



# OPTIKA

## I B O B. OPTIKA ELEMENTLARI

**Optika** – fizikaning yorug‘likning nurlanish, yutilish va tarqalish qonunlarini o‘rganadigan bo‘limidir. Yorug‘lik elektromagnit to‘lqinlardan iborat bo‘lganligi sababli, optika elektromagnit maydon nazariyasining, ya‘ni elektrodinamikaning bir qismi sifatida qaraladi. Yorug‘lik, radioto‘lqinlar va rentgen nurlari orasidagi, to‘lqin uzunligi  $4,0 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7}$  m bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlardan iborat. Odatda, optika *geometrik*, *fizik* va *fiziologik* optikalarga bo‘lib 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 obyektivlargacha 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.

### 1-§. Yorug‘lik haqidagi ta‘limotning rivojlanishi. Yorug‘likning elektromagnit nazariyasi haqida tushuncha

Mazmuni: optikaning dastlabki qonunlari; optikaning rivojlanish bosqichlari; yorug‘likning korpuskular tabiati; yorug‘likning to‘lqin tabiati; yorug‘likning elektromagnit tabiati.

**Optikaning dastlabki qonunlari.** Yorug‘likning ta‘siri haqidagi ta‘limot juda qadim zamonlarda vujudga kelgan. Optika so‘zining lug‘aviy ma‘nosi – «ko‘rish idroklari haqidagi fan»ni anglatib, *optos* – ko‘zga ko‘rinadigan so‘zidan olingan.

Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuni eramizdan besh ming yil oldin ham ma‘lum bo‘lib, undan chiqadigan xulosalardan Qadimgi Misrdagi qurilish ishlarida foydalanilgan.

Pifagor, jismlarning ko‘rinishiga sabab — ularning o‘zlaridan zarrachalar chiqarishidir deb, hozirgi nazariyalarga juda yaqin bo‘lgan fikrlarni ham aytgan.

Geometrik optikaning ikkita asosiy qonunidan biri — yorug‘likning tushish va qaytish burchaklarining tengligi haqidagi qonun Platon maktabi vakillari tomonidan ta’riflangan. Yorug‘likning sinish qonuni esa bir necha asrlardan keyin kashf qilingan.

O‘n uchinchi asrda ko‘zoynak, 1590- yilda niderlandiyalik olim Z. Yansen tomonidan mikroskop, 1609- yilda esa italiyalik fizik G. Galiley tomonidan teleskop yasalgan.

**Optika rivojlanishining keyingi bosqichlari.** Optikaning keyingi rivojlanishi yorug‘lik difraksiyasi va interferensiyasi hodisalari bilan bog‘liq. Bu hodisalarni geometrik optika doirasida tushuntirishning iloji bo‘lmagani sababli, ingliz fizigi R. Guk va gollandiyalik olim X. Gyuygens yorug‘likning to‘lqin tabiati haqidagi nazariyani olg‘a surishgan. M. Faradey o‘z tajribalari natijalariga ko‘ra bu to‘lqinlar elektromagnit to‘lqinlarga aloqador, degan fikrga kelgan. J. Maksvell nazariy asosda, G. Gers esa tajribada elektromagnit to‘lqinlarning bo‘shliqda yorug‘lik tezligiga teng bo‘lgan tezlik bilan tarqalishini isbotlaganlar. Natijada, yorug‘lik elektromagnit to‘lqinlardan iborat, degan xulosaga kelishdan boshqa iloj qolmagan.

**Yorug‘likning korpuskular tabiati.** Yorug‘likning tabiati haqidagi fikrlar doimo olimlarning diqqat markazida bo‘lgan. Kundalik hayotimiz uchun shu qadar muhim ahamiyatga ega yorug‘likning nimaligini bilish barcha uchun qiziqarli hisoblangan. Xo‘sh, yorug‘lik o‘zi nima? Bu savolga birinchi bo‘lib aniq javob bergan kishi I. Nyuton hisoblanadi. U, *yorug‘lik — nurlanayotgan jism chiqaradigan va fazoda to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladigan korpuskulalar (zarrachalar) oqimidan iborat*, degan g‘oyani ilgari surgan. Bu g‘oya asosida yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘yicha tarqalish, sinish va qaytish qonunlari tushuntirib berilgan.

Ammo yorug‘lik interferensiyasi va difraksiyasini korpuskular nazariya asosida tushuntirishning mutlaqo iloji bo‘lmagan. Va aynan shuning uchun ham yorug‘likning to‘lqin nazariyasi haqidagi fikrlar paydo bo‘lgan.

**Yorug‘likning to‘lqin tabiati.** Bu tasavvurga binoan, yorug‘lik suvning yoki boshqa suyuqliklarning sirtida kuzatiladigan to‘lqin-

larga o'xshash to'lqinlardan iborat. Ammo u yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishi to'g'risidagi qonunni tushuntira olmagan. Shuning uchun ham uzoq vaqtlargacha yorug'likning korpuskular nazariyasi yorug'likning to'lqin nazariyasiga nisbatan ustun bo'lib kelgan.

1818- yilga kelib fransuz fizigi O. Frenel yorug'likni to'lqinlar oqimi sifatida tasavvur qilib, uning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini tushuntirib beradi. Shundan so'ng yorug'likning to'lqin nazariyasi o'z hukmronligini o'rnatdi. Xo'sh, yorug'lik o'zi nima? Biz bu savolga hali to'la javob bermadik va keyingi mavzularda yana unga qaytamiz.

Endi yorug'lik to'lqinlarining tabiatiga batafsilroq to'xtalamiz.

**Yorug'likning elektromagnit tabiati.** Bizga ma'lumki, Maksvell g'oyasiga muvofiq yorug'lik muhitda

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1.1)$$

tezlik bilan tarqaladigan elektromagnit to'lqinlardan iboratdir. Bu yerda  $c$  – yorug'likning bo'shliqdagi tezligi,  $\epsilon$  – muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $\mu$  – muhitning magnit kirituvchanligi.

Yorug'likda  $\vec{E}$  va  $\vec{B}$  vektorlar o'zaro perpendikular va ular yorug'likning tarqalish yo'nalishiga ham perpendikular yo'nalgan (I qism, 178- rasm). Ular bir paytda o'zlarining maksimal va minimal qiymatlariga erishadi va garmonik qonunlarga muvofiq o'zgaradi. *Yorug'likning to'lqin uzunligi deb, u bir davrda o'tadigan masofaga aytiladi, ya'ni*

$$\lambda = cT. \quad (1.2)$$

Yorug'likning to'lqin uzunligi chastotasi bilan quyidagicha bog'langan:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}. \quad (1.3)$$

Shunday qilib, elektromagnit to'lqinlar shkalasiga muvofiq, yorug'lik to'lqin uzunligi  $0,4 \mu\text{m}$  dan  $0,76 \mu\text{m}$  gacha bo'lgan elektromagnit to'lqinlardan iborat bo'lib, ham muhitda, ham vakuumda tarqalishi mumkin.



### **Sinov savollari**

1. Optika nimani o'rganadi?
2. Optika qanday bo'limlarga bo'linadi?
3. Geometrik optika nimani o'rganadi?
4. Fizik optika nimani o'rganadi?
5. Fiziologik optika nimani o'rganadi?
6. Optika so'zining lug'aviy ma'nosi

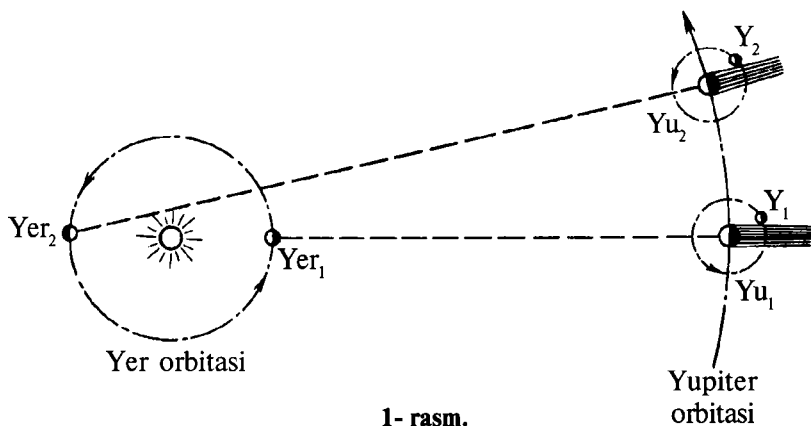
numani anglatadi? 7. Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni qachon kashf qilingan? 8. Pifagor jismlarning ko'rinishi haqida qanday fikrlar aytgan? 9. Yorug'likning qaytish qonuni qachon kashf qilingan? 10. Ko'zoynak qachon kashf qilingan? 11. Mikroskop va teleskoplar-chi? 12. Yorug'likning tabiati haqidagi I.Nyuton nazariyasini aytib bering. 13. Bu g'oya asosida qanday qonunlar tushuntirilgan? 14. Yorug'likning to'lqin tabiati haqidagi nazariyaning vujudga kelishiga sabab nima? 15. Yorug'likning to'lqin nazariyasi haqidagi fikrni kimlar olg'a surgan? 16. Yorug'likning elektromagnit to'lqinlardan iborat ekanligi haqidagi xulosa nimaga asoslangan? 17. Yorug'lik qanday elektromagnit to'lqinlardan iborat? 18. X.Gyuygens yorug'lik to'lqinlarini qanday tasavvur qilgan? 19. O.Frenel yorug'likni qanday tasavvur qilgan? 20. Yorug'likning o'zi nima?

## **2- §. Yorug'likning tarqalish tezligi**

**M a z m u n i :** yorug'likning tezligi cheksiz kattami? Yorug'likning tezligini aniqlashning K. Ryomer usuli; Maykelson tajribasi; yorug'lik tezligining qiymati.

**Yorug'likning tezligi cheksiz kattami?** I. Kepler va R. Dekart kabi olimlar yorug'likning tezligini cheksiz katta deb hisoblashgan va natijada klassik mexanikada yorug'likning tezligi cheksiz katta deb qabul qilingan. Xo'sh, amalda yorug'likning tezligi nimaga teng? Bu tezlikni o'lchash yo'lidagi birinchi urinishlar G.Galiley tomonidan amalga oshirilgan. Garchi bu tajriba aniq natijalarni ko'rsatmagan bo'lsa-da, yorug'likning tezligi chekli ekanligi haqidagi fikrning mustahkamlanishiga olib kelgan. Yorug'lik tezligining hozir qabul qilingan qiymatiga yaqin natijani aniqlash birinchi bo'lib daniyalik astronom K. Ryomerga nasib etgan.

**Yorug'lik tezligini aniqlashning Ryomer usuli.** 1675- yilda Yupiter yo'ldoshining tutilishini kuzatayotgan K. Ryomer, yorug'lik tezligining chekli ekanligiga aniq ishonch hosil qilgan. Ryomer foydalangan holat 1- rasmda ko'rsatilgan. Yupiterdan Quyoshgacha bo'lgan masofa Yerdan Quyoshgacha bo'lgan masofadan qariyb 5 marta katta. Ryomer Yer va Yupiter bir-birlariga eng yaqin joylashganida ( $Yer_1$  va  $Yu_1$  holat) Yupiter yo'ldoshining ( $Y_1$ ) tutilishini kuzatgan. Shuningdek,  $Y_1$  yo'ldoshining tutilishini Yer va Yupiter bir-birlaridan eng uzoq masofada joylashganida ham ( $Yer_2$  va  $Yu_2$  holat) kuzatgan. Bu tutilish ma'lum vaqtga kechikib ro'y bergan. Bunga sabab, yorug'lik



1- rasm.

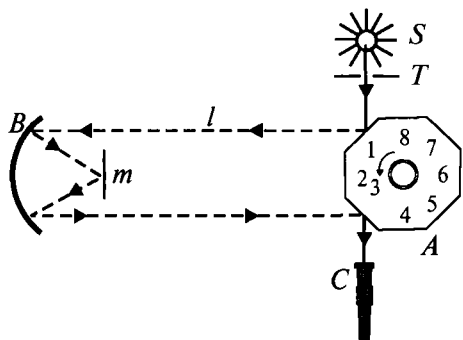
tezligining chekli va ikkinchi holatda Yer orbitasining diametriga teng bo'lgan qo'shimcha masofani o'tishidir. Ikkinchi holatda Yupiter yo'ldoshi tutilishining kechikish vaqti  $\Delta t$  ni aniqlagan K. Ryomer Yer orbitasining diametri ( $D$ ) yordamida yorug'likning tezligini

$$c = \frac{D}{\Delta t}$$

ifoda yordamida hisoblagan.

O'sha davrda Yer orbitasi diametrining kattaligi uncha aniq hisoblanmaganligi, vaqtni o'lchashda ma'lum xatoliklarga yo'l qo'yilganligi sababli K. Ryomer yorug'lik tezligining aniq qiymatini topolmagan. Yorug'lik tezligini katta aniqlikda hisoblash 1849- yilda fransuz fizigi I. Fizoga nasib etgan. I. Fizo yorug'likning bo'shliqdagi tezligi uchun 300 000 km/s ga yaqin qiymatni topgan. Keyinchalik Fizo foydalangan usul amerikalik fizik A. Maykelson (1852–1931) tomonidan takomillashtirilgan.

**A. Maykelson tajribasi.** 2- rasmda Maykelson tajribasining sxemasi keltirilgan. Maykelson o'z tajribalarini, oralaridagi  $l$  masofa katta aniqlikda o'lchangan ikkita tog' cho'qqisi (Antonio va Vilson) yordamida o'tkazgan. Cho'qqilardan birida o'rnatilgan  $S$  manbadan chiqqan yorug'lik  $T$  tirqishdan o'tib, sakkiz qirrali  $A$  prizmagga tushadi. Prizmaning qirrasidan qaytgan yorug'lik ikkinchi cho'qqida o'rnatilgan  $B$  botiq ko'zguna yo'naladi. Undan qaytgan yorug'lik  $m$  ko'zgdan qaytib yana botiq linzaga tushadi va yana bir karra qaytib, sakkiz qirrali prizma  $A$  ning ikkinchi qirrasiga tushadi. Prizmadan qaytgan yorug'lik ko'rish trubasi  $C$  yordamida kuzatilgan.  $A$  prizma shunday tezlik bilan harakatlantirilganki, u  $1/8$  qismga aylanganda yorug'lik  $2l$  masofani



2- rasm.

o'tgan. Faqat shu holdagina ko'rish trubasida  $T$  tirqish uzluksiz ravishda ko'rinib turadi. Maykelson ham o'z tajribasida yorug'lik tezligi uchun 300 000 km/s ga yaqin qiymatni topgan. Bundan tushqari, Maykelson yorug'likning nafaqat vakuumdagi, balki boshqa muhitlardagi tezliklarini ham aniqlagan. U o'z tajribalari natijasidan quyidagi xulosalarni chiqargan: birinchidan, yorug'likning bo'shliqdagi tezligi uning boshqa muhitlardagi tezliklaridan katta; ikkinchidan, yorug'likning tezligi manbaning tezligiga bog'liq emas.

**Yorug'lik tezligining qiymati.** Demak, yorug'likning tezligi nimaga teng? Tabiatda yorug'likning vakuumdagi tezligidan kattaroq tezlik mavjud emas. U  $c = (299792,5 \pm 0,4)\text{km/s}$  ga teng. Shunday qilib, elektromagnit to'lqinlar vakuumda  $c \approx 300\,000\text{ km/s} \approx 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$  tezlik bilan tarqalar ekan.

### ? Sinov savollari

1. Yorug'likning tezligi cheksizmi? 2. Yorug'likning tezligini o'lchashga birinchi bo'lib kim uringan va bu tajribaning ahamiyati nimada? 3. Yorug'lik tezligini Ryomer usulida o'lchashning mohiyati nimada? 4. Nima uchun Yupiter yo'ldoshining tutilishi kechikib ro'y bergan? Buning sababini 1-rasmdagi sxema yordamida tushuntirib bering. 5. K.Ryomer yorug'likning tezligini qaysi ifoda yordamida aniqlagan? Natijaning uncha aniq bo'lmaganligiga sabab nima? 6. Yorug'lik tezligini katta aniqlikda topish kimga va qachon nasib etgan? 7. A.Maykelson tajribasining sxemasini tushuntirib bering. 8. Qachon ko'rish trubasidagi tirqishdan yorug'lik uzluksiz ravishda ko'rinib turadi? 9. Yorug'likning bo'shliqdagi tezligi uning boshqa muhitlardagi tezligidan farq qiladimi? 10. Yorug'likning tezligi manbaning tezligiga bog'liqmi? 11. Yorug'likning tezligi nimaga teng? 12. Tabiatda yorug'likning tezligidan katta tezlik mavjudmi?

### 3-§. Yorug'likning xarakteristikallari. Fotometriya elementlari

M a z m u n i: yorug'lik manbalari; nuqtaviy manba; fotometriya; yorug'likning xarakteristikallari.

**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. Olamning asosiy yorug'lik manbalari yulduzlar hisoblanib, ularda termoyadro energiyasining yorug'lik energiyasiga aylanishi ro'y beradi.

Sun'iy yorug'lik manbalariga cho'g'lanma elektr lampalari, gazli lampalar va h.k. misol bo'ladi. Ularda elektr energiyasining yorug'lik va issiqlik energiyasiga aylanishi ro'y beradi.

**Nuqtaviy manba.** Fizika kursining mexanika bo'limida – moddiy nuqta, elektr bo'limida – nuqtaviy zaryad tushunchalaridan foydalanilgani kabi, optikada ham nuqtaviy yorug'lik manbayi, ya'ni nuqtaviy manba tushunchasidan keng foydalaniladi. *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.*

Nuqtaviy manba ham ideallashtirilgan tushuncha bo'lib, yorug'lik nurini hamma yo'nalishda bir tekis yo'naltiradi, deb qabul qilingan.

**Fotometriya.** Optikaning yorug'likning energetik xarakteristikallarini o'rganuvchi bo'limi *fotometriya* deyiladi.

Fotometriyada quyidagi kattaliklardan foydalaniladi:

– energetik kattaliklar: bunda yorug'likning energetik xarakteristikallari uning qabul qiluvchiga ta'sirini e'tiborga olinmay qaraladi;

– yorug'lik xarakteristikallari: 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* (20- § ga qarang). Nuqtaviy manba-

ning istalgan yo'nalishdagi, ya'ni istalgan fazoviy burchak orqali nurlanish oqimi bir xil bo'ladi.

**Yorug'lik xarakteristikalari.** Shuni ta'kidlash lozimki, yorug'likning qabul qiluvchilarga, xususan, ko'zga ta'siri, *bir tomondan, yorug'lik energiyasiga bog'liq bo'lsa, ikkinchi tomondan, yorug'likning to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi.* Ko'z yashil nurlarni eng yaxshi sezadi. Shuning uchun nafaqat qabul qiluvchi qayd etadigan yorug'lik energiyasi miqdorini, balki uning ko'zga ta'sirini xarakterlovchi kattalikni ham bilish muhim ahamiyatga ega. Shu maqsadda *yorug'lik oqimi* tushunchasidan foydalaniladi. Binobarin, yorug'lik oqimi va demak, barcha yorug'lik xarakteristikalari ko'zda sezgi uyg'otuvchi elektromagnit nurlarga taalluqli kattaliklardir.

1.  $\Phi$  **yorug'lik oqimi** — vaqt birligida istalgan yuza orqali o'tadigan nurlanish energiyasi. 3- rasmda  $\Omega$  fazoviy burchak qurshisidagi  $S$  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. 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:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}. \quad (3.1)$$

Yorug'lik kuchining SI dagi birligi — k a n d e l a (cd) (lotincha *candela* — sham so'zidan olingan) asosiy yorug'lik birligi hisoblanadi.  $1 \text{ cd} = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$  *chastotali monoxromatik nurlanish chiqaradigan manbaning energetik kuchi*  $\frac{1}{683} \text{ W/sr}$  bo'lgan yo'nalishdagi yorug'lik kuchi.

Agar to'la fazoviy burchak  $4\pi \text{ sr}$  ga tengligini nazarda tutsak,

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \quad (3.2)$$

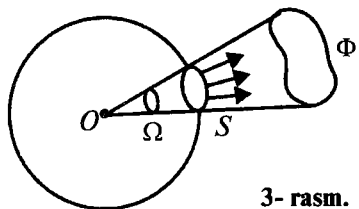
ni hosil qilamiz.

Agar (3.1) dan yorug'lik oqimini aniqlasak,

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad (3.3)$$

ni olamiz.

Topilgan ifoda yordamida yorug'lik oqimining SI dagi birligi



3- rasm.



lumenni (lm) aniqlash mumkin. *Lumen* – 1 sr *burchak bo'ylab* 1 cd *yorug'lik kuchiga teng nurlanish chiqaradigan nuqtaviy manbaning yorug'lik oqimi*.

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

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (3.4)$$

Yoritilganlikning birligi – luks (lx).

*Luks* – 1 lm *yorug'lik oqimining* 1 m<sup>2</sup> *yuzada tekis taqsimlanganda hosil qiladigan yoritilganligi*.

Yoritilganlik ham yorug'lik manbayining kuchiga, ham yorug'lik manbayi bilan yoritilayotgan sirt orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi. Aytaylik, *R* radiusli sfera markazida yorug'lik kuchi *I* bo'lgan nuqtaviy manba joylashgan bo'lsin. Agar bu holda barcha nurlar sferaning ichki radiusiga tik tushishini va sferaning sirti  $S = 4\pi R^2$  bo'lishini e'tiborga olsak, unda (3.2) ifodadan foydalanib yoritilganlik uchun quyidagi ifodani topish mumkin:

$$E = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2}. \quad (3.5)$$

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*.

Mehnat unumdorligini orttirish va ko'zning ko'rish qobiliyatini saqlab qolish maqsadida ish joylarining yoritilganligi uchun turli mezonlar belgilangan. Quyida ularning ba'zilarini keltiramiz.

*1-jadval*

Faoliyat turi	Yoritilganlik (luks)
O'qish uchun	30–50
Nozik ishlar uchun	100–200
Rasmga olishda	10 000 va undan ortiq
Kino ekranida	20–80
Havo bulut bo'lganda	1 000 va undan ortiq
Bulutsiz kunda tush vaqtida	100 000
Oy to'lgan tunda	0,2

## ? Sinov savollari

1. Yorug'lik manbai deb nimaga aytiladi? Uning qanday turlari mavjud? 2. Nuqtaviy manba deb nimaga aytiladi? 3. Fotometriya nimani o'rganadi va unda qanday kattaliklardan foydalaniladi? 4. Yorug'likning energetik kattaliklarini aytib bering. 5. Yorug'lik xarakteristikalarini aytib bering. 6. Nurlanish oqimi nima? 7. Yorug'likning ko'zga ta'siri nimalarga bog'liq? 8. Yorug'lik oqimi tushunchasi nima maqsadda kiritilgan? 9. Yorug'lik oqimi deb nimaga aytiladi? 10. Yorug'lik kuchi va uning birligini aytib bering. 11. Kandela qanday aniqlanadi va u qanday birlik? 12. Yorug'lik oqimining birligi nima? 13. Yoritilganlik va uning birligi-chi? 14. Yoritilganlik yorug'lik kuchiga va yoritilayotgan sirtgacha bo'lgan masofaga bog'liqmi? 15. Ish joylarining yoritilish mezonlari.

### 4-§. Yorug'likning qaytish va sinish qonunlari. To'la qaytish

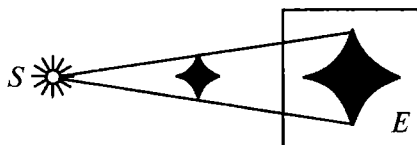
**Mazmuni:** yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni; qaytish qonuni; sinish qonuni; muhitning absolut sindirish ko'rsatkichi; to'la qaytish.

**Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni.** Optik bir jinsli muhitda yorug'lik to'g'ri chiziq bo'ylab tarqaladi. Nuqtaviy manba qarshisidagi jismlar soyalarining hosil bo'lishi bu qonunning to'g'riligini isbotlaydi (4- rasm).

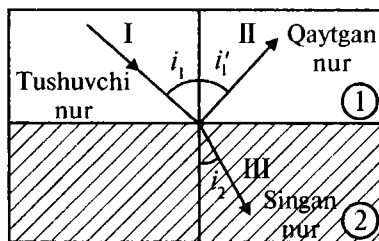
**Yorug'likning qaytish qonuni.** Agar yorug'lik ikkita muhitning chegarasiga tushsa, unda tushuvchi nur ikkita – qaytuvchi va sinuvchi nurlarga ajralib ketadi. 5- rasmda tushuvchi nur (I), qaytgan nur (II) va singan nur (III) deb belgilangan.

*Yorug'lik nuri deganda, yorug'lik energiyasi tarqaladigan yo'nalish tushuniladi.*

Yorug'lik nurining intensivligi esa vaqt birligida nur yo'nalishiga perpendikular bo'lgan birlik yuzadan oqib o'tadigan energiya bilan aniqlanadi.



4- rasm.



5- rasm.

*Tushuvchi va qaytgan nurlar hamda ikki muhit chegarasidagi, nurning tushish nuqtasiga o'tkazilgan perpendikular bir tekislikda yotadi. Qaytish burchagi  $i_1'$  tushish burchagi  $i_1$  ga teng:  $i_1' = i_1$ .*

**Yorug'likning sinish qonuni.** *Tushayotgan nur, singan nur hamda ikki muhit chegarasidagi nurning tushish nuqtasiga o'tkazilgan perpendikular bir tekislikda yotadi. Tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati shu ikki muhit uchun o'zgarmas kattalikdir:*

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}, \quad (4.1)$$

bu yerda  $n_{21}$  – ikkinchi muhitning birinchisiga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichi. Burchaklarni belgilashdagi indekslar yorug'lik nuri qaysi muhitda harakatlanayotganligini ko'rsatadi (5- rasimga q.).

Ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi ularning absolut sindirish ko'rsatkichlarining nisbatiga teng:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (4.2)$$

**Muhitning absolut sindirish ko'rsatkichi.** *Muhitning absolut 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*

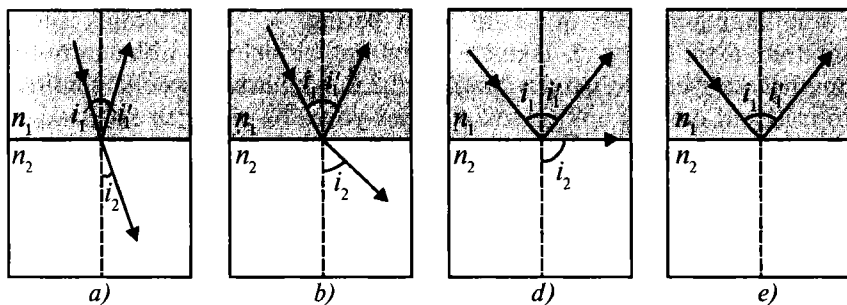
$$n = \frac{c}{v} \quad (4.3)$$

yoki (1.1) ifodadan foydalansak,

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} \quad (4.4)$$

ifodani hosil qilamiz. Bu yerda  $\varepsilon$  – muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $\mu$  – muhitning magnit kirituvchanligi. Endi (4.1) ifodadan foydalanib, (4.2) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2. \quad (4.5)$$



6- rasm.

Agar yorug'lik sindirish ko'rsatkichi katta bo'lgan muhitdan (optik zichroq muhitdan) sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lgan muhitga (optik zichligi kichikroq muhitga) o'tsa ( $n_1 > n_2$ ), u holda

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2} > 1 \quad (4.6)$$

bo'ladi. Bunda singan nur perpendikular chiziqdan ko'proq uzoqlashadi va sinish burchagi  $i_2$  tushish burchagi  $i_1$  dan kattaroq bo'ladi (6- rasm). Tushish burchagi ortishi bilan sinish burchagi ham kattalasha boradi (6- b, d rasmlar). Tushish burchagining biror ( $i_1 = i_{\text{cheg.}}$ ) qiymatida sinish burchagi  $i_2 = \frac{\pi}{2}$  ga teng bo'ladi. Tushish burchagining  $i_1 > i_{\text{cheg.}}$  qiymatidan boshlab barcha tushayotgan nurlar to'la qaytadi (6- e rasm).  $i_{\text{cheg.}}$  burchak esa *chegaraviy burchak* deyiladi.

**To'la qaytish.** Tushish burchagi o'zining chegaraviy qiymatiga yaqinlashgan sari sinuvchi nurning intensivligi kamayib, qaytuvchi nurning intensivligi ortib boradi (6- a, d rasmlar).  $i_1 = i_{\text{cheg.}}$  da esa sinuvchi nurning intensivligi nolga teng bo'ladi, tushuvchi va qaytuvchi nurning intensivligi tenglashadi (6- d rasm). Demak, *tushish burchagining  $i_{\text{cheg.}}$  dan  $\frac{\pi}{2}$  gacha bo'lgan oraliqdagi qiymatlarida yorug'lik nuri sinmay to'laligicha qaytadi va bunda tushuvchi va qaytuvchi nurlarning intensivliklari teng bo'ladi.* Bu hodisaga **to'la qaytish** deyiladi.



### Sinov savollari

1. Optik bir jinsli muhitda yorug'lik qanday tarqaladi? 2. Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini qanday isbotlash mumkin? 3.

Yorug'likning qaytish qonunini aytib bering. 4. Yorug'likning sinish qonunini aytib bering. 5. Ikkinchi muhitning birinчисiga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichi qanday aniqlanadi? 6. Muhitning absolut sindirish ko'rsatkichi qanday aniqlanadi? 7. Agar yorug'lik sindirish ko'rsatkichi katta bo'lgan muhitdan sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lgan muhitga o'tsa, qanday hol ro'y beradi? 8. To'la qaytish deb nimaga aytiladi? 9. Tushish burchagi chegaraviy burchakka teng bo'lganda o'tayotgan nurning intensivligi nimaga teng bo'ladi? 10. Chegaraviy burchakning qiymati ikkinchi muhitning absolut sindirish ko'rsatkichiga bog'liqmi?

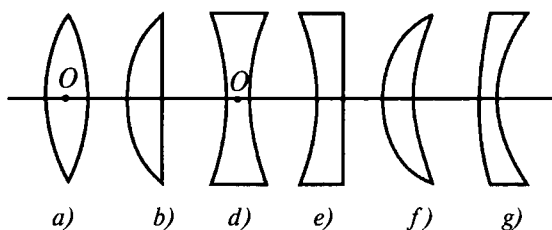
## 5-§. Optik asboblari va ularning ishlash prinsipi. Mikroskop. Teleskop

**M a z m u n i :** linzalar va ularning turlari: yupqa linza va uning bosh optik o'qi; fokus masofasi; linzaning optik kuchi; yupqa linza formulasi; linzalar yordamida tasvirlar hosil qilish; mikroskop; teleskop.

