

# FIZIKA

## II qism

Akademik litsey va kasb-hunar  
kollejlari uchun



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

O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

*A.G. G'aniyev, A.K. Avliyoqulov,  
G.A. Almardonova*

# FIZIKA

**II qism**

*Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari  
uchun darslik*

8-nashri

924071

«O'QITUVCHI» NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI  
TOSHKENT-2010

Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent A.G. G'ANIYEV  
tahriri ostida

**Taqrizchilar:** fizika-matematika fanlari nomzodlari, dotsentlar:  
A.S. NO'MONXO'JAYEV, X.I. ISAYEV  
texnika fanlari nomzodlari, dotsentlar:  
M. ISROILOV, J. NURMATOV

Mazkur darslik akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun mo'ljallangan «Fizikadan namunaviy o'quv dasturi» asosida yozilgan. Unda fizika kursining «Optika» va «Kvant fizikasi asoslari» bo'limlari bayon etilgan. Har bir mavzu bo'yicha sinov savollari, boblarning oxirida masala yechish namunalari, mustaqil yechish uchun masalalar va test savollari keltirilgan.

Darslik akademik litsey va kasb-hunar kollejlari talabalari uchun mo'ljallangan.

---

---

## SO‘ZBOSHI

Ushbu darslik «O‘qituvchi» nashriyot-matbaa ijodiy uyida chop etilgan «Fizika» (I qism) darsligining davomidir.

Darslik akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun mo‘ljallangan bo‘lib, O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi tasdiqlagan «Fizikadan namunaviy o‘quv dasturi» asosida yozilgan. Unda optika va kvant fizikasi asoslari yoritilgan.

Har bir mavzuning boshida uning qisqacha mazmuni, oxirida esa sinov savollari keltirilgan. Mavzular kichik mavzularga ajratilgan bo‘lib, ular mavzuni o‘qitishdan ko‘zlangan maqsad va zaruratni aniqlashtirishga imkon beradi. Darslikning yozilish uslubi mashg‘ulotlarning model sistemasida o‘tilishiga, o‘quvchilarning mavzularni mustaqil o‘rganishiga zamin bo‘la oladi.

Shuningdek, har bir bobdan keyin masala yechish namunalari, mustaqil yechish uchun masalalar, test savollari va bobning asosiy xulosalari keltirilgan.

Darslik mualliflar jamoasi tomonidan tayyorlangan bo‘lib, I bobni A.G.G‘aniyev va G.A.Almardonova, IV bobni A.G.G‘aniyev va A.K.Avliyoqulov, qolgan boblarni esa A.G.G‘aniyev yozgan.

Darslikni tayyorlash davomida bergan qimmatli maslahatlari uchun fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent A.S.No‘monxo‘jayevga, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent X.I.Isayevga, texnika fanlari nomzodi, dotsent M.Isroilovga, texnika fanlari nomzodi, dotsent J.Nurmatovga chuqur minnatdorchiligimizni bildiramiz.

*Mualliflar*



# 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 tabiati

**M a z m u n i :** 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 zarra-chalar 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 korpuskular (zarra-chalar) 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‘lqinlarga 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'liq nazariyasiga nisbatan ustun bo'lib kelgan.

1818- yilga kelib fransuz fizigi O. Frenel yorug'likni to'liqlar oqimi sifatida tasavvur qilib, uning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini tushuntirib beradi. Shundan so'ng yorug'likning to'liq 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'liqlarining 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'liqlardan 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, 192- rasm). Ular bir paytda o'zlarining maksimal va minimal qiymatlariga erishadi va garmonik qonunlarga muvofiq o'zgaradi. *Yorug'likning to'liq uzunligi deb, u bir davrda o'tadigan masofaga aytiladi, ya'ni*

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

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

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

Shunday qilib, elektromagnit to'liqlar shkalasiga muvofiq, yorug'lik to'liq uzunligi  $0,4 \mu\text{m}$  dan  $0,76 \mu\text{m}$  gacha bo'lgan elektromagnit to'liqlardan 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

nimani 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?

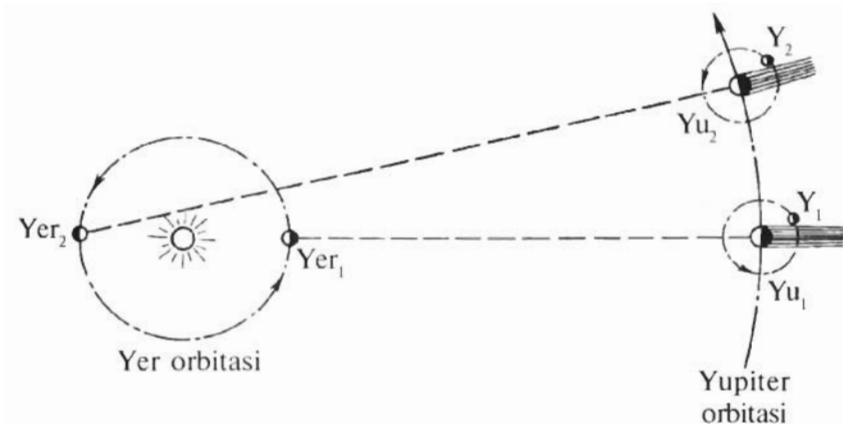
## **2-§. Yorug'likning tezligi**

**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 tezligining chekli va ikkinchi holatda Yer orbitasining diametriga teng bo'lgan qo'shimcha masofani o'tishidadir. Ikkinchi holatda





1- rasm.

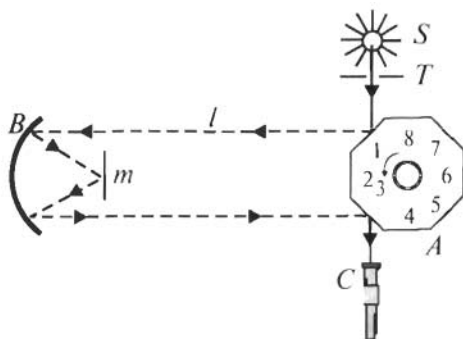
Yupiter yo'ldoshi tutilishining kechikish vaqti  $\Delta t$  ni aniqlagan K. Ryomer Yer orbitasining diametri ( $D$ ) yordamida yorug'likning tezligini

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

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  $A$  prizma tushadi. Prizmaning qirrasidan qaytgan yorug'lik ikkinchi cho'qqida o'rnatilgan  $B$  botiq ko'zguga yo'naladi. Undan qaytgan yorug'lik  $m$  ko'zgudan 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 o'tgan. Faqat shu



2- rasm.

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 tashqari, 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  $c \approx 300\,000 \text{ km/s} \approx 10^8 \text{ m/s}$  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'lmanligiga 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'lehamlari 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 xarakteristikalarini 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 (17- § ga qarang).* Nuqtaviy manbaning 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 qarshisidagi  $S$  yuza orqali nuqtaviy manba chiqarayotgan yorug'lik oqimi ko'rsatilgan. Agar barcha yo'nalishlardagi yorug'lik oqimlari qo'shib chiqilsa, manbaning to'la yorug'lik oqimi hosil bo'ladi. Yorug'lik oqimining SI dagi birligi — l u m e n .

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  $4\pi$  sr ga tengligini nazarda tutsak,

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

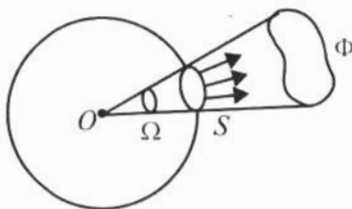
ni hosil qilamiz.

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 lumenni (lm) aniqlash mumkin.



3- rasm.

*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 manbai 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

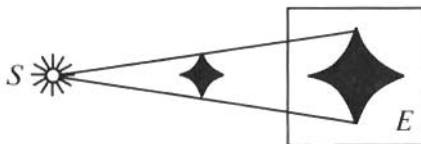
**Mazmuni:** yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni; qaytish qonuni; sinish qonuni; muhitning absolut sindirish ko'rsatkichi; to'la qaytish.

**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 soylarining hosil bo'lishi bu qonunning to'g'riligini isbotlaydi (4- rasm).

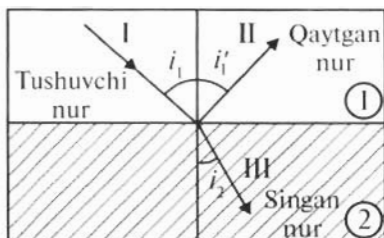
**Yorug'likning qaytish qonuni.** Agar yorug'lik ikkita muhitning chegarasiga tushsa, unda tushuvchi nur ikkita – qaytuvchi va sinuvchi nurlarga ajralib ketadi. 5- rasmda tushuvchi nur (I), qaytgan nur (II) va singan nur (III) deb belgilangan.

*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 kattalidir:*

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

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

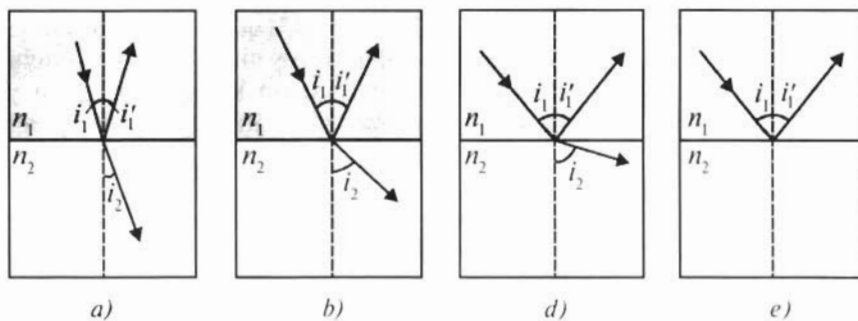
$$n = \frac{c}{v} \quad (4.3)$$

yoki (1.1) ifodadan foydalansak,

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

ifodani hosil qilamiz. Bu yerda  $\epsilon$  – 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 birinchisiga 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?

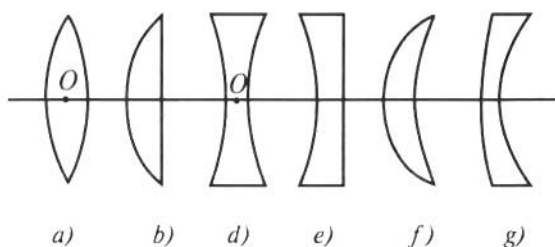
## 5-§. Linzalar. Yupqa linza formulasi

**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.

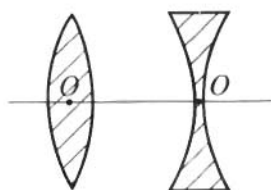
**Linzalar va ularning turlari.** *Linza deb, ikkita sirt bilan chegaralangan shaffof jismga aytiladi.* Linzalar odatda shisha, kvars, plastmassa va shunga o'xshash materiallardan yasalgan bo'ladi. Tashqi ko'rinishiga qarab linzalar: ikkiyoqlama qavariq (7- a rasm); yassi qavariq (7- b rasm); ikkiyoqlama 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.

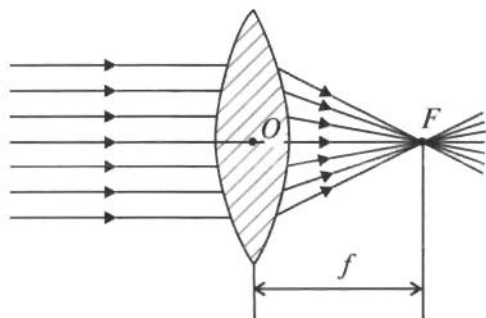
Linza sirtlarining egrilik markazidan o'tuvchi to'g'ri chiziq *linzaning bosh optik o'qi* deyiladi (8- rasm). Har bir linza uchun *linzaning optik markazi* deb ataluvchi shunday *O* nuqta mavjudki, undan o'tadigan nur sinmaydi. Ikkiyoqlama qavariq va ikkiyoqlama



7- rasm.



8- rasm.



9- rasm.

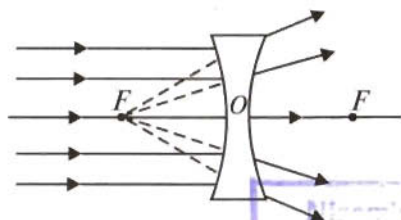
botiq linzalar uchun bu nuqta linzaning geometrik markazi bilan mos keladi.

**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.

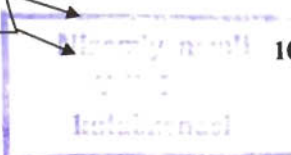
Fokus masofasiga teskari

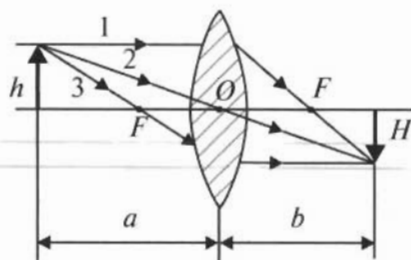
$$D = \frac{1}{f} \quad (5.1)$$

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).

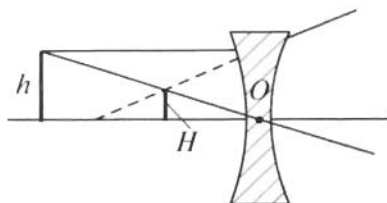
3. Linzaning birinchi fokusidan o‘tuvchi va linzada singandan so‘ng uning bosh optik o‘qiga parallel ravishda yo‘naluvchi nur (11- rasmda 3 nur).

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.



### Sinov savollari

1. Linza deb qanday jismlarga aytiladi? 2. Linzalar qanday moddalardan yasaladi va nima uchun? 3. Tashqi ko'inishiga 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'lqin nazariyasi. Gyuygens prinsipi

Mazmuni: to'lqin nazariyaning asoslari; Gyuygens prinsipi; to'lqin nazariyaning kamchiliklari.

**To'lqin 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'lqin tabiatiga egaligi haqidagi fikrlarni olg'a surishgan. Ushbu nazariyaga ko'ra, yorug'lik to'lqinlarining manbadan tarqalishi suvga tosh tashlaganda hosil bo'ladigan to'lqinlarning tarqalishidek



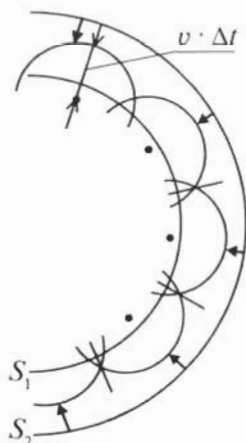
X. GYUYGENS  
(1629–1695)

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, 29- § 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 (13- 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 sirtidan iborat bo‘ladi. Shu bilan birga yorug‘lik to‘lqinlari elektromagnit to‘lqinlardan iboratligi ham bizga ma’lum.



13- rasm.

### 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 ojizlik qildi.



## Sinov savollari

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

## 7-§. Yorug'lik interferensiyasi

**Mazmuni:** yorug'lik to'lqinlarining interferensiyasi; to'lqinlarning kogerentligi; yorug'lik to'lqinlarining superpozitsiyasi; maksimumlar va minimumlar shartlari; maksimumlar va minimumlar shartlarini yo'l farqi orqali ifodalash.

**Yorug'lik to'lqinlarining 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'lqin nazariyasi asosida tushuntirilishi mumkin. Endi esa yorug'likning faqat to'lqin 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'lqinlarining 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'lqini emas, faqatgina kogerent yorug'lik to'lqinlarigina interferensiyaga kirishishi mumkin. Xo'sh, kogerent yorug'lik to'lqinlari deb qanday yorug'lik to'lqinlariga aytiladi?

