formulasining ikki tomonidan natural logarifm olamiz, ya'ni:

$$\ln \eta = \ln \frac{2}{9} + \ln(\rho - \rho_0) + \ln g + 2 \ln r + \ln t - \ln l$$

So'ngra differensiallaymiz:

$$\frac{d\eta}{\eta} = 2 \frac{dr}{r} + \frac{dt}{t} - \frac{dl}{l}$$

bunda birinchi uch qo'shiluvchi, ya'ni  $2/9$ ;  $\rho - \rho_0$  va  $g$  lar o'zgarmas miqdorlar bo'lganligi sababli, ularning xatoligi nolga teng bo'ladi. Keyin esa  $d$  ni  $\Delta$  belgi bilan almashtiramiz:

$$\frac{\langle \Delta \eta \rangle}{\eta} = 2 \cdot \frac{\langle \Delta r \rangle}{\langle r \rangle} + \frac{\langle \Delta t \rangle}{\langle t \rangle} - \frac{\langle \Delta l \rangle}{\langle l \rangle}$$

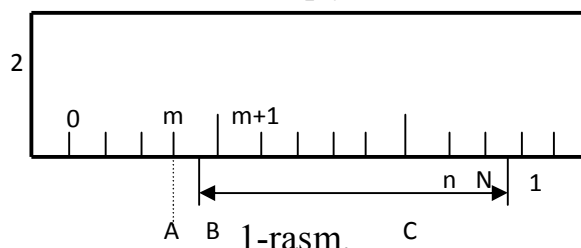
Bizni maksimal xatolik qiziqtirgani uchun minus ishorlarni doimo plyus bilan almashtirib olamiz. Shunda:

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta \eta \rangle}{\eta} = 2 \cdot \frac{\langle \Delta r \rangle}{\langle r \rangle} + \frac{\langle \Delta t \rangle}{\langle t \rangle} + \frac{\langle \Delta l \rangle}{\langle l \rangle}$$

Agar foizlarda ifodalash lozim deb topilsa, hosil bo'lgan qiymat 100% ga ko'paytiriladi.

## Oddiy o`lchov asboblari

Fizik kattaliklarni bevosita o`lchashda ishlatiladigan, ishlash va qo`llanish prinsiplari murakkab bo`lmagan asboblarni **oddiy o`lchov asboblari** deb yuritiladi. Shulardan ba`zilarini ko`rib chiqaylik:



Nonius. Nonius asosiy shkalaning to`ldiruvchisi bo`lib, o`lchash aniqligini 10 - 20 marta oshirish imkoniyatini beruvchi maxsus qurilma yoki oddiy o`lchov asbobidir. Amalda chiziqli va burchakli noniuslar qo`llaniladi. 1 – rasmda (1 bilan belgilangan) chiziqli nonius ko`rsatilgan bo`lib, u 2 asosiy shkala bo`ylab harakatlana oladigan chizg`ichdir. Noniusdagi bo`limlar soni  $N_0$ , bir bo`limining uzunligi  $a_n$  va asosiy shkala bo`limining uzunligi  $a_{sh}$  bo`lsin. Noniuslar shunday tayyorlanadiki, uning  $N$  ta bo`limi uzunligi asosiy shkalaning  $kN - 1$  bo`limi uzunligiga teng bo`ladi, bunda  $k$  butun son, demak:

$$Na_H = (kN - 1)a_{sh} \quad (7)$$

tenglik o`rinli.

Uzunligi aniqlanishi lozim bo`lgan biror jism (yoki uning qismi) ning bir nuqtasi asosiy shkala nol bo`limiga, ikkinchi nuqtasi esa,  $m$  va  $m+1$  bo`limlari orasiga joylashsin. Bu holda noniusning  $n$ -bo`limi asosiy shkalaning ixtiyoriy biror bo`limiga mos keladi. O`lchanayotgan jismning uzunligi:

$$l = ma_{sh} + \Delta$$

ifoda bilan aniqlanadi, bu paytda  $\Delta = AB$  topilishi kerak bo`lgan miqdor hisoblanadi.  $AS$  bo`limlari butun songa teng bo`lgan kesma bo`lib,

$$AC = na_H + \Delta \quad (8)$$

ifoda bilan aniqlanadi. (7) va (8) ifodalar solishtirilsa

$$AC = nka_{sh} \left( \Delta - \frac{n}{N} a_{sh} \right) \quad (9)$$

ifoda hosil bo`ladi. Bunda  $n$  va  $k$  butun sonlar bo`lib,  $nka_{sh}$  butun sonlarga ega bo`lgan uzunlik ifodasidir.  $n < N$  bo`lgani uchun  $\frac{n}{N} a_{sh} < a_{sh}$  bo`ladi.

$\Delta$  -asosiy shkalaning bir bo`limidan kichik bo`lgan kattalik. ( $\Delta - a_{sh}$  bo`lsa o`lchanayotgan uzunlik asosiy shkalaning butun sonlariga teng bo`lgan qiymat bilan o`lchanadi va nonius ishlatilmaydi).

Shunday qilib,

$$\left( \Delta - \frac{n}{N} a_{sh} \right) < a_{sh}$$

AS kesmadagi bo`limlar butun songa teng bo`lgani uchun (9) ifodadan  $\Delta - \frac{n}{N} a_{III} = 0$  va  $\Delta = \frac{n}{N} a_{III}$  bo`ladi. O`lchanayotgan uzunlik esa:

$$l = ma_{III} + n \frac{a_{II}}{N} \quad (10)$$

ifoda bilan aniqlanadi.

$$l_o = a_{II} / N \quad (11)$$

uzunlik nonius bilan aniqlanadigan eng kichik miqdor.

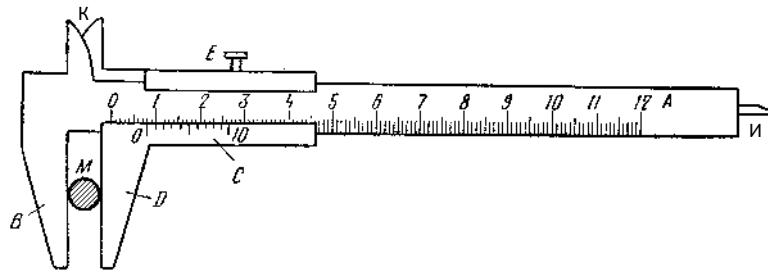
Yuqorida ko`rib chiqilganlar asosida noniusdan foydalanish tartibini quyidagicha ta`riflash mumkin: uzunligi aniqlanadigan jism asosiy va nonius shkalasi nollari orasiga joylashtiriladi. Bu jismning uzunligi nonius nol bo`limidan chap tomonda turgan asosiy shkala bo`limlari butun sonining shkala uzunligiga ko`paytmasi ( $ma_{sh}$ ) va nonius shkalasi uzunligining uning asosiy shkala biror bo`limi bilan mos keluvchi bo`limlar soni ko`paytmalari  $na_n$  ning yig`indisiga teng bo`ladi.

**Shtangensirkul.** Shtangensirkul juda katta aniqlik talab qilinmaydigan uzunliklarni o`lchashda ishlatiladigan asbob (2-rasm). Bu asbobning o`lchash xatoligi:  $0,1; 0,05 \text{ mm}$  ga teng. E noniusning bo`limlari, asosiy shkala A bo`ylab harakatlana oladigan S moslamaga chizilgan. O`lchanish kerak bo`lgan M jism V va D tishlar orasiga joylashtiriladi. K tishlar jismning ichki-chiziqli o`lchamlari (masalan quvur diametrlari) ni, I sterjen esa chuqurliklarni o`lchashda qo`llaniladi.

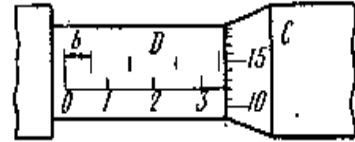
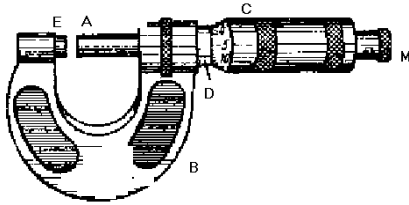
**Mikrometr.** Simlarning diametrlarini, yupqa plastinkalarning qalinligi va boshqa kichik jismlarning chiziqli o`lchamlarini katta aniqlik bilan o`lchashga xizmat qiluvchi noniusli asbob (3-rasm). Mikrometrlarning o`lchash chegaralari quyidagicha bo`ladi:  $0-25 \text{ mm}$ ,  $0-50 \text{ mm}$ ,  $0-75 \text{ mm}$ ,  $0-600 \text{ mm}$ . Mikrometr aylanuvchi mikrovint o`rnatilgan S baraban, E va D qo`zg`aluvchan sterjenlar, mikrovintni aylantiruvchi M sterjen, S burchakli va D gorizontaal chiziqli shkalalardan tashkil topgan. D-gorizontaal sterjenga bir-biriga nisbatan yarim bo`limga siljirilgan va bo`lim qiymatlari  $0,5 \text{ mm}$  ga teng bo`lgan ikkita shkala o`rnatilgan. Ko`pincha mikrovintning qadami (bitta to`liq aylanganda siljishi)  $0,5 \text{ mm}$  bo`ladi, bu holda burchakli shkalaga ega bo`lgan barabanning bo`lim bahosi:

$$a = \frac{h}{n} \quad (12)$$

ifoda bilan aniqlanadi.  $h=0,5 \text{ mm}$  mikrovintning qadami,  $n$  esa bo`limlar soni. Agar  $n = 50$  bo`lsa, u holda  $a = 0,01 \text{ mm}$  bo`ladi. O`rganilayotgan jismning o`lchami  $0,5 \text{ mm}$  aniqlik bilan chiziqli shkalalarda hisoblanib, millimetrning yuzlik bo`laklari burchakli shkaladan olinadi va ular qo`shib hisoblanadi.



2-rasm



3-rasm

**Texnik tarozilar.** O'quv laboratoriyalarida texnik tarozilar asosan jism massalarini aniqlashda ishlatiladi. Bu tarozilar shayin deb ataluvchi teng yelkali richagdan tashkil topgan bo'lib, u o'z tekisligiga perpendikulyar joylashtirilgan po'lat prizma qirrasiga tayanadi. Tayanch prizmadan teng masofalarda tarozi pallalari joylashtirishga mo'ljallangan prizmalar o'rnatilgan. Tarozining muvozanat holatini yelkaga o'rnatilgan va shkala bo'ylab harakatlana oladigan ko'rsatkich belgilaydi. Bu asbob ishlatilayotgan vaqtda arretirlab, ya'ni prizmalari bo'shatilib qo'yiladi. Texnik tarozi o'zining toshlariga ega.

Tarozidan foydalanilganda quyidagi qoidalarga rioya qilish shart:

1. Tarozni toshlarini, ularning og'irlik markazlari tarozi pallasi o'rtasiga to'g'ri keladigan holda qo'yish kerak.
2. Tarozni arretirlanmagan holatda pallalariga yuk qo'yilmasligi va olinmasligi kerak.
3. Tarozni toshlarini faqat qisqich yordamida olish va qo'yish kerak.
4. Tortish davomida to'la muvozanatga erishmaguncha arretirdan bo'shatmaslik kerak, so'ng qisman bo'shatib muvozanat tekshirilib boriladi.
5. Jism tortib bo'lingandan so'ng tarozi arretirlanib, toshlarni maxsus idishga solib qo'yish zarur.
6. O'lchash aniqligini oshirish uchun jism va tarozi toshlari o'rinlarini almashtirib yana qayta o'lchash lozim bo'ladi.

### O'lchash va hisoblash amaliyoti

Laboratoriya amaliyotida o'lchov natijalarini ro'yxatga olish va ular ustida hisoblashlar bajarish jarayoni – **xalqaro birliklar sistemasi [SI]** da amalga oshiriladi.

Laboratoriya ishlarini quyidagi tartibda bajarilsa maqsadga muvofiq bo'ladi:

1) Laboratoriya ishining tavsifnomasidan ishning maqsad-mohiyati, uni tez, puxta va aniq bajarish rejasi bilib olinadi. Yakuniy hisoblash formulasi tarkibiga kiruvchi barcha kattaliklarni quyidagi shartli uch guruhga ajratilib, o'rganiladi:

a) bevosita jadvaldan olinadigan ma'lumotlar.

b) qiymatlari mazkur laboratoriya ishining o'zida qayd qilingan kattaliklar.



v) asboblar yordamida o`lchab olinadigan kattaliklar.

2) Qanday fizik kattaliklarni o`lchash va bu ishni qaysi o`lchov asboblarida (qanaqa aniqlik bilan) bajarish lozimligi aniqlanadi. So`ngra kerakli o`lchov asboblarini tanlab, bevosita o`lchash ishlariga o`tiladi.

3) Tajribadan olingan o`lchash natijalarini ularning ustida hech qanday hisoblashlar o`tkazmasdan darhol maxsus daftarga qayd qilinadi. Yozuvlarni qisqa, aniq va ravshan tarzda joylashtirish uchun jadvaldan foydalaniladi.

4) Jadval tuzishda har bir ustun (yoki qatorda) – o`lchanayotgan kattalik belgisi va o`lchov birliklari ko`rsatiladi. Birlamchi ustunlarda argument o`rnida keluvchi kattaliklar, keyingi ustunlarda esa funksiya o`rnida keluvchi kattaliklar yoziladi. O`lchash va hisoblash natijalarining barchasi jadvalga kiritiladi.

5) Hisoblashlar quyidagi tartib bo`yicha amalga oshiriladi:

Algebraik formula  $\rightarrow$  arifmetik ifoda  $\rightarrow$  yakuniy hisob natijasi.

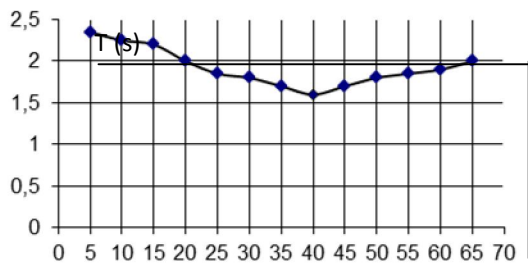
6) Fizik kattaliklar orasidagi funksional bog`lanishlarni grafik usulda ifodalash mumkin. Bunda R.Dekartning to`g`ri burchakli koordinatalar sistemasidan foydalaniladi. Abssissa o`qiga argument – bevosita o`lchanadigan kattalik, ordinata o`qiga esa funksiya, ya`ni hisoblash tufayli topiladigan kattaliklar qo`yiladi.

7) Grafik tasvir yasashda quyidagi qoidalarga rioya qilinadi:

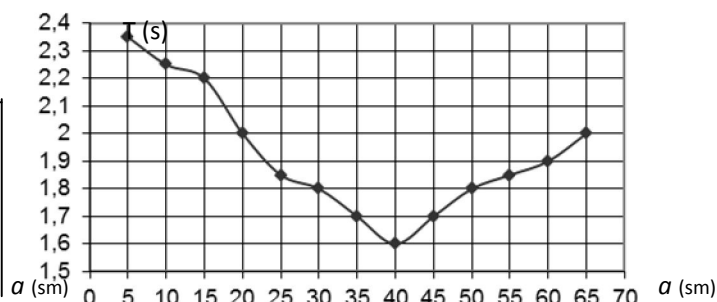
a) Koordinata o`qlarida keltirilgan bo`limlar butun sonlarga karrali bo`lishi lozim.

b) Abssissa va ordinata o`qlaridagi masshtabni aynan bir xil olish va yoki koordinata boshini nol deb olish shart emas, ularni shunday tanlab olish kerakki, toki bog`lanish chizig`i chizma maydonini bir tekis egallasin.

v) Grafik tuzishda tajriba natijasida olingan nuqtalar siniq chiziqlar bilan emas, balki uzluksiz chiziq bilan tutashtiriladi. Nuqtalarning uzluksiz chiziqqa joylasha olmaganlari tajriba xatoligi bo`ladi. Koordinata boshini  $R_0(0;0)$  nuqtadan  $R_1(x_1, u_1)$  nuqtaga ko`chirish va masshtabni maqsadga muvofiq tarzda o`zgartirish orqali  $xu$  diagrammada har qanday bog`lanish chizig`ining kattalashgan, to`laqonli ko`rinishini hosil qilish mumkin. Misol uchun fizik mayatnik tebranish davri bilan uning og`irlik markaziga nisbatan olingan uzunligi orasidagi  $T = f(a)$  bog`lanish grafigini ko`rish mumkin (4,5-rasm):



4-rasm



5-rasm

## Elektrostatik maydonni o'rganish

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) Elektrostatik maydon va uning xarakteristikalarini bilan bevosita tanishish;  
2) Zaryadlangan turli shakldagi elektrodlar hosil qiladigan maydonning potentsialini o'lchash orqali ekvipotentsial sirtlarni aniqlash;  
3) Potentsial sirtlar orqali, maydonning kuch chiziqlari va kuchlanganligini topishni o'rganish.

Qo'zg'almas elektr zaryad atrofida elektr kuchlar ta'siri seziladigan fazo sohasi, mazkur zaryadning elektrostatik maydoni deb ataladi. Quyidagi ikkita fizik kattalik bu maydonning asosiy xarakteristikasi bo'lib hisoblanadi:

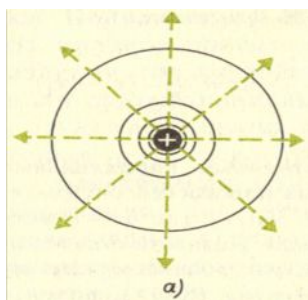
1) Elektrostatik maydon kuchlanganligi. U maydonning ixtiyoriy nuqtasiga joylashtirilgan  $Q_0$  musbat birlik zaryadga ta'sir etuvchi  $\vec{F}$  kuchning miqdorini va yo'nalishini ko'rsatadi:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0} \quad (1) \quad [E] = H / K\lambda = B / \mu$$

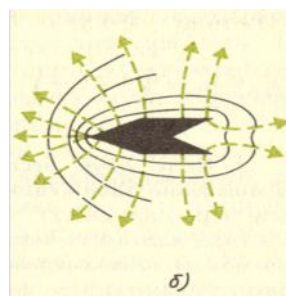
Agar elektr maydon nuqtaviy  $Q$  zaryad tufayli vujudga kelayotgan bo'lsa, undan  $r$  masofadagi maydon nuqtasining kuchlanganligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

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

Bunda  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ } \Phi / \text{M}$  - elektr doimiysi bo'lib, hisoblashlarda  $\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ M} / \Phi$  deb olish osonlik tug'diradi. Agar  $Q > 0$  bo'lsa  $E$  (va unga mos keluvchi kuchlanganlik chiziqlari)ning yo'nalishi zaryaddan tashqariga chiquvchi radial chiziqlar,  $Q < 0$  bo'lganida esa zaryadga kiruvchi radial chiziqlar shaklida bo'lib 1-rasmdagi uzluksiz chiziqlar bilan ko'rsatilgan.



1-rasm



2) Elektrostatik maydon potentsiali. U maydonning istalgan nuqtasiga joylashtirilgan  $Q_0$  musbat birlik zaryad egallaydigan  $U$  potentsial energiyani belgilaydi:

$$\varphi = \frac{q}{Q_0} \quad [\varphi] = J/C = V \text{ (volt)}$$

Agar elektr maydonini  $Q$  nuqtaviy zaryad hosil qilsa, unda maydon potentsiali quyidagi aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (3)$$

Shu o'rinda, elektrostatik maydonning tanlangan nuqtasidagi  $E$  va  $\varphi$  kattaliklarning miqdorlari shu nuqtaga kiritiladigan zaryadning kattaligiga bog'liq emasligini, ular faqat maydonni hosil qilayotgan zaryad va zaryaddan nuqttagacha bo'lgan masofagagina bog'liq bo'lishini ta'kidlab o'tamiz. Maydondagi ikkita nuqta orasidagi potentsiallar farqi  $\Delta\varphi$  - musbat birlik zaryadni 1-nuqtadan 2-nuqtaga ko'chirishda bajariladigan ishning miqdorini ko'rsatadi.

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (4)$$

Barcha nuqtalaridagi potentsial bir xil bo'ladigan sirtni ekvipotentsial sirt deyiladi.:

$$\varphi(x, y, z) = const \quad (5)$$

1-rasmdagi uzluksiz chiziqlar bilan ifodalangan.

Elektrostatik maydon kuchlanganligini shu maydon potentsialining gradienti sifatida ifodalash mumkin:

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

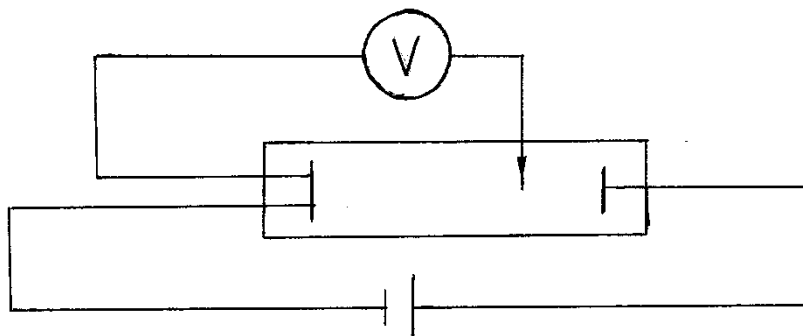
bunda  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  - mos holda  $x, y, z$  koordinata o'qlarining birlik vektori hisoblanadi. Yuqoridagi tenglamani quyidagicha yozish ham mumkin:

$$\vec{E} = -grad\varphi \text{ yoki } E = -\nabla\varphi \quad (6)$$

Minus ishora  $\vec{E}$  ning potentsial kamayishi tomoniga yo'nalganini bildiradi. Agar xususiy holda potentsial faqat, aytaylik  $x$  o'qi bo'yicha o'zgarsa, unda

$$E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x} \text{ yoki } E_x = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = -\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{x_1 - x_2} \quad (7)$$

bo'ladi.



## 2-rasm

### Ishni bajarish tartibi

1. 2–rasmda ko’rsatilgan qurilma bilan tanishiladi. Bunda suv solingan vanna, turli shakldagi elektrodlar va zont borligi, o’zgarmas tok manbai va vol’tmetrning zanjirga ulanganligi ko’rib chiqiladi.

2. Mos elektrodlar tanlanib vannaga joylashtiriladi va ularga manba orqali zaryad (potensial farqi yoki kuchlanish) beriladi.

3. Masshtablangan  $XY$  o’qlar bo’yicha, vannaning to’rtala choragida ham mavjud bo’luvchi  $\varphi_1 = const$  potensial tanlanib, uning mos koordinatalari jadvalga kiritib yoziladi.

4.  $\varphi_2 = const$  va  $\varphi_3 = const$  potentsiallar uchun 3-banddagi shart takrorlanadi.

#### • O’lshash natijalarini hisoblash

1. Masshtablangan millimetrovka qog’ozida  $\varphi_1 = const$  ekvipotensial sirtining geometrik tasviri yasiladi.
2.  $\varphi_2 = const$  va  $\varphi_3 = const$  sirt uchun ham 1-banddagi talab bajariladi.
3. Ekvipotensial sirtlar sohasidan elektrostatik maydon kuch chiziqlari o’tkazilib, ularning geometrik tasviri yasiladi.
4. 7 formuladan foydalanib,  $E_{x1,2}$ ,  $E_{x1,3}$  va  $E_{x2,3}$  kuchlanish qiymatlari hisoblab topiladi.

1-jadval

| № | Elektrodlar shakli | 1-chorak |   | 2-chorak |   | 3-chorak |   | 4-chorak |   | $\Delta x$<br>m | $\Delta \varphi$<br>V | E<br>V/m |
|---|--------------------|----------|---|----------|---|----------|---|----------|---|-----------------|-----------------------|----------|
|   |                    | x        | y | x        | y | x        | y | x        | y |                 |                       |          |
|   |                    |          |   |          |   |          |   |          |   |                 |                       |          |
|   |                    |          |   |          |   |          |   |          |   |                 |                       |          |
|   |                    |          |   |          |   |          |   |          |   |                 |                       |          |
|   |                    |          |   |          |   |          |   |          |   |                 |                       |          |

#### Sinov savollari

1. Elektrostatikaning asosiy qonunini tavsiflang.
2. Ayni bir nuqtaviy zaryad hosil qilgan elektrostatik maydon uchun  $E = E(r)$  diagrammasini tuzib bering.

3. Nima sababdan berilgan nuqtadagi maydon potentsiali shu nuqtaga joylashtiriladigan zaryad miqdoriga bog'liq emas?
4. Potentsiallar farqi nimalarga bog'liq?
5.  $\varphi(x, y, z) = 0$  ifoda nimani anglatadi.
6.  $E$  va  $\varphi$  orasidagi bog'lanishni tahlil qilib bering.
7. Noto'g'ri geometrik shakldagi jism zaryadlangan. Uning qaysi qismidagi zaryad zichligi eng katta bo'ladi? Qaysi maydon kuch chiziqlari quyuproq bo'ladi?
8. Ekvipotentsial sirt va maydonning kuch chiziqlari o'zaro qanday bog'langan?
9. Zaryadni ekvipotentsial sirt bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish nimaga teng? Isbot qiling.
10. Mazkur ishni bajarib qanday xulosalarga ega bo'ldingiz?

## Kondensatorlarning sig`imini aniqlash hamda ularni ketma-ket va parallel ulash formulalarini tekshirish

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) Kondensator qurilmasi, uning tuzilishi va ishlash vazifasi bilan tanishish; 2) Uitston ko`prigidan foydalanib, kondensatorning elektr sig`imini aniqlash; 3) Kondensatorlarni batareya sifatida jamlab, ulash va ushbu tizimni batafsil o`rganish.

Tajribalardan yakkaalangan ayni bir o`tkazgich potentsialining o`zgarishi  $\Delta\varphi$ , unga beriladigan  $\Delta Q$  zaryad miqdoriga proporsional tarzda oshishini ko`rsatadi:

$$\Delta\varphi \sim \Delta Q \text{ yoki } \frac{\Delta Q_1}{\Delta\varphi_1} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta\varphi_2} = \dots = \frac{\Delta Q_n}{\Delta\varphi_n} = \text{const}$$

Bu bog`lanishni tenglamaga keltirish uchun quyidagicha yozamiz.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta\varphi} \text{ yoki } C = \frac{Q}{\varphi} \quad (1) \quad [C] = \frac{C}{V} = F \text{ (Faradey)}$$

O`tkazgichning potentsialini bir birlikka oshirish uchun unga berish lozim bo`lgan zaryad miqdorini belgilovchi fizik kattalikni o`tkazgichning elektr sig`imi deyiladi.

Uning qiymati o`tkazgichning geometrik shakli va o`lchamlariga hamda qaysi muhitda joylashganiga bog`liq bo`ladi, lekin o`tkazgichga beriladigan zaryad miqdoriga va uning qanday materialdan tayyorlanganligiga mutlaqo bog`liq emas.

Miqdor jihatdan teng, lekin qarama-qarshi ishorali zaryadlar berilgan ikkita bir xil shakldagi o`tkazgichlarni bir-biridan ularni yaqin masofada joylashtirib, dielektrik muhit bilan ajratsak, kondensator qurilmasini hosil qilamiz. Kondensator juda katta miqdordagi zaryad (elektr energiyasi)ni yig`ish imkoniyatini yaratadi. Kondensatorning elektr sig`imi

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta\varphi} = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (2)$$

formula bilan aniqlanadi. Yassi kondensatorning sig`imi esa quyidagicha ifodalanadi:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (3)$$

bunda  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$  kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi;  $\varepsilon_0$  - elektr doimiysi,  $\varepsilon$  - muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $S$  - qoplama yuzi,  $d$  - qoplamalar orasidagi masofa.

Berilgan kondensatorlardan foydalanib, turli sig`imlarni hosil qilish maqsadida kondensatorlardan batareya (jamlanma tizim) tuziladi.

1. Agar har xil sig`imli  $n$  ta kondensator o`zaro ketma-ket ulansa, hosil bo`lgan batareyaning umumiy sig`imi quyidagicha topiladi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}, \quad n=2 \text{ bo'lsa, } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \text{ ëku } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

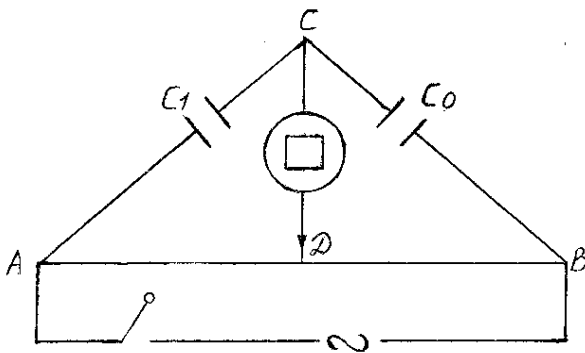
2. Agar  $n$  dona turlicha sig'imli kondensatorlar o'zaro parallel ulansa, batareyaning umumiy sig'imini quyidagi formuladan aniqlaymiz

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n, \quad n=2 \text{ bo'lsa, } C = C_1 + C_2 \quad (5)$$

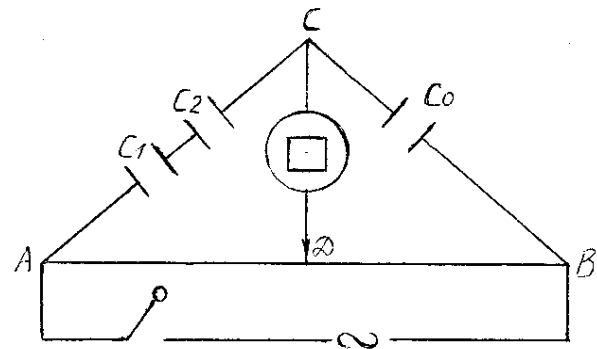
Mazkur ishda noma'lum kondensatorning sig'imi Uitston ko'prigidan foydalanib topiladi.

$$C_x = C_0 \frac{l_2}{l_1} \quad (6)$$

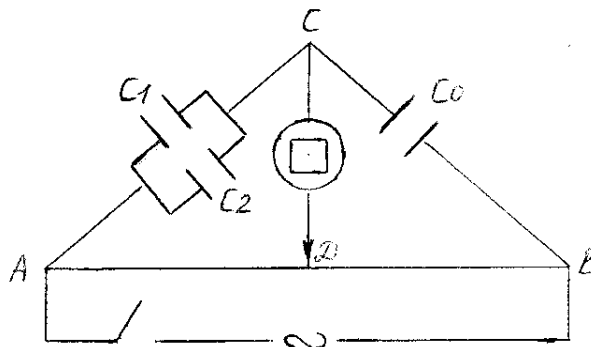
Bunda  $C_0$  ma'lum kondensator sig'imi bo'lib, uning son qiymati laboratoriya qurilmasida ilova sifatida keltiriladi.  $l_1$  va  $l_2$  ko'priki muvozanatga keltirish uchun uchun  $D$  surg'ich egallaydigan holatga to'g'ri keluvchi reostatning mos uzunliklari.



1-rasm



2-rasm



3-rasm

### ***Ishni bajarish tartibi***

- 1-rasmdagi sxema yig'iladi. Uning tarkibiy qismlari  $C_0$  sig'imli ma'lum kondensator,  $C_1$  sig'imli birinchi noma'lum kondensator,  $D$  surg'ichli reostat, ostsillograf va tok manbai bilan ulangan zanjirdan iborat.
- Zanjir tok tarmog'iga ulanadi. Ostsillograf ekranida,  $C$  va  $D$  nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi (yoki kuchlanish)ni ifodalovchi to'g'ri chiziq hosil bo'ladi.





|   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|

***Sinov savollari***

1. Elektr sig`imi nimani xarakterlaydi?
2. Kondensator qanday maqsadlarda ishlatiladi?
3. Kondensatorlarning turlarini sanab bering.
4. Yassi kondensatorning sig`imi nimalarga bog`liq?
5.  $n$  dona  $C_0$  sig`imli kondensator o`zaro ketma-ket ulansa sig`imi nimaga teng bo`ladi?
6. Uitston ko`prigining tuzilishini va ishlash printsipini tushuntiring.
7. Nima sababdan kondensatorlarni parallel ulasak sig`im oshadi?
8. Berilgan yassi kondensatorning sig`imini kamaytirish uchun nima qilish kerak?
9. Zaryadlangan kondensatorning energiyasini yozib bering.

## Uitston ko`prigi yordamida o`tkazgich materialining solishtirma qarshiligini aniqlash

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) O`tkazgichlarning elektr qarshiligi uning materialiga va geometrik o`lchamlariga qanday bog`liqligi o`rganiladi; 2) Uitston ko`prigidan foydalanish va uning yordamida o`tkazgichning solishtirma qarshiligini aniqlash usuli bilan tanishiladi

Ma`lumki, zaryadli zarrachalarning tartiblangan, yo`nalishli oqimini elektr toki deyiladi. Har qanday o`tkazgich o`zidan o`tayotgan tok (zaryadli zarralar oqimi) ga to`squinlik qiladi. Bu xususiyat elektr qarshiligi deb yuritiladi. Tajribalarning ko`rsatishicha, o`tkazgichning elektr qarshiligi  $R$  uning uzunligi  $l$  va ko`ndalang kesim yuzasi  $S$  bilan quyidagicha bog`langan:

$$R = \rho l / S \quad (1) \quad [R] = V/A = \text{Om}$$

Bunda  $\rho$  - o`tkazgich materialining solishtirma qarshiligi bo`lib, u moddaning turiga va temperaturasiga bog`liq bo`ladi. (1) formuladan  $\rho$  ni topamiz:

$$\rho = RS / l \quad (2) \quad [\rho] = \text{Om} \cdot \text{m}$$

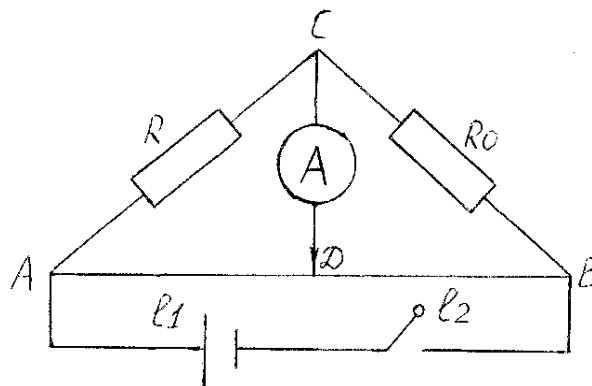
bunda 
$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

$d$  – ko`ndalang kesim yuzasiga mos keluvchi doiraning diametri.

$R$  – g`altakka o`ralgan  $l$  uzunlikdagi metall simning qarshiligi bo`lib, uning qiymatini Uitston ko`prigi (... betda batafsil bayoni keltirilgan) yordamida quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$R = R_0 \frac{l_1}{l_2} \quad (4)$$

Bunda  $l_1$  reoxordning  $D$  surgichga nisbatan chap tomon uzunligi,  $l_2$  esa o`ng tomon uzunligi hisoblanadi.



1-rasm

**Ishni bajarish tartibi**

1. 1-rasmdagi elektr zanjiri (Uitston ko`prigi) yig`iladi. Bunda o`zgarmas tok manbai (tarmoqdagi o`zgaruvchan tokni to`g`rilab, kuchlanishni esa pasaytirib beruvchi qurilma), strelkasi markazdagi nolga nisbatan chap va o`ng tomonlarga harakatlana oladigan ampermetr, qarshiliklar magazini, reoxord va metall sim o`ralgan g`altakdan tashkil topuvchi zanjirdan foydalaniladi.

2. Elektr zanjiri tok manbaiga ulanadi. Ko`prikning o`ng tomoniga qarshiliklar magazinidan  $R_{ox}$  qarshilik tanlanib, qo`yiladi.  $D$  surgichni reoxordda harakatlantirib ampermetrdagi tokni nol xolatga keltiriladi. Shu paytdagi  $l_1$  va  $l_2$  masofa o`lchanib, jadvalga kiritiladi.

3. So`ngra  $R_{01}$  ni  $R_{02}$  bilan almashtirib, 2-banddagi shart bajariladi. Bu harakat navbati bilan  $R_{03}$ ,  $R_{04}$ , va  $R_{05}$  qarshiliklar uchun ham takrorlanadi.

### ***O`lshash natijalarini hisoblash***

1. Shu olingan har bir natijalarga mos keluvchi  $R_1, R_2, \dots, R_5$  qarshiliklarni (4) formula yordamida hisoblab jadvalga kiritiladi.
2. Metall simning ko`ndalang kesim yuzasini belgilangan  $d$  (qiymati yozib qo`yilgan) asosida (3) formula asosida aniqlanadi.
3. Topilgan  $R$  va  $C$  qiymatlar bo`yicha (2) formula orqali  $\rho$  ni hisoblab, jadvalga kiritamiz.

1-jadval

| $N_0$ | $R_0, Om$ | $l_1, m$ | $l_2, m$ | $S, m^2$ | $l, m$ | $R, Om$ | $\rho, Om \cdot m$ | Mate-<br>rial |
|-------|-----------|----------|----------|----------|--------|---------|--------------------|---------------|
|       |           |          |          |          |        |         |                    |               |

### ***Sinov savollari***

1. Elektr qarshiligi haqida nimalarni bilasiz?
2. O`tkazgichning qarshiligi nimalarga bog`liq?
3. Nima sababdan o`tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi uning geometrik o`lchamlariga bog`liq bo`lmaydi?
4. Nima uchun tarmoqdagi toklar asosan alyuminiy simlarda uzatiladi.
5. (4) formulani keltirib chiqaring.
6. Uitston ko`prigidagi ampermetr qachon nolni ko`rsatadi.
7. Nima sababdan bu ishda aynan o`zgarmas tok manbai ishlatish kerak.
8. Solishtirma qarshilikning son qiymatini o`zgartirish uchun nima qilish kerak.
9. Elektr qarshiligining qanday foydali tomonlari bor?

## O'zaro ketma – ket va parallel ulangan elektr iste'molchilarining qarshiliklarini aniqlash

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) Amalda qo'llaniladigan eng sodda elektr zanjiri va uning tarkibiy elementlari bilan tanishish; 2) Zanjirning bir qismi uchun Om qonunining tadbqiqini o'rganish; 3)Iste'molchilarni ketma – ket va parallel ulash formulalarini tekshirish

Ma'lumki, elektr zanjiri iste'molchi uchun tuziladi. Eng sodda zanjirda undan tashqari tok manbai, o'lchov asboblari (mazkur ishda o'zgarmas tok ampermetri va o'zgartirish imkonini beruvchi qarshilik reostat mavjud bo'ladi.  $U$  kuchlanish ostidagi  $R$  qarshilikli iste'molchidan o'tuvchi tok kuchi  $I$  – zanjirning bir qismi uchun Om qonuniga binoan aniqlanadi:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{bu yerdan} \quad R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Zanjirga  $R_1$  va  $R_2$  qarshilikli ikkita iste'molchini quyidagi ikki kombinatsiyada ulash mumkin:

1. O'zaro ketma – ket ulash. Bu holda iste'molchilarning umumiy qarshiligi  $R$ , ulardan o'tuvchi umumiy tok  $I$  va tushadigan umumiy kuchlanish  $U$  mos holda quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$R = R_1 + R_2 \quad (2)$$

$$I = I_1 = I_2 \quad (3)$$

$$U = U_1 + U_2 \quad (4)$$

2. O'zaro parallel ulash. Bu holda esa yuqoridagi parametrlar quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{yoki} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$I = I_1 + I_2 \quad (6)$$

$$U = U_1 = U_2 \quad (7)$$

### ***Ishni bajarish tartibi***

- 1 – rasmdagi elektr zanjiri yig'iladi.
- Ampermetr va vol'tmetr bo'lim qiymatlarini aniqlab, qayd qilib quyiladi.
- Reostat yordamida iste'molchidan o'tayotgan tokni  $I_1$  (masalan 20 mA) qiymatida belgilanadi. Uni va unga mos tushuvchi vol'tmetrlarning ko'rsatishi  $U_1$  ni jadvalga kiritib yoziladi.
- 3 – bandedagi shart  $I_2$  (masalan, 40 mA) va  $I_3$  (40 mA) toklar uchun takrorlanadi.
- 1-rasmda ko'rsatilgan elektr zanjiridagi  $R_1$  ni  $R_2$  iste'molchi bilan almashtirilib, 3-4 bandedagi shartlar bajariladi.
- 2- rasmdagi elektr zanjiri yig'iladi.



|   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|

2- jadval

| № | $R_1$ ,<br>Om | $R_2$ , Om | $R(k/k)$ ,<br>Om | $R$ ,<br>Om | $\Delta R$ , Om | $R (//)$ ,<br>Om | $R^*$ , Om | $\Delta R^*$ , Om |
|---|---------------|------------|------------------|-------------|-----------------|------------------|------------|-------------------|
| 1 |               |            |                  |             |                 |                  |            |                   |
| 2 |               |            |                  |             |                 |                  |            |                   |
| 3 |               |            |                  |             |                 |                  |            |                   |

### ***Sinov savollari***

1. Berk zanjir uchun Om qonunini yozib tushuntirib bering.
2. Kuchlanish va potentsiallar farqi qaysi hollarda o`zaro teng bo`lmaydi?
3. Manbaning EYuKsi nimani bildiradi?
4. Om qonunining differentsial ko`rinishini yozib, fizik mohiyatini ochib bering.
5. Ochiq zanjir uchun Om qonuni qanday ko`rinishni oladi?
6. Zanjirning FIK ni tahlil qiling.
7. Nima sababdan qarshiliklar parallel ulanganda umumiy qarshilik kamayada?
8. Nima uchun iste`molchilar ketma – ket ulanganda ularga tushadigan umumiy kuchlanish har biriga tushadigan kuchlanishning yig`indisidan iborat bo`ladi?
9. Ikkita bir xil  $R_0$  qarshilikni birinchi holda o`zaro ketma – ket, ikkinchi holda esa parallel qilib ulansa, natijaviy qarshiliklarning nisbati nimaga teng bo`ladi?