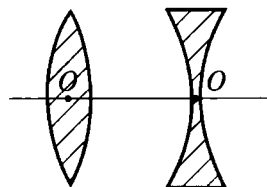
**Linzalar va ularning turlari.** *Linza deb, ikkita sirt bilan chegaralangan shaffof jismga aytiladi.* Linzalar odatda shisha, kvars, plastmassa va shunga o'xshash materiallardan yasalgan bo'ladi. Tashqi ko'rinishiga qarab linzalar: ikkiyoqlama qavariq (7- a rasm); yassi qavariq (7- b rasm); ikkiyoqlama botiq (7- d rasm); yassi-botiq (7- e rasm); qavariq-botiq (7- f rasm); botiq-qavariq (7- g rasm) linzalarga bo'linadi. Optik xususiyatlariga qarab ularni *yig'uvchi* va *sochuvchi* linzalarga ajratiladi.

**Yupqa linza va uning bosh optik o'qi.** Agar linzaning qalinligi, ya'ni uni chegaralab turgan sirtlar orasidagi masofa shu sirtlarning radiusidan juda kichik bo'lsa, bunday linza *yupqa linza* deyiladi.

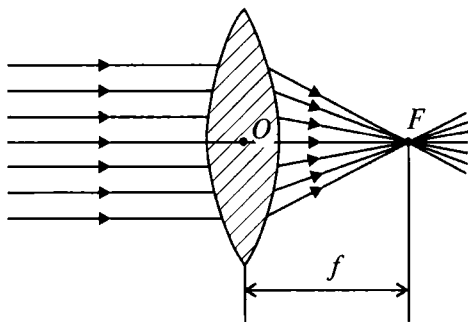
Linza sirtlarining egrilik markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziq *linzaning bosh optik o'qi* deyiladi (8- rasm). Har bir linza uchun *linzaning optik markazi* deb ataluvchi shunday *O* nuqta mavjudki, undan o'tadigan nur sinmaydi. Ikkiyoqlama qavariq va ikkiyoqlama



7- rasm.



8- rasm.



9- rasm.

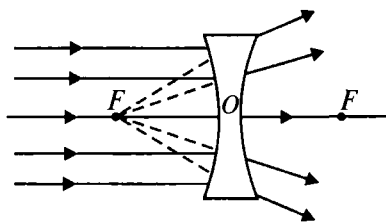
botiq linzalar uchun bu nuqta linzaning geometrik markazi bilan mos keladi.

**Fokus masofasi. Linzaning optik kuchi.** Endi ikkiyoqlama qavariq linzaga parallel nurlar dastasi tushayotgan holni ko'raylik (9- rasm). Linzadan o'tib singan nurlarning barchasi  $F$  nuqtada kesishishadi va bu nuqta *linzaning fokusi* deyiladi. Linzaning fokusi uning har ikkala tomonida, bir xil masofada joylashgan bo'ladi. Linzaning optik markazidan fokusigacha bo'lgan masofa ( $f = OF$ ) *linzaning fokus masofasi* deyiladi.

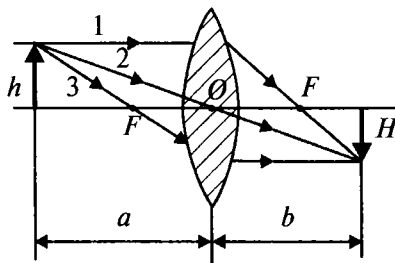
Fokus masofasiga teskari

$$D = \frac{1}{f} \quad (5.1)$$

kattalik *linzaning optik kuchi* deyiladi. Uning birligi – dioptriya (dptr). *1 dioptriya – fokus masofasi 1 m ga teng bo'lgan linzaning optik kuchi*:  $1 \text{ dptr} = \frac{1}{\text{m}}$ . Optik kuchi musbat bo'lgan linzalar (qavariq linzalar) – *yig'uvchi*, optik kuchi manfiy bo'lgan linzalar (botiq linzalar) – *sochuvchi linzalar* bo'ladi. Demak, yig'uvchi linzalardan farqli ravishda sochuvchi linzalarning fokuslari mavhum bo'ladi. Ularning fokusi linzaning bosh optik o'qiga parallel ravishda tushib, ularda singan nurlarni teskari tomonga davom ettirgan holda topilgan kesishish nuqtasi bilan mos keladi (10- rasm).



10- rasm.



11- rasm.

**Yupqa linza formulasi.** Yupqa linza formulasi – buyumdan linzagacha ( $a$ ), linzadan tasvirgacha bo‘lgan ( $b$ ) masofalar va linzaning fokus masofasi ( $f$ ) orasidagi munosabatni ifodalaydi (11- rasm).

Yig‘uvchi linza uchun bu formula quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (5.2)$$

Agar (5.1) ifodani e‘tiborga olsak, yupqa linza formulasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = D. \quad (5.3)$$

Sochuvchi linza uchun  $f$  va  $b$  masofa manfiy bo‘ladi va yupqa linza formulasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}. \quad (5.4)$$

**Linzalar yordamida tasvirlar hosil qilish.** Linzalar yordamida tasvir hosil qilish quyidagi uchta nur yordamida amalga oshiriladi:

1. Linzaning bosh optik o‘qiga parallel ravishda yo‘nalgan va linzada singandan so‘ng ikkinchi fokusidan o‘tuvchi nur (11- rasmda 1- nur).

2. Linzaning optik markazidan o‘tuvchi va o‘z yo‘nalishini o‘zgartirmay saqlovchi nur (11- rasmda 2- nur).

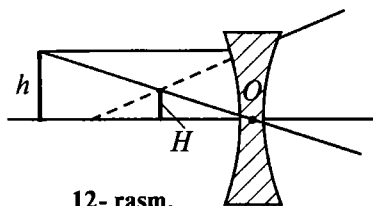
3. Linzaning birinchi fokusidan o‘tuvchi va linzada singandan so‘ng uning bosh optik o‘qiga parallel ravishda yo‘naluvchi nur (11- rasmda 3- nur).

12- rasmda  $h$  o‘lchamli jismning yig‘uvchi linza yordamida hosil qilingan tasviri  $H$  ko‘rsatilgan. Tasvirning chiziqli o‘lchami  $H$  ning, jismning chiziqli o‘lchami  $h$  ga nisbati *linzaning chiziqli kattalashtirishi*  $K$  deyiladi. Demak,

$$K = \frac{H}{h}. \quad (5.5)$$

Sochuvchi linzalar yordamida tasvirlar hosil qilish yuqorida ta'kidlangan nurlarni davom ettirish bilan hosil qilinadi (12- rasm).

Murakkab texnik muammolarni yechish maqsadida ba'zan bir vaqtning o'zida ham yig'uvchi, ham sochuvchi linzalar majmuasidan foydalaniladi.



12- rasm.

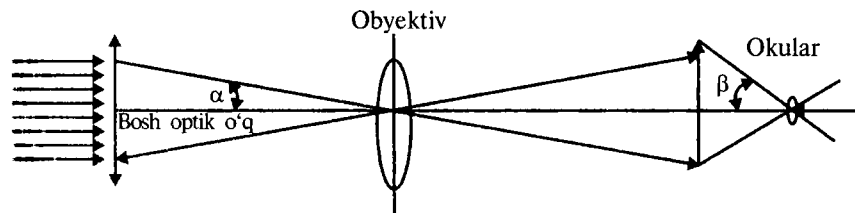
**Mikroskop.** Mikroskop ko'zga ko'rinmaydigan juda kichik zarralarni kattalashtirib ko'rsatish uchun foydalaniladigan optik asboddir. Ular mikrojismlarni 1500—2000 marta kattalashtirib ko'rstadi. Elektron mikroskoplar zarralarni millionlab marta kattalashtirib ko'rsatadi. Ular yordamida molekullarni ham kuzatish mumkin. Mikroskoplar asosan  $L$  uzunlikli truba va uning uchlarida joylashgan ikkita yig'uvchi linzalar, obyektiv hamda okularlardan tuzilgan bo'ladi. Kuzatilayotgan jism obyektivning fokus va ikki fokus masofalari orasida, fokusga yaqin joyda o'rnatiladi. Mikroskopning kattalashtirishi  $k$  har ikkala linzalar kattalashtirishlari ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$k = k_1 \cdot k_2 = \frac{d_0(L - F_{ob})}{F_{ob} \cdot F_{ok}},$$

bu yerda  $F_{ob}$  — obyektivning,  $F_{ok}$  — okularning fokus masofalari.

**Teleskop.** Teleskop osmon jismlarining ko'rinish burchaklarini kattalashtirish va ularning ravshanligini oshirib ko'rish uchun xizmat qiladigan optik asboddir. Uning yordamida Quyosh, Oy, planetalarning ko'z ilgamaydigan detallari va ko'rish mumkin bo'lmagan yulduzlar yo'ldoshlarini kuzatish mumkin.

Teleskopning asosiy elementi **obyektiv** deb ataladi va u qavariq linza yoki shaffof ko'zgdan iborat bo'ladi. Obyektiv kuzatilayotgan osmon jismidan kelayotgan nurlarni yig'ib, uning



13- rasm.



tasvirini yasaydi. Bu tasvir **okular** deb ataluvchi linza orqali kuzatiladi (13-rasm).

Kuzatilayotgan jism tasvirining ravshanlashishi teleskop obyektiv diametri  $D$  ning fokus masofasi  $F$  ga nisbati  $\frac{D}{F}$  ga

proporsional bo'ladi. Teleskopning kattalashtirishi esa obyektiv fokus masofasi  $F$  ning okularning fokus masofasi  $f$  ga nisbati

$\frac{F}{f} = \frac{\beta}{\alpha}$  bilan aniqlanadi.



### **Sinov savollari**

1. Linza deb qanday jismlarga aytiladi? 2. Linzalar qanday moddalardan yasaladi va nima uchun? 3. Tashqi ko'rinishiga qarab linzalar qanday turlarga bo'linadi? 4. Optik xususiyatlariga qarab-chi? 5. Yupqa linza deb qanday linzaga aytiladi? 6. Linzaning bosh optik o'qi deb nimaga aytiladi? 7. Linzaning optik markazi qanday nuqta? 8. Linzaning fokusi deb qanday nuqtaga aytiladi? 9. Linzaning nechta fokusi bor va ular qanday joylashgan? 10. Linzaning fokus masofasi nima? 11. Linzaning optik kuchi deb nimaga aytiladi va uning SI dagi birligi nima? 12. Qanday linzalarga yig'uvchi va qanday linzalarga sochuvchi linzalar deyiladi? 13. Sochuvchi linzalarning fokuslari qanday aniqlanadi? 14. Yupqa linza formulasi nimani ifodalaydi? 15. Yupqa linza formulasini yozing. 16. Sochuvchi linza uchun  $f$  va  $b$  lar qanday bo'ladi? 17. Linzalar yordamida tasvir hosil qilish qanday nurlar yordamida bajariladi? 18. Linzaning chiziqli kattalashtirishi deb nimaga aytiladi? 19. Sochuvchi linza yordamida tasvir qanday hosil qilinadi? 20. Bir vaqtning o'zida yig'uvchi va sochuvchi linzalardan foydalaniladimi?

## **6-§. Yorug'likning to'liq nazariyasi.** **Gyuygens prinsipi**

**M a z m u n i:** to'liq nazariyaning asoslari; Gyuygens prinsipi; to'liq nazariyaning kamchiliklari.

**To'liq nazariyaning asoslari.** 1- § da qayd etilganidek, yorug'likning interferensiyasi va difraksiyasini korpuskular nazariya asosida tushuntirishning iloji bo'lmagan. Aynan shu hodisalar haqida mulohaza yuritgan ingliz fizigi R. G u k (1635–1703) va gollandiyalik fizik X. G y u y g e n s (1629–1695) yorug'likning to'liq tabiatiga egaligi haqidagi fikrlarni olg'a surishgan. Ushbu nazariyaga ko'ra, yorug'lik to'liqlarining manbadan tarqalishi suvga tosh tashlaganda hosil bo'ladigan to'liqlarning tarqalishidek

tasavvur qilingan. To‘lqin nazariyaga muvofiq yorug‘lik to‘lqinlari elastik to‘lqinlardan iborat bo‘lib, *efir* deb ataluvchi maxsus muhitda tarqalishi lozim bo‘lgan. Ya’ni mexanik to‘lqinlar suv sirtida tarqalganidek, yorug‘lik to‘lqinlari efirda tarqaladi, deb hisoblangan.

**Gyuygens prinsipi.** Yorug‘likning tarqalishini tushuntirish maqsadida Gyuygens quyidagi prinsipni taklif qiladi (I qism, 24- § ga qarang). *Muhitning yorug‘lik to‘lqini yetib borgan har bir nuqtasi ikkilamchi to‘lqinlarning nuqtaviy manbayi bo‘ladi.*

Ikkilamchi to‘lqinlarga urinma sirt keyingi paytdagi to‘lqinlar sirti bo‘lib (14- rasm), tarqalayotgan to‘lqinlarning shu ondagi to‘lqin frontini ko‘rsatadi. Bir fazada tebranayotgan muhit nuqtalarining geometrik o‘rni *to‘lqin sirti*, qaralayotgan vaqtda tebranish yetib borgan nuqtalarning geometrik o‘rni esa *to‘lqin fronti* deyiladi. Frontning shakliga qarab, to‘lqinlar *yassi* va *sferik* to‘lqinlarga ajratiladi.

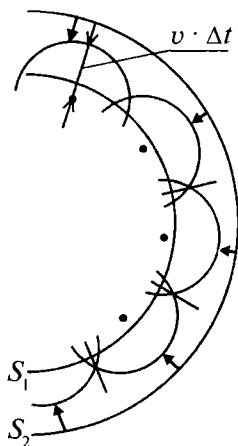
Bir jinsli, izotrop muhitda tarqalayotgan sferik to‘lqinning  $t$  vaqtdagi fronti  $S_1$  bo‘lsin. Gyuygens prinsipiga asosan,  $S_1$  da yotgan nuqtalarning har biri  $v \cdot \Delta t$  radiusli sferik to‘lqinlarning ikkilamchi nuqtaviy manbayiga aylanadi va  $t + \Delta t$  paytdagi to‘lqin fronti bu ikkilamchi to‘lqinlarga urinma sirtdan iborat bo‘ladi. Shu bilan birga, yorug‘lik to‘lqinlari elektromagnit to‘lqinlardan iboratligi ham bizga ma’lum.

### To‘lqin nazariyaning kamchiliklari.

Yorug‘likning to‘lqin nazariyasi juda ko‘p hodisalarni tushuntirib bera olgan bo‘lsa-da (bu hodisalar bilan keyingi mavzularda batafsil tanishamiz), ma’lum kamchiliklardan ham xoli emas edi. Bu kamchiliklarning eng asosiysi uning efir deb ataluvchi muhitda tarqalishiga oid mulohazadir. Efirni «sezish» maqsadida o‘tkazilgan ko‘plab tajribalar esa muvaffaqiyatsizlikka uchradi. Bundan tashqari, yorug‘likning to‘lqin nazariyasi biz keyingi bobda tanishadigan jismlarning nurlanishi, fotoeffekt, Kompton effekti kabi ba’zi hodisalarni tushuntirishga ham o‘zlik qildi.



X. GYUYGENS  
(1629–1695)



14- rasm.



1. Yorug'lik to'liqin nazariyasining yaratilishini nima taqozo etgan?
2. Bu nazariyaning mualliflari kimlar?
3. Yorug'lik to'liqlari qanday tasavvur qilingan?
4. Efir qanday muhit?
5. Gyuygens prinsipini aytib bering.
6. To'liqin sirti va to'liqin fronti nima?
7. Yorug'lik to'liqin nazariyasining kamchiliklari nimadan iborat?

## 7-§. Yorug'lik interferensiyasi va uning qo'llanilishi

**M a z m u n i:** yorug'lik to'liqlarining interferensiyasi; to'liqlarning kogerentligi; yorug'lik to'liqlarining superpozitsiyasi; maksimumlar va minimumlar shartlari; maksimumlar va minimumlar shartlarini yo'l farqi orqali ifodalash.

**Yorug'lik to'liqlarining interferensiyasi.** Biz hozirgacha yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish, qaytish va sinish qonunlari bilan tanishdik. Bu qonunlar yorug'likning har ikkala: ham korpuskular, ham to'liqin nazariyasi asosida tushuntirilishi mumkin. Endi esa yorug'likning faqat to'liqin nazariyasi tushuntira oladigan ba'zi hodisalar bilan tanishamiz. Ulardan biri yorug'lik interferensiyasidir.

*Yorug'lik interferensiyasi deb, ikki (yoki bir nechta) kogerent yorug'lik to'liqlarining qo'shilishi natijasida yorug'lik oqimining fazoda qayta taqsimlanishiga, ya'ni ba'zi joylarda maksimum va boshqa joylarda minimum intensivliklarning vujudga kelishiga aytiladi.*

Yuqorida ta'kidlanganidek, har qanday yorug'lik to'liqini emas, faqatgina kogerent yorug'lik to'liqlarigina interferensiyaga kirishishi mumkin. Xo'sh, kogerent yorug'lik to'liqlari deb qanday yorug'lik to'liqlariga aytiladi?

**To'liqlarning kogerentligi.** *Kogerent to'liqlar deb, chastotalari (to'liqin uzunliklari) teng va fazalarining farqi o'zgarmas bo'lgan to'liqlarga aytiladi.*

Bunday shartni monoxromatik to'liqlargina qanoatlantirishi mumkin. **Monoxromatik to'liqlar** – bir xil chastotali (to'liqin uzunlikli) va o'zgarmas amplitudali to'liqlar. Turli yorug'lik manbalaridan monoxromatik yorug'lik to'liqlari chiqmaganligi uchun ham ular interferensiyaga kirishishmaydi. Aynan shu sababli, ikkita elektr lampochkasi bilan yoritilayotgan stolning ustida interferensiyon manzara hosil bo'lmaydi. Turli manbalardan

chiqayotgan yorug'liklarning nima sababdan monoxromatik bo'la olmasligini tushunish uchun yorug'likning paydo bo'lish mexanizmini tahlil qilish kerak. Yorug'lik manba atomlarining g'alayonlangan holatdan asosiy holatga o'tishida chiqarilib, juda qisqa vaqt ( $10^{-8}$  s) davom etadi. Bunday nurlanish har bir manbadagi atomlarning o'zigagina xos bo'lganligi uchun ham, hech qachon ikkita manbadan chiqadigan yorug'lik monoxromatik bo'la olmaydi.

U holda interferensiya manzarasini hosil qilish uchun nima qilmoq kerak? Bu muammoni yechishning yagona yo'li bitta manbadan chiqayotgan yorug'lik nurini ikkiga ajratib (shunda ular monoxromatik bo'ladi), turli optik yo'llar o'tgandan so'ng ularni yana qo'shishdan iborat. Optik yo'llarning farqi o'zgarmas bo'lsa, fazalar farqi ham o'zgarmas bo'ladi. Bunga erishishning ko'plab usullari mavjud bo'lib, ular bilan quyida tanishasiz. Endi maksimum va minimum intensivliklar hosil bo'lish mexanizmi bilan tanishaylik.

**Yorug'lik to'lqinlarining superpozitsiyasi.** Boshqa barcha to'lqinlar kabi, yorug'lik to'lqinlari uchun ham superpozitsiya prinsipi o'rinalidir. Boshqacha aytganda, to'lqinlarning qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan to'lqinning elektr (magnit) maydon kuchlanganligi qo'shiluvchi to'lqinlar elektr (magnit) maydon kuchlanganliklarining shu nuqtadagi qiymatlarining vektorial yig'indisiga teng. Ikkita  $x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$  va  $x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$  kogerent yassi yorug'lik to'lqinlarining qo'shilishi natijasida fazoning ma'lum bir nuqtasida quyidagi amplitudali tebranish vujudga keladi:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (7.1)$$

Bu yerda  $(\varphi_2 - \varphi_1)$  – qo'shilayotgan to'lqinlarning fazalar farqi.

Agar to'lqin intensivligi amplitudaning kvadratiga proporsionalligini ( $I \sim A^2$ ) e'tiborga olsak, (7.1) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (7.2)$$

Ushbu ifoda ikkita kogerent yorug'lik to'lqinlarining qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan to'lqin intensivligi  $I$  ni dastlabki to'lqinlar intensivligi  $I_1$  va  $I_2$  lar orqali ifodalaydi.

**Maksimumlar va minimumlar shartlari.** (7.2) dan ko'rinib turibdiki, hosil bo'lgan to'lqin intensivligi (yorug'lik intensivligi)

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$  ning qiymatiga bog'liq. Trigonometriya kursidan ma'lumki, kosinusning qiymati +1 dan -1 gacha oraliqda o'zgaradi.

1)  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$ , ya'ni o'zining eng katta qiymatini qabul qilsin. U holda

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 0, 2\pi, 4\pi, \dots, 2k\pi, \quad (7.3)$$

bu yerda  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Ushbu holatda (7.1) ifoda

$$A = A_1 + A_2 \quad (7.4)$$

ko'rinishni olib, natijaviy tebranishning kuchayishi ro'y beradi. Agar  $A_2 = A_1$  bo'lsa,

$$A_{\max} = 2A_1, \quad (7.5)$$

yorug'lik amplitudasining ikki marta kuchayishi kuzatiladi.

2)  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$ , ya'ni o'zining eng kichik qiymatini qabul qilsin:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots, 2(k+1)\pi. \quad (7.6)$$

Bu yerda ham  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Bunda (7.1) ifoda

$$A = |A_1 - A_2| \quad (7.7)$$

ko'rinishni olib, natijaviy tebranishning susayishi ro'y beradi. Agar  $A_2 = A_1$  bo'lsa,

$$A_{\min} = 0, \quad (7.8)$$

yorug'lik amplitudasining to'la so'nishi kuzatiladi.

**Maksimumlar va minimumlar shartlarini yo'l farqi orqali ifodalash.** Odatda, natijaviy tebranish amplitudasining kuchayish (maksimum) va susayish (minimum) shartlarini fazalar farqi  $\varphi_2 - \varphi_1$  bilan emas, balki to'lqinlar o'tadigan yo'l farqi  $\delta$  bilan ifodalash qulay hisoblanadi. Agar elektromagnit to'lqin davri  $2\pi$  va bunda u to'lqin uzunligi  $\lambda$  ga teng yo'lni o'tishini nazarda tutsak,  $\varphi = \pi$  faza to'lqin  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng yo'lni o'tishiga mos kelishini ko'ramiz. Ushbu mulohaza asosida *maksimumlar sharti* (7.3) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\delta = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda. \quad (7.9)$$

*Agar qo'shiluvchi to'lqinlarning yo'l farqi yarim to'lqin uzunligining juft soniga yoki to'lqin uzunligining butun soniga teng bo'lsa,*

*natijaviy tebranishning maksimal kuchayishi ro'y beradi.*

Shuningdek, *minimumlar sharti* (7.6) ni qayta yozamiz:

$$\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (7.10)$$

*Agar qo'shiluvchi to'lqinlar yo'l farqi yarimto'lqin uzunligining toq soniga teng bo'lsa, natijaviy tebranishning susayishi ro'y beradi.*

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$  qiymatlar interferensiya maksimumlari va minimumlarining tartibi deyiladi.

15- rasmda teng amplitudali to'lqinlar interferensiyasi ko'rsatilgan. Agar yo'l farqi yarimto'lqin

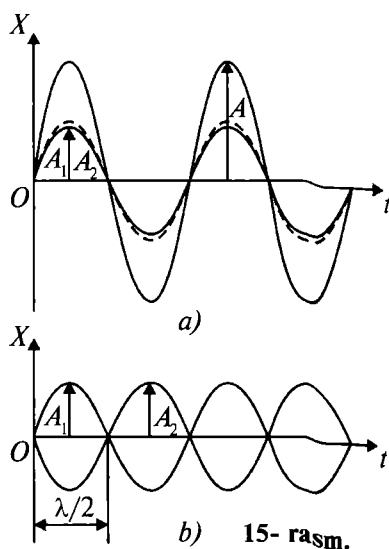
uzunligining juft soniga teng bo'lsa,  $A = A_1 + A_2 = 2A_1$  - yorug'likning kuchayishi (15- a rasm), agar yo'l farqi yarimto'lqin uzunligining toq soniga teng bo'lsa,  $A = |A_1 - A_2| = 0$  - yorug'likning susayishi, to'lqinning so'nishi (15- b rasm) ro'y beradi.

**Yorug'lik interferensiyasidan foydalanish.** Interferensiya hodisasining miqdoriy qonuniyatlari to'lqin uzunligi  $\lambda$  ga bog'liq bo'lgani uchun ham, undan to'lqin uzunligini o'lchashda foydalaniladi (interferensiyon spektroskopiya). Misol uchun, Nyuton halqalarining radiusini o'lchab yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlash mumkin.

Shuningdek, interferensiya hodidasidan optik asboblarning sifatini yaxshilashda (yorishtirilgan optika) va yaxshi qaytaruvchi qatlamlarni hosil qilishda ham foydalaniladi.

Interferensiya hodisasi *interferometrlar* deb ataluvchi o'lchov asboblari ham keng qo'llaniladi. Bu asboblarning barchasining ish prinsiplari bir xil bo'lib, faqat yasalishi bilangina farq qiladi. Bunday asboblarda yorug'likning to'lqin uzunligi, jismlarning o'lchamlari, jism o'lchamlarining temperaturaga bog'liqligi va hokazolar katta aniqlikda o'lchanishi mumkin.

Masalan, Maykelson interferometri  $10^{-7}$  m gacha aniqlikda natija ko'rsatadi. Bunday interferometr yordamida birinchi bo'lib metrnning xalqaro etaloni yorug'likning to'lqin uzunligi bilan solishtirilgan.



Interferometrlar yordamida optik detallarning sifatini, bur-chaklarining aniqligini nazorat qilish, havoda tez-tez ro'y beradigan jarayonlarning amalga oshishini kuzatish mumkin.

Interferometr va mikroskopdan iborat mikrointerferometrlar yordamida sirtlarning sayqalligini nazorat qilish mumkin.

Interferensiyon refraktometrlar yordamida esa shaffof jismlar (gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlar) sindirish ko'rsatkichlarining bosimga, temperaturaga va aralashmalarga bog'liqligi o'rganiladi. Bulardan tashqari ham interferensiya jarayonining qo'llanilish chegarasi ancha katta.



### *Sinov savollari*

1. Interferensiya hodisasi yorug'likning qanday tabiatga egaligini isbotlaydi? 2. Yorug'lik interferensiyasi nima? 3. Qanday yorug'lik to'liqlari interferensiyaga kirishishi mumkin? 4. Kogerent to'liqlar deb qanday to'liqlarga aytiladi? 5. Monoxromatik to'liqlar deb-chi? 6. Nima uchun ikkita elektr lampochkasi bilan yoritilgan stol ustida interferensiya manzarasi hosil bo'lmaydi? 7. Turli manbalardan chiqayotgan yorug'lik to'liqlari nima sababdan monoxromatik bo'la olmaydi? 8. Kogerent yorug'lik to'liqlari qanday hosil qilinadi? 9. Yorug'lik to'liqlari uchun superpozitsiya prinsipini ta'riflang. 10. Ikkita kogerent to'liqlarning qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan tebranish amplitudasi qanday aniqlanadi? 11. To'liq intensivligi-chi? 12. Qachon natijaviy tebranish kuchayishi ro'y beradi? 13. Susayishi-chi? 14.  $A_1 = A_2$  bo'lganda tebranish amplitudasining maksimal va minimal qiymatlari nimaga teng bo'ladi? 15. Tebranish amplitudasining qiymatlarini fazalar farqi bilan ifodalash qulaymi yoki yo'l farqi bilanmi? 16. Fazaning  $\varphi = \pi$  ga o'zgarishi to'liq uzunligining qanday o'zgarishiga mos keladi? 17. Natijaviy tebranishning maksimal kuchayishi qachon ro'y beradi? Maksimumlar shartini yozing. 18. Natijaviy tebranishning susayishi qachon ro'y beradi? Minimumlar shartini yozing. 19.  $k$  nimani ko'rsatadi? 20. 15- rasmdagi manzarani tushuntiring. 21. Mikrointerferometr yordamida nimani nazorat qilish mumkin? 22. Interferensiyon refraktometrlar yordamida nimalar o'rganiladi?

## **8-§. Yorug'lik difraksiyasi. Gyuygens — Frenel prinsipi**

M a z m u n i: to'liqlar difraksiyasi; yorug'lik difraksiyasi; Gyuygens—Frenel prinsipi.

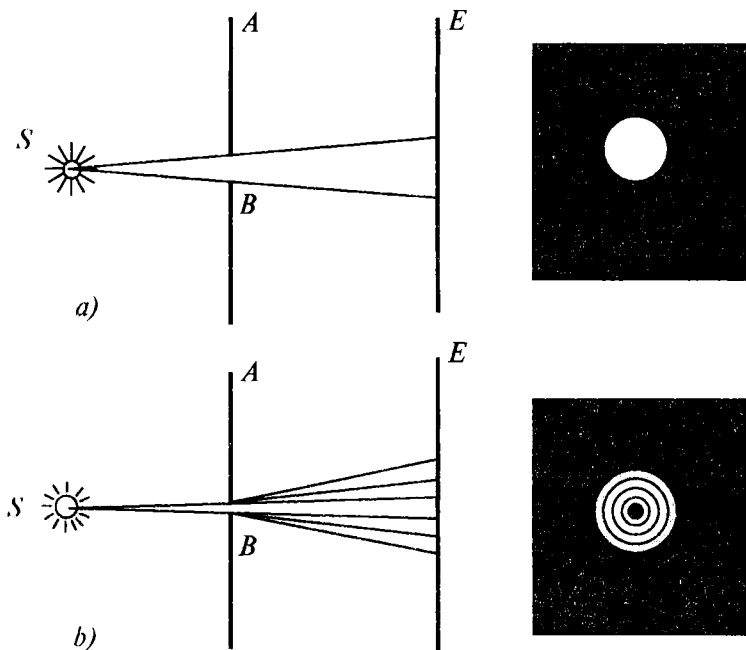
**To'liqlar difraksiyasi.** Difraksiya so'zi lotincha *diffRACTUS* — singan, yo'nalishini o'zgartirgan, degan ma'noni anglatadi.

Shuning uchun ham to'liqlar difraksiyasi deganda ularning to'siqni aylanib o'tishi nazarda tutilgan.

Aynan shu difraksiya sharofati bilan to'liqlar geometrik soya sohasiga yetishi, to'siqlarni aylanib o'tishi, kichkina tirqishdan o'tib ekranga tushishi va shunga o'xshashlar ro'y berishi mumkin. Tovushning pana joyda eshitilishi ham tovush to'liqlari difraksiyasining natijasidir.