**To'lqinlarning kogerentligi.** *Kogerent to'lqinlar deb, chastotalari (to'lqin uzunliklari) teng va fazalarining farqi o'zgarmas bo'lgan to'lqinlarga aytiladi.*

Bunday shartni monoxromatik to'lqinlarga qanoatlantirishi mumkin. **Monoxromatik to'lqinlar — bir xil chastotali (to'lqin uzunlikli) va o'zgarmas amplitudali to'lqinlar.** Turli yorug'lik manbalaridan monoxromatik yorug'lik to'lqinlari chiqmaganligi uchun ham ular interferensiyaga kirishishmaydi. Aynan shu sababli, ikkita elektr lampochkasi bilan yoritilayotgan stolning ustida interferension 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 tanishamiz. 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'rinlidir. 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,

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

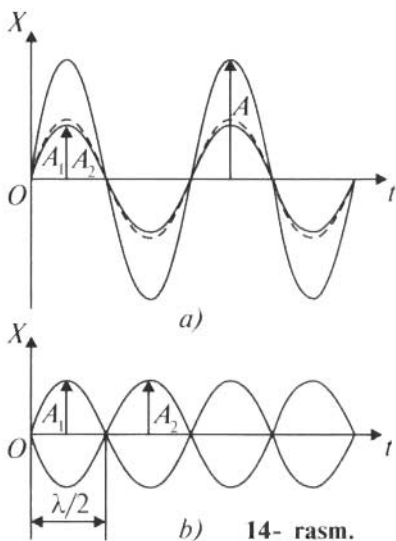
yorug'lik amplitudasining to'la so'nishi kuzatiladi.

**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.*





14- rasm.

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 yarim to‘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.

14- rasmda teng amplitudali to‘lqinlar interferensiyasi ko‘rsatilgan. Agar yo‘l farqi yarim to‘lqin uzunligining juft soniga teng bo‘lsa,  $A = A_1 + A_2 = 2A_1$  – yorug‘lik-

ning kuchayishi (14- a rasm), agar yo‘l farqi yarim to‘lqin uzunligining toq soniga teng bo‘lsa,  $A = |A_1 - A_2| = 0$  – yorug‘likning susayishi, to‘lqinning so‘nishi (14- b rasm) ro‘y beradi.



### Sinov savollari

1. Interferensiya hodisasi yorug‘likning qanday tabiatga egaligini isbotlaydi?
2. Yorug‘lik interferensiyasi nima?
3. Qanday yorug‘lik to‘lqinlari interferensiyaga kirishishi mumkin?
4. Kogerent to‘lqinlar deb qanday to‘lqinlarga aytiladi?
5. Monoxromatik to‘lqinlar deb-chi?
6. Nima uchun ikkita elektr lampochkasi bilan yoritilgan stol ustida interferensiya manzarasi hosil bo‘lmaydi?
7. Turli manbalardan chiqayotgan yorug‘lik to‘lqinlari nima sababdan monoxromatik bo‘la olmaydi?
8. Kogerent yorug‘lik to‘lqinlari qanday hosil qilinadi?
9. Yorug‘lik to‘lqinlari uchun superpozitsiya prinsipini ta’riflang.
10. Ikkita kogerent to‘lqinlarning qo‘shilishi natijasida hosil bo‘lgan tebranish amplitudasi qanday aniqlanadi?
11. To‘lqin intensivligi-chi?
12. Qachon natijaviy tebranishning 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‘lqin 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. 14- rasmdagi manzarani tushuntiring.

## 8-§. Yorug'lik interferensiyasini kuzatish usullari. Yorug'lik interferensiyasidan foydalanish

Mazmuni: Yung usuli; Frenel ko'zgusi; Frenel biprizmasi; yupqa pardada interferensiya; Nyuton halqalari; yorug'lik interferensiyasidan foydalanish.

Endi yorug'lik interferensiyasini kuzatish usullari bilan tani-shaylik. Bu usullarning barchasi bitta manbadan chiqqan yorug'lik nurini ikkiga ajratish va ularni turli optik yo'llar o'tkazib qayta qo'shishga asoslangan.

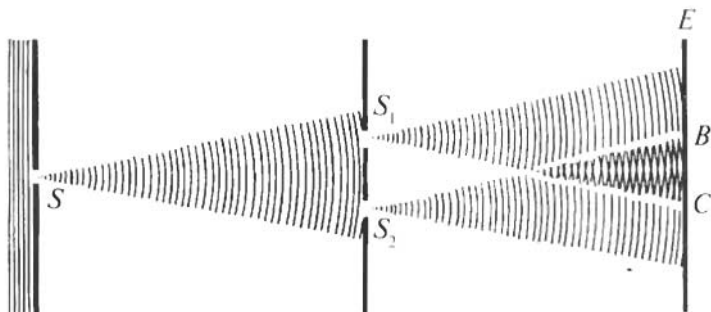
**1. Yung usuli.** Birinchi bo'lib, interferensiya hodisasi kuzatilgan bu usul 15- rasmda ko'rsatilgan.  $S$  manbadan chiqayotgan yorug'lik undan bir xil uzoqlikda joylashgan  $S_1$  va  $S_2$  tirqishlarga tushadi. Aynan shu tirqishlar kogerent to'lqinlarning manbayi vazifasini o'tab,  $E$  ekranda interferensiya manzarasi kuzatiladi.

**2. Frenel ko'zgusi.**  $S$  manbadan chiqayotgan yorug'lik bir-biriga nisbatan ancha kichik  $\varphi$  burchak ostida joylashgan  $AO$  va  $OB$  ko'zgularga tushadi (16- rasm).

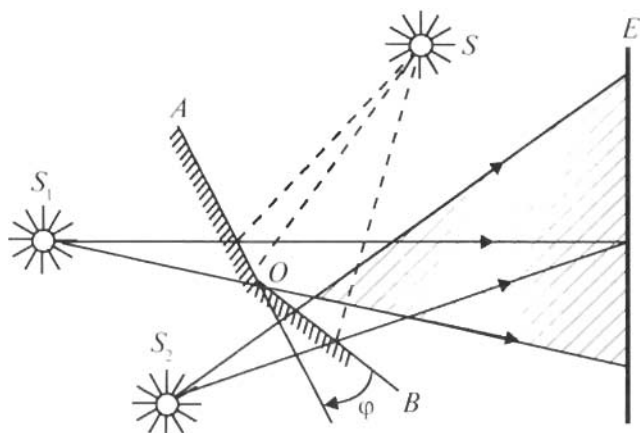
Ko'zgudan qaytgan nurlar  $E$  ekranda interferensiya manzara-sini hosil qiladi. Ularni go'yoki mavhum  $S_1$  va  $S_2$  manbalardan chiqayotgan nurlar sifatida qarash mumkin.

**3. Frenel biprizmasi.**  $U$  ikkita bir xil, asoslari yopishtirilgan prizmalardan iborat (17- rasm).  $S$  manbadan chiqayotgan yorug'lik biprizmadan sinib o'tib, go'yoki  $S_1$  va  $S_2$  mavhum manbalardan chiqayotgan kogerent to'lqinlar sifatida  $E$  ekranda interferensiya manzarasini hosil qiladi.

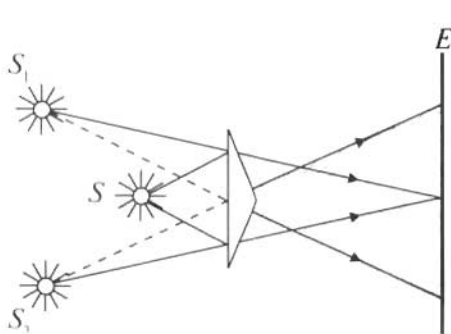
**4. Yupqa pardada interferensiya.** Kundalik hayotimizda yupqa shisha plastinkada, sovun pardasi va shunga o'xshash pardalarda interferensiya hodisasi (turli ranglarning tovlanishi) kuzatiladi.



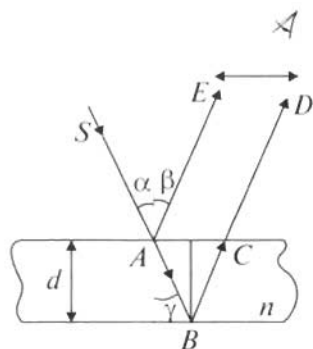
15- rasm.



16- rasm.



17- rasm.



18- rasm.

18- rasmda  $d$  qalinlikli  $n$  yupqa parda ko'rsatilgan.  $A$  nuqtaga o'tkazilgan perpendikular bilan  $\alpha$  burchak hosil qilib  $SA$  nur tushmoqda. Bu nur  $A$  nuqtada qisman qaytib,  $AE$  yo'nalishda harakatlanadi. Qisman singan nur  $B$  nuqtadan yana qaytadi va pardadan chiqib,  $AE$  ga parallel  $CD$  yo'nalishda harakatlanadi.  $AE$  va  $CD$  nurlar bitta  $SA$  nurdan hosil bo'lgani uchun ham kogerent bo'ladi va interferensiyaga kirishishadi. Shuni ta'kidlash lozimki, qaytgan yorug'lik nurining to'lqin uzunligi  $\frac{\lambda}{2}$  ga o'zgaradi, ya'ni yo'l farqiga  $\frac{\lambda}{2}$  qo'shiladi. Boshqacha aytganda, qaytgan yorug'lik to'lqini fazasini  $\pi$  ga o'zgartiradi.

Yupqa pardada interferensiya quyidagi ifodalar yordamida aniqlanadi.

Maksimumlar sharti:

$$\delta = 2k \frac{\lambda}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}. \quad (8.1)$$

Minimumlar sharti:

$$\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}. \quad (8.2)$$

Tushayotgan yorug'likning tarkibiga qarab, (8.1) shartga binoan, turli xil rangli interferensiya yo'llari kuzatilishi mumkin.

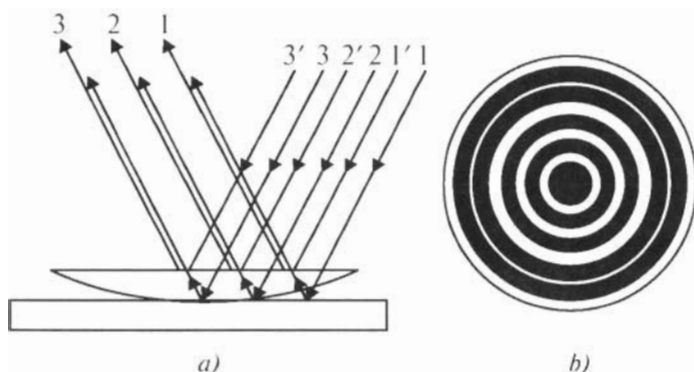
**5. Nyuton halqalari.** Yassi-parallel plastinka ustiga katta radiusli ( $R = 10-100$  m) yassi-qavariq linza qo'yilgan bo'lsin (19- a rasm). Bu holda teng qalinlikli yo'llar halqalar ko'rinishida bo'lib, ularga *Nyuton halqalari* deyiladi. Linzaga monoxromatik yorug'lik tushayotgan bo'lsa, havo qatlamining yuqori va quyi qatlamlaridan qaytayotgan to'lqinlar o'zaro interferensiyaga kirishadi. Qaytgan yorug'lik uchun qorong'i halqalarning radiuslari

$$r_q = \sqrt{kR\lambda} \quad (8.3)$$

ifoda bilan aniqlanib, markazda qora dog' bo'ladi (19- b rasm). Bu yerda  $k = 0, 1, 2, \dots$  – halqalarning tartib raqami. Yorug' halqalarning radiuslari

$$r_{yo} = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}} \quad (8.4)$$

kabi aniqlanadi. Bu yerda  $k = 1, 2, 3, \dots$  – yorug' halqalarning tartib raqamlari.



19- rasm.

Qaytgan va o'tgan yorug'liklarning optik yo'l farqlari  $\frac{\lambda}{2}$  ga farq qilgani uchun ham, ulardagi maksimum va minimumlarning o'rnini almashadi. Boshqacha aytganda, o'tgan yorug'lik uchun (8.3) ifoda yorug', (8.4) ifoda qorong'i halqalarning radiuslarini aniqlaydi.

**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 spektroskopiyasi). Misol uchun, Nyuton halqalarining radiusini o'lchab yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlash mumkin.

Shuningdek, interferensiya hodisasidan 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 bilan farq qiladi. Bunday asboblarda yordamida yorug'likning to'lqin uzunligi, jismlarning o'lchamlari, jism o'lchamlarining temperaturaga bog'liqligi va hokozolar katta aniqlikda o'lchanishi mumkin.

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

Interferometrlar yordamida optik detallarning sifatini, burchaklarining aniqligini nazorat qilish, havoda tez-tez ro'y beradigan jarayonlarning amalga oshirishini 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. Yorug'lik interferensiyasini kuzatishning barcha usullariga xos bo'lgan xususiyat nima? 2. Yung usulini aytib bering. 15- rasmni tushuntiring. 3. Frenel ko'zgusi nima? 16- rasmni tushuntiring. 4. Frenel biprizmasi nima? 17- rasmni tushuntiring. 5. Sovun pardasida turli ranglarning

tovlanishini qanday tushuntirasiz? 6. Yupqa pardada interferensiya qanday vujudga keladi? 18- rasmni tushuntiring. 7. Qaytgan yorug'likning to'lqin uzunligi o'zgaradimi? 8. Fazasi-chi? 9. Yupqa pardadagi interferensiya uchun maksimumlar va minimumlar shartini yozing. 10. Nyuton halqalari qanday hosil qilinadi? 11. Qaytgan yorug'lik uchun qorong'i halqalarning radiuslari qanday? 12. Yorug' halqalarning radiuslari-chi? 13. O'tgan yorug'lik uchun shu halqalar radiuslari qanday bo'ladi? 14. Nima uchun qaytgan va o'tgan yorug'liklar uchun halqalarning radiuslari mos kelmaydi? 15. Interferensiya hodisasi yordamida yorug'lik to'lqinlarining uzunligini aniqlash mumkinmi? 16. Interferometrlar nima maqsadlarda ishlatiladi? 17. Maykelson interferometri haqida nimani bilasiz? 18. Mikrointerferometr yordamida nimani nazorat qilish mumkin? 19. Interferension refraktometrlar yordamida nimalar o'rganiladi?

## 9-§. Yorug'lik difraksiyasi

**M a z m u n i:** to'lqinlar difraksiyasi; yorug'lik difraksiyasi; Gyuygens–Frenel prinsipi.

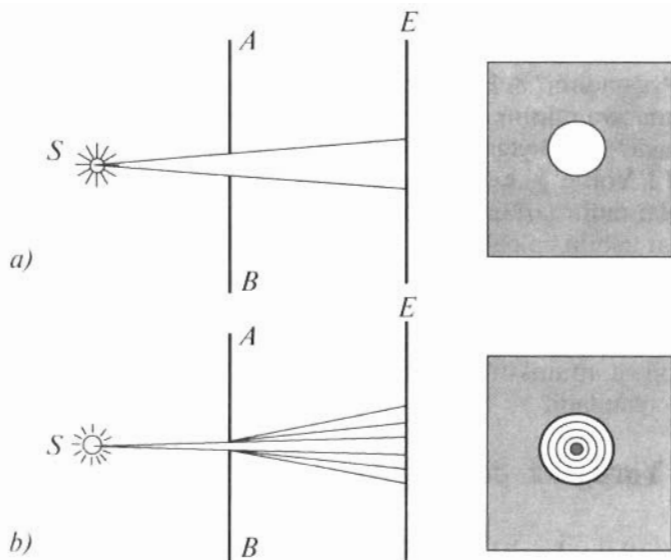
**To'lqinlar difraksiyasi.** Difraksiya so'zi lotincha *diffRACTUS* – singan, yo'nalishini o'zgartirgan, degan ma'noni anglatadi. Shuning uchun ham to'lqinlar difraksiyasi deganda ularning to'siqni aylanib o'tishi nazarda tutilgan.