## Elektr tokining asosiy qonunlari bo'yicha birlashgan ishlar

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) Zanjirdagi iste'molchilarga sarflanadigan energiya o'rganiladi; 2) O'lchov asboblarning tuzilishi va ishlash printsipli bilan tanishiladi; 3) O'lchov asboblarning ichki qarshiligini o'zgartirish usuli o'zlashtiriladi

Iste'molchi (televizor, komp'yuter, elektr chirog'i ..... ) elektr zanjirining asosiy va muhim qismi hisoblanadi. Uni shartli ravishda elektr energiyasini iste'mol qiluvchi  $R$  qarshilik sifatida olish mumkin. Agar  $U$  kuchlanish berilganda, undan  $I$  tok o'tsa  $R$  qarshilikni va u iste'mol qiladigan  $N$  quvvatni quyidagi formulalar asosida hisoblab olish mumkin:

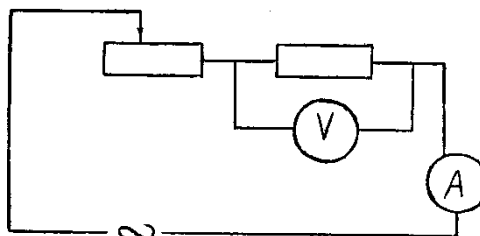
$$R = U/I \quad (1) \quad N = UI \quad (2)$$

### Ishni bajarish tartibi

- 1-rasmdagi elektr zanjiri yig'iladi. Uning tarkibiy qismlari o'zgaruvchan tok manbai (kuchlanishni pasaytirib beruvchi qurilma), reostat, iste'molchi qarshilik, ampermetr va volt'metrdan iborat.
2. Ampermetr va volt'metrning bo'lim qiymati aniqlanadi.
3. Surgichni reostat qarshiligining maksimal qiymatiga keltiriladi. Ampermetr va volt'metr ko'rsatgichlari olinib 1-jadvalga kiritiladi.
4. Reostatning o'rta qarshiligi uchun 2-banddagi shart bajariladi.
5. Reostatning minimal qarshiligi uchun ham 3-banddagi shart bajariladi.

1-jadval

| No | U,B | I,A | R,Om | N,Vt |
|----|-----|-----|------|------|
| 1  |     |     |      |      |
| 2  |     |     |      |      |
| 3  |     |     |      |      |
|    |     |     |      |      |



1-rasm

**O'lchash natijalarini hisoblash**

- 1-qatordagi qiymatlar uchun (1)-formulaga binoan R qarshilik, (2)-formulaga asosan N quvvat hisoblanib jadvalga kiritiladi.
- 2-qatordagi qiymatlar uchun 1-banddagi shart takrorlanadi.
- 3-qatordagi qiymatlar uchun ham 1-banddagi shart takrorlanadi.
4.  $N = f(u)$  grafigi chiziladi.

### Volt'metrning ichki qarshiligini aniqlash

Ayni bir volt'metrning ichki qarshiligini o'zgartirish (oshirish) orqali uning o'lchash chegarasini kengaytirish mumkin. O'lchov asboblarning ichki qarshiliklariga qo'shimcha ulanadigan qarshilikni odatda shunt qarshiligi deyiladi. Volt'metrni shuntlash 1-rasmda ko'rsatilgan.  $R_v$  va  $R_{sh}$  o'zaro ketma-ket ulangani uchun:

$$U = U_V \text{ va } U_{sh} \quad (3) \text{ hamda } I_1 = I_2 \quad (4)$$

Shunga ko'ra:  $\frac{U_v}{R_v} = \frac{U_{uu}}{R_{uu}} \quad (5)$  yoki  $\frac{U_v}{U_{uu}} = \frac{R_v}{R_{uu}} \quad (6)$

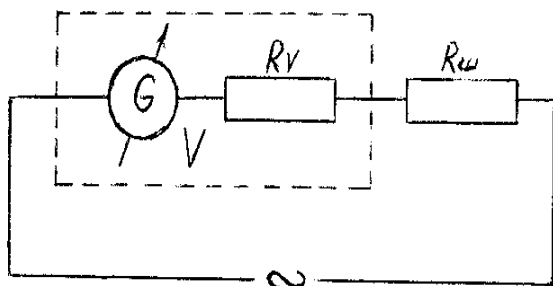
(1) formuladan  $U_m = U - U_v$  ni belgilab, uni (4) formulaga keltirib qo'ysak, unda

$$\frac{U_v}{U - U_v} = \frac{R_v}{R_{uu}} \quad (7) \text{ yoki } R_v = \frac{U_v}{U - U_v} \cdot R_{uu} \quad (8)$$

ni hosil qilamiz. Bunda U kuchlanish  $R_{sh}=0$  bo'lganida volt'metrning ko'rsatishi.

### Ishni bajarish tartibi

1. 2-rasmdagi elektr sxemasi yig'iladi. Bunda uzuk chiziqlar bilan belgilangan qurilma volt'metr ekanligini ta'kidlab o'tamiz. Zanjir tok manбайдan tashqari volt'metr va qarshiliklar magazini (shunt qarshilikni) o'z ichiga oladi.
2. Zanjir tok tarmog'iga ulanadi.
3. Shunt qarshiligini ulamasdan oldin volt'metrning ko'rsatishini 2-jadvalga kiritamiz.
4. Qarshiliklar magazinidan shuntni ulab, uning mos qiymatini (masalan aytaylik 1000 Om) va shu paytdagi volt'metrning ko'rsatishini aniqlab 2-jadvalga kiritiladi.
5. 4-banddagi shart shuntning yana ikkita qiymati (aytaylik 2000 Om va 4000 Om) uchun takrorlanadi.



2-rasm

2-jadval

| № | U, B | $R_{sh}$ ,<br>Om | $U_v$ ,<br>B | $R_v$ ,<br>Om | $\langle R_v \rangle$ ,<br>Om |
|---|------|------------------|--------------|---------------|-------------------------------|
| 1 |      |                  |              |               |                               |
| 2 |      |                  |              |               |                               |
| 3 |      |                  |              |               |                               |

### O'lchash natijalarini hisoblash

1. 1-qatordagi qiymatlar bo'yicha (8)–formula yordamida  $R_v$  hisoblanib, 2-jadvalga kiritiladi.
2. 2 va 3 qatordagi qiymatlar uchun ham 1-banddagi shart takrorlanadi.
3. Vol'tmetr ichki qarshiligining o'rtacha arifmetik qiymati hisoblab topiladi va 3- jadvalga kiritiladi.

### 3- vazifa. Ampermetrning ichki qarshiligini aniqlash

Ampermetrning o'lchash chegarasini o'zgartirish uchun ham shuntlashdan foydalaniladi. 3- rasmdan ko'rinadiki, Kirxgofning birinchi qoidasiga binoan:

$$I = I_A + I_u \quad (9) \text{ bundan } I_u = I - I_A \quad (10)$$

Parallel ulanish qoidasiga ko'ra esa

$$U_A = U_u \quad (11) \text{ yoki } \frac{R_A}{R_u} = \frac{I_u}{I_A} \quad (12)$$

(4)- formulaga (2) – formulani keltirib qo'ysak, unda:

$$\frac{R_A}{R_u} = \frac{I - I_A}{I_A} \quad (13) \text{ bundan esa, } R_A = \frac{I - I_A}{I_A} R_u \quad (14)$$

ni hosil qilamiz. Bunda  $I$  tok kuchi  $R_u = 0$  bo'lgandagi ampermetrning ko'rsatishi.

### *Ishni bajarish tartibi*

1. 3-rasmdagi elektr sxemasi yig'iladi. Bunda uzoq chiziqlar bilan belgilangan qurilma ampermetr ekanligini ta'kidlab o'tamiz. Zanjir tok manбайдan tashqari, iste'molchi, ampermetr, qarshiliklar magazini (shunt qarshiligi) dan iborat bo'ladi.
2. Zanjir tok tarmog'iga ulanadi.
3. Shunt qarshiligini ulamasdan oldin ampermetrning ko'rsatishini 3 – jadvalga kiritamiz.
4. Qarshiliklar magazinidan shunt tanlab (masalan aytaylik 0,10 Om) zanjirga ulanadi. Shu paytdagi ampermetrning ko'rsatishini aniqlab 3- jadvalga kiritib, yoziladi.

## Tarmoqlangan elektr zanjirini o'rganish

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) O'zaro parallel ulanib, tizim hosil qiluvchi iste'molchilar zanjiri bilan tanishish; 2) Zanjirdagi tugunni va undan o'tuvchi toklarning qayta taqsimlanishini o'rganish; 3) Tarmoqlangan zanjir parametrlarini hisoblashda Kirxgof qoidalaridan foydalanish.

Elektr zanjirida uchtadan kam bo'lmagan o'tkazgichlar uchrashadigan nuqtani tugun deb aytiladi. Zanjir tugun hosil qilib, tarmoqlanadi. U murakkab tuzilishga ega bo'lgani uchun, uni hisoblashda Kirxgofning ikkita qoidasidan foydalanamiz. Buning uchun shartli ravishda tugunga keluvchi toklarni musbat, undan chiqib ketuvchi toklarni esa manfiy ishora bilan olamiz. Shunda, Kirxgofning I-qoidasini quyidagicha ta'riflash mumkin:

Tugunda uchrashuvchi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng. 
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

1-rasmda ifodalangan tugun uchun Kirxgofning I-qoidasini qo'llab, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 - I_6 = 0 \quad (1)$$

Tarmoqlangan, murakkab zanjirning turli qismlariga tushadigan kuchlanishlar bilan zanjirdagi tok manbalarining EYuKlari orasidagi munosabat Kirxgofning II-qoidasiga binoan aniqlanadi:

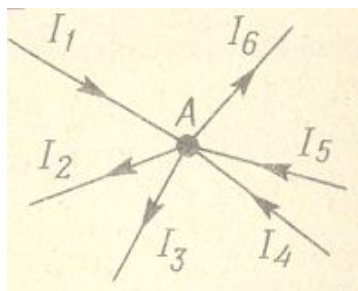
Tarmoqlangan elektr zanjiridagi ixtiyoriy berk kontur ayrim qismlaridagi tok kuchlarining mos qismlardagi qarshiliklarga ko'paytmalarining algebraik yig'indisi ushbu konturdagi barcha EYuKlarning algebraik yig'indisiga teng.

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

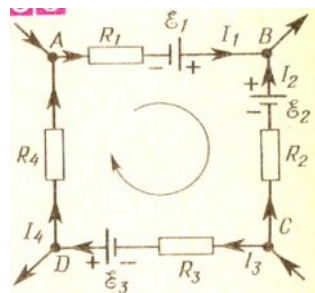
2-rasmdagi elektr zanjiri uchun Kirxgofning II-qoidasini qo'llab, quyidagi tenglamani olamiz:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (2)$$

Bunda hisoblash uchun tanlangan yo'nalish mutlaqo ixtiyoriydir. Agar Yuqorida ko'rib o'tilgan hol uchun soat mili harakati yo'nalishini emas, balki unga teskarisini tanlaganimizda (2) formuladagi har bir had oldidagi ishora teskarisiga almashingan bo'lar edi. Bu tenglamaning ikki tomoni minus birga ko'paytirishni bildiradi, xolos.



1-rasm



2-rasm

Kirxgofning I-qoidasi asosida zaryadning saqlanish qonuni, II-qoida asosida esa birlashgan Om qonuni yotishini ta'kidlab o'tamiz. Ma'lumki, zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan bu qism qarshiligini aniqlash mumkin:

$$R = \frac{U}{I} \quad (3)$$

Elektr zanjirini baholashda qarshilikka teskari bo'lgan kattalik elektr o'tkazuvchanlikdan ham foydalaniladi:

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R} \quad (4)$$

$$G = \frac{1}{R} \quad (5)$$

$$[G] = \frac{1}{O_M} = C_M \text{ (simens)}$$

Kirxgofning I-qoidasi elektr o'tkazuvchanlik uchun ham o'rinlidir:

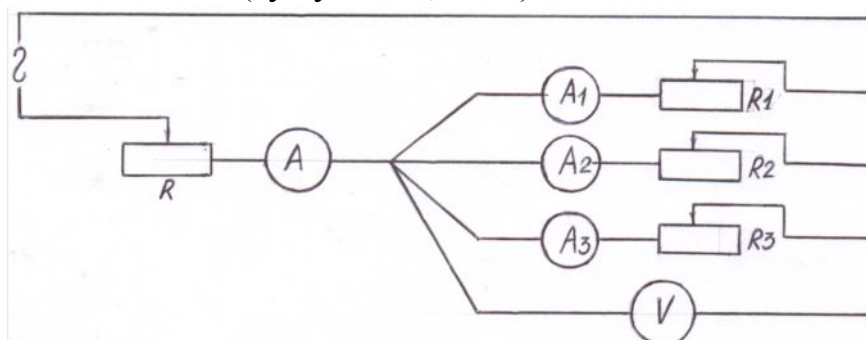
Tarmoqlanish nuqtasidagi umumiy o'tkazuvchanlik tarmoq ayrim qismlari o'tkazuvchanligining yig'indisiga teng, masalan 3-rasmdagi tarmoqlanish uchun:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (6)$$

### ***Ishni bajarish tartibi***

1. 3-rasmdagi elektr zanjiri bilan tanishiladi. Uning tarkibiy qismi o'zgaruvchan tok manbai, bosh reostat va bosh ampermetr, har biri, ampermetr va unga ketma-ket ulangan alohida reostatdan iborat bo'luvchi (va ayni paytda o'zaro parallel ulangan) uchta tarmoq elementi va vol'tmetrdan tashkil topadi.
2. Bunda keltirilgan barcha o'lchov asboblarning bo'lim qiymatlari hisoblab olinadi.
3. Zanjir tok tarmog'iga ulanadi.
4. Bosh reostat yordamida bosh ampermetr ko'rsatishi bo'yicha zanjirdagi umumiy tokning biror qiymati (masalan, aytaylik 1,00 A) tanlanadi. Uning qiymatini va tarmoqlanish elementidagi uchta yordamchi ampermetrlarning mos ko'rsatishlarini 1-jadvalga kiritib yozamiz. Bu holga muvofiq keluvchi voltmetr ko'rsatishini ham 1-jadvalga kiritiladi.
5. Zanjirdagi umumiy tokni o'zgartirib (masalan, 1,50 A uchun) 4-banddagi shart takrorlanadi.
6. Xuddi shunday vazifa umumiy zanjirdan o'tishi mumkin bo'lgan yana bir tok (aytaylik 2,00 A) uchun ado etiladi.

3-rasm



### ***O`lchash natijalarini hisoblash***

1. 1 – jadvalning birinchi qatoriga joylashgan kattaliklarni navbati bilan, birin - ketin (3) formulaga qo`yib mos qarshilik ( $R, R_1, R_2, R_3$ )larni hisoblab natijalarni 1 – jadvalga kiritamiz. Ma`lum bo`lgan qarshiliklar bo`yicha (5) formula asosida mos o`tkazuvchanlik ( $G, G_1, G_2, G_3$ ) larni aniqlab ularni ham 1 – jadvalga yozamiz.
2. 1 – jadvalning ikkinchi qatoridagi kattaliklar uchun 1 – bandedagi shart takrorlanadi.
3. Xuddi shuningdek , 3 - qatordagi kattaliklar uchun ham shunday vazifa bajariladi.
4. Bosh ampermetrda bevosita o`lchangan tok va yordamchi ampermetrlar o`lchagan toklarning yig`indisi 2 – jadvalga kiritiladi va ular o`zaro solishtiriladi, ya`ni farqi qayd qilinadi.
5. (6) formula bo`yicha zanjirning tarmoqlanish sohasi (xududi)dagi umumiy o`tkazuvchanlik va tarmoq elementlari o`tkazuvchanligining yig`indisi hisoblanib, qiymatlari 2 – jadvalga kiritiladi va o`zaro solishtiriladi.

1 – jadval

| № | I, A | I <sub>1</sub> , A | I <sub>2</sub> , A | I <sub>3</sub> , A | U, B | R, Om | R <sub>1</sub> , Om | R <sub>2</sub> , Om | R <sub>3</sub> , Om | G, Sm | G <sub>1</sub> , Sm | G <sub>2</sub> , Sm | G <sub>3</sub> , Sm |
|---|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 |      |                    |                    |                    |      |       |                     |                     |                     |       |                     |                     |                     |
| 2 |      |                    |                    |                    |      |       |                     |                     |                     |       |                     |                     |                     |
| 3 |      |                    |                    |                    |      |       |                     |                     |                     |       |                     |                     |                     |

2 – jadval

| № | I, A | ∑ I, A | ΔI, A | G, Sm | ∑ G, Sm | ΔG, Sm |
|---|------|--------|-------|-------|---------|--------|
| 1 |      |        |       |       |         |        |
| 2 |      |        |       |       |         |        |
| 3 |      |        |       |       |         |        |

### ***Sinov savollari***

1. Manbaning EYuK nima va u qanday hosil bo`lgan?
2. Zanjirdagi tok manbaiga xuddi shunday yana bir manbani ketma – ket ulasak zanjirda qanday o`zgarish bo`ladi?
3. Yuqoridagi manbalar o`zaro parallel ulansa nima o`zgarish kuzatiladi?
4. Zanjirdagi foydali quvvat 50% bo`lishi uchun manbaning ichki qarshiligi r va zanjirning tashqi qarshiligi R o`zaro qanday munosabatda bo`lishi kerak?
5. Kirxgofning I - qoidasini ta`riflang.
6. Kirxgofning II - qoidasini ta`riflang.

7. Kirxgofning I - qoidasi zaryadning saqlanish qonunidan kelib chiqishini isbotlang.
8. 2 – rasmdagi berk zanjir uchun birlashgan Om qonunini qo`llab, (2) formulani keltirib chiqaring.
9. Zanjirning o`tkazuvchanligi haqida nimalarni bilasiz.



## Elektr energiyasi hisoblagichini tarmoqqa ulash va tekshirish

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1)Elektr energiyasi hisoblagichining tuzilishi va ishlash printsipli bilan tanishish; 2) Elektr tokining energiyasi va bajaradigan ishini hisoblashni o`rganish; 3) Elektr zanjiri uchun energiya saqlanish qonunining o`rinli bo`lishini kuzatish.

Elektr energiyasi hisoblagichining ishlash printsipli quyidagilarga asoslanadi:  
1. Elektromagnit induksiya hodisasi (M. Faradey qonuni): Berk kontur bilan chegaralangan yuzadan o`tayotgan magnit oqimi o`zgarsa, shu konturda induksion tok hosil bo`ladi. Hosil bo`luvchi induksion tok (va demakki, induksion EYuK)ning miqdori faqatgina magnit oqimining o`zgarish tezligi bilan aniqlanadi:

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

Bu holdagi minus ishorasi 1833 yilda Lents tomonidan aniqlangan induksion tokning yo`nalishini ko`rsatuvchi umumiy qoidasining matematikaviy ifodasi bo`lib xizmat qiladi.

2. Lents qoidasi: Konturda hosil bo`luvchi tok shunday yo`naladiki, uning magnit maydoni shu induksion tokni hosil qiluvchi maydon o`zgarishini qoplash (kompensatsiyalash)ga intiladi.

3. Fuko toklari: Ko`ndalang kesim yuzi qalin bo`lgan o`tkazgichlarda hosil bo`luvchi toklarni uyurmali toklar deb yuritiladi. Bu toklar tormozlovchi xususiyatidan tashqari yana o`tkazgichlarni qizdirishga olib keladi. Shuning uchun generatorning yakori yoki transformatorning o`zagi yaxlit emas, balki alohida plastinkalar shaklida yasaladi.

Elektr energiyasini bevosita o`lchash uchun xizmat qiladigan bir fazali induksion hisoblagichning tuzilishi 1 – rasmda ko`rsatilgan.

Elektromagnit g`altak, doimiy magnit va ular orasidagi vertikal o`qqa mahkamlab joylashtirilgan alyuminiy disk hisoblagichning asosiy tarkibiy qismi hisoblanadi. g`altakdan o`zgaruvchan tok o`tganida disk sirtini kesib o`tuvchi magnit oqimi ham mos holda o`zgaradi. Uning magnit maydoni va g`altakning magnit maydonlari o`zaro ta`sirlashib, diskni aylanishga majbur etuvchi kuch momentini vujudga keltiradi. Uning qiymati zanjirdagi tok quvvatiga proporsional bo`ladi:

$$M = CP \tag{1}$$

bunda

$$P = UI \tag{2}$$

Bu aylantiruvchi moment ta`sirida disk tezlanuvchan harakat qiladi, albatta. Diskning aylanish tezligini barqarorlashtirish uchun doimiy magnitdan foydalaniladi. Disk aylanganida doimiy magnitning magnit oqim chiziqlarini kesib o`tadi. Oqimning o`zgarishi diskda uyurmali tokni, uning hosil qilgan magnit maydoni esa tormozlovchi momentni hosil qiladi. Tormozlovchi

momentning qiymati diskning aylanish tezligi vaqt birligi ichidagi aylantirishlar soniga proporsional bo`ladi:

$$M_2 = kn \quad (3) \quad \text{bunda} \quad n = \frac{N}{t} \quad (4)$$

Tormozlovchi moment aylantiruvchi momentga tenglashganda harakat barqarorlashadi, ya`ni disk tekis aylana boshlaydi:

$$M_2 = M_1 \quad \text{yoki} \quad kn = cP \Rightarrow n = \left(\frac{c}{k}\right)P \quad (5)$$

(5) formuladan, diskning vaqt birligi ichidagi aylanishlar soni hisoblagichdan o`tayotgan tokning quvvatiga proporsional bo`lishi ayon bo`ladi. Shu sababli, ma`lum bir  $t$  vaqt mobaynida diskning aylanishlar soni, shu vaqt orasida sarf qilingan elektr energiyaning o`lchovi bo`la oladi deb hisoblanadi.

Elektr zanjiriga isitgich (plitka) ulansa, u elektr energiyasini iste`mol qila boshlaydi, ya`ni unda Joule – Lents issiqligi ajralib chiqadi. Saflanadigan bu energiyaga hisoblagich diskning  $N$  marta to`liq aylanishi mos keladi.

$$W_1 = A_1 = \frac{1kW \cdot soat}{640} \cdot N = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 3600}{640} \cdot N = 5625 \cdot N \quad (6)$$

bunda tayinli bir hisoblagichdan uning doimiysi 640 soni olindi. Bu iste`molchi  $1kW \cdot soat$  energiya qabul qilguncha disk 640 marta aylanishini anglatadi. Lekin shu o`rinda boshqa hisoblagichlarning doimiysi boshqacha son (masalan 1200) bo`lishi mumkinligini ham ta`kidlab o`tamiz. Umuman hisoblagichlarning doimiy nominal miqdori

$a_n = \frac{1kW \cdot soat}{N_0}$  formula bilan ifodalanadi. Biz ko`rgan hol uchun

$N_0 = 640$ ,  $a_n = 5625$  ga teng.

Hisoblagich orqali qayd qilingan bu energiya isitgichning ichki energiyasiga aylanadi. Uni quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$W_2 = A_2 = IUt \quad (7)$$

bunda  $I$  – zanjirdagi tok kuchi,  $U$  – isitgichga tushadigan kuchlanish,  $t$  – diskning  $N$  marta to`liq aylanishi uchun sarflangan vaqt.

Bunda, ayni bir energiyani ikki marta hisoblanganligini, -  $w_1$  bevosita elektr hisoblagichi yordamida,  $w_2$  esa bilvosta o`lchov asboblari (ampermetr, vol`tmeter va sekundometrlar) yordamida aniqlanganligiga diqqatni qaratish lozim. Energiyaning saqlanish qonuniga ko`ra, ular o`zaro teng yoki zanjirdagi o`lchov asboblari, simlar va iste`mol qilingan energiyani e`tiborga olsa (bu nisbatan ancha kichik energiya ekanligini eslatib o`tamiz) taxminan teng bo`lishi darkor.

Boshqa har qanday o`lchov asbobi singari elektr hisoblagichi ham ma`lum bir xatolikka ega. Uning nisbiy xatoligini quyidagicha hisoblaymiz:

$$E = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100\% \quad (8)$$

### ***Ishni bajarish tartibi***

1. 2 – rasmda ko`rsatilgan elektr zanjirining barcha qismlari nazardan o`tkazilib, ularning ishga yaroqli ekanligi tekshiriladi. Zanjir tarkibida iste`molchi sifatida elektr isitgichi (plitka) qatnashadi.
2. Zanjir tok tarmog`iga ulanadi.
3. Har bir o`lchov asbobining bo`lim qiymatini hisoblab, qayd qilib qo`yiladi.
4. Tayinli  $t_1$  vaqt (masalan, aytaylik 3 min = 180 s) tanlanib uni va shu vaqt ichida alyuminiy diskning to`liq aylanishlar soni  $N_1$  ning qiymatini 1 – jadvalga kiritib yoziladi. Shuningdek vol`tmeter ko`rsatishi  $U_1$  va ampermetr ko`rsatishi  $I_1$  ham 1 – jadvalga kiritiladi.
5.  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  vaqtlar (masalan, mos holda 300 s, 420 s, 600 s va 900 s) uchun 4 banddagi shart takrorlanadi.

### ***O`lchov natijalarini hisoblash***

1. Jadvalning birinchi qatoridagi qiymatlar asosida (6) formuladan  $W_1$ , (7) – formuladan  $W_2$  hisoblanib, qiymatlari jadvalga aks ettiriladi.
2. 1 – banddagi shart jadvalning 2, 3, 4 va 5 qatorlari uchun ham bajariladi.
3.  $W_1$  va  $W_2$  juftlari uchun (8) – formula yordamida mos  $E_{1,2}$  hisoblab olinadi va 1 – jadvalga yoziladi.
4. Keyingi  $W$  lar uchun ham mos kombinatsiyalarni tuzib, 3 banddagi shart takrorlanadi.

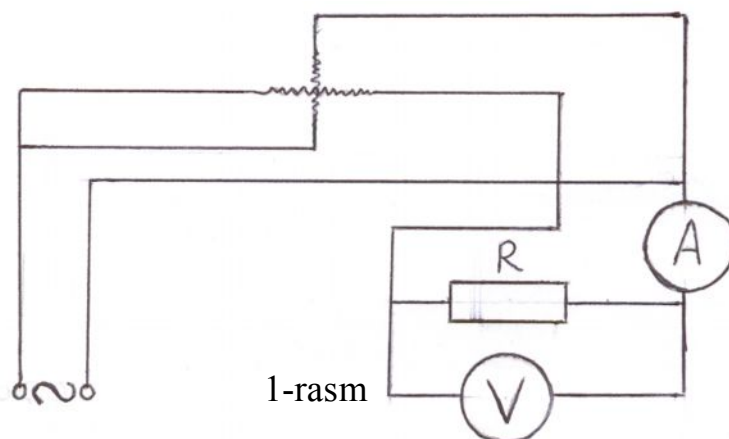
1 – jadval

| № | $U, B$ | $I, A$ | $t, s$ | $N$ | $W_1, J$ | $W_2, J$ | $E, \%$ |
|---|--------|--------|--------|-----|----------|----------|---------|
| 1 |        |        |        |     |          |          |         |
| 2 |        |        |        |     |          |          |         |
| 3 |        |        |        |     |          |          |         |
| 4 |        |        |        |     |          |          |         |

### ***Sinov savollari***

1. Elektromagnit induksiya hodisasini tushuntiring.
2. Lents qoidasini ta`riflang. Uning qo`llanishiga oid misollar keltiring.
3. Uyurmali toklar qanday xususiyatlarga ega?
4. Aylantiruvchi momentning hosil bo`lish sababini aniqlang.
5. Nima sababdan diskda tormozlovchi moment hosil qilish kerak? Uning hosil bo`lish mexanizmini gapirib bering.

6. Elektr hisoblagichidagi alyuminiy diskning har bir aylanishiga ma'lum bir miqdordagi energiya mos kelishini formulalar asosida isbotlab bering.
7. Elektr tokining bajargan ishi qanday kattaliklarga va qay darajada bog'liq.
8. Siz ishlatgan hisoblagichning doimiy nominal miqdori nimaga teng va u qanday fizikaviy ma'noga ega?
9. Elektr hisoblagichning nisbiy xatoligi qanday faktorlarga bog'liq bo'lishini tahlil qilib bering.



## Yer magnet maydon kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash

**Ishni bajarishdan maqsad:** 1) Magnet maydon va uning asosiy xarakteristikallari bilan tanishish; 2) Tangensbussol` asbobidan foydalanishni o`rganish; 3) Yerning magnet maydoni haqida tasavvurga ega bo`lish.

Magnet maydonini – magnet maydon induksiyasi xarakterlaydi:

$$B = \frac{M_{\max}}{P_m} \quad (1)$$

bunda  $M_{\max}$  - kuchning aylantiruvchi momenti bo`lib, u maydonning shu nuqtasidagi xossalriga hamda konturning xossalriga bog`liq bo`ladi:  $P_m$  - tokli konturning magnet momenti.  $I$ - tok o`tayotgan yassi kontur uchun

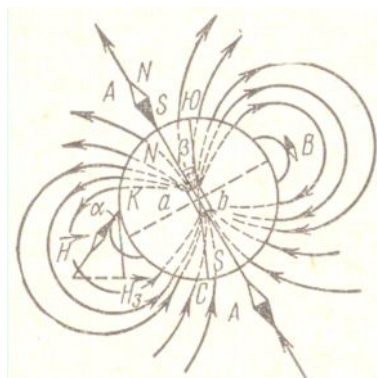
$$P_m = IS \quad (2)$$

Berilgan nuqtadagi magnet maydon yo`nalishi sifatida, shu nuqtaga joylashtirilgan tok konturining musbat yo`nalishi olinadi. Shuningdek, shu nuqtadagi magnet strelkasi (ignasi)ning shimoliy qutbga ta`sir qiluvchi kuchning yo`nalishi orqali ham aniqlash mumkin (1 - rasm).

Makrotoklar hosil qiluvchi magnet maydonni esa – magnet maydon kuchlanganlik vektori  $\vec{H}$  orqali tavsiflanadi. Bir jinsli, izotrop muhit uchun:

$$B = \mu\mu_0 H \quad (3)$$

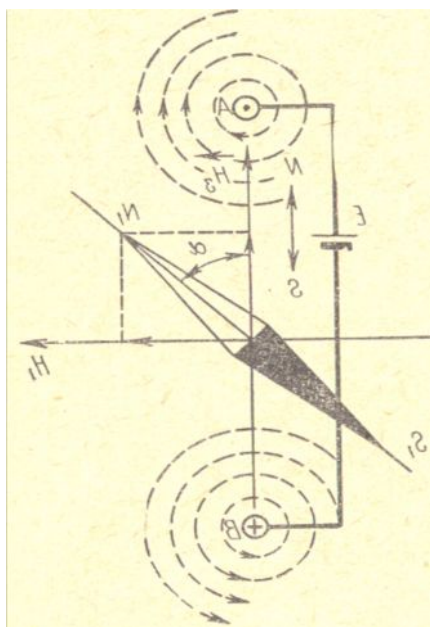
bunda  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  - magnet doimiysi,  $\mu$  - muhitning magnet singdiruvchanligi bo`lib, u makrotok magnet maydoni muhitning makrotoklari hisobiga necha marta kuchayishini ko`rsatadi.



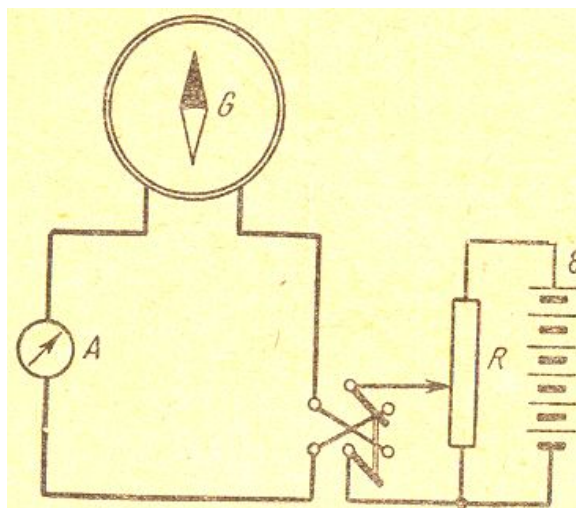
1-rasm

Ma'lumki, Yer sayyorasi ham o'zining magnit maydoniga ega. Bu maydonning yo'nalishini, xususan uning shimoliy va janubiy qutblarini aniqlash uchun kompas ishlatiladi.

Lekin uning yordamida magnit maydonning son qiymati (miqdori)ni bilib bo'lmaydi. Buning uchun tangensbussol' asbobi ishlatiladi.



2-rasm



3-rasm

U bir-biridan elektr tokini o'tkazmaydigan izolyator bilan himoyalangan  $R$  radiusli  $n$  dona doiraviy o'tkazgich simdan iborat. Bu doiraning markazida uning diametri bo'ylab joylashuvchi ham o'zining o'qi atrofida erkin aylana oluvchi magnit ignasi (strelkasi) joylashgan.

Yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizontall tashkil etuvchisini  $N_0$ , doiraviy  $n$  ta tokli o'ramning doira markazida hosil qiladigan natijaviy magnit maydonning kuchlanganligini  $N$  bilan belgilaymiz.

Bio-Savar-Laplas qonuniga ko'ra, tokli, doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit maydoni:

$$B = \mu\mu_0 \frac{nI}{2R} \quad (4)$$

(3) va (4) formulalarni solishtirib quyidagini hosil qilamiz:

$$H = \frac{nI}{2R} \quad (5)$$

Ayni paytda magnit ignasi  $N_0$  va  $N$  larning ta'sirida bo'lgani uchun u  $N_0$  ga  $\alpha$  burchak hosil qilib joylashadi. (2-rasm). Bunda  $N_0$  aylana tekisligida yotib, uning diametri bo'ylab joylashishini,  $N$  esa aylana tekisligiga perpendikulyar tarzda joylashishini e'tiborga olishimiz lozim. Natijaviy maydonning yo'nalishi (ya'ni magnit ignasining  $\alpha$  - burchakka og'ishi) ularning o'zaro miqdoriy nisbatlariga bog'liq tarzda  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$  oraliqda o'zgaradi.

3-rasmdan foydalanib  $N$  ni  $N_0$  bilan ifodalaymiz.

$$H = H_0 \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

(5) va (6) formulalarni birgalikda echamiz:  $H_0 = \frac{n}{2R} \cdot \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha}$  (7)

Agar  $\frac{n}{2R} = C(\text{const})$  deb belgilab olsak, unda

$$H_0 = C \cdot \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (8)$$

Masalan, aytaylik  $n=25$ ,  $R=18 \text{ sm}=0,18 \text{ m}$  li parametr uchun  $S$  ni hisoblab olishimiz mumkin:

$$C = \frac{25}{2 \cdot 0,18} \cdot \frac{1}{\text{m}} = 69,44 \frac{1}{\text{m}}$$

Shuni e'tiborga olib, (8) formulani o'zimizning laboratoriya ishi qurilmasi (3-rasm) uchun mutlaqo xususiy holga keltirib yozamiz:

$$H_0 = 69,44 \cdot \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha} \text{ (A/m)} \quad (9)$$

### ***Ishni bajarish tartibi***

1. 3-rasmdagi elektr zanjiri bilan tanishib chiqiladi. Aylanuvchi gardishning 0 nuqtasi va magnit ignasi doira tekisligida yotuvchi holga keltiriladi.
2. Zanjirni tok tarmog'iga ulaymiz. Qo'sh ulagich («rubil'nik») li kalitni qo'shamiz. Reostat yordamida  $I$  tokni tanlab, uni va magnit ignasi og'ishishiga mos keluvchi  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  burchak (ignaning old va orqa og'ishlari) larni 1-jadvalga kiritamiz. Qo'sh ulagichli kalitni teskari (qarama-qarshi) tomonga o'tkazib, ulaymiz. Bunda zanjirdagi tokning yo'nalishi o'zgaradi, xolos. Magnit ignasi 0 holatning narigi tomonida  $\alpha_3$  va  $\alpha_4$  burchakka og'adi. Ularni ham 1-jadvalga kiritamiz.
3. Oshib borish tartibida  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  va  $I_5$  toklar uchun ham 2-banddagi shart takrorlab bajariladi.
4. Ishni yakunlab, zanjir elektr tarmog'idan uzib qo'yiladi.

### ***O'lchov natijalarini hisoblash***

1. Jadvalning birinchi qatoridagi  $\alpha$  larning o'rta arifmetik qiymati  $\langle \alpha \rangle$  hisoblanadi. Uni va unga mos keluvchi  $\operatorname{tg} \langle \alpha \rangle$  ning qiymatini ham jadvalga kiritib yoziladi.
2. 9-formuladan foydalanib,  $I_1$  tok uchun  $N_{01}$  hisoblanadi va jadvalga kiritiladi.
3.  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  va  $I_5$  toklar uchun ham 1 va 2 – bandlardagi shartlar takrorlab bajariladi.
4. Olingan  $N_0$  qiymatlari asosida uning o'rta arifmetik qiymati  $\langle H_0 \rangle$  aniqlanadi.

| № | I, A | $\alpha_1^0$ | $\alpha_2^0$ | $\alpha_3^0$ | $\alpha_4^0$ | $\langle \alpha \rangle^0$ | $tg \langle \alpha \rangle$ | $H_0 \frac{A}{m}$ | $\langle H_0 \rangle \frac{A}{m}$ | $\langle \Delta H_0 \rangle \frac{A}{m}$ | $\varepsilon\%$ |
|---|------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------|--|-----------------|
| 1 |      |              |              |              |              |                            |                             |                   |                                   |  |                 |
| 2 |      |              |              |              |              |                            |                             |                   |                                   |  |                 |
| 3 |      |              |              |              |              |                            |                             |                   |                                   |  |                 |
| 4 |      |              |              |              |              |                            |                             |                   |                                   |  |                 |
| 5 |      |              |              |              |              |                            |                             |                   |                                   |  |                 |

### ***Sinov savollari***

1. Magnit maydon xarakteristikalarini ta`riflab bering.
2. Bio-Savar-Lampas qonuni nimadan iborat?
3. To`g`ri tokning magnit maydonini yozib bering.
4. Magnit maydon superpozitsiyasi nimani bildiradi.
5. Magnit maydon kuch chiziqlarini tushuntiring.
6. Magnit maydon yo`nalishini qanday aniqlash mumkin.
7. Tangensbussol` haqida bilganlaringizni gapirib bering.
8. Yerning magnit maydoni qanday hosil bo`ladi?
9. Tokli doiraviy o`tkazgichning magnit maydoni formulasini keltirib chiqaring.

### **Termoelementni darajalash**

***Ishni bajarishdan maqsad:*** 1) Metallar uchun kontakt hodislarini o`rganish; 2) Termoelektrik hodisalar va ularning qo`llanilishi bilan tanishish; 3) Tayinli termometr uchun  $I = f(\Delta t)$  diagrammasini tuzish.

1797 yilda A. Vol`ta ikki metall o`zaro kontaklashsa, ulardan biri musbat, ikkinchisi esa manfiy zaryadlanishini aniqladi. Natijada metallar orasida kontakt potentsiallar farqi deb yuritiluvchi – potentsiallar farqi vujudga keladi. Agar *Al, Zn, Sn, Pb, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd* kabi metallar ko`rsatilgan ketma – ketlikda kontaklashtirilsa, unda har bir metall o`zidan keyingi istalgan metall bilan musbat zaryad namoyon etib kontaklashadi. Bu qatorni Vol`ta qatori deb yuritiladi.

Vol`ta tajribaga tayanib quyidagi ikki qonunni aniqladi:

1. Kontakt potentsiallar farqi tegishuvchi metallarning faqat ximiyaviy tarkibiga va temperaturasiga bog`liq bo`ladi.
2. O`zaro ketma – ket ulangan bir xil temperaturali turli o`tkazgichlardan tashkiltopuvchi tizimning kontakt potentsiallari ayirmasi oraliq o`tkazgichlarning ximiyaviy tarkibiga bog`liq emas, balki faqatgina ikki chetdagi metallarning



bevosita ulanishida hosil bo'luvchi kontakt potentsiallar ayirmasigagini teng bo'ladi.

Turli metallarda chiqish ishining turlicha bo'lishi buning bosh sababi erkin elektronlar konsentratsiyasining turlicha bo'lishi esa ikkinchi bosh sababi hisoblanadi. Bu ikki sababning natijaviy ta'siri ostida birinchi va ikkinchi metallar orasidagi kontakt potentsiallar farqi quyidagicha ifodalanadi.

$$\Delta\eta = \frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

bunda  $A_1$  va  $A_2$  mos holda 1 – metall va 2 – metaldan elektronning chiqish ishi.  $k$  – Bol'tsman doimiysi.  $T$  – termodinamik temperatura  $n_1$  va  $n_2$  mos holda elektronning 1 – metall va 2 – metaldagi konsentratsiyasi.

Vol'taning ikkinchi qonuniga binoan, bir xil temperaturali, bir nechta metallardan tashkil topuvchi berk zanjirda EYuK vujudga kelmaydi, ya'ni elektr toki hosil bo'lmaydi. Lekin, kontaktlar temperaturasi turlicha bo'lsa, zanjirda termoelektrik tok deb ataluvchi, tok paydo bo'ladi. Metallarda, yarim o'tkazgichlarda issiqlik ta'siri ostida elektr hodisasi, elektr ta'sirida issiqlik hodisalari ro'y berishi mumkin. Buni termoelektrik hodisalar deb ataladi. Uning hosil bo'lish tabiati bilan bog'liq bo'lgan quyidagi effekt bilan tanishamiz.

**1. Zeebek effekti.** 1821 yilda nemis fizigi T.Zeebek berk zanjirni tashkil etgan ikki xil metallning kavsharlangan qismlarini turli temperaturalarda ushlab turilsa, zanjir bo'ylab elektr toki oqimini qayd qiladi. Kavsharlangan nuqtalardagi temperaturalar farqining ishorasi o'zgartirilsa, tok yo'nalishi ham o'zgaradi. Termo EYuK hosil bo'lishining sababi shuki, kavsharlangan turli metallarning qizigan uchidagi yuqori energiyali elektronlar konsentratsiyasi sovuq uchiga nisbatan ko'proq bo'ladi va tez elektronlarning issiqroq uchidan sovuq uchiga qarab diffuzion oqimi vujudga keladi, o'tkazgichlarning issiq uchlari yaqinida esa elektronlarni kamayishi hisobiga ular musbat zaryadlanadilar. Sovuq uchlari manfiy zaryadlanadi, natijada o'tkazgichlarning uchlarida potentsiallar farqi vujudga keladi.