**Yorug'lik difraksiyasi.** Yuqoridagidek hollar yorug'lik bilan ham ro'y beradimi, degan savol tug'iladi. Buning uchun sxemasi 16- rasmda ko'rsatilgandek tajriba o'tkazamiz. Yorug'lik manbai qarshisida kichkina tirqishli  $AB$  to'siq turgan bo'lsin.  $E$  ekranda tirqishning soyasi, yorug' dog' hosil bo'ladi (16-  $a$  rasm). Endi  $AB$  to'siqdagi tirqishni kichraytira boramiz. Tirqishning o'lchamlari  $AB$  to'siq va ekrangacha bo'lgan masofadan minglab marta kichik bo'lganda ekranda yorug' va qorong'i aylanalardan iborat murakkab manzara vujudga keladi (16-  $b$  rasm).

Bunday manzarani faqat yorug'likning difraksiyasigina vujudga keltirishi mumkin. Yorug'lik difraksiya manzarasini vujudga keltirar ekan, demak, u to'liqin tabiatiga ega bo'ladi.



16- rasm.



Shuning uchun ham difraksiya hodisasi yorug'likning to'lqin tabiatiga egaligini ko'rsatuvchi jarayonlardan biri hisoblanadi.

*Yorug'lik to'lqinlarining to'siqni aylanib o'tishi va geometrik soya tomonga og'ishi yorug'lik difraksiyasi deyiladi.*

Demak, to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishdan har qanday chetlashish yorug'lik difraksiyasining natijasi bo'lib, uning to'lqin tabiatiga egaligini isbotlaydi.

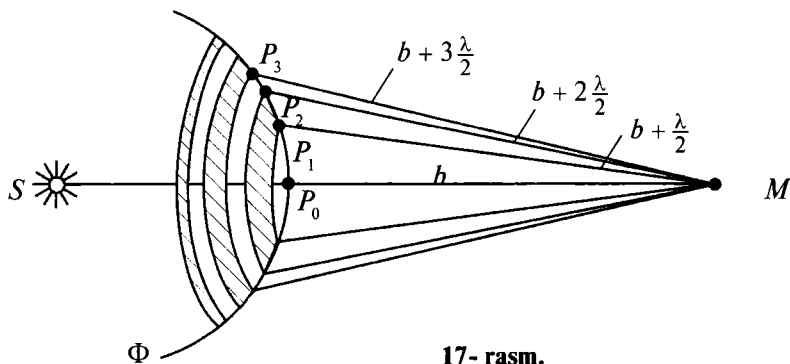
**Gyuygens–Frenel prinsipi.** Biz endi 16- *a* rasmdagi manzara haqida chuqurroq mulohaza yuritaylik. Agar yorug'lik to'lqin tabiatiga ega bo'lsa, unda yorug' dog' chegarasining keskin bo'lishini qanday tushuntirish mumkin? Xuddi shunday mulohazani yorug'lik manbayi qarshisidagi jism soyasining (4- rasimga q.) keskin bo'lishi haqida ham aytish mumkin.

Gyuygens prinsipi yuqorida keltirilgan muammoni yechishga oqizlik qiladi. Chunki u to'lqin amplitudasi va, demak, to'lqin intensivligining yo'nalishlar bo'yicha taqsimoti haqidagi masalani qaramaydi.

Gyuygens prinsipiga binoan, *to'lqin fronti yetib borgan har bir nuqtani mustaqil tebranish manbayi sifatida qarash mumkin.* Fransuz fizigi O.Frenel (1788–1827) bu prinsipni to'ldirib, fazoning istalgan nuqtasidagi tebranishlarni, *to'lqin frontining bo'laklaridan iborat mavhum manbalar chiqaradigan ikkilamchi to'lqinlar interferensiyasining natijasi sifatida qarash mumkin,* degan qo'shimcha kiritdi. Uning fikriga ko'ra, *bu mavhum manbalar kogerent to'lqinlar chiqaradi va ular fazoning istalgan nuqtasida interferensiyaga kirishib, bir-birlarini kuchaytirishlari yoki so'ndirishlari mumkin.*

Frenel o'z prinsipiga binoan, to'lqin frontini shunday bo'laklarga (Frenel zonalariga) bo'lishni taklif qildiki, bunda qo'shni zonalaridan qaralayotgan nuqtaga yetib kelayotgan to'lqinlarning fazalari qarama-qarshi, ya'ni  $\Delta\phi = \pi$  va demak, yo'l farqi  $\delta = \frac{\lambda}{2}$  ga teng bo'lsin. Natijada ikkita qo'shni zonaning qaralayotgan nuqtada hosil qiladigan tebranishlari bir-birlarini so'ndiradi.

Masalan, *S* nuqtaviy manbaning istalgan *M* nuqtada hosil qiladigan yorug'lik to'lqinining amplitudasini topaylik (17- rasm). Gyuygens–Frenel prinsipiga binoan, *S* manbaning ta'sirini  $\Phi$  to'lqin frontining bo'laklaridan iborat mavhum manbalarning ta'siri bilan almashtiramiz. Frenel ularni, halqasimon shakldagi zonalar



17- rasm.

chekkasidan  $M$  nuqttagacha bo'lgan farq  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng bo'ladigan qilib tanladi, ya'ni

$$P_1M - P_0M = P_2M - P_1M = P_3M - P_2M = \frac{\lambda}{2}.$$

Zonalardan  $M$  nuqtaga yetib borgan tebranishlarning fazalari qarama-qarshi bo'lganligi sababli, natijaviy tebranish amplitudasi quyidagicha aniqlanadi:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots + A_m, \quad (8.1)$$

bu yerda  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$  — mos ravishda 1, 2, 3, ...,  $m$ -zonalarda vujudga keltiriladigan tebranishlar amplitudasi. Ifodadan ko'rinib turibdiki, tirqishda joylashadigan zonalar soni juft bo'lsa,  $M$  nuqtada qorong'i dog', toq bo'lsa — yorug' dog' hosil bo'ladi. Tirqishda bitta zona joylashganda,  $M$  nuqtada maksimum intensivlik hosil bo'ladi.



### Sinov savollari

1. Difraksiya so'zi qanday ma'noni anglatadi?
2. To'liqlar difraksiyasi deganda nima nazarda tutiladi?
3. Tovushning pana joyda eshutilishini qanday tushuntirasiz?
4. 16- a rasmdagi manzarani tushuntiring.
5. 16- b rasmdagi manzarani tushuntiring.
6. 16- b rasmdagi manzara vujudga kelishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?
7. Gyuygens prinsipi nima?
8. Frenel Gyuygens prinsipiga qanday qo'shimcha kiritdi?
9. Frenel mavhum manbalar haqida qanday fikr bildirgan?
10. Frenel zonalarini qanday prinsipga asosan bo'lingan?
11. Qo'shni zonalardan kelayotgan to'liqlarning yo'l farqi nimaga teng?
12. 17- rasmni tushuntiring.
13. Qo'shni zonalardan kelgan tebranishlar amplitudalari bir-birlariga qanday munosabatda bo'lishadi?
14.  $M$  nuqtadagi natijaviy amplituda nimaga teng?
15.  $M$  nuqtada qachon qorong'i, qachon yorug' dog' hosil bo'ladi?
16. Tirqishda bitta zona joylashganda nima bo'ladi?

## 9-§. Difraksion panjara. Difraksiyadan foydalanish

Mazmuni: parallel nurlar dastasining yakka tirqishdagi difraksiyasi; maksimumlar va minimumlar sharti; difraksion panjaraning tuzilishi; difraksion panjarada difraksiya; difraksiyadan foydalanish.

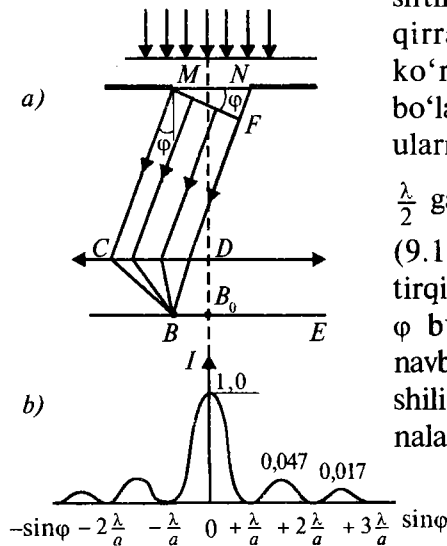
**Parallel nurlar dastasining yakka tirqishdagi difraksiyasi.** Nemis fizigi I.Fraunhofer (1787–1826) katta amaliy ahamiyatga ega bo'lgan parallel nurlar dastasining difraksiyasini o'rgandi. Shuning uchun ham bu difraksiyaga ba'zan *Fraunhofer difraksiyasi* deyiladi.

Yassi monoxromatik yorug'lik to'liqini kengligi  $a$  bo'lgan tirqish tekisligiga tik tushayotgan bo'lsin (18-*a* rasm). Tirqishda  $\varphi$  burchakka og'ib harakatlanayotgan chekka  $MC$  va  $ND$  nurlar orasidagi optik yo'l farqi

$$\delta = NF = a \cdot \sin\varphi \quad (9.1)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda  $F$  nuqta –  $M$  nuqtadan  $ND$  nurga tushirilgan perpendikularning asosi.

$MN$  tirqish tekisligidagi to'liqin sirtining ochiq qismini tirqishning  $M$  qirrasiga parallel bo'lgan tasma ko'rinishidagi Frenel zonalariga bo'lamiz. Har bir zonaning kengligi ularning chekkalari uchun yo'l farqi  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng bo'ladigan qilib tanlanadi. (9.1) ifodadan ko'rinib turibdiki, tirqishda joylashadigan zonalar soni  $\varphi$  burchakka bog'liq bo'ladi. O'z navbatida, ikkilamchi to'liqlar qo'shilishining natijasi esa Frenel zonalarining soniga bog'liq. Bizga ma'



18- rasm.

lumki, har bir juft qo'shni Frenel zonalari vujudga keltiradigan tebranishlar amplitudasi nolga teng, chunki qo'shni zonalarning tebranishlari bir-birlarini so'ndiradi.

**Maksimumlar va minimumlar sharti.** Frenel zonalari soni juft bo'lsa:

$$\delta = a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (9.2)$$

$B$  nuqtada difraksiyon minimum (to'la qorong'ilik), agar Frenel zonalari soni toq bo'lsa:

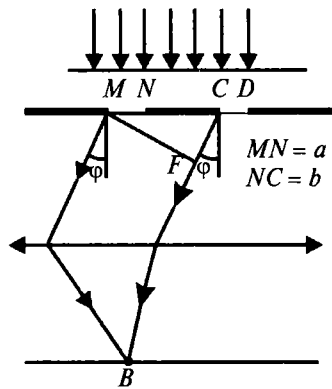
$$\delta = a \sin \varphi = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (9.3)$$

bitta kompensatsiyalanmagan zonaga mos keluvchi difraksiyon maksimum kuzatiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, to'g'ri yo'nalishda ( $\varphi = 0$ ) tirqish o'zini go'yoki bitta Frenel zonasidek tutadi va yorug'lik shu yo'nalishda eng katta intensivlik bilan tarqalib,  $B$  nuqtada markaziy difraksiyon maksimum kuzatiladi. 18-  $b$  rasmda difraksiya natijasida intensivlikning ekrandagi taqsimoti (difraksiyon spektr) keltirilgan.

**Difraksiyon panjaraning tuzilishi.** Endi ko'plab tirqishlardan iborat sistema bilan tanishaylik. *Bir tekislikda yotgan, kengliklari teng noshaffof sohalar bilan ajratilgan parallel tirqishlardan iborat sistema difraksiyon panjara deyiladi.*

Agar tirqishning kengligini  $a$ , noshaffof sohaning kengligini  $b$  deb olsak,  $d = a + b$  kattalik difraksiyon panjaraning doimiysi (davri) deyiladi. 19- rasmda difraksiyon panjara ko'rsatilgan. Garchi rasmda soddalik uchun ikkita tirqish —  $MN = CD = a$  va  $NC = b$  ko'rsatilgan bo'lsa-da, u difraksiyon panjara to'g'risida tasavvurga ega bo'lish uchun yetarli.

**Difraksiyon panjarada difraksiya.** Yassi monoxromatik to'liqin panjara tekisligiga tik tushayotgan bo'lsin. Tirqishlar bir-birlaridan teng uzoqlikda joylashganlari uchun ham ikkita qo'shni tirqishdan chiqayotgan nurlarning yo'l farqi (19- rasm)



19- rasm.

$$\delta = CF = (a + b)\sin \varphi = d \cdot \sin \varphi \quad (9.4)$$

ga teng bo'ladi.

Difraksion panjara holda ham yakka tirqishdagi difraksiya kabi (bosh) minimumlar

$$a \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (9.5)$$

shartdan aniqlanadi. Agar

$$d \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (9.6)$$

shart bajarilsa, bir tirqishning ta'siri ikkinchi tirqish tomonidan kuchaytiriladi va shuning uchun ham bu shart *bosh maksimumlar sharti* deyiladi.

Bundan tashqari, difraksion panjarada hosil bo'ladigan difraksion panjaraning qo'shimcha minimumlari shartini ham aniqlash mumkin.

**Difraksiyadan foydalanish.** Difraksiya hodisasidan fan va texnikada keng foydalaniladi. Misol sifatida difraksion panjara asosida ishlaydigan spektrograflarni keltirish mumkin. Bunday qurilmalar yordamida moddalarning tarkibi va sifati haqida tasavvurga ega bo'lish mumkin.

Ayniqsa, to'liq uzunligini aniqlash zarur bo'lgan spektral analizda difraksion panjaradan juda keng foydalaniladi. (9.6) formuladan ko'rinib turibdiki, yorug'likning  $\lambda$  to'liq uzunligini topish uchun  $\varphi$  difraksiya burchagini aniqlash kifoya. Chunki panjara doimiysi  $d$  va bosh maksimumlar tartibi  $k$  ma'lum bo'ladi. Panjara doimiysi  $d$  qancha kichik bo'lsa, bosh maksimumlar shuncha yaqqol ajralgan bo'lib,  $\lambda$  to'liq uzunligini shuncha aniq o'lchash imkoni tug'iladi.

Difraksion panjara ham barcha spektral asboblar kabi ajrata olish kuchi bilan xarakterlanadi. Bu xarakteristika asbobning ikkita eng yaqin,  $\lambda$  va  $\lambda + \Delta\lambda$  to'liq uzunlikli spektral chiziqlarni ajrata olish qobiliyati bilan aniqlanadi. Bu spektral chiziqlar o'zlaridan kengroq bitta maksimumga qo'shib ketmasagina, ularni ajratib olish mumkin bo'ladi. Panjara ajrata olish qobiliyatining o'lchovi sifatida quyidagi ifodadan foydalaniladi:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

bu yerda  $N$  – panjaradagi shtrixlar soni. Keltirilgan ifodadan ko'rinib

turibdiki, difraksion panjaraning ajrata olish qobiliyati undagi shtrixlar soniga bog'liq.

Foydalanilishiga qarab zamonaviy difraksion panjaralardagi shtrixlar soni 1 mm da 6000 dan 0,25 ta gacha bo'lishi mumkin. Bunday panjaralar yordamida spektrning ultrabinafsha qismidan infraqizil qismigacha bo'lgan soha o'rganiladi.



### *Sinov savollari*

1. Fraunhofer difraksiyasi deb qanday difraksiyaga aytiladi? 2. Tirqishdan  $\varphi$  burchakka og'ib o'tgan chekka nurlar orasidagi yo'l farqi qanday? 3. Frenel zonalari qanday tanlanadi? 4. Frenelning qo'shni zonalari vujudga keltiradigan tebranishlar amplitudasi nimaga teng? 5. Qachon difraksion minimum ro'y beradi? Difraksion maksimum-chi? 6. Difraksion maksimum qanday vujudga keladi? 7.  $\varphi = 0$  da qanday hol ro'y beradi? 8. 18- rasmdagi manzarani tushuntiring. 9. Difraksion panjara deb nimaga aytiladi? 10. Panjara doimiysi nimaga teng? 11. 19- rasmdagi manzarani tushuntiring. 12. Difraksion panjarada minimumlar hosil bo'lish sharti qanday? 13. Bosh maksimumlar sharti-chi? 14. Bosh maksimum qanday vujudga keladi? 15. Difraksion panjara qayerda qo'llaniladi? 16. Difraksion panjara yordamida yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlash mumkinmi? 17. Panjaraning ajrata olish qobiliyati qanday aniqlanadi? 18. Ajrata olish qobiliyati panjaradagi shtrixlar soniga bog'liqmi? 19. Zamonaviy panjaralarning 1 mm da nechta shtrix bor? 20. Shtrixlar sonining bunday qiymatiga erishishdan qanday maqsad ko'zda tutiladi?

## **10-§. Yorug'likning qutblanishi. Qutblagichlar**

**M a z m u n i:** tabiiy yorug'lik; qutblangan yorug'lik; mexanik to'lqinlarning qutblanishi; qutblagichlar; Malyus qonuni; Bryuster qonuni; qutblanishdan foydalanish.

**Tabiiy yorug'lik.** Bizga ma'lumki, Maksvell nazariyasiga muvofiq, yorug'lik ko'ndalang to'lqinlardan iborat bo'lib, elektr va magnit maydon kuchlanganliklarining vektorlari  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  o'zaro perpendikular va to'lqin tarqalish tezligi vektori  $\vec{v}$  ga perpendikular tekislikda tebranadi. Shuning uchun ham yorug'likning qutblanish qonunlarini o'rganishda faqatgina bitta vektorni o'rganishning o'zi yetarlidir. Odatda, mulohazalar yorug'lik vektori deb ataluvchi elektr maydon kuchlanganligi vektori

$\vec{E}$  to'g'risida yuritiladi.

Yorug'lik ko'plab atomlar tomonidan chiqariladi va ko'plab elektromagnit nurlanishlarning yig'indisidan iborat bo'ladi. Bu nurlanishlar mustaqil ravishda amalga oshirilgani uchun yorug'lik vektorining hamma yo'nalishlar bo'yicha taqsimoti bir xil bo'ladi (20- *a* rasm).

$\vec{E}$  vektori barcha yo'nalishlar bo'yicha teng taqsimlangan yorug'lik *tabiiy yorug'lik* deyiladi.

**Qutblangan yorug'lik.** *Yorug'lik vektori tebranish yo'nalishining tekis taqsimoti biror usul bilan o'zgartirilgan yorug'lik qutblangan yorug'lik* deyiladi.

Aytaylik, qandaydir tashqi ta'sir natijasida  $\vec{E}$  vektor tebranishining biror yo'nalishi boshqa yo'nalishlarga nisbatan ustunroq bo'lsin (20- *b* rasm). U holda bunday yorug'lik *qisman qutblangan yorug'lik* deyiladi.

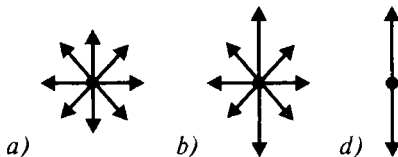
$\vec{E}$  vektorining tebranishi faqat bitta yo'nalishda ro'y beradigan yorug'lik *yassi qutblangan (chiziqli qutblangan) yorug'lik* deyiladi (20- *d* rasm).

Yassi qutblangan yorug'lik  $\vec{E}$  vektorining tebranish va to'liqin tarqalish yo'nalishlari yotuvchi tekislik *qutblanish tekisligi* deyiladi.

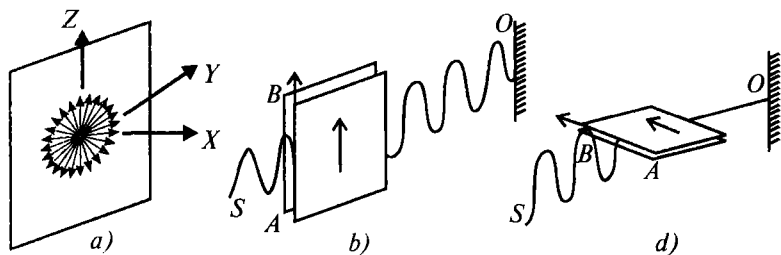
**Mexanik to'liqlarning qutblanishi.** Yorug'lik to'liqlarining qutblanish mexanizmini yaxshiroq tasavvur qilish uchun mexanik to'liqlarning qutblanishi bilan tanishaylik.

Bo'ylama to'liqlar (tovush to'liqlari) holida tebranish to'liqinning tarqalish yo'nalishi bilan mos keladi. Ko'ndalang to'liqlar holida esa tebranish to'liqinning tarqalish yo'nalishiga perpendikular bo'ladi. Shu bilan birga, to'liqinning tarqalish yo'nalishiga perpendikular bo'lgan yo'nalish cheksiz ko'pdir (21- *a* rasm).

Qutblangan to'liqinni hosil qilish uchun quyidagicha tajriba o'tkazaylik. Yo'lida tirqishli to'siq qo'yilgan ko'ndalang to'liq *SO* chilvir bo'ylab tarqalayotgan bo'lsin (21- *b* rasm). Garchi to'liqin harakat yo'nalishiga perpendikular bo'lgan barcha yo'nalishlarda tebranishi mumkin bo'lsa-da, *AB* tirqishga parallel



20- rasm.



21- rasm.

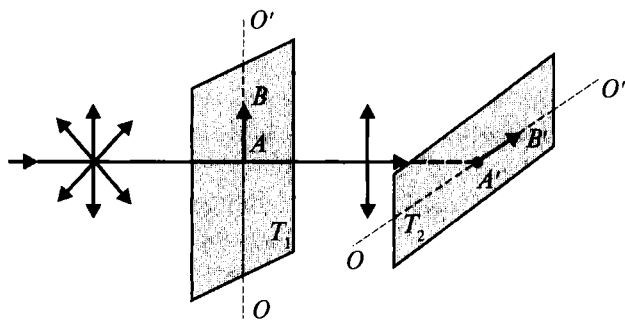
bo'lgan to'liqlargina to'siqdan o'tadi, boshqacha aytganda, shu yo'nalish boshqalariga nisbatan ustun bo'lib qoladi, ya'ni to'liqin qutblanadi. Agar to'siq va demak, tirqish ham  $90^\circ$  ga burilsa (21- d rasm), to'liqin tirqish orqali o'tolmay so'nadi. Tajriba natijasi chilvirdagi to'liqin ko'ndalang, qutblanish esa ko'ndalang to'liqinlarga xos xususiyat ekanligini ko'rsatadi. Bo'ylama to'liqinlar tirqish qanday joylashishidan qat'i nazar, undan o'taveradi.

**Qutblagichlar.** Endi yorug'lik to'liqlarining tabiatini aniqlash uchun yuqorida keltirilganga o'xshash tajriba o'tkazib ko'raylik. Yorug'lik to'liqini holdida «tirqishli to'siq» vazifasini nima bajarishi mumkin, degan savol tug'iladi. Bu vazifani ba'zi kristallar, masalan, *turmalin* o'tashi mumkin. Bunday kristallar anizotropik xususiyatlarga ega bo'lganliklari uchun, yorug'lik tebranishining ma'lum yo'nalishidagisini o'tkazib, boshqalarini o'tkazmaydi. Boshqacha aytganda, ular yorug'likni qutblash xususiyatiga ega va shuning uchun ular *qutblagichlar* deyiladi.

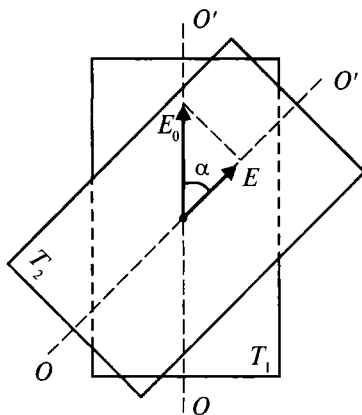
Yorug'lik to'liqinining qutblanish xususiyatiga egaligi uning ko'ndalang to'liqin ekanligini isbotlaydi.

**Malyus qonuni.** Endi turmalin bilan tajriba o'tkazaylik. Buning uchun tabiiy yorug'lik turmalin plastinkaning optik o'qi  $OO'$  ga perpendikular ravishda yo'naltiriladi (22- rasm). (Turmalin plastinka 21- rasmdagi to'siq vazifasini bajarsa, uning  $OO'$  optik o'qi undagi tirqish vazifasini o'taydi. *Optik o'q* deb, turmalinning tebranish so'nmay o'tadigan yo'nalishiga aytiladi.) Birinchi turmalinni nur yo'nalishi atrofida aylantirib, undan o'tgan yorug'lik intensivligining o'zgarishini ko'ramiz. Agar nurning yo'lga ikkinchi  $T_2$  turmalin plastinkani qo'ysak va uni nur yo'nalishi atrofida aylantirsak, o'tayotgan yorug'lik intensivligining o'zgarishi kuzatiladi. Ikkinchi turmalindan chiqayotgan nurning intensivligi





22- rasm.



23- rasm.

turmalin plastinkalarning optik o'qlari orasidagi  $\alpha$  burchakka (23- rasm) bog'liq bo'lib, tushayotgan yorug'lik intensivligi bilan fransuz fizigi E.Malyus (1775–1812) nomidagi qonun orqali bog'langan:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (10.1)$$

bu yerda  $I$  – ikkinchi turmalindan chiqayotgan,  $I_0$  – ikkinchi turmalining tushayotgan yorug'lik intensivliklari.

Agar  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  bo'lsa,  $\cos \alpha = 0$  va  $I = 0$ , ya'ni ikkinchi turmalinda yorug'lik to'liqini so'nadi. Bu esa birinchi turmalindan faqat ma'lum yo'nalishdagi (22- rasmda bu yo'nalish  $AB$  strelka bilan ko'rsatilgan) yorug'lik tebranishlari o'tishini, boshqacha aytganda, birinchi turmalin tabiiy yorug'likni yassi qutblangan yorug'likka aylantirishini ko'rsatadi.

**Bryuster qonuni.** Tabiiy yorug'lik ikkita dielektrikning (misol uchun havo va suv) chegarasiga tushganda bir qismi qaytadi, bir qismi esa sinib ikkinchi muhitda harakatlanadi. Bu nurlarning yo'liga turmalin plastinka qo'yib, ularning qisman qutblanganligiga ishonch hosil qilish mumkin. Tajribalar qaytgan nurda tushish tekisligiga perpendikular bo'lgan tebranish (24- rasmda ular nuqtalar bilan ko'rsatilgan), singanida esa tushish tekisligiga parallel tebranish (strelkalar bilan ko'rsatilgan) ustunroq bo'lishini ko'rsatdi.

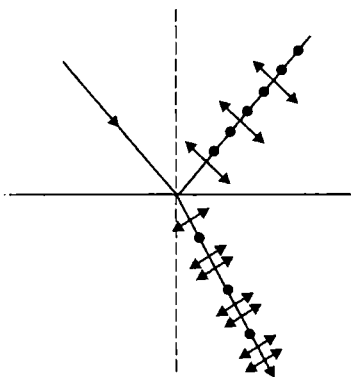
Qutblanish darajasi nurning tushish burchagi va sindirish ko'rsatkichiga bog'liq. Shotlandiyalik fizik D.Bryuster (1781–1868) tushish burchagi  $i_B$  sindirish ko'rsatkichi ( $n_{21}$ ) yordamida

$$\operatorname{tg} i_B = n_{21} \quad (10.2)$$

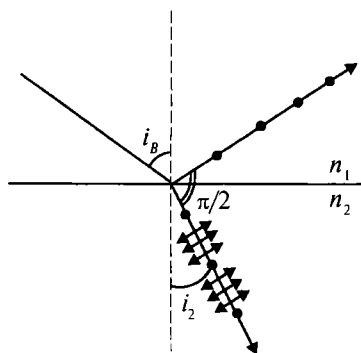
munosabat orqali aniqlanishini ko'rsatuvchi o'z qonunini yaratdi. Bu yerda  $n_{21}$  – ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi.

Tabiiy yorug'lik dielektriklar chegarasiga Bryuster burchagi ostida tushsa, qaytgan nur yassi qutblangan bo'ladi (tushish tekisligiga perpendikular tebranishlargagina ega bo'ladi) (25- rasm). Singan nur esa maksimal (lekin to'la emas) qutblangan bo'ladi.

**Qutblanishdan foydalanish.** Qutblanish hodisasi xalq xo'jaligida juda keng qo'llaniladi. Bularga mexanik yuklanish



24- rasm.



25- rasm.

natijasida vujudga keladigan elastik kuchlanish joylarini aniqlash, tovushni yozish va eshittirish kabi tez o'tadigan jarayonlarni o'rganish misol bo'ladi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, ba'zi kristallar va organik moddalarning eritmalaridan qutblangan yorug'lik o'tganida qutblanish tekisligining burilishi kuzatiladi. *Qutblanish tekisligini burovchi moddalar optik faol moddalar deyiladi.* Bunday moddalarga kvars, shakarining suvdagi eritmasi va boshqalar misol bo'ladi. Aynan shu hodisadan optik faol moddalar eritmasining konsentratsiyasini aniqlashda keng foydalaniladi.



## Sinov savollari

1. Yorug'lik Maksvell nazariyasiga ko'ra qanday to'lqin? 2. Yorug'lik vektori deb qanday vektorga aytiladi? 3. Yorug'lik vektori barcha yo'nalishlar bo'yicha qanday taqsimlangan? 4. Qanday yorug'lik tabiiy yorug'lik deyiladi? 5. Qanday yorug'lik qutblangan yorug'lik deyiladi? 6. Qanday yorug'lik qisman qutblangan deyiladi? Yassi qutblangan deb-chi? 7. Qutblanish tekisligi deb qanday tekislikka aytiladi? 8. Qutblangan mexanik to'lqin deb qanday to'lqinga aytiladi? 9. Agar to'siq  $90^\circ$  ga burilsa, nima ro'y beradi va uning sababini tushuntiring. 10. Qanday mexanik to'lqinlar qutblanishi mumkin? 11. Turmalin qanday xususiyatga ega? 12. Turmalinning bunday xususiyatga egaligi qanday tushuntiriladi? 13. Qutblagich deb nimaga aytiladi? 14. Nimaga asoslanib yorug'likni ko'ndalang to'lqindan iborat deyish mumkin? 15. Tebranishning turmalin optik o'qi yo'nalishidagi tashkil etuvchisi qanday o'zgaradi? 16. Birinchi turmalin burilganda yorug'lik intensivligi o'zgaradimi? Ikkinchisi burilganda-chi? 17. Ikkinchi turmalindan chiqqan yorug'lik turmalin plastinkalarining optik o'qlari orasidagi burchakka bog'liqmi? 18.  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  bo'lganda ikkinchi turmalindan chiqqan yorug'lik intensivligi nimaga teng bo'ladi? 19. 22- rasmidagi holatni tushuntiring. 20. Malyus qonunini tushuntiring. 21. 23- rasmni izohlang. 22. Yorug'lik ikkita dielektrik chegarasiga tushganda qanday hol ro'y beradi? 23. Qaytgan va singan nurlar qanday qutblangan bo'ladi? 24. Bryuster qonunini tushuntiring. 25. Optik faol moddalar deb qanday moddalarga aytiladi? 26. Qutblanish hodisasidan qayerlarda foydalaniladi?