Aynan shu difraksiya sharofati bilan to'lqinlar 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 eshitalishi ham tovush to'lqinlari difraksiyasining natijasidir.

**Yorug'lik difraksiyasi.** Yuqoridagidek hollar yorug'lik bilan ham ro'y beradimi, degan savol tug'iladi. Buning uchun sxemasi 20- rasmda ko'rsatilgandek tajriba o'tkazamiz. Yorug'lik manbayi qarshisida kichkina tirqishli  $AB$  to'siq turgan bo'lsin.  $E$  ekranda tirqishning soyasi, yorug' dog' hosil bo'ladi (20-  $a$  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 (20-  $b$  rasm).

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

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



20- rasm.

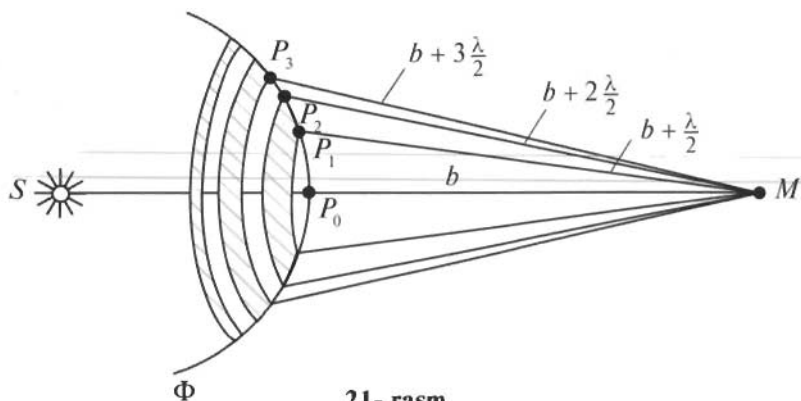
*Yorug'lik to'lqinlarining to'siqni aylanib o'tishi va geometrik soya tomonga og'ishi **yorug'lik difraksiyasi** deyiladi.*

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 20- 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 o'z yordamini qo'lga kiritadi. 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



21- rasm.

qo'shimcha kiritdi. Uning fikriga ko'ra, *bu mavhum manbalar kogerent to'liqlar chiqaradi va ular fazoning istalgan nuqtasida interferensiyaga kirishib, bir-birlarini kuchaytirishlari yoki so'ndirishlari mumkin.*

Frenel o'z prinsipiga binoan, to'liq frontini shunday bo'laklarga (Frenel zonalariga) bo'lishni taklif qildiki, bunda qo'shni zonalardan qaralayotgan nuqtaga yetib kelayotgan to'liqlarning fazalari qarama-qarshi, ya'ni  $\Delta\varphi = \pi$  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'liqining amplitudasini topaylik (21- rasm). Gyuygens–Frenel prinsipiga binoan,  $S$  manbaning ta'sirini  $\Phi$  to'liq frontining bo'laklaridan iborat mavhum manbalarning ta'siri bilan almashtiramiz. Frenel ularni, halqasimon shakldagi zonalar chekkasidan  $M$  nuqtagacha 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:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots + A_m, \quad (9.1)$$

bu yerda  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$  – mos ravishda 1, 2, 3, ...  $m$ - zonalar



vujudga keltiradigan 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'lqinlar difraksiyasi deganda nima nazarda tutiladi?
3. Tovushning pana joyda eshitisini qanday tushuntirasiz?
4. 20-  $a$  rasmdagi manzarani tushuntiring.
5. 20-  $b$  rasmdagi manzarani tushuntiring.
6. 20-  $b$  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 zonalaridan kelayotgan to'lqinlarning yo'l farqi nimaga teng?
12. 21- rasmni tushuntiring.
13. Qo'shni zonalaridan 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?

## 10-§. Parallel nurlar dastasining yakka tirqishdagi difraksiyasi. Difraksion panjara. Difraksiyadan foydalanish

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

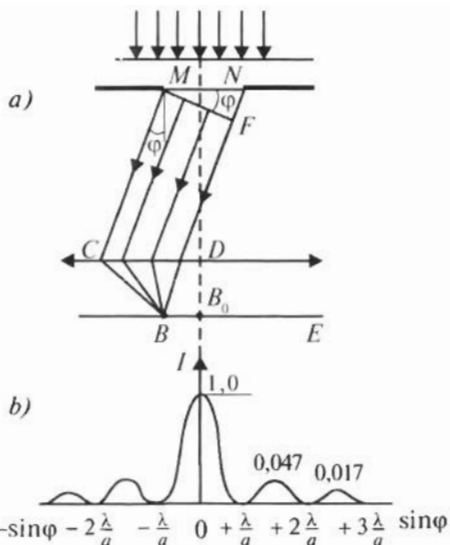
**Parallel nurlar dastasining yakka tirqishdagi difraksiyasi.** Nemis fizigi I. Fraunhofer (1787–1826) katta amaliy ahamiyatga ega bo'lgan parallel nurlar dastasining difraksiyasini o'rgandi. Shuning uchun ham bu difraksiyaga ba'zan *Fraunhofer difraksiyasi* deyiladi.

Yassi monoxromatik yorug'lik to'lqini kengligi  $a$  bo'lgan tirqish tekisligiga tik tushayotgan bo'lsin (22-  $a$  rasm). Tirqishda  $\phi$  burchakka og'ib harakatlanayotgan chekka  $MC$  va  $ND$  nurlar orasidagi optik yo'l farqi

$$\delta = NF = a \cdot \sin\phi \quad (10.1)$$

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. (10.1) ifodadan ko'rinib turibdiki, tirqishda joylashadigan zonalar soni  $\varphi$  burchakka bog'liq bo'ladi. O'z navbatida, ikkilamchi to'liqinlar qo'shilishining natijasi esa Frenel zonalarining soniga bog'liq. Bizga ma'lumki, har bir juft qo'shni Frenel zonalarini vujudga keltiradigan tebranishlar amplitudasi nolga teng, chunki qo'shni zonalarining tebranishlari bir-birlarini so'ndiradi.



22- rasm.

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

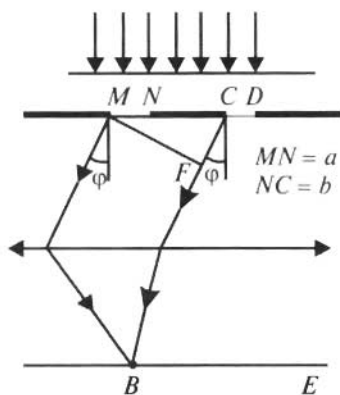
$$\delta = a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (10.2)$$

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

$$\delta = a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (10.3)$$

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. 22-  $b$  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.*



23- rasm.

Agar tirqishning kengligini  $a$ , noshaffof sohaning kengligini  $b$  deb olsak,  $d = a + b$  kattalik difraksiya panjaraning doimiysi (davri) deyiladi. 23- rasmda difraksiya panjara ko'rsatilgan. Garchi rasmda soddalik uchun ikkita tirqish –  $MN = CD = a$  va  $NC = b$  ko'rsatilgan bo'lsa-da, u difraksiya panjara to'g'risida tasavvurga ega bo'lish uchun yetarli.

### Difraksiya 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 (23- rasm)

$$\delta = CF = (a + b)\sin\varphi = d \cdot \sin\varphi \quad (10.4)$$

ga teng bo'ladi.

Difraksiya panjara holida ham yakka tirqishdagi difraksiya kabi (bosh) minimumlar

$$a \cdot \sin\varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (10.5)$$

shartdan aniqlanadi. Agar

$$d \cdot \sin\varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (10.6)$$

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

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

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

Ayniqsa, to'liqin uzunligini aniqlash zarur bo'lgan spektral analizda difraksiya panjaradan juda keng foydalaniladi. (10.6)

formuladan ko‘rinib turibdiki, yorug‘likning  $\lambda$  to‘lqin 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‘lqin 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‘lqin uzunlikli spektral chiziqlarni ajrata olish qobiliyati bilan aniqlanadi. Bu spektral chiziqlar o‘zlaridan kengroq bitta maksimumga qo‘shilib 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 zonalarini qanday tanlanadi?
4. Frenelning qo‘shni zonalarini 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. 22- rasmdagi manzarani tushuntiring.
9. Difraksion panjara deb nimaga aytiladi?
10. Panjara doimiysi nimaga teng?
11. 23- 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?

## 11-§. Golografiya haqida tushuncha



**D. GABOR**  
(1900–1979)

**M a z m u n i :** golografiya tarixidan; golografiyaning asosi; gologramma hosil qilish; golografik tasvir hosil qilish; golografiyaning qo'llanilishi.

**Golografiya tarixidan.** *Golografiya (yunoncha – to'la yozuv) – interferensiya manzarasi yordamida yozuvni va to'lqin maydonini qayta tiklashning maxsus usuli.* Bu usul interferensiya va difraksiya qonunlariga asoslangan.

Jismlarning fazoviy tasvirini qayd qilishning va qayta tiklashning bu yangi usuli 1947- yilda ingliz fizigi D.Gabor (1900–1979) tomonidan kashf qilingan. Bu kashfiyoti uchun D.Gabor 1971- yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi.

Golografiya ixtiro qilingan dastlabki yillarda unga yetarlicha e'tibor berilmadi. Buning asosiy sababi qizigan manbalar chiqaradigan yorug'lik to'lqinlari yordamida keskin interferensiya manzarasi hosil qilishning imkoni bo'lmaganligidadir. Ammo yuqori darajadagi monoxromatik nurlar – lazer nurlari paydo bo'lganidan so'ng bu usulning amalda qo'llanishida keskin burilish ro'y berdi.

**Golografiyaning asosi.** Endi golografiyaning asosi bilan tanishishga o'taylik. Xo'sh, jism to'g'risidagi ma'lumot (uning tasviri) qanday qilib qayd etiladi va qanday qilib tiklanadi? Buning uchun jismdan chiqayotgan to'lqin amplitudasi va fazasini qayd qilish va qayta tiklash zarur. Bu esa amalda mumkin. Chunki interferensiyada, intensivlikning taqsimoti interferensiyaga kiruvchi to'lqinlarning ham amplitudalariga, ham fazalariga bog'liq bo'ladi (7.1- § ga qarang).

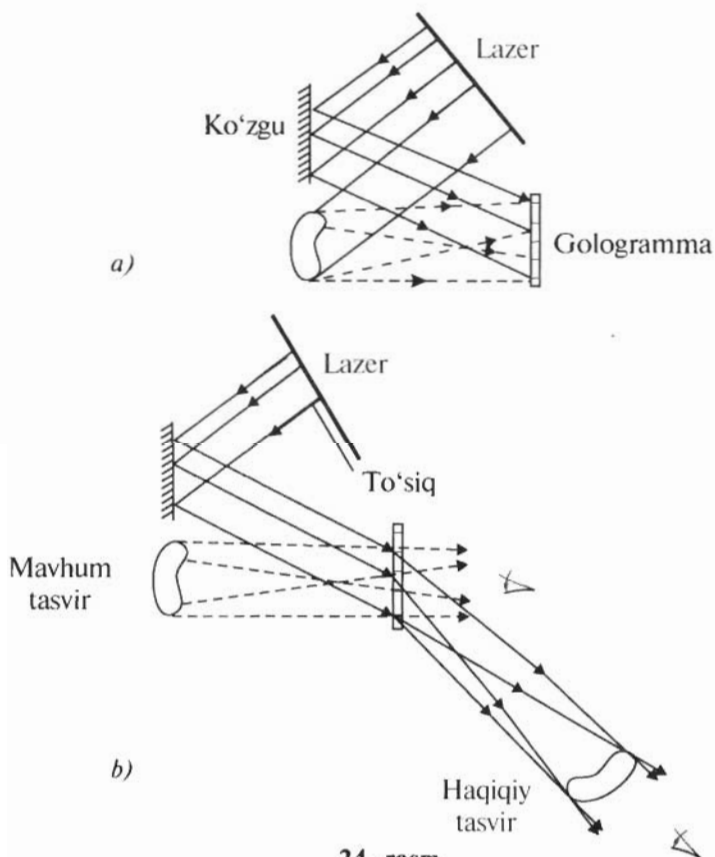
Shuning uchun ham faza, ham amplituda haqidagi ma'lumotlarni qayd qilish uchun jismdan chiquvchi to'lqindan (jism to'lqini) tashqari, yorug'lik manbayidan boruvchi, unga kogerent bo'lgan to'lqindan ham (tayanch to'lqini) foydalaniladi.

Golografiyaning asosiy g'oyasiga muvofiq, jism va tayanch to'lqinlari hosil qiladigan interferensiyadagi intensivliklar taqsimoti rasmga tushirib olinadi. So'ngra, fotoplastinkada qayd qilingan qoraygan taqsimotlar yorug'lik difraksiyasi yordamida qayta tiklanib, jism bo'lmasa ham, uni o'rganish imkoniyati vujudga keladi.

**Gologramma hosil qilish.** *Gologramma deb, fotoplastinkada qayd qilingan tayanch va jism to'liqlari hosil qilgan interferension manzaraga aytiladi.* Buning qanday amalga oshirilishi 24- a rasm-dagi sxemada ko'rsatilgan.

Lazer nuri ikkita qismga ajratilib, bir qismi ko'zguga, ikkinchi qismi esa jisimga yo'naltiriladi. Nurning birinchi qismi ko'zgudan qaytib fotoplastinkaga tushsa (tayanch to'liqini), ikkinchi qismi jismdan qaytib fotoplastinkaga tushadi (jism to'liqini). Bu to'liqlar kogerent bo'lganliklari uchun fotoplastinkada interferensiya manzarasini vujudga keltiradi. Tayanch va jism to'liqlarining qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan interferensiya manzarasining fotoplastinkadagi rasmi chiqarilib, gologramma hosil qilinadi.

**Golografik tasvirni tiklash.** Tasvirni tiklash uchun gologramma dastlabki joyiga qo'yiladi (24- b rasm). U tayanch to'liqini bilan



24- rasm.

yoritilib, lazerning jism orqali tushadigan qismi to'siladi. Fotoplastinkaga tushayotgan nurning interferensiyali manzaradagi difraksiyasi natijasida jism to'liqining nusxasi, ya'ni jismning mavhum hajmiy tasviri tiklanadi. Tasvirda jismning barcha xususiyatlari akslangan bo'lib, golografiyagacha qayerda turgan bo'lsa, o'sha joyda turadi. U shunchalik real tuyuladiki, ushlab ko'rish mumkindek bo'ladi. Bundan tashqari, kuzatish gologrammaning o'ng tomonidan o'tkir burchak ostida olib borilsa, narsaning haqiqiy tasviri ham tiklanadi. Lekin bu holda narsaning joylashuvi teskarisiga o'zgaradi. Masalan, botiq joy qavariq va aksincha bo'ladi. Ammo, odatda, jism real mavjuddek tuyuladigan mavhum tasvirdan foydalaniladi.