Berk zanjirlarda ko'pgina metallar jufti (masalan *Cu-Bi*, *Ag-Cu*, *Au-Cu*) uchun elektr yurituvchi kuch kontaktdagi temperaturalar farqiga to'g'ri proporsional bo'ladi:  $\varepsilon = \alpha(T_1 - T_2)$  bunda  $\varepsilon$ -termoelektr yurituvchi kuch deyiladi.

Zeebek effekti termodinamikaning ikkinchi qonuniga zid emas, chunki bunda ichki energiya elektr energiyasiga aylanadi. SHu sababli, mazkur zanjirda doimiy tok bo'lishi uchun, doimo kontaktdagi temperaturalar farqini o'lchab turish, ya'ni kontaktning bir uchiga issiqlik berish, ikkinchisidan esa issiqlikni olib turish darkor.

Zeebek effektidan temperaturalarni o'lchash uchun foydalaniladi. Undan shuningdek elektr toki generatsiyalash uchun ham foydalanish mumkin.

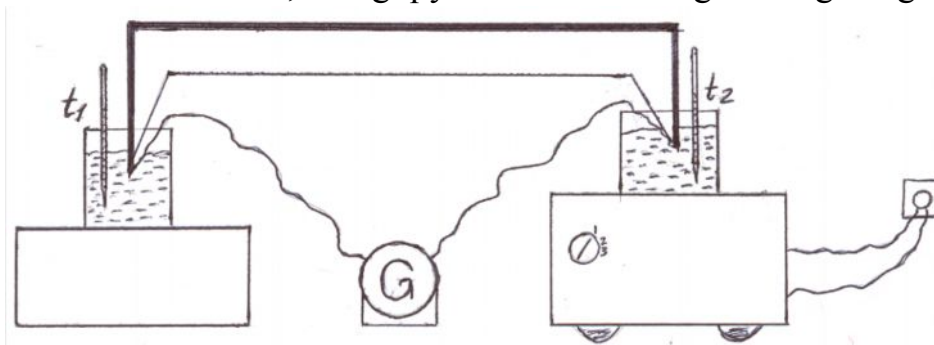
**2. Pel't'e effekti.** Frantsuz fizigi J. Pel't'e tomonidan 1834 yilda kashf etilgan. Bu effekt quyidagicha ta'riflanadi:

Turli metall yoki yarim o'tkazgichlar kontaktlaridan elektr toki o'tsa, tokning yo'nalishiga bog'liq ravishda shu kontaktda issiqlik yutiladi va yoki ajraladi. Bu issiqlik miqdori quyidagi formula bilan ainqlanadi:  $Q = \Pi \cdot I \cdot t$ .

Bunda Pel't'e koeffitsienti , I-tok kuchi va t-tokning o'tib turish vaqti. Pel't'e hodisasi quyidagicha tushuntiriladi. Agar zaryad tashuvchilar ikki metall kontaktidan o'tib, kichik energiyali (chiqish ishi nisbatan katta) metallga tushsa, ortiqcha energiyani kristall panjaraga beradi, natijada kontakt qiziydi. Aks xolda energiya yutiladi.

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

**3. Tomson effekti.** Termodinamika mulohazalari asosida Vil'yam Tomson (Kel'vin) 1856 yilda uzunligi bo'yicha temperatura gradienti bo'lgan o'tkazgichdan tok o'tganda Pel't'e issiqligiga o'xshash issiqlik ajralishi va yoki yutilishi kerak degan fikrni ilgari surdi. Bu gipoteza tajribada tasdiqlanib, Tomson effekti nomini oldi. Uning matematik ifodasi quyidagicha:  $Q_m = K_m(T_2 - T_1)It$  bunda  $K_m$  - Tomson koeffitsienti bo'lib, uning qiymati materialning tabiatiga bog'liq.



1-rasm

### *Ishni bajarish tartibi*

1. 1 – rasmdagi termopara zanjiri bilan tanishib chiqiladi. Bunda gal'vanometr strelkasi nolga turganiga ishonch hosil qilish dardkor.
2. Elektr plitkani tok tarmog'iga ulanadi. Ulanish oldidan uning ustidagi idishda joylashgan termometrning ko'rsatkichi  $t_2$  va isitilmaydigan suvli stakandagi termometrning ko'rsatkichi  $t_1$  qiymatlari orasidagi  $t_2 - t_1 = \Delta t$  farq 1 – jadvalga kiritiladi, dastlabki holda  $t_2 = t_1$  bo'lgani uchun  $\Delta t = 0$  hamda unga mos keluvchi termotok ham  $I = 0$  bo'ladi.
3. Temperaturaning oshishiga bog'liq holda hosil bo'luvchi termotokning mos qiymatlari (masalan, aytaylik, gal'vanometrning 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 ko'rsatkichlari) bilan bog'liq bo'luvchi mos temperaturalar isitiluvchi termometrda qayd qilinib, birin – ketin 1 – jadvalga kiritib yoziladi.
4. Gal'voanometrning ko'rsatkichi 20 birlikka yaqinlashganda plita o'chiriladi, chunki isish jarayoni undan so'ng ham davom etib strelka albatta 20 birlikka etib boradi.
5. 1÷4 banddagi shartlar teskari jarayon, ya'ni sovush uchun ham qaytadan takrorlanib bajariladi. Olingan barcha natijalar 1–jadvalga kiritiladi.

6. Galvanometr strelkasi nolga kelgach oxirgi o'lchash bajarilib, ish yakunlanadi.

### ***O'lchash natijalarini hisoblash***

1. Isish jarayoni uchun olingan qiymatlar asosida  $I = f(\Delta t)$  diagramma tuziladi.

2. Sovush jarayoni uchun olingan qiymatlar asosida yana  $I = f(\Delta t)$  diagrammasi tuziladi.

1 - jadval

| № | Isish jarayoni |                | Sovush jarayoni |                |
|---|----------------|----------------|-----------------|----------------|
|   | $\Delta t$     | $I(10^{-7} A)$ | $\Delta t$      | $I(10^{-7} A)$ |
| 1 |                | 0              |                 | 0              |
| 2 |                | 1              |                 | 1              |
| 3 |                | 2              |                 | 2              |
| 4 |                | 3              |                 | 3              |
| 5 |                | 5              |                 | 5              |
| 6 |                | 10             |                 | 10             |
| 7 |                | 15             |                 | 15             |
| 8 |                | 20             |                 | 20             |

### ***Sinov savollari***

1. Kontakt potentsiallar farqi nima?
2. Vol'ta qatori qanday qonuniyat asosida tuzilgan?
3. Vol'taning I - qonunini ta'riflang
4. Vol'taning II - qonunini aytib bering.
5. Kontakt potentsiallar farqi qanday formula bilan ifodalanadi?
6. Termoelektrik hodisalarni tushuntiring.
7. Zeebek effektini ta'riflang. Termo EYuK nimalarga bog'liq?
8. Pel'te effektini tahlil qilib bering.
9. Tomson effekti nimani ifodalaydi?
10. Nima sababdan isish va sovush jarayoniga mos keluvchi  $I = f(\Delta t)$  bog'lanish chiziqlari o'zaro ustma - ust tushmaydi? Xulosalaringiz bilan o'rtoqlashing.

## Linza sferik sirtining egrilik radiusini, fokus masofasini va sindirish ko'rsatgichini aniqlash

Kerakli asboblari: fonar, optik stol, taglikka o'rnatilgan va ko'chirilib yuradigan qavariq linza, ekran, sferometr, diapozitiv.

Linza deb, ikki tomondan sferik sirt bilan qoplangan sindiruvchi muhitga aytiladi. Linzaning egrilik radiusi esa sharning radiusiga o'xshash, chunki linza shu sharning sferik sirtini bir qismini tashkil qiladi. Linza sirtiga parallel tushuvchi nurlar linzadan o'tgandan so'ng bir nuqtada kesishadi va bu nuqtani linzaning bosh fokusi deyiladi. Bosh fokus masofaning teskari qiymati, linzaning optik kuchi deyiladi va u dioptriyada o'lchanadi.

Bosh fokus masofasi 1 m bo'lgan linzaning optik kuchi 1 dioptriyaga teng bo'ladi. Linzaning bosh fokusi masofasi  $f$ , egrilik radiuslari  $r_1$  va  $r_2$  hamda sindirish ko'rsatgichi orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (1)$$

Linzaning fokus masofasi  $f$  ni va egrilik radiuslari  $r_1$  va  $r_2$  ni aniqlab, (1) chi formuladan linzaning sindirish ko'rsatgichini hisoblanadi.

### I. Linzaning fokus masofasini o'lchash

Agar qavariq linza 1 yoritilayotgan diapozitiv bilan ekran oralig'ida joylashgan bo'lsa, linzaning shunday holatini aniqlash mumkin, natijada ekranda diapozitivdagi buyumning aniq tasviri hosil bo'ladi. U holda buyumdan linzagacha qolgan masofa  $d$ , linzadan ekrangacha bo'lgan masofani  $f$  desak, quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (2)$$

(2) chi formuladan  $f$  va  $d$  ning o'zgarishi bilan tenglik o'zgaraydi, chunki  $f$  va  $d$  o'zaro simmetrik bog'langan, demak, buyum bilan ekran oralig'ida linza ikki holatda bo'lishi mumkin (1-rasm. i va ii holat).

Birinchi holatda buyumning kattalashgan, ikkinchi holatda kichiklashgan tasviri hosil bo'ladi. Birinchi holatdan ikkinchi holatga o'tishi uchun linza biror  $n$  masofaga siljish kerak va  $n = d_1 - d$  ga teng.

$g$ -linzaning birinchi holati

$w$ - ikkinchi linzaning holati va  $d = f_1$ ;  $f = d_1$  ga teng.

U holda  $d_1$  ni  $f$  bilan almashtirib  $n = f - d$  va buyumdan ekrangacha bo'lgan masofani  $m$  deb belgilab  $m = f + d$  ni yozish mumkin.

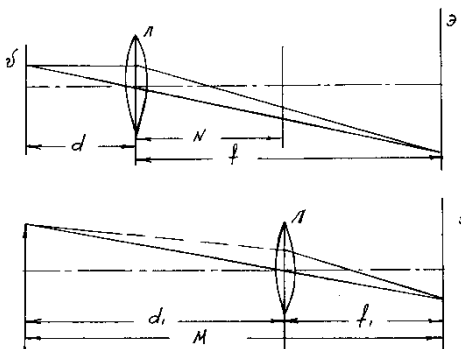
oxirgi ikki tenglikdan:  $f = \frac{M + N}{2}$ ;  $d = \frac{M - N}{2}$

bu qiymatlarni (2) chi formulaga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz

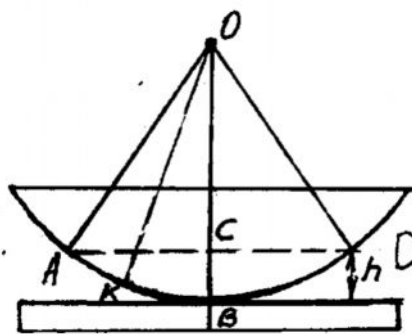


## Sinov savollari

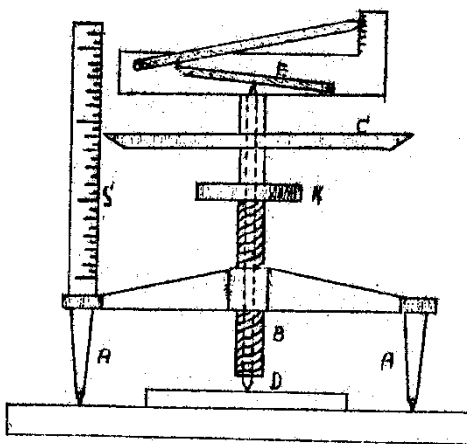
1. Sinza nima va uning qanday turlari mavjud?
2. Linzada tasvir qanday yasaladi?
3. Linzaning fokusi nima va u qanday aniqlanadi?
4. Linza formulasini yozib bering.
5. Egrilik radiusini fizik ma`nosini aytib bering.
6. Sindirish ko`rsatkichi nima?



1- rasm



2- rasm



3- rasm

## Mikroskop yordamida shisha plastinkaningsindirish ko`rsatgichini aniqlash

**Kerakli asboblari:** Mikrometrik vintli mikroskop, mikrometr, har ikki tomonining sirtiga chiziqlar chizilgan shisha plastinka.

Yorug`lik nuri ikki muhit chegarasidan o`tishda bir qismi qaytadi, bir qismi sinadi va yana bir qismi yutiladi. Tushayotgan nur va nurning tushayotgan nuqtasiga o`tkazilgan normal orasidagi burchak tushish burchagi, normal bilan qaytgan nur orasidagi burchak qaytish burchagi va singan nur bilan nurning sinish nuqtasiga o`tkazilgan normal orasidagi burchak sinish burchagi deb ataladi (1-rasm).

Qaytgan va singan nurlar quyidagi qonunlar asosida aniqlanadi:

1. Tushayotgan nur AO, nurning tushish nuqtasiga o`tkazilgan normal "POP" va singan nur "OD" bir tekislikda yotadilar.
2. Nurning qaytish burchagi (ROB) miqdor jihatdan tushish burchagiga (ROA) teng.
3. Tushish burchagi sinusining, sinish burchagi sinusiga nisbati yorug`lik nurining birinchi muhitdagi tezligi  $v_1$  ni, ikkinchi muhitdagi tezligi  $v_2$  ga nisbati kabidir, ya`ni

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

Bir xil to`lqin uzunlikdagi yorug`lik nurlari o`zgarmas kattalikka teng bo`lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan nisbiy sindirish ko`rsatkichlari deyiladi, ya`ni

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \text{const} = n_{21} \quad (2)$$

Agar yorug`lik nurlari havodan yoki bo`shliqdan (vakuumdan) biror muhitga kirayotgan bo`lsa, u holda bu kattalik muhitning havoga nisbatan olingan sindirish ko`rsatkichi deb ataladi. Ikkinchi muhitning absolyut sindirish ko`rsatkichi 1-rasmga asosan quyidagiga teng.

$$n_2 = \frac{c}{v_2}; \quad n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (3)$$

C-yorug`lik nurlarining bo`shliqdagi tezligi.

$v_2$ -yorug`lik nurlarining 2-muhitdagi tezligi.

Demak, (3) tenglikka asosan muhitning absolyut sindirish ko`rsatkichi, yorug`lik nurlarining bo`shliqdagi tezligini berilgan muhitdagi tezligiga nisbati bilan o`lchanadi. Sindirish ko`rsatkichi va muhitning xususiyatlariga bog`liq ikki muhitning nisbiy sindirish ko`rsatkichi shu muhitlarning absolyut sindirish ko`rsatkichlari  $n_1$  va  $n_2$  lar bilan quyidagicha bog`langan.

$$n_{21} = \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} = \frac{c \cdot n_2}{c \cdot n_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Havoning yorug`lik nurlarini sindirish qobiliyati juda kichik bo`lgani uchun shishaning havoga nisbatan olingan sindirish ko`rsatkichi, deyarlik absolyut sindirish ko`rsatkichga tengdir.

Agar yorug`lik nurining yo`liga qalinligi  $N$  va sindirish ko`rsatkichi  $n$  bo`lgan shisha plastinkani joylasak, u holda nur plastinkaning  $A$  nuqtasidan o`tib ketadi ( $N$  nur, 2-rasm) shisha plastinkaning  $A$  nuqtasiga  $90^\circ$  dan kichik burchak ostida tushayotgan yorug`lik nurlarining dastasi ( $NA$  nur), havodan shishaga kirishda sinib,  $AO$  yo`nalish bo`yicha ketadi va  $O$  nuqtada shishadan havoga o`tishda yana sinib  $OD$  yo`nalish bo`yicha ketadi.

$OD$  nurning shisha plastinkadan chiqishda hosil qilingan sinish burchagi  $\beta_1$  tushish burchagi  $\alpha$  dan katta bo`ladi, Shuning uchun, agar kuzatuvchi  $D$  nuqtadan  $DO$  nurini kuzatsa  $DO$  va  $AS$  nurlarning kesishgan nuqtalarini  $A$  da emas balki  $E$  nuqtada ko`radi, ya`ni plastinkaning haqiqiy qalinligi  $N$  kichraygandek bo`lib,  $ES$  kesmaga teng holda ko`rinadi.

U holda yorug`lik nurlarining sinish qonuniga asosan quyidagicha yozish mumkin: (Nurni  $D$  dan  $A$  ga yo`nalgan deb qarab)

$$n_{shisha} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \quad (5)$$

Agar tushayotgan nurlar normalga yaqin bo`lsa, tushish va sinish burchaklari kichik bo`ladi. U holda sinuslarni tangenslar bilan almashtirib (5) tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$n_{shisha} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha} = \frac{tg \beta_1}{tg \alpha} \quad (6)$$

ASO va ESO uchburchaklardan:

$$tg \beta_1 = \frac{CO}{EC} = \frac{CO}{h};$$

$$tg \alpha = \frac{CO}{AC} = \frac{CO}{H}$$

Chunki 2-rasmda  $ES = h$  va  $AS = H$

Tangenslarning qiymatlarini (6) tenglikka qo`ysak quyidagiga ega bo`lamiz:

$$n_{shisha} = \frac{CO \cdot H}{h \cdot CO} = \frac{H}{h} \quad (7)$$

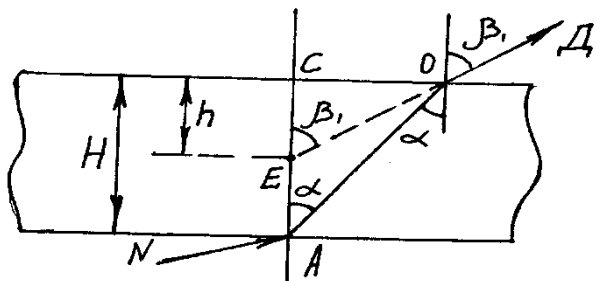
shunday qilib, (7) tenglikka asosan, shisha plastinkaning sindirish ko`rsatkichi, uning mikrometr yordamida o`lchangan haqiqiy qalinligi  $H$  va mikroskop yordamida o`lchangan haqiqiy bo`lmagan qalinligi  $h$  ni o`lchash orqali aniqlanadi.



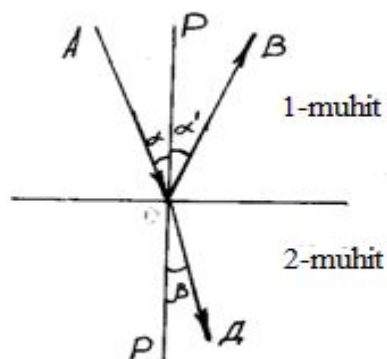


### Sinov savollari

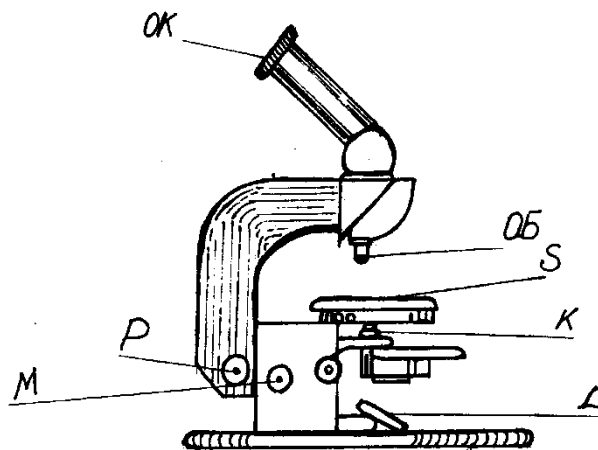
1. Yorug`likning qaytish va sinish qonunlarini aytib bering.
2. Tajriba yo`li bilan olingan sindirgich ko`rsatgichi son qiymatini fizik ma`nosini tushuntiring.
3. Mikroskopning kattalashtiruvchi asosiy qismlari nimalar?



2-rasm



1-rasm



3-rasm

## Difraktsion panjara yordamida yorug`likning to`lqin uzunligini aniqlash

**Kerakli asboblari:** Optik taglik, shtativga o`rnatilgan yorug`lik manbai, tirqishli plastinka, difraktsion panjara, o`lchaydigan lineyka, ekran.

Yorug`lik difraktsiya hodisasi yorug`lik to`lqinini to`g`ri chiziqli yo`lidan chetlashishidan iborat. Bu hodisani yorug`lik to`lqinlari yo`lida o`lchamlari yorug`lik to`lqinining uzunligiga yaqinroq bo`lgan jism yoki tirqishlar turgan bo`lsa kuzatish mumkin. Difraktsiya natijasida geometrik soya sohasiga yorug`likning kirishi ro`y beradi. To`lqinlar difraktsiyasi hodisasini Gyugens – Frenel` printsipli yordamida tushuntirilishi mumkin.

Yakka dumaloq tirqishdan hosil bo`lgan difraktsion manzaraning qiyofasi quyidagicha bo`lishini aytish mumkin; markazida maksimal yoritilgan yorug` dog` uning atrofida esa navbatlashuvchi qorong`i va yorug` halqalar hosil bo`ladi. Qo`shni ikki qorong`i halqa orasida bittadan yorug` halqa yotadi, lekin markaziy yorug` dog`dan ko`ra ancha zaif yoritilgan bo`ladi.

(1-rasm).

Ikki yoki undan ko`proq tirqishlarda hosil bo`lgan difraktsion manzara bittaga qaraganda murakkabroq bo`ladi. Masalan, ikkinchi tirqishning qo`shilishi yorug`lik intensivligini maksimumda kuchaytirib va yana yangi maksimumlar hosil qiladi.

Agar bir necha tirqishga oid difraktsiya hodisasini kuzatsak, bunda ko`p shu`lalar interferentsiyasi hosil bo`lganligini ko`ramiz. Agar tirqishlarning umumiy soni  $N$  bo`lsa unda o`zaro interferentsiyalanadigan shu`lalar soni ham  $N$  bo`ladi. Bir xil amplitudali  $N$  ta shu`laning o`zaro interferentsiyasida intensivligi bir hil bo`lgan qator bosh maksimumlar hosil bo`ladi; qo`shni maksimumlar orasida  $N-1$  ta minimumlar joylashadi; undan tashqari yana qo`shni bosh maksimumlar orasida  $N-2$  ta ikkilamchi maksimumlar hosil bo`ladi. 2- rasmda o`zaro interferentsiya hosil qiluvchi 3 ta shu`la uchun  $L$  linzaning fokal tekisligidagi yoritilganlikning taqsimoti tasvirlangan.

Yorug`lik difraktsion manzara maksimumlarining intensivligini yana ham oshirishi uchun, difraktsion panjara qo`llaniladi. Oddiy difraktsion panjara shisha platinikadan iborat bo`lib, uning yuziga bo`lish mashinasi bir qator parallel` shtrixlar chizgan. Chizilgan, ya`ni noshaffof joylar yorug`likni shunday sochib yuboradiki, uning faqat juda oz qismigina kuzatish tomoniga yo`naladi. Qo`shni tirqishlarning orasidagi  $d$  masofa panjara doimiysi yoki davri deb ataladi. Agar tiniq shtrixlarning eni  $a$  bo`lsa,  $d=a+b$  ifoda difraktsion panjarani davrini aniqlaydi. Agar, masalan, uzunligi 3 sm bo`lgan panjara 150 shtrix chizilgan bo`lsa, panjaraning davri  $3/150=0,02$  sm ga teng bo`ladi.

Agar panjaradan hosil bo`ladigan difraktsion manzarada yorug`lik intensivligini taqsimlanishini ko`rsak, quyidagicha bo`ladi. Bu holda ham intensivlik bosh maksimumlari bir tirqishning yo`nalishidek joylashgan. Bosh maksimumlar juda tor, keskin; ularning kengligi panjara tirqishlari soniga teskari proporsional,

intensivligi esa, panjara tirqishlari sonining kvadratiga to'g'ri proporsionaldir. Bosh maksimumlarning kuzatish burchagi  $\varphi$  quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\sin\varphi = \pm \frac{K\lambda}{d} \quad (1) \quad (K=0,1,2,3\dots)$$

$d$  - difraksion panjaraning davri, « $a$ »- tirqishlar kengligi,

$b$  - qo'shni tirqishlar orasidagi masofa;

$\lambda$  - tushayotgan monoxromatik yorug'likning to'lqin uzunligi;

$K$ - bosh maksimum tartibini ko'rsatuvchi butun son;

$K=0$  nolinchi tartibli maksimumning vaziyatini beradi;

Bu faqat bitta bo'ladi. ( $K=1$  birinchi va hokazo).

Shunday qilib, difraksion panjaradan o'tgan monoxromatik nurning ekrandagi difraksion manzarasi – markaziy chiziqdan ikki tomonga joylashgan va intensivligi pasayib borayotgan qator yorug' chiziqlarni tashkil qiladi. Agarda panjara oq nur bilan yoritilsa, unda har qaysi to'lqin uzunligi uchun o'zining  $\varphi$  burchagi bo'lib, shu burchak orasida yorug'lik maksimumi kuzatiladi. Shuning uchun har qaysi nur polosasi spektral chiziqlar degan bir qator tor chiziqlardan tashkil topib, shu nurning spektri deyiladi (3-rasm).

Shunday qilib, oq yorug'lik bilan yoritilgan panjaradan hosil bo'lgan manzara quyidagicha bo'ladi: markazda oq yo'l, (tartibli maksimum) uning o'ng va chap tarafida turli to'lqin uzunliklariga tegishli maksimumlar paydo bo'ladi; bu maksimumlar o'zaro tutashib ketib, spektr deb atalgan rangli yo'llar hosil qiladi.

Spektrning har qaysi chizig'i muayyan to'lqin uzunligiga ega bo'ladi. Birinchi, ikkinchi va hokazo bosh maksimum chiziqlariga ( polosalarga) munosib spektrlar, birinchi, ikkinchi va hokazo tartibli spektrlar deyiladi. Davri ma'lum bo'lgan difraksion panjara yordamida, yorug'likning to'lqin uzunligini etarlicha aniqlik bilan o'lchash mumkin.

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{K} \quad (2)$$

### ***Asbobning tuzilishi***

Optik taglikning bir uchiga shtativga o'rnatilgan yorug'lik manbai, tor tirqishli plastinka  $R$  o'rnatilgan, plastinka tirqishi ostiga shkalali ekran mahkamlangan. Optik skam'yaning ikkinchi uchiga perpendikulyar qilib, ramkaga joylashtirilgan  $D$  panjara (4- rasm). Panjaraga yorug'lik manбайдan  $R$  tirqish orqali oq yorug'lik nuri tushiriladi. Hosil bo'lgan rangli difraksion manzara shkalali ekranda kuzatiladi.

### ***Ishni bajarish tartibi***

Difraksion panjara yordamida yorug'likning to'lqin uzunligini o'lchash uchun panjara doimiylikini bilmoq zarur. Bu o'qituvchi tomonidan beriladi: asbob yig'iladi: a) sudralgich ustiga belgilangan ramkaga joylashtirilgan difraksion panjara o'rnatiladi. b) shtativga yorug'lik manbai mahkamlanadi va zanjirga tok ulanadi. v) panjaradan yoritilgan tirqishga qaraganda qator rangli chiziqlar ko'rinadi. Ularning markazida ravshan oq yo'l (nolinchi tartibli maksimum) joylashadi. Rangli chiziqlar markaziy oq yo'lga nisbatan simmetrik joylashgan. Har bir yol difraksion manzara ya'ni birinchi, ikkinchi va h.k. tartibli spektrlar markaziga nisbatan  $l_1, l_2, l_3, l_4$  masofaga siljigan (5- rasm).

Sudralgich yordamida panjaraning oldingi va orqaga shunday siljitishimiz kerakki, birinchi tartibli sariq spektrlar chiziqlar shkaladagi shtrixlar bilan ustma-ust tushsin. Bunda shunga e'tibor berish kerakki, panjara tekisligi optik kursiga perpendikulyar bo'lsin. Bu vaziyatda panjaradan tirqishgacha bo'lgan masofa  $L$  o'lchanadi, shkaladagi shtrixlar oralig'i ham o'lchanadi. Unda 5 rasmdan ko'rinishicha  $l_1 / L$  ni tg  $\varphi$  deb olish mumkin. Burchak  $\varphi$  kichik bo'lganligi uchun tg  $\varphi$  ni sin  $\varphi$  deb olish mumkin.

So'ng  $\lambda = \frac{d \sin \varphi}{K}$  formula yordamida sariq spektral chiziqni to'lqin uzunligi aniqlanadi.  $K$  – spektrning tartibi, birinchi tajribada  $K=1$ .

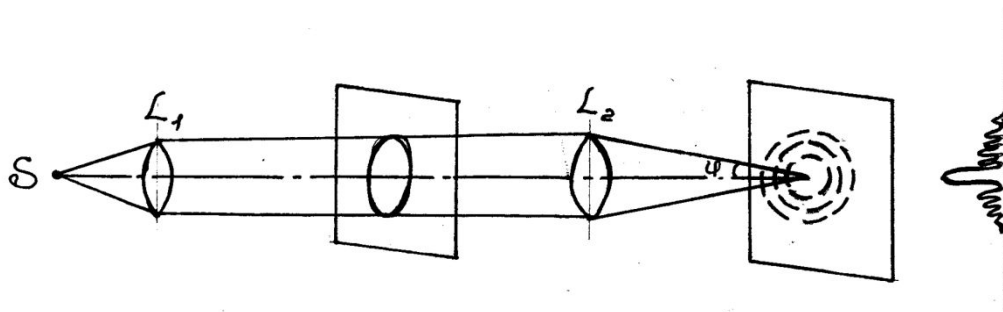
g) xuddi shu usulda tajriba qaytarilib ikkinchi va uchinchi tartibli spektrlarni ko'rish mumkin. Olingan to'lqin uzunliklarining o'rtacha qiymatlari topiladi. So'ng boshqa rangdagi spektrlar chiziqlar umuman  $\lambda$  aniqlanadi.

### ***O'lchov natijalari quyidagi jadvalga yoziladi***

| № | d | L | K | l | sin $\varphi$ | $\lambda$ | $\bar{\lambda}$ | $\Delta\lambda$ | $\Delta \bar{\lambda}$ | $\frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} \cdot 100\%$ |
|---|---|---|---|---|---------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|--|
| 1 |   |   |   |   |               |           |                 |                 |                        |  |
| 2 |   |   |   |   |               |           |                 |                 |                        |  |
| 3 |   |   |   |   |               |           |                 |                 |                        |  |
| 4 |   |   |   |   |               |           |                 |                 |                        |  |
| 5 |   |   |   |   |               |           |                 |                 |                        |  |
| 6 |   |   |   |   |               |           |                 |                 |                        |  |

### ***Sinov savollari***

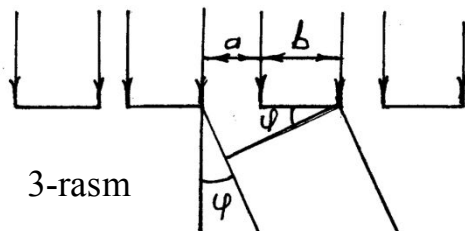
1. Difraksiya hodisasi nima?
2. Difraksiyaning kuzatilish shartini tushuntiring.
3. Difraksion spektrlardagi 0 tartibli maksimum qanday rangda?
4. Difraksion panjara nima va uni davri deb nimaga aytiladi?
5. Difraksion panjara yordamida yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlash formulasini yozib, tushuntirib bering.



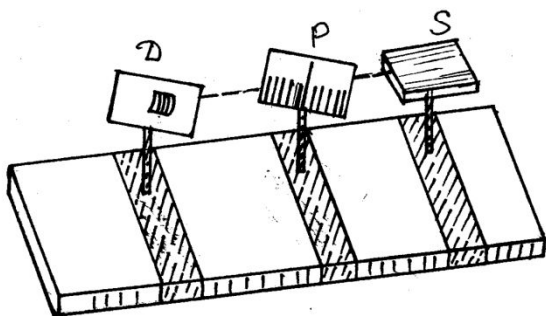
1- rasm



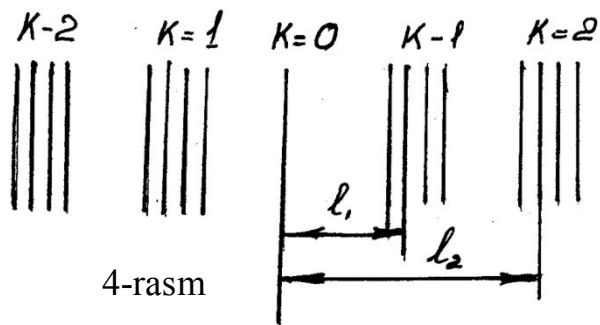
2-rasm



3-rasm



4-rasm



4-rasm

## Fotoelement yordamida yoritilganlik qonunlarni o'rganish

**Kerakli asboblari:** Fotoelementli asbob, turli kuchlanishdagi lampochkalar to'plami, mikroampermetr.

Biror sirtning o'ziga tushayotgan yorug'lik oqimidan yoritilish darajasi yoritilganlik deb ataladi. Bu kattalik quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1)$$

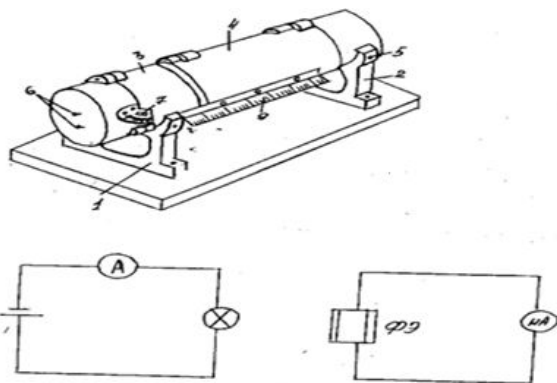
Bunda  $d\Phi$ - sirtning  $dS$  elementiga tushayotgan yorug'lik oqimi. Nuqtaviy manba xosil qiladigan  $E$  yoritilganlikni yorug'lik kuchi  $I$ , sirtman manbagacha bo'lgan masofa  $R$  va sirtning  $n$  normali bilan manba tomon yo'nalishi orasidagi  $\alpha$  burchak orqali ifodalash xam mumkin.

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{R^2} \quad (2)$$

Yoritilganlik birligi lyuks (lk) 1 lyumen oqimning  $1\text{m}^2$  sirt bo'yicha tekis taqsimlanib xosil qilgan yoritilganligiga teng:

$$1_{\text{lk}} = \frac{1_{\text{lm}}}{1_{\text{m}^2}}$$

Yoritilganlikni o'lchash yoki taqqoslash uchun fotografik yoki elektrik usullardan foydalaniladi. Fotografik usullar shunga asoslanganki, fotosezgir qatlamning qorayishi plastinkaga ekspozitsiya davomida tushgan yorug'lik energiyasi miqdoriga proporsional bo'ladi. Elektrik usullarda esa yorug'lik qabul qiluvchi element, fotoko'paytirgichlar va termoparalar qo'llaniladi. Quyidagi ishda fotoelementdan va yorug'lik ta'birida FEU da xosil bo'ladigan fototokni o'lchovchi milliampermetrdan foydalaniladi.



1-rasm

### ***Asbobning tuzilishi***

Asbob gorizontal joylashgan doiraviy korpusdan iborat bo'lib, umumiy taglikka maxkamlangan, korpus ikki qismdan tuzilgan (1-rasm):

1. Ichiga selen fotoelementi joylashtirilgan kamera (3);
2. Ikki qismga ajraladigan silindr (4).

Kameraning oldingi qismidan ikkita klemma o'rnatilgan bo'lib, ularga fotoelement ulangan. Bu klemmalarga yana mikroampermetr xam ulangan. Kameraning tsilindrik qismiga maxkamlangan dasta (7) yordami bilan fotoelement o'z o'qi atrofida aylantirilib, burilish burchagini o'lchash mumkin.

Bunda burilish burchagining maksimum qiymati  $90^0$  ga teng bo'ladi.

Silindrning pastki qismiga santimetrlarga bo'lingan shkala (9) maxkamlangan, bu shkala yorug'lik manbaida fotoelementgacha bo'lgan masofani o'lchash uchun xizmat qiladi. Shkalaning nol-inchi chizig'i fotoelementning sezgir qatlami tekisligiga mos keladi. Silindr ichida bir necha ximoya qirralar bo'lib, fotoelementni qaytgan nurlardan saqlaydi.

### ***Ishni bajarish tartibi***

**1-Vazifa** Yoritilganlikni yorug'lik manbaigacha bo'lgan masofaga bog'liqligini o'rganish.

1. Asbob yig'iladi:

a) taglikka o'rnatilgan lampochkani tsilindr ichidaga asbob o'qiga perpendikulyar qilib joylashtiradi;

b) 2-rasmda ko'rsatilgandek, fotoelement klemmalariga mikroampermetr ulanadi, lampochka esa o'zgarmas tok manbaiga ulanadi.

v) fotoelementni asbobning o'qiga perpendikulyar qilib o'rnatiladi. Dasta /7/ burchak o'lchovchi shkalaning nol' xolatida turishi kerak.

2. Lampochkani asbob o'qi bo'lib suriladi va uni shkalaning o'ninchi bo'limiga keltiriladi, bunda lampochka markazi uchun taglikning o'rtasi olinadi. Lampochkaning shu xolatiga to'g'ri keluvchi mikroampermetrning ko'rsatishi yozib olinadi. So'ngra lampochka 15,20,25,30 -nchi bo'limlariga keltirilib, shu xolatlariga to'g'ri keluvchi mikroampermetrning ko'rsatishlari jadvalga yoziladi.



Tajriba davomida lampochkadan o'tayotgan tok kuchining qiymati o'zgarmas bo'lishiga axamiyat berish kerak.

3. Lampochkaning yorug'lik kuchini shartli ravishda  $I=1$  deb olinib  $E = \frac{I}{R^2}$

formula bo'yicha E ning qiymatlari xisoblanadi.

4. Tajribadan so'ng olingan natijalar bo'yicha i ning E ga bog'liqlik grafigi chiziladi.

| № | Lampochkadan fotoelementgacha bo'lgan masofa R | Mikroampermetrning ko'rsatishi i | $E = \frac{I}{R^2}$ |
|---|--|----------------------------------|---------------------|
|---|--|----------------------------------|---------------------|

**2-Vazifa.** Yoritilganlikning nur tushish burchagiga bog'liqligini o'rganish.

1. Birinchi tajribadagidek asbob yig'iladi. Lampochka shkalaning 10-nchi bo'limiga keltiriladi.
2. Fotoelement dastasi /7/ burchak o'lchagich shkalasining noliga qo'yib, lampochka yoqiladi va mikroampermetrning boshlang'ich ko'rsatishi yoziladi.
3. Dasta /7/ ni aylantirib, fotoelementni  $30^0, 45^0, 60^0$  burchak ostida o'rnatiladi. Mikroampermetrning mos ravishda ko'rsatishlari jadvalga yoziladi.

| № | R | $\alpha$ | $\cos \alpha$ | E (I=1 deb olinadi) | Mikroampermetrning ko'rsatishi i |
|---|---|----------|---------------|---------------------|----------------------------------|
|   |   |          |               |                     |                                  |

O'lchash vaqtida lampochkaning boshlang'ich o'rnidan siljimasligiga e'tibor berish kerak.

Birinchi o'lchab chiqishdan so'ng, lampochkaning boshqa xollarda xam o'lchashlarni shu tartibda qaytarish kerak. Tajriba davomida lampochka bir xilda qizib turishi kerak. Buning uchun lampochka ulangan ampermetrning ko'rsatishi o'zgarmas bo'lib turishga rioya qilish kerak.

4. Tajribadan so'ng fototokning yoritilganlikka bog'lanish grafigi chiziladi.

## Refraktometr yordamida suyuqlikning sindirish ko'rsatkichini aniqlash

**Kerakli asboblari:** Refraktometr, tekshirilayotgan suyuqliklar solingan kolbachalar, suyuqlikni prizmagaga surtadigan tayoqcha, artish uchun material.

Yorug'lik nuri ikki muhit chegarasidan o'tishda bir qismi qaytadi, bir qismi sinadi va yana bir qismi yutiladi. Tushayotgan nur va nurning tushayotgan nuqtasiga o'tkazilgan normal orasidagi burchak tushish burchagi, normal bilan qaytgan nur orasidagi burchak qaytish burchagi va singan nur bilan nurning sinish nuqtasiga o'tkazilgan normal orasidagi burchak sinish burchagi deb ataladi(1-rasm).

Qaytgan va singan nurlar quyidagi qonunlar asosida aniqlanadi:

1. Tushayotgan nur AO, nurning tushish nuqtasiga o'tkazilgan normal "POP" va singan nur "OD" bir tekislikda yotadilar.

2. Nurning qaytish burchagi (ROB) miqdor jihatdan tushish burchagiga (ROA) teng.

3. Tushish burchagi sinusining, sinish burchagi sinusiga nisbati yorug'lik nurining birinchi muhitdagi tezligi  $\mathcal{G}_1$  ni, ikkinchi muhitdagi tezligi  $\mathcal{G}_2$  ga nisbati kabidir, ya'ni

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} \quad (1)$$

Bir hil to'lqin uzunlikdagi yorug'lik nurlari o'zgarmas kattalikka teng bo'lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichlari deyiladi, ya'ni

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} = \text{const} = n_{21} \quad (2)$$

Agar yorug'lik nurlari havodan yoki bo'shliqdan (vakuumdan) biror muhitga kirayotgan bo'lsa, u holda bu kattalik muhitning havoga nisbatan olingan sindirish ko'rsatkichi deb ataladi. Ikkinchi muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi 1-rasmga asosan quyidagiga teng.

$$n_2 = \frac{C}{\mathcal{G}_2}; \quad n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (3)$$

C-yorug'lik nurlarining bo'shliqdagi tezligi.

$V_2$ -yorug'lik nurlarining 2-muhitdagi tezligi.

Demak, (3) tenglikka asosan muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi, yorug'lik nurlarining bo'shliqdagi tezligini berilgan muhitdagi tezligi nisbati bilan o'lchanadi. Sindirish ko'rsatkichi va muhitning xususiyatlariga bog'liq ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi shu muhitlarning absolyut sindirish ko'rsatkichlari  $n_1$  va  $n_2$  lar bilan quyidagicha bog'langan.

$$n_{21} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{C \cdot n_2}{C \cdot n_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Havoning yorug`lik nurlarini sindirish qobiliyati juda kichik bo`lgani uchun shishaning havoga nisbatan olingan sindirish ko`rsatkichi, deyarli absolyut sindirish ko`rsatkichga tengdir.