## 11-§. Yorug'lik dispersiyasi

**M a z m u n i :** yorug'lik dispersiyasi; yorug'lik dispersiyasining tabiati; spektr ranglarining qo'shilishi; spektrlarning turlari; jismlarning rangi; yorug'likning yutilishi.

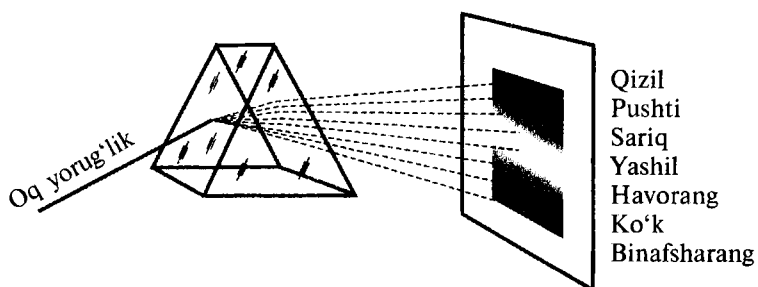
Dispersiya so'zi lotincha *dispersio* – sochilish so'zidan olingan. Yorug'lik dispersiyasini birinchi bo'lib kuzatgan kishi ingliz fizigi I. Nyuton hisoblanadi. U oq yorug'lik dastasini shisha prizma orqali o'tkazib, ekranda turli ranglar ketma-ketligidan tashkil topgan spektrni kuzatdi (26- rasm). I. Nyuton oq yorug'lik yetti xil – qizil, pushti, sariq, yashil, havorang, ko'k va binafsha-ranglardan iboratligini aniqladi. Prizmadan o'tgan oq yorug'likning turli ranglarga ajralib ketishi dispersiyaning natijasidir.

**Dispersiya deb, muhit sindirish ko'rsatkichining yorug'lik to'lqin uzunligiga (chastotasiga) bog'liqligiga aytiladi.**

Shunday qilib, dispersiya hodisasi yorug'likning to'lqin tabiati asosida tushuntirish mumkin bo'lgan hodisalardan biri bo'lib, unda to'lqin uzunligi muhim rol o'ynaydi.

**Yorug'lik dispersiyasining tabiati.** Vakuumdagi istalgan to'lqin uzunlikli elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi bir xil ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s), moddalarda esa to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ham oq yorug'lik tarkibiga kiradigan turli ranglarga mos keluvchi to'lqinlar uchun muhitning sindirish ko'rsatkichi ham farq qiladi. Natijada prizmadan o'tish paytida turli ranglar turlicha sindirish ko'rsatkichiga uchraydi, turlicha sinadi va bir-biridan ajralib chiqadi.

Shuni ta'kidlash lozimki, dispersiya hodisasi nafaqat prizmada, balki juda ko'p boshqa hollarda ham kuzatiladi. Masalan, quyosh nurlarining atmosferada hosil bo'ladigan suv



26- rasm.

tomchilarida sinishi uning rangli nurlarga ajralishiga, ya'ni kamalakning hosil bo'lishiga olib keladi.

Normal dispersiyada to'liq uzunligi ortishi bilan muhitning sindirish ko'rsatkichi kamayadi. Shuning uchun ham spektrning yuqorisida eng katta to'liq uzunlikli qizil, pastida esa eng kichik to'liq uzunlikli binafsharanglar joylashadi. Boshqa ranglar ham shu tartibda, to'liq uzunliklarning kamayib borishiga muvofiq joylashgan.

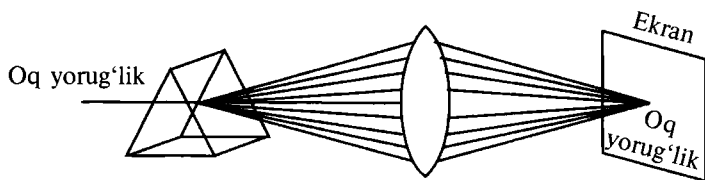
Quyida ba'zi moddalar sindirish ko'rsatkichlarining to'liq uzunligiga bog'lanishi keltirilgan.

2- jadval

$\lambda$ , $\mu\text{m}$	$n$		
	Fluorit	Kvars	Osh tuzi
0,2	1,5	1,65	1,75
1,6	1,43	1,53	1,53
3,2	1,41	1,47	1,51

**Spektr ranglarining qo'shilishi.** Nyuton o'z tajribasini davom ettirib, prizmadan chiqqan rangli nurlarni linza yordamida bir joyga to'plagan va ekranda oq yorug'lik hosil bo'lganini ko'rgan. Demak, rangli nurlarning qo'shilishi natijasida oq yorug'lik hosil bo'ladi, ya'ni dispersiya natijasida hosil bo'lgan yettita rangli yorug'lik oq yorug'likning tarkibiga kiruvchi yorug'liklardir (27-rasm).

Umuman olganda, ikkita (yoki undan ko'p) ranglarni qo'shish bilan ham oq yorug'likni hosil qilish mumkin. Bunday ranglarga *qo'shimcha rang* deyiladi. Sariq va ko'k ranglar qo'shimcha ranglarga misol bo'la oladi. Uchta asosiy hisoblanmish qizil, yashil va binafsharanglarni turli hissalarda qo'shish bilan istalgan ko'rinishdagi rangni hosil qilish mumkin.



27- rasm.

**Jismlarning rangi.** Shaffof (yorug'likni qaytarmaydigan va yutmaydigan) jismning rangi undan o'tadigan yorug'likning tarkibi bilan aniqlanadi.

Agar bo'yoq surtilgan shishaga oq yorug'lik tushsa, unda shisha, asosan, bo'yoq rangidagi yorug'likni o'tkazadi. Masalan, qizil bo'yoq surtilgan shisha qizil rangli yorug'likni, yashil bo'yoq surtilgan shisha yashil rangli yorug'likni o'tkazadi va h.k. Turli rangli filtrlardan foydalanish shunday xususiyatga asoslangan.

Agar jism o'ziga tushayotgan yorug'likni qaytarsa, nima bo'ladi? Tabiiyki, jism shu rangda ko'rinadi. Masalan, qizil bo'lib ko'ringan jism qizil rangli yorug'likni, ko'k bo'lib ko'ringan jism ko'k rangli yorug'likni qaytaradi. Noshaffof jismning rangi u qaytaradigan yorug'lik ranglarining aralashmasi bilan aniqlanadi. Demak, jismlarga biror rangli bo'yoq surtish — unga shu xil rangli yorug'likni qaytaradigan moddani surtish, demakdir.

Barcha rangdagi yorug'likni qaytaradigan jism oq bo'lib ko'rinadi. O'ziga tushayotgan barcha yorug'likni yutadigan jism esa qora jism bo'ladi. Tabiatda absolut qora jism ham, absolut oq jism ham mavjud emas. Ya'ni barcha jismlar ozmi-ko'pmi yorug'likni yutadi yoki qaytaradi.

**Spektrlarning turlari.** Difraksiya va dispersiya natijasida hosil bo'lgan spektrlar bir-biridan keskin farq qiladi. Difraksion panjaraga tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligiga qarab difraksion maksimumlarga taqsimlanadi. Og'ish burchagining sinusi to'lqin uzunligiga proporsional bo'ladi (9.6- ifodaga qarang). Shuning uchun ham *katta to'lqin uzunligiga ega bo'lgan qizil nurlar, kichik to'lqin uzunligiga ega binafsharang nurlardan ko'ra ko'proq og'adi.*

Dispersiyada esa yorug'lik muhitning sindirish ko'rsatkichiga qarab yoyiladi. Tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligi ortishi bilan prizmaning sindirish ko'rsatkichi kamayadi (2-jadvalga qarang). Shuning uchun *katta to'lqin uzunligiga ega bo'lgan qizil nurlar, kichik to'lqin uzunligiga ega bo'lgan binafsharang nurlardan ko'ra kamroq og'adi.*

**Dispersiyaning ahamiyati.** Dispersiya hodisasining kashf qilinishi yorug'likning tabiati, umuman olganda, nurlanish yordamida moddalarning tuzilishi to'g'risida muhim ma'lumotlar olishga imkon berdi.

Bundan tashqari, ranglar to'g'risida olingan ma'lumotlar bezash ishlarida, kerakli ranglarni tanlashda muhim rol o'ynaydi. Boshqacha aytganda, kerakli bo'yoqni turli ranglarni qancha hissada qo'shib hosil qilishni aniqlash mumkin.

**Yorug'likning yutilishi.** *Yorug'likning yutilishi (absorbsiya) deb moddadan o'tishda yorug'lik energiyasining yo'qotilishiga aytiladi.* Bunga sabab – yorug'lik energiyasining moddaning ichki energiyasiga aylanishi. Yutilish natijasida o'tayotgan yorug'likning intensivligi kamayadi.

Yorug'likning moddada yutilishi Buger qonuni yordamida tavsiflanadi:

$$I = I_0 e^{-\alpha x},$$

bu yerda  $I$  va  $I_0$  – mos ravishda  $x$  qalinlikli moddaga tushayotgan va undan chiqayotgan yorug'likning intensivliklari.  $\alpha$  – yutilish koeffitsiyenti deyilib, moddaning kimyoviy tarkibi, holati va tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligiga bog'liq kattalik.



### **Sinov savollari**

1. Dispersiya so'zi qanday ma'noni bildiradi?
2. Dispersiya hodisasini birinchi bo'lib kim kuzatgan?
3. Nyutonning tajribasini izohlab bering.
4. Dispersiya deb nimaga aytiladi?
5. Dispersiya hodisasi qanday ro'y beradi?
6. Kamalak qanday vujudga keladi?
7. Yorug'likning to'lqin uzunligi ortishi bilan muhitning sindirish ko'rsatkichi qanday o'zgaradi?
8. Nima uchun dispersiya spektrining yuqorisida qizil, pastida esa binafsharang joylashadi?
9. 2-jadvalni tushuntiring.
10. 27-rasmdagi manzarani izohlab bering.
11. Ekrandagi manzaraga qarab qanday xulosa chiqarish mumkin?
12. Qo'shimcha ranglar deb qanday ranglarga aytiladi?
13. Shaffof jism deb qanday jismga aytiladi?
14. Shaffof jismning rangi qanday aniqlanadi?
15. Bo'yoq surtilgan shisha qanday rangli yorug'likni o'tkazadi?
16. Shisha filtrlar nimaga asoslanib yasaladi?
17. Jism biror xil yorug'likni qaytarganda uning rangi qanday ko'rinadi?
18. Sariq rangli jism qanday rangli yorug'likni qaytaradi?
19. Noshaffof jismning rangi qanday aniqlanadi?
20. Jislarga bo'yoq surtish nimani anglatadi?
21. Qanday jism barcha yorug'likni qaytaradi?
22. Qanday jism o'ziga tushgan barcha yorug'likni yutadi?
23. Tabiatda absolut qora va absolut oq jismlar mavjudmi?
24. Difraksiya spektrida nurlar qanday og'adi va nima uchun?
25. Dispersiya spektrida-chi?
26. Yorug'likning yutilishi (absorbsiya) deb nimaga aytiladi?
27. Yutilish natijasida moddadan o'tadigan yorug'likning intensivligi o'zgaradimi?
28. Buger qonuni formulasi qanday?
29. Yutilish koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
30. Yutilish koeffitsiyenti nimalarga bog'liq?

## 12-§. Nurlanish va yutilish spektrlari. Spektral analiz. Spektroskop

Mazmuni: nurlanish spektri; yutilish spektri; Quyosh va yulduzlarning spektrlari; spektral analiz haqida tushuncha; spektral asboblari; spektral analizning qo'llanilishi.

**Nurlanish spektri.** Har qanday qizdirilgan modda o'zidan elektromagnit to'lqinlar chiqaradi. Bu to'lqinlar majmuasi *nurlanish spektri* deyiladi. Moddalarning holatiga va nurlanish mexanizmiga qarab nurlanish spektrlari ham turlicha bo'ladi.

Agar qizdirilgan qattiq jismdan chiqayotgan yorug'lik prizma orqali o'tkazilsa, ekranda yaxlit uzluksiz nurlanish spektri hosil bo'ladi.

Agar gaz yoki bug' yorug'lik manbayi bo'lib xizmat qilsa, spektrning manzarasi keskin o'zgaradi. Qorong'i sohalar bilan ajratilgan yorqin chiziqlar majmuasi kuzatiladi. Bunday spektrlar *chiziqli spektrlar* deyiladi. Natriy, vodorod va geliyning spektrlari chiziqli spektrlarga misol bo'la oladi (28- *a, b, d* rasmlar).

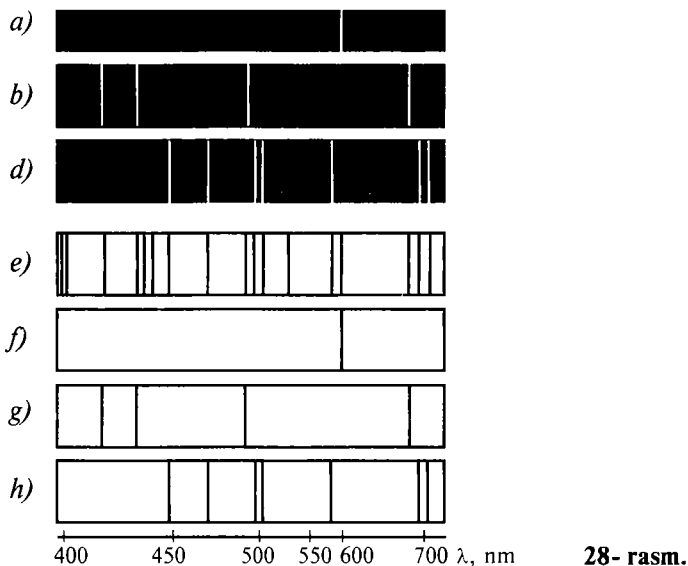
Nurlanayotgan gazlar spektrlarining ko'rinishi gazning kimyoviy tabiatiga bog'liq bo'ladi. Har bir gaz yoki bug' o'zigagina xos bo'lgan spektrlarga ega. Shuning uchun nurlanayotgan gazning spektriga qarab, uning kimyoviy tarkibini aniqlash mumkin.

Agar nurlanish manbayi bo'lib moddaning molekulasi xizmat qilsa, yo'l-yo'l spektr kuzatiladi.

**Yutilish spektrlari.** Yuqorida ko'rilgan nurlanish spektrlaridan tashqari yutilish spektrlari ham mavjud. Ular quyidagicha hosil qilinadi. Oq yorug'likni tekshirilayotgan modda orqali o'tkazib, spektrni aniqlaydigan asbobga yo'naltiriladi. Bunda yaxlit spektrda ma'lum tartibda joylashgan qora chiziqlar ko'rinadi. Bu chiziqlarning soni va joylashuvi tekshirilayotgan moddaning tarkibi to'g'risida mulohaza yuritishga imkon beradi. Misol uchun, oq yorug'likning yo'lida natriy bug'lari turgan bo'lsa, u holda nurlanish spektrida sariq chiziq turgan joyda, yutilish spektrida qora yo'l hosil bo'ladi (28- *a* va 28- *f* rasmlarni solishtiring). Ushbu hodisa Kirxgof tomonidan quyidagicha tushuntirildi. *Atom o'zidan qanday yorug'lik to'lqini nurlasa, shunday yorug'lik to'lqinini yutadi.*

28- *f, g, h* rasmlarda natriyning, vodorodning va geliyning yutilish spektrlari ko'rsatilgan. 28- *e* rasmda tarkibiga yuqoridagi moddalar kirishini isbotlovchi quyosh spektri keltirilgan.





28- rasm.

Biz kelgusida atomlarning nurlanishi va spektrlari haqidagi mulohazalarga yana qaytamiz.

**Quyosh va yulduzlarning spektrlari.** Quyosh va yulduzlar temperaturasi va rangiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: eng issiq yulduzlarning temperaturasi 100 000 K atrofida; havorang yulduzlarniki – 30 000 K; sariqlarini esa 6 000 K va eng sovuq yulduzlarniki 3 000 K atrofida bo'ladi. (Quyosh bizga eng yaqin joylashgan yulduz bo'lib, sirtining temperaturasi 6 000 K.)

Yulduzlar energiyasining manbayi ularning ichida 10 000 000 K temperaturada vodorodning geliyga aylanish reaksiyalaridir. Shuning uchun ham barcha yulduzlarning (shu jumladan, Quyoshning ham) atmosferasining asosiy qismini vodorod va geliy tashkil qiladi.

Yulduzlarning spektrlari ularning tarkibida vodorod va geliydan tashqari turli kimyoviy birikmalar va elementlar mavjudligini ko'rsatadi. Juda issiq yulduzlarning spektrlarida geliy va azotga xos bo'lgan yorqin chiziqlar ajralib tursa, sovuq yulduzlarning spektrlarida turli molekular birikmalarning yutilish yo'llari ko'proq bo'ladi.

Quyoshning spektri turli qora chiziqlar bilan kesilganini ko'rish mumkin (28- e rasm). Bu chiziqlar ularni birinchi bo'lib tavsiflagan kishining nomi bilan *Fraunhofer chiziqlari* deyiladi.

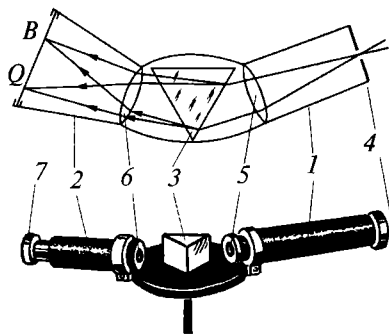
Kirxgofning fikriga ko'ra, bu chiziqlar Quyosh va Yer atmosferasi tarkibiga kiruvchi elementlarning yutilish spektrlaridir. Bu chiziqlarning spektrdagi o'rniga qarab, Quyosh nuri Quyosh atmosferasidan qanday moddalar orqali o'tganligini aniqlash mumkin.

Quyosh atmosferasida Yerdan mavjud elementlardan vodorod, natriy, kalsiy, temir va boshqa moddalar mavjudligi aniqlangan. Quyosh spektrini o'rganish o'sha paytgacha noma'lum bo'lgan element mavjudligini ko'rsatdi. Uni geliy (grekcha «gelios» — quyosh so'zidan olingan) deb nomladilar. 26 yil o'tgandan so'ng geliy Yerdan ham topildi.

**Spektral analiz haqida tushuncha.** Nurlanish va yutilish spektrlarini o'rganish moddalarning tarkibini aniqlashga imkon berishi haqida bayon qilindi. Shuningdek, spektral chiziqlarning yorqinligi mazkur elementning birikmadagi miqdorini aniqlashga imkon beradi. *Nurlanish va yutilish spektrlariga muvofiq moddaning kimyoviy tarkibini o'rganish usuli spektral analiz deyiladi.*

Misol uchun spektrda sariq chiziq bo'ladigan bo'lsa, bu o'rganilayotgan modda tarkibida natriy borligini ko'rsatadi. Agar spektrda oldin ma'lum bo'lmagan chiziq ko'rinssa, bu yangi element kashf qilinganligining isbotidir. Spektral analiz juda sezgir usul bo'lib, uning yordamida elementning  $10^{-10}$  g miqdorini ham aniqlash mumkin. Kimyoviy usullar bilan bunday kam miqdordagi moddani qayd qilishning mutlaqo iloji yo'q.

**Spektral asboblari.** Spektrning ko'rinish sohasini o'rganish uchun *spektroskop* deb ataluvchi asboblari ishlatiladi. Eng sodda spektroskop 29- rasmda ko'rsatilgan. Spektroskop kollimator — 1; prizmati ko'rish trubasi — 2; prizmati stolcha — 3; tirqish — 4; linza — 5; obyektiv — 6 va okular — 7 lardan tashkil topgan. Tirqishdan kelayotgan nur kollimator orqali linzaga tushadi. U prizmadan o'tishda turli ranglarga ajraladi va obyektiv, ko'rish trubasi orqali okular yordamida kuzatiladi.



29- rasm.

Spektrni fotoplastinkada qayd qilishga imkon beruvchi asbob *spektrograf* deb ataladi.

Yanada takomillashgan, ya'ni uchinchi truba bilan ta'minlangan asbob *spektrometr* deb ataladi.

**Spektral analizning qo'llanilishi.** Spektral analiz fan uchun muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, uning astronomiya uchun ahamiyati judayam katta. Osmon jismlarining tarkibi to'g'risida ma'lumot olishning yagona yo'li *spektral analizdir*. Bu usul bilan Quyoshning, yulduzlarning va yulduz turkumining tarkiblari o'rganilgan, D.I.Mendeleyev elementlar jadvalining 25 ta elementi kashf qilingan. Hozirgi paytda spektral analiz geologiyada, metallurgiyada, kimyoda, tibbiyotda va hatto oziq-ovqat sanoatida ham keng qo'llaniladi.



### **Sinov savollari**

1. Nurlanish spektri deb nimaga aytiladi?
2. Nurlanish spektrining qanday turlarini bilasiz?
3. Chiziqli spektr deb qanday spektrga aytiladi?
4. Nurlanish spektri gazning tabiatiga bog'liqmi?
5. Yutilish spektrlari qanday hosil bo'ladi?
6. Yutilish spektrining ko'rinishi qanday bo'ladi?
7. 28- *a* va *f* rasmlarni solishtiring.
8. Kirxgofning spektrlar haqidagi fikri qanday?
9. 28- *b* va *d*, 28- *g* va *h* rasmlarni solishtiring.
10. Quyosh va yulduzlarning spektrlari qanday?
11. Quyosh ham yulduzmi?
12. Yulduzlar rangiga qarab necha turga bo'linadi? Quyosh qaysi turga kiradi?
13. Yulduzlar energiyasining manbaysi nima?
14. Yulduzlar atmosferasining asosiy qismi qanday elementlardan iborat?
15. 28- *e* rasmni boshqa rasmlar bilan solishtirib tahlil qiling.
16. Fraunhofer chiziqlari deb qanday chiziqlarga aytiladi?
17. Fraunhofer chiziqlarini Kirxgof qanday tushuntirgan?
18. Quyoshning tarkibida Yerda mavjud bo'lgan qanday elementlar mavjud?
19. Geliy qanday kashf qilingan?
20. Spektral analiz yordamida moddaning tarkibini qanday aniqlash mumkin?
21. Bu usul bilan qancha miqdordagi moddani qayd qilish mumkin?
22. Spektroskop nima maqsadda ishlatiladi?
23. Spektrograf qanday asbob? Spektrometr-chi?
24. Spektral analizning ahamiyati.
25. Spektral analizning qo'llanilishiga misollar keltiring.

## **13-§. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi**

**Mazmuni:** elektromagnit to'lqinlar shkalasi; infraqizil nurlar; ultrabinafsha nurlar.

**Elektromagnit to'lqinlar shkalasi.** I qism, 103- § da elektromagnit to'lqinlar shkalasi haqida ma'lumot berilgan edi. O'shanda,

asosan, radioto'lqinlar haqida fikr yuritgan edik. Keyinchalik esa to'lqin uzunligi  $4,0 \cdot 10^{-7}$  m dan  $7,6 \cdot 10^{-7}$  m gacha bo'lgan, ko'zga ko'rinadigan yorug'lik to'lqinlarini o'rgandik. Elektromagnit to'lqinlar shkalasini o'rganishni davom ettirib, endi infraqizil va ultrabinafsha nurlarni o'rganamiz. Rentgen nurlari haqida keyingi mavzuda fikr yuritsak,  $\gamma$ -nurlarga keyingi boblarda to'xtalib o'tamiz.

**Infraqizil nurlar.** Infraqizil nurlar elektromagnit to'lqinlar shkalasida radioto'lqinlar va ko'zga ko'rinuvchi qizil yorug'lik o'rtasida joylashgan. Uning to'lqin uzunligi 2 mm dan 760 nm gacha oraliqda bo'ladi. Bu nurlarning chastotasi qizil nurnikidan kichikroq bo'lgani uchun *infraqizil*, ya'ni qizildan pastroq chastotali deb nomlangan. U 1800- yilda ingliz olimi V.Gershel tomonidan kashf qilingan bo'lib, juda katta energiyaga ega. Bu nurlar tushgan joyini juda qattiq qizdiradi va shu sababli unga *issiq nur* deb nom berilgan.

Volfram tolali cho'g'lanma va gaz to'ldirilgan turli xil lampalar infraqizil nurlarning manbai bo'ladi. Infraqizil nurning eng kuchli tabiiy manbai — Quyosh. Quyosh nurlarining qariyb yarmi infraqizil nurlardan tashkil topgan. Infraqizil nurlar inson va jonli organizmlarning to'qimalariga singib, barcha biologik jarayonlarning borishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Uning qishloq xo'jaligidagi ahamiyati ham katta. Shisha va shaffof plynokalardan o'tgan infraqizil nurlar parnik ichida issiqlik energiyasiga aylanadi (parnik effekti). Shuningdek, bu nurlar mevalar, sabzavotlar va boshqa narsalarni quritishda ham ishlatiladi. Narsalarning infraqizil tasvirlarini ko'rinuvchi tasvirlarga aylantiruvchi asboblardan ham mavjud. Infraqizil nurlar yordamida qorong'ilikdagi narsalarning joyini aniqlash mumkin. Infraqizil lazerlar Yerda va kosmosda aloqa o'rnatishda ham ishlatiladi.

**Ultrabinafsha nurlar.** Ultrabinafsha nurlar binafsha yorug'likdan keyin joylashgan bo'lib, to'lqin uzunligi 400 m dan 10 nm gacha oraliqda bo'ladi. (Ultrabinafsha so'zi binafshadan kattaroq chastotali, ya'ni to'q binafsha degan ma'noni anglatadi.)

Ultrabinafsha nurlar ko'zga ko'rinmaydi va shartli ravishda quyidagi turlarga bo'linadi: yaqin ultrabinafsha nurlar (400–200 nm to'lqin uzunlikli), 1801- yilda nemis fizigi I.Ritter va ingliz fizigi U.Vollastonlar tomonidan kashf qilingan; uzoq va vakuumli ultrabinafsha nurlar (200–10 nm) nemis fizigi

V.Shuman va ingliz fizigi T.Laymanlar tomonidan o'rganilgan.

3 000 K gacha qizdirilgan jismlar ultrabinafsha nurlar manbayi bo'ladi. Bunday manba vazifasini simobli, ksenonli va boshqa gazli lampalar, istalgan yuqori temperaturali plazma o'tashi mumkin. Quyosh, yulduzlar va boshqa fazoviy jismlar ultrabinafsha nurlarning tabiiy manbayi hisoblanadi.

Ultrabinafsha nurlar kuchli biologik ta'sirga ega. To'liq uzunligi 400–320 nm bo'lgan ultrabinafsha nurlar chiniqtiruvchi, sog'liqni mustahkamlovchi ta'sirga ega. Inson organizmida D vitamin hosil bo'lishiga yordam beradi. 320–280 nm li nurlar badanning qorayishiga olib kelsa, 280–250 nm li to'liqlar bakteriyalarni o'ldiruvchi ta'sir ko'rsatadi. Bu nurlarning yuqori dozasi ko'zning jarohatlanishi va terining kuyishiga olib keladi.

Ultrabinafsha nurlar Yer atmosferasi tomonidan kuchli yutiladi va shuning uchun ham baland tog' hududlarida o'rganiladi. Odatda, ular ultrabinafsha nurlarni ko'zga ko'rinuvchi nurlarga aylantiruvchi foto- va luminessensiyalanadigan materiallarda qayd qilib o'rganiladi.

Nurlanish va yutilish spektridagi ultrabinafsha nurlar sohasini o'rganish atomlar, molekular, ionlar va qattiq jismlarning elektron tuzilishini o'rganishga yordam beradi. Bu nurlarni o'rganish osmon jismlari haqida ma'lumot beradi. Ultrabinafsha nurlarning moddalarga ta'siridan kriminalistika va san'atshunoslikda keng foydalaniladi. Shuningdek, ultrabinafsha nurlar yordamida atmosferadagi turli zararli aralashmalarni ham aniqlash mumkin.



### *Sinov savollari*

1. Elektromagnit to'liqlar shkalasini tavsiflang.
2. Infraqizil nurlar deb qanday nurlarga aytiladi?
3. Infraqizil so'zi qanday ma'noni anglatadi?
4. Infraqizil nurlarning to'liq uzunligi qanday bo'ladi?
5. U kim tomonidan va qachon kashf qilingan?
6. Infraqizil nur qanday energiyaga ega?
7. Infraqizil nurlarning manbayi nima?
8. Infraqizil nurlarning biologik ta'siri qanday?
9. Uning qishloq xo'jaligidagi ahamiyati qanday?
10. Infraqizil nurlarning ishlatilishiga misollar keltiring.
11. Ultrabinafsha nurlarni ta'riflang.
12. Ultrabinafsha so'zi qanday ma'noni anglatadi?
13. Ultrabinafsha nurlar ko'zga ko'rinadimi? Uning turlarini aytib bering.
14. Ultrabinafsha nurlarning manbayi nima?
15. Uning biologik ta'siri qanday?
16. Ultrabinafsha nurlar nima uchun baland tog' zonalarida o'rganiladi?
17. Ultrabinafsha nurlarning ahamiyati nimadan iborat?

## 14-§. Rentgen nurlari va ularning tatbiqi

Mazmuni: rentgen nurlari; rentgen trubkasi; rentgen nurlari – elektromagnit to‘lqinlar; rentgen nurlarining qo‘llanilishi.

**Rentgen nurlari.** Nemis fizigi V. Rentgen 1895- yilda trubkada gazlarning elektr toki o‘tkazish jarayonini o‘rganayotib noma’lum nurni kashf etdi. Keyinchalik esa unga *rentgen nurlari* deb nom berishdi. Bu nurlar trubkaning katoddan chiqayotgan katta tezlikli elektronlar tushayotgan joyida yashil sifat nurlanish vujudga keltirishi natijasida qayd qilindi. Rentgen nurlarining oddiy nur uchun noshaffof hisoblanuvchi odam tanasi, qora qog‘oz, karton va yupqa metall qatlamlardan osongina o‘ta olish qobiliyatiga egaligi aniqlandi.

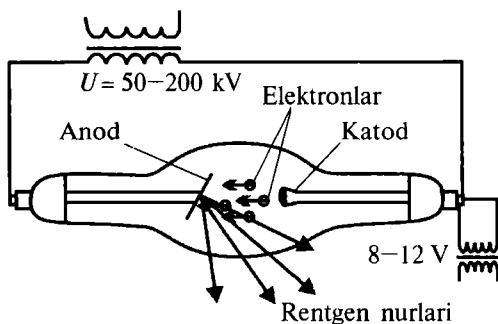
**Rentgen trubkasi.** Rentgen nurlarining vujudga kelish mexanizmini bilish uchun uni hosil qiladigan, *rentgen trubkasi* deb ataluvchi maxsus asbob bilan tanishaylik (30- rasm). Rentgen trubkasi ichidagi bosim 0,1 mPa atrofida bo‘lgan shisha ballondan iborat. Volframdan spiral ko‘rinishida yasalgan katod elektronlar manbayi bo‘lib xizmat qiladi. Termoelektron emissiya natijasida katoddan chiqayotgan elektronlar oqimi kuchli elektr maydonda tezlatiladi. Tezlashgan elektronlar oqimi 45° burchak ostida o‘rnatilgan og‘ir anodga tushadi. Anodning bunday joylash-tirilishiga sabab, undan chiqayotgan nurning yo‘nalishini boshqarishdir.