Shuni ta'kidlash lozimki, hatto gologrammaning bir bo'laki ham tasvirni to'la tiklashga imkon beradi. Ammo bo'lakchanning juda kichik bo'lishi tasvirning aniqligini yomonlashtirishi mumkin.

**Golografiyaning qo'llanilishi.** Golografiya usulidan hozir juda ko'p sohalarda foydalaniladi. Lekin ularning eng muhimi — ma'lumotlarni yozish va saqlash. Golografiya oddiy mikrofotoografiya usuliga qaraganda, bir xil hajmga yuzlab marta ko'p ma'lumotni yozishga imkon beradi. Masalan, o'lchamlari 32×32 mm bo'lgan fotoplastinkaga, har birining yuzasi 1 mm<sup>2</sup> dan bo'lgan 1024 ta gologrammani, ya'ni 1024 betli kitobni joylashtirish mumkin. Golografik xotirali EHM, golografik elektron mikroskop, golografik kino va televideniye, golografik interferometrlar kabi istiqbolli sohalar endigina rivojlana boshlamoqda.



### Sinov savollari

1. Golografiya so'zi qanday ma'noga ega va u qanday usul?
2. Golografiyani kim va qachon kashf etgan?
3. Golografiyadan foydalanishga qachon jiddiy e'tibor berila boshlandi va nima uchun?
4. Jism to'liqini deb qanday to'liqiga aytiladi?
5. Tayanch to'liqini deb-chi?
6. Bu to'liqlar interferensiyaga kirishishadimi?
7. Golografiyaning asosiy g'oyasi nimadan iborat?
8. Gologramma deb nimaga aytiladi?
9. 24- a rasmdagi sxemani tushuntiring.
10. Qanday nurlar fotoplastinkada interferensiyali manzarani vujudga keltiradi?
11. Gologramma qanday hosil qilinadi?
12. Tasvirni tiklash uchun gologramma nima qilinadi?
13. 24- b rasmdagi holatni tushuntiring.
14. Qanday nurlar difraksiya manzarani vujudga keltiradi?
15. Difraksiya panjara vazifasini nima o'taydi?
16. Difraksiya natijasida nima hosil bo'ladi?
17. Jismning qanday tasviri va qayerda tiklanadi?
18. Jismning haqiqiy tasviri qanday tiklanadi?
19. Gologrammaning bir bo'laki tasvirni tiklay oladimi?
20. Golografiyadan qanday maqsadlarda

foydalaniladi va uning afzalligi nimada? 21. Bitta fotoplastinkaga qancha hajmli kitobni joylashtirish mumkin? 22. Golografiyadan kelgusida qanday sohalarida foydalanish mumkin?

## 12-§. Yorug'likning qutblanishi. Qutblagichlar

**Mazmuni:** 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.

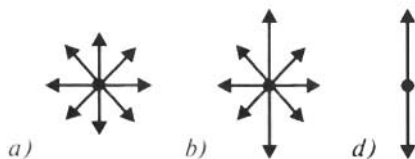
Yorug'lik ko'plab atomlar tomonidan chiqariladi va ko'plab elektromagnit nurlanishlarning yig'indisidan iborat bo'ladi. Bu nurlanishlar mustaqil ravishda amalga oshirilgani uchun yorug'lik vektorining hamma yo'nalishlar bo'yicha taqsimoti bir xil bo'ladi (25- a rasm).

$\vec{E}$  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 (25- 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 (25- d rasm).



25- rasm.



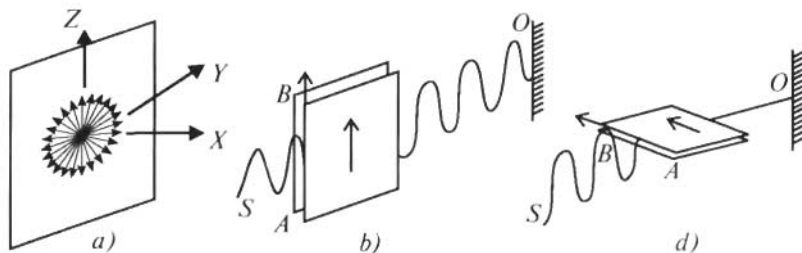
Yassi qutblangan yorug'lik  $\vec{E}$  vektorining tebranish va to'liqin tarqalish yo'nalishlari yotuvchi tekislik *qutblanish tekisligi* deyiladi.

**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 (26- a rasm).

Qutblangan to'liqinni hosil qilish uchun quyidagicha tajriba o'tkazaylik. Yo'lida tirqishli to'siq qo'yilgan ko'ndalang to'liqin  $SO$  chilvir bo'ylab tarqalayotgan bo'lsin (26- b rasm). Garchi to'liqin harakat yo'nalishiga perpendikular bo'lgan barcha yo'nalishlarda tebranishi mumkin bo'lsa-da,  $AB$  tirqishga parallel 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 (26- d rasm), to'liqin tirqish orqali o'tolmay so'nadi. Tajriba natijasi chilvirdagi to'liqin ko'ndalang, qutblanish esa ko'ndalang to'liqlarga xos xususiyat ekanligini ko'rsatadi. Bo'ylama to'liqlar tirqish qanday joylashishidan qat'i nazar, undan o'taveradi.

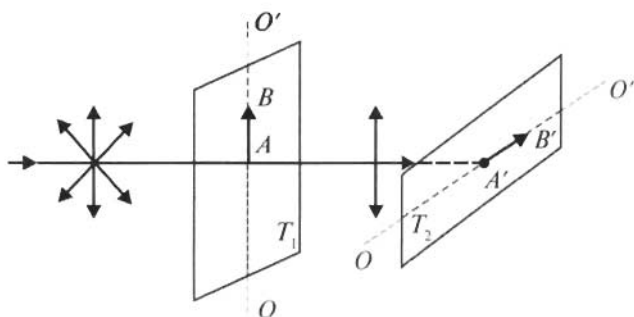
**Qutblagichlar.** Endi yorug'lik to'liqlarining tabiatini aniqlash uchun yuqorida keltirilganga o'xshash tajriba o'tkazib ko'raylik. Yorug'lik to'liqini holida «tirqishli to'siq» vazifasini nima bajarishi mumkin, degan savol tug'iladi. Bu vazifani ba'zi kristallar, masalan, *turmalin* o'tashi mumkin. 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.



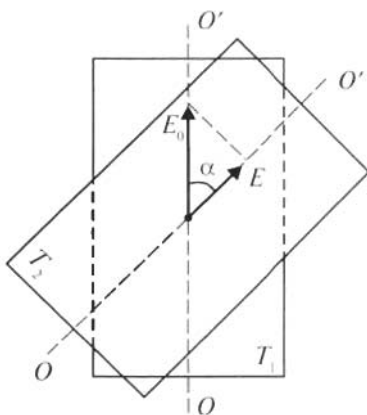
26- rasm.

Yorug'lik to'qlinining qutblanish xususiyatiga egaligi uning ko'ndalang to'qlin 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 (27- rasm). (Turmalin plastinka 26- 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'zgarmaganligini 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 turmalin plastinkalarning optik o'qlari orasidagi  $\alpha$  burchakka (28- rasm) bog'liq bo'lib, tushayotgan yorug'lik intensivligi bilan



27- rasm.



28- rasm.

fransuz fizigi E.Malyus (1775–1812) nomidagi qonun orqali bogʻlangan:

$$I = I_0 \cos \alpha, \quad (12.1)$$

bu yerda  $I$  – ikkinchi turmalindan chiqayotgan,  $I_0$  – ikkinchi turmalinga tushayotgan yorugʻlik intensivliklari.

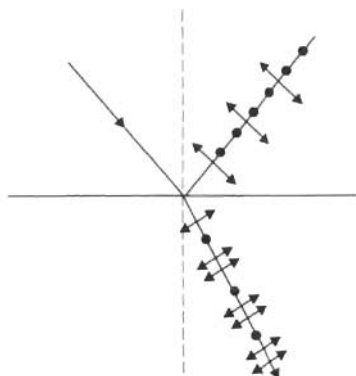
Agar  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  boʻlsa,  $\cos \alpha = 0$  va  $I = 0$ , yaʼni ikkinchi turmalinda yorugʻlik toʻlqini soʻnadi. Bu esa birinchi turmalindan faqat maʼlum yoʻnalishdagi (27- rasmda bu yoʻnalish  $AB$  strelka bilan koʻrsatilgan) yorugʻlik tebranishlari oʻtishini, boshqacha aytganda, birinchi turmalin tabiiy yorugʻlikni yassi qutblangan yorugʻlikka aylantirishini koʻrsatadi.

**Bryuster qonuni.** Tabiiy yorugʻlik ikkita dielektrikning (misol uchun havo va suv) chegarasiga tushganda bir qismi qaytadi, bir qismi esa sinib ikkinchi muhitda harakatlanadi. Bu nurlarning yoʻliga turmalin plastinka qoʻyib, ularning qisman qutblanganligiga ishonch hosil qilish mumkin. Tajribalar qaytgan nurda tushish tekisligiga perpendikular boʻlgan tebranish (29- rasmda ular nuqtalar bilan koʻrsatilgan), singanida esa tushish tekisligiga parallel tebranish (strelkalar bilan koʻrsatilgan) ustunroq boʻlishini koʻrsatdi.

Qutblanish darajasi nurning tushish burchagi va sindirish koʻrsatkichiga bogʻliq. Shotlandiyalik fizik D.Bryuster (1781–1868) tushish burchagi  $i_B$  sindirish koʻrsatkichi ( $n_{21}$ ) yordamida

$$\operatorname{tg} i_B = n_{21} \quad (12.2)$$

munosabat orqali aniqlanishini koʻrsatuvchi oʻz qonunini yaratdi. Bu yerda  $n_{21}$  – ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish koʻrsatkichi.



29- rasm.

Tabiiy yorugʻlik dielektriklar chegarasiga Bryuster burchagi ostida tushsa, qaytgan nur yassi qutblangan boʻladi (tushish tekisligiga perpendikular tebranishlarga ega boʻladi) (30- rasm). Singan nur esa maksimal (lekin toʻla emas) qutblangan boʻladi.

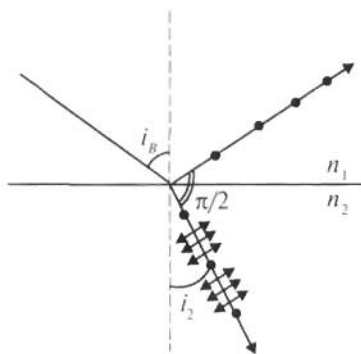
**Qutblanishdan foydalanish.** Qutblanish hodisasi xalq xoʻjaligida juda keng qoʻllaniladi. Bularga mexanik yuklanish natijasida vujudga

keladigan elastik kuchlanish joylarini aniqlash, tovushni yozish va eshitirish 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 kvarts, shakarining suvdagi eritmasi va boshqalar misol bo'ladi. Aynan shu hodisadan optik faol moddalar eritmasining konsentratsiyasini aniqlashda keng foydalaniladi.



30- rasm.



### 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 asosanib 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. 27- rasmdagi holatni tushuntiring.
20. Malyus qonunini tushuntiring.
21. 28- 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?

## 13-§. 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.

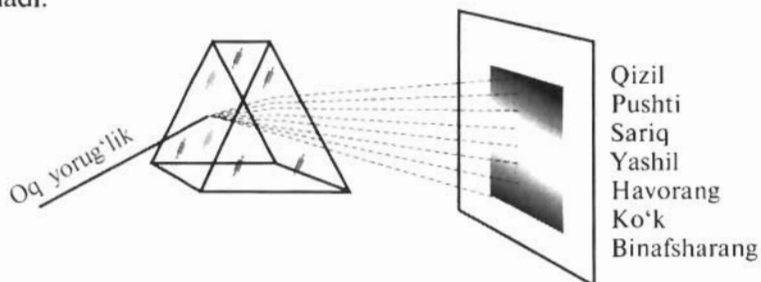
Dispersiya so'zi lotincha *dispersio* – sochilish so'zidan olingan. Yorug'lik dispersiyasini birinchi bo'lib kuzatgan kishi ingliz fizigi I. Nyuton hisoblanadi. U oq yorug'lik dastasini shisha prizma orqali o'tkazib, ekranda turli ranglar ketma-ketligidan tashkil topgan spektrni kuzatdi (31- rasm). I. Nyuton oq yorug'lik yetti xil – qizil, pushti, sariq, yashil, havorang, ko'k va binafsharanglardan 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.** Vakuumda 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 tomchilarida sinishi uning rangli nurlarga ajralishiga, ya'ni kamalakning hosil bo'lishiga olib keladi.



31- rasm.

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

Quyida ba’zi moddalar sindirish ko‘rsatkichlarining to‘lqin uzunligiga bog‘lanishi keltirilgan.

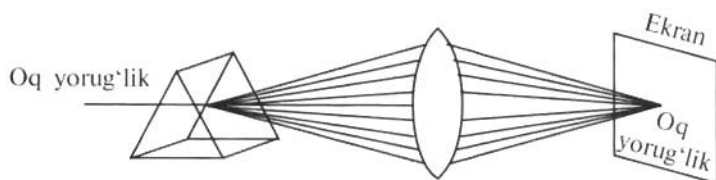
2- jadval

$\lambda, \mu\text{m}$	$n$		
	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 (32-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.

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



32- rasm.

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. 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 (10.6- 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. 33-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 asosanib 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 spektridachi? 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?

## 14-§. Nurlanish va yutilish spektrlari. Spektral analiz

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 (33- *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.

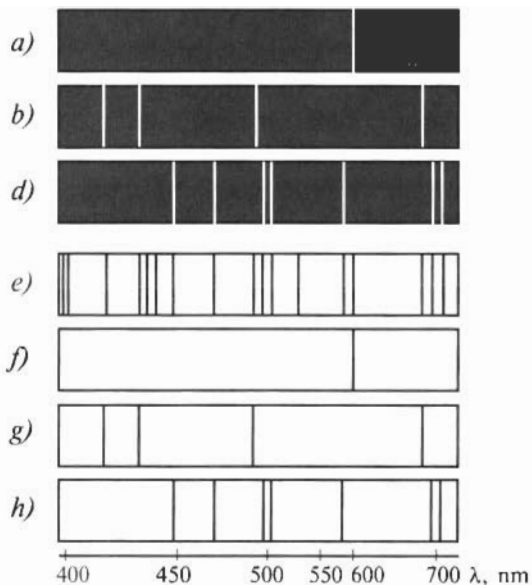
Agar nurlanish manbayi bo'lib moddaning molekulasi xizmat qilsa, yo'l-yo'l spektr kuzatiladi.

**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 (33- *a* va 33- *f* rasmlarni solishtiring). Ushbu hodisa Kirxgof tomonidan quyidagicha tushuntirildi. *Atom o'zidan qanday yorug'lik to'lqini nurlasa, shunday yorug'lik to'lqinini yutadi.*

33- *f, g, h* rasmlarda natriyning, vodorodning va geliyning yutilish spektrlari ko'rsatilgan. 33- *e* rasmda tarkibiga yuqoridagi moddalar kirishini isbotlovchi quyosh spektri keltirilgan.

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; sariqlariniki 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).



33- rasm.