### ***Asbobning tuzilishi va ishlash printsipti***

Moddalarning sindirish ko`rsatkichini aniqlash uchun ishlatiladigan asbobni refraktometr deb ataladi. Refraktometrning muhim qismi ikkita prizmadir. Ular katta sindirish ko`rsatkichli materialdan tayyorlangan. Tekshirilayotgan suyuqlikning bir necha tomchisi prizmalarning A B va A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> tomonlari orasiga surtiladi (2-rasm).

1-prizmaning A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> yog`i xira bo`lib, yorug`lik nurini barcha yo`nalishda sochadi. Yorug`lik manбайдan kelayotgan nurlar birinchi prizmaning A<sub>1</sub> S<sub>1</sub> yog`ida sinib o`tadi: nurlar A<sub>1</sub> V<sub>1</sub> yog`idan sochilib chiqib, turli xil yo`nalish bilan suyuqlikka o`tadi. Tekshirilayotgan sindirish ko`rsatkichi I prizmaning sindirish ko`rsatkichidan kichik bo`lganligi uchun yorug`lik nurlarining hammasi suyuqlik bilan shisha chegarasida sinib, II prizmaga o`tadi. AB tomondagi sirpanuvchi uchinchi nur prizmada chegaraviy limit burchak ostida to`la ichki qaytadi. 1, 2-nurlar prizmada chegaraviy burchakka nisbatan kichik burchak ostida sinadi. Agar ikkinchi prizmadan chiqayotgan nur qarshisiga ko`rish trubasini qo`ysak ko`rayotgan maydonning bir qismi yorug`, bir qismi esa qorong`i bo`ladi. Chunki birinchi qismidan nur o`tmaydi. Bunday bo`lishiga to`la ichki qaytish hodisasi sabab bo`ladi. Chegaraviy 3-nurning holati shisha prizmaning va tekshirilayotgan suyuqlikning sindirish ko`rsatkichiga bog`liqdir. Chegaraviy nur trubadagi qurish maydonini yorug` va qorong`i qismlarining chegarasidan o`tadi. Agar trubani aylantirib, okulyardagi belgini shu chegaraga ustma-ust tushirsak, trubaning o`qi chegaraviy nurning yo`nalishiga mos tushadi. Bu holda trubaning joylanishini maxsus shkala ko`rsatadi. Bu esa suyuqlikning sindirish ko`rsatkichini bildiradi.

Refraktometr quyidagi qismlardan tashkil topgan : 1) Korpus, 2) prizmalar joylashtirilgan kamera, 3) ko`rish trubasi va shkaladan tashkil topgan (3-rasm).

Korpusning ustki qismiga kamera joylashtirilgan. U yorituvchi va ulash prizmalarini tutib turadi. Ustki prizmani olib, prizmaga suyuqlik surtish mumkin. Yorug`lik darchadan yoki elektr lampadan ko`zgu orqali tirqishga yuboriladi. Tirqishdan yorug`lik prizmaga tushadi. Ko`rish trubasining bir qismi shkalaning ichki qismida bo`lib R ushlagich orqali "O" o`q atrofida aylantirish mumkin. Ob`ektiv va prizmalar sistemasi korpusining ichkarisida, okulyar tashqarisida joylashgan. Shkala shisha plastinka ustiga belgilangan, uning bo`laklari trubaning ko`rish maydonida joylashgan.

Har hil to`lqinli chegaraviy nurlarning yo`nalishi turlicha (ularning sindirish ko`rsatkichlari har hil) bo`ladi. Shuning uchun yorug` va qorong`i qismlari o`rtasidagi chegara aniq ko`rinmaydi, xira yoki kamalak rangli ko`rinishda bo`ladi. Bu xiralikni yo`q qilish uchun nur qarshisiga qo`yilgan prizma (dispersiya

kodensatori) bilan to`g`ri qarash mumkinligini ega olish kerak va sektorini aylantirib rangli chegarani aniq va toza qilish mumkin.

### ***Ishni bajarish tartibi***

1. Yorug`lik elektr lampadan ko`zgu orqali prizмага yuboriladi.

2. Kamera ochiladi. Ehtiyotlik bilan ikkala prizmaning sirtini

paxta bilan quriguncha artiladi va shisha tayoqcha yordamida bir necha tomchi suyuqlikni pastki prizmaning ustiga tomiziladi.

3. Okulyarga qarab, asbob ko`zqusini burab ko`rish maydoni yaxshilab yoritiladi, keyin okulyarni siljitib, shkalani aniq ko`rintirish kerak.

4. Kodensator ushlagichini aylantirib, chegaradagi kamalak rangli ko`rinish yo`qotiladi.

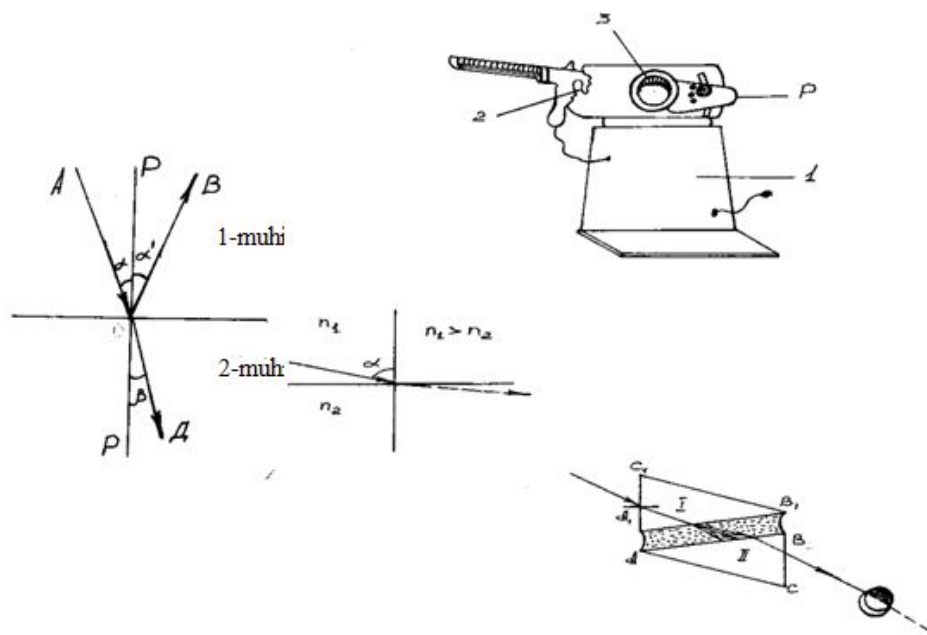
5. So`ngra R ushlagichni yuqori va pastga siljitib (3-rasm) okulyarni shunday holatini topish kerakki, bunda yorug` va qorong`i qismi bir-biridan ajralib tursin. Sektorni aylantirib aniq chegara topiladi. So`ngra yana R ushlagichni punktir chiziq yorug`lik bilan qorong`i qismining chegarasiga ustma-ust tushganicha oz-oz aylantiriladi. Ko`rish maydonida chapdan 2ta shkala punktir chiziqning holatini aniqlaydi. Bu suyuqlikning sindirish ko`rsatkichi bo`ladi.

6. O`lchash bajarib, yana ustki prizmani ko`tarib, ehtiyotlik bilan ikkala prizmani quruq paxta bilan quriguncha artish kerak. Asbob 2-chi o`lchash uchun tayyor bo`lgan bo`ladi. Oldin distillangan suvni sindirish ko`rsatkichini, keyin esa qand eritmasining sindirish ko`rsatkichini aniqlash kerak. Distrlangan suv va qand eritmasining ifloslanmasligi uchun ular kolbalarda og`zi berkitilgan holda saqlanadi. Ularni faqat ishlayotgan vaqtda ochish kerak.

Tayoqcha suyuqlikka tiqilishi oldidan toza va quruq bo`lishi kerak. Undan keyin uni vodoprovod suvida yuvib quriguncha artish kerak.

5. Olingan natijalar jadvalga yoziladi. Sindirish ko`rsatgichi qiymatlarini ordinata o`qiga, shakar eritmasi qiymatlarini abtsissa o`qiga joylashtirib sindirish ko`rsatgichini shakar eritmasiga bog`lanish grafigi chiziladi.

| №  | Shakar eritmasi (%) | Sindirish ko`rsatgichi. |
|----|---------------------|-------------------------|
| 1. | 0                   |                         |
| 2. | 5                   |                         |
| 3. | 10                  |                         |
| 4. | 15                  |                         |
| 5. | 20                  |                         |



1-rasm

### *Sinov savollari*

1. Geometrik optikaning asosiy qonunlarini aytib bering?
2. Muhitning sindirish ko'rsatkichi bilan unda yorug'likning tarqalish tezligi orasidagi bog'liqlik.
3. Nima uchun tekis shisha plastinkadan qaralayotgan jism yaqinlashgandek ko'rinadi?
4. Absolyut va nisbiy sindirish deb nimalarga aytiladi?
5. Refraktometrning ishlash printsipini tushuntirib bering.
6. To'la ichki qaytish hodisasi deb nimaga aytiladi?

## Suyuqlikning yorug`likni integral yutish koeffitsientini aniqlash

**Kerakli asboblari:** Yoritgich, silindrik shisha idish, fotoelement, milliampermetr.

*Shaffof muhitga yorug`lik tushganda yorug`lik energiyasining muhit sirtidan qaytishi va muhit ichida yutilish hodisalari kuzatiladi. Muhitdan o`tayotgan yorug`lik energiyasining bir qismi boshqa tur energiyasiga aylanishi tufayli yorug`lik intensivligining kamayishi hodisasi yorug`likning yutilishi deyiladi.*

Muhitdan o`tayotgan yorug`lik asosan quyidagi sabablarga ko`ra yutiladi:

1. Tushayotgan yorug`likning o`zgaruvchan elektromagnit maydoni ta`sirida muhit atomlari tarkibidagi elektronlar majburiy tebranma harakatga keladi. Natijada yorug`lik energiyasining bir qismi elektronlarning majburiy harakat energiyasiga aylanadi. Bu elektronlar ham o`z navbatida hamma tomonga ikkilamchi elektromagnit to`lqinlar tarqatadi. Qolgan qismi esa yon tomonlariga sochilib, muhitga yutilishini hosil qiladi.

2. Muhitdan o`tayotgan yorug`lik energiyasining bir qismi boshqa tur energiyalariga aylanishi tufayli yorug`lik intensivligining kamayishi hodisasi yorug`likni yutilishi deyiladi.

1 qalinlikdagi biron muhitga monoxromatik yorug`lik oqimi tushayapti. Muhitni qalinligini  $dl$  qalinligidagi qatlamlariga ajratamiz. (1-rasm)

Ixtiyoriy  $dl$  qalinlikka ega bo`lgan qalinlikda yorug`lik oqimining susayishi  $d\Phi_\lambda$  tushayotgan yorug`likning oqimi  $\Phi_\lambda$  ga va qatlam qalinligi  $dl$  ga to`g`ri proporsional bo`lib, suyuqlikni turiga, yorug`likni to`lqin uzunligiga ham bog`liq bo`ladi, ya`ni

$$d\Phi_\lambda = -m_\lambda \Phi_\lambda dl \quad (1) \quad m_\lambda = -\frac{d\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda dl} \quad (2)$$

Bu erda  $m_\lambda$  - muhitning turiga va yorug`likning to`lqin uzunligiga bog`liq proporsionallik koeffitsienti bo`lib, suyuqlikning yorug`likni yutish koeffitsientiga aytiladi. Tenglik (2) dan yutish koeffitsientini quyidagi ta`rif kelib chiqadi: qalinligi bir birlikka teng bo`lgan muhitdan yorug`lik oqimining nisbiy kamayishiga son jihatdan teng bo`lgan kattalik yutish koeffitsienti deyiladi. Yutish koeffitsienti SI birliklar sistemasida  $m^{-1}$  da o`lchanadi.

Tenglama (1) ning ikkala tomoni  $\Phi_\lambda$  ga bo`lib, shaklda ko`rsatilgan chegaralar bo`yicha integrallaymiz.

$$\int_{\Phi_{0\lambda}}^{\Phi_\lambda} \frac{d\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda} = -m_\lambda \int_0^l dx_{\kappa_1} \quad \text{yoki} \quad \ln \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_{0\lambda}} = -m_\lambda l \quad (3)$$

Bu ifodani potentsirlasak  $\Phi_\lambda = \Phi_{0\lambda} e^{-m_\lambda l}$  (4) kelib chiqadi.

Bu erda  $e = 2,71$ - natural logarifm asosi.

(4) Buger qonunini ifoda etadi, ya'ni muhitning qalinligini oshishi bilan undan o'tayotgan yorug'likning oqimi (intensivligi) eksponentsial qonun bo'yicha kamayadi.

Tajriba asosida  $I_1$ ,  $\Phi_1$  va  $\Phi_{0\lambda}$  larni o'lchab, tenglik (3) dan muhitning yorug'likni yutish koeffitsienti  $m_\lambda$  ni aniqlash mumkin. Hisoblarni soddalashtirish uchun natural logarifmdan o'nli logarifmga o'tamiz.

*Buning uchun Buger qonuni*

$$\Phi_\lambda = \Phi_{0\lambda} 10^{-\kappa_\lambda l} \quad (5)$$

Ko'rinishda yozamiz. Bu erda  $K_\lambda$  ham muhitning yutish xususiyatini xarakterlovchi kattalik bo'lib,  $m_\lambda$  bilan quyidagicha bog'langan.

$$10^{-\kappa_\lambda l} = e^{-m_\lambda l} \quad (6)$$

Tenglik (6) ni logarifmlab,

$$k_\lambda = m_\lambda \lg l \quad (7)$$

ni hosil qilamiz. Bundan

$$m_\lambda = \frac{k_\lambda}{0,4343} \quad (8)$$

Bu ishda suyuqlikning yutish koeffitsienti, ya'ni oq yorug'likni yutish koeffitsienti aniqlanadi. Oq yorug'lik 7 xil rangdagi (7 xil to'lqin uzunlikdagi) nurlarning yig'indisidan iborat.

Yutish koeffitsientini aniqlash uchun suyuqlik silindrik shisha idishga quyiladi. Yorug'lik idishdagi suyuqlikdan o'tayotganda u suyuqlikda yutilishi bilan bir qatorda, suyuqlik sirtidan qaytish, idish tubidan qaytish va yutilish hodisalari kuzatiladi. Bu protsesslarni hisobga olib Buger qonunini

$$\Phi_{1\lambda} = \Phi_{0\lambda} 10^{-(k_\lambda l + \gamma)} \quad (9)$$

Ko'rinishda yozamiz.

Bu erda  $\gamma$  yuqoridagi protsesslarni hisobga oluvchi va suyuqlikning qalinligiga bog'liq bo'lmagan koeffitsient. Demak, yutish koeffitsientini aniq o'lchash uchun  $\gamma$  ni o'lchash kerak. Buning uchun (9) tenglamaning logarifmik grafigidan foydalaniladi. Tenglik (9) ni

$$\frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{1\lambda}} = 10^{(kl + \gamma)}$$

$$\lg \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{1\lambda}} = k_{\lambda} l + \gamma \quad (10)$$

Bu ordinata o'qidan  $l$  ga teng kesma kesuvchi to'g'ri chiziqning tenglamasidir (2-rasm). Hosil bo'lgan to'g'ri chiziqning burchak koeffitsienti esa  $k_{\lambda}$  ga teng bo'ladi.

$$k_{\lambda} = \lg \alpha = \frac{\lg \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{2\lambda}} - \lg \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{1\lambda}}}{l_{\alpha} - l_1} \quad (11)$$

Tenglik (8) ni e'tiborga olsak, yutish koeffitsientini hisoblash uchun

$$m_{\lambda} = \frac{\lg \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{2\lambda}} - \lg \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{1\lambda}}}{0,4343(l_{\alpha} - l_1)} \quad (12)$$

Formulani hosil qilamiz.

Bu idishda yorug'lik oqimlari fotoelement yordamida o'lchanadi.

Stoletov qonuniga ko'ra to'yinish fototoki fotoelementga tushayotgan yorug'likning oqimiga to'g'ri proporsionaldir.

$$I = S\Phi \quad (13)$$

Bu yerda  $S$  fotoelementning sezgirligi. Fototokni o'lchayotgan milliampermetr bo'limining qiymati  $i$  ga teng bo'lsa,

$$I = in \quad (14), \quad \text{bo'ladi.}$$

Bu erda  $n$  tok o'tayotgan milliampermetr strelkasining ko'rsatishi.

Bu tenglamalarni hisobga olib, (12) chi tenglamaga oqimlar nisbatini galvanometr strelkasi ko'rsatayotgan bo'limlar soni nisbati bilan almashtirish mumkin.

$$\frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi_{1\lambda}} = \frac{n_0}{n_1} \quad (15)$$



Tenglik (15) ni (12) ga qo`shib yutish koeffitsientini hisoblash uchun

$$m_{\lambda} = \frac{\lg \frac{n_0}{n_2} - \lg \frac{n_0}{n_1}}{0,4343(l_2 - l_1)} \quad (16) \text{ formulani hosil qilamiz.}$$

### ***Qurilmaning tuzilishi***

S- lampa va L- linza yordamida parallel nurlar oqimi silindrik idishdagi suyuqlikka tushadi. Idish tagiga milliampermetr ulangan fotoelement E joylashgan. Fotoelement suyuqlikdan o`tgan yorug`likni oqimini o`lchaydi.

### ***Ish bajarish tartibi***

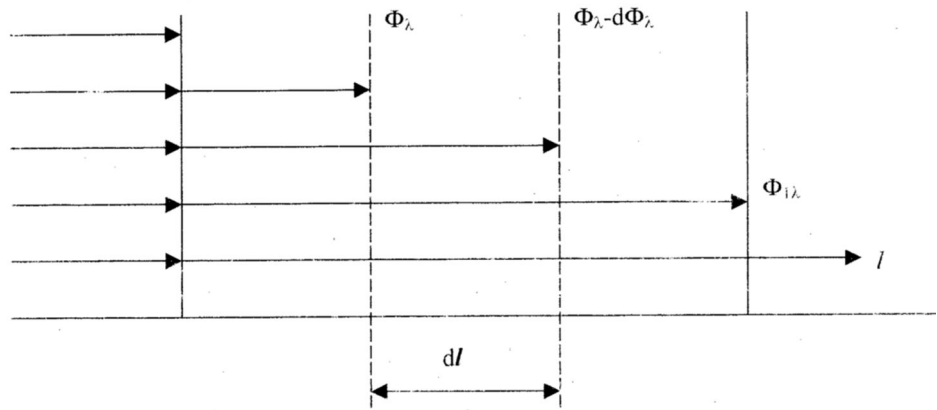
1. Yoritish lampasini tok manbaiga ulab, undan chiqayotgan nurlar suyuqlikdan o`tib, fotoelementni bir tekis yoritadigan holatga keltiriladi.
2. Diafragma yordamida, suyuqliksiz idishdan o`tayotgan, yorug`lik oqimi shunday tanlab olinadiki milliampermetr strelkasi shkaladan tashqariga chiqib ketmasin. Strelkaning  $n_0$  ko`rsatishi yozib olinadi.
3. Idishga 1 sm qalinlikda suyuqlik quyib fotoelement ustiga o`rnatiladi va milliampermetrning  $n_1$  ko`rsatishi yozilib qo`yiladi.
4. Idishda 2,3,4, sm qalinlikda suyuqliklar quyib, ularga mos keluvchi milliampermetrning  $n_2, n_3, \dots$  ko`rsatishlari yoziladi.
5. O`lchash natijalari asosida  $\lg \frac{n_0}{n} = f(l)$  funksiyaning grafigi chiziladi.
6. Tenglik (16) dan foydalanib, suyuqlikning yorug`likni yutish koeffitsienti hisoblanadi.
7. O`lchash va hisoblash natijalari quyidagi jadvalga yoziladi.

### ***O`zlashtirish uchun savollar***

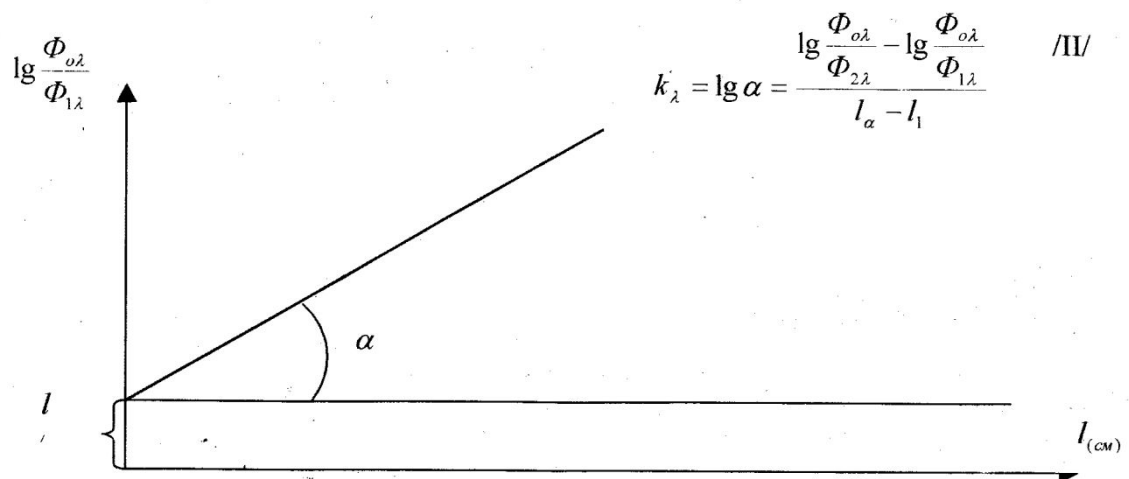
1. Yutish koeffitsienti deb nimaga aytiladi va u nimalarga bog`liq? Yutish koeffitsienti qanday birlikda aniqlanadi?
2. Yutish koeffitsientini hisoblash formulasini yozing.
3. Buger qonunini keltirib chiqaring va tariflang.
4. Ish qurilmasini chizib, fotoelementning vazifasini tushuntiring.
5. Ishni bajarish tartibini gapirib bering.

| № | Suyuqlik qalinligi | Asbobning ko`rsatishi $n_1$ | $n_0/n$ | $m_{\lambda}$ | $m_{\lambda}$ o`r |
|---|--------------------|-----------------------------|---------|---------------|-------------------|
| 1 | 1 sm               |                             |         |               |                   |

|   |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |



1-  
rasm



2-rasm

## Fotoelement yordamida fotoelektrik toklarni o'rganish

**Kerakli asboblari:** Optik skameyka, selenli fotoelement, lampochka, o'lchash chizg'ichi.

Birlik yuzaga tushayotgan yorug'lik oqimiga teng bo'lgan fizik kattalikka yoritilganlik deyiladi. Agar yorug'lik oqimi  $I$  lyumen  $I \text{ m}^2$  yuzaga bir xilda tushsa, bunda yoritilganlik yorug'lik manbaining kuchi  $I$  yorug'lik nuri bilan yoritilayotgan yuzasi orasidagi burchak  $\alpha$  ga bog'liq. Bu ko'rsatilgan miqdorlar quyidagi formula bilan ifodalanadi.

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad (1)$$

Agar yoritilayotgan yuzaga nur perpendikulyar holda tushsa, u holda (1) formula ixchamlanadi, ya'ni

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (2)$$

Yoritilganlikni o'lchash vositasida biror fotometr ishlatiladi. O'lchashda bir boshqa ma'lum yoritilganlik bilan solishtirib hisoblanadi. Bundan tashqi fotoelement yordamida tushayotgan yorug'likni to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish ham mumkin.

Fotoelementlarning turlari juda ko'p. Shulardan biri bo'lgan selenli fotoelement bilan tanishib chiqamiz (1-rasm). Selenli fotoelement berkitish qavatiga ega. Bu fotoelementni tuzilishi quyidagicha: temir plastinka (T)ga yupqa qilib selen (S) surtilgan. Buni ustiga esa yarim shaffof holdagi oltin yoki kumush (2) parda bilan qoplanadi. Temir plastinkaga selen amorf holda surtiladi va unga qizdirish yo'li bilan kristall holatga o'tkaziladi. Natijada yorug'likka nisbatan yuqori sezgir holatga ega bo'ladi. Yupqa oltin parda bilan selen chegarasida yupqa qavat hosil bo'ladi va bu qavat esa elektronlarni selendan oltinga qarab o'tkazadi, aks holda, ya'ni teskari yo'nalishda esa o'tkazgich o'tkazmaydi.

Oltin pardaga yorug'lik tushib, undan o'tadi va selen atomlariga ta'sir etadi, hamda selendan elektronlarni urib chiqaradi. Bu chiqqan elektronlar to'siq qavatdan o'tib oltin pardani manfiy zaryadlaydi. Selen bilan temir plastinka tegib turgan qism esa musbat zaryad bilan zaryadlanadi, ya'ni bu erdan elektronlar ketadi. Agar temir plastinka bilan oltin pardani biror o'tkazgich yordamida

birlashtirsak, u holda o'tkazgichdan fotoelektrik tok oqib o'tadi. Bu tok miqdorini esa sezgir gal'vanometr yordamida o'lchash mumkin. Fotoelektrik tok kuchi fotoelementning yuzasini yoritilganligiga bog'liqdir. Bu holda esa ana shu bog'liqlikni tekshirish kerak. Erning ta'sirida metallardan elektronlarni urib chiqishi fotoelement deyiladi.

#### Asbobning tuzilishi

Optik skameyka OS (2-rasm) dagi taglikka qo'zg'almas qilib fotoelement, suriluvchi taglikka elektr lampochka L o'rnatilgan. Berilayotgan kuchlanishni doimiy ushlab turish uchun zanjirga reostat ulangan.

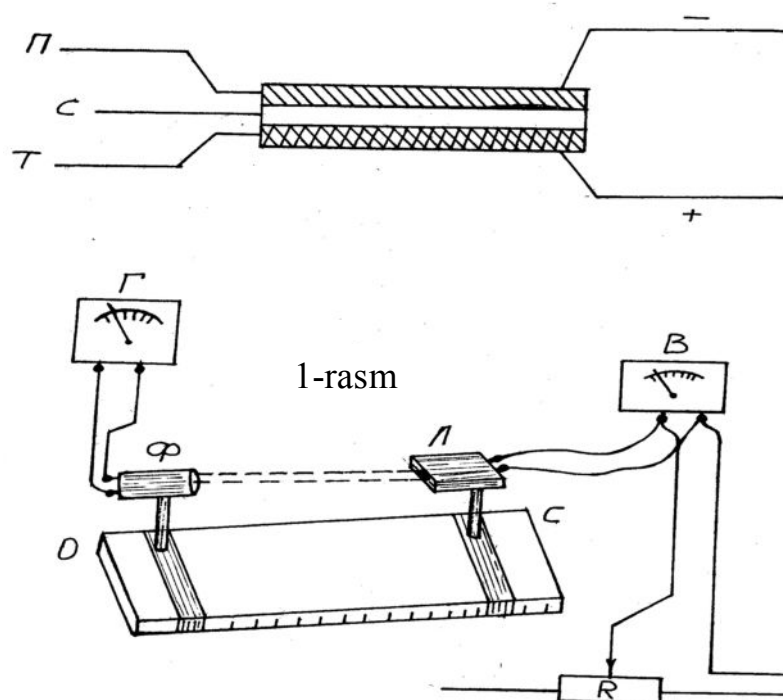
#### Ishni bajarish tartibi

1. Sxemani tekshirib chiqqandan so'ng lampali zanjirga tok ulanadi hamda reostat yordamida kuchlanish 100V holatda ushlab turiladi. Bu kuchlanish o'lchash davomida doim ushlab turiladi.
2. Lampa L fotoelement yuzasidan  $r_1=5$  sm da fototok I o'lchanadi. (gal'vanometrda bo'limlar ifodasi bilan).
3. Har gal lampani 5 sm dan surib,  $r=1,5$  m masofagacha fototok o'lchanadi.
7. O'lchash uch marta qaytariladi va natijada o'rtacha fototok miqdori aniqlanadi. Olingan natijalar jadvalga yoziladi.
6. O'lchangan masofani kvadratga ko'tarib uni qiymati yordamida (2) formuladan foydalanib har bir masofa uchun yoritilganlik E topiladi.
7. Gorizont o'qqa yoritilganlik vertikalga esa o'rtacha tok qiymatini qo'yib fototok bilan yoritilganlik orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi.

#### *Sinov savollari*

1. Yoritilganlik va uning o'lchov birligini tushuntiring.
2. Fotoelementning tuzilishini aytib bering.
3. Yoritilganlikni tok kuchiga va masofaga bog'lanishini tushuntiring.
4. Yoritilganlik qonunlarini aytib bering.
5. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini tushuntiring.

| Masofa<br>m. | Tok kuchi, i |   |   |          | $r^2$ | Yoritilganlik<br>$E = \frac{I}{r^2}$ (lyuks) |
|--------------|--------------|---|---|----------|-------|--|
|              | 1            | 2 | 3 | O'rtacha |       |  |
| 0,1          |              |   |   |          |       |  |
| 0,15         |              |   |   |          |       |  |



## ELEKTROMAGNETIZM VA OPTIKA KURSIDAN MASALALAR TO'PLAMI

### I – BOB. ELEKTROSTATIKA. ELEKTR MAYDON

#### *Asosiy formulalar*

Kulon qonuni  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ , bunda  $F$  - ikkita nuqtaviy zaryad  $Q_1$  va  $Q_2$  larning ta'sir kuchi;  $r$  - ular orasidagi masofa,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{10^9} \frac{F/m}{m} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}.$$

$\epsilon_0$  – elektr doimiysi.

Elektr zaryadining saqlanish qonuni  $\sum_{i=1}^n Q_i = const,$

$n$  -zaryadlar soni.

Elektr maydoni kuchlanganligi va potentsiali

$$\vec{E} = \vec{F}/Q, \text{ va } \varphi = \frac{W_p}{Q}, \text{ yoki } \varphi = \frac{A_\infty}{Q}$$

bunda  $\vec{F}$  - maydonda joylashtirilgan musbat  $Q$  zaryadga ta'sir etayotgan kuch,  $W_p - Q$  zaryadning potensial energiyasi,  $A_\infty$  - zaryadni maydonning shu nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ish.

Elektr maydon kuchlanganligi vektori  $\vec{E}$  ning oqimi

$$\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot \cos \alpha ds = \int_S E_n ds.$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasi

$$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dV,$$

bu yerda  $\rho = \frac{dQ}{dV}$  - zaryadning hajmiy zichligi.

Nuqtaviy zaryadning  $r$  masofada hosil qilgan maydon kuchlanganligi va potentsiali

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{va} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

$Q$  zaryadi bir tekis taqsimlangan  $R$  radiusli sharning shar markazidan  $r$  masofadagi nuqtada hosil qiladigan elektr maydonning kuchlanganligi va potentsiali:

$r < R$  da (nuqta shar ichida)

$$E = 0 \quad \text{va} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r};$$

$r = R$  da (nuqta shar sirtida)

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{R^2} \quad \text{va} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{R};$$

$r > R$  da (nuqta shardan tashqarida)

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{va} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

Bir tekis zaryadlangan  $R$  radiusli cheksiz silindrning, silindr o'qidan  $r$  masofadagi nuqtada hosil qiladigan elektr maydonining kuchlanganligi:

$r < R$  da (nuqta silindr ichida)

$$E = 0,$$

$r \geq R$  da (nuqta silindrdan tashqarida)

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{\tau}{r},$$

bu yerda  $\tau = \frac{dQ}{dl}$  - zaryadning chiziqli zichligi.

Bir tekis zaryadlangan cheksiz tekislik maydonining kuchlanganligi

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0},$$

bu erda  $\sigma = \frac{dQ}{dS}$  -zaryadning sirtiyl zichligi.

Ikkita parallel, cheksiz va turli xil zaryadlangan tekisliklar hosil qiladigan maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

Elektr maydon kuchlanganligining va potentsialining superpozitsiya prinsipi

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad \text{va} \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i .$$

$n = 2$  bo'lganda hosil bo'lgan kuchlanganlik vektorining moduli

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 \cdot E_2 \cdot \cos \alpha} ,$$

bunda  $\alpha$  -  $\vec{E}_1$  va  $\vec{E}_2$  vektorlar orasidagi burchak.

Nuqtaviy zaryadlar sistemasining o'zaro ta'sir energiyasi

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

bu yerda  $\varphi_i - (n-1)$  ta zaryadning  $Q_i$  zaryad turgan nuqtada hosil qiladigan maydon potentsiali.  $Q$  zaryadning maydonida undan  $r$  masofada turgan  $Q_0$  zaryadning potentsial energiyasi

$$\Pi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ_0}{r} .$$

Elektrostatik maydon potentsiali va kuchlanganligi orasidagi munosabat

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

Sfero simmetriklik xususiyatiga ega maydon uchun bu munosabat

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} .$$

Bir jinsli maydon holida

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} ,$$

bu yerda  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  -sirt nuqtalaridagi potentsiallari,  $d$  -ular orasidagi masofa.

Nuqtaviy zaryadni  $\varphi_1$  potentsialli nuqtadan  $\varphi_2$  potentsialli nuqtaga ko'chirishda maydon kuchlarining ishi

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad \text{yoki} \quad A = Q \int_e E_e dl .$$

Bir jinsli maydon holida

$$A = Q \cdot E \cdot l \cdot \cos \alpha ,$$

bu yerda  $l$  - ko'chish,  $\alpha$  -  $\vec{E}$  va ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak.

### MASALA YECHISH NAMUNALARI

**1-misol.** Har birining massasi  $m = m_1 = m_2 = 1g$  dan bo'lgan ikkita sharcha berilgan. Ularning elektrostatik ta'sir kuchi, sharchalarning Nyuton qonuni bo'yicha tortishish kuchiga teng bo'lishi uchun har bir sharchaga qanday  $Q$  zaryad berilishi kerak? Sharchalar moddiy nuqtalar sifatida qaralsin.

**Berilgan:**

$$m = m_1 = m_2 = 1g = 10^{-3} kg ;$$

$$F_k = F_N$$

$$Q = ?$$

**Yechish:** Ikkita bir ismli zaryadlangan nuqtaviy zaryadlar orasidagi itarish kuchi Kulon qonuniga muvofiq aniqlanadi.

$$F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} , \quad (1)$$

bu yerda  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ F/m}$  doimiylik.

Nuqtaviy jismlarning Nyuton qonuni bo'yicha o'zaro tortishish kuchi

$$F_N = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2)$$

bu yerda  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$  -gravitatsion doimiylik.

Masalaning shartiga muvofiq

$$F_K = F_N,$$

yoki (1) va (2) ni hamda  $Q = Q_1 = Q_2$  va  $m = m_1 = m_2$  ligini e'tiborga olsak.

$$k \frac{Q^2}{r^2} = G \frac{m^2}{r^2}.$$

Bundan

$$Q = m \sqrt{\frac{G}{k}} \quad (3) \text{ ni olamiz.}$$

$$[Q] = [m] \frac{[G]^{1/2}}{[k]^{1/2}} = 1 \text{kg} \frac{\sqrt{1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}}}{\sqrt{1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}}} = 1 \text{kg} \sqrt{1 \frac{\text{C}^2}{\text{kg}^2}} = 1 \text{C}.$$

Berilganlarni (3)-ga qo'yib topamiz

$$Q = 10^{-3} \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11}}{9 \cdot 10^9}} \text{C} = 86,7 \cdot 10^{-15} \text{C}.$$

**Javob:**  $Q = 86,7 \cdot 10^{-15} \text{C}$ .

**2-misol.** Bir xil zaryadlangan ikkita sharchalar uzunligi bir xil iplar bilan bir nuqtaga osilgan. Bunda ular  $\alpha$  burchakka ajralishdi. Sharchalar yog'li idishga tushirilganda ham  $\alpha$  burchak o'zgarmay qoldi. Sharcha materialining zichligi  $1,5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , yog'ning dielektrik kirituvchanligi 2,2 bo'lsa, yog'ning zichligi  $\rho_0$  nimaga teng?



**Berilgan:**

$$q_1 = q_2 = q;$$

$$\rho_m = 1,5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

$$\varepsilon = 2,2$$

$$\rho_0 = ?$$

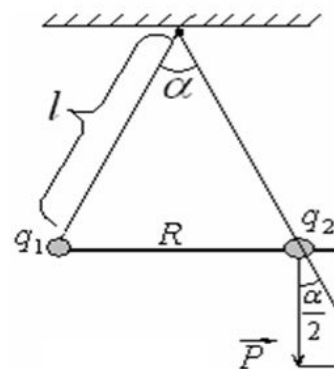
**Yechish:** Bo'shliqdagi bu ikki zaryadlangan sharcha orasidagi o'zaro ta'sir kuchi Kulon qonuni bilan aniqlanadi.

$$F_k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}. \quad (1)$$

Shuningdek, 52-rasmdan

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{F_k}{P} \quad (2)$$

ligi ko'rinib turibdi.



Sharchalar yog'li idishga tushirilganda esa ular orasidagi elektrostatik ta'sir kuchi

$$F'_k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2} \quad (3)$$

bo'ladi. Bu yerda  $\varepsilon$  - yog'ning dielektrik kirituvchanligi. Bundan tashqari ularga og'irlik kuchiga qarama-qarshi yo'nalgan Arximed kuchi ham ta'sir qiladi.

Demak,

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{F'_k}{P - F_A} \quad (4)$$

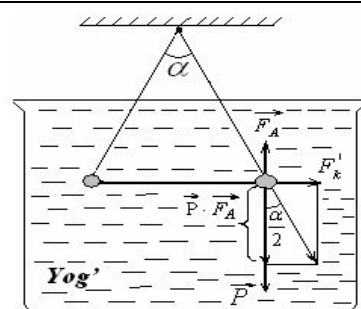
Agar (2)- va (4) -larni tenglashtirsak olamiz

$$\varepsilon = \frac{P}{P - F_A} \quad (5)$$

Sharning og'irligi  $P = mg = \rho_{sh} \cdot V \cdot g$ ; Arximed kuchi esa  $F_A = \rho_0 V g$  kabi aniqlanadi. Bu yerda  $V$  -sharchaning hajmi. Unda (5)dan olamiz.

$$\varepsilon = \frac{\rho_{sh}}{\rho_{sh} - \rho_0},$$

yoki  $\rho_0$  uchun



$$\rho_0 = \rho_{sh} \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \right). \quad (6)$$

Berilganlarni (6) ga qo'ysak

$$\rho_0 = 1,5 \cdot 10^3 \left( \frac{2,2-1}{2,2} \right) \frac{kg}{m^3} = 0,82 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} = 820 \frac{kg}{m^3}.$$

**Javob:**  $\rho_0 = 820 \frac{kg}{m^3}.$

**3-misol.**  $2mkC$  va  $-3mkC$  bo'lgan ikkita nuqtaviy zaryadlar  $5sm$  masofada joylashgan. Musbat zaryaddan  $3sm$  va manfiy zaryaddan  $4sm$  uzoqlikda joylashgan nuqtadagi maydon kuchlanganligi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$q_1 = 2mkC = 2 \cdot 10^{-6} C;$$

$$q_2 = -3mkC = -3 \cdot 10^{-6} C$$

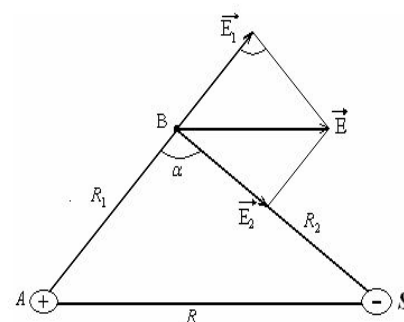
$$R = 5sm = 5 \cdot 10^{-2} m;$$

$$R_1 = 3sm = 3 \cdot 10^{-2} m$$

$$R_2 = 4sm = 4 \cdot 10^{-2} m$$

$$E = ?$$

**Yechish:** Kuchlanganlik vektorining musbat zaryaddan chiqishi va manfiy zaryadda tugashini e'tiborga olib, ko'rilayotgan nuqtadagi maydon kuchlanganligining yo'nalishini



rasmdagidek aniqlaymiz, ya'ni elektr maydon kuchlanganligining superpozitsiya printsipiga muvofiq.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Shu bilan birga  $\triangle ABC$  to'g'ri burchakli uchburchakdir  $\left( \alpha = \frac{\pi}{2} \right)$ , chunki

$$R^2 = R_1^2 + R_2^2. \text{ Demak,}$$

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2, \quad (1)$$

yoki (1) dan

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}. \quad (2)$$

O'z navbatida nuqtaviy zaryad maydon kuchlanganligini aniqlash formulasidan

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1^2}{R_1^2}, \quad \text{va} \quad E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2^2}{R_2^2}. \quad (3)$$

Bularni (2) ga qo'ysak

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{R_1^4} + \frac{q_2^2}{R_2^4}}. \quad (4)$$

Berilganlarni qo'ysak ( $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{m}{F}$  dan foydalanamiz)

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{4}{81} - \frac{9}{256}} \cdot 10^{-2} \frac{N}{C} = 9 \cdot 10^7 \sqrt{0,049 - 0,035} \frac{N}{C} = 9 \cdot 10^6 \cdot 1,1 \frac{N}{C} = 9,9 \cdot 10^6 \frac{N}{C}.$$

**Javob:**  $E = 9,9 \cdot 10^6 \frac{N}{C}$

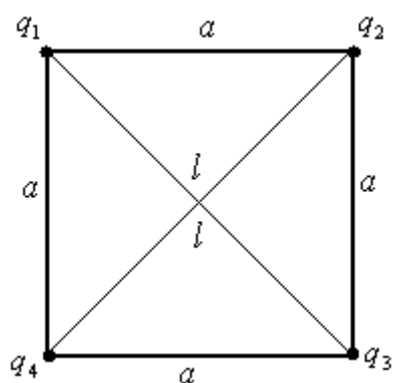
**4-misol.** Tomonining uzunligi  $10sm$  bo'lgan kvadratning uchlarida joylashgan to'rtta bir xil  $10nC$  nuqtaviy zaryadlar sistemasining potentsial energiyasi  $P$  qanday bo'ladi?