Tezlashtiruvchi maydonda  $E_k = \frac{mv^2}{2} = eU$  kinetik energiyaga ega bo‘lgan elektron anod moddasida tormozlanadi. Katta tezlikli elektronlarning anodda tormozlanishi natijasida rentgen nurlari vujudga keladi.

Tormozlanish natijasida vujudga keladigan rentgen nurlari uzluksiz, yaxlit spektrga ega. Chunki anodga urilayotgan elektronlarning tezliklari va demak, kinetik energiyalari ham turlicha. Shuni ta’kidlash lozimki, rentgen nurlarining energiyasi uni vujudga keltirgan elektronlarning energiyasidan katta bo‘la olmaydi.



V. RENTGEN  
(1845–1923)



30- rasm.

Rentgen nurlarining vujudga kelish mexanizmi bilan tanishdik, lekin bu nurning tabiati qanday, degan savolga hali javob bermadik.

**Rentgen nurlari – elektromagnit to‘lqinlar.** Rentgen nurlari elektromagnit to‘lqinlarmi, degan savol u kashf qilingan paytlar-dayoq paydo bo‘lgan. Lekin bu savolga javob berish uchun rentgen nurlarining to‘lqin xususiyatiga ega ekanligini isbotlash taqozo qilinadi. Shu maqsadda rentgen nurlarining tor tirqishdan bo‘ladigan difraksiyasini qayd qilish yo‘lidagi barcha urinishlar muvaffaqiyatsizlikka uchragan. Ammo 1912- yilda nemis fizigi M.Laue difraksion panjara sifatida kristallardan foydalanishni taklif qildi va kristallarda rentgen nurlarining difraksiyasi nazariyasini ishlab chiqdi. Chunki oralaridagi masofasi bir necha nanometr tartibida bo‘lgan va tugunlari yetarli darajada batartib joylashgan kristall juda yaxshi difraksion panjara vazifasini o‘tashi mumkin. V.Fridrix va P.Knipplinglar tomonidan o‘tkazilgan tajribalarda M.Laue nazariyasi to‘la tasdiqlanib, rentgen nurlarining difraksiyasi kuzatildi. Shunday qilib, rentgen nurlarining elektromagnit to‘lqin ekanligi isbotlandi. Rentgen nurlari elektromagnit to‘lqinlar shkalasida ultrabinafsha va  $\gamma$ - nurlar oralig‘ida joylashgan bo‘lib, to‘lqin uzunligi 100 nm dan  $10^{-5}$  nm gacha bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlardan iboratdir.

**Rentgen nurlarining qo‘llanilishi.** Rentgen nurlarining juda yaxshi singib (yutilmay) o‘tish qobiliyati, fotoplastinkaga ta’siri, moddalardan o‘tishda ionlashtirish qobiliyatiga egaligi uning fan va texnikada, amaliyotda keng qo‘llanilishiga imkon berdi. Rentgen nurlari eng ko‘p qo‘llaniladigan soha – rentgen defektoskopiyasi.

Bu usulning maqsadi rentgen nurlari yordamida buyumlardagi ichki kamchiliklarni va ularning o'rnini, kattaligini, tabiatini aniqlashdan iborat. Usulning mohiyati rentgen nurlarining turli zichlikdan o'tganda turlicha yutilishiga asoslangan. Manzarani fotoplastinkaga tushirib olish qulay usullardan hisoblanadi. Bu usul, ayniqsa, tibbiyotda (rentgenodiagnostika) juda keng qo'llaniladi.

Shuningdek, rentgen nurlari, aniqrog'i, bu nurlar vujudga keltiradigan difraksion manzara yordamida moddalarning tuzilishini, atomlarning joylashuvini aniqlash mumkin. Bu usul *rentgen struktura analizi* deyiladi.

Bundan tashqari, rentgen nurlari davolashda, mikroskoplarda, spektroskopiyada, spektral analizda, astronomiyada va boshqa bir qancha sohalarda juda keng qo'llaniladi.



### **Sinov savollari**

1. Rentgen nurlarini kim va qachon kashf qilgan? 2. U qanday kashf qilingan? 3. Uning qanday xususiyatlari aniqlangan? 4. Rentgen nurlari qanday hosil qilinadi? 5. 30- rasm-dagi manzarani tushuntirib bering. 6. Anod 45° burchak ostida o'rnatilishiga sabab nima? 7. Rentgen nurlari qanday vujudga keladi? 8. Tormozlanish rentgen nurlarining spektri qanday bo'ladi? 9. Nima uchun rentgen nurlarining energiyasi uni vujudga keltirgan elektronning energiyasidan katta bo'la olmaydi? 10. Rentgen nurlarining to'liq xususiyatga ega ekanligini isbotlash nima uchun zarur bo'ldi? 11. M.Laue taklifining mohiyati nima? 12. Lauening g'oyasi tajribada isbotlandimi? 13. Tajriba natijasidan qanday xulosa chiqarish mumkin? 14. Rentgen nurlarining to'liq uzunligi qanday? 15. Nima uchun oddiy tirqishda rentgen nurlarining difraksiyasi kuzatilmagan? 16. Rentgen nurlarining qanday xususiyatlari uning keng qo'llanilishiga imkon yaratdi? 17. Rentgen defektoskopiyasining mohiyati nimadan iborat? 18. Rentgen struktura analizi nimani aniqlashga imkon beradi? 19. Rentgen nurlaridan yana qayerlarda foydalaniladi? 20. Rentgen nurlaridan foydalanilgan va o'zingiz bevosita ishtirok etgan uchta misol keltiring.



### **Masala yechish namunalari**

**1- masala.** Interferensiyaga kiruvchi nurlarning optik yo'l farqi  $1,9 \cdot 10^{-6}$  m bo'lsin. Unda ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik uchun ( $7,6 \cdot 10^{-7}$  m dan  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m gacha): 1) maksimal kuchaytirilgan; 2) maksimal susaytirilgan to'liq uzunliklar aniqlansin.



**Berilgan:**

$$\delta = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ m};$$

$$\lambda_1 = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ m};$$

$$\lambda_2 = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

**Yechish.** 1. Interferensiya natijasida maksimal kuchayuvchi yorug'lik to'liqlari quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\delta = k\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

Bundan

$$1) \lambda_{\max} = ?$$

$$2) \lambda_{\min} = ?$$

$$\lambda = \frac{\delta}{k}. \quad (2)$$

(2) ifodaga kattaliklarning son qiymatlarini qo'yish  $k$  ning  $k = 3, k = 4, k = 5$  qiymatlaridagina to'liqin uzunliklari so'ralgan oraliqda yotishini ko'rsatadi:

$$\lambda_{\max} = \frac{1,9 \cdot 10^{-6}}{3} = 6,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad (k = 3);$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1,9 \cdot 10^{-6}}{4} = 4,75 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad (k = 4);$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1,9 \cdot 10^{-6}}{5} = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad (k = 5).$$

2. Interferensiya natijasida maksimal susayuvchi yorug'lik to'liqlari quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

bundan

$$\lambda = \frac{2\delta}{2k+1}. \quad (4)$$

Kattaliklarning qiymatlarini (4) ga qo'yish  $k$  ning  $k = 2, k = 3, k = 4$  qiymatlari uchungina to'liqin uzunliklari so'ralgan oraliqda yotishini ko'rsatadi:

$$\lambda_{\min} = \frac{2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 2 + 1)} \text{ m} = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad (k = 2);$$

$$\lambda_{\min} = \frac{2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 3 + 1)} \text{ m} = 5,43 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad (k = 3);$$

$$\lambda_{\min} = \frac{2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 4 + 1)} \text{ m} = 4,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad (k = 4).$$

Javob:

$$1. \lambda_{\max} = 6,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \lambda_{\max} = 4,75 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \lambda_{\max} = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m};$$

$$2. \lambda_{\min} = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \lambda_{\min} = 5,43 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \lambda_{\min} = 4,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

**2 - masala.** Kengligi 2 sm va davri  $5 \cdot 10^{-6}$  m bo'lgan difraksion panjara qizil nur uchun ( $\lambda = 7 \cdot 10^{-7}$  m) ikkinchi tartibli spektrda ( $k = 2$ ), qanday to'liq uzunliklarni ajrata olishi mumkin?

**Berilgan:**

$$s = 2 \text{ sm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m};$$

$$d = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m};$$

$$\lambda = 7 \cdot 10^{-7} \text{ m};$$

$$k = 2.$$

**Yechish.** Panjaraning ajrata olish qobiliyati quyidagicha aniqlanadi:

$$kN = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (1)$$

---

$$\Delta\lambda = ? \quad \text{bundan} \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda}{k \cdot N}. \quad (2)$$

Bu yerda

$$N = \frac{s}{d} \quad (3)$$

– difraksion panjaradagi shtrixlar soni,  $d$  – panjara doimiysi.

(3) ni hisobga olib, (2) ni qayta yozamiz:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda \cdot d}{k \cdot s}. \quad (4)$$

Kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib topamiz:

$$\lambda = \frac{7 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \text{ m} = 0,875 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

$$\text{Javob: } \Delta\lambda = 0,875 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

**3 - masala.** Yorug'likning havodan osh tuzi kristaliga tushishidagi Bryuster burchagi  $57^\circ$ . Yorug'likning shu kristaldagi tezligi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$i_B = 57^\circ;$$

$$n_1 = 1$$

**Yechish.** Bryuster qonuniga muvofiq:

$$\text{tg } i_B = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1)$$

---

$$v_2 = ?$$

Agar  $n_1 = 1$  va  $n_2 = \frac{c}{v_2}$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$\operatorname{tg} i_B = \frac{c}{v_2} \quad (2)$$

ni hosil qilamiz. Bu yerda  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  – yorug'likning bo'shliqdagi tezligi.

(2) ifodadan  $v_2$  ni topamiz:

$$v_2 = \frac{c}{\operatorname{tg} i_B}. \quad (3)$$

Kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib hisoblaymiz:

$$v_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{\operatorname{tg} 57^\circ} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

J a v o b:  $v_2 = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



### Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Agar yoritilganlik  $100\,000 \text{ lx}$  bo'lsa, quyoshli kunda  $100 \text{ sm}^2$  li yuzaga qanday yorug'lik oqimi tushadi? ( $\Phi = 1000 \text{ lm.}$ )
2. Yorug'lik nuri dielektrikdan vakuumga o'tadi. To'la qaytish burchagi  $42^\circ$  ga teng. Yorug'likning dielektrikdagi tezligi aniqlansin. ( $v_2 = 2,02 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$ )
3. Yorug'lik nuri havodan shishaga ( $n = 1,5$ ) yo'naltirilgan. Qaytgan va singan nurlar orasidagi burchak  $90^\circ$  ga teng bo'lsa, tushish va yutish burchaklari topilsin. ( $i_1 = 56^\circ$ ,  $i_2 = 34^\circ$ .)
4. Spirt uchun to'la qaytish burchagi  $47^\circ$  ga teng. Spirtning sindirish ko'rsatkichi topilsin. ( $n \approx 1,4$ .)
5. To'lqin uzunligi  $0,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  bo'lgan monoxromatik nurning parallel dastasi  $61^\circ 10'$  burchak ostida havodagi sovun pufagiga tushdi. Agar kuzatish qaytayotgan yorug'lik uchun olib borilsa, pufakning qanday qalinligida interferensiya yo'llari kuzatiladi? ( $d = 0,13 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$ )
6. Kengligi  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  bo'lgan tirqishga  $0,589 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  to'lqin uzunlikli monoxromatik yorug'lik perpendikular tushmoqda. Yorug'lik maksimumi kuzatiladigan barcha burchaklar aniqlansin. ( $\varphi_1 = 26^\circ$ ;  $\varphi_2 = 47^\circ 24'$ .)

7. Har bir millimetrida 500 ta shtrixi (tirqishi) bo'lgan difraksion panjaraga  $0,5 \cdot 10^{-6}$  m to'liq uzunlikli yassi monoxromatik to'liq tushmoqda. Agar nurlar tikka tushayotgan bo'lsa, spektrning kuzatish mumkin bo'lgan eng katta tarkibiy qismi aniqlansin. ( $k_{\max} = 4$ .)
8. Quyoshdan kelayotgan yorug'lik nuri ko'l sirtidan qaytayotganda maksimal qutblangan bo'lishi uchun Quyosh gori-zontga nisbatan qanday burchak ostida bo'lishi kerak? ( $\gamma = 37^\circ$ .)

### Test savollari

1. Yorug'likning to'liq uzunligi deb, yorug'lik ... aytiladi.  
 A. Ma'lum vaqt ichida bosib o'tgan yo'lga.  
 B. Bir davrga o'tadigan masofaga.  
 C. Uzluksiz tarqalgan nurga.  
 D. Juda kichik vaqt oralig'idagi masofaga.
2. Yorug'lik qanday tabiatlarga ega?  
 A. Korpuskular.      B. To'liq.      C. Elektromagnit.  
 D. Difraksiya.      E. To'g'ri javob A va B.
3. Yorug'lik manbayidan fazoviy burchak bo'ylab tarqalayotgan yorug'lik oqimining shu fazoviy burchakka nisbati bilan aniqlanadigan fizik kattalikka nima deyiladi?  
 A. Yorug'lik oqimi.      B. Fotometriya.      C. Yoritilganlik.  
 D. Yorug'lik kuchi.      E. Nurlanish oqimi.
4. Yorug'lik oqimining SI sistemasidagi birligi nima?  
 A. Luks.    B. Lumen.    C. Kandela.    D. Sham.    E. Steradian.

### Bobning asosiy xulosalari

Yorug'lik to'liqini uzunligi  $4,0 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan elektromagnit to'liqlardan iborat.

Yorug'likning tezligi chekli bo'lib, u vakuumda  $c = 300000$  km/s =  $10^8$  m/s tezlik bilan harakatlanadi.

Yorug'lik nuri deganda, yorug'lik energiyasi tarqaladigan yo'nalish tushuniladi.

Muhitning absolut sindirish ko'rsatkichi  $n$  yorug'likning bo'shliqdagi tezligi  $c$  ning shu muhitdagi tezligi  $v$  ga nisbati kabi aniqlanadi, ya'ni  $n = \frac{c}{v}$ .

Yupqa linza formulasi:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ .

**Gyuygens prinsipi:** muhitning yorug'lik to'liqini yetib borgan har bir nuqtasi ikkilamchi to'liqlarning nuqtaviy manbayi bo'ladi.

*Kogerent to'liqlar* deb, chastotalari (to'liqin uzunliklari) teng va fazalarining farqi o'zgarmas bo'lgan to'liqlarga aytiladi.

*Yorug'lik interferensiyasi* deb, ikki (yoki bir necha) kogerent yorug'lik to'liqlarining qo'shilishi natijasida yorug'lik oqimining fazoda qayta taqsimlanishiga, ya'ni ba'zi joylarda maksimum va boshqa joylarda minimum intensivliklarning vujudga kelishiga aytiladi.

Yorug'lik to'liqlarining to'siqni aylanib o'tishi va geometrik soya tomonga og'ishiga *yorug'lik difraksiyasi* deyiladi.

*Qutblangan yorug'lik* deb, yorug'lik vektori tebranish yo'nalishining tekis taqsimoti biror usul bilan o'zgartirilgan yorug'likka aytiladi.

Malyus qonuni:  $I = I_0 \cos^2 \alpha$ .

Bryuster qonuni:  $\text{tg } i_B = n_{21}$ .

*Dispersiya* deb, muhit sindirish ko'rsatkichining yorug'lik to'liqin uzunligiga (chastotasiga) bog'liqligiga aytiladi.

*Nurlanish* deb, qizdirilgan modda o'zidan chiqaradigan elektromagnit to'liqlar majmuasiga aytiladi.

Atom o'zidan qanday yorug'lik to'liqinini nurlasa, shunday yorug'lik to'liqinini yutadi.

Nurlanish va yutilish spektrlariga muvofiq, moddaning kimyoviy tarkibini o'rganish usuliga *spektral analiz* deyiladi.

Rentgen nurlari — to'liqin uzunliklari 100 mm dan  $10^{-5}$  km gacha bo'lgan elektromagnit to'liqlardan iboratdir.



Biz fizikani klassik mexanikani o'rganishdan boshlagan edik. Klassik mexanika tezliklari yorug'likning vakuumdagi tezligidan juda kichik bo'lgan makrojismlarning harakat qonunlarini o'rganadi, deb qayd etilgan edi. Unda tezliklari yorug'likning vakuumdagi tezligiga yaqin bo'lgan jismlarning harakat qonunlari qanday bo'ladi? Ular klassik fizika qonunlaridan farq qiladimi, yo'qmi? Ushbu va yana tug'iladigan bir qancha savollarga javob topish maqsadida, fizikaning eng qiziqarli bo'limlaridan biri bo'lgan, fazo, vaqt, materiya va harakat kabi tushunchalar haqidagi tasavvurlarni keskin o'zgartirib yuborgan va 1905- yilda A. Eynshteyn tomonidan yaratilgan «Maxsus nisbiylik nazariyasi asoslari» bilan tanishishga kirishamiz .

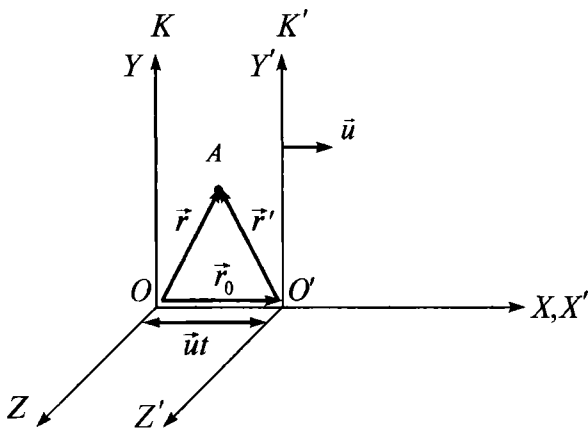
## 15-§. Nisbiylik nazariyasi asoslari

**M a z m u n i :** Galileyning nisbiylik prinsipi; koordinatalar uchun Galiley almashtirishlari; tezlik va tezlanishni almashtirish; klassik mexanikada invariant kattaliklar.

**Galileyning nisbiylik prinsipi.** Moddiy nuqtaning harakati makon va zamonda o'rganiladi, bu vazifani esa dekart koordinata sistemasi va unga biriktirilgan soat majmuasi o'taydi deb qayd etilgan edi. Agar sanoq sistemalari bir-biriga nisbatan tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan va ularning birortasida Nyuton dinamikasi qonunlari o'rinli bo'lsa, unda bu sistemalar inersial sanoq sistemalari bo'ladi.

Barcha inersial sanoq sistemalarida klassik dinamikaning qonunlari bir xil shaklga ega. Bu prinsip mexanikada *nisbiylik prinsipi* yoki Galileyning *nisbiylik prinsipi* deyiladi.

**Koordinatalar uchun Galiley almashtirishlari.** Ushbu prinsipning g'oyasini tushunish uchun bir-biriga nisbatan  $\vec{u}$  ( $\vec{u} = const$ ) tezlik bilan to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan  $K$  (o'qlari  $x, y, z$ ) va  $K'$  (o'qlari  $x', y', z'$ ) koordinata sistemalarini qaraymiz. Soddalik uchun  $K'$  sistema  $K$  ga nisbatan  $x$  o'qi bo'ylab



31- rasm.

harakatlanayotgan holni ko'raylik (31- rasm). (Buning hech bir qiyinchiligi yo'q, chunki koordinata sistemalarini masalani yechish uchun qulay qilib tanlash bizning o'zimizga bog'liq). Vaqtni hisoblashni koordinata o'qlarining boshlari ustma-ust tushgan momentdan boshlaymiz. Biror  $t$  vaqt o'tgandan keyin sistemalar 31- rasmda ko'rsatilgandek joylashsin. Bu vaqt davomida  $K'$  sistema  $K$  ga nisbatan  $x$  o'qi yo'nalishida  $\vec{r}_0 = \vec{u}t$  vektorga ko'chadi. Endi  $A$  nuqtaning har ikkala sistemadagi koordinatalari orasidagi bog'lanishni topaylik. 31- rasmdan ko'rinib turibdiki,

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_0 = \vec{r}' + \vec{u}t. \quad (15.1)$$

Tenglikni koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari yordamida yozamiz:

$$\begin{aligned} x &= x' + ut, \\ y &= y', \\ z &= z', \end{aligned} \quad (15.2)$$

bu yerda harakat  $x$  o'qi yo'nalishida bo'lganligi uchun  $u_x = u$ ,  $u_y = 0$ ,  $u_z = 0$  ekanligini e'tiborga oldik. Yozilgan tenglamalar *koordinatalar uchun Galiley almashtirishlari* deyiladi. Agar klassik mexanikada vaqtning o'tishi sanoq sistemasining harakatiga bog'liq emasligini e'tiborga olsak, unda yuqoridagi tenglamalarga  $t = t'$  ni ham qo'shish mumkin. Unda Galiley almashtirishlari quyidagi ko'rinishni oladi. Shunday qilib,  $K' \rightarrow K$  uchun

$$\begin{aligned}
 x &= x' + ut, \\
 y &= y', \\
 z &= z', \\
 t &= t'.
 \end{aligned}
 \tag{15.3}$$

**Tezlik va tezlanishni almashtirish.** Moddiy nuqtaning bir sanoq sistemasidagi tezligi  $\bar{v}'$  ni bilgan holda uning ikkinchi sanoq sistemasidagi tezligi  $\bar{v}$  ni aniqlash muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Masalan,  $\bar{u}$  tezlik bilan harakatlanayotgan poyezd ichida  $\bar{v}'$  tezlik bilan yurayotgan odamning vokzaldagi kuzatuvchiga nisbatan tezligi  $\bar{v}$  quyidagicha aniqlanadi (I-qism, 3.6 ga qarang)

$$\bar{v} = \bar{v}' + \bar{u}.
 \tag{15.4}$$

Bu ifoda klassik mexanikada tezliklarni qo'shish qoidasini ifodalaydi.

Shuningdek,  $A$  nuqtaning har ikkala sanoq sistemasidagi tezlanishi bir-biriga teng:

$$\bar{a} = \bar{a}'.
 \tag{15.5}$$

Shunday qilib, agar  $K$  sistemada  $A$  nuqtaga hech qanday kuch ta'sir etmasa ( $\bar{a} = 0$ ), unda  $K'$  sistemada ham unga hech qanday kuch ta'sir etmaydi ( $\bar{a} = \bar{a}' = 0$ ).

**Klassik mexanikada invariant kattaliklar.** Invariant so'zi lotincha bo'lib, *invariantis* — o'zgarmaydigan degan ma'noni anglatadi. Klassik mexanikada qanday kattaliklar bir sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tganda o'zgarmaydi? (15.5) munosabatning ko'rsatishicha: **bir sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tganda klassik dinamika tenglamalari o'zgarmaydi, ya'ni ular koordinatalar o'zgarishiga nisbatan invariantdir.**

Demak, (15.5) ifoda mexanikada nisbiylik prinsipining isboti bo'lib, mexanik jarayonlar barcha inersial sanoq sistemalarida bir xilda ro'y berishini ko'rsatadi. Galiley iborasi bilan aytganda, inersial sanoq sistemasining ichida o'tkazilgan hech qanday mexanik tajriba uning tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotganligini aniqlashga imkon bermaydi. Misol uchun to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan poyezd kupesida turib, derazadan nigoh tashlamaguncha, poyezdning tinch turganligi yoki harakat qilayotganligini aniqlay olmaymiz.



Shuningdek, klassik mexanikada vaqt  $t = t'$  va kesmaning uzunligi  $l = x_2 - x_1 = (x_2' + ut) - (x_1' + ut) = (x_2' - x_1') = l'$  invariant kattaliklardir.



### **Sinov savollari**

1. Maxsus nisbiylik nazariyasida qanday harakat o'rganiladi?
2. Inersial sanoq sistemasi deb qanday sistemalarga aytiladi?
3. Galileyning nisbiylik prinsipi deb nimaga aytiladi?
4. Koordinatalar uchun Galiley almashtirishlari.
5. Nima uchun harakat  $x$  o'qi yo'nalishida deb tanlab oldik?
6. Klassik mexanikada tezliklarni qo'shish qoidasi.
7. Klassik mexanikada tezlanishni almashtirish qoidasi.
8. Agar  $K$  sistemada jismga kuch ta'sir etmasa,  $K'$  da ta'sir etadimi?
9. Invariant kattaliklar deb qanday kattaliklarga aytiladi?
10. Klassik mexanikada qanday kattaliklar invariant kattaliklar bo'ladi?
11. Inersial sanoq sistemasi ichida o'tkazilgan tajriba sistemaning tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat holatida ekanligini aniqlashga imkon beradimi?
12. Klassik mexanikada yana qanday invariant kattaliklar bor?

## **16-§. Eynshteynning nisbiylik nazariyasi postulatları**



**A. EYNSHTEYN**  
(1879 – 1955)

**M a z m u n i:** tezliklarni qo'shish; A.Eynshteynning xulosasi; maxsus nisbiylik nazariyasining postulatları.

**Tezliklarni qo'shish.** Tezliklari yorug'likning bo'shliqdagi tezligidan juda kichik bo'lgan ( $v \ll c$ ) makrojismlarning harakatini ajoyib tarzda tushuntirib bera olgan Nyuton mexanikasi XIX asrning oxirlaridan boshlab ba'zi qiyinchiliklarga duch kela boshladi. Ularning eng oddiyisi tezliklarni qo'shish formulasi (15.4) da namoyon bo'ldi.

Agar yorug'lik manbayi va uni qabul qiluvchi bir-birlariga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan bo'lsa, unda o'lgangan tezlik ularning bir-birlariga nisbatan harakatlariga bog'liq bo'lishi kerak. Misol uchun biz tomonga yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan ( $u = c$ ) yaqinlashib kelayotgan parovoz yoritgichidan chiqayotgan yorug'likning ( $v' = c$ ) bizga nisbatan tezligi ( $v$ ) nimaga teng bo'ladi? (15.4) ifodaga muvofiq

$$v = v' + u = c + c = 2c,$$

ya'ni yorug'likning bizga nisbatan tezligi uning vakuumdagi tezligidan ikki marta katta bo'lishi kerak. Tajribalar bu natijaning mutlaqo noto'g'riligini ko'rsatdi.

**A. Eynshteynning xulosasi.** Mavjud muammoni hal etish haqida chuqur mulohaza yuritgan A. Eynshteyn shunday yangi mexanikani yaratmoq kerakki, uning qonunlari chegaraviy hol, ya'ni kichik tezliklar holida ( $v \ll c$ ) klassik mexanika qonunlari bilan mos kelsin degan xulosaga keldi.

Fazo va vaqtning uyg'unligi haqida yangicha tasavvurlar yuritish zarurligini tushungan A. Eynshteyn 1905- yilda «Harakatlanuvchi muhitning elektrodinamikasi» nomli ishini e'lon qildi. Ishda maxsus nisbiylik nazariyasining asoslari bayon qilingan edi. Maxsus so'zi, nazariyada, faqatgina inersial sanoq sistemalarida ro'y beradigan hodisalargagina qaralishini ta'kidlaydi. Shu bilan birga, maxsus nisbiylik nazariyasida fazo va vaqtning xususiyatlari: fazoning bir jinsliliigi va izotropligi, vaqtning bir jinsliliigi asos qilib olingan. Maxsus nisbiylik nazariyasini ko'pincha relativistik nazariya, uning effektlarini esa relativistik effektlar ham deb atashadi.

**Maxsus nisbiylik nazariyasining postulatlarini.** 1905- yilda A. Eynshteyn tomonidan yozilgan quyidagi ikkita postulat (isbotsiz qabul qilinadigan ta'kid) maxsus nisbiylik nazariyasining asosini tashkil qiladi:

**I. Nisbiylik prinsipi.** Inersial sanoq sistemasining ichida o'tkazilgan hech qanday (mexanik, elektrik, optik bo'lishidan qat'i nazar) tajriba ushbu sistema tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotganligini aniqlashga imkon bermaydi; tabiatning barcha qonunlari bir inersial sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tishga nisbatan invariantdir.

**II. Yorug'lik tezligining invariantlik prinsipi.** Yorug'likning vakuumdagi tezligi, yorug'lik manbayining ham, kuzatuvchining ham harakat tezligiga bog'liq emas va barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil.

Ushbu postulatlariga ba'zan *Eynshteyn postulatlarini* ham deyiladi.



### *Sinov savollari*

1. Klassik mexanikadagi tezliklarni qo'shish formulasi yorug'lik tezligiga yaqin tezliklar uchun o'rinlimi? 2. A. Eynshteynning xulosasi. 3. U

maxsus nisbiylik nazariyasini qachon e'lon qildi? 4. „Maxsus“ so'zi nimani anglatadi? 5. Relativistik nazariya deb qanday nazariyaga aytiladi? Relativistik effekt deb-chi? 6. Postulat so'zi nimani anglatadi? 7. Eynshteynning birinchi postulati? 8. Eynshteynning ikkinchi postulati.

## 17-§. Lorens almashtirishlari va ularning natijalari

**Mazmuni:** koordinatalar uchun Lorens almashtirishlari; koordinatalar uchun Lorens almashtirishlaridan chiqadigan xulosalar; uzunlikning nisbiyligi; vaqt intervalining nisbiyligi; vaqt intervali nisbiyligining natijalari.

**Koordinatalar uchun Lorens almashtirishlari.** Istalgan  $K'$  inersial sanoq sistemasida ro'y bergan hodisaning koordinatalari  $(x', y', z', t')$  lar orqali shu voqeaning  $K$  sistemadagi koordinatalari  $(x, y, z, t)$  larni topish kerak bo'lsin.  $K'$  sistema  $K$  ga nisbatan  $x$  o'qi yo'nalishida  $\bar{u} = \text{const}$  tezlik bilan harakatlanmoqda. Bu masala klassik mexanikada *Galiley almashtirishlari* (15.3) yordamida yechiladi.