Yulduzlar energiyasining manbai 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 (33- 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 Yerdagi 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 Yerdagi 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.*

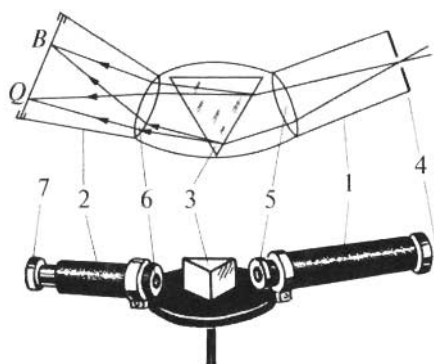
Misol uchun spektrda sariq chiziq bo'ladigan bo'lsa, bu o'rganilayotgan modda tarkibida natriy borligini ko'rsatadi. Agar spektrda oldin ma'lum bo'lmagan chiziq ko'rinsa, bu yangi element kashf qilinganligining isbotidir. Spektral analiz juda sezgir usul bo'lib, uning yordamida elementning  $10^{-10}$  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 soddasi spektroskop 34- rasmda ko'rsatilgan. Spektroskop kollimator – 1; prizmalı ko'rish trubasi – 2; prizmalı 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.

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

Yanada takomillashgan, ya'ni uchinchi tuba 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



34- rasm.

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. 33- *a* va *f* rasmlarni solishtiring. 8. Kirxgofning spektrlar haqidagi fikri qanday? 9. 33- *b* va *d*, 33- *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 manbai nima? 14. Yulduzlar atmosferasining asosiy qismi qanday elementlardan iborat? 15. 33- *e* rasmni boshqa rasmlar bilan solishtirib tahlil qiling. 16. Fraunhofer chiziqlari deb qanday chiziq'larga 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.

## 15-§. Elektromagnit to'liqlar shkalasi. Infraqizil va ultrabinafsha nurlar

M a z m u n i: elektromagnit to'liqlar shkalasi; infraqizil nurlar; ultrabinafsha nurlar.

**Elektromagnit to'liqlar shkalasi.** I qism, 119- § da elektromagnit to'liqlar shkalasi haqida ma'lumot berilgan edi. O'shanda, asosan, radioto'liqlar haqida fikr yuritgan edik. Keyinchalik esa to'liq uzunligi  $4,0 \cdot 10^{-7}$  m dan  $7,6 \cdot 10^{-7}$  m gacha bo'lgan, ko'zga ko'rinadigan yorug'lik to'liqlarini o'rgandik. Elektromagnit to'liqlar 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'liqlar shkalasida radioto'liqlar va ko'zga ko'rinuvchi qizil yorug'lik o'rtasida joylashgan. Uning to'liq 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 manbasi bo'ladi. Infraqizil nurning eng kuchli tabiiy manbasi — 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 plyonkalardan 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 asboblari ham mavjud. Infraqizil nurlar yordamida qorong'ilikdagi narsalarning joyini aniqlash mumkin. Infraqizil lazerlar Yerda va kosmosda aloqa o'rnatishda ham ishlatiladi.

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

Ultrabinafsha nurlari ko'zga ko'rinmaydi va shartli ravishda quyidagi turlarga bo'linadi: yaqin ultrabinafsha nurlari (400–200 nm to'lqin uzunlikli), 1801-yilda nemis fizigi I. Ritter va ingliz fizigi U. Vollaistonlar tomonidan kashf qilingan; uzoq va vakuumli ultrabinafsha nurlari (200–10 nm) nemis fizigi V. Shuman va ingliz fizigi T. Laymanlar tomonidan o'rganilgan.

3000 K gacha qizdirilgan jismlar ultrabinafsha nurlari manbasi 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 manbasi hisoblanadi.

Ultrabinafsha nurlari kuchli biologik ta'sirga ega. To'lqin uzunligi 400–320 nm bo'lgan ultrabinafsha nurlari chiniqtiruvchi, sog'liqni mustahkamlovchi ta'sirga ega. Inson organizmida D vitamini hosil bo'lishiga yordam beradi. 320–280 nm li nurlari badanning qorayishiga olib kelsa, 280–250 nm li to'lqinlari 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'lqinlar shkalasini tavsiflang.
2. Infraqizil nurlar deb qanday nurlarga aytiladi?
3. Infraqizil so'zi qanday ma'noni anglatadi?
4. Infraqizil nurlarning to'lqin 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?

## 16-§. Rentgen nurlari

**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



**V. RENTGEN**  
(1845–1923)

nurlarining oddiy nur uchun noshaffof hisoblanuvchi odam tanasi, qora qog'oz, karton va yupqa metall qatlamlardan osongina o'ta olish qobiliyatiga egaligi aniqlandi.

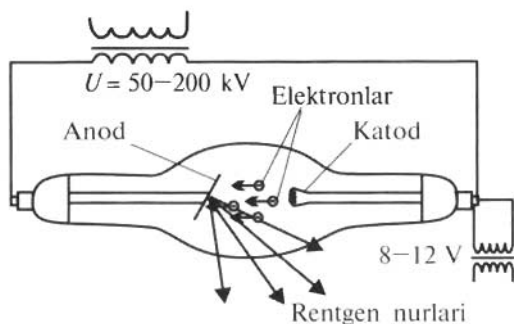
**Rentgen trubkasi.** Rentgen nurlarining vujudga kelish mexanizmini bilish uchun uni hosil qiladigan, *rentgen trubkasi* deb ataluvchi maxsus asbob bilan tanishaylik (35- rasm). Rentgen trubkasi ichidagi bosim 0,1 mPa atrofida bo'lgan shisha ballondan iborat. Volframdan spiral ko'rinishida yasalgan katod elektronlar manbai bo'lib xizmat qiladi. Termoelektron emissiya natijasida katoddan chiqayotgan elektronlar oqimi kuchli elektr maydonida tezlatiladi. Tezlashgan elektronlar oqimi 45° burchak ostida o'rnatilgan og'ir anodga tushadi. Anodning bunday joylashtirilishiga 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.

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



35- rasm.

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. Knippinglar 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. 35- rasmdagi manzarani tushuntirib bering.
6. Anod  $45^\circ$  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 elektron-



ning energiyasidan katta bo'la olmaydi? 10. Rentgen nurlarining to'liqin 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'liqin uzunligi qanday? 15. Nima uchun oddiy tirqishda rentgen nurlarining diffraksiyasi 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'liqin 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 yetishini 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:

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

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

**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'liqin 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:

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

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

$$\text{Bu yerda} \quad N = \frac{s}{d} - \quad (3)$$

— 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 - m a s a l a .** Yorug'likning havodan osh tuzi kristaliga tushidagi Bryuster burchagi  $57^\circ$ . Yorug'likning shu kristaldagi tezligi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$i_B = 57^\circ;$$

$$n_1 = 1$$

$$v_2 = ?$$

**Yechish.** Bryuster qonuniga muvofiq:

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

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:

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

Javab:  $v_2 = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



### 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?  
( $d = 0,13 \cdot 10^{-6}$  m.)

- Kengligi  $2 \cdot 10^{-6}$  m bo'lgan tirqishga  $0,589 \cdot 10^{-6}$  m to'lqin uzunlikli monoxromatik yorug'lik perpendikular tushmoqda. Yorug'lik maksimumi kuzatiladigan barcha burchaklar aniqlansin. ( $\varphi_1 = 26^\circ$ ;  $\varphi_2 = 47^\circ 24'$ .)
- Har bir millimetrida 500 ta shtrixi (tirqishi) bo'lgan difraksiyon panjaraga  $0,5 \cdot 10^{-6}$  m to'lqin uzunlikli yassi monoxromatik to'lqin tushmoqda. Agar nurlar tikka tushayotgan bo'lsa, spektrning kuzatish mumkin bo'lgan eng katta tarkibiy qismi aniqlansin. ( $k_{\max} = 4$ .)
- Quyoshdan kelayotgan yorug'lik nuri ko'l sirtidan qaytayotganda maksimal qutblangan bo'lishi uchun Quyosh gorizontga nisbatan qanday burchak ostida bo'lishi kerak? ( $\gamma = 37^\circ$ .)

### Test savollari

- Yorug'likning to'lqin 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.
- Yorug'lik qanday tabiatlarga ega?  
A. Korpuskular.      B. To'lqin.      C. Elektromagnit.  
D. Difraksiya.      E. To'g'ri javob A va B.
- 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.
- Yorug'lik oqimining SI sistemasidagi birligi nima?  
A. Luks.      B. Lumen.      C. Kandela.      D. Sham.      E. Steradian.
- ... deb, fotoplastinkada qayd qilingan tayanch va jism to'lqinlari hosil qilgan interferensiyon manzaraga aytiladi.  
A. Difraksiya.      B. Golografiya.  
C. Monoxromatik to'lqinlar.      D. Dispersiya.  
E. Interferensiya.

## 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:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ .

**Gyugens 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.

*Golografiya* (yunoncha – to'la yozuv) – interferensiya manzarasi yordamida yozuvni va to'liqin maydonini qayta tiklashning maxsus usuli.

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

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

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

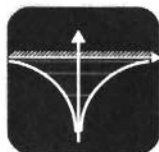
*Dispersiya* deb, muhit sindirish ko'rsatkichining yorug'lik to'liqin uzunligiga (chastotasiga) bog'liqligiga aytiladi.

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

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



## KVANT FIZIKASI ASOSLARI

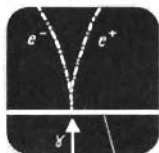
.....

Biz oldingi bobda yorug'likning ham zarralar oqimidan iborat (korpuskular nazariya) ekanligini tasdiqlovchi (geometrik optika), ham elektromagnit to'qlinlardan iborat (to'qlin 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 o'zlik 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.

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



### II 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'qlin dualizmining paydo bo'lishiga olib keldi.

## 17-§. Issiqlikdan nurlanish.

### Issiqlikdan nurlanish qonunlari

Mazmuni: issiqlikdan nurlanish; issiqlikdan nurlanish xarakteristikallari; 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 xarakteristikallari.** Nurlanishning eng asosiy xarakteristikasi  $W$  nurlanish energiyasi hisoblanadi.

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

$$\Phi_e = \frac{W}{t}. \quad (17.1)$$

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

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

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}. \quad (17.2)$$

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‘lqin uzunligining biror kichkina intervaliga taalluqli nurlanishni bilish muhim ahamiyatga ega bo‘ladi. Aytaylik, spektrning to‘lqin uzunligi  $\Delta\lambda$  bo‘lgan oralig‘ini qarayatgan 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‘lqin uzunligi  $\Delta\lambda$  ga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka aytiladi:*

$$r_\lambda = \frac{\Delta R_e}{\Delta\lambda}, \quad (17.3)$$

ya’ni nurlanishning spektral zichligi birlik to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri keluvchi nurlanishdir.

Nurlanishning spektral zichligi  $\frac{W}{m^3}$  larda o‘lchanib, jismning temperaturasi 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:*

$$\alpha = \frac{\Phi_e}{\Phi'_e}. \quad (17.4)$$

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

$$\alpha_\lambda = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\Phi'_{e\lambda}}. \quad (17.5)$$

**Kirxgof qonuni.** Biz qarayatgan 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 molekulari orqali) va konveksiya (molekulalarning 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, energiyasi-ning bir qismini sovuqroq jismlarga beradi. Bu jarayon sistemada muvozanat qaror topguncha davom etadi va temperatura tenglash-gandan 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'liq uzunligi  $\lambda$  va temperatura  $T$  ning funksiyasi:

$$\frac{r_{\lambda_1}}{\alpha_{\lambda_1}} = \frac{r_{\lambda_2}}{\alpha_{\lambda_2}} = f(T, \lambda). \quad (17.6)$$

Unga muvofiq: *jism qanday to'liq uzunlikli elektromagnit to'liqlarni chiqarsa, shunday to'liq uzunlikli elektromagnit to'liqlarni yutadi.*

O'ziga tushayotgan elektromagnit to'liqlarning 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 (36- rasm). Tirqishdan kirgan nur ko'p marta qaytadi va har bir qaytishda qisman yutila boradi.

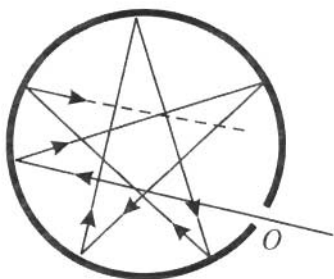
Yutish koeffitsiyenti  $\alpha_{\lambda} < 1$  bo'lgan jismlar *kulrang jismlar* deyiladi.

Endi nurlanishning temperaturaga bog'liqligini o'rganaylik.

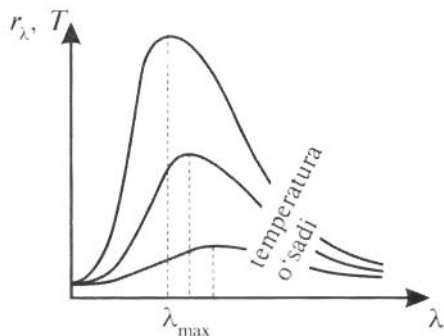
**Stefan–Bolsman qonuni.** Garchi, Kirxgof qonuni nurlanishning spektral zichligi temperatura va to'liq uzunligiga proporsionalligini ko'rsatsa-da, bu bog'lanishning oshkor ko'rinishini yozish muhim ahamiyatga egadir. Ushbu masalani qisman yechishga erishgan avstriyalik fiziklar Y. Stefan va L. Bolsman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

$$R_e = \sigma T^4. \quad (17.7)$$

Bu yerda  $\sigma = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  – Stefan–Bolsman doimiysi. 37- rasmda nurlanish spektral zichligi va to'liq uzunligi orasidagi bog'lanishlarning turli temperaturalar uchun o'tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Ulardan ko'rinib turibdiki, har bir uzluksiz egri chiziq, temperatura ortishi bilan kichik to'liq uzunliklar tomon siljiydigan, yaqqol ko'rinib turadigan maksimumlarga ega.



36- rasm.



37- rasm.

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

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

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{T}. \quad (17.8)$$

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'liq 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 37- rasmda keltirilgan va tajriba natijalari asosida chizilgan bog'lanishning kichik to'liq uzunlikli qismini tushuntira olsa, Vin qonuni katta to'liq uzunlikli qismi bilan mos keladi. To'liq uzunliklarining o'rta qiymatlariga mos keluvchi tajriba natijalarini esa har ikkala qonun ham tushuntirib bera olmaydi.



### Sinov savollari

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 energiya-sini yutganda jismda qanday o'zgarish ro'y beradi? 8. Nurlanayotgan jism temperaturasi pasayishini, nurlanish yutayotgan jism temperaturasi 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. 37- rasmdagi bog'lanishlarni tushintiring. 21. Temperatura ortishi bilan chiziqlar qanday o'zgaradi? 22. Vinning siljish qonunini ta'riflang. 23. Vin qonunining o'rirliligiga misol keltiring. 24. Stefan–Bolsman va Vin qonunlarining qanday kamchiliklari mavjud?

## 18-§. Reley–Jins qonuni. Plank gipotezasi

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

**Reley–Jins qonuni.** Stefan–Bolsman va Vin qonuni 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:

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda^2} kT . \quad (18.1)$$

Ammo ushbu ifoda ham 38- rasmdagi bog'lanishlarning katta to'lqin uzunlikli (kichik chastotali) qisminigina tushuntirib bera oldi. U kichik to'lqin uzunliklar (katta chastotalar) uchun mutlaqo yaroqsiz bo'lib chiqdi. Masalan, to'lqin uzunligi nolga yaqinlashganda nurlanishning spektral zichligi cheksiz katta qiymatni qabul qiladi. ((18.1) 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 nurla-

nish spektrini tushuntirish yo'lidagi barcha urinishlar o'tib bo'lmas to'siqqa duch kelaverdi. Muammoni yechish yangicha g'oya, yangicha fikr yuritishni taqozo qildi.