**Berilgan:**

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q = 10C;$$

$$a = 10sm = 0,1m.$$

$$P = ?$$



**Yechish:** Ikki nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'sir potentsial energiyasi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

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

bu yerda  $r$  -zaryadlar orasidagi masofa. Agar maydonni  $n$  ta nuqtaviy zaryad hosil qilayotgan bo'lsa, unda superpozitsiya prinsipiga muvofiq umumiy potentsial energiya har bir ikki zaryad o'zaro ta'sir potentsial energiyalarining yig'indisi sifatida aniqlanadi. Ya'ni

$$\Pi = \Pi_{12} + \Pi_{13} + \Pi_{14} + \Pi_{23} + \Pi_{24} + \Pi_{34} \quad (2)$$

(1)-ga asosan va rasmdan har bir ikki nuqtaviy zaryad orasidagi potentsial energiyalar:

$$\Pi_{12} = \Pi_{14} = \Pi_{23} = \Pi_{34} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q^2}{a}; \quad (3)$$

$$\Pi_{13} = \Pi_{24} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q^2}{l}. \quad (4)$$

55-rasmdan va Pifagor teoremasidan olish mumkin

$$l^2 = a^2 + a^2 = 2a^2 \text{ yoki } l = \sqrt{2}a. \quad (5)$$

(5)-ni (4)-ga qo'ysak

$$\Pi_{13} = \Pi_{24} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q^2}{\sqrt{2}a}. \quad (6)$$

(3) va (6) ga asosan (2)ni qayta yozsak ( $\epsilon = 1$ )

$$\Pi = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} [4 + \sqrt{2}] \quad (7)$$

$$[\Pi] = \frac{[q]^2}{[\varepsilon][a]} = \frac{1C^2}{1\frac{F}{m} \cdot 1m} = 1\frac{C^2 \cdot V}{C} = 1C \cdot \frac{J}{C} = 1J.$$

Kattaliklarning son qiymatlarini qo'yamiz  $\left(\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}\right)$ ,

$$\Pi = \frac{(10^{-8})^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1} [4 + \sqrt{2}] J \approx 0,05 \cdot 10^{-3} J = 50 \cdot 10^{-6} J = 50 \text{mkJ}$$

**Javob:**  $\Pi \approx 50 \text{mkJ}$ .

**5-misol.** Uzunligi  $10 \text{sm}$  bo'lgan ingichka tayoqchada tekis taqsimlangan  $1 \text{nC}$  zaryad bor. Tayoqcha o'qida yotuvchi va uning yaqin uchidan  $20 \text{sm}$  masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon potentsiali  $\varphi$  aniqlansin.

**Berilgan:**

$$l = 10 \text{sm} = 0,1 \text{m};$$

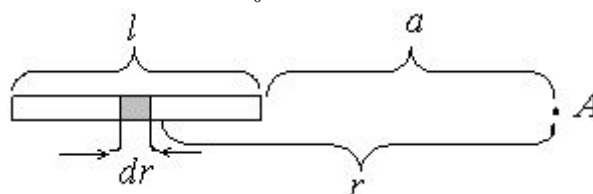
$$q = 1 \text{nC} = 10^{-9} \text{C};$$

$$a = 20 \text{sm} = 0,2 \text{m}$$

$$\varphi = ?$$

**Yechish:** Tayoqcha elementi  $dr$  ning, tayoqcha o'qida yotuvchi  $r$  masofadagi A nuqtada hosil qilgan maydon potentsiali  $d\varphi$  quyidagicha aniqlanadi:

$$d\varphi = \frac{\tau dr}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}. \quad (1)$$



Bu yerda  $\tau = \frac{q}{l}$  - zaryadning chiziqli zichligi. (1)- ifodani tayoqchanning butun uzunligi bo'yicha integrallab,  $l$  uzunlikli tayoqcha hosil qilgan maydon potentsialini topamiz

$$\varphi = \int_a^{l+a} \frac{\tau dr}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r} = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \int_a^{l+a} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \ln|r| \Big|_a^{l+a} = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \ln \left| \frac{l+a}{a} \right|.$$

Demak,  $A$  nuqtada  $l$  tayoqcha hosil qiladigan maydon potentsiali

$$\varphi = \frac{\tau}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \ln \left| \frac{l+a}{a} \right| = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon l} \ln \left| \frac{l+a}{a} \right| \quad (2)$$

$$[\varphi] = \frac{[\tau]}{[\varepsilon_0]} = \frac{1\frac{C}{m}}{1\frac{F}{m}} = 1\frac{C \cdot V}{C} = 1V.$$

Kattaliklarning qiymatlarini (2)-ga qo'yib topamiz  $\left(\varepsilon = 1; \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}\right)$ .

$$\varphi = \frac{10^{-9}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1} \ln \left| \frac{0,1+0,2}{0,2} \right| V = 36,5V .$$

**Javob:**  $\varphi = 36,5V$

**6-misol.** Ikkita cheksiz parallel tekisliklar bir-biridan  $1sm$  masofada turibdi. Tekisliklarda  $0,2mkC/m^2$  va  $0,5mkC/m^2$  zichliklar bilan bir tekis taqsimlangan zaryadlar bor. Tekisliklar orasidagi potentsiallar farqi topilsin.

**Berilgan:**

$$d = 1sm = 10^{-2} m;$$

$$\sigma_1 = 0,2mkC/m^2 = 2 \cdot 10^{-7} C/m^2;$$

$$\sigma_2 = 0,5mkC/m^2 = 5 \cdot 10^{-7} C/m^2.$$

$$\varphi = ?$$

**Yechish:** Tekisliklar orasidagi potentsiallar farqi quyidagicha aniqlanadi:

$$d\varphi = (E_2 - E_1)dr . \quad (1)$$

Bu erda

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0\varepsilon} \quad (2)$$

birinchi tekislik va

$$E_2 = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0\varepsilon} \quad (3)$$

ikkinchi tekislik hosil qiladigan maydon kuchlanganliklari. Shunday qilib,

$$d\varphi = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{2\varepsilon_0\varepsilon} dr \quad (4)$$

Integrallab (integrallash chegarasi  $x_1$  dan  $x_2$  gacha) olamiz

$$\varphi = \int_{x_1}^{x_2} \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{2\varepsilon_0\varepsilon} dr = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{2\varepsilon_0\varepsilon} \int_{x_1}^{x_2} dr = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\varepsilon_0\varepsilon} (x_2 - x_1) = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{2\varepsilon_0\varepsilon} d , \quad (5)$$

$$[\varphi] = \frac{[\sigma][d]}{[\varepsilon_0]} = \frac{1 \frac{C}{m^2} \cdot 1m}{1 \frac{F}{m}} = 1 \frac{C}{F} = 1 \frac{C \cdot V}{C} = 1V .$$

Berilganlarni (5) ga qo'yib olamiz  $\left( \varepsilon = 1; \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \right)$

$$\varphi = \frac{10^{-2}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} (5 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-7}) V = 170V .$$

**Javob:**  $\varphi = 170V$  .

**7-misol.** Gorizontaal yo'nalishda  $1,6M m/s$  tezlik bilan harakatlanayotgan elektron tik yuqoriga yo'nalgan  $90V/sm$  kuchlanganlikli bir jinsli elektr maydoniga uchib kirdi.  $1ns$  dan keyin elektron tezligining yo'nalishi va moduli qanday bo'ladi?

**Berilgan:**

$$g_0 = 1,6M \frac{m}{s} = 1,6 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$$

$$E = 90 \frac{V}{sm} = 9000 \frac{V}{m};$$

$$t = 1ns = 10^{-9} s.$$

$$g = ?$$

$$\varphi = ?$$

**Yechish:** Elektroniga yuqoriga yo'nalgan

$$F_e = eE \quad (1)$$

kuch ta'sir qiladi. Bu kuch ta'sirida elektron

$$a = \frac{F_e}{m} = \frac{eE}{m} \quad (2)$$

tezlanish oladi. 57-rasmda ko'rsatilgandek qilib sanoq sistemasi tanlanganda

$$g_y = a \cdot t = \frac{eE}{m} \cdot t. \quad (3)$$

$$\text{Undan ko'rinib turibdiki, } g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} = \sqrt{g_0^2 + \left(\frac{eEt}{m}\right)^2}. \quad (4)$$

Endi  $\varphi$  burchakning tangensini aniqlaylik.

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{g_y}{g_x} = \frac{eEt}{g_0 \cdot m}$$

Bundan

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{eEt}{g_0 \cdot m}\right). \quad (5)$$

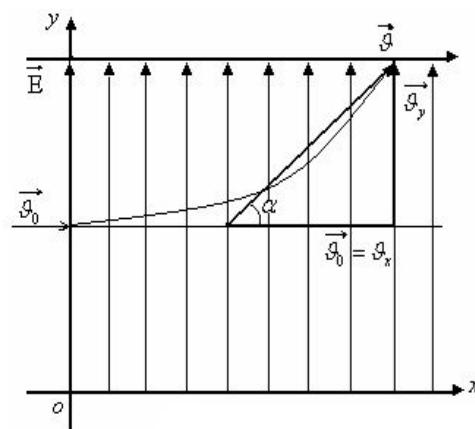
Berilganlarni (4) va (5) larga qo'yib topamiz

$$g = \sqrt{(1,6 \cdot 10^6)^2 + \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9000 \cdot 10^{-9}}{9,1 \cdot 10^{-31}}\right)^2} = 2,24 \cdot 10^6 \frac{m}{s} = 2,24 \frac{Mm}{s}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9000 \cdot 10^{-9}}{1,6 \cdot 10^6 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}\right) \approx \operatorname{arctg}(1) = 45^\circ$$

Bu yerda  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$  va  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$  dan foydalanildi.

**Javob:**  $g = 2,24 \frac{Mm}{s}$ ;  $\varphi = 45^\circ$ .



## 1.1 - §. Elektrostatika. Kulon qonuni. Elektr maydon kuchlanganligi

1. 100  $\mu C$  zaryadga ega bo'lgan zarrachada nechta elektron bor?
2. Ikkita zaryad R masofada joylashgan va bir-biri bilan 480 mN kuch bilan ta'sirlashadi. Agar ular orasidagi masofa 8 marta kamaysa ta'sirlashish kuchi qanday bo'ladi?

3. Temir atomining yadrosi tashqi orbitadagi elektronni qanday kuch bilan tortadi? Agar temir atom yadrosining zaryadi  $+26e$  va orbita radiusi  $1,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ .
4. 1 kg suvdagi zaryadlarining yig'indisi nimaga teng?
5. Uchta zaryad berilgan. Ular  $+4,0$ ;  $-3,0$  va  $-5,0 \mu\text{C}$  va ular tomoni  $1,40 \text{ m}$  bo'lgan muntazam uchburchakning uchlariga joylashtirilgan. Har bir uchidagi zaryadga tasir qiladigan kuchning qiymatini va yo'nalishini toping?
6. Nuqtaviy zaryadlar  $+88, -55$  va  $+70 \mu\text{C}$  bitta to'g'ri chiziq ustiga  $0,75 \text{ m}$  masofadan joylashtirilgan. Har bir zaryadga boshqa ikkitasining tasir kuchini aniqlang?
7. Agar kvadratning tomoni  $1,15 \text{ m}$  bo'lsa va har bir uchiga  $0,005 \text{ C}$  zaryad joylashtirilgan bo'lsa, har bir zaryadga boshqalarining tasir kuchining qiymati va yo'nalishi qanday bo'ladi?
8. Zaryadi  $-8,0$  va  $+1,8 \mu\text{C}$  ikkita zaryad  $11,8 \text{ sm}$  masofaga joylashtirilgan. Uchinchi zaryadni qaysi nuqtaga joylashtirsak unga ta'sir qiladigan kuchi nol teng bo'ladi.
9. Massasi  $3 \text{ g}$  bo'lgan mis tanga  $+0,55 \mu\text{C}$  zaryadga ega. U nechta elektron yuqotgan?
10. Proton elektr maydonida tinch turibdi. Protonning og'irlik kuchini e'tiborga olib elektr maydon kuchlanganligini toping?
11. Agar  $-20$  va  $+60 \mu\text{C}$  zaryadlar  $40 \text{ sm}$  masofada joylashgan bo'lsa ular o'rtasidagi elektr maydonning kuchlanganligining yo'nalishini va qiymatini toping?
12. Kvadratning uchidagi elektr maydon kuchlanganligini hisoblang? Agar kvadrat tomoni  $80 \text{ sm}$  va boshqa uchta uchidagi zaryadlar  $18,2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  teng bo'lsa.
13. Proton vakkumda joylashgan elektr maydon kuchlanganligi qanday bo'lganda  $7,6 \cdot 10^4 \text{ m/s}^2$  tezlanish bilan harakatlanadi?
14.  $m=1,0 \text{ kg}$  massali mis bulagidagi barcha elektronlarning zaryadini toping.
15. Ikkita kichkina sharchaning har qaysisi shunday musbat zaryadlanadiki, ularning umumiy zaryadi  $q=5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  ga teng bo'ladi. Agar sharchalar bir-biridan  $r=2,0 \text{ m}$  masofada,  $F=1,0 \text{ N}$  kuch bilan itarilsa, bu zaryad ularda qanday taqsimlangan?
16. Ikkita elektron orasidagi elektr itarilish kuchi ularning bir-biriga gravitatsion tortilish kuchidan necha marta katta.
17. Agar bir-biridan  $r=3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  masofada turgan zaryadlangan chang zarralari havoda o'zaro  $F=10^{-19} \text{ N}$  kuch bilan ta'sirlashsa, har bir chang zarrasida nechtadan elektron bor?
18. Agar ikki nuqtaviy zaryad orasidagi masofa ikki marta oshirilsa va bir vaqtda ular dielektrik singdiruvchanligi avvalgiga nisbatan ikki marta kichik bo'lgan muhitga joylashtirilsa, zaryadlarning o'zaro ta'sir kuchi necha marta o'zgaradi?
19. Havoda bir-biridan  $r_1=20 \text{ sm}$  uzoqlikda turgan ikkita nuqtaviy zaryad biror kuch bilan o'zaro ta'sir qiladi. Yog'da bu zaryadlar shunday kuch bilan o'zaro ta'sir qilish uchun, ularni qanday  $r_2$  o'zoqlikda joylashtirish kerak?

20.  $q_1=1,7 \text{ nC}$  va  $q_2=-2,5 \text{ nC}$  zaryadlar bir- biridan  $r=3,2 \text{ sm}$  masofada turibdi.  $q_3=3,4 \text{ nC}$  zaryadni uning ta'sir kuchini sezmaydigan qilib qerda joylashtirish kerak ?

21. Agar natriy atomining yadrosi tomon katta tezlik bilan proton otilgan bo'lsa va u yadroga  $r=6 \cdot 10^{-14} \text{ m}$  masofaga yaqinlashgan bo'lsa, proton va yadro orasidagi elektrostatik itarilish kuchini aniqlang. Natriy yadrosi proton zaryadidan 11 marta katta. Atomdagi elektronlar bilan otilgan proton orasidagi ta'sir kuchi e'tiborga olinmasin.

22. Bir xil uzunlikdagi ikkita ipga zaryadlangan sharlar osilgan. Sharlar itarish kuchi ta'sirida havoda ma'lum burchakka burilib uzoqlashadi. Shu sharlar kerosinga tushirilganda ham iplar orasidagi burchak o'zgarmay qolishi uchun sharlar qanday zichlikdagi moddadan tayyorlanishi lozim? Kerosinning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon=2$  va zichligi  $\rho=0,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

23.  $q=10 \text{ nC}$  nuqtaviy zaryad o'zidan  $r=10 \text{ sm}$  masofada hosil qilgan elektr maydon  $E$  - kuchlanganligi aniqlansin. Dielektrik – yog'.

24. Ikkita  $q_1=8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  va  $q_2=-6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  nuqtaviy zaryad o'rtasida yotgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi topilsin. Zaryadlar oraligi  $r=10 \text{ sm}$ ;  $\epsilon=1$ .

25.  $q_1=7,5 \text{ nC}$  va  $q_2=-14,7 \text{ nC}$  bo'lgan ikkita nuqtaviy zaryadning oraligi  $r=5 \text{ sm}$ . Musbat zaryaddan  $a=3 \text{ sm}$  va manfiy zaryaddan  $b=4 \text{ sm}$  uzoqlikda joylashgan nuqtadagi maydonning kuchlanganligi topilsin.

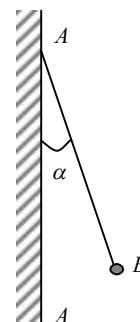
26. Kuchlanganligi  $E=40 \text{ kV/m}$  bo'lgan bir jinsli maydonda  $q=27 \text{ nC}$  zaryad turibdi. Maydonning a) zaryad orqali o'tuvchi bir jinsli maydon kuch chizig'ida yotgan; b) zaryad orqali o'tib kuch chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan to'g'ri chiziqda zaryaddan  $r=9 \text{ sm}$  masofada yotgan nuqtalardagi natijaviy kuchlanganligini toping.

Rasmda AA- zaryadlangan cheksiz tekislik bo'lib, zaryadning sirt zichligi  $\sigma=4 \cdot 10^{-9} \text{ C/sm}^2$  va massasi  $m=1 \text{ gr}$  zaryadi  $q=1 \text{ nC}$  bo'lgan (bu zaryad bilan tekislik zaryadining ishorasi bir xil) zaryadlangan sharcha. Sharcha osilgan ip AA tekislik bilan qanday burchak tashkil qiladi?

28. rasmdagi AA- zaryadlangan cheksiz tekislik va V- tekislik zaryadi bilan bir xil ishorada bo'lgan  $m=0,4 \text{ g}$  massali va  $q=6,67 \text{ nC}$  zaryadli sharcha berilgan. Sharcha osilgan ipning tarangligi  $T=0,49 \text{ mN}$ . AA tekislikdagi zaryadining sirt zichligi topilsin.

29. Diametri  $d=1 \text{ sm}$  bo'lgan mis shar yog' ichiga joylashtirilgan. Yog'ning zichligi  $\rho=800 \text{ kg/m}^3$ . Agar bir jinsli elektr maydonidagi shar yog' ichida muallaq bo'lsa, sharning zaryadi qancha bo'ladi? Elektr maydoni vertikal yuqoriga yo'nalgan bo'lib, uning kuchlanganligi  $E=36000 \text{ V/sm}$ .

30. Gorizontal holatdagi yassi kondensator plastinkalari orasida zaryadlangan simob tomchisi muvozanat holatda turibdi. Elektr maydonning kuchlanganligi  $E=60 \text{ kV/m}$ . Tomchi zaryadi  $q=8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ga teng. Tomchining radiusi topilsin.





## 1.2 - §. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi

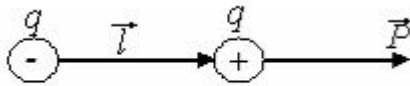
1. Radiusi 15 sm bo'lgan doira kuchlanganligi  $E=3,6 \cdot 10^2$  N/C bo'lgan bir jinsli elektr maydoniga joylashtirilgan. Maydon kuchlanganligi nimaga teng? a) agar uning kuch chiziqlari doira yuzasiga perpendikulyar bo'lsa, b) agar uning kuch chiziqlari doira yuzasiga  $45^\circ$  hosil qilsa, v) agar uning kuch chiziqlari doira yuzasiga parallel bo'lsa.
2. Nuqtaviy Q zaryad tomoni  $\ell$  teng bo'lgan kubning markaziga joylashtirilgan. Kubning bir qirrasida elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng?
3. Radiusi R bo'lgan yarim sferaning o'qiga parallel va kuchlanganligi E bo'lgan bir jinsli elektr maydon berilgan. Sfera yuzasidagi elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng? Agar E vektori sfera o'qiga perpendikulyar bo'lsa natija qanday bo'ladi?
4. Diametri  $d = 1$  sm bo'lgan mis shar yog' ichiga joylashtirilgan. Yog'ning zichligi  $\rho = 800$  kg/m<sup>3</sup>. Agar bir jinsli elektr maydonidagi shar yog' ichida muallaq bo'lsa, sharning zaryadi qancha bo'ladi? Elektr maydoni vertikal yuqoriga yo'nalgan bo'lib, uning kuchlanganligi  $E=36000$  V/sm.
5. Tomoni 18 sm bo'lgan kub ichidan  $1,45 \cdot 10^3$  N·m<sup>2</sup>/C bo'lgan elektr maydon oqimi o'tmoqda. Kub ichidagi zaryad nimaga teng?
6. Radiusi 3sm shar yuzasidagi elektr maydon kuchlanganligi  $2,1 \cdot 10^2$  N/C ga teng va shar tomon yo'nalgan. Shar qanday zaryadga ega?
7. Yer yuzasidagi elektr maydon kuchlanganligi  $E \approx 150$  N/C teng va yer markaziga yo'nalgan. a) Yerdagi zaryadlar qiymati nimaga teng b) 1m<sup>2</sup> yer yuzasida ortiqcha elektronlar soni nimaga teng?
8. Tomoni 20 sm bo'lgan alyuminiydan tayorlangan kvadrat qo'g'oz 35 nC zaryad bilan tekis taqsimlangan. Qog'ozdan a) 1,0 sm b) 15 m masofada joylashgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi nimaga teng?

## II-BOB. ELEKTR SIG'IM

### Asosiy formulalar

Dipolning elektr momenti

$$\vec{p} = |q|\vec{l},$$



bu yerda  $|q|$  dipol zaryadi,  $\vec{l}$  dipol yelkasi deyilib, dipolning manfiy zaryadidan musbat zaryadiga o'tkazilgan vektor.

Dipol o'qida yotuvchi nuqtada dipol maydonining kuchlanganligi

$$E = \frac{P}{2\pi\epsilon_0\epsilon r^3},$$

$r$  -dipol markazidan ko'rilayotgan nuqttagacha bo'lgan masofa.

Dipol o'qida yotuvchi nuqtada dipol maydonining potentsiali

$$\varphi = \frac{P}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

Dielektrikdagi o'rtacha maydon kuchlanganligi  $E$  tashqi maydon kuchlanganligi  $E_0$  bilan quyidagicha bog'langan  $E = \frac{E_0}{\epsilon}$ .

$\epsilon$ -dielektrik kirituvchanlik.

Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi

$$C = \frac{Q}{\varphi},$$

$Q$  -o'tkazgichga berilgan zaryad,  $\varphi$  -shu zaryad vujudga keltirgan potentsiallar farqi.

Yassi kondensatorning elektr sig'imi

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d},$$

bu yerda  $\epsilon$ -dielektrik kirituvchanlik,  $\epsilon_0$ -elektrostatik doimiy,  $S$ -kondensator qoplamasining yuzasi,  $d$ -ular orasidagi masofa.

$R$ - radiusli sharning elektr sig'imi

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

Qalinliklari  $d_i$ , dielektrik kirituvchanliklari  $\epsilon_i$  bo'lgan  $n$  ta dielektrik qatlami bilan to'ldirilgan yassi kondensatorning elektr sig'imi

$$S = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \dots + \frac{d_n}{\varepsilon_n}}$$

$R_1$  va  $R_2$  radiusli konsentrik silindrlarning orasiga  $\varepsilon$ - singdiruvchanlikli dielektrik to'ldirilgan sistemaning (silindrik kondensatorning) elektr sig'imi

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

$l$ - silindr sirtining uzunligi.

Ketma-ket ulangan kondensatorlar batareyasining elektr sig'imi

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Ikkita kondensator holida

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Parallel ulangan kondensatorlar batareyasining elektr sig'imi

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Zaryadlangan o'tkazgich energiyasi

$$W = \frac{1}{2} C \varphi^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q \varphi$$

Bu yerda  $Q$  -zaryad miqdori,  $\varphi$  -o'tkazgichning potentsiali,  $C$ - elektr sig'imi.

Zaryadlangan kondensatorning energiyasi:

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q U,$$

$C$ -kondensatorning sig'imi,  $Q$ -zaryadi,  $U$ -qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi.

Elektr maydon energiyasining hajmiy zichligi:

$$\omega = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} E D$$

$E$ -elektr maydon kuchlanganligi,  $\varepsilon$ -muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $D$ -elektr siljishi.

### MASALA YECHISH NAMUNALARI

**1-misol.**  $100nC \cdot m$  elektr momentli dipol kuchlanganligi  $10kV/m$  bo'lgan bir jinsli elektr maydonida erkin joylashgan. Dipolni  $60^\circ$  burchakda uning potentsial energiyasining o'zgarishi  $\Delta\Pi$  aniqlansin.

**Berilgan:**

$$P = 100nC \cdot m = 10^{-10} C \cdot m$$

$$E = 10kV/m = 10^4 V/m;$$

$$\alpha = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$$

**Yechish:** Dipolni burish natijasida uning potentsial energiyasining o'zgarishi  $\Delta\Pi$  son jihatdan uni burish uchun bajariladigan ishga teng bo'ladi.

$$\Delta\Pi = A \quad (1)$$

Dipolni  $\alpha$  burchakda burishda bajariladigan ish esa

$$\Delta\Pi = ?$$

$$dA = M d\alpha.$$

Bu yerda  $M = p \cdot E \sin \alpha$  - kuchlanganligi  $\vec{E}$  bo'lgan elektr maydonda joylashtirilgan  $\vec{p}$  momentli dipolga ta'sir etadigan mexanik moment.

Demak,

$$dA = p \cdot E \sin \alpha d\alpha \quad (2)$$

Topilgan ifodani integrallab olamiz ( $\alpha$  burchak  $[0 : \frac{\pi}{3}]$  da o'zgaradi.)

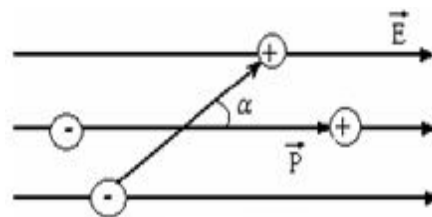
$$A = \int_0^{\frac{\pi}{3}} p \cdot E \sin \alpha d\alpha = p \cdot E \int_0^{\frac{\pi}{3}} \sin \alpha d\alpha = p \cdot E (-\cos \alpha) \Big|_0^{\frac{\pi}{3}} = pE (\cos 0 - \cos \frac{\pi}{3}) = \frac{1}{2} pE$$

Demak, 
$$A = \frac{1}{2} pE$$

$$[A] = [p] \cdot [E] = 1C \cdot m \cdot 1 \frac{N}{C} = 1N \cdot m = 1J. \quad (3)$$

Berilganlarni (3) ga qo'yib va (1) ni nazarga olib topamiz

$$\Delta\Pi = A = \frac{1}{2} 10^{-10} C \cdot m \cdot 10^4 V/m = 0,5 \cdot 10^{-6} J = 0,5 mkJ$$



**Javob:**  $\Delta P = 0,5 mkJ$ .

**2-misol.** 10 V potensialgacha zaryadlangan to'rtta bir xil simob tomchisi qo'shilib bitta tomchi hosil qiladi. Hosil bo'lgan katta tomchining potentsiali  $\varphi$  topilsin.

**Berilgan**

:

$$\varphi_0 = 10V;$$

$$V = 4V_0.$$

$$\varphi = ?$$

**Yechish:** Katta tomchining potentsiali

$$\varphi = \frac{Q}{S} \quad (1)$$

ifoda yordamida aniqlanadi. Bu yerda

$$S = 4\pi\epsilon_0\epsilon R. \quad (2)$$

Katta tomchining elektr sig'imi (uni sharsimon kondensator sifatida qarash mumkin) va zaryadning saqlanish qonuniga muvofiq

$$Q = 4q \quad (3)$$

$Q$ -katta tomchidagi zaryad miqdori,  $q$ - har bir kichik tomchidagi zaryad miqdori. Demak,

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

Agar kichik tomchidagi zaryad miqdori

$$q = c_0 \cdot \varphi_0 \quad (5)$$

kabi aniqlanishini nazarda tutsak, bu yerda  $C_0 = 4\pi\epsilon_0\epsilon r$  ( $r$ - kichik tomchining radiusi) olamiz

$$\varphi = \frac{4c_0\varphi_0}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R} = \frac{4\varphi_0 \cdot 4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R} = \frac{4\varphi_0 r}{R}. \quad (6)$$

Shu bilan birga katta tomchi va kichik tomchilar hajmlari orasida quyidagi munosabat o'rinli:

$$V = 4V_0$$

yoki  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$  va  $V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3$  ligidan

$$R^3 = 4r^3, \quad R = \sqrt[3]{4}r. \quad (7)$$

(7)-ni (6) ga qo'ysak

$$\varphi = \frac{4\varphi_0}{\sqrt[3]{4}}. \quad (8)$$

Shunday qilib,

$$\varphi = \frac{4 \cdot 10}{\sqrt[3]{4}} V \approx 25V.$$

**Javob:**  $\varphi \approx 25V$ .

**3-misol.** Yassi kondensatorning elektr sig'imi  $1,5mkF$ . Qoplamalar orasidagi masofa  $5mm$ . Agar pastdagi qoplamaga  $3mm$  qalinlikli ebonit taxtachasi qo'yilsa, kondensatorning elektr sig'imi qanday bo'ladi?

**Berilgan:**

$$c_0 = 1,5mkF = 1,5 \cdot 10^{-6} F;$$

$$d = 5mm = 5 \cdot 10^{-3} m;$$

$$d_1 = 3mm = 3 \cdot 10^{-3} m;$$

$$\varepsilon_1 = 3,0;$$

$$\varepsilon = 1.$$


---


$$C = ?$$

**Yechish:** Pastdagi qoplamaga ebonit taxtacha qo'yish natijasida hosil bo'lgan qurilmani ikkita ketma-ket ulangan yassi kondensatorlar sistemasi sifatida qarash mumkin. Ya'ni uning umumiy sig'imi

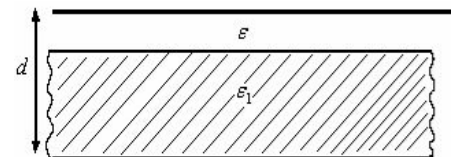
$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (1).$$

Bu yerda  $C_1$  qalinligi  $d_1$  ga teng bo'lgan qoplamalari orasiga ebonit qo'yilgan yassi kondensatorning sig'imi

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S}{d_1}, \quad (2)$$

$C_2$ - esa qalinligi  $(d-d_1)$  va qoplamalari oralig'i bo'sh ( $\varepsilon=1$ ) bo'lgan yassi kondensatorlarning sig'imi

$$C_2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d - d_1}. \quad (3)$$



(2) va (3) larni (1) ga qo'ysak,

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \varepsilon_1 S}{\varepsilon_1 (d - d_1) + \varepsilon d_1}. \quad (4)$$

Dastlabki (ebonet taxtachasi qo'yilmasdan oldin) yassi kondensatorning sig'imi

$$C_0 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}.$$

Bundan  $S$  ni topsak,

$$S = \frac{d \cdot C_0}{\varepsilon\varepsilon_0}. \quad (5)$$

(5) ni (4) ga qo'ysak olamiz

$$C = \frac{\varepsilon_1 d C_0}{\varepsilon_1 (d - d_1) + \varepsilon d_1}. \quad (6)$$

Kattaliklarning qiymatlarini (6) ga qo'yib olamiz

$$S = \frac{3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}}{3(5 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}) + 1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} F = 2,5 \cdot 10^{-6} F = 2,5 \text{mkF}$$

**Javob:**  $S = 2,5 \text{mkF}$ .

**4-misol:** Yassi kondensator qoplamalari orasida zich yopishib turgan shisha taxtacha bor. Kondensator 100V potentsiallar farqigacha zaryadlangan. Agar shisha taxtacha kondensatordan chiqarib olinsa, potentsiallar farqi qanday bo'ladi?

**Berilgan:**

$$U_1 = 100 \text{ V}$$

$$\varepsilon_1 = 7.$$

$$U_2 = ?$$

**Yechish:** Kondensator sig'imi va potentsiallar farqi orasida quyidagi munosabat mavjud

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (1)$$

Bundan

$$U = \frac{Q}{C}. \quad (2)$$

Yassi kondensatorning sig'imi formulasi  $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$  ga muvofiq shisha plastinkali kondensator uchun

$$U_1 = \frac{Qd}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S}, \quad (3)$$

va shisha plastinkasiz kondensator uchun

$$U_2 = \frac{Qd}{\varepsilon \varepsilon_0 S}. \quad (4)$$

(3) ni (4) ga hadma-had bo'lib olamiz

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}.$$

Bundan esa

$$U_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} U_1 \quad (5)$$

ni topamiz. Kattaliklarning qiymatlarini ( $\varepsilon = 1$ ) (5) ga qo'ysak ,

$$U_2 = \frac{7}{1} 100 \text{ V} = 700 \text{ V}.$$

**Javob:**  $U_2 = 700 \text{ V}$ .

**5-misol:** Har birining sig'imi 10 pF dan 450 pF gacha o'zgaradigan o'zgaruvchan sig'imli ikkita kondensatordan tuzilgan sistemalarning sig'imi qanday chegarada o'zgaradi?

**Berilgan:**  
 $C_1=C_2=(10\div 450)$   
 pF.  
 $S_{kk}=?$   
 $S_P=?$

**Yechish:** 1. Kondensatorning ketma-ket ulangan

$$C_{kk} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

ga dastlab eng kichik qiymatlarni ,

$$C_{kk} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} \text{ pF} = 5 \text{ nF},$$

so'ngra esa eng katta qiymatlarni qo'yamiz

$$C_{kk} = \frac{450 \cdot 450}{450 + 450} \text{ nF} = 225 \text{ nF}.$$

2. Kondensatorlar parallel ulangan

$$C_P = C_1 + C_2. \quad (2)$$

ga dastlab eng kichik qiymatlarni,

$$C_P = 10 \text{ nF} + 10 \text{ nF} = 20 \text{ nF},$$

so'ngra esa eng katta qiymatlarni qo'yamiz

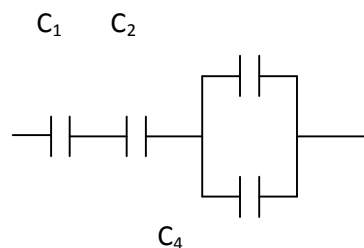
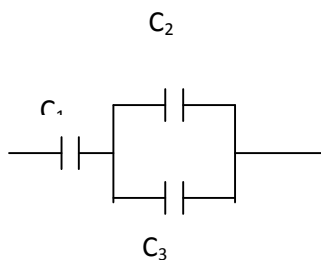
$$C_P = 450 \text{ nF} + 450 \text{ nF} = 900 \text{ nF}$$

**Javob:**  $C_{kk} = (5 \div 25) \text{ nF}$ ;  $C_P = (20 \div 900) \text{ nF}$ .

## 2.1 - §. Elektr sig'im. Kondensatorlar

1. Sharsimon o'tkazgichning sig'imi uning radiusiga proporsional. O'tkazuvchi sharchaning sig'imi vakuumda 1 F ga tenglashtirish uchun uning radiusi qancha bo'lishi kerak? Shu sharning radiusi Yer radiusidan necha marta katta bo'ladi?

2. Rasmda ko'rsatilgandek qilib ulangan kondensatorlar batareyasining elektr sig'imini aniqlang. Hamma kondensatorlarning sig'imini 0,6 mkF dan deb oling. Agar batareyada kuchlanish 100 V bo'lsa, unda to'plangan elektrzaryadmiqdorini toping.



3. Yassi havo kondensatori har bir plastinkasining yuzi  $62,3 \text{ sm}^2$  dan, ular orasidagi masofa esa 5 mm. Agar kondensator plastinkalarida elektr potensiallar farqi 60 V bo'lsa, uning zaryadini aniqlang.

4. Yassi havo kondensatorlari plastinkalari orasidagi masofa 0,1 sm ga teng. Har bir plastinkaning yuzi  $200 \text{ sm}^2$  va ulardagi potensiallar farqi 600 V.

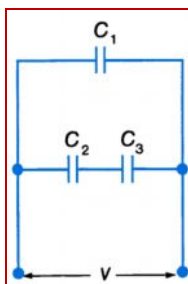
Kondensatorlarda qancha zaryad to'plangan? Agar plastinkalar orasidagi bo'shliqning dielektrik singdiruvchangligi 6 ga teng bo'lgan slyuda bilan to'ldirilsa, elektr potentsiallari qanday o'zgaradi?

5. Yassi havo kondensatori plastinkalari orasidagi masofa 1,5 mm va  $U = 150$  V kuchlanishgacha zaryadlangan. Kuchlanish 600 V gacha ortishi uchun plastinkalarni qancha masofaga uzoqlashtirish kerak bo'ladi?

6. Sig'implari 4, 2 va 6 mkF bo'lgan uchta kondensator batareya yoqilib ulangan va 200 V li o'zgarmas kuchlanish manbaiga ulangan: 1) kondensatorlar ketma-ket ulangan hol uchun; 2) kondensatorlar parallel ulangan hol uchun batareyaning energiyasini va sig'imini toping.

7. Sig'imi  $60 \mu F$  bo'lgan kondensatorning bir qoplamasidan ikkinchisiga  $20 mC$  zaryadni o'tkazish uchun  $16 J$  energiya sarflash lozim. Har bir qoplama qancha zaryadga ega bo'ladi?

8. Zanjirda sig'im  $3 \mu F$  bo'lgan kondensator o'rnatilgan. Muhandis bu sig'imni  $4,8 \mu F$  ga oshirish lozim deb hisobladi. Qanday sig'imli kondensatorni qo'shimcha tarzda ulash lozim va qo'shimcha kondensatorni qanday ulash kerak?

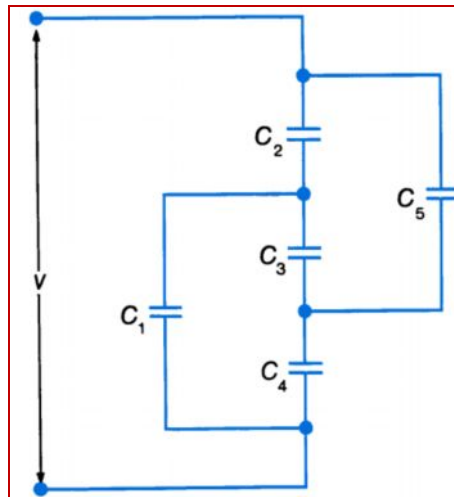


9. a) rasmdagi zanjirda ulangan kondensatorlarga ekvivalent sig'imni formulasini aniqlang. b) Agar  $C_1 = C_2 = 2C_3 = 4,0 \mu F$  bo'lsa,  $U = 50 V$  kuchlanishda har bir kondensatoridagi zaryad miqdori nechaga teng bo'ladi?

10. Yassi kondensator  $Q$  o'zgarmas zaryadga ega. Plastinalar orasidagi masofa ikki marta orttirildi. a) Kondensatorida hosil bo'lgan elektr maydon energiyasi necha marta o'zgaradi? b) Agar har bir plastinaning yuzasi  $S$  bo'lsa, plastinalar orasidagi masofani oshirish uchun qancha ish bajarish lozim?

11. Sig'imi  $4500 pF$  bo'lgan havo kondensatori  $12 V$  kuchlanishli tok manbaiga ulangan. Agar havo o'rniga slyuda solinsa, tok manбайдan kondensatorga qancha zaryad o'tadi?





12. Beshta kondensatordan tuzilgan zanjirga  $U$  kuchlanish qo'yilgan. a) Zanjirning umumiy sig'imi nechaga teng? b)  $C_2 = C_4 = 3,0 \mu F, C_1 = C_3 = 6,0 \mu F$  bo'lsa, zanjirning umumiy sig'ini toping.

### III – BOB. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI. METALLARDA ELEKTR TOKI

#### *Asosiy formulalar*

O'zgarmas tokning kuchi:

$$I = \frac{Q}{t},$$

bunda  $Q$  - o'tkazgichning ko'ndalang kesimidan  $t$  - vaqtda o'tadigan elektr zaryadi.

Elektr tokining zichligi:

$$\vec{j} = \frac{I}{S} \vec{k}$$

$S$  - ko'ndalang kesim yuzasi,  $\vec{k}$  - yo'nalishi musbat zaryad tashuvchilar yo'nalishi bilan mos keluvchi birlik vektor.

Bir jinsli o'tkazgichning qarshiligi

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S}$$

$\rho$  - o'tkazgichning solishtirma qarshiligi,  $l$  - uzunligi,  $S$  - ko'ndalang kesim yuzasi,  $\gamma$  - solishtirma o'tkazuvchanlik.

Solishtirma qarshilikning temperaturaga bog'liqligi

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

$\rho$  va  $\rho_0$  lar mos ravishda  $t$  va  $0^\circ S$  lardagi solishtirma qarshiliklar,  $\alpha$  - qarshilikning termik koeffitsiyenti.

O'tkazgichlar ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

O'tkazgichlar parallel ulanganda umumiy qarshilik

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

Ikkita o'tkazgich holida

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Om qonuni: zanjirning bir jinslimas qismi uchun

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon_{12}}{R} = \frac{U}{R},$$

zanjirning bir jinsli qismi uchun

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

yopiq zanjir uchun ( $\varphi_1 = \varphi_2$ )

$$I = \frac{\varepsilon}{R}.$$

$(\varphi_1 - \varphi_2)$  -zanjirning qismi uchlaridagi potentsiallar farqi,  $\varepsilon_{12}$ - shu qismga kiruvchi manbaning EYuK,  $U$ -kuchlanish,  $R$  -qarshilik,  $\varepsilon$ -zanjirdagi barcha manbalarning EYuK.

Kirxgofning birinchi qoidasi: tugunda qo'shiluvchi tok kuchlarining algebraik yig'indisi nolga teng

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Kirxgofning ikkinchi qoidasi: Yopiq konturda, konturning barcha qismlaridagi kuchlanishlarning algebraik yig'indisi EYuK larning algebraik yig'indisiga teng

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i,$$

$n$  -aktiv qarshiligi bo'lgan qismlar soni,  $k$  -tok manbai soni.

O'zgarmas tok zanjirida  $t$  vaqtdagi ish

$$A = IUt.$$

Tokning quvvati

$$P = IU.$$

Joul-Lents qonuni.

$$Q = I^2 Rt,$$

$Q$ - $t$  vaqtda zanjir qismida ajraladigan issiqlik miqdori.