Ammo (15.3) ifoda yorug'lik signali cheksiz katta tezlik bilan tarqaladi, degan mulohaza asosida hosil qilingan. Maxsus nisbiylik nazariyasida yorug'lik tezligi chekli ekanligi qayd etilgandan so'ng koordinatalar uchun yangi almashtirish formulalarini yozishga to'g'ri keldi. Bu formulalar koordinatalar uchun *Lorens almashtirishlari* deyiladi va ular quyidagi ko'rinishga ega. Almashtirishlar ularni yozgan niderlandiyalik fizik X. Lorens (1853 — 1928) sharafiga shunday nomlangan:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \\ y = y'; \\ z = z'; \\ t = \frac{t' + \left(\frac{u}{c^2}\right) \cdot x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \end{array} \right. \quad (17.1)$$

Bu yerda  $\beta = \frac{u}{c}$  belgilash kiritilgan. Klassik va relativistik

mexanikadagi almashtirish formulalarini taqqoslash uchun ularni bitta jadvalda jamlaymiz.

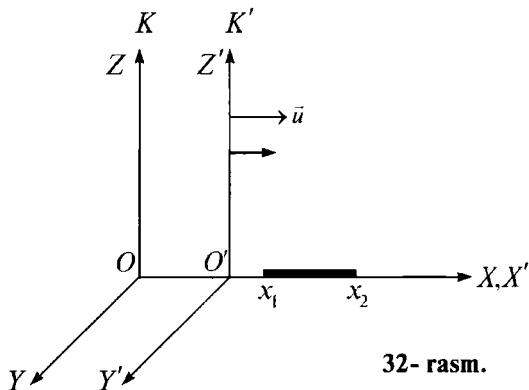
$K' \rightarrow K$ o'tish uchun	
Galiley almashtirishlari	Lorens almashtirishlari
$x = x' + ut$	$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$
$y = y'$	$y = y'$
$z = z'$	$z = z'$
$t = t'$	$t = \frac{t' + \left(\frac{u}{c^2}\right) \cdot x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

**Koordinatalar uchun Lorens almashtirishlaridan kelib chiqadigan xulosalar.** Jadvalda keltirilgan Galiley va Lorens almash-tirishlarini taqqoslab quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

1)  $u \ll c$  ( $\beta \approx 0$ ) da Lorens almashtirishlari Galiley almash-tirishlariga o'tadi, ya'ni maxsus nisbiylik nazariyasi klassik me-xanikani inkor etmaydi, balki uni kichik tezliklar  $u \ll c$  uchun xususiy hol sifatida e'tirof etadi;

2) Lorens almashtirishlarining ko'rsatishicha,  $u$  yorug'lik tezligi  $c$  ga teng ham, undan katta ham bo'lishi mumkin emas. Aks holda ildiz ostidagi ifoda nolga teng bo'lib qoladi.  $u > c$  da esa  $u$  manfiy son bo'lib, Lorens almashtirishlari o'z ma'nosini yo'qotadi. Shuning uchun ham yorug'likning vakuumdagi tezligi eng katta tezlik va unga erishish mumkin emas deb e'tirof etiladi;

3) Galiley almashtirishlari uchun absolut hisoblangan vaqt oralig'i va masofa relativistik mexanikada bunday xususiyatini yo'qotadi. Boshqacha aytganda, klassik mexanikada ikkita voqea orasidagi masofa va ular orasidagi vaqt bir inersial sanoq siste-masidan boshqasiga o'tganda o'zgarmay qolsa, relativistik me-xanikada bu qoida buziladi. Bunday xulosa chiqarishimizga sabab, koordinatani topish formulasida vaqt, vaqtni topish formulasida esa koordinataning ishtirok etayotganligidir.  $x$  ni topish formulasida  $t'$ ,  $t$  ni topish formulasida esa  $x'$  ishtirok etgan. Shunday qilib, Eynshteyn nazariyasi, uch o'lchamli fazo va unga qo'shilgan



vaqtdan iborat koordinata sistemasida emas, balki fazo+vaqtdan iborat to'rt o'lchamli fazoda o'rinalidir. Bu bilan relativistik mexanika fazo va vaqt orasida yangicha uyg'unlik mavjudligini ta'kidlaydi.

**Uzunlikning nisbiyligi.**  $K'$  sistemaga nisbatan tinch turgan,  $x'$  o'qi bo'ylab joylashgan tayoqchani qaraymiz.  $K'$  sistemada tayoqchanning uzunligi  $l_0 = x'_2 - x'_1$  bo'ladi, bu yerda  $x'_1$  va  $x'_2$  — tayoqchanning  $K'$  sanoq sistemasida  $t'$  dagi koordinatalari, 0 indeks tayoqchanning  $K'$  sistemada tinch turishini ifodalaydi (32- rasm). Tayoqcha va  $K'$  sistema  $K$  sistemaga nisbatan  $u$  tezlik bilan harakatlanadi.  $K$  sistemada tayoqcha uzunligini aniqlaylik. Buning uchun  $t$  paytda tayoqchanning  $K$  sistemadagi uchlarning koordinatalari  $x_1$  va  $x_2$  larni o'lchash kerak. Ularning farqi  $l = x_2 - x_1$  shu  $K$  sistemada tayoqcha uzunligini beradi. Lorens almashtirishlaridan foydalanib topamiz.

$$l_0 = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{x_1 - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

yoki

$$l_0 = \frac{l}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (17.2)$$

Topilgan ifoda haqida mulohaza yuritish uchun maxrajdagi kattalikni baholaylik:  $v < c$  bo'lganligi uchun  $\frac{v}{c} < 1$  bo'ladi. Birdan kichik sonning kvadrati ham birdan kichik  $\left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{v^2}{c^2} < 1$ . Birdan

undan kichik sonni ayirsak, natija ham birdan kichik bo'ladi:

$$1 - \frac{v^2}{c^2} < 1. \text{ (Bu ifodaning nolga teng yoki noldan kichik bo'la}$$

olmasligi ma'lum.) Bu sondan kvadrat ildiz olinsa, natija ham birdan kichik bo'ladi:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \beta^2} < 1. \quad (17.3)$$

$l$  ni birdan kichik songa bo'lsak (albatta, birdan kichik, noldan katta), natija bo'linuvchidan katta bo'lishi ma'lum. Demak,

$\frac{l}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  ifoda  $l$  dan kattaroq bo'lishi kerak. Bundan

$$l_0 > l \quad (17.4)$$

bo'lar ekan. Shunday qilib, tayoqchanning o'zi tinch turgan sanoq sistemasi  $K'$  dagi uzunligi  $l_0$ , u harakatlanayotgan  $K$  sanoq sistemasidagi uzunligi  $l$  ga nisbatan kattaroq bo'lib chiqdi. Yoki go'yoki tayoqcha harakatlanayotgan sistemada uning uzunligi qisqargandek bo'ldi. Inersial sanoq sistemasiga nisbatan harakatlanayotgan tayoqchanning uzunligi harakat

yo'nalishi bo'ylab  $\sqrt{1 - \beta^2}$  marta qisqarar ekan. Bu qisqarish uzunlikning *Lorens qisqarishi* deyiladi. Harakat tezligi  $u$  qancha katta bo'lsa, qisqarish ham shuncha katta bo'ladi.

Demak, klassik fizikada absolut bo'lgan, ya'ni barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil bo'lgan tayoqcha uzunligi maxsus nisbiylik nazariyasida nisbiy, ya'ni turli inersial sanoq sistemalarida turlicha bo'lib chiqdi.

**Vaqt intervalining nisbiyligi.**  $K$  sistemada tinch turgan biror nuqtada (koordinatasi  $X$ ) biror hodisa ro'y bersin. Hodisa  $t_1$  vaqtda boshlanib,  $t_2$  vaqtda tugasin (soatning hodisa boshlangan va tugagan vaqtdagi ko'rsatkichlari). Hodisaning davom etish intervali  $t = t_2 - t_1$  ga teng bo'ladi. Shu hodisa  $K'$  sistemada

$$t' = t'_2 - t'_1 \quad (17.5)$$

vaqt davom etadi.  $t$  va  $t'$  bir-biri bilan quyidagicha bog'langan;

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (17.6)$$

Oldingi banddagi mulohazalarimizga asosan (17.3) ni nazarga olsak  $t' > t$  bo'lishini ko'ramiz. Demak,  $K$  sistemadagi soat yordamida hisoblangan  $t$  vaqt intervali  $K'$  sistemadagi soat bilan ish ko'ruvchi kuzatuvchi nuqtayi nazaridan  $t$  ga nisbatan uzoqroq davom etadi. Boshqacha aytganda, inersial sanoq sistemasiga nisbatan harakatlanayotgan soat tinch turgan soatga nisbatan sekinroq yuradi, ya'ni soat yurishi sekinlashadi.

Shunday qilib, klassik mexanikada absolut bo'lgan vaqt intervali, maxsus nisbiylik nazariyasida nisbiy tushunchaga aylanadi.

**Vaqt intervali nisbiyligining natijalari.** Soat yurishining sekinlashuvi haqidagi relativistik effekt ma'lum bo'lgandan so'ng «egizaklar paradoksi» muammosi vujudga keldi (*paradoks* — g'ayritabiiy fikrni anglatadi). Yerdan 500 yorug'lik yili masofasida bo'lgan yulduzga (yorug'lik yulduzdan Yergacha 500 yilda yetib keladi) yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan  $\sqrt{1 - \beta^2} = 0,001$  fazoviy parvoz uyushtirilayotgan bo'lsin. Yerdagi soat yordamida hisoblanganda bu parvoz  $t = 1000$  yil davom etadi. Kosmonavt uchun esa  $t = \sqrt{1 - \beta^2} \cdot t' = 0,001 \cdot 1000$  yil = 1 yilgina davom etadi.

Agar sayohatga yangi tug'ilgan egizaklardan biri uchib ketgan bo'lsa, u atigi 1 yoshgina ulg'aygan bir paytda ikkinchi egizak 1000 yil yashab qo'yadi. Aslida nima bo'ladi? Buni fizikani chuqurroq o'rganib bilib olishingiz mumkin.



### *Sinov savollari*

1. Koordinatalar uchun Galiley almashtirishlari. 2. Koordinatalar uchun Lorens almashtirishlari. 3. Qanday shartlarda Lorens almashtirishlari Galiley almashtirishlariga o'tadi? 4. Yorug'likning vakuumdagi tezligiga erishish mumkinmi? 5. Klassik mexanikada invariant bo'lgan uzunlik va vaqt intervali relativistik mexanikada ham invariant bo'ladimi? 6. Ularning invariant emasligini nimaga asoslanib aytilish mumkin? 7. Eynshteyn nazariyasi qanday fazoda o'rinni? 8. Tayoqcha o'zining eng katta uzunligiga qaysi sanoq sistemasida ega bo'ladi? 9. Uzunlikning Lorens qisqarishi deb nimaga aytiladi? 10. Tayoqchanning uzunligi sistemaning harakat tezligiga

bog'liqmi? 11. Vaqt intervalining nisbiyligi. 12. Vaqt intervali qaysi sistemada eng kichik bo'ladi? 13. Qachon soat yurishi sekinlashadi? 14. «Egizaklar paradoksi» ni bilasizmi?

## 18-§. Tezliklarni qo'shishning relativistik formulasi

Mazmuni: tezliklarni qo'shish formulalari; tezliklarni qo'shish formulalarining natijalari.

**Tezliklarni qo'shish formulalari.** 16- § da klassik fizikadagi tezliklarni qo'shish formulasi

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u} \quad (18.1)$$

yorug'lik tezligiga yaqin tezliklar uchun tajribalar natijalari bilan mos kelmasligi haqida yozilgan edi. Bu yerda  $\vec{v}$  va  $\vec{v}'$  jismning  $K$  va  $K'$  inersial sanoq sistemalaridagi tezliklari,  $\vec{u}$  — sistemalarining bir-birlariga nisbatan harakat tezliklari.

Lorens almashtirishlari yordamida topilgan tezliklarni qo'shish formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{u \cdot v'}{c^2}} \quad (18.2)$$

Ushbu ifoda *tezliklarni qo'shishning relativistik formulasi* deyiladi.

(18.2) formuladan ko'rinib turibdiki, agar  $v, v'$  va  $u$  tezliklar yorug'lik tezligidan juda kichik bo'lsa,

$$\frac{u \cdot v'}{c^2} \ll 1$$

bo'ladi va ifodaning maxraji birga teng bo'lib, (18.2) ifoda klassik mexanikadagi tezliklarni qo'shish formulasi (18.1) ga o'tadi.

**Tezliklarni qo'shish formulasining natijasi.** Tezliklarni qo'shish uchun topilgan (18.2) ifoda klassik fizikadagi tezliklarni qo'shish formulasining kamchiliklarini bartaraf qila oladimi? Buni tekshirib ko'rish uchun 16- § da ko'rgan misolimizga qaytaylik.

Ushbu misolga muvofiq  $v' = u = c$  va  $v$  ni topamiz. (18.2) ga asosan



$$v = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{1 + 1} = c,$$

ya'ni poyezd yoritgichidan chiqayotgan yorug'likning tezligi  $c$  ga teng bo'lib qolaveradi. Demak, yorug'likning vakuumdagi tezligi  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s chegaraviy tezlik bo'lib, undan katta tezlikka erishish mumkin emas.



### *Sinov savollari*

1. Tezliklarni qo'shishning relativistik formulasi. 2. Tezliklarni qo'shishning relativistik formulasi kichik tezliklarda klassik mexanikadagi tezliklarni qo'shish formulasiga o'tadimi? 3. Tezliklarni qo'shishning relativistik formulasi klassik mexanikadagi tezliklarni qo'shish formulasining muammolarini yecha oladimi? 4. Yorug'likning vakuumdagi tezligidan katta tezlikka erishish mumkinmi?

## **19-§. Relativistik massa. Massa va energiyaning bog'lanish qonuni**

**M a z m u n i :** relativistik massa; relativistik impuls; massa va energiyaning bog'lanishi; kinetik energiya.

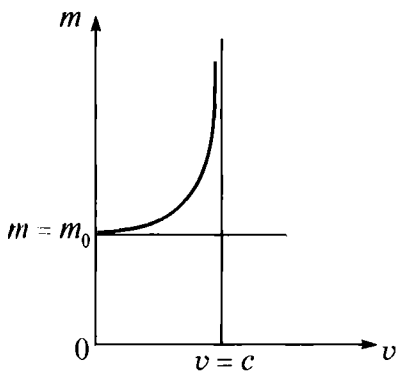
**Relativistik massa.** Klassik mexanika tasavvurlariga muvofiq massa o'zgarmas kattalikdir. Lekin 1901- yilda o'tkazilgan tajribalar harakatlanayotgan elektronning tezligi ortishi bilan massasi ham ortib borishini ko'rsatdi.

Harakatlanayotgan jism massasining uning harakat tezligiga bog'liqligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

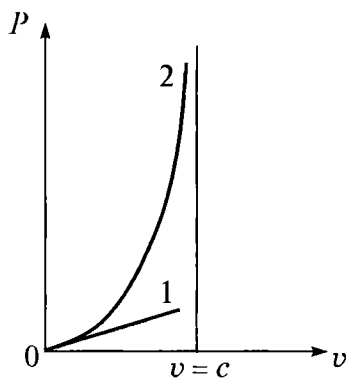
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (19.1)$$

Bu yerda:  $m$  — jismning harakatdagi massasi,  $m_0$  — tinchlikdagi massasi, ya'ni jism tinch turgan sanoq sistemasiga nisbatan massasi,  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $v$  — harakat tezligi. (19.1) dan ko'rinib turibdiki,

$v \ll c$  da  $\beta \ll 1$  va  $m = m_0$  bo'ladi. Demak, jism massasining tezlikka bog'liqligi yorug'lik tezligiga yaqin tezliklardagina na-



33- rasm.



34- rasm.

moyon bo‘ladi. Massaning tezlikka bog‘liqligi 33- rasmda ko‘rsatilgan.

Klassik mexanikadagi kabi relativistik mexanikada ham massa inertlik o‘lchovidir. Relativistik dinamikada tezlik ortishi bilan inertlik ham ortadi, ya’ni tezlik qancha katta bo‘lsa, uni orttirish yanada qiyinlashadi.  $v = c$  bo‘lganda esa massa cheksizlikka intiladi. Shuning uchun ham tinchlikdagi massasi nolga teng bo‘lmagan ( $m_0 \neq 0$ ) birorta ham jism yorug‘likning vakuumdagi tezligiga teng bo‘lgan tezlik bilan harakatlana olmaydi. Bunday tezlik bilan harakatlanadigan faqatgina bitta zarra mavjud. U ham bo‘lsa tinchlikdagi massasi nolga teng bo‘lgan zarra — fotonidir. Fotonlar vakuumda, doimo yorug‘lik tezligiga teng bo‘lgan tezlik bilan harakatlanadi.

**Relativistik impuls.** Relativistik impuls quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \vec{v}. \quad (19.2)$$

Klassik mexanikada esa impuls

$$\vec{p} = m_0\vec{v} \quad (19.3)$$

ifoda bilan aniqlangan edi. Ularning farqini ko‘rish uchun impulsning tezlikka bog‘liqlik grafisini chizamiz. 34- rasmdagi 2- chiziq (19.2) ifodaga muvofiq relativistik impulsning tezlikka bog‘liqligini, 1- chiziq esa (19.3) ga muvofiq klassik mexanikadagi impulsning tezlikka bog‘liqligini ifodalaydi. Ulardan ko‘rinib

turibdiki, kichik tezliklarda  $v \ll c$  impulslarning qiymatlari mos keladi.

Fazoning bir jinsliliği natijasida relativistik mexanikada ham relativistik impulsning saqlanish qonuni bajariladi: **yopiq sistemaning relativistik impulsi saqlanadi, ya'ni vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi.**

**Massa va energiyaning bog'lanishi.** Relativistik mexanikada tezlikning o'zgarishi massaning o'zgarishiga, bu esa, o'z navbatida, to'la energiyaning o'zgarishiga olib keladi. Demak, to'la energiya  $E$  va massa  $m$  orasida o'zaro bog'lanish mavjud. Bu bog'lanish tabiatning fundamental qonuni bo'lib, Eynshteyn tomonidan aniqlangan va quyidagi ko'rinishga ega:

$$E = mc^2. \quad (19.4)$$

**Sistemaning to'la energiyasi uning massasining yorug'likning vakuumdagi tezligining kvadratiga ko'paytmasiga teng.**

Yoki

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (19.5)$$

Istalgan jismga, u harakatdami (massasi  $m$ ) yoki tinchlikdami (massasi  $m_0$ ), ma'lum energiya mos keladi.

Agar jism tinch holatda bo'lsa, uning tinchlikdagi energiyasi

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (19.6)$$

kabi aniqlanadi. Jismning tinchlikdagi energiyasi uning xususiy energiyasidir. Klassik mexanikada tinchlikdagi energiya  $E_0$  hisobga olinmaydi, chunki  $v = 0$  da tinchlikdagi jismning energiyasi nolga teng deb hisoblanadi.

**Kinetik energiya.** Relativistik mexanikada jismning to'la energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$E = E_k + E_0. \quad (19.7)$$

Jismning kinetik energiyasi  $E_k$  esa uning harakatdagi energiyasi  $E$  va tinchlikdagi energiyasi  $E_0$  ning farqi sifatida aniqlanadi:

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right). \quad (19.8)$$

$v \ll c$  da (19.8) formula kinetik energiyaning klassik mexanikadagi

$$E_k = \frac{m_0 v^2}{2}$$

ifodasiga o'tadi.

Vaqtning bir jinsliligining natijasida klassik mexanikadagi kabi, relativistik mexanikada ham energiyaning saqlanish qonuni bajariladi: **yopiq sistemaning to'la energiyasi saqlanadi, ya'ni vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi.**



### Sinov savollari

1. Klassik mexanikada massa o'zgaradimi? 2. Relativistik mexanikada-chi? 3. Harakatlanayotgan jismning massasi qanday o'zgaradi? 4. Jism massasining tezlikka bog'liqligi qachon namoyon bo'ladi? 5. Massaning ortishini qanday tushuntirasiz? 6. Tinchlikdagi massasi noldan farqli bo'lgan jism nima uchun yorug'likning vakuumdagi tezligiga teng tezlik bilan harakatlana olmaydi? 7. Fotonlar qanday zarralar? 8. Relativistik impuls qanday aniqlanadi? 9. Relativistik impulsning saqlanish qonuni bajariladimi? 10. Relativistik va klassik impulslar qachon mos keladi? 11. Tezlikning o'zgarishi energiyaning o'zgarishiga olib keladimi? 12. Energiya va massa orasidagi bog'lanish. 13. Jismning tinchlikdagi energiyasi nimaga teng? 14. Relativistik mexanikada jismning to'la energiyasi nimaga teng? 15. Relativistik mexanikada jismning kinetik energiyasi nimaga teng?



### Masala yechish namunalari

**1- masala.**  $0,97c$  tezlikli elektron u tomonga qarab  $0,5c$  tezlik bilan harakatlanayotgan protonga qarama-qarshi bormoqda. Ular harakatining nisbiy tezligi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$u_e = 0,97c;$$

$$u_p = 0,5c.$$

---


$$v = ?$$

**Yechish:** Tezliklarni relativistik qo'shish formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{u \cdot v'}{c^2}}$$

Berilgan masalada  $K$  sistemani elektronga biriktiramiz. Unda  $K'$  sistemaning  $K$  ga nisbatan tezligi  $u = u_e$  ga teng bo'ladi. Protonning  $K'$  sistemaga nisbatan tezligi  $v' = u_p$  bo'ladi. Bizdan

esa protonning  $K$  sistemaga nisbatan tezligi  $v$  ni topish so'ralgan. Shunday qilib, berilganlardan va yorug'likning bo'shliqdagi tezligi  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s ekanligidan foydalansak,

$$v = \frac{0,5c + 0,97c}{1 + \frac{0,5c + 0,97c}{c^2}} = 0,99c = 2,97 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Javob.  $v = 2,97 \cdot 10^8$  m/s.

**2 - masala.** Agar zarraning relativistik massasi tinchlikdagi massasidan uch marta katta bo'lsa, zarra qanday  $v$  tezlik bilan harakatlanadi?

**Berilgan:**

$$\frac{m}{m_0} = 3$$

$$v = ?$$

**Yechish.** Relativistik massa quyidagicha aniqlanadi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Bu ifodadan  $v$  ni topib olamiz:

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{m}{m_0}\right)^2}}$$

Berilganlarni va yorug'likning vakuumdagi tezligi  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s ni hisobga olib topamiz:

$$v = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \frac{1}{3^2}} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,83 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Javob:  $v = 2,83 \cdot 10^8$  m/s.



### Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Tayoqcha inersial sanoq sistemasiga nisbatan o'zgarmas tezlik bilan bo'ylama yo'nalishda harakatlanmoqda. Tezlikning qanday qiymatida tayoqchanning shu sistemadagi uzunligi tinch turgan tayoqcha uzunligidan bir foizga kam bo'ladi? ( $v = 423000$  km/s.)
2. Fazoviy kema ichida, uchishgacha Yerdagi soat bilan tenglashtirilgan soat bor. Fazoviy kemaning tezligi 7,9 km/s

bo'lsa, Yerdagi kuzatuvchi o'z soati bilan 0,5 yilni o'lchaganda, kemandagi soat qancha orqada qoladi. ( $\tau = 5,7 \cdot 10^{-3}$ s.)

- 0,6  $c$  tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning relativistik impulsi aniqlansin. ( $p = 2,05 \cdot 10^{-22}$  kg  $\cdot$  m/s.)
- 0,8  $c$  tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning kinetik energiyasi aniqlansin. ( $T = 0,34$  MeV.)

### Test savollari

- Bir sanoq sistemadan ikkinchisiga o'tganda klassik dinamika tenglamalari o'zgarmaydi, ya'ni ular koordinatalar o'zgarishiga nisbatan invariantdir.

Bu qaysi prinsip?

- Kuchlar ta'sirining mustaqilligi.
  - Galileyning nisbiylik prinsipi.
  - Lorens almashtirishlari nisbiyligi.
  - Eynshteyn nisbiyligi.
  - To'g'ri javob B va D.
- Klassik mexanikadagi invariant kattaliklarni ko'rsating:
    - Massa, tezlanish, kuch, vaqt.
    - Tezlik, trayektoriya, massa.
    - Tezlanish, kuch, massa, ko'chish.
    - Tezlik, tezlanish, kuch massasi.
    - To'g'ri javob yo'q.
  - Quyida keltirilgan ifodalardan uzunlikning nisbiyligi ifodasini ko'rsating:

$$A. l_0 = \frac{l}{\sqrt{1-\beta^2}}. \quad B. l = l_0 \sqrt{1-\beta^2}. \quad C. l = \frac{l_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$D. l_0 = l \cdot \sqrt{1-\beta^2}. \quad E. \text{To'g'ri javob A va B.}$$

- Relativistik mexanikada invariant bo'lmagan kattaliklarni ko'rsating:
  - Massa, vaqt, uzunlik.
  - Massa, vaqt, tezlik.
  - Vaqt, uzunlik, hajm, yuza.
  - Uzunlik, vaqt, bosim, kuch.
  - Barcha javoblar to'g'ri.

## Bobning asosiy xulosalari

**Galileyning nisbiylik prinsipi:** *barcha inersial sanoq sistemalarida klassik dinamikaning qonunlari bir xil shaklga ega.*

*Galiley almashtirishlari:*  $x=x+ut$ ;  $y=y$ ;  $z=z$ ;  $t=t$ ;  $v=v+u$ .

*EynshTEYN postulatlarini.* 1. Inersial sanoq sistemasining ichida o'tkazilgan hech qanday tajriba ushbu sistema tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotganini aniqlashga imkon bermaydi. 2. Yorug'likning vakuumdagi tezligi, yorug'lik manbayining ham, kuzatuvchining ham harakat tezligiga bog'liq emas va barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil.

*Koordinatalar uchun Lorens almashtirishlari:*

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t + \left(\frac{u}{c^2}\right)x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

*Tezliklar uchun Lorens almashtirishlari:*

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{u \cdot v'}{c^2}}.$$

$$\text{Relativistik massa: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

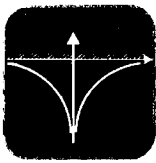
$$\text{Relativistik impuls: } \vec{P} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cdot \vec{v}.$$

*Massa va energiyaning bog'lanishi.* Sistemaning to'la energiyasi uning massasining yorug'likning vakuumdagi tezligi kvadratining ko'paytmasiga teng:

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} c^2.$$

*Jismning tinchlikdagi energiyasi.*

$$E_0 = m_0 c^2.$$



## KVANT FIZIKASI ASOSLARI

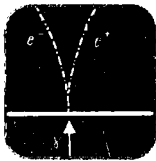
.....

Biz oldingi bo‘limda yorug‘likning ham zarralar oqimidan iborat (korpuskular nazariya) ekanligini tasdiqlovchi (geometrik optika), ham elektromagnit to‘lqinlardan iborat (to‘lqin nazariya) ekanligini tasdiqlovchi jarayonlar (interferensiya, difraksiya, qutblanish) bilan tanishdik. Bulardan tashqari, yorug‘likning korpuskular tabiatini tasdiqlovchi fotoeffekt, Kompton effekti hodisalari kuzatilgan. Xo‘sh, yorug‘lik o‘zi nima, degan savolga aniqroq javob berish payti kelmadimi?

Biz hozirgacha o‘rgangan klassik mexanika atomning tuzilishi va uning spektrining tabiatini tushuntirishga ojizlik qiladi. Umuman olganda, atomlarning va elementar zarralarning harakat qonunlari qanday bo‘ladi?

Yuqoridagi savollarga javob izlash va ularni bir-biriga bog‘lash kvant mexanikasining yaratilishiga olib keldi.

Quyida bu fanning vujudga kelishi va u asosida tushuntirib beriladigan fizik jarayonlar bilan, aniqrog‘i, kvant mexanikasi asoslari bilan tanishamiz.



.....

### III BOB

## KVANT OPTIKASI ELEMENTLARI

.....

Yuqorida qayd etilganidek, yorug‘likning tabiati haqidagi masala fiziklar oldida turgan eng katta muammolardan biri edi. Bu muammo, ayniqsa, issiqlikdan nurlanishni o‘rganish jarayonida yaqqol namoyon bo‘ldi. Uni yechish yo‘lida dadil g‘oyani ilgari surgan nemis fizigi M.Plank 1900- yilda «energiya faqat kichkina porsiyalar, ya’ni kvantlar ko‘rinishida chiqariladi va yutiladi», degan fikrni bildirdi. 1905- yilda A.Eynshteyn fotoeffekt hodisasi uchun o‘z formulasini yozib, Plank gipotezasini yanada rivojlantirdi.

Yorug‘likning har ikkala tabiatini ham tasdiqlovchi hodisalarning mavjudligi, u har ikkala xususiyatga ham ega emasmikan, degan fikrning tug‘ilishiga sabab bo‘ldi. Bu — yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmining paydo bo‘lishiga olib keldi.



## 20-§. Kvant fizikasining paydo bo'lishi. Issiqlikdan nurlanish qonunlari

M a z m u n i : issiqlikdan nurlanish; issiqlikdan nurlanish xarakteristikalari; Kirxgof qonuni; Stefan–Bolsman qonuni; Vinning siljish qonuni.

**Issiqlikdan nurlanish.** Issiqlikdan nurlanish tabiatda eng ko'p tarqalgan elektromagnit nurlanishdir. U temperaturasi 0 K dan farq qiladigan har qanday jismga xos bo'lib, moddaning ichki energiyasi hisobiga amalga oshiriladi. Natijada moddaning ichki energiyasi kamayadi, temperaturasi pasayadi, ya'ni soviydi. Jism uzoq vaqt nurlanib turishi uchun esa uning kamayayotgan energiyasini to'ldirib turish kerak. Shuni ta'kidlash lozimki, jism nurlanish bilan bir paytda boshqa jismlar tomonidan chiqarilayotgan nurlanish energiyasini ham yutadi. Buning natijasida jismning ichki energiyasi ortadi, temperaturasi ko'tariladi, ya'ni qiziydi. Demak, jism, bir tomondan, nurlanish energiyasini chiqarsa, ikkinchi tomondan yutadi. Natijada ma'lum vaqt davomida jism chiqaradigan va yutadigan energiyaning tenglashuvi ro'y beradi, ya'ni uning temperaturasi o'zgarmaydi. Bunday holatdagi nurlanish *muvozanatdagi nurlanish* deyiladi.

*Sistemaning vaqt o'tishi bilan termodinamik parametrlari o'zgarmaydigan holati termodinamik muvozanat deyiladi.*

Agar tashqi sharoit o'zgarmasa, termodinamik sistema o'z-o'zidan muvozanat holatidan chiqmaydi.

**Issiqlikdan nurlanish xarakteristikalari.** Nurlanishning eng asosiy xarakteristikasi  $W$  nurlanish energiyasi hisoblanadi.

Nurlanish oqimi  $\Phi_e$  deb,  $W$  nurlanish energiyasining  $t$  nurlanish vaqtiga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:

$$\Phi_e = \frac{W}{t}. \quad (20.1)$$

Boshqacha aytganda, nurlanish oqimi vaqt birligidagi nurlanish energiyasi bilan xarakterlanadi va  $W = \int_s$  larda o'lchanadi.