**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:*

$$E = h \cdot \nu, \quad (18.2)$$

bu yerda  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  – 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,  $\nu = 10^{10} \text{ Hz}$  chastotali nurlar ( $\lambda = 3 \cdot 10^2 \text{ m}$  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  $\nu = 10^{15} \text{ Hz}$  chastotali nurlar ( $\lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  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 bermay, balki uning yordamida klassik fizika qonunlari, jumladan, Stefan–Bolsman va Vin qonunlarini ham hosil qilish mumkin.



**M. PLANK**  
(1858–1947)

**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:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (18.3)$$

massasi

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}, \quad (18.4)$$

impulsi

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (18.5)$$

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 tushintira 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. Fotonni qanday qilib sekinlashtirish mumkin? 17. Fotonning tinchlikdagi massasi qanday?

## 19-§. Fotoeffekt hodisasi

**M a z m u n i:** 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 molekularlarga 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 fotoeffekttni o'rganish tajribasining sxemasi 38- rasmda keltirilgan.

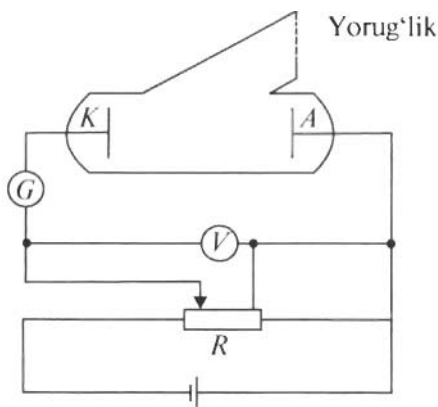
Vakuimli nayda katod vazifasini bajaruvchi tekshirilayotgan  $K$  plastinka va anod vazifasini bajaruvchi  $A$  elektrod joylashtirilgan. Katod va anod  $R$  qarshilik orqali tok manbayiga ulangan. Elektrodlar orasida kuchlanish (anod kuchlanishi) voltmetr  $V$ , zanjirdagi tok esa galvanometr (kichik toklarni o'lchay-



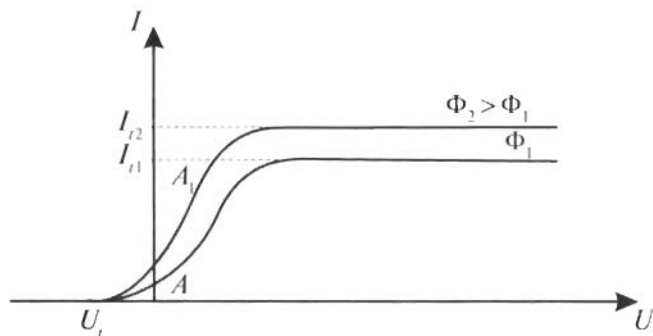
A. G. STOLETOV



A. F. IOFFE  
(1880–1960)



38- rasm.



39- rasm.

digan asbob)  $G$  yordamida o'lchanadi. Katod yoritilmagan dastlabki paytda zanjirda tok bo'lmaydi. Chunki katod va anod o'rtasidagi bo'shliqda 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.** 39- 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'zgar-may qoladi. Bunga sabab, yorug'lik ta'sirida katoddan urib chiqari-layotgan 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 (39- rasimga q.).

**Tutuvchi potensial.** Fotoeffektning volt-amper xarakteris-tikasidan 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 anodga yetib olish-lari 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.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_t \quad (19.1)$$

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:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_t}{m}} \quad (19.2)$$

**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:*

$$I_t = k \cdot \Phi_e \quad (19.3)$$

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'liq uzunligidan) boshlab ro'y bera boshlaydi va bu chastota katodning qanday materialdan yasalganiga bog'liq.*

**Fotoeffekt hodisasining talqini.** Fotoeffekt hodisasini yorug'likning to'liq 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'liq 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, 81- § ga qarang). Shunday qilib, *fotoeffekt hodisasi ro'y berishi uchun fotonning energiyasi elektronning moddadan ajralib chiqishiga va unga kinetik energiya berishga yetarli bo'lmog'i kerak, ya'ni*

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (19.4)$$

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 metallardan 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:

$$h\nu_q = A, \quad (19.5)$$

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

$$\frac{hc}{\lambda_q} = A \quad (19.6)$$

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'liqin 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. (19.5) va (19.6) ifodalardan

$$\nu_q = \frac{A}{h} \text{ yoki } \lambda_q = \frac{hc}{A} \quad (19.7)$$

ni olamiz. Tushayotgan yorug'lik to'liqinining fotoeffekt hodisasi boshlanishini ta'minlay oladigan chegaraviy chastotasi  $\nu_q$  yoki to'liqin 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 fotondan 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 (19.7) ifoda uchinchi qonunni tushintirib 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. Yoritilgandach-i?
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'liqin xususiyati asosida tushuntirish mumkinmi? 21. Stoletovning ikkinchi va uchinchi qonunlarini-chi? 22. Eynshteyn Plank hipotezasiga 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 metalldan 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?

## 20-§. Fotoeffektning qo'llanilishi

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

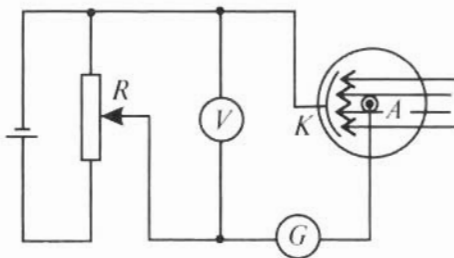
**Fotoelement.** Fotoeffekt hodisasiga asoslanib ishlovchi qurilmalar – fotoelementlar texnikada juda keng qo'llaniladi. Ulardan eng ko'p tarqalgani – vakuumli va gaz to'ldirilgan fotoelementlar.

**Vakuumli fotoelementlar.** 40- 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 41- rasmda ko'rsatilgan. Katod (*K*) batareyaning manfiy qutbga,



40- rasm.



41- rasm.

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.

**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 sohalardan biridir. Bunga televideniya yaxshi misol bo'la oladi. I qism, 123- § 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.

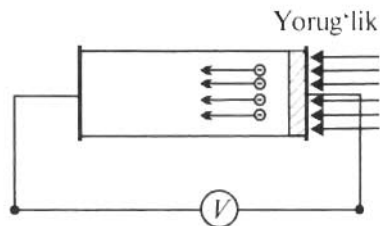
Fotorele – zamonaviy robotlarning sezish qurilmalaridan (ko'zidan) tortib, metrolarga kirishni nazorat qiluvchi qurilmalargacha, shahar ko'chalarining yoritish sistemasi, suv yo'llari

mayoqlarini ishga tushirishdan tortib, detallarning shakli va rangiga qarab ajratishgacha bo'lgan vazifani bajaruvchi qurilmalarning asosini tashkil qiladi.

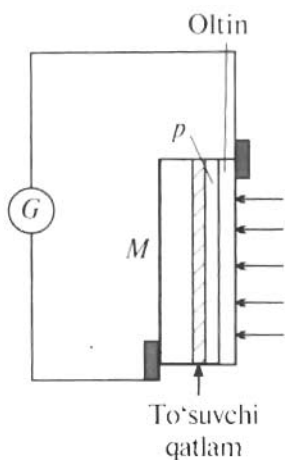
**Fotoqarshilik.** Fotoqarshilik ichki fotoeffektga asosan ishlaydigan asbob hisoblanadi. Fotoqarshilik deb, qarshiligi unga tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'lgan yarimo'tkazgichli qurilmaga aytiladi. Uning ish prinsipini tushunish uchun yarimo'tkazgichning ish prinsipini tahlil qilaylik. Shuni ta'kidlash lozimki, yoritilmagan (yorug'likdan to'silgan) yarimo'tkazgichda ham ma'lum miqdordagi erkin elektronlar mavjud bo'ladi va ular yarimo'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligini 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  $I_{yo}$  yorug'lik tokigacha ortadi. Yorug'lik toki va xususiy toklarning farqi:  $I = I_{yo} - I_x$  - fototok deyiladi. Fotoqarshilik tovushli kinoda, televideniya, teleme-xanikada, avtomexanikada 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 (42- 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.

**To'siqli fotogalvanik elementlar.** Foto-EYK vujudga keluvchi elementlarda metall va yarimo'tkazgich yoki  $p$  va  $n$  tipidagi yarimo'tkazgichlar orasida bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega bo'lgan to'suvchi qatlam vujudga keltiriladi. Bu jarayonni



42- rasm.



43- rasm.

tasavvur qilish uchun 43- rasmdagi sxemani tahlil qilaylik. Elektrod vazifasini o'tovchi metall plastinka  $M$  ga yarimo'tkazgichning yupqa qatlami ( $p$ ) qoplangan. O'z navbatida, bu qatlam ikkinchi elektrod vazifasini bajaruvchi yupqa metall qatlami bilan qoplangan. Elektrodlar bir-birlariga galvanometr ( $G$ ) orqali ulangan. Endi yarimo'tkazgich ikkinchi elektrod orqali yoritilsin. Unda  $p$  qatlamda ichki fotoeffekt natijasida erkin elektronlar vujudga keladi. Bu elektronlar betartib harakat qilib  $M$  qatlamga o'tadi. Metall – yarimo'tkazgich chegarasida hosil bo'lgan to'suvchi qatlam esa teshik-

larning o'tishiga to'sqinlik qiladi. Natijada metall qatlami  $M$  da ortiqcha elektronlar, yarimo'tkazgich qatlami  $p$  da esa ortiqcha teshiklar hosil bo'ladi. Boshqacha aytganda, to'siqning mavjudligi ikki qatlam orasida foto-EYK ning vujudga kelishiga olib keladi. Agar zanjir yopiq bo'lsa, undan tok oqadi va buni galvanometr yordamida ko'ramiz. Shunday qilib, to'siqli fotogalvanik element – yorug'lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirib bera oladigan qurilmadir. Bu quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirib bera oladigan qurilma yasashga imkon beradi. Ularning hech qanday tok manbaysiz ham ishlay olishi yanada katta imkoniyatlar tug'diradi. Ayniqsa,  $p$ - $n$  tipidagi to'siqli galvanik elementlarning unumdorligi ancha yuqori bo'lib, 10% ni tashkil qiladi. Hozirgi paytda bunday tipdagi elementlar kosmik kemalarning quyosh batareyalarida juda ko'p qo'llaniladi. Toshkent viloyatining Parkent tumanida faoliyat ko'rsatayotgan, quvvati 1000 kW bo'lgan katta quyosh sandoni ham fotogalvanik elementlar majmuasidan iborat. Vatanimizning serquyosh yurt ekanligi shu usul bilan elektr energiya hosil qilishning katta istiqbolga ega ekanligini ko'rsatadi.



### 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. Vakuumli 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.  $I_{\infty}$  yorug'lik toki-chi? 20. Fototok qanday aniqlanadi? 21. Fotoqarshilik qanday ishlatiladi? 22. Fotogalvanik elementlar qanday qurilmalar? 23. 42- rasmdagi manzarani tushuntirib bering. 24. Diffuzion foto-EYK qanday vujudga keladi? 25. To'siqli fotogalvanik elementlarda foto-EYK ni nima vujudga keltiradi? 26. 43- rasmdagi sxemani tushuntiring. 27. Metall qatlamda ortiqcha elektronlar qayerdan paydo bo'ladi? 28.  $p$  qatlamda ortiqcha teshiklar-chi? 29. Foto-EYK qanday vujudga keladi? 30. To'siqli fotogalvanik elementlar qanday xususiyatga ega? 31. Ulardan nima maqsadda foydalanish mumkin? 32. Ular ishlashi uchun tok manbai kerakmi? 33. Quyosh batareyalari qanday prinsipga asosan ishlaydi? 34. Parkent tumanidagi quyosh sandoni-chi? 35. O'zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanish istiqbollari qanday?

## 21-§. Yorug'likning bosimi

**Mazmuni:** yorug'lik bosimi haqidagi fikrning paydo bo'lishi; Lebedev tajribasi; yorug'lik bosimini to'lqin nuqtayi nazaridan tushuntirish; yorug'lik bosimini korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish; yorug'lik bosimining qiymati; Lebedev tajribasining ahamiyati; yorug'lik bosimining namoyon bo'lishi.

**Yorug'lik bosimi haqidagi fikrning paydo bo'lishi.**

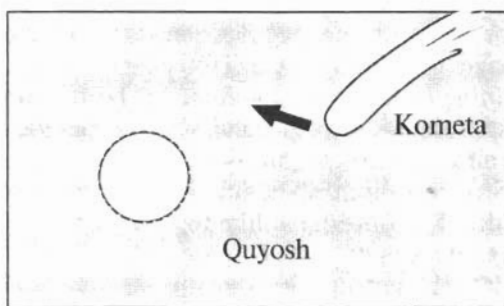
Astronomlar o'z kuzatishlarida Quyosh yaqinida harakatlanayotgan kometalarning gaz va chang zarralaridan tashkil topgan dumi Quyoshga nisbatan teskari tomonga cho'zilib ketishini aniqlaganlar (44- rasm). I.Kepler bu hodisani Quyosh nurlari bosimining natijasi sifatida tushuntirishga harakat qilgan. Ammo bu fikrning to'g'riligini isbotlash maqsadida o'tkazilgan ko'plab tajribalar kutilgan natijani bermagan.

**Lebedev tajribasi.** Yorug'likning bosimini birinchi bo'lib o'lchash 1899- yilda rus fizigi P. N. Lebedevga nasib etgan. 45- rasm-

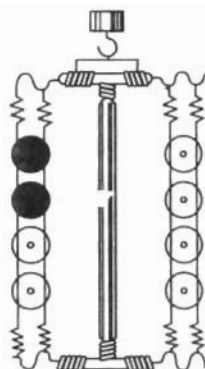


P. N. LEBEDEV  
(1866–1912)





44- rasm.



45- rasm.

da Lebedev tomonidan, yorug'likning qattiq jismlarga ko'rsatadigan bosimini o'lchash uchun o'tkazgan tajribasining sxemasi ko'rsatilgan. Qurilma havosi so'rib olingan idishda o'rnatilgan bo'lib, ingichka ipga osib qo'yilgan va «qanotchalar» biriktirilgan yengil osmadan iborat. Qanotchalar qalinligi 0,01 mm dan 0,1 mm gacha bo'lgan oq va qoraytirilgan disklar shaklida bo'lgan. Ular osma atrofida aylana oladigan o'qqa nisbatan simmetrik qilib o'rnatilgan. Tushgan yorug'lik oq va qoraytirilgan diskarga turli xil bosim ko'rsatadi. Natijada osmani tutib turgan ingichka ip aylantiruvchi moment ta'sirida buraladi. Yorug'likning bosimi aynan shu ipning burilish burchagi yordamida aniqlanadi. O'z navbatida, bu burilish qanotchalariga tushayotgan yorug'likning bosimi mavjudligini, bu bosim jism sirtining qaytara olish qobiliyatiga va tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liqligini ko'rsatadi.

Xo'sh, yorug'lik bosimini qanday tushuntirib berish mumkin? Shuni ta'kidlash lozimki, yorug'likning bu xususiyati ham to'lqin, ham korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirib berilishi mumkin.