## MASALA YECHISH NAMUNALARI

**1-misol.** 6V kuchlanish ostida turgan, uzunligi 10m bo'lgan temir o'tkazgichdagi tok zichligi  $j$  aniqlansin.

**Berilgan:**

$$U=6V;$$

$$l = 10m;$$

$$\rho_T = 9,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m.$$

$$j=?$$

**Yechish:** Tok zichligi quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$j = \frac{I}{S}. \quad (1)$$

Tok kuchini esa zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan foydalanib topamiz

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2)$$

O'z navbatida o'tkazgichning qarshiligi

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3)$$

(2)va (3) larni (1) ga qo'yib olamiz

$$j = \frac{U}{R \cdot S} = \frac{U}{S} \frac{S}{\rho l} = \frac{U}{\rho l}.$$

Demak,

$$j = \frac{U}{\rho l}. \quad (4)$$

$$[j] = \frac{[U]}{[\rho][l]} = \frac{1B}{1\Omega \cdot m \cdot 1m} = 1 \frac{A}{m^2}$$

Berilganlarni (4) ga qo'ysak

$$j = \frac{6}{9,8 \cdot 10^{-8} \cdot 10} \frac{A}{m^2} = 6,12 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2} = 6,12 \frac{MA}{m^2}.$$

**Javob:**  $j = 6,12 \frac{MA}{m^2}$

**2-misol.** Shuntlangan ampermetr 10A gacha tok kuchini o'lchaydi. Agar ampermetrning qarshiligi  $0,02\Omega$  va shunt qarshiligi  $5m\Omega$  bo'lsa, ampermetr shuntsiz qanday eng katta tok kuchini o'lchashi mumkin?

**Berilgan:**

$$I_0=10A;$$

$$R_A=0,02\Omega = 2 \cdot 10^{-3} \Omega;$$

$$R_{ss} = 5m\Omega = 5 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I=?;$$

**Yechish:** Ampermetr o'lchash mumkin bo'lgan eng katta tok kuchi Om qonuni yordamida aniqlanadi (63 a - rasm)

$$I = \frac{U}{R_A} \quad (1)$$

har ikkala holda ham kuchlanish bir xilligini nazarda tutib, shunt ulangan hol uchun (63 b - rasm)

Om qonunini yozamiz (shunt ampermetrga parallel ulanadi)

$$I_0 = \frac{U}{R'}, \quad \text{yoki} \quad U = I_0 R'. \quad (2)$$

Bu yerda  $R'$  umumiy qarshilik bo'lib, parallel ulangan ampermetr va shunt uchun quyidagicha topiladi:

$$R' = \frac{R_A \cdot R_{sh}}{R_A + R_{sh}}. \quad (3)$$

(2) va (3) larni (1) ga qo'ysak olamiz

$$I = \frac{I_0 R'}{R_A} = \frac{I_0 \cdot R_A \cdot R_{sh}}{R_A (R_A + R_{sh})} = \frac{I_0 \cdot R_{sh}}{R_A + R_{sh}}.$$

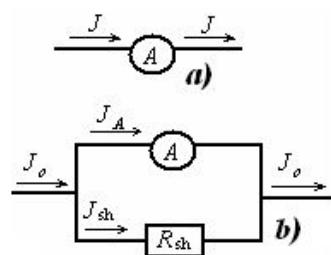
Demak, 
$$I = \frac{I_0 \cdot R_{sh}}{R_A + R_{sh}}.$$

(4)

Berilganlarni (4) ga qo'yib olamiz

$$I = \frac{10 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}} A = \frac{50}{25} A = 2 A.$$

**Javob:**  $I = 2 A$ .



**3-misol.** Ketma-ket ulangan g'altak va ampermetr tok manbaiga ulangan. Ga'ltakka ichki qarshiligi  $4k\Omega$  bo'lgan voltmetr ulangan. Ampermetr  $0,3A$  tok kuchini, voltmetr esa  $120 V$  kuchlanishni ko'rsatadi. G'altakning qarshiligi topilsin. Agar g'altakning qarshiligini hisoblashda voltmetrning qarshiligi hisobga olinmasa, xatolik necha foizni tashkil qiladi?

**Berilgan:**

$$R_V = 4k\Omega = 4 \cdot 10^3 \Omega;$$

$$I_A = 0,3A;$$

$$U_V = 120V.$$

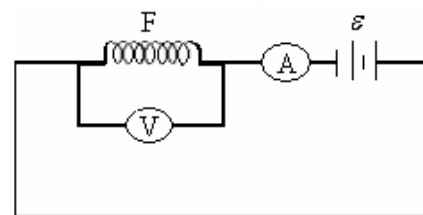
$$R_{g'} = ?$$

$$\frac{\Delta R}{R_{g'}} \cdot 100\% = ?$$

Shu bilan birga

**Yechish:** G'altakning qarshiligini zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan foydalanib topish mumkin

$$R_{g'} = \frac{U_F}{I_F} = \frac{U_V}{I_F}. \quad (1)$$



$$I_F = I_A - I_V = I_A - \frac{U_V}{R_V} = \frac{I_A \cdot R_V - U_V}{R_V}. \quad (2)$$

(2) ni (1) ga qo'yib olamiz

$$R_{g'} = \frac{U_V \cdot R_V}{I_A \cdot R_V - U_V}. \quad (3)$$

Agar voltmetrning qarshiligi hisobga olinmasa,

$$I_A = I_g \text{ bo'ladi va}$$

$$R'_g = \frac{U_V}{I_A}. \quad (4)$$

Unda

$$\Delta R = R_g - R'_g = R_g - \frac{U_V}{I_A}. \quad (5)$$

Endi so'ralgan nisbatni tuzsak

$$\frac{\Delta R}{R_g} = 1 - \frac{R'_g}{R_g} = 1 - \frac{U_V}{R_g \cdot I_A} \quad (6)$$

ni hosil qilamiz. Berilganlarni (3) va (6) larga qo'yib olamiz

$$R_g = \frac{120 \cdot 4 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 4 \cdot 10^3 - 120} \Omega = 444,4 \Omega,$$

$$\frac{\Delta R}{R_g} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{120}{444,4 \cdot 0,3}\right) \cdot 100\% = 0,1 \cdot 100\% = 10\%$$

**Javob:**  $R_g = 444,4 \Omega$ ;  $\frac{\Delta R}{R_g} \cdot 100\% = 10\%$

**4-misol.** Tashqi qarshilik  $80 \Omega$  bo'lganda zanjirdagi tok kuchi  $0,8 \text{ A}$ , tashqi qarshilik  $15 \Omega$  bo'lganda tok kuchi  $0,5 \text{ A}$  ga teng bo'ladi. EYuK manbaining qisqa tutashuvdagi tok kuchi  $I_{qt}$  aniqlansin.

**Berilgan:**

$$R_1 = 80 \Omega;$$

$$I_1 = 0,8 \text{ A};$$

$$R_2 = 15 \Omega;$$

$$I_2 = 0,5 \text{ A}$$

$$\underline{I_{qt} = ?}$$

**Yechish:** Qisqa tutashuv holida  $R = 0$  bo'ladi va to'la zanjir uchun Om qonuni

$$I_{QT} = \frac{\varepsilon}{r} \quad I_{qt} = \frac{\varepsilon}{r} \quad (1)$$

ko'rinishni oladi. Bu yerda  $\varepsilon$ -EYuK,  $r$ -manbaining ichki qarshiligi

Dastlabki ikki hol uchun Om qonunini yozamiz

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}, \quad \text{va} \quad I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$$

Yoki bulardan

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r), \quad \text{va} \quad \varepsilon = I_2(R_2 + r) \quad (2)$$

Bu tengliklarni tenglashtirib

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r),$$

va undan  $r$  ni topsak

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} \quad (3)$$

(3) – ni (2) – ga qo'ysak  $\varepsilon$  uchun topamiz

$$\varepsilon = \frac{I_1 \cdot I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}. \quad (4)$$

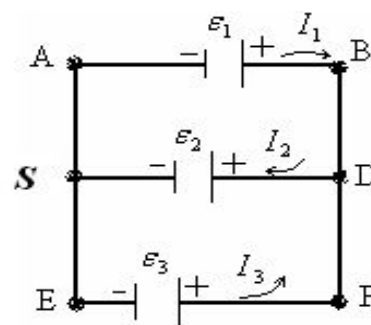
(3) - va (4)-larni (1)-ga qo'yib olamiz

$$I_{qt} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_2 R_2 - I_1 R_1}. \quad (5)$$

Kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib olamiz

$$I_{qt} = \frac{0,8 \cdot 0,5(15 - 80)}{0,5 \cdot 15 - 0,8 \cdot 80} A = \frac{0,4(15 - 80)}{7,5 - 64} A = 0,46 A.$$

**Javob:**  $I_{qt} = 0,46 A.$



**5-misol.** EYuK lari 12 V, 5 V, 10 V, va ichki qarshiliklari teng  $1 \Omega$  bo'lgan uchta batareya bir xil ismli qutblari bilan o'zaro ulangan. Tutashtiruvchi simlarning qarshiliklari juda kichik. Har bir batareyadan oqayotgan tok kuchi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$\varepsilon_1 = 12V;$$

$$\varepsilon_2 = 5V;$$

$$\varepsilon_3 = 10V;$$

$$r = r_1 = r_2 = r_3 = 1\Omega.$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

$$I_3 = ?$$

**Yechish:** Batareyalarning ulanishi va toklarning yo'nalishi 65-rasmda ko'rsatilgan. D nuqta uchun Kirxgofning birinchi qoidasini yozamiz.

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0 \quad (1)$$

Zanjirning ABDS

$$I_2 r_2 + I_1 r_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (2)$$

va SDFE qismlari uchun Kirxgofning ikkinchi qoidasi

$$I_3 r_3 + I_2 r_2 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2 \quad (3)$$

Bu uchta, uch noma'lumli ( $I_1, I_2, I_3$ ) tenglamalardan sistema tuzsak

$$\begin{cases} -I_1 + I_2 - I_3 = 0, \\ I_1 r_1 + I_2 r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2, \\ I_2 r_2 + I_3 r_3 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2. \end{cases} \quad (4)$$

Bu tenglamalar sistemasini Kramer usulida yechsak:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ r_1 & r_2 & 0 \\ 0 & r_2 & r_3 \end{vmatrix} = -3;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ \varepsilon_1 - \varepsilon_2 & r_2 & 0 \\ \varepsilon_3 - \varepsilon_2 & r_2 & r_3 \end{vmatrix} = -9;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & -1 \\ r_1 & \varepsilon_1 - \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & \varepsilon_3 - \varepsilon_2 & r_3 \end{vmatrix} = -12;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} -1 & +1 & 0 \\ r_1 & r_2 & \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \\ 0 & r_2 & \varepsilon_3 - \varepsilon_2 \end{vmatrix} = -3.$$

Bu yerda  $r_1 = r_2 = r_3 = 1 \text{ Om}$  va  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 7B$ ;  $\varepsilon_3 - \varepsilon_2 = 5B$  ekanligi hisobga olingan.

Kramer formulalari yordamida topamiz

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-9}{-3} A = 3A; \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-12}{-3} A = 4A; \quad I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-3}{-3} A = 1A.$$

**Javob:**  $I_1 = 3A$ ;  $I_2 = 4A$ ;  $I_3 = 1A$ .

**6-misol.** Elektr qaynatgichning chulg'ami ikki qismdan iborat. Faqat birinchi qismi ulanganda suv 15min da, faqat ikkinchi qismi ulanganda esa, shuncha suv 30min da qaynaydi. Agar ikkala qism ham: 1) ketma-ket; 2) parallel ulansa,- shu suv necha minutda qaynaydi?

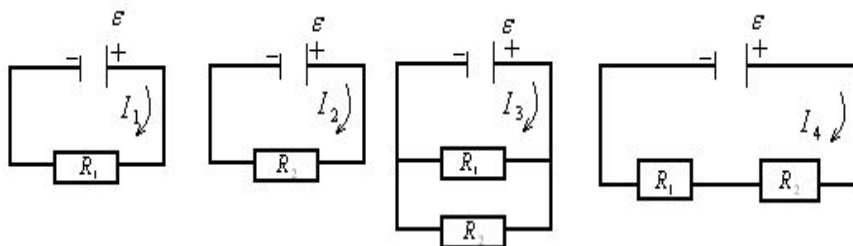
**Berilgan:**

$$t_1 = 15 \text{ min} = 900 \text{ s};$$

$$t_2 = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}.$$

$$1) t_{kk} = ?$$

$$2) t_p = ?$$



**Yechish:** Barcha hollarda qaynaydigan suvning miqdori bir xil bo'lganidan, qaynatish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorlari ham teng bo'ladi, ya'ni

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_{kk} = Q_p. \quad (1)$$

Shuningdek, 66-rasmdan ko'rinib turibdiki,



$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4. \quad (2)$$

Joul Lents qonuniga muvofiq birinchi qismdan ajraladigan issiqlik miqdori

$$Q = I^2 R_1 t_1, \quad (3)$$

ikkinchi qismdan

$$Q = I^2 R_2 t_2. \quad (4)$$

Ketma-ket ulangan

$$Q = I^2 \cdot R_{kk} t_{kk} = I^2 (R_1 + R_2) t_{kk}, \quad (5)$$

va parallel ulangan hollar uchun

$$Q = I^2 R_p t_p = I^2 \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) t_p. \quad (6)$$

(3) va (4) larni tenglashtirib olamiz

$$I^2 R_1 t_1 = I^2 R_2 t_2, \quad \text{yoki} \quad R_1 t_1 = R_2 t_2.$$

Bundan esa

$$R_1 = \frac{R_2 t_2}{t_1} \quad (7)$$

(4) va (5) - larni tenglashtirib olamiz

$$I^2 R_2 t_2 = I^2 (R_1 + R_2) t_{kk}, \text{ yoki} \quad R_2 t_2 = (R_1 + R_2) t_{kk}.$$

Bundan

$$t_{kk} = \frac{R_2 t_2}{R_1 + R_2}$$

(7)-ni e'tiborga olsak  $t_{kk}$  uchun topamiz

$$t_{kk} = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2}. \quad (8)$$

Shuningdek (4) va (6)-larni tenglashtirib

$$t_p = \frac{(R_1 + R_2) \cdot t_2}{R_1}$$

va (7)-ni e'tiborga olib  $t_p$  uchun topamiz

$$t_p = t_1 + t_2. \quad (9)$$

Berilganlarni (8) va (9)-larga qo'ysak

$$t_{kk} = \frac{900 \cdot 1800}{900 + 1800} s = 600s = 10 \text{ min}$$

$$t_p = 900s + 1800s = 2700s = 45 \text{ min}$$

**Javob:**  $t_{kk} = 10 \text{ min};$   $t_p = 45 \text{ min}.$

**7-misol.** Qarshiligi  $12 \Omega$  bo'lgan o'tkazgichdagi tok kuchi 10 s davomida 5A dan 0 gacha bir tekisda kamayadi. Shu vaqtda o'tkazgichdan qancha issiqlik miqdori ajraladi?

**Berilgan:**

$$R = 12 \Omega;$$

$$I_0 = 5A;$$

$$I = 0$$

$$\Delta t = 10s$$

$$Q = ?$$

**Yechish:** O'zgaruvchan tok uchun Joule-Lentz qonuniga muvofiq cheksiz kichik  $dt$  vaqtda o'tkazgichda ajraladigan issiqlik miqdori

$$dQ = I^2(t) \cdot R dt. \quad (1)$$

Agar tok o'zgaruvchan ekanligini nazarda tutsak, 67-rasmga asoslanib uni chiziqli funksiya sifatida tasvirlashimiz mumkin.

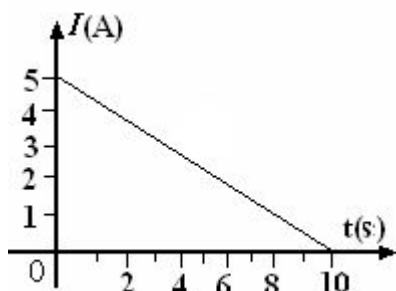
$$I(t) = k \cdot t. \quad (2)$$

Koeffitsiyenti  $k$  quyidagicha aniqlanadi

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I - I_0}{\Delta t}. \quad (3)$$

(2) -ni (1) -ga qo'yib topamiz

$$dQ = k^2 R t^2 dt. \quad (4)$$



$\Delta t = t - t_0$  ligidan  $t_0 = 0$  dan  $t = 10s$  oraliq uchun integrallab so'ralgan issiqlik miqdorini topamiz

$$Q = \int_0^t k^2 R t^2 dt = k^2 R \int_0^t t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 R t^3. \quad (5)$$

(3)-ni (5)ga qo'ysak

$$Q = \frac{1}{3} \left( \frac{I - I_0}{\Delta t} \right)^2 \cdot R t^3. \quad (6)$$

$$[Q] = \frac{[I]^2}{[t]^2} [R][t]^3 = \frac{1A^2}{1s^2} \cdot 1\Omega \cdot 1s^3 = 1A^2 \cdot \Omega \cdot s = 1J.$$

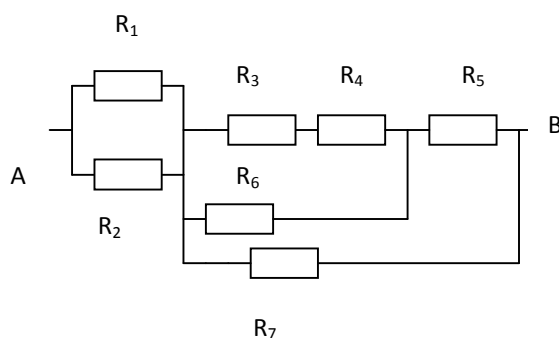
Berilganlarni hamda  $\Delta t = t - t_0 = t$  ekanligini hisobga olib topamiz

$$Q = \frac{1}{3} (0 - 5)^2 \cdot 12 \cdot 10J = 1000J = 1kJ.$$

Javob:  $Q=I kJ$ .

### 3.1 - §. O'zgarmas elektr toki

1. Agar mis simda elektronlar konsentratsiyasi  $3 \cdot 10^{23} \text{ sm}^{-3}$ , ularning tartibli harakatining o'rtacha tezligi  $0,25 \text{ Mm/s}$  va simning ko'ndalang kesim yuzi  $85 \text{ mm}^2$  bo'lsa, trolleybus tarmog'ining kontakt mis simidagi tok kuchini aniqlang.
2. Agar ko'ndalang kesimining yuzi  $105 \text{ mm}^2$ , tokkuchi  $500 \text{ A}$  bo'lgan o'tkazgichda o'tkazuvchanlik elektronlarining tartibli harakati o'rtacha tezligi  $0,1 \text{ Mm/s}$  bo'lsa, simning o'tkazuvchanlik elektronlarining konsentratsiyasini aniqlang.
3. Energiya istemolchisi tok manбайдan  $0,5 \text{ km}$  masofada joylashgan va u bilan ko'ndalang kesimining yuzi  $5 \text{ mm}^2$  bo'lgan o'tkazgich bilan tutashtirilgan. Iste'molchi  $1 \text{ km}$  uzoqqa ko'chirildi. Liniyada kuchlanish tushishi avvalgidek qolishi uchun qanday ko'ndalang kesimdagi o'tkazgich olinishi kerak?
4.  $45 \text{ V}$  kuchlanish va  $10 \text{ A}$  tok kuchiga mo'ljallangani elektr yoyi  $110 \text{ V}$  li kuchlanish tarmog'iga ulandi. Agar tutashtiruvchi simning qarshiligi  $0,5 \Omega$  bo'lsa, zarur bo'lgan qo'shimcha qarshilikni aniqlang.
5. Zanjir ketma-ket ulangan uchta simdan iborat bo'lib,  $24 \text{ V}$  kuchlanishli manbaga ulangan. Birinchi o'tkazgichning qarshiligi  $4 \Omega$ , ikkinchisniki  $6 \Omega$ , uchinchi o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish  $4 \text{ V}$ . Zanjirdagi tok kuchini, uchinchi o'tkazgich qarshiligini va birinchi hamda ikkinchi o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishlarni toping.
6. 1-rasmda elektr zanjirining sxemasi berilgan. Kuchlanish  $U_{AB}=220 \text{ V}$ . Umumiy tok kuchini va parallel tarmoqlardagi tok kuchini aniqlang. Bu yerda  $R_1=12 \Omega$ ,  $R_2=4 \Omega$ ,  $R_3=5 \Omega$ ,  $R_4=7 \Omega$ ,  $R_5=13 \Omega$ ,  $R_6=4 \Omega$ ,  $R_7=16 \Omega$ ,



1-rasm

7. Elektr o'tkazuvchanlik  $G$  qarshilikka teskari proporsional:  $G = \frac{1}{R}$ . O'lchov birligi ham qarshilik birligi  $\Omega$  ga teskari bo'lib, simens ( $S$ ) deb yuritiladi. Agar elektr kuchlanish  $12,0 \text{ V}$ , undan o'tayotgan tok  $800 \text{ mA}$  bo'lsa, jismning o'tkazuvchanligi (simenslarda) nechaga teng?

8. Ichki radiusi  $R_1$ , tashqi radiusi  $R_2$  va uzunligi  $L$  bo'lgan ichi kovak silindr shaklidagi resistor (qarshilik)ning solishtirma qarshiligi  $\rho$  ga teng. a) Tashqi va ichki radiuslarini hisobga olib, tok uchun hisoblangan qarshiligi quyidagiga teng:  $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{R_2}{R_1}$ . (Izoh: silindr qatlamiga qarang va integrallang). b) Agar  $R_1 = 1,0 \text{ mm}, R_2 = 1,8 \text{ mm}, L = 1,0 \text{ sm}$  bo'lsa, uglerod uchun resistor qarshiligini  $t$  hisoblang. v) Agar tok resistor o'qi bo'ylab oqayotgan bo'lsa, xuddi shu parametrlar uchun resistor qarshiligini toping.
9. Ichki radiusi  $r_1$ , tashqi radiusi  $r_2$  va solishtirma o'tkazuvchanligi  $\sigma$  bo'lgan ichi kovak shar shaklidagi resistor (qarshilik)ning solishtirma qarshiligi  $\rho$  ga teng bo'lgan o'tkazgichning qarshiligini hisoblash formulasi keltirib chiqaring.
10. Haydovchi mashinasi farasini o'chirishni yodidan chiqardi. Mashina old faralarining har birining quvvati  $40 \text{ W}$  dan, orqa chiroqlarining har biri  $6 \text{ W}$  dan bo'lsa (*jami*  $92 \text{ W}$ ), u holda yangi zaryadlangan  $12 \text{ V}$  kuchlanishli  $45 \text{ A} \cdot \text{soat}$  sig'imli akkumulyator qancha vaqt chiroqlarni yoqib tura oladi (Har bir lampaga  $12 \text{ V}$  kuchlanish beriladi deb hisoblang)?
11. To'liq zaryadlangan  $12 \text{ V}$  kuchlanishli  $50 \text{ A} \cdot \text{soat}$  sig'imli akkumulyatorda qancha elektr energiya to'plangan?
12. Simobli tok manbaining ichki qarshiligi va EYuK I mos ravishda  $0,030 \Omega$ , va  $1,35 \text{ V}$  ga teng. Quruq tok manbaining EYuK  $1,5 \text{ V}$ , ichki qarshiligi  $0,35 \Omega$  ga teng. Nima uchun quvvati  $2 \text{ W}$ , mo'ljallangan kuchlanishi  $4,0 \text{ V}$  bo'lgan eshitish moslamasini ishlatishda ucta simobli tok manbalari, uchta quruq manbalarga qaraganda yaxshiroq ishlashini tushuntiring?

## IV – BOB. TOKNING MAGNIT MAYDONI

### *Asosiy formulalar*

Bio-Savar-Laplas qonuni:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \left[ d\vec{l}_1 \vec{r} \right] \frac{I}{r^3},$$

yoki  $d\vec{B}$  ning moduli:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \cdot \sin \alpha}{r^2} dl.$$

k topamiz.

$$B = \frac{2\pi m}{IT^2} \quad (4)$$

$$[B] = \frac{[m]}{[I][T]^2} = \frac{1kg}{1A \cdot 1s^2} = 1 \frac{kg}{A \cdot m} = 1 \frac{N}{A \cdot m} = 1Tl.$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$  -magnit doimiysi,  $\mu$  - magnit singdiruvchanlik (bo'shliq uchun  $\mu = 1$ ),  $dl$  -o'tkazgich elementi,  $I$  -tok kuchi,  $r_0$  - o'tkazgich elementi markazidan qaralayotgan nuqttagacha bo'lgan masofa,  $\alpha = \vec{dl}$  va  $\vec{r}$  lar orasidagi burchak.

Magnit maydon induksiyasi  $\vec{B}$  va kuchlanganligi  $\vec{H}$  vektorlari orasidagi munosabat

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}.$$

Tokli aylana o'tkazgich markazidagi magnit induksiyasi

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

$R$  -o'tkazgichning egrilik radiusi. Cheksiz uzun tokli o'tkazgichning o'z o'qida  $r$  masofadagi nuqtada hosil qiladigan magnit maydon induksiyasi:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2 r}.$$

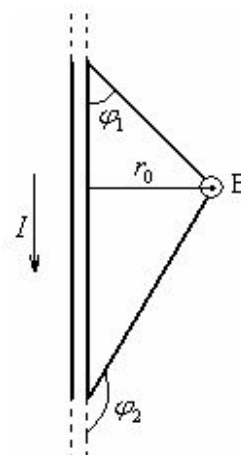
O'tkazgich bo'lagi hosil qiladigan magnit maydon induksiyasi:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r_0} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2).$$

O'tkazgich uchlari magnit induksiyasi aniqlanayotgan nuqtaga nisbatan simmetrik joylashgan bo'lsa -  $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_1 = \cos \varphi$  bo'ladi. Solenoid o'zining o'rta qismida (toroid o'z o'qida) hosil qiladigan magnit maydon induksiyasi:

$$B = \mu_0 \mu n I.$$

Magnit maydonining superpozisiya prinsipi:



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

Xususiyl holda ikkita maydon uchun quyidagi o'rinli:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos \alpha}$$

$\alpha$  -  $\vec{B}_1$  va  $\vec{B}_2$  lar orasidagi burchak.

Amper qonuni

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

yoki  $\vec{F}$  vektorning moduli

$$F = IlB \sin \alpha$$

$\alpha$  -  $\vec{l}$  va  $\vec{B}$  vektorlar orasidagi burchak.

Bir-biridan  $d$  masofada joylashgan,  $I_1$  va  $I_2$  tok oqayotgan parallel o'tkazgichlarning  $l$ - uzunlikli bo'lagiga to'g'ri keluvchi ta'sir kuchi

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l .$$

Tokli konturning magnit momenti

$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S} ,$$

va unga ta'sir etadigan mexanik moment

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

yoki

$$M = P_m \cdot B \cdot \sin \alpha .$$

Bu yerda  $\vec{S}$  - yuzasi  $S$  ga teng, yo'nalishi normal bilan mos keluvchi vektor.

$\alpha$  -  $\vec{P}_m$  va  $\vec{B}$  vektorlar orasidagi burchak.

Magnit maydonidagi tokli konturning potensial energiyasi

$$P = (\vec{P}_m \cdot \vec{B}) = P_m \cdot B \cdot \cos \alpha ,$$

va unga ta'sir etadigan kuch

$$F = P_m \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \cos \alpha .$$

Lorents kuchi

$$\vec{F} = q[\vec{V} \cdot \vec{B}]$$

yoki

$$F = q \mathcal{G} B \sin \alpha$$

$\vec{\mathcal{G}}$  -  $q$  zaryadning harakat tezligi,  $\alpha$  -  $\vec{V}$  va  $\vec{B}$  vektorlar orasidagi burchak.

Bo'shliqdagi magnit maydoni uchun to'la tok qonuni

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_L B_e dl = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i .$$

Ixtiyoriy muhit uchun to'la tok qonuni

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_L H_e dl = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i .$$

Bu yerda  $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint_L B_e dl$  -magnit induksiya vektorining induksiyasi,

$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_L H_e dl$  magnit maydon kuchlanganligining uyurmasi,  $\sum_{i=1}^n I_i$  - kontur

o'rab turgan toklarning algebraik yig'indisi.

S- yuzali yassi kontur orqali magnit oqimi:

a) bir jinsli maydon holida.

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = B_n \cdot S$$

$\alpha$  - S ning normalini va  $\vec{B}$  orasidagi burchak;

b) ixtiyoriy maydon uchun

$$\Phi = \int_S B_n dS.$$

Oqim ilashuvi, ya'ni solenoid yoki toroidning barcha chulg'amlariga ilashgan to'la magnit oqimi

$$\psi = N\Phi,$$

$N$  - o'ramlar soni.

Konturning oqim ilashuvi

$$\psi = L \cdot I$$

$L$  -konturning induktivligi.

Solenoidning (toroidning) induktivligi

$$L = \mu_0 \mu n^2 V$$

$n = \frac{N}{l}$  -uzunligi birligidagi o'ramlar soni,  $V$  -solenoidning hajmi.

### MASALA YECHISH NAMUNALARI

**1-misol.**  $0,2m$  radiusli ingichka o'tkazuvchi xalqadan qanday  $I$  tok oqqanda, xalqaning hamma nuqtalaridan bir xil  $0,3m$  uzoqlikda joylashgan nuqtada magnit maydon induksiyasi  $2mTl$  ga teng bo'ladi?

**Berilgan:**

**Yechish:** A nuqtadagi magnit maydon induksiyasi xalqaning har bir  $I d\vec{l}$  tok elementi hosil qiladigan

|   |   |
|---|---|
| $R = 0,2m;$<br>$r = 0,3m;$<br>$B_A = 20mTl = 2 \cdot 10^{-5} Tl.$<br><hr style="width: 100%;"/> $I = ?$ | induksiyalarning yig'indisidan iborat (superpozitsiya prinsipi), ya'ni<br>$\vec{B}_A = \int_L d\vec{B} \quad (1)$ |
|---|---|

Integrallash halqa uzunligi bo'ylab bajariladi.  $d\vec{B}$  ni  $d\vec{B}_\perp$  va  $d\vec{B}_\parallel$  tashkil etuvchilarga ajratamiz. Quyidagi rasmdan ko'rinib turibdiki, simmetriklik shartlaridan halqaning barcha elementlari uchun

$$\int_L d\vec{B}_\parallel = 0.$$

Demak,

$$\vec{B}_A = \int_L (d\vec{B}_\perp + d\vec{B}_\parallel) = \int_L d\vec{B}_\perp. \quad (2)$$

Shu bilan birga  $dB_\perp = dB \cdot \cos \beta$ . O'z navbatida

$$\cos \beta = \frac{R}{r}. \quad (3)$$

Shunday qilib, (2) -yordamida (1)-ni yozsak

$$B_A = \int_L dB \cdot \cos \beta. \quad (4)$$

$Idl$  - tok elementining A nuqtada hosil qiladigan magnet maydon induksiyasi  $dB$  ni Bio-Savar-Laplas formulasi

$$dB = \frac{\mu_0 \mu I \sin \alpha}{4\pi r^2} \cdot dl \quad (5)$$

yordamida aniqlaymiz. Mazkur masalada  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  ligidan

$\sin \alpha = 1$ . Shuningdek,  $\mu = 1$

Endi (5)-ni (4)-ga qo'yib va halqa uzunligi  $L = 2\pi R$  ekanligini e'tiborga olsak

$$B_A = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \cdot \cos \beta \cdot dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \cos \beta \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 I \cdot \cos \beta}{4\pi r^2} \cdot 2\pi R$$

(3)-dan foydalanib yozamiz

$$B_A = \frac{\mu_0 IR^2}{2r^3}. \quad (6)$$

(6)-dan  $I$  ni topib olamiz

$$I = \frac{2r^3 B_A}{\mu_0 R^2}. \quad (7)$$

$I$  -ning birligini tekshirib ko'ramiz

$$[I] = \frac{[r]^3 \cdot [B]}{[\mu_0] \cdot [R]^2} = \frac{1m^3 \cdot 1Tl}{1 \frac{N}{A^2} \cdot 1m^2} = 1 \frac{A^2 \cdot m}{N} \cdot \frac{N}{A \cdot m} = 1A$$

Kattaliklarning qiymatlarini qo'yib olamiz

$$I = \frac{2 \cdot (0,3)^3 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (0,2)^2} A = 21,5A.$$

**Javob:**  $I = 21,5A$ .



**2-misol.** Ikkita cheksiz uzun, to'g'ri parallel o'tkazgichlardan qarama-qarshi yo'nalishlarda  $50A$  va  $100A$  toklar oqadi. Agar o'tkazgichlar orasidagi masofa  $20sm$  bo'lsa, birinchisidan  $25sm$ , ikkinchisidan  $40sm$  masofada joylashgan nuqtadagi magnit maydon induksiya  $B$  aniqlansin.

**Berilgan:**

$$I_1 = 50A;$$

$$I_2 = 100A;$$

$$d = 20sm = 0,2m;$$

$$r_1 = 25sm = 0,25m;$$

$$r_2 = 40sm = 0,4m.$$

$$B = ?$$

**Yechish:** A nuqtadagi magnit maydon induksiya  $\vec{B}$  superpozitsiya prinsipiga muvofiq  $I_1$  va  $I_2$  toklar hosil qilayotgan  $\vec{B}_1$  va  $\vec{B}_2$  vektorlarning yig'indisiga teng.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

Yoki  $B$  ning moduli uchun

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1 \cdot B_2 \cos \alpha}. \quad (1)$$

$B_1$  va  $B_2$  larni cheksiz uzun tokli o'tkazgichlar hosil qilishidan

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi r_1} \quad \text{va} \quad B_2 = \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi r_2}. \quad (2)$$

Shu bilan birga  $\alpha$  burchak uchun kosinuslar teoremasidan

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha$$

yoki

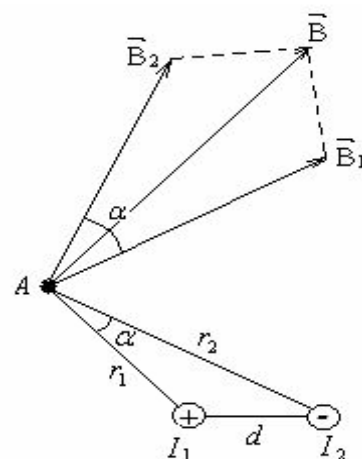
$$\cos \alpha = \frac{1}{2r_1 r_2} (r_1^2 + r_2^2 - d^2). \quad (3)$$

(2), (3)-larni (1)-ga qo'yib va  $\mu = 1$  ligidan olamiz

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_2^2}{r_2^2} - \frac{I_1 I_2}{r_1 r_2} (r_1^2 + r_2^2 - d^2)}. \quad (4)$$

$$[B] = \frac{[\mu_0][I]}{[r]} = \frac{1 \frac{N}{A^2} \cdot 1A}{1m} = 1 \frac{N}{A \cdot m} = 1Tl$$

Berilganlarning qiymatlarini qo'yib topamiz.



$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\left(\frac{50}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{100}{0,4}\right)^2 - \frac{50 \cdot 100}{(0,25) \cdot (0,4)} [(0,25)^2 + (0,4)^2 - (0,2)^2]} Tl = 21,2 \cdot 10^{-6} Tl = 21,2mkTk$$

**Javob:**  $B = 21,2mkTl$ .

**3-misol.** Halqa shaklidagi o'tkazgichdan tok oqmoqda. Halqa markazidagi magnit maydon induksiya  $60mkTk$ . Tok kuchini o'zgartirmasdan o'tkazgich kvadrat shakliga keltirilgan bo'lsa, kvadratning diagonallari kesishadigan nuqtadagi magnit maydon induksiya nimaga teng bo'ladi?

**Berilgan:**

$$B_1 = 60mkTk = 6 \cdot 10^{-5} Tl;$$

$$I = I_1 = I_2.$$

**Yechish:** Magnit maydon induksiya

vektorining superpozitsiya prinsipiga asosan kvadratning diagonallari kesishgan nuqtadagi

$B_2 = ?$  induksiyani, kvadrat tomonlari hosil qiladigan induksiyalar yig'indisi sifatida topamiz, ya'ni

$$B_2 = 4B_0. \quad (1)$$

$B_0$  esa o'tkazgich bo'lagi hosil qiladigan induksiya sifatida aniqlanadi. Shu bilan birga nuqta o'tkazgich uchlariga nisbatan simmetrik joylashgan.

$$B_0 = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r} \cos \varphi \quad (2)$$

Demak,

$$B_2 = \frac{2\mu_0 \mu I}{\pi r} \cos \varphi \quad (3)$$

Halqa markazidagi magnit maydon induksiyasi esa

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I}{2R} \quad (4)$$

Bu yerda  $R$  -halqaning radiusi, halqa uzunligi (piremetri) esa

$$S = 2\pi R.$$

Agar halqa piremetri kvadratning piremetriga tengligini e'tiborga olsak

$$2\pi R = 4l,$$

yoki

$$R = \frac{2l}{\pi}. \quad (5)$$

(4)-ni (5)-yordamida qayta yozsak

$$B_1 = \frac{\pi \mu_0 \mu I}{4l} \quad (6)$$

(6)-dan tok kuchini aniqlaymiz va (3)-ga qo'yamiz.

$$B_2 = \frac{8B_1}{\pi^2 r} \cos \varphi$$

Agar  $r = \frac{l}{2}$  va  $\varphi = \frac{\pi}{4}$ ,  $\cos \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}$  ligini e'tiborga olsak

$$B_2 = \frac{8\sqrt{2}}{\pi^2} B_1. \quad (7)$$

Kattaliklarning qiymatlaridan olamiz.

$$B_2 = \frac{8\sqrt{2}}{(3,14)^2} \cdot 6 \cdot 10^{-5} Tl = 6,68 \cdot 10^{-5} Tl = 68,6 \text{ mKtK}$$

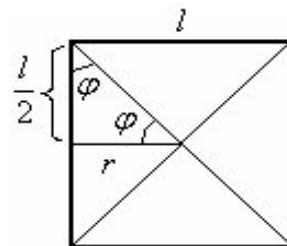
**Javob:**  $B_2 = 68,6 \text{ mKtK}$

**4-misol.** Ikkita ingichka o'tkazgichlar 10sm radiusli xalqalardek qayirilgan va har biridan 10A dan tok oqadi. Agar xalqalar yotgan tekisliklar parallel va ularning markazlari orasidagi masofa 1mm bo'lsa, xalqalarning o'zaro ta'sir kuchi topilsin.

**Berilgan:**

$$R = 10 \text{ sm} = 0,1 \text{ m};$$

**Yechish:** Uzunliklari  $dl$  dan bo'lgan ikkita o'tkazgich elementlari orasidagi ta'sir kuchi quyidagi ifodadan



$$\begin{array}{l} I_1 = I_2 = I = 10A; \\ d = 1mm = 10^{-3}m. \\ F = ? \end{array}$$

aniqlanadi

$$dF = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} dl. \quad (1)$$

Xalqalar orasidagi ta'sir kuchini topish uchun (1)-ni butun xalqa uzunligi bo'ylab, ya'ni  $l = 0$  dan  $l = 2\pi R$  gacha integrallaymiz

$$F = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} dl = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} 2\pi R = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 R}{d} \quad (2)$$

Agar  $I_1 = I_2 = I$  va  $\mu = 1$  ligini e'tiborga olsak, (2)-quyidagi ko'rinishni oladi

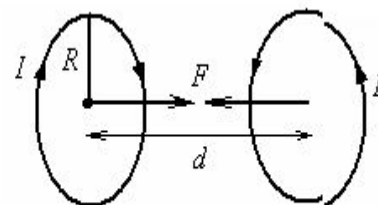
$$F = \frac{\mu_0 I^2 R}{d} \quad (3)$$

$$[F] = \frac{[\mu_0][I]^2[R]}{[d]} = \frac{1 \frac{N}{A^2} \cdot 1A^2 \cdot 1m}{1m} = 1N$$

Kattaliklarning qiymatlarini (3)-ga qo'yib olamiz

$$\left( \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} \right)$$

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (10)^2 \cdot 0,1}{10^{-3}} N = 12,6 \cdot 10^{-3} N = 12,6mN.$$



**Javob:**  $F = 12,6mN$ .

**5-misol.** Halqa markazidagi magnit maydon induksiyasi  $251,2mkTl$ . Halqaning magnit momenti  $1A \cdot m^2$ , halqaning radiusi va undagi tok kuchi topilsin.

**Berilgan:**

$$B = 251,2mkTl = 251,2 \cdot 10^{-6} Tl;$$

$$P_m = 1Am^2.$$

$$R = ?$$

$$I = ?$$

**Yechish:** Halqa markazidagi induksiyani

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \frac{I}{R} \quad (1)$$

ifodadan aniqlaymiz. Bundan

$$I = \frac{2RB}{\mu_0 \mu}. \quad (2)$$

Shuningdek, tokli Halqaning magnit momenti

$$P_m = I \cdot S = I \cdot \pi R^2. \quad (3)$$

Bu yerda halqa o'rganan yuza  $S = \pi R^2$  ekanligi e'tiborga olingan. (3)-dan tok kuchini aniqlasak

$$I = \frac{P_m}{\pi R^2}. \quad (4)$$

(2)-va (4)-ni tenglashtirib  $R$  ni aniqlaymiz

$$\frac{2RB}{\mu_0 \mu} = \frac{P_m}{\pi R^2} \quad \text{yoki} \quad R^3 = \frac{\mu_0 \mu P_m}{2\pi B},$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{\mu_0 \mu P_m}{2\pi B}}. \quad (5)$$

(5)-ni (2)-ga qo'yib  $I$  uchun hosil qilamiz.

$$I = \frac{2B}{\mu_0 \mu} \sqrt[3]{\frac{\mu_0 \mu P_m}{2\pi B}} = \sqrt[3]{\frac{4B^2 P_m}{\pi \mu_0^2 \mu^2}}. \quad (6)$$

Endi (5)-va (6)-larni tekshirib ko'raylik

$$[R]^3 = \frac{[\mu_0][P_m]}{[B]} = \frac{1 \frac{N}{A^2} \cdot 1A \cdot m^2}{1Tl} = 1 \frac{N \cdot m^2 \cdot A \cdot m}{A \cdot N} = 1m^3; \quad [R] = 1m$$

$$[I]^3 = \frac{[B]^2[P_m]}{[\mu_0]^2} = \frac{1Tl^2 \cdot 1A \cdot m^2}{1 \frac{N^2}{A^4}} = 1 \frac{A^5 \cdot m^2 \cdot N^2}{N^2 \cdot A^2 \cdot m^2} = 1A^3; \quad [I] = 1A$$

Kattaliklarning qiymatlarini (5)-va (2)-larga qo'yib olamiz ( $\mu = 1$ )

$$R = \sqrt[3]{\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1}{2\pi \cdot 251,2 \cdot 10^{-6}}} m = 9,27 \cdot 10^{-2} m = 9,27 sm;$$

$$I = \frac{2 \cdot 9,27 \cdot 10^{-2} \cdot 251,2 \cdot 10^{-6}}{4\pi \cdot 10^{-7}} A = 37,08 A.$$

**Javob:**  $R = 9,27 sm$ ;  $I = 37,08 A$ .

**6-misol.** Noelastik tolaga erkin osilgan, massasi  $3g$  bo'lgan halqa ko'rinishidagi ingichka sim bir jinsli magnit maydonida turibdi. Vertikal o'qqa nisbatan kichik buralma tebranishlar davri  $1,2s$  va  $g'$  altakdan  $2A$  tok oqayotgan bo'lsa, maydonning induksiyasi topilsin.