*Jismning nurlanishi ( $R_e$ ) deb, jism chiqarayotgan  $\Phi_e$  nurlanish oqimining jism sirtining  $S$  yuzasiga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:*

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}. \quad (20.2)$$

Binobarin, nurlanish – jismning birlik sirtidan chiqayotgan nurlar oqimidir. Nurlanish  $\frac{W}{m^2}$  larda o'lchanadi.

Yuqorida keltirilgan xarakteristikalar butun nurlanish spektriga xos bo'lgan kattaliklardir. Amalda esa to'liq uzunligining biror kichkina intervaliga taalluqli nurlanishni bilish muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Aytaylik, spektrning to'liq uzunligi  $\Delta\lambda$  bo'lgan oralig'ini qarayotgan bo'laylik. Energiyaning shu oraliqqa taalluqli qismi nurlanishning spektral zichligi bilan xarakterlanadi.

*Nurlanishning spektral zichligi ( $r_\lambda$ ) deb, spektrning biror qismiga to'g'ri keluvchi  $\Delta R_e$  nurlanishning shu qismning to'liq uzunligi  $\Delta\lambda$  ga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:*

$$r_\lambda = \frac{\Delta R_e}{\Delta\lambda}, \quad (20.3)$$

ya'ni nurlanishning spektral zichligi birlik to'liq uzunligiga to'g'ri keluvchi nurlanishdir.

Nurlanishning spektral zichligi  $\frac{W}{m^3}$  larda o'lchanib, jismning temperaturasiga bog'liq bo'ladi. Jism tomonidan nurlanish energiyasining yutilishini xarakterlash maqsadida yutish koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi.

*Yutish koeffitsiyenti ( $\alpha$ ) deb, shu jism tomonidan yutilgan  $\Phi_e$  nurlanish oqimining, unga tushayotgan  $\Phi'_e$  nurlanish oqimiga nisbatiga aytiladi:*

$$\alpha = \frac{\Phi_e}{\Phi'_e}. \quad (20.4)$$

$\alpha$  yutish koeffitsiyentini biror  $\Delta\lambda$  oraliq uchun ham qarash mumkin:

$$\alpha_\lambda = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\Phi'_{e\lambda}}. \quad (20.5)$$

**Kirxgof qonuni.** Biz qarayotgan sistema bir nechta jismlardan tashkil topgan va jismlar orasida energiya almashuvi faqat issiqlik nurlanishi va yutilishi orqali amalga oshsin. Boshqacha aytganda, jismlar orasida issiqlik uzatilishi (tegib turgan joylardagi molekularlari orqali) va konveksiya (molekularlarning ko'chishi) mavjud bo'lmasin. Shunday holda ham, ma'lum vaqtdan keyin,

sistemadagi jismlar temperaturalarining tenglashuvi ro‘y beradi. Bunga sabab, issiqroq jismlar yutganiga nisbatan ko‘proq nurlanib, energiyasining bir qismini sovuqroq jismlarga beradi. Bu jarayon sistemada muvozanat qaror topguncha davom etadi va temperatura tenglashgandan so‘ng to‘xtaydi.

Faqat nurlanish va yutish orqali energiya almashadigan, termodinamik muvozanat holatidagi jismlar nurlanish spektral zichligining yutish koeffitsiyentiga nisbati o‘zgarmas kattalik bo‘lib, jismning tabiatiga bog‘liq bo‘lmaydi. Barcha jismlar uchun u bir xil — to‘lqin uzunligi  $\lambda$  va temperatura  $T$  ning funksiyasi (Kirxgof qonuni):

$$\frac{r_{\lambda_1}}{\alpha_{\lambda_1}} = \frac{r_{\lambda_2}}{\alpha_{\lambda_2}} = f(T, \lambda) \cdot \quad (20.6)$$

Unga muvofiq: *jism qanday to‘lqin uzunlikli elektromagnit to‘lqinlarni chiqarsa, shunday to‘lqin uzunlikli elektromagnit to‘lqinlarni yutadi.*

O‘ziga tushayotgan elektromagnit to‘lqinlarning barchasini yutadigan jism *absolut qora jism* deyiladi. Absolut qora jism uchun  $\alpha_{\lambda} = 1$ . O‘z xossalariga ko‘ra qorakuya, qora baxmal va hokazolar absolut qora jismga misol bo‘ladi. Ichki qismi yutuvchi moddadan yasalgan, kichkina tirqishli jism absolut qora jismning yaxshi moduli bo‘la oladi (35- rasm). Tirqishdan kirgan nur ko‘p marta qaytadi va har bir qaytishda qisman yutila boradi.

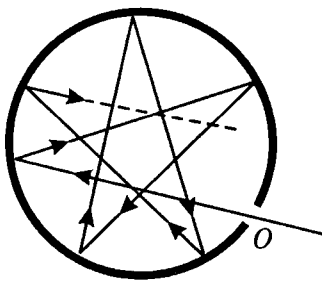
Yutish koeffitsiyenti  $\alpha_{\lambda} < 1$  bo‘lgan jismlar *kulrang jismlar* deyiladi.

Endi nurlanishning temperaturaga bog‘liqligini o‘rganaylik.

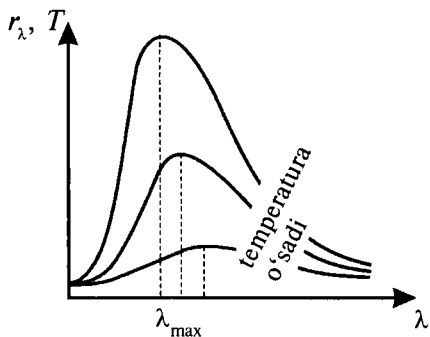
**Stefan—Bolsman qonuni.** Garchi, Kirxgof qonuni nurlanishning spektral zichligi temperatura va to‘lqin uzunligiga proporsionalligini ko‘rsatsa-da, bu bog‘lanishning oshkor ko‘rinishini yozish muhim ahamiyatga egadir. Ushbu masalani qisman yechishga erishgan avstriyalik fiziklar Y. Stefan va L. Bolsman quyidagi o‘z nomlari bilan ataluvchi qonunni yaratdilar. *Qora jismning nurlanishi uning termodinamik temperaturasining to‘rtinchi darajasiga proporsional:*

$$R_e = \sigma T^4. \quad (20.7)$$

Bu yerda  $\sigma = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  — Stefan—Bolsman doimiysi. 36- rasmda nurlanish spektral zichligi va to‘lqin uzunligi orasidagi



35- rasm.



36- rasm.

bog'lanishlarning turli temperaturalar uchun o'tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Ulardan ko'rinib turibdiki, har bir uzluksiz egri chiziq, temperatura ortishi bilan kichik to'liqin uzunliklar tomon siljiydigan, yaqqol ko'rinib turadigan maksimumlarga ega.

**Vinning siljish qonuni.** Yuqorida ko'rdikki, temperatura ortishi bilan chiziqlar to'liqin uzunligining kichik qiymatlari tomonga siljiydi, ya'ni  $\lambda_{\max}$  kamayadi. Ushbu siljishni nemis fizigi V. Vin quyidagi siljish qonuni orqali ifodalagan.

*Eng katta to'liqin uzunligi  $\lambda_{\max}$  qora jismning temperaturasiga teskari proporsional:*

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{T}. \quad (20.8)$$

Bu qonun *Vinning siljish qonuni* deb ataladi. Vin doimiysi  $c = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ . Qizdirilgan jism soviy boshlaganda ko'proq to'liqin uzunligi katta bo'lgan nurlanish chiqarishi Vinning siljish qonuni yordamida tushuntiriladi. Masalan, oq rangli qizdirilgan metall soviy boshlaganda qizil tusga kiradi.

Shuni ta'kidlash lozimki, garchi empirik ravishda topilgan Stefan–Bolsman va Vin qonunlari issiqlik nurlanishida muhim rol o'ynagan bo'lsa-da, ular xususiy hollarnigina ifodalashlari mumkin. Boshqacha aytganda, Stefan–Bolsman qonuni 36- rasmda keltirilgan va tajriba natijalari asosida chizilgan bog'lanishning kichik to'liqin uzunlikli qismini tushuntira olsa, Vin qonuni katta to'liqin uzunlikli qismi bilan mos keladi. To'liqin uzunliklarining o'rta qiymatlariga mos keluvchi tajriba natijalarini esa har ikkala qonun ham tushuntirib bera olmaydi.



1. Qanday hodisalar yorug'likning korpuskular nazariyasini tasdiqlaydi? To'liq nazariyasini-chi? 2. Kvant fizikasi qanday muammolarni o'rganadi? 3. Yorug'lik qanday xususiyatga ega? 4. M.Plank qanday fikrni bildirdi? 5. Issiqlikdan nurlanish qanday nurlanish? 6. Issiqlikdan nurlanish natijasida jismning ichki energiyasi qanday o'zgaradi? 7. Nurlanish energiyasini yutganda jismda qanday o'zgarish ro'y beradi? 8. Nurlanayotgan jism temperaturasining pasayishini, nurlanish yutayotgan jism temperaturasining ortishini qanday tushuntirasiz? 9. Muvozonatli nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi? 10. Termodinamik muvozonat deb qanday holatga aytiladi? 11. Nurlanish oqimi va uning birligini ayting. 12. Jismning nurlanishi va uning birligi qanday? 13. Nurlanishning spektral zichligi nima va bunday tushunchaning kiritilishiga qanday zarurat bor? 14. Yutish koeffitsiyenti nima? 15. Kirxgof qonunini ta'riflang. 16. Absolut qora jism deb qanday jismga aytiladi? 17. Absolut qora jismning modelini tushuntiring. 18. Kulrang jism qanday jism? 19. Stefan–Bolsman qonuni va uning ahamiyati qanday? 20. 36- rasmdagi bog'lanishlarni tushintiring. 21. Temperatura ortishi bilan chiziqlar qanday o'zgaradi? 22. Vinning siljish qonunini ta'riflang. 23. Vin qonunining o'rinligiga misol keltiring. 24. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarining qanday kamchiliklari mavjud?

## 21-§. Plank gipotezasi. Yorug'lik kvanti

**M a z m u n i:** Reley–Jins qonuni; Plank gipotezasi; foton va uning xarakteristikallari.

**Reley–Jins qonuni.** Stefan–Bolsman va Vin qonunlari yordamida nurlanish spektral taqsimotining ko'rinishini topish yo'lidagi urinishlar muvaffaqiyatsizlikka uchragandan so'ng, ingliz fiziklari D. Reley va J. Jins yangi formulani taklif qildilar. Ular energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimoti haqidagi klassik qonun asosida nurlanishning spektral zichligi uchun quyidagi ifodani yozdilar:

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda^2} kT . \quad (21.1)$$

Ammo ushbu ifoda ham 36- rasmdagi bog'lanishlarning katta to'liq uzunlikli (kichik chastotali) qisminigina tushuntirib bera oldi. U kichik to'liq uzunliklar (katta chastotalar) uchun mutlaqo yaroqsiz bo'lib chiqdi. Masalan, to'liq uzunligi nolga yaqinlash-

ganda nurlanishning spektral zichligi cheksiz katta qiymatni qabul qiladi. ((21.1) ifodaning maxraji nolga intilganda,  $r_\lambda$  ning qiymati cheksizlikka intiladi). Bu hol fanda «ultrabinafsha halokati» deb nomlanadi.

Shunday qilib, jismlar chiqaradigan energiya uzluksiz ravishda o'zgaradi, deb hisoblovchi klassik tasavvurlar asosida, jism nurlanish spektrini tushuntirish yo'lidagi barcha urinishlar o'tib bo'lmas to'siqqa duch kelaverdi. Muammoni yechish yangicha g'oya, yangicha fikr yuritishni taqozo qildi.



M. PLANK  
(1858–1947)

**Plank gipotezasi.** Bu g'oya klassik tasavvurga teskari, ya'ni nurlanish energiyasi uzlukli, qiymati sakrab o'zgaradi, degan tasavvurga asoslangan bo'lishi mumkin edi.

Buni birinchi bo'lib tushunib yetgan nemis fizigi M. Plank quyidagi gipotezani olg'a surdi.

*Jismning nurlanish energiyasi klassik fizikada tasavvur qilinganidek uzluksiz bo'lmay, tebranish chastotasi  $\nu$  ga proporsional  $E$  energiyali kvantlardan, ya'ni alohida energiyali porsiyalardan iboratdir:*

$$E = h \cdot \nu, \quad (21.2)$$

bu yerda  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s — Plank doimiysi. U nurlanish energiyasi qancha miqdorda sakrab o'zgarishini ko'rsatadi.

Bizga ma'lumki, jism ko'plab sondagi atomlardan iborat va bu atomlarning har biri Plank gipotezasiga ko'ra elektromagnit to'lqinlar chiqaradi. Boshqacha aytganda, atomning nurlanish energiyasi kvant energiyasiga karrali ravishda o'zgarib,  $E$ ,  $2E$ ,  $3E$ , ...,  $nE$  qiymatlarnigina qabul qilishi mumkin. Aytaylik,  $\nu = 10^{10}$  Hz chastotali nurlar ( $\lambda = 3 \cdot 10^2$  m radioto'lqinlar) kvant energiyasini topish so'ralgan bo'lsin:

$$E = h \cdot \nu = 6,62 \cdot 10^{-24} \text{ J.}$$

Bu yetarli darajada kichik son bo'lib, bunday qiymatni klassik fizikada uzluksiz ravishda o'zgaradi, deb hisoblash mumkin.

Agar  $\nu = 10^{15}$  Hz chastotali nurlar ( $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$  m li ultrabinafsha to'lqinlar) uchun kvant energiyasi topilsa:

$$E = h \cdot \nu = 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J},$$

mikrozarralar fizikasi uchun hisobga olish zarur bo'lgan kattalikni hosil qilamiz. Shuning uchun taklif qilgan gipotezasi asosida Plank tomonidan topilgan formula nafaqat jismning nurlanish spektrini to'la tushuntirib bera olmay, balki uning yordamida klassik fizika qonunlari, jumladan, Stefan–Bolsman va Vin qonunlarini ham hosil qilish mumkin.

**Foton va uning xarakteristikalari.** Plank gipotezasi yorug'lik kvanti haqidagi tushunchaning paydo bo'lishiga olib keldi va u *foton* deb nom oldi. Foton quyidagi xarakteristikalariga ega.

Fotonning energiyasi:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (21.3)$$

massasi

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}, \quad (21.4)$$

impulsi

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (21.5)$$

Yuqoridagi ifodalarda  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  ekanligi e'tiborga olingan.  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s — yorug'likning bo'shliqdagi tezligi.

Foton yorug'lik tezligiga teng bo'lgan tezlik bilan harakatlanadi. Uni sekinlashtirib ham, tezlatib ham bo'lmaydi. Shuning uchun fotonning tinchlikdagi massasi to'g'risida gapirish ma'noga ega emas.



### **Sinov savollari**

1. Reley–Jins formulasini yozing. 2. Reley–Jins formulasi nurlanish spektrining qaysi qismini tushuntira oladi? 3. «Ultrabinafsha halokat» deb nimaga aytiladi? 4. Nima uchun Stefan–Bolsman, Vin va Reley–Jins qonunlari jismning nurlanish spektrini to'la tushuntirib bera olmaydi? 5. Plank gipotezasini ta'riflang. 6. Plank doimiysi va uning fizik ma'nosini aytib bering. 7. Plank gipotezasiga muvofiq atomlarning nurlanish energiyasi qanday bo'ladi? 8. Turli chastotali elektromagnit to'lqinlar uchun kvant energiyasini hisoblang. 9. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarini Plank formulasidan hosil qilish mumkinmi? 10. Agar mumkin bo'lsa, uni qanday izohlaysiz? 11. Foton nima? 12. Fotonning energiyasi qanday?

13. Fotonning massasi qanday? 14. Fotonning impulsi qanday? 15. Fotonning tezligi qanday? 16. Fotolni qanday qilib sekinlashtirish mumkin? 17. Fotonning tinchlikdagi massasi qanday?

## 22-§. Fotoeffekt hodisasi

Mazmuni: fotoeffekt hodisasi; Stoletov tajribasi; to'yinish toki; tutuvchi potensial; Stoletov qonunlari; fotoeffekt hodisasining talqini; Eynshteyn tenglamasi; fotoeffektning qizil chegarasi; Stoletov qonunlarining talqini; ko'p fotonli fotoeffekt; ichki fotoeffekt.

**Fotoeffekt hodisasi.** *Yorug'lik ta'sirida elektronlarning moddalardan ajralib chiqish hodisasi tashqi fotoeffekt deyiladi.* Bu hodisani 1887- yilda G.Gers kashf qilgan va u 1890- yilda rus fizigi A.Stoletov tomonidan o'rganilgan.

Agar tashqi fotoeffekt asosan o'tkazgichlarda ro'y berishi va ulardagi elektronlarning atom va molekularga bog'lanish energiyasi juda kichikligini e'tiborga olsak, elektronlar atomlar va molekularlardan ajralib chiqishiga ishonch hosil qilamiz.

*Agar atom yoki molekuladan ajratib olingan elektron moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolsa, bunday hodisaga ichki fotoeffekt deyiladi.* Ichki fotoeffekt asosan yarimo'tkazgichlarda kuzatilib, 1908- yilda rus fizigi A.Ioffe (1880–1960) tomonidan o'rganilgan.

**Stoletov tajribasi.** Stoletov tomonidan tashqi fotoeffektни o'rganish tajribasining sxemasi 37- rasmda keltirilgan.

Vakuimli nayda katod vazifasini bajaruvchi tekshirilayotgan  $K$  plastinka va anod vazifasini bajaruvchi  $A$  elektrod joylashtirilgan. Katod va anod  $R$  qarshilik orqali tok manbayiga ulangan. Elektrodlar orasida kuchlanish (anod kuchlanishi) voltmeter  $V$ , zanjirdagi tok esa galvanometr (kichik toklarni o'lchaydigan asbob)  $G$  yordamida o'lchanadi. Katod yoritilmagan dastlabki paytda zanjirda tok bo'lmaydi. Chunki katod va anod o'rtasidagi bo'shliqda

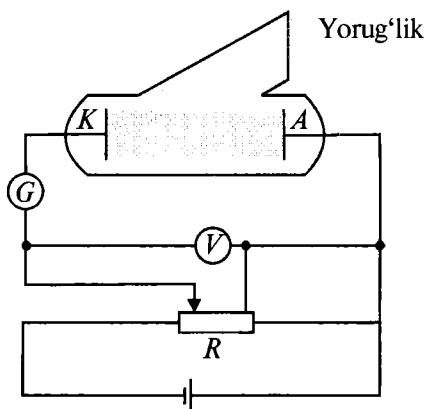


A. G. STOLETOV



A. F. IOFFE  
(1880–1960)



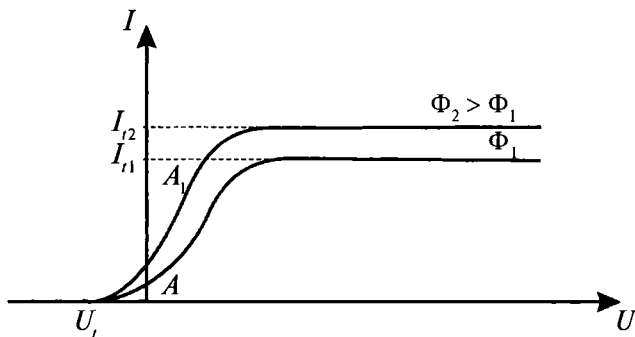


37- rasm.

zaryad tashuvchi zarralar bo'lmaydi. Agar katod shisha ko'zgu orqali yoritilsa, galvanometr zanjirda tok paydo bo'lganini ko'rsatadi (unga *fototok* deyiladi). Bunga sabab, katod plastinkasiga tushgan yorug'likning undan elektronlarni (ular *fotoelektronlar* deyiladi) urib chiqarishi va bu elektronlarning elektr maydon ta'sirida anod tomon batartib harakatining vujudga kelishidir. Potensiometr yordamida anod kuchlanishining qiymati va ishorasini o'zgartirish mumkin. Bu paytda galvanometr tok kuchining mos o'zgarishlarini ko'rsatadi.

**To'yinish toki.** 38- rasmda anod kuchlanishi va fototok orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan. Bu bog'lanish *fotoeffektning volt-amper xarakteristikasi* deyiladi. Undan ko'rinib turibdiki, katod va anod orasidagi kuchlanish ortishi bilan fototokning qiymati ham ortib boradi. Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab tok kuchi o'zgarmay qoladi. Bunga sabab, yorug'lik ta'sirida katoddan urib chiqarilayotgan elektronlarning barchasi anodga yetib borayotganligidir. Bu tokka *to'yinish toki* ( $I_t$ ) deyiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, to'yinish tokining qiymati katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liq bo'lib, yorug'lik oqimi ko'payishi bilan to'yinish tokining qiymati ham ortadi (38- rasmga q.).

**Tutuvchi potensial.** Fotoeffektning volt-amper xarakteristikasidan ko'rinib turibdiki, anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda ham zanjirda tok bo'laverar ekan. (Anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda fotoelektronlarni anodga tomon harakatlantiruvchi elektr maydon bo'lmaydi.) Bunga sabab, katoddan urib chiqarilayotgan elektronlarning tashqi ta'sir bo'lmaganda ham



38- rasm.

anodga yetib olishlari uchun yetarli bo'lgan kinetik energiyaga ega bo'lishlaridir. Bu elektronlarni to'xtatish uchun tormozlovchi kuch bo'lishi kerak. Bunday kuchni vujudga keltirish uchun oldingisiga teskari yo'nalishda kuchlanish qo'yiladi va hosil bo'lgan elektr maydon elektronlarning anodga tomon harakatiga to'sqinlik qiladi. Natijada tormozlovchi kuchlanishning ma'lum qiymatidan boshlab barcha elektronlar to'xtatib qolinadi va zanjirdagi tok nolga teng bo'ladi. Kuchlanishning bu qiymati *tutuvchi kuchlanish* ( $U_t$ ) deyiladi. Tutuvchi kuchlanishning qiymatiga qarab chiqayotgan elektronlarning tezligini aniqlash mumkin.

Aytaylik,  $m$  massali elektron  $v$  tezlik bilan chiqayotgan bo'lsin. Unda elektronning kinetik energiyasi  $\frac{mv^2}{2}$  ga teng bo'ladi. Ikkinchi tomondan,  $e$  zaryadli elektron  $U_t$  potentsialli tutuvchi maydondan o'tishi uchun  $eU_t$  energiya sarflashi kerak. Agar elektronning kinetik energiyasi tutuvchi maydon energiyasidan katta bo'lsa, ya'ni  $\frac{mv^2}{2} > eU_t$ , elektron anodga yetib boradi.

Aks holda, ya'ni  $\frac{mv^2}{2} < eU_t$  bo'lganda, elektron anodga yetolmaydi.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_t \quad (22.1)$$

hol chegaraviy hol hisoblanadi va tutuvchi potentsialning shu qiymatidan boshlab elektron tormozlovchi maydonda tutib qolinadi. Demak, yuqoridagi tenglikdan, elektronning anodga yetib

bora olishini ta'minlay olmaydigan chegaraviy tezligini topish mumkin:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_t}{m}}. \quad (22.2)$$

**Stoletov qonunlari.** O'tkazgan juda ko'p nozik tajribalari asosida Stoletov fotoeffektning quyidagi qonunlarini aniqladi.

1. *To'yinish fototokining kuchi katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga proporsional:*

$$I_t = k \cdot \Phi_e, \quad (22.3)$$

ya'ni yorug'lik oqimi qancha katta bo'lsa (intensiv bo'lsa), fototok ham shuncha katta bo'ladi. Bu yerda  $k$  – katod materialining yorug'likni sezishini xarakterlovchi koeffitsiyent.

2. *Fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorug'likning chastotasiga to'g'ri proporsional va yorug'lik oqimiga bog'liq emas.*

3. *Tushayotgan yorug'lik intensivligi qanday bo'lishidan qat'i nazar, fotoeffekt ma'lum chastotadan (to'lqin uzunligidan) boshlab ro'y bera boshlaydi va bu chastota katodning qanday materialdan yasalganiga bog'liq.*

**Fotoeffekt hodisasining talqini.** Fotoeffekt hodisasini yorug'likning to'lqin xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? Birinchi qonunni tushuntirish mumkin. Chunki katodga tushayotgan yorug'lik metall sirtidagi elektronlarni tebranma harakatga keltiradi. Tebranish amplitudasi esa tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq. U qancha katta bo'lsa, elektronning kinetik energiyasi ham shuncha katta bo'ladi va musbat ionlarning tortish kuchlarini yengib, katodni tark etadi. Intensivlik ortishi bilan katodni tark etuvchi elektronlar soni ham ortadi va demak, to'yinish tokining qiymati ham ortadi.

Shu tariqa mulohaza yuritilganda yorug'lik oqimining ortishi elektron kinetik energiyasining ortishiga ham olib kelishi kerak. Lekin Stoletov tajribasi bu fikrni tasdiqlamaydi. Demak, ikkinchi qonunni yorug'likning to'lqin nazariyasi asosida tushuntirib bo'lmaydi. Uchinchi qonunni tushuntirishga urinishlar ham shunday xulosaga kelishni taqozo etadi.

U holda fotoeffekt hodisasini yorug'likning qanday tabiati nuqtayi nazaridan tushuntirish mumkin, degan savol tug'iladi.

**Eynshteyn tenglamasi.** Stoletov qonunlari haqidagi chuqur mulohaza yuritgan A.Eynshteyn fotoeffekt hodisasini Plank gipotezasi asosida tushuntirishga qaror qildi. U Plank gipotezasini rivojlantirib, *yorug'lik nafaqat chiqarilganda, balki fazoda tarqalganida ham, boshqa moddalar tomonidan yutilganida ham o'zini fotonlar oqimidek tutadi*, degan fikrni bildirdi.

Eynshteyn fotoeffekt hodisasini shunday tushuntirdi. Katodga tushayotgan foton o'zining  $h\nu$  energiyasini elektronga beradi. Agar bu energiya elektronning chiqish ishi  $A$  dan katta bo'lsa, elektron katoddan ajralib chiqadi. Lekin u anodga yetib borishi

uchun  $\frac{mv^2}{2}$  kinetik energiyaga ham ega bo'lmog'i kerak. Aks holda u yana qaytadan katod moddasida yutilishi mumkin (I qism, 69- § ga qarang). Shunday qilib, *fotoeffekt hodisasi ro'y berishi uchun fotonning energiyasi elektronning moddadan ajralib chiqishiga va unga kinetik energiya berishga yetarli bo'lmogi kerak, ya'ni*

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (22.4)$$

Ushbu ifoda tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi deyiladi va u fotoeffekt hodisasi uchun energiyaning saqlanish va aylanish qonunini ifodalaydi. Eynshteyn o'z mulohozalarida elektron faqat bittagina fotondan energiya oladi, deb hisoblagan.

**Fotoeffektning qizil chegarasi.** Elektronning metallidan chiqish ishi moddaning tabiatiga bog'liq. U turli metallar uchun turli qiymatlar qabul qiladi. Fotonning energiyasi faqat elektronni moddadan ajratib chiqara olishga, ya'ni chiqish ishini bajarishga yetarli bo'lgan holni qaraylik:

$$h\nu_q = A, \quad (22.5)$$

agar  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$\frac{hc}{\lambda_q} = A \quad (22.6)$$

bo'ladi.

Odatda, bu shart fotonning energiyasi kichik bo'lganda ro'y bergani uchun unga *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi. Bunga

sabab, ko'zga ko'rinadigan nurlar orasida to'liq uzunligi eng katta – chastotasi eng kichik va demak, eng kam energiyali foton qizil nurga taalluqli ekanligidir. Aynan shu qizil chegaradan boshlab fotoeffekt hodisasi ro'y bera boshlaydi. (22.5) va (22.6) ifodalardan

$$v_q = \frac{A}{h} \quad \text{yoki} \quad \lambda_q = \frac{hc}{A} \quad (22.7)$$

ni olamiz. Tushayotgan yorug'lik to'liqining fotoeffekt hodisasi boshlanishini ta'minlay oladigan chegaraviy chastotasi  $v_q$  yoki to'liq uzunligi  $\lambda_q$  *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi.

**Stoletov qonunlarining talqini.** Endi Eynshteyn tenglamasi yordamida Stoletov qonunlari haqida mulohaza yuritaylik.

I. Agar tushayotgan yorug'lik oqimi qancha katta bo'lsa, undagi fotonlar soni ham shuncha ko'p bo'ladi. Ko'p sondagi fotonlar ko'proq elektronlarni urib chiqaradi va demak, to'yinish tokining qiymati ham katta bo'ladi.

II. Agar elektron bittagina fotonidan energiya olar ekan, demak, uning kinetik energiyasi katodga nechta foton tushayotganiga (yorug'lik oqimiga) emas, balki har bir fotonning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun fotonning energiyasi, ya'ni chastotasi ortishi bilan elektronning kinetik energiyasi ham ortadi. Boshqacha aytganda, fotoelektronlarning kinetik energiyasi tushayotgan yorug'lik chastotasiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

III. Fotoeffektning qizil chegarasi uchun topilgan (22.7) ifoda uchinchi qonunni tushuntirib beradi. Fotonning energiyasi chiqish ishiga teng bo'lganidan boshlab fotoeffekt hodisasi ro'y bera boshlaydi. Energiyasi chiqish ishidan kichik bo'lgan foton, yorug'lik intensivligi qanday bo'lishidan qat'i nazar, elektronni metallardan urib chiqara olmaydi va shuning uchun fotoeffekt ro'y bermaydi. Turli metallar uchun chiqish ishining qiymati turlicha bo'lganligidan, ular uchun fotoeffektning qizil chegarasi ham turlichadir.

Yuqoridagi mulohazalar – yorug'lik fotonlar (zarralar) oqimidan iborat, deb qarashni taqozo etadi va shuning uchun fotoeffekt hodisasi yorug'likning korpuskular nazariyasini tasdiqlovchi jarayon hisoblanadi.

**Ichki fotoeffekt.** Yorug'lik ta'sirida atom yoki molekuladan ajratib olingan elektron moddaning ichida erkin elektron sifatida

qolsa, bunday hodisa ichki fotoeffekt deyilishini qayd etgan edik. Masalan, bu hodisa yarimo'tkazgichda ro'y bersa, fotoelektronlar erkin zaryad tashuvchi zarralar – erkin elektronlar va teshiklar sonining ortishiga olib keladi. Boshqacha aytganda, foton valent zonadagi elektronni o'tkazish zonasiga o'tkazadi. Natijada o'tkazish zonasidagi erkin elektronlar va teshiklar soni ortadi, ya'ni yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi yaxshilanadi. Shuning uchun ichki fotoeffekt *fotoo'tkazuvchanlik* deyiladi. Shuni ta'kidlash lozimki, fotoo'tkazuvchanlik ro'y berishi uchun fotonning energiyasi man qilingan zonaning energiyasidan katta bo'lmog'i kerak. Aks holda, fotonning energiyasini olgan elektron, man qilingan zonadan sakrab o'tolmaydi va demak, ichki fotoeffekt hodisasi ro'y bermaydi.