**Yorug'lik bosimini to'lqin nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish.** *Yorug'lik elektromagnit to'lqinlardan iborat deb hisoblanuvchi nazariyaga muvofiq bu bosimning mavjudligiga sabab, elektromagnit maydonning elektr va magnit tashkil etuvchilarining yoritilayotgan jism elektronlariga ko'rsatayotgan ta'siridir. Maksvell nazariyasiga ko'ra, tushayotgan elektromagnit to'lqin sirtga*

$$p_t = \frac{E_e}{c} \quad (21.1)$$

bosim ko'rsatadi. Bu yerda  $E_e = \frac{\Phi_e}{S}$  – sirtning yoritilganligi,  $c$  – yorug'likning vakuumdagi tezligi. Shu bilan birga, tushayotgan yorug'likning bir qismi sirtidan qaytadi va bu qaytgan to'liq sirtga

$$p_q = \frac{E_e}{c} \rho \quad (21.2)$$

bosim ko'rsatadi. Bu yerda  $\rho$  – sirtning qaytarish koeffitsiyenti deyilib, sirtidan qaytayotgan yorug'lik oqimining unga tushgan yorug'lik oqimiga nisbati bilan aniqlanadi.

Agar elektromagnit to'liqlarning sirtga ko'rsatayotgan to'la bosimi tushayotgan va qaytayotgan to'liqlar bosimlarining yig'indisidan iborat, ya'ni  $p = p_t + p_q$  ekanligini e'tiborga olsak, to'la bosim uchun

$$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho) \quad (21.3)$$

ifodani topamiz.

**Yorug'lik bosimini korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish.** *Yorug'lik fotonlar oqimidan iborat deb hisoblanuvchi nazariyaga muvofiq yorug'lik bosimining mavjudligiga sabab, tushayotgan yorug'lik fotonlari o'z impulsini yoritilayotgan jism atomlari yoki molekulariga berishidir.*

$S$  yuzali sirtga har sekunda  $\nu$  chastotali  $N$  ta foton tik tushayotgan bo'lsin. Bu fotonlarning  $N_q = \frac{N_q}{N} N = \rho N$  tasi sirtidan qaytsa,  $N_{yu} = (N - N_q) = \left( N - \frac{N_q}{N} N \right) = (1 - \rho)N$  tasi yutiladi. Agar fotonning impulsi  $P_f = \frac{h\nu}{c}$  ekanligini e'tiborga olsak, yutilayotgan fotonlar jism atomlari yoki molekulariga

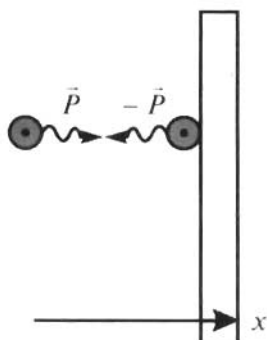
$$P_{yu} = P_f \cdot (1 - \rho)N = \frac{h\nu}{c} (1 - \rho)N \quad (21.4)$$

ga teng bo'lgan impuls beradi.

Har bir qaytayotgan foton jism sirtiga  $\vec{P}_f - (-\vec{P}_f) = 2\vec{P}_f$  ga teng impuls beradi (46- rasm). Unda qaytayotgan fotonlarning jism sirtiga berayotgan impulsi

$$P_q = 2P_f \rho N = 2 \frac{h\nu}{c} \rho N \quad (21.5)$$

ifoda bilan aniqlanadi.



46- rasm.

Agar jism oladigan to'la impuls yutilayotgan va qaytayotgan fotonlardan olinayotgan impulslar yig'indisi  $P_t = P_{yu} + P_q$ , yorug'likning bosimi esa birlik yuzaga to'g'ri keluvchi impuls bilan aniqlanishini e'tiborga olsak (buning uchun to'la impulsni qanotcha yuzasi  $S$  ga bo'lamiz), yorug'lik bosimi uchun topamiz:

$$p = \frac{P_t}{S} = \frac{1}{3} \left[ \frac{h\nu}{c} (1 - \rho) N + 2 \frac{h\nu}{c} \rho N \right] = \frac{h\nu N}{cS} (1 + \rho). \quad (21.6)$$

Bunda

$$\frac{h\nu}{S} N = E_e$$

ekanligidan,

$$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho) \quad (21.7)$$

ifodani hosil qilamiz.

(21.3) va (21.7) larni solishtirish, yorug'likning bosimi uchun har ikkala nazariya asosida topilgan ifodalar bir xil ekanligini ko'rsatadi.

**Yorug'lik bosimining qiymati.** Tabiiy yorug'likning bosimi juda ham kichik. Yer sirtida joylashgan va qaytarish koeffitsiyenti birga yaqin bo'lgan jismga quyosh nurlari tomonidan ko'rsatiladigan bosim  $5 \cdot 10^{-6}$  Pa ( $3,7 \cdot 10^{-8}$  mm sim. ust.) atrofida bo'ladi. Ko'rinib turibdiki, bu qiymat normal atmosfera bosimidan o'n milliardlab marta kichikdir. Shuning uchun, kundalik hayotimizda yorug'lik bosimining bevosita ta'sirini e'tiborga olmaslik ham mumkin.

**Lebedev tajribasining ahamiyati.** Shu bilan birga, bu bosimning kosmik jismlarning harakati va mikroskopik sistemalardagi jarayonlarda tutgan o'rni juda katta. Aynan shuning uchun ham, shu qadar kichik bosimni aniqlash yo'lida ko'rsatgan ulkan mahorati uchun Lebedev yuksak hurmatga sazovordir. Uning tajribada topgan natijalari nazariy hisoblardan yigirma foiz atrofida farq qilgan. Lebedev tajribasining ulkan ahamiyati yorug'lik bosimi mavjudligini amalda isbotlanganligi va tajriba natijalarining nazariy hisoblar bilan mos kelganligidadir. Bu tajribalar yorug'lik ham materiyaning boshqa turlari kabi massaga ega ekanligini ko'rsatadi.

**Yorug'lik bosimining namoyon bo'lishi.** Yorug'likning bosimi koinot jismlarining holatiga ulkan ta'sir ko'rsatadi. Masalan, yulduzlar o'lchamlarining ma'lum chegarada saqlanishiga sabab aynan shu bosimning mavjudligidir. Yulduzning massasi ortishi bilan uning qatlamlarining gravitatsion ta'sir natijasida markazga tortilishi ortadi. Shuning uchun ham yulduzlarning ichki qatlamlari kuchli siqiladi va u yerdagi temperatura millionlab graduslarga ko'tariladi. Bu paytda ichki qatlamlardan tashqi tomonga yo'nalgan yorug'lik bosimi ham ortadi. Normal yulduzlarda ularni siqishga harakat qiluvchi gravitatsion kuchlar va parchalashga harakat qiluvchi yorug'lik bosimi orasida ma'lum muvozanat vujudga keladi. Aynan shu muvozanat yulduzlarni barqaror holatda saqlab turadi.

Mikrozarralar olamida ro'y beradigan jarayonlarda esa yorug'likning bosimini hisobga olmaslikning mutlaqo iloji yo'q. Chunki bunda zarralarning impulsi fotonlarning impulsiga qariyb teng bo'lib, to'qnashishlarda olinadigan va beriladigan impulslarning qiymatlari bir xil tartibdagi sonlar bo'ladi.



### Sinov savollari

1. Yorug'likning bosimi haqidagi fikr qanday paydo bo'lgan? 2. 44-rasmdagi manzarani tushuntiring. 3. Yorug'lik bosimini birinchi bo'lib kim va qachon aniqlagan? 4. 45- rasmdagi sxemani tushuntiring. 5. Nima uchun Lebedev qurilmani havosi so'rib olingan idishda o'rnatgan? 6. Qurilmadagi qanotchalarning qalinligi qanday bo'lgan? 7. Nima uchun disklarning ranglari turlicha qilib olingan? 8. Ular qanday o'rnatilgan? 9. Yorug'likning bosimi qanday aniqlangan? 10. Yorug'likning bosimi mavjudligi elektromagnit to'lqin nazariyasiga muvofiq qanday tushuntiriladi? 11. Tushayotgan yorug'lik sirtga qanday bosim ko'rsatadi? 12. Qaytayotgani-chi? 13. Qaytarish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi? 14. Yorug'lik to'lqinlarining sirtga ko'rsatayotgan to'la bosimi nimaga teng? 15. Yorug'likning bosimi mavjudligi korpuskular nazariya nuqtayi nazaridan qanday tushuntiriladi? 16. Yutilayotgan fotonlarning jismga beradigan impulsi qanday? 17. Qaytayotgan fotonlarniki-chi? 18. 46- rasmdagi manzarani tushuntiring. 19. Yorug'likning bosimi uchun turli nazariyalar asosida topilgan natijalar mos keladimi? 20. Yorug'lik bosimining qiymati qanday? 21. Lebedev topgan natijalar nazariy hisoblar bilan mos keladimi? 22. Lebedev tajribasining ahamiyati nimadan iborat? 23. Yorug'lik bosimi mavjudligining yulduzlar holatidagi ahamiyati-chi? 24. Normal yulduzlarning barqaror holatda saqlanishiga sabab nima? 25. Yorug'lik bosimining mikrozarralar olamidagi ahamiyati nimadan iborat?

## 22-§. Yorug'likning kimyoviy ta'siri

Mazmuni: fotokimyoviy reaksiya; karbonot kislotaning parchalanishi; fotografiya.

**Fotokimyoviy reaksiya.** Ba'zi moddalarda yorug'lik ta'sirida ro'y beradigan kimyoviy o'zgarishlar *fotokimyoviy reaksiyalar* deyiladi. Fotokimyoviy o'zgarishlar turli-tuman bo'lib, ba'zida murakkab molekulalar tarkibiy qismlarga ajralsa, ba'zida murakkab molekulalar hosil bo'ladi. Birinchi holga kumush bromidning kumush va bromga ajralishi misol bo'lsa, ikkinchi holga vodorod va xlor aralashmasining yorug'lik ta'sirida vodorod xlorid hosil bo'lish reaksiyasi misol bo'ladi. Bu reaksiya shunchalar jo'shqin amalga oshadiki, hattoki portlash ro'y beradi.

**Karbonat kislotaning parchalanishi.** Fotokimyoviy reaksiyalarining ko'pchiligi tabiatda va texnikada muhim ahamiyatga ega. Ularning eng diqqatga sazovori – o'simliklarning yashil qismida yorug'lik ta'sirida ro'y beradigan karbonat kislotaning fotokimyoviy parchalanishidir.

Aynan shu reaksiya uglerodning tabiatdagi aylanishini ta'minlab, yerdagi jonli organizmlarning uzoq vaqt yashashi uchun zarur sharoit yaratadi. Ma'lumki, hayvonot va o'simliklarning yashashi (nafas olishi) natijasida uglerodning tinimsiz oksidlanishi ( $\text{CO}_2$  ning hosil bo'lishi) ro'y beradi. O'simliklarning yashil qismida yorug'lik ta'sirida  $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$  sxemaga muvofiq ro'y beradigan fotokimyoviy reaksiya natijasida uglerod qayta tiklanadi. O'z navbatida, bu reaksiya jonli organizmning yashashi uchun zarur bo'lgan kislorodning vujudga kelishiga olib keladi.

**Fotografiya.** Kumush bromidning ( $\text{AgBr}$ ) yorug'lik ta'sirida parchalanishi fotografiyaning (suratga olishning) asosini tashkil qiladi. Umuman olganda, turli ranglarning namoyon bo'lishiga sabab, bu ranglarning yorug'lik ta'sirida fotokimyoviy oksidlanishi-dir. Bu jarayon inson va hayvonlar ko'zlarining ko'rish sezgilarini tushunish uchun ham muhim ahamiyatga egadir. Endi suratga olishda fotokimyoviy reaksiyaning ahamiyatiga batafsilroq to'xtalaylik. Buning uchun fotoplastinkaga kumush bromid surtiladi. Plastinkaga yorug'lik tushganda u parchalanib, sof kumush zarralari ajraladi. Ularning miqdori tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq. Shuning uchun plastinkada hosil bo'lgan sof kumush molekulalari yorug'lik intensivligiga bog'liq manzarani, suratga olingan narsaning yashirin (ko'zga ko'rinmaydigan) tasvirini hosil qiladi. Fotoplastinka

ochiltirgichga solinganda esa yorug'lik ko'p tushgan joy kuchliroq, kam tushgan joy esa kuchsizroq qorayadi va shu usul bilan negativ hosil qilinadi. Shuni ta'kidlash lozimki, juda ko'p kimyoviy reaksiyalardan hozirgi kunda bevosita ishlab chiqarishda foydalanilib, ular sanoatda muhim ahamiyat kasb etmoqda.



### Sinov savollari

1. Fotokimyoviy reaksiya deb nimaga aytiladi? 2. Fotokimyoviy reaksiyalarning turlarini ayting. 3. Karbonot kislota qanday parchalanadi? 4. Karbonat kislota parchalanishining ahamiyati nimadan iborat? 5. Uglerodning tiklanishi qanday ro'y beradi? 6. Bu reaksiyaning jonli organizmlar uchun ahamiyati nimadan iborat? 7. Fotografianing asosini qanday reaksiya tashkil qiladi? 8. Fotokimyoviy oksidlanishning ko'rish uchun ahamiyati qanday? 9. Suratga olish uchun fotoplastinkaga nima surtiladi? 10. Negativ qanday hosil bo'ladi?

## 23-§. Luminessensiya

Mazmuni: luminessensiya; luminessensiyaning ro'y berishi; luminessensiyaning qo'llanilishi.

**Luminessensiya.** Luminessensiya so'zi lotincha *luminisessent* — yorug'likning kuchsiz ta'siri ma'nosini anglatadi. Luminessensiya deb, ba'zi moddalarning yorug'lik ta'sirida o'ziga xos bo'lgan nurlanish chiqarishiga aytiladi. Bunda modda istalgan: qattiq, suyuq va gaz holatida bo'lishi mumkin. Luminessensiya jarayonida modda o'ziga tushayotgan yorug'likni yutadi va, so'ngra, tarkibi yutayotganidan farqli nurlanishni chiqaradi. Umuman olganda, luminessensiyaning ba'zi turlari oldinlari ham ma'lum bo'lgan. Masalan, *fluoressensiya* — jismni nurlatish to'xtatilishi bilan to'xtaydigan, qisqa vaqt ro'y beradigan nurlanish (nurlanish vaqti  $10^{-8}$  s) va *fosforessensiya* — nurlatish to'xtatilgandan keyin ham ma'lum vaqt davom etadigan nurlanish (nurlanish vaqti  $10^{-8}$  s dan katta). Lekin nurlanishning qanday ro'y berishi to'g'risidagi ilmiy tushuncha mavjud bo'lmay, u qanday vujudga keladi va bir-biridan nimasi bilan farq qiladi, degan savollarga aniq javoblar yo'q edi.

**Luminessensiyaning ro'y berishi.** Luminessensiya qonunlarini izlash turli xil empirik qoidalarning yaratilishiga ham olib kelgan. Bulardan biri G.Stoks qonuni bo'lib, tajriba natijalari ba'zida bu qonun bilan mos kelmagan.

Luminessensiya jarayonini ham tajribada, ham nazariy ravishda batafsil o'rganib chiqqan rus fizigi S.I.Vavilov (1891–1951) bu jarayonning haqiqiy qonunlarini yaratishga muvassar bo'ldi. Bu qonunlar nafaqat luminessensiya nazariyasining asosi bo'lib qolmay, uning texnikada keng qo'llanilishiga ham olib keldi.