**Berilgan:**

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

$$I = 2A;$$

$$T = 1,2s.$$

$$B = ?$$

**Yechish:** Masalani energiyaning saqlanish qonuniga asoslanib yechamiz. Bu qonunga muvofiq magnit maydonida turgan halqaning potensial energiyasi

$$P = P_m \cdot B \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

Halqaning tebranishdagi kinetik energiyasi

$$T = \frac{1}{2} I_y \cdot \omega^2 \quad (2)$$

ga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$P_m \cdot B \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} I_y \cdot \omega^2 \quad (3)$$

Mazkur holda  $\vec{B}$  va  $\vec{P}_m$  larning yo'nalishi bir xil.  $\alpha = 0, \cos \alpha = 1$ .  $P_m = \pi R^2 I$ .

Agar (3)-dan  $B$  ni aniqlasak va  $I_y = mR^2, \omega = \frac{2\pi}{T}$  ligini nazarda tutsa

Kattaliklarning qiymatlaridan

$$B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (1,2)^2} Tl = 6,65 \cdot 10^{-3} Tl = 6,65 mTl.$$

**Javob:**  $B = 6,65 mTl$ .

**7-misol.** Induksiyasi  $0,2Tl$  bo'lgan magnit maydonidagi elektronning aylanma orbita bo'ylab aylanish chastotasi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$B = 0,2Tl .$$

$$n = ?$$

**Yechish.** Elektronning aylanma orbita bo'ylab aylanish chastotasi quyidagicha aniqlanadi.

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\vartheta}{2\pi R} . \quad (1)$$

Elektron aylanma orbita bo'ylab aylanganida unga ta'sir etuvchi kuchlar:

Lorents kuchi

$$F_l = q_e \vartheta B \sin \alpha \quad (2)$$

va markazdan qochma kuch

$$F_{m.k.} = \frac{m_e \vartheta^2}{R} \quad (3)$$

teng bo'lmog'i kerak. Ya'ni  $F_l = F_{mk.}$ , yoki

$$q_e \cdot \vartheta \cdot B \cdot \sin \alpha = \frac{m_e \vartheta^2}{R} \quad (4)$$

Mazkur holda  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  va  $\sin \alpha = 1$ . (4)-dan  $\vartheta$  ni topsak

$$\vartheta = \frac{q_e \cdot B R}{m_e} \quad (5)$$

(5)-ni (1)-ga qo'yib topamiz.

$$n = \frac{q_e \cdot B}{2\pi m_e} \quad (6)$$

$$[n] = \frac{[q][B]}{[m]} = \frac{1C \cdot 1Tl}{1kg} = 1 \frac{C \cdot N}{kg \cdot A \cdot m} = 1 \frac{C \cdot s \cdot kg \cdot m}{kg \cdot C \cdot m \cdot S^2} = 1s^{-1} = 1Hz$$

Kattaliklarning qiymatlarini (6)ga qo'yib olamiz.

$$(q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} C; m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} kg)$$

$$n = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} Hz = 5,6 \cdot 10^9 Hz$$

**Javob:**  $n = 5,6 \cdot 10^9 Hz$ .

#### 4.1 - §. Magnit maydon. Bio-Savar-Laplas qounini va turli shakldagi o'tkazgichlarga tadbiqu

1. (a) 0.90-T doimiy magnit maydonga perpendikulyar bo'lgan 6.40-A tok tashuvchi simga ta'sir kiladigan kuch/metr nimaga teng? (b) Agar maydon va simning orasidagi burchak  $35^\circ$  bo'lsachi?
2. 4.80m uzunlikdagi simdan qancha tok oqib o'tadi, agar 0.0800-T doimiy maydonga 0.625 N maksimum kuch ta'sir qilsa?
3. 240m uzunlikdagi sim ikki minora bo'ylab tortib qo'yildi va 120A tok o'tkazildi. Kuchning simga bo'lgan qiymatini aniqlang, agar Yerning magnit maydoni  $5.0 \cdot 10^{-5} T$  bo'lsa va sim bilan  $68^\circ$  burchak hosil qilsa.
4. Uzunligi 2.6m bo'lgan gorizont sim 4,5A tokni janubga tashiydi. Yerning magnit maydoni va sim orasidagi og'ish burchagi  $41^\circ$  teng. Simga ta'sir qilayotgan magnit kuchining qiymatini aniqlang, agar Yer magnit maydoni  $5.5 \cdot 10^{-5} T$  bo'lsa.

5. Magnit kuchining sim metriga nisbatan qiymati maksimum mumkin bo'lgan qiymatining 45% tashkil qiladi. Sim va magnit maydon orasining burchagi nimaga teng?
6. 6.45 A tok tashiyotgan simga ta'sir qilayotgan 1.28 N kuch o'z qiymatiga magnitning qutblari orasida erishdi. Agar qutblar diametri 55.5 sm bo'lsa, taxminiy magnit maydon kuchi nimaga teng?
7. Simga ta'sir qilayotgan  $8.50 \cdot 10^{-2}$  N kuch o'z qiymatiga magnitning qutblari orasida erishdi. Tok o'ng tomonga gorizonttal oqadi va magnit maydoni vertikal. Tok ekilgan paytda, tomoshabin yo'nalishi bo'ylab sim xuddi sakragandek bo'ldi.
  - (a) Yuqori qutb qanday magnit qutb turiga kiradi? (b) Agar qutblar diametri 10sm bo'lsa, simdagi tokning qiymatini aniqlang, maydon 0.220T ga teng. (s) Agar sim gorizont bilan  $10^\circ$  tashkil qilsa, qanday kuchni his kiladi? (Yerdam: endi maydonda sim uzunligi qancha bo'ldi?)
8. Tasavvur qiling, 1mm diametrluk mis simi Yerning magnit maydon  $B$ (gorizonttal, simga perpendikulyar,  $5.0 \cdot 10^{-5}$ T) yordamidagi kuch ta'sirida havoda gorizonttal yunalishda suzib yuribdi. Sim qanaqa o'lchamda tok tashiydi? Javob real ko'rinishga egami? To'liq tushuntiring.
9. O'chib qolgan avtomobilni yurgizish uchun 65 A tok o'tuvchi egiluvchi kabellar qo'llanadi. Bir kabeldan 4,5 sm uzoqlikdagi magnit maydon nimaga teng? Yerning magnit maydoni bilan solishtiring ( $5,0 \times 10^{-5}$ Tl).
10. Elektr simidan 12 sm masofada hosil qilingan magnit maydon Yerning magnit maydoni( $5,0 \times 10^{-5}$ Tl)dan oshmasligi uchun undagi maksimal tok kuchi qancha bo'lishi kerak?
11. Bir xil yo'nalishda har biridan 25 A tok o'tayotgan ikkita parallel 25 m uzunlikdagi va bir biridan 4,0 sm uzoqlikda joylashgan simlar orasidagi kuchning qiymati va yo'nalishini toping.

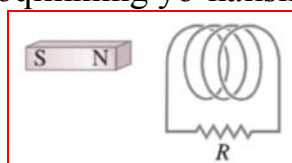
#### **4.2 - §. Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuchi kuch. Amper qonuni**

1. 0.90-T doimiy magnit maydonga perpendikulyar bulgan 6,40 A tok tashuvchi simga ta'sir kiladigan kuch/meter nimaga teng? (b) Agar maydon va simning orasidagi burchak  $35^\circ$  bo'lsachi?
2. 80m uzunlikdagi simdan qancha tok oqib o'tadi, agar 0.0800 T doimiy maydonga 0.625 N maksimum kuch ta'sir qilsa?
3. 240m uzunlikdagi sim ikki minora bo'ylab tortib qo'yildi va 120 A tok o'tkazildi. Kuchning simga bo'lgan qiymatini aniqlang, agar Yerning magnit maydoni  $5.0 \times 10^{-5}$ T bo'lsa va sim bilan  $68^\circ$  burchak hosil qilsa.
4. Uzunligi 2.6m bo'lgan gorizonttal sim 4.5 A tokni janubga tashiydi. Yerning magnit maydoni va sim orasidagi og'ish burchagi  $41^\circ$  teng. Simga ta'sir qilayotgan magnit kuchining qiymatini aniqlang, agar Yer magnit maydoni  $5.5 \cdot 10^{-5}$ T bo'lsa.

5. Magnit kuchining sim metriga nisbatan qiymati maksimum mumkin bo'lgan qiymatining 45% tashkil qiladi. Sim va magnit maydon orasining burchagi nimaga teng?
6. 6.45 A tok tashiyotgan simga ta'sir qilayotgan 1.28N kuch o'z qiymatiga magnitning qutblari orasida erishdi. Agar qutblar diametri 55.5 sm bo'lsa, taxminiy magnit maydon kuchi nimaga teng?
7. Simga ta'sir qilayotgan  $8.50 \cdot 10^{-2}$ N kuch o'z qiymatiga magnitning qutblari orasida erishdi. Tok o'ng tomonga gorizontol oqadi va magnit maydoni vertikal. Tok yoqilgan paytda, tomoshabin yo'nalishi bo'ylab sim xuddi sakragandek bo'ldi.
8. (a) Yuqori qutb qanday magnit qutb turiga kiradi? (b) Agar qutblar diametri 10sm bo'lsa, simdagi tokning qiymatini aniqlang, maydon 0.220T ga teng. (s) Agar sim gorizont bilan  $10^\circ$  tashkil qilsa, qanday kuchni his qiladi? (yordam: endi maydonda sim uzunligi qancha bo'ldi?)
9. Tasavvur qiling, 1mm diametrluk mis simi Yerning magnit maydon  $B$ (gorizontol, simga perpendikulyar,  $5.0 \cdot 10^{-5}$ T) yordamidagi kuchi ta'sirida havoda gorizontol yo'nalishda suzib yuribdi. Sim qanaqa o'lchamda tok tashiydi? Javob real ko'rinishga egami? To'liq tushuntiring.
11. Massasi  $6,6 \cdot 10^{-27}$ kg bo'lgan geliy ioni ( $Q = +2e$ ) 3700 V kuchlanishda tezlatilgan. (a) Uning tezligi nimaga teng? (b) 0,340 T bo'lgan magnit maydonda harakatlanish radiusini toping. (v) Uning aylanishlar davri nimaga teng?
12.  $B$  magnit maydonida aylana bo'ylab harakatlanayotgan massasi  $m$  va zaryadi  $q$  bo'lgan zarracha uchun, (a) kinetik energiyasi aylana radiusining kvadrati  $r^2$ ga proporsional ekanligini ko'rsating. (b) aylana markaziga nisbatan aylanma momenti  $L = qBr^2$  ekanligini ko'rsating.
13. Kinetik energiyasi 1,5 MeV bo'lgan proton 0,30 T maydonga perpendikulyar ravishda kiradi. Uning traektoriyasining radiusi nimaga teng?
14. Magnit maydon ichida shimolga tomon  $2,8 \times 10^6$  m/s tezlik bilan harakatlanayotganda elektronga maksimal kuch ta'sir qiladi. Kuch vertikal yuqoriga yo'nalgan bo'lib, qiymati  $6,2 \cdot 10^{-13}$ N ga teng. Magnit maydonning yo'nalishi va qiymati nimaga teng?

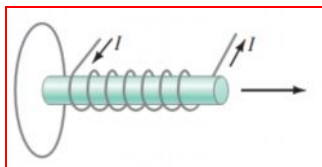
#### 4.3 - §. Elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qoidasi

1. Ikkita o'ramdan iborat o'tkazgich g'altak orqali o'tuvchi magnit oqimi doimiy tartibli -58 Vb dan +38 Vb gacha 0.34 s ichida o'zgardi. Halqada yuzaga keluvchi EYuK nimaga teng?
2. 1- rasmda keltirilgan magnit shimoliy qutbi bilan halqaga kiritilmoqda. R rezistordayuzagakeluvchi tok oqimining yo'nalishi qanday? Tushuntiring.



1-rasm

3. 1- rasmda keltirilgan to'rtburchakli halqa magnit maydon tomonga yaqinlashtirilmoqda. Halqada yuzaga keluvchi tokning yo'nalishi qanday? Fikringizni tushuntiring.
4. 2- rasmda ko'rsatilgan solenoid halqadan uzoqlashtirilganda, halqad yuzaga keluvchi tok kuchi yo'nalishi qanday? Tushuntiring.



2-rasm

5. Uzunligi 18.5 sm bo'lgan o'tkazgich halqa 1.5 T magnit maydoniga perpendikulyar joylashtirilgan. Maydon yo'nalishiga parallel tekislikda 0.20 s aylantirildi. Halqaning o'rtacha EYuK si nimaga teng?
6. Diametri 10.8 sm bo'lgan halqa o'tkazgich 0.48 T magnit maydoniga perpendikulyar mahkamlangan. 0.16 s ichida magnit maydon 0.25 T ga kamaygan. Halqaning o'rtacha EYuK si nimaga teng?
7. Diametri 16 sm bo'lgan o'tkazgich aylana halqa 0.50 T magnit maydoniga joylashtirilgan. (a) halqa magnit maydoniga perpendikulyar joylashganda halqadan o'tuvchi magnit maydoni nimaga teng? (b) halqa magnit maydoniga  $42^\circ$  burchak ostida aylanganda, ushbu vaziyat uchun 7-1 tenglamadagi burchak  $\theta$  nimaga teng? (s) ushbu burchakdagi halqa orqali o'tuvchi magnit oqimi nimaga teng?
8. aylana halqa qog'oz ustida unga kiruvchi 0.65 T magnit maydonda yotibdi. Halqaning diametri 0.50 s ichida 20 sm dan 6.0 smgacha o'zgartirildi. (a) halqada yuzaga keluvchi tok kuchinin yo'nalishi qanday, (b) yuzaga keluvchi EYuK ning o'rtacha qiymati nimaga teng, (v) halqaning qarshiligi 2.5 Om bo'lsa, yuzaga keluvchi o'rtacha to kuchini nimaga teng.
9. 600 ta o'ramli, uzunligi 20 sm va diametri 2.5 sm bo'lgan solenoid bor. 14 o'ramli halqa solenoid markazida zich joylashtirilgan. Solenoid tok kuchi 0.60 s ichida 0 dan 5.0 A gacha ko'tarilganda, ushbu vaqt oralig'ida qisqa halqada yuzaga keluvchi EYuK nimaga teng?
10. Mashina Erning magnit maydonida harakatlenganda uning uzunligi 55 sm bo'lgan vertikal antenasida EYuK yuzaga keladi. Agar Erning magnit maydoni ( $5.0 \times 10^{-5}$  T) va uning yo'nalishi shimoliy nuqta bilan  $38^\circ$  ni tashkil etsa, antenaning maksimal EYuKsi nimaga teng va ushbu maksimal qiymat mashina harakatlanish yo'nalishiga nisbatan qanday yo'nalishga ega? Mashinaning gorizontal yo'nalishdagi tezligi 30.0 m/s ga teng.
11. Diametri 22.0sm bo'lgan g'altak diametri 2.6 mm bo'lgan 30 ta o'ramli mis o'tkazgichdan tashkil topgan. G'altakning teksiligiga nisbatan perpendikulyar bir jinsli magnit maydon 8.65 T/s tartibda o'zgaradi. (a) halqaning tok kuchini va (b) halqa ajraluvchi issiqlik energiyasini aniqlang?
12. Diametri 13.2 sm bo'lgan bitta mis o'tkazgich halqa tekisligiga perpendikulyar bir jinsli magnit maydoni 0.670 T dan 0 gacha o'zgardi. Agar



o'tkazgich diametri 2.25 mm bo'lsa, u holda g'altakda qancha zaryad harakatlanadi?

## V – BOB. GEOMETRIK VA TO'LQIN OPTIKASI

### *Asosiy formulalar*

Yumaloq ko'zguning fokus masofasi

$$f = \frac{R}{2},$$

bunda R-ko'zguning egrilik radiusi.

Yumaloq ko'zguning optik kuchi

$$F = \frac{1}{f}.$$

Yumaloq ko'zgu formulasi (yupqa linza formulasi)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

bunda  $a$  va  $b$  -mos ravishda ko'zgu qutbidan buyum va tasvirgacha masofalar. Agar tasvir mavhum bo'lsa  $b$  manfiy ishora bilan olinadi.

Yorug'likning sinish qonuni

$$\sin \frac{i_1}{i_2} = n_{21},$$

bunda  $i_1$ -tushish burchagi,  $i_2$  -sinish burchagi,  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$  - ikkinchi muhitning

birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi

Lupaning burchak kattalashtirishi

$$G = D/f,$$

bunda D – eng yaxshi ko'rish masofasi ( $D = 25\text{sm}$ ).

Teleskopning burchak kattalashtirishi

$$G = \frac{F_{ob}}{f_{ok}}$$

$f_{ob}$  va  $f_{ok}$  -mos ravishda obektivning va okulyarning fokus masofalari.

Izotropik nuqtaviy yorug'lik manbai:  $\omega$  fazoviy burchak chegarasida tarqatadigan yorug'lik oqimi

$$\Phi_s = I \cdot \omega,$$

bunda  $I$  - yorug'lik kuchi;

to'la yorug'lik og'imi

$$\Phi_0 = 4\pi I.$$

Sirtning yoritilganligi

$$E_s = \frac{\Phi}{S}$$

S -yorug'lik tushayotgan tekislikning yuzasi.

Yorug'lik tarqatuvchi sirtning ravshanligi

$$L_s = \frac{I}{\sigma}$$

$I$  -kuzatish yo'nalishidagi yorug'lik kuchi;  $\sigma$  - yorug'lik tarqatuvchi sirtning shu yo'nalishga tik bo'lgan tekislikdagi proektsiyasining yuzasi.

Yorituvchanlik

$$M_g = \frac{\Phi_g}{S}$$

$\Phi_g$  -sirt chiqarayotgan yorug'lik oqimi;  $S$  -shu sirtning yuzasi.

Ikkita kogerent to'lqinlarining fazalari farqi:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0}(L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta,$$

bunda  $L = S \cdot n$  - optik yo'l uzunligi ( $S$  - yorug'lik to'lqinining muhitdagi geometrik yo'li uzunligi;  $n$ -shu muhitning sindirish ko'rsatkichi);  $\Delta = L_2 - L_1$  - ikkita yorug'lik to'lqinlarining optik yo'l farqi;  $\lambda_0$  - vakuumda to'lqin uzunligi.

Interferension maksimumlar sharti:

$$\Delta = \pm m\lambda_0 (m = 0,1,2\dots).$$

Interferension minimumlar sharti:

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2} (m = 0,1,2\dots).$$

Interferension yo'llar kengligi ( $l \gg d$ )

$$\Delta x = \frac{l}{d}\lambda_0,$$

bunda  $d$  -ekrandan  $l$  masofada turgan ikkita kogerent manbalar orasidagi masofa.

Yupqa yassi parallel pardaning yuqori va quyi sirtlaridan qaytuvchi yorug'lik interferentsiyasi uchun ( $n_0 = 1$ ):

maksimumlar

$$2d \cdot n \cdot \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0 (m = 0,1,2,\dots)$$

va minimumlar

$$2d \cdot n \cdot \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2 \cdot d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2} (m = 0,1,2,\dots)$$

shartlari. Bu yerda  $d$  -pardaning qalinligi;  $n$ -uning sindirish ko'rsatkichi;  $i$  - tushish burchagi;  $r$ -sinish burchagi.  $\pm \frac{\lambda_0}{2}$  had muhitlar sirtidan yorug'likning qaytishi natijasida yarim to'lqinning yo'qolishini ko'rsatadi. Agar  $n > n_0$  bo'lsa, musbat ishora,  $n < n_0$  bo'lsa manfiy ishora olinadi.

Qaytgan yorug'lik uchun Nyuton yorug halqalarining (o'tgan yorug'lik uchun qorong'i) radiuslari

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 R}, \quad (m = 1,2,3\dots)$$

bunda  $m$  -halqa nomeri;  $R$  - linzaning egrilik radiusi.

qaytgan yorug'lik uchun Nyuton qorong'i halqalarining (o'tgan yorug'lik uchun yorug') radiuslari

$$r_m = \sqrt{m\lambda_0 R}, \quad (m = 1,2,3\dots)$$

Sferik to'liqlar uchun  $m$  chi Frenel zonasi tashqi chegarasining radiusi

$$r_m = \sqrt{\frac{a \cdot b}{a + b}} m \lambda,$$

bunda  $m$  –Frenel zonasining nomeri,  $\lambda$  -to'liqin uzunligi,  $a$  va  $b$  lar mos ravishda, nuqaviy manbadan difraksion manzara kuzatiladigan ekrangacha va yumaloq tirqishli diafragma gacha bo'lgan masofalar.

Yorug'lik bitta tirqishga normal tushganda hosil bo'ladigan diafraksiya maksimumlari va minimumlarining shartlari

$$a \cdot \sin \varphi = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad a \cdot \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}.$$
$$(m = 1, 2, 3, \dots)$$

bunda  $a$  –tirqish kengligi;  $\varphi$  -difraksiya burchagi;  $m$  –spektrning tartib nomeri;  $\lambda$  - to'liqin uzunligi.

Yorug'lik difraksion panjaraga normal tushganda hosil bo'ladigan bosh maksimumlar va qo'shimcha minimumlarning shartlari

$$d \cdot \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$
$$d \cdot \sin \varphi = \pm m' \frac{\lambda}{N}, \quad (m' = \lambda 1, 2, \dots, N - 1, N + 1, \dots, 2N + 1).$$

Bunda  $d$  – difraksion panjara doimiysi;  $N$  – panjaradagi shtrixlar soni.

Difraksion panjara doimiysi:

$$d = \frac{1}{N_0},$$

bunda  $N_0$  - panjaraning birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi tirqishlar soni.

Fazoviy panjaradagi difraksion maksimumlar sharti (Vulf – Bregg formulasi)

$$2 \cdot d \cdot \sin \varphi = m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

bunda  $\lambda, (\lambda + \delta\lambda)$  -panjara ajrata oladigan ikkita qo'shni spektral chiziqlarning to'liqin uzunliklari;  $t$  – spektrning tartibi;  $m$  – panjaradagi shtrixlarning to'la soni.

### MASALA YECHISH NAMUNALARI

**1-misol.** Yorug'lik nuri  $45^\circ$  burchak ostida yassiparallel shisha ( $n=1,6$ ) plastinkaga tushadi. Agar plastinkadan chiqayotgan nur tushayotgan nurning davomidan  $h=2\text{sm}$  masofaga siljisa, plastinka qalinligi topilsin.

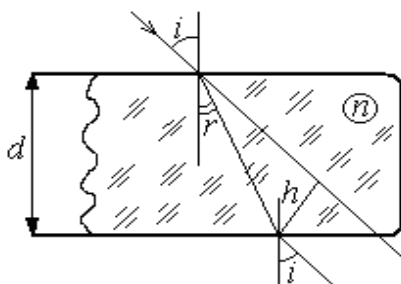
**Berilgan:**

$$n = 1,6;$$

$$i = 45^{\circ};$$

$$h = 2\text{sm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{m}.$$

$$d = ?$$



**Yechish:** Rasmdan ko'rinib turibdiki plastinkadan chiqayotgan nur tushayotgan nurga parallel bo'ladi. 77-rasmdan

$$\frac{d}{\cos r} = \frac{h}{\sin(i-r)} \quad (1)$$

ligi ko'rinib turibdi. (1)-ifodadan  $d$  ni aniqlasak

$$d = \frac{h \cdot \cos r}{\sin(i-r)} = \frac{h \cdot \cos r}{\sin i \cdot \cos r - \cos i \cdot \sin r} \quad (2)$$

Sinish qonuniga muvofiq

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n,$$

bundan esa

$$\sin r = \frac{\sin i}{n} \quad (3)$$

bu ifodani (2)-ga qo'ysak va burchak kosinuslarini sinuslar orqali ifodalasak, plastinka qalinligi uchun quyidagi ifodani olamiz.

$$d = \frac{h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\sin i(\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \sqrt{1 - \sin^2 i})} \quad (4)$$

Berilganlarni (4)-ifodaga qo'yib olamiz

$$d = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{m} \cdot \sqrt{(1,6)^2 - \sin^2 45^{\circ}}}{\sin 45^{\circ} (\sqrt{(1,6)^2 - \sin^2 45^{\circ}} - \sqrt{1 - \sin^2 45^{\circ}})} \text{m} = 5,58 \cdot 10^{-2} \text{m} = 5,58 \text{sm}$$

**Javob:**  $d = 5,58 \text{ sm}$

**2-misol.** Projektor  $2\theta = 40^{\circ}$  ochilish burchagi bilan kesik konus ko'rinishidagi yorug'lik dastasini beradi. Projektorning yorug'lik oqimi  $80 \text{ klm}$ . Yorug'lik oqimi konus ichida tekis taqsimlangan deb hisoblab, projektorning yorug'lik kuchi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$2\theta = 40^{\circ};$$

$$\Phi = 40 \text{klm} = 4 \cdot 10^4 \text{lm}.$$

$$I = ?$$

**Yechish:** Izotropik manbaning yorug'lik kuchi  $J$  yorug'lik oqimi  $\Phi$  ning yorug'lik oqimi tarqaladigan chegaradagi fazoviy burchak  $\omega$  ga nisbatiga teng, ya'ni

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (1)$$

Ma'lumki elementar fazoviy burchak  $d\omega$  quyidagicha aniqlanadi

$$d\omega = 2\pi \sin\theta \cdot d\theta.$$

Konusning  $2\theta$  ochilish burchagiga mos keluvchi fazoviy burchakni esa quyidagi integral orqali topamiz

$$\omega = 2\pi \int_0^{\theta_0} \sin\theta d\theta,$$

yoki integrallab olamiz

$$\omega = 2\pi(1 - \cos\theta_0) = 4\pi \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (2)$$

(2)-ni (1)-ga qo'yib olamiz

$$I = \frac{\Phi}{4\pi \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (3)$$

Kattaliklarning qiymatlarini (3)-ga qo'ysak

$$I = \frac{4 \cdot 10^4 \text{ lm}}{4 \cdot 3,14 \cdot \sin^2 10^\circ} = 211 \text{ kkd}.$$

**Javob:**  $I=211 \text{ kkd}$ .

**3-misol.** Diametri 2,5sm va uzunligi 40sm bo'lgan silindrsimon lyuminesentsiyaga asoslangan lampa 5 m masofada lampa o'qiga tik yo'nalishda 2 lk yoritilganlik hosil qilinadi. Lampani kosinusoidal tarqatuvchi sifatida qarab: 1) berilgan yo'nalishdagi yorug'lik kuchi  $I$ ; 2) ravshanlik  $L$ ; 3) lampaning yorqinligi  $M$ , - aniqlansin

**Berilgan:**

$$d = 2,5 \text{ sm} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m};$$

$$l = 40 \text{ sm} = 0,4 \text{ m};$$

$$r = 5 \text{ m};$$

$$E_g = 2 \text{ lk}.$$

$$I = ?$$

$$L = ?$$

$$M = ?$$

**Yechish:** 1. Lampaning katta o'lchami uning uzunligi bo'lib, u yoritilganlik o'lchangan masofadan 12 marta kichik. Demak, berilgan yo'nalishdagi yorug'lik kuchini hisoblashda lampani nuqtaviy manba deb qabul qilish va quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$E_g = \frac{I}{r^2} \quad (1)$$

Bundan esa

$$I = E_g \cdot r^2. \quad (2)$$

2. Ravshanlikni hisoblash uchun

$$L = \frac{I}{\sigma} \quad (3)$$

ifodadan foydalanamiz, bunda  $\sigma$ -yorug'lik manbaining kuzatish yo'nalishiga tik tekislikdagi proeksiyasining yuzasi.

Silindrsimon lampa hamda proeksiya yuzasi, uning uzunligi  $l$  va kengligi  $d$  bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shakliga ega bo'ladi. Demak,  $\sigma = l \cdot d$  Shunday qilib,

$$L = \frac{I}{l \cdot d}. \quad (4)$$

3. Lampani kosinusoidal tarqatuvchi sifatida qaralganda uning yorqinligi

$$M = \pi L \quad (5)$$

kabi aniqlanadi.

Kattaliklarning qiymatlarini (2), (4) va (5) larga quyib olamiz

$$I = 2 \cdot 25kd = 50kd;$$

$$L = \frac{50}{0,4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} \frac{kd}{m^2} = 5 \frac{kkd}{m^2};$$

$$M = 3,14 \cdot 5klk = 15,70klk.$$

**Javob:**  $I=50kd$ ;  $L=5 \frac{kkd}{m^2}$ ;  $M = 15,0klk$ .

**4-misol.** 50 kd bilan bir tekis yorituvchi yorug'lik manbaining diametri 50sm.

1) yoritgich chiqaradigan to'la yorug'lik oqimi  $\Phi$ ; 2) agar yoritgichdan chiqayotgan yorug'lik oqimining 20% ekranga tushayotgan bo'lsa, uning yorqinligi  $R$ ; 3) yoritilganligi  $E_1$ , yorqinligi  $R_1$  va ravshanligi  $B_1$  aniqlansin. Ekraning yuzasi  $0,5m^2$  va uning sirtidan yorug'likning qaytish koeffitsienti 0,7.

**Berilgan:**

$$I = 500kd;$$

$$d = 50sm = 0,5m;$$

$$\frac{\phi_1}{\Phi} = 0,2;$$

$$S_1 = 0,5m^2;$$

$$\rho = 0,7.$$

$$1) F = ?$$

$$2) R = ?$$

$$3) E_1 = ?$$

$$R_1 = ?$$

$$B_1 = ?$$

**Yechish:** 1) Nuqtaviy manbadan chiqayotgan to'la yorug'lik oqimi

$$\Phi = 4\pi J \quad (1)$$

kabi aniqlanadi.

2) Yorug'lik manbaining yorg'inligi

$$R = \frac{\Phi}{S}.$$

Agar  $S = 4\pi r^2 = \pi d^2$  ekanligini nazarda tutsak va (1)ni e'tiborga olsak

$$R = \frac{4\pi I}{\pi d^2} = \frac{4I}{d^2}. \quad (2)$$

3) ekraning yoritilganligi

$$E_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = 0,2 \frac{\Phi}{S_1}, \quad (3)$$

yor'ginligi

$$R_1 = \rho E_1, \quad (4)$$

va ravshanligi

$$B_1 = \frac{R_1}{\pi} \quad (5)$$

Kattaliklarning qiymatlarini (1) - (5) larga qo'yib olamiz

$$F = 4 \cdot 3,14 \cdot 500 \text{kd} = 6,28 \text{klm};$$

$$\Phi = \frac{4 \cdot 500 \text{ klm}}{0,25 \text{ m}^2} = 8 \frac{\text{klm}}{\text{m}^2};$$

$$E_1 = 0,2 \frac{6,28 \text{klm}}{0,5 \text{m}^2} = 2,51 \text{klk};$$

$$R_1 = 0,7 \cdot 2,51 \frac{\text{klm}}{\text{m}^2} = 1,76 \frac{\text{klm}}{\text{m}^2};$$

$$B_1 = \frac{1,76}{3,14} = 0,56 \frac{\text{kd}}{\text{m}^2} = 560 \frac{\text{kd}}{\text{m}^2}.$$

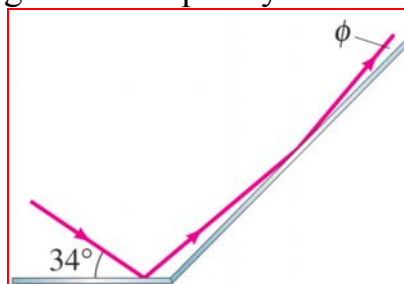
**Javob:** 1)  $\Phi = 6,28 \text{klm};$  2)  $R = 8 \frac{\text{klm}}{\text{m}^2};$  3)  $E_1 = 2,51 \text{klk};$   $R_1 = 1,76 \frac{\text{klm}}{\text{m}^2};$   $B_1 = 560 \frac{\text{kd}}{\text{m}^2}$

### 5.1 - §. Yorug'likning asosiy qonunlari. Yorug'likning sinish qonunlari. To'la ichki qaytish

1. Balandligi **60 sm** bg'lgan yassi ko'zguga qarab o'zingizni ko'rayapsi, siz ko'zguga yaqin yoki uzoqda bo'lishingizdan qat'iy nazar, ko'zguda gavgangizni xuddi shundan o'lchamda ko'rasiz. (Buni sinab ko'ring.) Nur diagrammasini chizib nima uchun bu shunday bo'lishini ko'rsating.

2. Faraz qiling, siz ko'zgudan **3.1 m** uzoqlikda ko'rganingiz kabi o'zingizni suratgan olmoqchisiz. Kamera linzasi fokuslashi uchun qanday masofada suratga olish kerak?

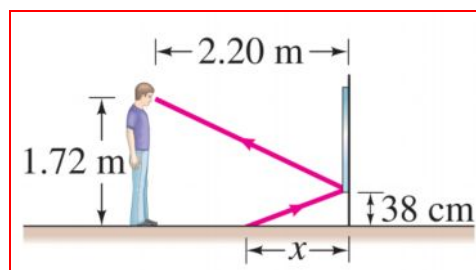
3. 1-rasmda ikki yassi ko'zgu **135°** burchak ostida tutashtirilgan. Agar yorug'lik nurlari ko'zgulardan birining sirtiga rasmda ko'rsatilganidek **34°** ostida tushsa, ikkinch ko'zgu sirtidan qanday burchak  $\phi$  ostida chiqadi.



**1-rasm.**

4. Ko'zi poldan **1.72 m** yuqorida joylashgan odam pastki cheti poldan **38 sm** yuqorida joylashgan vertikal yassi ko'zgudan **2.20 m** masofada turibdi. Ko'zguni ushlab turgan devorning asosidan gorizonta qanday **x** masofadagi polda joylashgan nuqtadan qaytgan nurlarni ko'zguda ko'rish mumkin rasm 2?





2-rasm

5. Yorug'likning muzdagi tezligi  $2.29 \times 10^8 \text{ m/s}$  ga teng. Muzning sindirish ko'rsatkichi nimaga teng?
6. Yorug'likning (a) etil spirtidagi, (b) Lyusit (plastik shisha) dagi, (c) Kronglas (optik shisha) dagi tezliklarini toping.
7. Yorug'likning moddadagi tezligi suvdagi tezligining  $82\%$  ini tashkil qiladi. Moddaning sindirish ko'rsatkichi nimaga teng?
8. Fonarka nurlari deraza oynasi ( $n = 1.56$ ) sirtiga normaldan  $67^\circ$  burchak ostida tushayapti. Sinish burchagi nimaga teng?
9. G'ovvos suv ostidan fonar nurlarini yuqoriga vertikalidan  $35.2^\circ$  ostida yo'naltirdi. Yorug'lik sudan qanday burchak ostida chiqadi?
10. Yorug'lik nurlari suv ostidagi projektordan tarqalib, suvdan  $56.0^\circ$  burchakda chiqadi. Yorug'lik suv-havo chegarasiga pastdan qanday burchak ostida tushadi?
11. Quyosh nurlari suv ostida vertikalidan  $36.0^\circ$  burchak hosil qilayotganini ko'rinadi. Quyosh gorizontadan qanday burchak balandligida turibdi?
12. Yorug'lik nurlari havoda shisha plastina ( $n = 1.51$ ) sirtiga tushayapti va bir qismi qaytayapti va bir qismi sinayapti. Agar qaytish burchagi ikkita sinish burchagiga teng bo'lsa, tushish burchagini aniqlang.
13. Suv va krovnglass (optik shisha) orasidagi tegish sirtida chegaraviy tushish burchagi nimaga teng? To'la ichki qaytish sodir bo'lishi uchun yorug'lik qaysi materialdan keyingisiga o'tishi lozim?
14. Ba'zi bir suyuqlik – havo sirtlarida chegaraviy tushish burchagi  $47.2^\circ$  bo'ladi. SHuyuqlikning nur sindirish ko'rsatkichi nimaga teng?
15. Yorug'lik nurlari bassej suvining  $82.0 \text{ sm}$  chuqurligidan chiqayapti. Yorug'lik manbaning tepasidagi yorug' dog'ga nisbatan suv-havo chegaraviy sirtining qaerga tushirilsa, u suv sirtidan tashqariga chqmaydi?
16. Yorug'lik nurlari suyuqlikning  $8.0 \text{ sm}$  chuqurligidan chiqib havo sirtiga manbaning tik yuqoridagi nuqtasidan  $7.6 \text{ sm}$  masofaga uriladi. Agar to'la ichki qaytish hodisasi yuz bersa, suyuqlikning sindirish ko'rsatkichi to'g'risida nima deya olasiz?
17. (a) To'la ichki qaytishi  $45^\circ$  da yuz berishi uchun durbinlarda foydalaqniladigan shisha yoki plastik prizmalarning minimal sindirish ko'rsatkichi nechaga teng bo'lishi kerak? (b) Agar prizma ( $n = 1.58$  deb qabul qilingan) suvga botirilgan bo'lsa, durbinlar ishlaydimi? (c) Agar suvga botirilsa,  $n$  ning minimal qiymati nechaga teng bo'ladi?

## 5.2 - §. Yorug'lik interferensiyasi

1. Botiq sferik ko'zguning egrilik radiusi 20 sm. Ko'zgodan 30 sm uzoqlikda balandligi 1 sm bo'lgan buyum qo'yilgan. Tasvirning vaziyati va balandligi topilsin.
2. Ba'zi shisha navlarining qizil va binafsha nurlar uchun sindirish ko'rsatkichi 1,51 va 1,53 ga teng. Bunurlar shisha-havo chegarasiga tushganda to'la ichki qaytish limit burchaklari topilsin.
3. Yung tajribasid tirqishga tushayotgan tulqin uzunligi  $5 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan ko'k yorug'lik nuri, to'lqin uzunligi  $6,7 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan qizil yorug'lik nuri bilan almashtirilsa, interferension yo'llar orasidagi masofa necha marta o'zgaradi?
4. Frenel biprizmasida o'tkazilayotgan tajribada manbaning mavhum tasvirlari orasidagi masofa  $d = 5 \cdot 10^{-4}$  m, ekrangacha bo'lgan masofa  $l = 5$  m ga teng. Agar biprizmaga tushayotgan nurning to'lqin uzunligi  $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7}$  m bo'lsa, ekranda hosil bo'lgan interferension yo'llar orasidagi  $\Delta x$  masofa topilsin.
5. Sovun pardasiga ( $n = 1,33$ )  $60^\circ$  burcha kostida oqyorug'lik nuri tushmoqda. Sovun pardasining qalinligining qanday qiymatida undan qaytgan yorug'lik nuri qizil ( $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-7}$  m) rangga bo'yaladi?
6. Nyuton xalqalarini hosil qiladigan qurilma monoxromatik yorug'lik bilan yoritilmokda. Kuzatish qaytgan yorug'likda olib borilmoqda. Ikki qo'shni qora xalqalarning radiuslari mosravishda  $r_k = 4$  mm va  $r_{k+1} = 4,38$  mm. Linzaning egrilik radiusi  $R = 6,4$  m. Halqalarning tartib nomerlar iva tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligi topilsin.
7. Qaytgan yorug'likda kuzatilayotgan ikkinchi va uchinchi Nyuton xalqalari orasidagi masofa  $l = 3$  mm ga teng bo'lsa, o'ninchi va o'nbirinchi xalqalar orasidagi masofa topilsin.

## 5.3 - §. Yorug'lik difraksiyasi

1. Monoxromatik yorug'lik ikki tirqishli to'siqdan o'tkazilganda  $8,6^\circ$  burchakda 5-tartibli yorqinlikdagi interferension chiziqlarni hosil qiladi. Tirqishlar orasidagi masofa 0.018 mm ga teng. Yorug'likning to'lqin uzunligini toping.
2. 610 nm to'lqin uzunligidagi yorug'lik ikki tirqishli to'siqdan o'tganda  $31^\circ$  burchakda 3-tartibli yorqinlikdagi interferension chiziqlarni hosil qildi. Tirqishlar orasidagi masofani toping.
3. Tirqishlar orasidagi masofa 0.048 mm ga teng to'siqdan manoxromatik yorug'lik o'tkazildi. To'siqdan 6.5 m uzoqlikdagi ekrandagi interferension manzara markazidagi chiziqlar bir biridan 8.5 sm uzoqlikda. Yorug'likning to'lqin uzunligi va chastotasini aniqlang.
4. Tirqishlar orasidagi masofa 0.62 mm ga teng bo'lgan to'siqdan to'lqin uzunligi 720 nm va 660 nm li yorug'lik o'tkazilgan. To'siqdan 1 m uzoqlikdagi ekrandagi interferension manzaradagi 2-tartibli chiziqlar orasidagi masofani toping.
5. Suv yuzasidagi to'lqinlar do'ngliklari orasidagi masofa 4,5 sm bo'lib, bir biridan 7,5 sm masofada joylashgan taxtadagi ikkita tirqishdan o'tadi. Taxtadan 3,0 m masofada va taxtaga perpendikulyar chiziqqa nisbatan qanday burchak ostida to'lqin so'nish nuqtasi mavjud?