### **Sinov savollari**

1. Fotoeffekt deb nimaga aytiladi? 2. Tashqi fotoeffekt deb qanday hodisaga aytiladi? 3. Ichki fotoeffekt deb-chi? 4. Stoletov tajribasini tushuntirib bering. 5. Katod yoritilmaganda zanjirda tok bo'ladimi? 6. Yoritilganda-chi? 7. Tokning vujudga kelish mexanizmini tushuntirib bering. 8. Fotoelektronlar deb qanday elektronlarga aytiladi? 9. Fotoeffektning volt-amper xarakteristikasini tushuntirib bering. 10. To'yinish tokini tushuntirib bering. 11. To'yinish toki katodga tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liqmi? 12. Anod kuchlanishi nolga teng bo'lganda zanjirda tok bo'ladimi? Buni qanday tushuntirasiz? 13. Tutuvchi potensial nima? 14. Elektron anodga yetib borishi uchun kinetik energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 15. Elektron energiyasining qaysi qiymatidan boshlab u tormozlovchi maydonda tutib qolinadi? 16. Elektron katodga yetib bora olmasligi uchun uning chegaraviy tezligi qanday bo'lmog'i kerak? 17. Stoletovning birinchi qonuni nima haqida? 18. Stoletovning ikkinchi qonuni-chi? 19. Stoletovning uchinchi qonuni-chi? 20. Fotoeffektning yorug'likning to'lqin xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? 21. Stoletovning ikkinchi va uchinchi qonunlarini-chi? 22. Eynshteyn Plankgipotzasiga qanday qo'shimcha qildi? 23. Fotoeffekt ro'y berishi uchun fotonning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 24. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi. 25. Eynshteyn fikriga ko'ra elektron nechta fotondan energiya oladi? 26. Elektronning metallidan chiqish ishi moddaning tabiatiga bog'liqmi? 27. Fotoeffektning qizil chegarasi qanday aniqlanadi? 28. Fotoeffektning qizil chegarasi deb nimaga aytiladi? 29. Stoletovning birinchi qonunini tahlil qiling. 30. Stoletovning ikkinchi qonunini tahlil qiling. 31. Stoletovning uchinchi qonunini tahlil qiling. 32. Fotoeffekt hodisasini yorug'likning qanday tabiati asosida tushuntirish mumkin? 33. Yarimo'tkazgichda ichki fotoeffekt qanday ro'y beradi?

34. Fotoo'tkazuvchanlik deb nimaga aytiladi? 35. Fotoo'tkazuvchanlik ro'y berishi uchun fotonning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak? 36. Fotonning energiyasi man qilingan zonadan kichik bo'lsa, qanday hodisa ro'y beradi?

## 23-§. Fotoeffektning qo'llanilishi

Mazmuni: fotoelement; vakuumli fotoelement; gazli fotoelement; fotoelementning qo'llanilishi; fotoqarshilik; fotoelektr yurituvchi kuch; to'siqli fotoelementlar.

**Fotoelement.** Fotoeffekt hodisasiga asoslanib ishlovchi qurilmalar – fotoelementlar texnikada juda keng qo'llaniladi. Ulardan eng ko'p tarqalgani – vakuumli va gaz to'ldirilgan fotoelementlar.

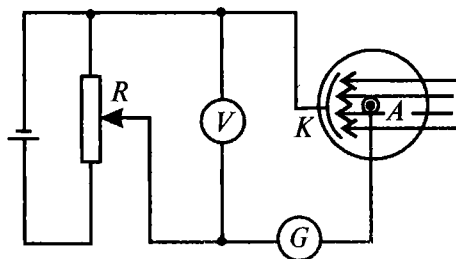
**Vakuumli fotoelementlar.** 39- rasmda ichki qismi katod vazifasini o'tovchi yorug'lik sezuvchi metall qatlami bilan qoplangan shisha kolbadan iborat fotoelement ko'rsatilgan. Kolbaning havosi so'rib olingan. Odatda, yorug'likni sezuvchi metall sifatida chiqish ishi kichik bo'lgan ishqorli metallardan foydalaniladi.

Kolbaning ichida esa anod vazifasini bajaruvchi metall halqa yoki to'r o'rnatilgan bo'ladi. Fotoelementning qo'llanish sxemasi 40- rasmda ko'rsatilgan. Katod ( $K$ ) batareyaning manfiy qutbiga, anod ( $A$ ) esa musbat qutbiga ulanadi. Voltmetr ( $V$ ) elektrodlar orasidagi potentsiallar farqini ko'rsatsa, qarshilik ( $R$ ) yordamida bu kuchlanish o'zgartirib turiladi. Shuningdek, zanjirda fototokni o'lchovchi galvanometr ( $G$ ) ham ulangan bo'ladi.

Yorug'lik katoddan urib chiqargan elektronlar anodga tomon harakat qiladi va galvanometr zanjirda tok borligini ko'rsatadi. Zamonaviy fotoelementlar nafaqat ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik, hatto infraqizil nurlarni ham sezish qobiliyatiga ega.



39- rasm.



40- rasm.

**Gazli fotoelement.** Shunday bo'lsa-da, fotoelementlarning sezgirligi uncha yaxshi hisoblanmaydi (bir lumen yorug'lik oqimi o'n mikroamper atrofida tok vujudga keltirishi mumkin). Natijada vakuumli fotoelement zanjiridagi tok juda kichik bo'ladi. Tokni kuchaytirish, ya'ni fotoelementning sezgirligini oshirish uchun esa kolbaga ozroq gaz kiritiladi va uni *gazli fotoelement* deyiladi. Bunda katoddan urib chiqarilgan elektron fotoelement to'ldirilgan gaz molekulalariga urilib, ularni ionlashtiradi, ya'ni urilish ionlashuvi vujudga keladi. Buning uchun, albatta, katod va anod orasidagi kuchlanish yetarli darajada katta va katta tezlikli elektronning kinetik energiyasi gaz molekulasini ionlashtirishga yetarli bo'lmog'i kerak. O'z navbatida, vujudga kelgan ionlar elektrodlar tomon harakatga keladi va yo'lida uchragan molekulalarga urilib, ularni ham ionlashtiradi. Shunday qilib, anod tomon harakatlanayotgan elektronlarning soni va demak, anod toki, ya'ni fotoelementning sezgirligi ortadi.

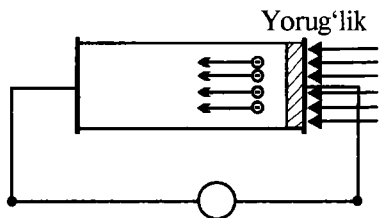
**Fotoelementning qo'llanilishi.** Tasvirni simsiz uzatish (fototelegrafiya) — fotoelement eng ko'p qo'llaniladigan sohalaridan biridir. Bunga televideniya yaxshi misol bo'la oladi. I qism, 107- § da qayd etilganidek, tasvirni elektr signallariga aylantirish ikonoskop deb ataluvchi qurilmada amalga oshiriladi. Ikonoskop — sirti juda ko'p mitti fotoelementlardan iborat asbob. Ular o'zlariga tushayotgan yorug'likka mos bo'lgan elektromagnit to'lqinlar hosil qiladi va bu to'lqinlar uzoq masofalarga uzatiladi. Antenna yordamida qabul qilingan signallar esa kineskopda qaytadan yorug'lik signaliga, ya'ni tasvirga aylantiriladi.

Fotoelement yordamida ishlovchi fotorelelar sanovchi, avtomatik ravishda turli mexanizmlarni ishga tushiruvchi va nazorat qiluvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi. Fotorele — yorug'lik tushganda yoki yorug'lik tushishi to'xtaganda ishlashi mumkin.

Fotorele — zamonaviy robotlarning sezish qurilmalaridan (ko'zidan) tortib, metrolarga kirishni nazorat qiluvchi qurilmalargacha, shahar ko'chalarining yoritish sistemasi, suv yo'llari mayoqlarini ishga tushirishdan tortib, detallarning shakli va rangiga qarab ajratishgacha bo'lgan vazifani bajaruvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi.

**Fotoqarshilik.** Fotoqarshilik ichki fotoeffektga asosan ishlaydigan asbob hisoblanadi. Fotoqarshilik deb, qarshiligi unga tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'lgan yarimo'tkazgichli qurilmaga aytiladi. Uning ish prinsipini tushunish uchun yarim-





41- rasm.

ligini hosil qiladi. Agar yarimo'tkazgichga kuchlanish qo'yilsa, unda elektr toki vujudga keladi va bu tokka xususiy tok ( $I_x$ ) deyiladi. Agar yarimo'tkazgich yoritilsa, qo'shimcha elektronlar va teshiklar vujudga kelib, uning o'tkazuvchanligi yaxshilanadi va zanjirdagi tok  $I_{y_0}$  yorug'lik tokigacha ortadi. Yorug'lik toki va xususiy toklarning farqi:  $I = I_{y_0} - I_x$  - fototok deyiladi. Fotoqarshilik tovushli kinoda, televideniya, telemexanika, avtomexanika signal beruvchi (xabar beruvchi) vosita sifatida ishlatiladi.

**Fotoelektr yurituvchi kuch (foto-EYK).** Ichki fotoeffekt prinsipiga asosan ishlaydigan qurilmalarning eng keng tarqalgani fotoelektr yurituvchi kuch vujudga keladigan qurilmalardir. Ba'zan ularga *fotogalvanik elementlar* ham deyiladi. Foto-EYK ning vujudga kelishi ancha sodda. Aytaylik, yarimo'tkazgichning bir bo'lagi yoritilayotgan bo'lsin (41- rasm). Tushayotgan yorug'lik qo'shimcha zaryad tashuvchilarni (elektronlarni va teshiklarni) vujudga keltiradi. Natijada yarimo'tkazgichning yoritilgan qismida zaryad tashuvchilarning soni ko'p, yoritilmagan qismida kam bo'lib qoladi. Bu esa yarimo'tkazgichning har ikkala qismi orasida elektr yurituvchi kuch vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Bunday EYK *diffuzion foto-EYK* deyiladi.



### *Sinov savollari*

1. Fotoelement deb qanday qurilmaga aytiladi? 2. Vakuimli fotoelement deb-chi? 3. Vakuimli fotoelementning tuzilishini tushuntiring.
4. Nima uchun katod sifatida ishqorli metallardan foydalaniladi? 5. 41-rasmdagi sxemani tushuntiring.
6. Voltmetr, qarshilik va galvanometrlarning vazifasi nimadan iborat? 7. Vakuimli fotoelementning sezgirligi qanday? 8. Uning sezgirligini oshirish uchun qanday yo'l tutiladi?
9. Gazli fotoelement nima? 10. Gazli fotoelement sezgirligining ortishiga sabab nima? 11. Ikonoskop qayerda ishlatiladi? 12. Ikonoskopning ish

prinsipi qanday? 13. Kineskopning vazifasi nima? 14. Fotorelening ish prinsipi qanday? 15. Fotorelening ishlatilishiga beshta misol keltiring va tushuntirib bering. 16. Fotoqarshilik deb qanday qurilmaga aytiladi? 17. Fotoqarshilikning ish prinsipini tushuntiring. 18.  $I_x$  qanday vujudga keladi? 19.  $I_{y0}$  yorug'lik toki-chi? 20. Fototok qanday aniqlanadi? 21. Fotoqarshilik qanday ishlatiladi? 22. Fotogalvanik elementlar qanday qurilmalar? 23. 41- rasmdagi manzarani tushuntirib bering. 24. Diffuzion foto-EYK qanday vujudga keladi?

## 24-§. Yorug'likning korpuskular-to'liqin dualizmi

**M a z m u n i :** yorug'likning to'liqin tabiati; yorug'likning korpuskular tabiati; yorug'likning korpuskular-to'liqin dualizmi.

**Yorug'likning to'liqin tabiati.** Biz yorug'likning elektromagnit to'liqlardan iborat ekanligini tasdiqlovchi interferensiya, difraksiya va qutblanish hodisalari bilan tanishdik. Yorug'lik to'liqlarga xos bo'lgan barcha xarakteristikalariga egaligiga va elektromagnit to'liqlar shkalasidagi ma'lum oraliqda joylashgan to'liqlardan iborat ekanligiga ishonch hosil qildik.

Lekin shu bilan birga, yorug'likni elektromagnit to'liqlar sifatida qarash issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirib berishga ojizlik qilishini qayd etdik.

**Yorug'likning korpuskular tabiati.** Issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirish yorug'likni fotonlar oqimidan iborat, deb qarashni taqozo etdi. Boshqacha aytganda, bu hodisalarni faqat yorug'likning korpuskular nazariyasi asosida tushuntirish mumkin.

Bundan tashqari, yorug'likning sinish qonunlari va yorug'lik bosimini har ikkala nazariya asosida ham tushuntirish mumkin. Unda yorug'lik ham to'liqin, ham korpuskular tabiatga ega emasmikan, degan savol tug'iladi. Bu esa, o'z navbatida, yorug'likning korpuskular-to'liqin dualizmining tug'ilishiga sabab bo'ldi.

**Yorug'likning korpuskular-to'liqin dualizmi.** Shunday qilib, yorug'likda go'yoki bir-birini inkor etuvchi ikkita: to'liqin va korpuskular tabiatning uyg'unligi namoyon bo'ldi. Ayni paytda, ular bir-birini to'ldirib, yorug'lik bilan bog'liq bo'lgan barcha jarayonlarni tushuntirib bera oldi.

Shuni ta'kidlash lozimki, fotonning energiyasi  $E = hv$  va impulsi  $P = \frac{hv}{c} = \frac{h}{\lambda}$  uchun yozilgan ifodalar yorug'likning

korpuskular xarakteristikalari — energiya va impulsni, yorug‘likning to‘lqin xarakteristikalari — chastota va to‘lqin uzunligi bilan bog‘laydi. Shu sababli, yorug‘likning tabiati haqidagi har ikkala nazariyani bir-biriga qarama-qarshi qo‘yish emas, balki bir-birini to‘ldiruvchi nazariyalar sifatida qarash joizdir. Ularning har biri ma‘lum sharoitda o‘zlarini namoyon qilishadi. Masalan, to‘lqin uzunligi katta va demak, energiyasi kichik bo‘lsa, yorug‘likning to‘lqin tabiati namoyon bo‘ladi. Aksincha, to‘lqin uzunligi kichik va demak, fotonning energiyasi va impulsni katta bo‘lsa, yorug‘likning korpuskular tabiati yaqqol namoyon bo‘ladi. *Shunday qilib, yorug‘lik materiyani murakkab shakli bo‘lib, u ikki xil: ham korpuskular, ham to‘lqin tabiatiga egadir. Bunga yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmi deyiladi.*

Yorug‘likning bu xossasiga 29- § da yana qaytamiz.



### *Sinov savollari*

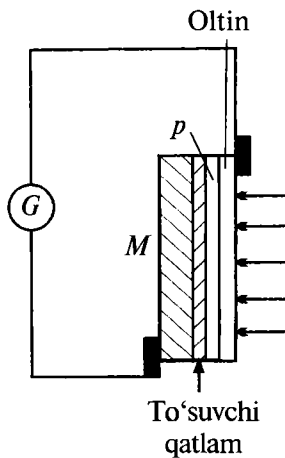
1. Qanday hodisalar yorug‘likning to‘lqin tabiatini tasdiqlaydi?
2. Korpuskular tabiatini-chi?
3. Qanday hodisalarni har ikkala nazariya asosida ham tushuntirish mumkin?
4. Fotonning energiyasi va impulsni uchun yozilgan ifodalarda yorug‘likning korpuskular va to‘lqin nazariyalarini xarakterlovchi kattaliklar orasidagi bog‘lanish mavjudmi?
5. Yorug‘likning to‘lqin tabiati qachon namoyon bo‘ladi? Korpuskular tabiati-chi?
6. Yorug‘likning korpuskular-to‘lqin dualizmi nima?

## **25-§. Gelioenergetika. O‘zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish va uning istiqbollari**

**M a z m u n i :** fotoelementlar; gelioenergetika; geliotexnika; O‘zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish istiqbollari.

**Fotoelementlar.** Yuqorida qayd etilganidek ichki fotoeffekt asosida ishlaydigan, yorug‘lik ta‘sirida elektr yurituvchi kuch vujudga keltiradigan qurilmalarga fotoelementlar deyiladi. Fotoelementlarda EYK vujudga kelishi mexanizmi bilan tani-shish uchun 42-rasmdagi sxemani tahlil qilaylik . Elektrod vazifasini o‘tovchi  $M$  metall plastinkaga  $p$  tipidagi yarimo‘tkazgichning yupqa qatlami qoplangan. O‘z navbatida, bu qatlam ham ikkinchi elektrod vazifasini bajaruvchi ikkinchi metall qatlam (oltin) bilan qoplangan. Elektrodlar esa bir-biriga galvanometr

(G) orqali ulangan. Agar yarimo'tkazgich ikkinchi elektrod orqali yoritilsa, unda ichki fotoeffekt natijasida erkin elektronlar vujudga keladi. Bu elektronlar betartib harakat qilib  $M$  qatlama o'tadi. Metall — yarimo'tkazgich chegarasida hosil bo'lgan to'suvchi qatlam esa teshiklarning o'tishiga to'sqinlik qiladi. Natijada metall qatlam  $M$  da ortiqcha elektronlar hosil bo'ladi.



42- rasm.

Boshqacha aytganda to'siqning mavjudligi ikki qatlam orasida foto-EYK ning vujudga kelishiga olib keladi va galvanometr orqali tok oqadi. Shunday qilib, fotoelement yorug'lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirib beradi. Bunday fotoelementlardan quyosh nurlari energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beradigan quyosh batareyalarini yasash mumkin.

Agar metall-yarimo'tkazgich o'rniga  $p-n$  tipidagi yarimo'tkazgichlardan iborat qoplamalardan foydalanilsa, fotoelementning f.i.k ancha yuqori bo'ladi. Hozirgi paytda eng ko'p tarqalgan fotoelementlar kremniyli fotoelementlardir.

**Gelioenergetika.** Quyosh nurlarining Yer sirtiga yetib keladigan qismi juda katta energiyaga ega bo'lib undan samarali foydalanish boshqa organik yoqilg'ilardan foydalanishni sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi. Buning tabiatni muhofaza qilishdagi ahamiyati ham beqiyosdir.

Quyosh energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirib beradigan qurilmalar quyosh batareyalari deyilib, ular biz yuqorida tanishgan fotoelementlardan tashkil topgan. Kremniyli fotoelement asosida ishlaydigan birinchi quyosh batareyasi amerikalik olimlar tomonidan 1954- yilda yaratilgan bo'lib, uning F.I.K o'n foiz atrofida bo'lgan. Bugungi kunda bu ko'rsatkich yigirma to'rt foizni tashkil qiladi.

Zamonaviy yarimo'tkazgichli birikmalar asosida ishlaydigan quyosh batareyalarining f.i.k. qirq foizni tashkil qilmoqda. Ikki tomonlama egiluvchan quyosh panellarining f.i.k. bundan ham yuqori bo'lib, quvvati ham ancha kattadir.

Hozirgi paytda kosmik kemalarning energiya ta'minoti quyosh batareyalari yordamida amalga oshiriladi. Ular yordamida binolar

issiqlik bilan ta'minlanmoqda. Mikrokalkulatorlar, pleyerlar, mayda maishiy xizmat jihozlari faoliyat ko'rsatmoqda.

„Kelajak avtomobillari“ bo'lmish elektromobillar ham quyosh batareyalari yordamida harakatlanadi.

Xizmat ko'rsatish muddati chorak asrdan ko'p bo'lgan bunday qurilmalarning insoniyatni energiya bilan ta'minlashdagi hissi tobora ortib bormoqda.

**Geliotexnika.** Geliotexnika — quyosh energiyasidan texnik maqsadlarda foydalanish usullari haqidagi fan. Boshqacha aytganda, quyosh nurlari energiyasini foydalanish uchun qulay bo'lgan boshqa turdagi energiyaga aylantirish bilan shug'ullanuvchi soha.

**O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish va uning istiqbollari.** Quyosh nurlari energiyasini boshqa turdagi energiyaga aylantirish sohasida O'zbekiston FA ning fizika-texnika institutida, 60- yillarda G.Umarov tomonidan boshlangan ilmiy tadqiqot ishlari hozirgacha davom etmoqda. Keyingi yillarda materialshunoslik fani tez suratlar bilan rivojlanishi natijasida quyosh energiyasini to'plovchi qurilmalar — geliokonsentratlarga e'tibor kuchaydi. Bunday qurilmalar yordamida yangi materiallarni yaratish, ularni qayta ishlash va xossalarini o'rganish mumkin. Shu maqsadda 1987- yilda Toshkent viloyatining Parkent tumanida akademik S. Azimov rahbarligida quvvati 1MW bo'lgan Katta Quyosh Sandoni (KQS) qurildi. KQS maxsus texnologik tizim bilan jihozlangan va gorizontol o'qqa o'rnatilgan, fokus masofasi 18 m, o'lchami 54×42 m bo'lgan ikki ko'zguli optik energetik qurilmadir. KQS yordamida sof metallarni olish, issiqqa chidamli, elektr izolatsiya xossalariga ega materiallarni yaratish sohasida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Quyosh energiyasini elektr energiyasi yoki boshqa turdagi energiyalarga aylantirish xalq xo'jaligining ravnaqiga ulkan hissa qo'shishi mumkin.

O'zbekiston quyoshli yurt bo'lganligi sababli ham quyosh energiyasidan foydalanish yuqori natija beradi. O'zbekiston zaminiga quyosh nuri tushib turadigan vaqt o'rtaicha 3000 soatni tashkil qilib, tushayotgan energiya zichligi bir metr kvadratga  $10^{10}$  kal ni tashkil qiladi.

Shuning uchun ham quyosh energiyasidan foydalanish O'zbekistonda istiqbolli sohalardan biri hisoblanadi.



## Sinov savollari

1. To'siqli fotoelementlarda EYK qanday vujudga keladi? 2. Metall qatlamda ortiqcha elektronlar qanday vujudga keladi? 3. p qatlamda ortiqcha teshiklar-chi? 4. Quyosh batareyalari qanday qurilmalar? 5. Quyosh batareyalari nimalardan tashkil topgan? 6. Kremniyli quyosh batariyasi qachon yaratilgan va f.i.k qancha bo'lgan? 7. Zamonaviy quyosh batareyalarining f.i.k qancha? 8. Quyosh energiyasidan foydalanishning afzalliklari. 9. Quyosh batareyalaridan foydalanishga misollar keltiring. 10. Geliotexnika qanday fan? 11. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha dastlabgi tadqiqotlar qachon boshlangan? 12. Katta Quyosh Sandoni qachon qurilgan va uning parametrlari. 13. KQS dan nima maqsadlarda foydalaniladi? 14. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanishning istiqbollari.

### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Qora jismning boshlang'ich temperaturasi 500 K. Qizdirilgandan keyin nurlanish 4 marta oshsa, jismning oxirgi temperaturasi nimaga teng bo'ladi?

**Berilgan:**

$$T_1 = 500 \text{ K};$$

$$n = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = 4.$$

---


$$T_2 = ?$$

**Yechish.** Qora jismning nurlanishi Stefan–Bolsman qonuniga muvofiq aniqlanadi. Qonunni har ikkala holat uchun yozamiz:

$$R_{e1} = \delta T_1^4 \quad \text{va} \quad R_{e2} = \delta T_2^4.$$

Bu ifodalardan ko'rilayotgan jarayon uchun quyidagi mu-nosabatni yozamiz:

$$n = \frac{R_{e2}}{R_{e1}} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^4.$$

Bundan

$$T_2 = \sqrt[4]{n} T_1.$$

Berilganlarni ushbu ifodaga qo'yib hisoblaymiz:

$$T_2 = \sqrt[4]{4} \cdot 500 \text{ K} \approx 1,41 \cdot 500 \text{ K} = 705 \text{ K}.$$

**Javob:**  $T_2 = 705 \text{ K}.$

**2- masala.** Quyosh nurlanish spektral zichligi maksimal qiymatining to'liq uzunligi  $0,48 \mu\text{m}$ . Quyoshni qora jism deb qarab, uning sirtidagi temperaturani toping.

**Berilgan:**

$$\lambda_{\max} = 0,48 \mu\text{m} = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$$

**Yechish.** Vinning siljish qonuniga muvofiq, Quyosh sirtidagi temperatura quyidagicha aniqlanadi:

---

$$T = ? \qquad T = \frac{c}{\lambda_{\max}}.$$

Bu yerda  $c = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  – Vin doimiysi. Hisoblashlar bajarib,

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-7}} \text{ K} = 6040 \text{ K} = 6,04 \text{ kK}$$

ga ega bo'lamiz.

**J a v o b :**  $T = 6,04 \text{ kK}$ .

**3- masala.** Elektronning chiqish ishi  $2,3 \text{ eV}$  bo'lgan natriy uchun fotoeffektning qizil chegarasi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$A_{\text{ch}} = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

---

$$\lambda_{\text{q}} = ?$$

**Yechish.** Fotoeffektning qizil chegarasi uchun yozilgan

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{q}}} = A_{\text{ch}}$$

ifodadan  $\lambda_{\text{q}}$  ni topamiz:

$$\lambda_{\text{q}} = \frac{hc}{A_{\text{ch}}}.$$

Bu yerda  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  – Plank doimiysi;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  – yorug'likning bo'shliqdagi tezligi.

Hisoblashlarni bajaramiz:

$$\lambda_{\text{q}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8}{3,68 \cdot 10^{-19}} \text{ m} = 5,40 \cdot 10^{-7} = 0,54 \mu\text{m}.$$

**J a v o b :**  $\lambda_{\text{q}} = 0,54 \mu\text{m}$ .



## Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Agar jismning temperaturasi bir protsentga ortsa, uning nurlanishi necha protsentga ortadi? ( $\Delta n = 4,06\%$ .)
2. Qora jismning nurlanishi o'n olti marta kamayishi uchun temperaturani necha marta kamaytirish kerak? ( $n = 2$  marta.)
3. Quyoshning temperaturasi 5,3 kK ga teng. Quyoshni qora jism sifatida qabul qilib, uning nurlanish spektral zichligining maksimumiga mos keluvchi to'liq uzunligi aniqlansin. ( $\lambda_{\max} = 0,547 \mu\text{m}$ .)
4. Agar fotoelektronlarning tezligi 3000 km/s bo'lsa, platina plastinkaga tushayotgan fotonlarning to'liq uzunligi aniqlansin. ( $\lambda = 0,039 \mu\text{m}$ .)
5. Rux uchun fotoeffektning qizil chegarasi 0,31  $\mu\text{m}$ . Agar rux plastinkaga 0,002  $\mu\text{m}$  to'liq uzunlikli yorug'lik tushayotgan bo'lsa, fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi elektron-voltlarda aniqlansin. ( $T_{\max} = 2,2 \text{ eV}$ .)
6. To'liq uzunligi 0,6  $\mu\text{m}$  bo'lgan yorug'lik yassi yaltiroq sirtga tik tushib 4  $\mu\text{Pa}$  bosim hosil qiladi. Shu sirtning 1  $\text{mm}^2$  yuzasiga 10 s davomida tushayotgan fotonlar soni aniqlansin. ( $n = 1,8 \cdot 10^{16}$ .)
7. Massasi elektronning massasiga teng bo'lgan fotonning to'liq uzunligi aniqlansin. ( $\lambda = 0,024 \mu\text{m}$ .)
8. 600 nm to'liq uzunlikli fotonlar qaytarish koeffitsiyenti 0,2 bo'lgan plastinkaga tushadi. Agar nurlar plastinkani  $10^{-13} \text{ H/m}^2$  kuch bilan bossa, vaqt birligida plastinkaga tushayotgan fotonlarning soni aniqlansin. ( $N = 755 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .)

## Test savollari

1. Fotoelektronlarning kinetik energiyasi nimaga to'g'ri proporsional bo'ladi?
  - A. Tushayotgan yorug'likning chastotasiga.
  - B. Tushayotgan yorug'lik oqimiga.



- C. Nurlanish intensivligiga.  
 D. Tormozlovchi maydonga.  
 E. Tutuvchi kuchlanishga.
2. Berilgan tenglamalar ichidan fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini toping.
- A.  $h\nu_k = A$ .                      B.  $E = h\nu$ .  
 C.  $E = mc^2$ .                      D.  $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ .  
 E. To'g'ri javob C va D.
3. To'lqin uzunligi  $6 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan qizil yorug'lik fotonining energiyasi nimaga teng?
- A.  $3,3 \cdot 10^{-19}$  J.                      B.  $3,2 \cdot 10^{-19}$  J.  
 C.  $4,3 \cdot 10^{-19}$  J.                      D.  $2,3 \cdot 10^{-19}$  J.  
 E.  $3 \cdot 10^{-18}$  J.
4. Berilgan modda uchun fotoeffekt kuzatiladigan «qizil chegara»ni aniqlash formulasini ko'rsating.
- A.  $m = \frac{h\nu}{c^2}$ .                              B.  $v = \frac{A}{h}$ .  
 C.  $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ .                      D.  $E = h\nu$ .  
 E.  $M = \frac{h\nu}{c}$ .

### Bobning asosiy xulosalari

*Termodinamik muvozanat* deb, sistemaning vaqt o'tishi bilan termodinamik parametrlari o'zgarmaydigan holatiga aytiladi.

**Plank gipotezasi.** *Jismning nurlanish energiyasi klassik fizikada tasavvur qilinganidek uzluksiz bo'lmay, tebranish chastotasi  $\nu$  ga proporsional  $E$  energiyali kvantlardan, ya'ni alohida porsiyalardan iborat:*

$$E = h\nu.$$

*Foton* – yorug'lik kvanti bo'lib, quyidagi xarakteristikalariga

ega: energiyasi  $E = h\nu$ ; massasi  $m = \frac{E}{c^2}$ ; impulsi  $P = mc$ .

*Tashqi fotoeffekt* deb, yorug‘lik ta‘sirida elektronlarning moddalardan ajralib chiqish hodisasiga aytiladi.

*Ichki fotoeffekt* deb, yorug‘lik ta‘sirida ajralib chiqqan elektronlar moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolgan holga aytiladi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasi:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Yorug‘lik ta‘sirida ro‘y beradigan kimyoviy o‘zgarishlar *fotokimyoviy reaksiyalar* deyiladi.

Yorug‘lik materiyaning murakkab shakli bo‘lib, u ikki xil: ham *korpuskular*, ham *to‘lqin* tabiatiga egadir.