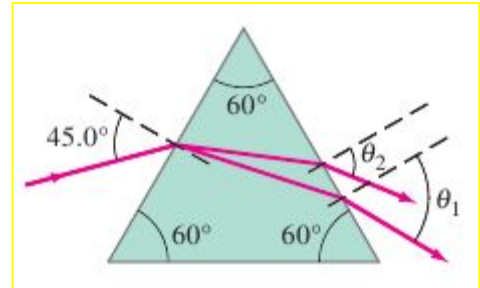
6. Fizika laboratoriyasidagi qizil lazer 632.8-nmli yorug'lik chiqara oladi. Bu lazerdan chiqqan yorug'lik tirqishlari bir-biriga yaqin joylashgan ikki tirqishli to'siqdan o'tkazildi. To'siqdan bir necha metr uzoqlikda joylashgan ekranda hosil bo'lgan interferension manzara markazidagi yorqin qizil chiziqlar bir biridan 5 mm uzoqlikda joylashgan. Agar shu lazer kichikroq lazer tushirgich bilan almashtirilsa yorqin qizil chiziqlar bir biridan 5.14 mm uzoqlikda joylashadi. Kichik lazer tushirgichdagi yorug'likni to'lqin uzunligini toping.
7. To'lqin uzunligi 680 nmga teng bo'lgan yorug'lik ikki tirqishli to'siqdan o'tkazilganda hosil bo'lgan interferension manzara markazidagi chiziq yorqin qizil chiziqlardan 38 mm uzoqlikda joylashgan. Ekran 2.8 m uzoqlikda. Ikki tirqish orasidagi masofani toping.
9. He-Ne lazeridan chiqayotgan 633 nm to'lqin uzunligidagi yorug'lik, tirqishlar orasidagi masofa 0.068 mm ga teng bo'lgan to'siqqa tushirildi. 3.3 m uzoqlikdagi interferension manzara markazidagi chiziqlar orasidagi masofani toping.
10. Fizika professori Yungning ikki tirqishli tajribasini 633 nm to'lqin uzunligidagi yorug'lik chiqaradigi He-Ne lazeridan foydalangan xolda bajarishni xohlaydi. Ma'ruza xonasi katta bo'lganligi sababli professor interferension manzarani to'siqlardan 5 m uzoqlikdagi devorga tushirmoqchi. Darsdagi talabalarga oson ko'rinishi uchun professor  $m=0$  va  $m=1$  maksimumlari orasidagi masofani 35 sm bo'lishini istaydi. Bunday interferension manzarani hosil qilish uchun tirqishlar orasidagi masofa qanday bo'lishi kerak?
11. Ikki tirqishli tajribada ko'rindiki, to'lqin uzunligi 480 nm bo'lgan ko'k yorug'lik ekrandagi ma'lum bir nuqtada 2-tartibli maksimumga ega bo'ldi. Xuddi shu nuqtada minimum bo'lishi uchun zarur bo'lgan yorug'lik to'lqin uzunligi toping.
12. Tirqishlar orasidagi masofa 1 mm ga teng bo'lgan to'siq to'lqin uzunligi 544 nm bo'lgan yorug'lik bilan yoritilgan. Tirqishlardan 4 m uzoqlikda joylashgan ekrandagi yonma-yon yorqin interferension chiziqlar orasidagi masofani aniqlang.
13. Ikki tirqishli tajribada, to'lqin uzunligi 480 nm bo'lgan yorug'lik tirqishlardan 1.6 m uzoqlikda joylashgan ekranda hosil bo'lgan interferension manzara markazidagi chiziqdan 3-tartibli maksimumgacha bo'lgan masofa 16 mmga teng. 2-tartibli maksimumgacha bo'lgan masofani toping.
14. To'lqin uzunligi 470 nm bo'lgan yorug'lik bir biridan  $6,00 \times 10^{-2}$  mm masofadagi ikki tirqishni yoritadi. Tirqishlar va 40,0 sm uzoqlikdagi ekran suvga tushirildi. Ekrandagi chiziqlar bir biridan qancha masofada?
15. Tirqishlaridan biri plastik ( $n=1.60$ ) bilan qoplangan ikki tirqishli to'siqqa to'lqin uzunligi 680 nm bo'lgan yorug'lik tushiriladi. Ekrandagi markaziy nuqtada maksimum paydo bo'lishi o'rniga qora chiziq xosil bo'lgan. Plastikning (minimum) qalinligini aniqlang?

#### 5.4 - §. Yorug'lik difraksiyasi turlari va dispersiyasi

1. Silikat shaffof shishada ko'k yorug'lik (450 nm) tezligi qizil yorug'lik (680 nm) tezligiga nisbatan necha foiz kichik?

2. Yorug'lik nuri shisha parchasiga  $65^\circ$  burchak ostida uriladi. Nur 450 nm va 700 nmga teng bo'lgan to'lqin uzunliklarini o'z ichiga oladi. Shishaning sindirishko'rsatkichi mos ravishda 1.4831 va 1.4574. Ikki singan nur orasidagi burchakni toping.

3. Parallel nurlar oqimi  $\lambda_1=455$  nm va  $\lambda_2=642$  nm ga teng bo'lgan ikkita to'lqin uzunligiga ega bo'lib, bu yorug'lik silikat shaffof shishadan bo'lgan teng tomonli prizmagacha kiradi (rasm).



Har bir nur qanday ( $\theta_1$  va  $\theta_2$ ) burchaklarda prizmadan chiqib ketadi?

4. 680 nmli yorug'lik kenligi 0.0425 mmlir tirqishdan o'tkazilsa, xosil bo'ladigan markaziy difraksion maksimumning burchak kengligini toping.

5. Monoxromatik yorug'lik kenligi  $2.6 \cdot 10^{-3}$  mmlir tirqishdan o'tkazildi. Agar markaziy maksimumning yon tomonlaridagi qora chiziqlar orasidagi burchak  $28^\circ$  bo'lsa, yorug'lik to'lqin uzunligini toping.

6. To'lqin uzunligi 440 nm bo'lgan ko'k yorug'lik bir tirqishli to'siqdan o'tganda, markaz maksimumi yonidagi qora chiziqlar orasidagi burchak  $51^\circ$  ga teng. Tirqishning kengligini toping.

7. To'lqin uzunligi 450 nm bo'lgan ko'k yorug'lik kenligi 1 mmlir tirqishdan o'tkazildi. Tirqishdan 6 m uzoqlikdagi ekranda hosil bo'lgan difraksion manzara markazidagi markaziy maksimumning kengligini (sm da) toping.

8. To'lqin uzunligi 558 nm bo'lgan ko'k yorug'lik kenligi 0.0348 mmlir tirqishdan o'tkazildi. Tirqishdan 2.30 m uzoqlikdagi ekranda hosil bo'lgan difraksion manzara markazidagi markaziy maksimumning kengligini toping.

9. 1,6 sm tirqishli metal plastinaga perpendikulyar ravishda tushayotgan mikroto'lqinlarni faraz qiling. (a) 0,50 sm, (b) 1,0 sm va (v) 3,0 sm to'lqin uzunliklarga ega to'lqinlarning difraksion minimumlari paydo bo'ladigan burchaklarni toping.

10. (a) To'lqin uzunligi  $\lambda$  bo'lgan holda, difraksion minimum bo'lmasligi uchun kerak bo'ladigan eng kichik tirqish kengligini toping. (b) Ko'zga ko'rinadigan yorug'likda difraksion minimum kuzatilmaydigan eng kichik tirqish kengligi nimaga teng?

11. To'lqin uzunligi 620 nm bo'lgan yorug'lik kenligi  $3.8 \cdot 10^{-3}$  mmlir tirqishdan o'tkazildi. Tirqishdan 10 m uzoqlikda joylashgan ekrandagi markaziy maksimumdan birinchi yorug' difraksiya chizig'igacha bo'lgan masofani toping.

12. To'lqin uzunligi 633 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik tirqishdan o'tkazildi. Agar markaziy maksimum yonidagi yorqin chiziqlar orasidagi burchak  $32^\circ$  ga teng bo'lsa tirqishning kengligini toping.

13. Diodli lazerdan chiqayotgan yorug'lik  $3.0 \mu\text{m} \times 1.5 \mu\text{m}$  (gorizontal x vertikal) to'g'ri burchakdan o'tkazildi. Agar lazer yorug'ligining to'lqin uzunligi 780

nm bo'lsa (a) markaziy maksimumning tepa va past qismlaridagi birinchi minimumlar orasidagi burchakni, (b) markaziy maksimumning chap va o'ng tomonlaridagi birinchi minimumlar orasidagi burchakni aniqlang.

14. Qalinligi  $D$  bo'lgan tirqishga parallel yorug'lik normalga nisbatan  $28^\circ$  burchak ostida tushganda hosil bo'ladigan diffraksion manzarani tushuntiring.

### 5.5 - §. Yorug'likning qutblanishi

**Masala.**  $60^\circ$  burchak ostidagi ikki polaroidlar. Qutblanmagan nur ikki Polaroid orqali utadi; birinchisining o'qi vertikal joylashgan va ikkinchisidagi vertikal o'qdan  $60^\circ$  ga burilgan. Otkazilgan nurning intensivligini va orientirini (yo'nalishini) aniqlang.

**Yechim:** Birinchi Polaroid nurning yarmini yo'qotadi, bu degani intensivlik ikki marta kamayadi:

$I_1 = \frac{1}{2}I_0$ . Ikkinchi polarizatorga (qutblashni bajaradigan asbob) etgan nur vertikal yo'nalishda qutblanadi va intensivligi xam kamayadi:

$$I_2 = I_1(\cos 60^\circ)^2 = \frac{1}{2}I_1$$

Shuning uchun  $I_2 = 1/8 I_0$ . Utkazilgan nurning intensivligi asl nur intensivligini sakkizdan birini tashkil etadi va vertikal yo'nalish bo'ylab  $60^\circ$  da chiziqli qutblangan.

**Masala. Qutblash burchagi.** (a) Qanday tushish burchagida quyosh nuri daryodan aniq chiziqli qutblangan xolda aks etadi? (b) Sinish burchagi nimaga teng?

**Yechim** (a) Biz 24-6b tenglamasini  $n = 1.33$  bilan ishlatamiz, va  $\tan \theta_p$  bizga  $\theta_p = 53.1^\circ$  ni beradi. (b) Shnell qonuni orqali

$$\sin \theta_r = \sin \theta_p / n = \sin 53.1^\circ / 1.33 = 0.601$$

Bizga  $\theta_r = 36.9^\circ$  ni beradi.

1. Ikkita polarizator(qutblagich)lar o'zaro  $72^\circ$  da joylashgan. Qutblanmagan yorug'lik ularga tushgan, yorug'lik kuchining qanday qismi uzatiladi?
2. Havoshisha ( $n=1.56$ ) yuza uchun Bryuster burchagini toping.
3. Qutblanmagan yorug'lik kuchini (a)  $1/3$  (b)  $1/10$  martaga kamaytirish uchun 2 ta Polaroidlarning o'qlarini qanday burchakda joylashtirish kerak.
4. Ikkita polarizator(qutblagich)lar o'zaro  $42^\circ$  da joylashgan. Har bir qutblagichga  $21^\circ$  burchak ostida qutblangan yorug'lik ularning har biridan o'tadi. O'tgan intensivlik necha %?

5. 3 ta mukammal qutblovchi yuzalar paralel ravishda o'zaro 2 smdan qilib joylashtirildi. Ikkinchi yuzaning optik o'qi birinчисiga nisbatan  $30^{\circ}$  da joylashgan. Uchinchisining birinчисiga nisbatan  $90^{\circ}$  burchakda joylashgan. Qutblanmagan yorug'lik birinчисiga kelib uriladi. Yorug'likning necha foizi 3-qutblagichdan o'tadi.
6. O'g'irlangan deb gumon qilinayotgan olmos yog'ga botirildi va qutblanmagan yorug'lik tushirildi. Singan yorug'lik  $62^{\circ}$  burchakda butunlay qutblandi. Yog'ning yorug'lik sindirish ko'rsatgichi 1.43. Aytinch u haqiqatdan ham olmosmi.
7. O'tayotgan qutblanmagan yorug'lik maksimum bo'lishi uchun 2 ta polaroid bir chiziqda joylashtirildi. O'tayotgan yorug'lik kuchi yarim marta kamayishi uchun polaroidlar qanday burchakka o'zgartirilishi kerak?
- 8.. Suvga botirilgan olmosning Bryuster burchagini toping.
9. Ikki material chegarasida to'la ichki qaytish kritik burchagi  $58^{\circ}$ . Bu chegarada Bryuster burchagi nimaga teng? Ikkita javobni keltiring (har bir material uchun bittadan).
10. Suv sirti ostidan kelayotgan nur qaytishi uchun Bryuster burchagi nimaga teng? To'la ichki qaytish burchagi va suv sirti usti uchun Bryuster burchagi bilan solishtiring.
11.  $I_0$  yorug'lik intensivligiga ega bo'lgan qutblanmagan yorug'lik 6 ta ketma ket joylashgan qutblovchi yuzalardan o'tkazildi. Qutblovchi yuzalarning har biri o'zidan oldingisiga nisbatan  $35^{\circ}$  burchakda joylashgan. Uzatilgan nurning yorug'lik kuchini toping.
12. Ikkita qutblagich bir biriga  $48^{\circ}$  da joylashtirilgan va ularga yassi qutblangan yorug'lik tushmoqda. Agar tushgan nurning faqat 35% ulardan o'tgan bo'lsa, tushgan nurning dastlabki qutblanish yo'nalishi qanday bo'lgan?

### 5.6 - §. Yorug'likning kvant xossalari

**Masala 1.** Nurlanish bilan sovutish. Sportchi echingan xolda kiyim almashtirish xonasida o'tribdi u erda devor  $15^{\circ}\text{C}$  haroratga ega. Bolaning qancha miqdorda nurlanish hisobiga issiqlik yo'qotishini hisoblang, agar  $\epsilon=0.70$  va tana harorati  $34^{\circ}\text{C}$  bo'lsa. Maydoni  $1.5 \text{ m}^2$  deb oling.

Hisoblash: Bizda quyidagi formuladan foydalanib hisoblaymiz.

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) = (0,70) \cdot (5,67 \times 10^{-8} \times 1,5 \times (307^4 - 288^4)) = 120 \text{ W}$$

**Masala 2.** Ikkita chay krujkasi - keramikli krujka issiqlik o'tkazuvchanligi  $\epsilon=0.75$  va yaltiroq krujka issiqlik o'tkazuvchanligi  $\epsilon=0.10$  bo'lib ularda  $95^{\circ}\text{C}$  haroratli 0.75 l choy bor.

a) Har bir idishda vaqt birligi ichida yo'qotgan issiqlikni baholang?

b) Har bir idishdan 30 minut vaqtdan keyin qancha miqdorda issiqlik tushishini baholang?



Issiqlik yo‘qotish nurlanish hisobiga deb hisoblab, atrof muhitning haroratini  $20^{\circ}\text{C}$  deb oling?

**Yechish.** A) 0.75 l li chay krujkasi qirradi 10 sm bo‘lgan kubga yaqin deb olib uning sirt yuzasi asosini hisoblash mumkin.  $5 \times (0.1 \text{ m})^2 = 5 \times 10^{-2} \text{ m}^2$  ga teng bo‘ladi. Vaqit birligi ichida yo‘qotgan energiya taxminan quyidagiga teng bo‘ladi.

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) = (5,67 \times 10^{-8} \times 5(368^4 - 293^4)) \approx 30 \text{ W}$$

Yoki 20 vt ga yaqini keramikli ( $\epsilon=0.70$ ) vafaqatgina 3 vt yaltiroq krujkaga ( $\epsilon=0.70$ ) ga to‘g‘ri keladi.

v) Boshlang‘ich va oxirgi haroratni har bir krujkada tushishini baholash uchun solishtirma issiqlik sig‘imi tushinchasini qo‘llaymiz va (0.70) krujkalarning o‘zining hissasini inobatga olamiz. (0.75 l suvning massasi 0.75 kg.  $1.0 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  va  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ). 14.2 formula va 14-1 jadvalni inobatga olib quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{Q}{t} = mc \frac{\Delta T}{t}; \frac{\Delta T}{t} = \frac{Q/t}{mc} \approx \frac{30}{0,75 \times 4186} \approx 0,01^{\circ}\text{C/s}$$

Bundan 30 min (yoki 1800 s) dan keyin keramik idishda harorat  $12^{\circ}\text{C}$  ga, yaltiroq idishdan  $2^{\circ}\text{C}$  ga tushishini topamiz. Yaltiroq idish keramik idishga qaraganda afzalliroqdir. Real sharoitda konveksiya va issiqlik o‘tkazuvchanlik nurlanishga qaraganda katta rol o‘ynaydi.

1. Boshlang‘ich temperaturasi  $12^{\circ}\text{C}$  bo‘lgan 3 kg suvni issiqligini 8200 J bo‘lish uchun temperaturasini qanchaga ko‘tarish kerak?
2. 34 kg suvni temperaturasini  $15^{\circ}\text{C}$  dan  $95^{\circ}\text{C}$  gacha ko‘tarish uchun qancha issiqlik miqdori kerak?
3. G‘avvos okeanga sho‘ng‘iganda uning tanasi va kiyimi orasida, 0,5 mm qalinlikda suv qatlamani hosil bo‘ladi. Faraz qilamiz, g‘ovvosni tanasini qoplagan g‘affos kiyimi umumiy maydoni  $1 \text{ m}^2$  va dengiz suvining harorati  $10^{\circ}\text{C}$  ga teng. G‘ovvosni tanasini  $35^{\circ}\text{C}$  ga isitish uchun qancha energiya (1 konfet - 300 kkal) kerak bo‘ladi?
4. O‘rtacha aktiv odam bir kunda 2500 kkal (*energiya ketkazadi*) ist’emol qiladi (a) bu joullar da qancha? (b) bu kVt soatda qancha?
5. Britaniya issiqlik birligi Britaniya birliklar sistemasida issiqlik miqdori birligidir. 1 Btu 1 funt suvni  $1^{\circ}\text{F}$  ga ko‘tarish uchun kerak bo‘ladigan issiqlik miqdori.  $1 \text{ Btu} = 0,252 \text{ Kkal} = 1055 \text{ J}$  ekanligini ko‘rsating.
6. Massasi 1300 kg bo‘lgan avtomobil tormoz berib tezligini 90 km/s dan nolgacha sekinlashtirganda kancha miqdor issiqlik (kilokaloriyada) hosil qiladi?
7. Suv isitkichi 7500 kal/s issiqlik ishlab chiqaradi. Bir soat ichida  $12^{\circ}\text{C}$  dan  $42^{\circ}\text{C}$  gacha qancha suvni isitish mumkin?

8. Uncha katta bo‘lmagan quvvati 375 Vt bo‘lgan isitgich. 250 ml suvni 15 °C dan 75 °C gacha isitish uchun qancha vaqt ketishini xisoblang.
9. Jinoyat joyida sud tergovchisi eshikda qolib ketgan 62 g qo‘rg‘oshin o‘q urilganda to‘liq eriganligini qayd qiladi. Agar qo‘ning boshlang‘ich xarorati xona xaroratidek ( 20<sup>0</sup> C) bo‘lsa , pistolet o‘qining tezligi qancha?
10. Massasi 64 kg bo‘lgan figurist 7,5 m/s tezlik bilan muzda xarakatlanib va to‘xtaydi. Agar muz 0° C va ishqalanish tufayli paydo bo‘lgan 50% issiqlikni muz yutsa, u xolda qancha miqdordagi muz erigan?
11. Massasi 55 g bo‘lgan o‘q 250 m/s tezlikda xarakatlanib 0<sup>0</sup> C muz blokiga kiradi va tinch xolatga keladi. O‘qning xarorati o‘zgarmas bo‘lgan shartda, to‘qnashish natijasida qancha muz eriydi?
12. Diametri 2 sm uzunligi 56 sm bo‘lgan mis sterjenini bir uchini 460<sup>0</sup> C xaroratda ushlab turiladi ikkinchi uchini esa 22<sup>0</sup> C suvga solingan. Sterjen bo‘ylab issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsientini xisoblang.
13. (a) Radiusi 18 sm bo‘lgan volfram shardan 20<sup>0</sup> C xaroratda, qanday quvvat (energiya) nurlanadi? (nurlanish qobiliyati  $e = 0,35$ ) (b) agar shar devorlari haroratini – 5<sup>0</sup> C da ushlab turadigan xonada bo‘lsa shardan chiqqan natijaviy issiqlik oqimi nimaga teng bo‘ladi?
14. Qalinligi 1 sm , yuzasini maydoni 1 m<sup>2</sup> bo‘lgan 0<sup>0</sup> C muz parchasini Quyoshda eritish uchun qancha vaqt kerak bo‘ladi? Quyosh nurlari vertikal bo‘yicha 35<sup>0</sup> burchak ostida tushadi va muzning nurlanish qobiliyati 0,050 teng.
15. Terining issiqlik o‘tkazuvchanligi. Agar xaroratlar farqi 0,50<sup>0</sup> C bo‘lsa, issiqlik o‘tkazuvchanlik xisobiga teri osti kapillyaridan teri yuzasiga issiqlik oqimi qancha masofoga ko‘chadi? Teri yuzasining maydoni 1,5 m<sup>2</sup> va 150 Vt issiqlik oqimi ajraladi deb xisoblang.
16. Devorining qalinligi 14 sm va xamma tomonlari 4 m bo‘lgan ikkita xona . bir xonadagi 100 Vt li lampochkalar xisobiga xona xarorati 30<sup>0</sup> S ,baqasida esa 10<sup>0</sup> C . Temperatura farqini ushlab turish uchun 100Vt lampochkalardan qancha kerak?
17. Elektr lampochkaning quvvati 100 Vt bo‘lib qalinligi 0,5 mm va radiusi 3 sm bo‘lgan kolbadan 95 Vt issiqlik chiqazadi. SHisha lampochkaning ichki va tashqi yuzasidagi temperaturalar farqi nimaga teng?
18. Devorning qalinligi 1,5 sm va o‘lchamlari 25 sm x 35 sm x 55 sm bo‘lgan mustaxkam yopilgan penopolistirool yashikka solingan 0<sup>0</sup> C xaroratdagi 8,2 kg muz qancha vaqtda erib ketadi? Faraz qilamiz ,yashikdan tashqaridagi xarorat 34<sup>0</sup> C teng va penopolistiroolning issiqlik o‘tkazuvchanligi xavonikidan ikki barobar katta.

### 5.7 - §. Fotoeffekt hodisasi va uning qonunlari

- Elektronning metallan chiqish ishi 2.3eV bo‘lsa yorug‘lik eng katta to‘lqin uzunligini aniqlang.
- Bariy uchun chiqish ishi 2.48eV. Metall sirti to‘lqin uzunligi 480nm bo‘lgan yorug‘lik bilan nurlantirilgan bo‘lsa uchib chiqqan elektronlarning



maksimal kinetik energiyasini hisoblang. Elektronning tezligi qanchaga teng bo'ladi?

3. To'lqin uzunligi 480nm bo'lgan ultrabinafsha nur metall sirtiga tushmoqda. Bunda elektronlarning maksimal kinetik energiyasi 0.85eV. Chiqish ishi nimaga teng?

4. Energiya  $E = 1.24 \cdot 10^{-6} / \lambda$  formula yordamida hisoblanishini isbotlang.

5. Intensivligi  $1300 \frac{W}{m^2}$ , to'lqin uzunligi 550nm bo'lgan Quyosh nurlari Yer sirtiga tik tushmoqda.  $1sm^2 / s$  ga nechta foton to'g'ri keladi?

6. Metall tarkibidagi elektron nurlanishi natijasida to'lqin uzunligi 550nm bo'lgan yorug'lik nurladi. Agar metall sirti 480nm, 280nm bo'lgan nurlar bilan yoritilgan bo'lsa elektronlarning maksimal kinetik energiyasini toping.

7. Quvvati 100Vt bo'lgan lampa energiyasining 3% ini yorug'lik nuri ko'rinishida tarqatadi. (550nm). Diametri 4mm jism lampadan 10km uzoqlikda bo'lsa unga bir sekunda necha foton kelib tushadi?

8. Metall sirtiga 230nm to'lqin uzunligidagi nur tushishi natijasida kuchlanish noldan 1.64V gacha oshdi. Chiqish ishi nimaga teng?

9. Rentgen trubkasida elektronning tormozlanishi natijasida tentgen nuri hosil bo'ladi, rentgen nuri to'lqin uzunligi  $\lambda_0 = \frac{hc}{eV}$  formula orqali hisoblanishini isbotlang.

10.  $E_{\max} = e\Delta\varphi_0$  formulani isbotlang. Agar  $W_e$  - emitter uchun chiqish ishi,  $W_k$  - kollektor uchun chiqish ishi bo'lsa,  $E_{\max} = e\Delta\varphi_0 - (W_e - W_k)$  formula o'rinli ekanini isbotlang.

11. Kompton effektiga muvofiq 0.1nm tolqin uzunligidagi foton erkin elektronga to'qnashib teskari yo'nalishda qaytdi. Energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq qaytgan nur to'lqin uzunligi va elektronning kinetik energiyasini aniqlang.

12. Energiya va impulsning saqlanish qonunidan qaytgan nur uchun Kompton effektiga muvofiq to'lqin uzunligi  $\lambda'$  quyidagi formula orqali hisoblanishini isbotlang.

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\phi)$$

## FIZIK KATTALIKLARNING JADVALLARI

### *1. Astronomik kattaliklar*

| Kosmik jism   | O'rtacha radius, $m$ | Massasi, $kg$        | O'rtacha zichligi, $10^3 kg/m^3$ | O'z o'qi atrofida aylanish davri, sutka |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|
| <b>Quyosh</b> | $6,95 \cdot 10^8$    | $1,97 \cdot 10^{30}$ | 1,41                             | <b>25,4</b>                             |
| <b>Yer</b>    | $6,37 \cdot 10^6$    | $5,96 \cdot 10^{24}$ | 5,52                             | <b>1,00</b>                             |
| <b>Oy</b>     | $1,74 \cdot 10^6$    | $7,30 \cdot 10^{22}$ | <b>3,30</b>                      | <b>27,3</b>                             |

| Quyosh sistemasi sayyoralari | Quyoshdan o'rtacha masofasi $10^6 km$ | Quyosh atrofida aylanish davri (yil hisobida) |
|------------------------------|---------------------------------------|---|
| <b>Merkuriy</b>              | 57,87                                 | <b>0,241</b>                                  |
| <b>Venera</b>                | 108,14                                | <b>0,615</b>                                  |
| <b>Yer</b>                   | 149,50                                | <b>1,000</b>                                  |
| <b>Mars</b>                  | 227,79                                | <b>1,881</b>                                  |
| <b>Yupiter</b>               | 777,8                                 | <b>11,862</b>                                 |
| <b>Saturn</b>                | 1426,1                                | <b>29,458</b>                                 |
| <b>Uran</b>                  | 2867,7                                | <b>84,013</b>                                 |
| <b>Neptun</b>                | 4494                                  | <b>164,79</b>                                 |
| <b>Pluton</b>                | <b>9508</b>                           | <b>248,43</b>                                 |

## 2. Qattiq jism va suyuqliklarning zichliklari

| Qattiq modda       | $\rho \cdot 10^3$<br><i>kg/m<sup>3</sup></i> | Suyuqlik | $\rho \cdot 10^3$<br><i>kg/m<sup>3</sup></i> | Gaz (normal<br>sharoitlarda) | $\rho \cdot 10^3$<br><i>kg/m<sup>3</sup></i> |
|--------------------|--|----------|--|------------------------------|--|
| <b>Olmos</b>       | 3,5  | Aseton   | 0,79   | Azot                         | <b>1,25</b>                                  |
| <b>Alyuminiy</b>   | 2,7  | Suv      | 1,00   | Argon                        | <b>1,78</b>                                  |
| <b>Temir</b>       | 7,8  | Gliserin | 1,26   | Vodorod                      | <b>0,09</b>                                  |
| <b>Oltin</b>       | 19,3   | Moy      | 0,90   | Havo                         | <b>1,29</b>                                  |
| <b>Muz</b>         | 0,9  | Kerosin  | 0,80   | Kislorod                     | <b>1,43</b>                                  |
| <b>Mis</b>         | 8,9  | Simob    | 13,6   | Geliy                        | <b>0,18</b>                                  |
| <b>Nikel</b>       | 8,9  | Spirt    | 0,8  | Karbonat<br>angidrid         | <b>1,98</b>                                  |
| <b>Qalay</b>       | 7,4  | Efir     | 0,7  |                              |  |
| <b>Qo'rg'oshin</b> | 11,3   |          |  |                              |  |
| <b>Kumush</b>      | 10,5   |          |  |                              |  |
| <b>Po'lat</b>      | 7,8  |          |  |                              |  |
| <b>Shisha</b>      | 2,5  |          |  |                              |  |
| <b>Rux</b>         | 7,0  |          |  |                              |  |
| <b>Cho'yan</b>     | 7,8  |          |  |                              |  |
| <b>Osh tuzi</b>    | 2,2  |          |  |                              |  |
| <b>Marganes</b>    | 7,4  |          |  |                              |  |
| <b>Volfram</b>     | 19,3   |          |  |                              |  |
| <b>Platina</b>     | 21,4   |          |  |                              |  |
| <b>Uran</b>        | <b>18,7</b>                                  |          |  |                              |  |

## 3. Jismlarning issiqlikdan kengayish koeffisienti

| Qattiq jism      | Chiziqli kengayish<br>koeffisienti<br>$\alpha \cdot 10^{-5}, K^{-1}$ | Suyuqlik | Hajmiy kengayish<br>koeffisienti<br>$\beta \cdot 10^{-3}, K^{-3}$ |
|------------------|--|----------|---|
| <b>Alyuminiy</b> | 2,4  | Gliserin | <b>0,5</b>  |
| <b>Temir</b>     | 1,2  | Kerosin  | <b>1,0</b>  |
| <b>Kvars</b>     | 0,04   | Simob    | <b>0,18</b>   |
| <b>Mis</b>       | 1,7  | Spirt    | <b>1,1</b>  |
| <b>Po'lat</b>    | 1,1  |          |   |
| <b>Shisha</b>    | 0,9  |          |   |
| <b>Rux</b>       | <b>2,9</b>   |          |   |

#### 4. Elastiklik moduli

| Material    | $E$ , GPa |
|-------------|-----------|
| Alyuminiy   | 70        |
| Temir       | 200       |
| Mis         | 130       |
| Qo'rg'oshin | 16        |
| Po'lat      | 210       |
| Shisha      | 60        |

#### 5. Moddaning solishtirma issiqlik sig'imi

| Modda     | $c \cdot 10^3$ J/(kg · K) | Modda          | $c \cdot 10^3$ J/(kg · K) |
|-----------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| Alyuminiy | 0,90                      | Qo'rg'oshin    | 0,13                      |
| Suv       | 4,019                     | Kumush         | 0,23                      |
| Temir     | 0,46                      | Sulfat kislota | 1,59                      |
| Kerosin   | 2,14                      | Spirt          | 2,43                      |
| Muz       | 2,1                       | Po'lat         | 0,46                      |
| Mis       | 0,38                      | Shisha         | 0,83                      |

#### 6. Dielektrik kirituvchanligi

| Modda      | $\varepsilon$ | Modda      | $\varepsilon$ |
|------------|---------------|------------|---------------|
| Suv        | 81            | Parafin    | 2,0           |
| Mum        | 3,0           | Pleksiglas | 3,5           |
| Getinaks   | 5,0           | Slyuda     | 7,0           |
| Kvars      | 4,5           | Shisha     | 7,0           |
| Kerosin    | 2,0           | Chinni     | 6,0           |
| Moy (yog') | 5,0           | Ebonit     | 3,0           |

#### 7. O'tkazgichlarning solishtirma qarshiligi

| Modda       | Solishtirma qarshiligi<br>$\rho \cdot 10^{-8}$ Om · m | Temperatura koeffisienti<br>$\alpha \cdot 10^{-3}, K^{-1}$ |
|-------------|---|--|
| Volfram     | 5,3   | 4,6  |
| Temir       | 8,7   | 6,2  |
| Konstantan  | 50  |  |
| Mis         | 1,7   | 4,3  |
| Nixrom      | 110   | 0,4  |
| Qo'rg'oshin | 21  | 4,2  |
| Po'lat      | 15  | 6,0  |
| Ko'mir      | 400   | 0,8  |

### 8. Asosiy fizik doimiylar

| Fizik doimiylar  | Belgilanishi                    | Son qiymati  |
|--|---------------------------------|--|
| <b>Yorug'likning vakumdagi tezligi</b>   | $c$                             | $2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   |
| <b>Gravitasion doimiy</b>  | $G$                             | $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$                                   |
| <b>Avagadro doimiysi</b>   | $N_A$                           | $6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  |
| <b>Universal (molyar) gaz doimiysi</b>   | $R$                             | $8,31 \text{ J / mol} \cdot \text{K}$  |
| <b>Bolsman doimiysi</b>  | $k$                             | $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  |
| <b>Faradey doimiysi</b>  | $F$                             | $9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$  |
| <b>Elementar zaryad</b>  | $e$                             | $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  |
| <b>Elektronning massasi</b>  | $m_e$                           | $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$   |
| <b>Protonning massasi</b>  | $m_p$                           | $1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  |
| <b>Neytronning massasi</b>   | $m_n$                           | $1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  |
| <b>Elektronning solishtirma zaryadi</b>  | $\frac{e}{m_e}$                 | $1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$  |
| <b>Massaning atom bir-ligi (<math>^{12}\text{C}</math> nuklid atomi massasining <math>\frac{1}{2}</math> ulushi)</b> | 1 m.a.b.                        | $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV} = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J}$             |
| <b>Elektr doimiysi</b>   | $\epsilon_0$                    | $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  |
| <b>Magnit doimiysi</b>   | $\mu_0$                         | $12,56 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  |
| <b>Plank doimiysi</b>  | $h$<br>$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ | $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ |

## ADABIYOTLAR RO'YXATI

### Asosiy adabiyotlar:

1. **Brown, Robert G.** *Introductory Physics I Elementary Mechanic.* USA, Durham, NC 27708-0305 : The Book of Lilith, 2013.
2. **Brown, Robert G.** *Introductory Physics I I Electricity, Magnetism and Optics* USA, Durham, NC 27708-0305 : The Book of Lilith, 2013.
3. **Giancoli, Douglas C.** *General Physics.* New York : Pearson Prentice Hall, 2014.

### Qo'shimcha adabiyotlar:

4. **И.В.Савельев.** *Общий курс физики. I-II-III часть.* Москва : Издательство «Наука», 1998.
5. **X.Isayev** (2011). *Fizika (Elektr va magnetizm).* Toshkent: "Ofset Print".
6. **X.Исаев** (2008). *Физика (Оптика, атом ва ядро физика курси).* Toshkent: "Diyora art Print" OOO

### Internet saytlari:

7. <http://www.ziyonet.uz>
8. <http://titli.uz>
9. [www.edu.uz](http://www.edu.uz)
10. [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org)
11. [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)
12. [www.uz.wikipedia.org](http://www.uz.wikipedia.org)

## MUNDARIJA

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I – BOB. ELEKTROSTATIKA. ELEKTR MAYDON.....</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1 - §. Elektrostatik maydon va uning xususiyatlari.....   | 3         |
| 1.2 - §. Nuqtaviy zaryad. Kulon qonuni.....   | 5         |
| 1.3 - §. Nuqtaviy zaryad uchun elektr maydon kuchlanganligi.....  | 6         |
| 1.4 - §. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi va uning elektrostatik maydonlarni hisoblashga tadbiqui..... | 7         |
| 1.5 - §. Elektrotstatik maydonda bajarilgan ish va elektrostatik maydonning potentsiali.....  | 14        |
| <b>II-BOB. ELEKTR SIG‘IM.....</b>   | <b>19</b> |
| 2.1 - §. Elektr sig‘im.....   | 19        |
| 2.2 - §. Kondensatorning elektr sig‘imi. Kondensatorlarni ulash.....  | 21        |
| 2.3 - §. Elektrostatik maydon energiyasi.....   | 23        |
| <b>III – BOB. O‘ZGARMAS ELEKTR TOKI. METALLARDA ELEKTR TOKI.....</b>  | <b>25</b> |
| 3.1 - §. Tok manbalari. Elektr batareyalari.....  | 25        |
| 3.2 - §. Elektr toki. Tok kuchi va uning zichligi.....  | 26        |
| 3.3 - §. Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish.....  | 28        |
| 3.4 - §. Tokning ishi va quvvati. Joul – Lens qonuni.....   | 30        |
| 3.5 - §. Zanjirning bir jinslimas qismi uchun Om qonuni.....  | 31        |
| 3.6 - §. Zanjirning tarmoqlangan qismi uchun Kirxgof qoidalari.....   | 33        |
| <b>IV – BOB. TOKNING MAGNIT MAYDONI.....</b>  | <b>35</b> |
| 4.1- §. Magnit maydoni. O‘zgarmas tokning magnit maydoni. Bio-Savar qonuni.....   | 35        |
| 4.2- §. Magnit maydonida joylashgan tokli o‘tkazgichga ta’sir etuchi kuch. Amper qonuni.....  | 40        |
| 4.3- §. Magnit maydonning harakatdagi zaryadlangan zarraga ta’siri. Lorens kuchi .....  | 43        |
| 4.4 - §. Ikki parallel toklarning o‘zaro ta’siri.....   | 47        |
| 4.5 - §. Magnit maydon energiyasi.....  | 49        |
| 4.6 - §. Moddalarning magnit xossalari. Magnetiklar.....  | 50        |
| 4.7 - §. Magnit singdiruvchanlik. Gisterezis.....   | 55        |
| 4.8 - §. Elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qoidasi.....  | 57        |
| <b>V – BOB. GEOMETRIK OPTIKA.....</b>   | <b>67</b> |
| 5.1 - §. Yorug‘likning asosiy qonunlari.....  | 67        |
| 5.2 - §. Yorug‘lik interfrensiyasi.....   | 76        |
| 5.3 - §. Yorug‘lik difraksiyasi.....  | 85        |
| 5.4 - §. Yorug‘lik difraksiyasi turlari va dispersiyasi.....  | 92        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.5 - §. Yorug'likning qutblanishi.....  | 101        |
| 5.6 - §. Yorug'likning kvant xossalari.....  | 110        |
| 5.7 - §. Fotoeffekt hodisasi va uning qonunlari.....   | 115        |
| <b>ELEKTROMAGNETIZM VA OPTIKA KURSIDAN LABORATORIYA ISHLARI.....</b>   | <b>122</b> |
| Xatoliklar haqida tushuncha.....   | 122        |
| Oddiy o'lchov asboblari.....   | 125        |
| Elektrostatik maydonni o'rganish.....  | 129        |
| Kondensatorlarning sig'imini aniqlash hamda ularni ketma-ket va parallel ulash formulalarini tekshirish..... | 133        |
| Uitston ko'prigi yordamida o'tkazgich materialining solishtirma qarshiligini aniqlash.....                   | 137        |
| O'zaro ketma – ket va parallel ulangan elektr iste'molchilarining qarshiliklarini aniqlash.....              | 139        |
| Elektr tokining asosiy qonunlari bo'yicha birlashgan ishlar.....   | 142        |
| Tarmoqlangan elektr zanjirini o'rganish.....   | 145        |
| Elektr energiyasi hisoblagichini tarmoqqa ulash va tekshirish.....   | 149        |
| Yer magnit maydon kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash.....                            | 153        |
| Termoelementni darajalash.....   | 157        |
| Linza sferik sirtining egrilik radiusini, fokus masofasini va sindirish ko'rsatkichini aniqlash.....         | 161        |
| Mikroskop yordamida shisha plastinkaningsindirish ko'rsatkichini aniqlash.....                               | 164        |
| Difraksion panjara yordamida yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlash.....                                  | 167        |
| Fotoelement yordamida yoritilganlik qonunlarni o'rganish.....  | 171        |
| Refraktometr yordamida suyuqlikning sindirish ko'rsatkichini aniqlash.....                                   | 174        |
| Suyuqlikning yorug'likni integral yutish koeffitsientini aniqlash.....                                       | 178        |
| Fotoelement yordamida fotoelektrik toklarni o'rganish.....   | 183        |
| <b>ELEKTROMAGNETIZM VA OPTIKA KURSIDAN MASALALAR TO'PLAMI.....</b>   | <b>186</b> |
| <b>I – BOB. ELEKTROSTATIKA. ELEKTR MAYDON.....</b>   | <b>186</b> |
| 1.1 - §. Elektrostatika.Kulon qonuni. Elektr maydon kuchlanganligi.....                                      | 195        |
| 1.2 - §. Elektrostatik maydon kuchlanganlik vektorining oqimi. Gauss teoremasi.....                          | 197        |
| <b>II-BOB. ELEKTR SIG'IM.....</b>  | <b>199</b> |
| 2.1 - §. Elektr sig'im. Kondensatorlar.....  | 204        |
| <b>III – BOB. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI. METALLARDA ELEKTR TOKI.....</b>   | <b>207</b> |
| 3.1 - §. O'zgarmas elektr toki.....  | 216        |
| <b>IV – BOB. TOKNING MAGNIT MAYDONI.....</b>   | <b>218</b> |
| 4.1 - §. Magnit maydon. Bio – Savar – Laplas qounini va turli shakldagi o'tkazgichlarga tadbiqu.....         | 226        |



|  |            |
|--|------------|
| 4.2 - §. Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuchi kuch. Amper qonuni.....    | 227        |
| 4.3 - §. Elektromagnit induksiya hodisasi. Lens qoidasi.....                                     | 228        |
| <b>V – BOB. GEOMETRIK VA TO'LQIN OPTIKASI.....</b>   | <b>231</b> |
| 5.1 - §. Yorug'likning asosiy qonunlari. Yoruglikning sinish qonunlari. To'la ichki qaytish..... | 237        |
| 5.2 - §. Yorug'lik interferensiyasi.....   | 239        |
| 5.3 - §. Yorug'lik difraksiyasi.....   | 239        |
| 5.4 - §. Yorug'lik difraksiyasi turlari va dispersiyasi.....                                     | 241        |
| 5.5 - §. Yorug'likning qutblanishi.....  | 242        |
| 5.6 - §. Yorug'likning kvant xossalari.....  | 243        |
| 5.7 - §. Fotoeffekt hodisasi va uning qonunlari.....   | 245        |
| Fizik kattaliklarning jadvallari .....   | 247        |
| Adabiyotlar ro'yxati.....  | 251        |