*Luminessensiya deb, berilgan temperaturada issiqlik nurlanishidan ortiqcha energiya hisobiga ro'y beradigan nurlanishga aytiladi.*

Boshqacha aytganda, moddaga tushgan foton yutiladi. Uning bir qism energiyasi atomning tebranish energiyasiga, ya'ni issiqlik energiyasiga sarflansa, qolgan qismi luminessension nurlanishga sarflanadi.

Luminessensiya jarayoni kvant mexanikasi qonunlari asosida ancha sodda tushuntirilib, siz bu qonunlar bilan kelgusida tanishasiz, degan umiddamiz. Luminessensiya ro'y beradigan moddalar *luminoforlar* deyiladi.

**Luminessensiyaning qo'llanilishi.** Vavilov simobli lampalarning ultrabinafsha nurlanishidan luminoforlar yordamida ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik hosil qilishni taklif qildi. Natijada u kunduzgi yorug'likka o'xshash yoritish qobiliyatiga ega luminessension lampalarni yaratdi. Past bosimli, simob bug'lari bilan to'ldirilgan bunday lampalar devorlariga turli xil luminoforlar qatlamini surtish bilan istalgan rangdagi yorug'likni hosil qilish mumkin. Bunday lampalarning foydali ish koeffitsiyenti juda yuqori, xizmat qilish davri ham ancha uzoq. Shuning uchun, bunday lampalar ko'chalarni, zavod va fabrikalarni, ta'lim muassasalarini, do'konlarni va boshqa joylarni yoritishda va bezatishda juda keng qo'llaniladi.

Luminessensiya moddalarni analiz qilishda ham qo'llaniladi. Bu usul *luminessension analiz* deyiladi. Masalan, modda tarkibida juda kam miqdorda luminofor mavjud bo'lsa ham, uni aniqlash mumkin. Neft qazuvchilar chuqurdan olingan tuproqni luminessension analiz yordamida o'rganib, neft qatlamigacha qolgan masofani va hattoki neft zaxirasining miqdorini ham aniqlashadi. Bu usul yordamida shishalarning navi aniqlanadi, biologik obyektlar o'rganiladi.



### Sinov savollari

1. Luminessensiya so'zining ma'nosi nima? 2. Luminessensiya deb nimaga aytiladi? 3. Luminessensiya qanday ro'y beradi? 4. Fluorensensiya deb nimaga aytiladi? Fosforensensiya deb-chi? 5. Luminessensiya qonun-

larini kim yaratgan? 6. Luminessensiya deb qanday nurlanishga aytiladi? 7. Yutilgan fotonning energiyasi nimalarga sarflanadi? 8. Luminoforlar deb qanday moddalarga aytiladi? 9. Luminessension lampalarning ish prinsipi qahday? 10. Turli rangdagi yorug'lik chiqaradigan lampalar qanday hosil bo'ladi? 11. Ularning FIK va xizmat muddati qanday? 12. Luminessension lampalardan foydalanishga beshta misol keltiring. 13. Luminessension analizning mohiyati nimadan iborat? 14. Luminessension analizning qo'llanilishini tushuntiring.

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

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

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

Lekin shu bilan birga, yorug'likni elektromagnit to'lqinlar sifatida qarash issiqlikdan nurlanish va fotoeffekt hodisalarini tushuntirib berishga o'zlik 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'lqin, ham korpuskular tabiatga ega emas-mikan, degan savol tug'iladi. Bu esa, o'z navbatida, yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmining tug'ilishiga sabab bo'ldi.

**Yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi.** Shunday qilib, yorug'likda go'yoki bir-birini inkor etuvchi ikkita: to'lqin 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  $E = h\nu$  va impulsi  $P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$  uchun yozilgan ifodalar yorug'likning korpuskular xarakteristikalarini – 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 impulsi katta bo‘lsa, yorug‘likning korpuskular tabiati yaqqol namoyon bo‘ladi. *Shunday qilib, yorug‘lik materiyaning 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 28- § 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 impulsi 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?



### 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 munosabatni yozamiz:

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

Bundan

$$T_2 = \sqrt[4]{nT_1}.$$

Berilganlarni ushbu ifodaga qo'yib hisoblaymiz:

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

J a v o b:  $T_2 = 705 \text{ K}$ .

**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:

---

$$T = ?$$

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

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

Hisoblashlarni bajaramiz:

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

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



### 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'lqin uzunligi aniqlansin. ( $\lambda_{\text{max}} = 0,547 \mu\text{m}$ .)
4. Agar fotoelektronlarning tezligi 3000 km/s bo'lsa, platina plastinkaga tushayotgan fotonlarning to'lqin 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'lqin uzunlikli yorug'lik tushayotgan bo'lsa, fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi elektron-voltlarda aniqlansin. ( $T_{\text{max}} = 2,2 \text{ eV}$ .)
6. To'lqin 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'lqin uzunligi aniqlansin. ( $\lambda = 0,024 \mu\text{m}$ .)
8.  $600 \text{ nm}$  to'lqin 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

- Fotoelektronlarning kinetik energiyasi nimaga to'g'ri proporsional bo'ladi?
  - Tushayotgan yorug'likning chastotasiga.
  - Tushayotgan yorug'lik oqimiga.
  - Nurlanish intensivligiga.
  - Tormozlovchi maydonga.
  - Tutuvchi kuchlanishga.
- Berilgan tenglamalar ichidan fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini toping.
  - $h\nu_k = A$ .
  - $E = h\nu$ .
  - $E = mc^2$ .
  - $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$
  - To'g'ri javob C va D.
- To'lqin uzunligi  $6 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan qizil yorug'lik fotonining energiyasi nimaga teng?
  - $3,3 \cdot 10^{-19}$  J.
  - $3,2 \cdot 10^{-19}$  J.
  - $4,3 \cdot 10^{-19}$  J.
  - $2,3 \cdot 10^{-19}$  J.
  - $3 \cdot 10^{-18}$  J.
- Yulduzlar o'lchamlarining ma'lum chegarada saqlanishiga sabab nima?
  - Yorug'likning kimyoviy ta'siri.
  - Yorug'likning fotografik ta'siri.
  - Yorug'likning bosimi.
  - Yorug'likning korpuskular tabiati.
  - Yorug'likning to'lqin tabiati.
- Berilgan modda uchun fotoeffekt kuzatiladigan «qizil chegara»ni aniqlash formulasini ko'rsating.
  - $m = \frac{h\nu}{c^2}$ .
  - $v = \frac{A}{h}$ .
  - $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ .
  - $E = h\nu$ .
  - $M = \frac{h\nu}{c}$ .

## 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'likning bosimi:

$$p = \frac{F_e}{c} (1 + \rho).$$

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

*Luminessensiya* deb, berilgan temperaturada issiqlik nurlanishidan ortiqcha energiya hisobiga ro'y beradigan nurlanishga aytiladi.

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



### III BOB

## ATOM VA ATOM YADROSI

Barcha moddalar ko'p sonli bo'linmas zarralardan (atomlardan) tashkil topgan, degan fikrlar juda qadim zamonlarda yunon olimlari Demokrit, Epikur va Lukretsiylar tomonidan bildirilgan (atom so'zi yunoncha «*atomos*» – bo'linmas degan ma'noni anglatadi). Lekin bu fikrga turli sabablarga ko'ra uzoq vaqtlargacha jiddiy etibor berilmagan. Ammo o'n sakkizinchi asrda fransuz A.Lavuazye (1743–1794), ingliz J.Dalton (1766–1844), italyan A.Avogadro (1776–1856), rus M.Lomonosov (1711–1765), shved Y.Berselius (1779–1848) kabi olimlarning sa'y-harakatlari natijasida atomlarning mavjudligiga shubha qolmadi. D.I.Mendeleyev 1869- yilda elementlar davriy sistemasini yaratib, barcha moddalarning atomlari bir-birlariga o'xshash tuzilishga ega ekanligini ko'rsatib berdi. Shu bilan birga, yigirmanchi asrning boshlariga kelib, bo'linmas hisoblanuvchi atomning ichiga nigoh tashlash, ya'ni uning tuzilishini o'rganish muammosi vujudga keldi. Ingliz fizigi J.J.Tomson 1903- yilda atomning tuzilishi haqidagi birinchi modelni taklif qildi. Boshqa ingliz fizigi D.Rezerford o'z tajribalariga asosan Tomson modelini inkor etib, atomning planetar modelini taklif qildi. Ushbu modelga muvofiq, atom yadrodan (o'zakdan) va uning atrofida harakatlanuvchi elektronlardan tashkil topgan. Keyinchalik esa atom yadrosi – musbat zaryadlangan proton va elektrneytral neytronlar majmuasidan iboratligi aniqlandi.

### 25-§. Atomning modellari. Rezerford tajribasi

**M a z m u n i :** Tomson modeli; Rezerford tajribasi; Rezerford tajribasidan xulosa; atomning planetar modeli.

**Tomson modeli.** 1897- yilda ingliz fizigi J.Tomson  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C ga teng manfiy zaryadlangan va massasi  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg bo'lgan, *elektron* deb ataluvchi zarrani kashf qildi. Tajribalar, jumladan, atomlarning ionlashuvi bu zarraning atom tarkibiga kirishini tasdiqladi. Chunki elektrneytral atom o'z tarkibiga kiruvchi zarra – elektronni yo'qotganda yoki uni qo'shib olganda ionga aylanadi.

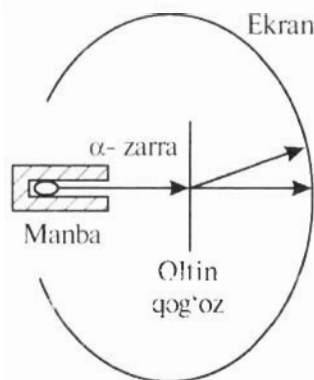


J. J. TOMSON  
(1856–1940)

Agar atom tarkibida manfiy zaryadlangan zarra – elektronning mavjudligi ma’lum bo’lsa, u holda atomda yana nima bo’lishi mumkin, degan savol tug’iladi. Tabiiyki, elektronlarning zaryadiga teng bo’lgan musbat zaryad mavjud. Aks holda atom elektr jihatdan neytral bo’lmas edi. Aynan shunday mulohazalar yuritgan J. Tomson 1903- yilda atomning tuzilishi haqidagi o’z modelini taklif qildi.

Tomson modeliga muvofiq, atom – massasi tekis taqsimlangan  $10^{-10}$  m kattalikdagi musbat zaryadlardan iborat shar sifatida tasavvur qilinadi. Uning ichida esa o’z muvozonat vaziyatlari atrofida tebranma harakat qiluvchi manfiy zaryadlar (elektronlar) mavjud bo’lib, musbat va manfiy zaryadlarning yig’indisi o’zaro teng. Endi bu modelning to’g’riligini tekshirish, ya’ni uning ichiga nigoh tashlash kerak edi. Boshqa ingliz fizigi D. Rezerford shu vazifani bajarishga bel bog’ladi.

**Rezerford tajribasi.** Rezerfordning o’z oldiga qo’ygani maqsadini tushunish uchun atomning Tomson modelini oddiy tarvuz sifatida tasavvur qilaylik: tarvuzning go’shti musbat zaryadlari bo’lsa, danaklari elektronlar bo’lsin. Bunga ishonch hosil qilish uchun qanday yo’l tutish kerak? Bunday tarvuzni parchalab bo’lmaydi, chunki u juda kichkina, kattaligi  $10^{-10}$  m. Yagona yo’l tarvuzga undan ham kichikroq jismlarni yo’naltirish, ya’ni uni nishonga olib otish. Tarvuzni teshib o’tgan o’q uning ichki tuzilishi



47- rasm.

haqida ma’lumot beradi. Bordi-yu, tarvuzning markazi tomon yo’nalgan o’qlar uni teshib o’tmasdan orqaga qaytsa-chi? Bundan qanday xulosa chiqariladi? Demak, uning markazida o’q teshib o’ta olmaydigan, og’ir o’zak bo’lmog’i kerak. Aks holda o’q orqaga qaytmas edi. Endi Rezerford tajribasining sxemasini bilan tanishaylik (47- rasm). Rezerford tajribasida atomga  $\alpha$ -zarralar oqimi yo’naltiriladi.  $\alpha$ -zarraning zaryadi  $+2e$  ga, massasi esa  $6,64 \cdot 10^{-27}$  kg ga teng. Manba tor tirqishli qo’rg’oshin idishda joylashti-

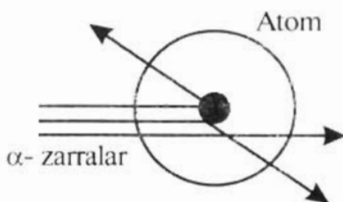
rilgan bo'lib, zarralar ma'lum yo'nalishdagina chiqariladi va boshqa yo'nalishdagilarini qo'rg'oshin devorlar yutib qoladi.  $\alpha$ - zarralarning yo'liga perpendikular qilib  $1 \mu\text{m}$  qalinlikdagi oltin qog'oz qo'yilgan. Oltin qog'ozdan o'tgan  $\alpha$ - zarralarning yo'nalishi ekran yordamida qayd qilingan. Rezerford o'z tajribasida  $\alpha$ - zarralarning bir qismi dastlabki yo'nalishidan ma'lum burchaklarga og'ishini va hatto oltin qog'ozdan qaytuvchi zarralar ham bo'lishini qayd etgan. Garchi bunday hol 10 000 ta zarradan bittasida kuzatilsa-da, Tomson modeli nuqtayi nazaridan mutlaqo tushunarsiz edi.

**Rezerford tajribasidan xulosa.** «Taru»ning markaziga yo'naltirilgan o'q uni teshib o'tmay orqaga qaytganda biz qanday xulosa chiqargan bo'lsak, Rezerford ham o'z tajribasi natijasidan shunday xulosa chiqargan. Ushbu xulosaga muvofiq, atomning markazida undan 10 000 marta kichik, ya'ni kattaligi  $10^{-14}$  m bo'lgan o'zak (yadro) mavjud bo'lmog'i kerak. Yadroda atomning musbat zaryadi va massasining asosiy qismi (qariyb 95 foizi) mujassamlashgan. Agar  $\alpha$ - zarra oltin qog'ozdagi atom yadrosidan uzoqdan o'tsa, o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi (48- rasm). Agar yadroga duch kelib qolsa, orqaga qaytishi kuzatiladi. Yadro atomdan 10 000 marta kichik bo'lgani uchun  $\alpha$ - zarralarning 10 000 tadan bittasi u bilan to'qnashishi va orqaga qaytishi kuzatilgan.

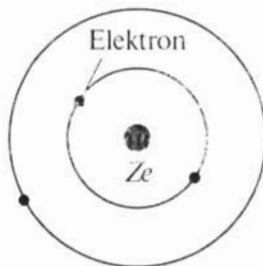
Xo'sh, unda atom qanday tuzilgan?

**Atomning yadroviiy (planetar) modeli.** Tajriba natijalari asosida Rezerford 1911- yilda atomning yadroviiy (planetar) modelini taklif qildi. Ushbu modelga ko'ra atom jajjigina quyosh sistemasidek tasavvur qilinadi. Elektronlar yadro atrofida (yopiq) orbitalar – atomning elektron qobig'i bo'ylab harakatlanadi va ularning zaryadi yadrodagi musbat zaryadga teng (49- rasm).

Taklif qilingan model atomning tuzilishi haqida to'la xulosa chiqarishga imkon beradimi? Afsuski, yo'q.



48- rasm.



49- rasm.



Atomning Rezerford modeli klassik mexanika va elektrodinamika qonunlari bilan qarama-qarshi bo'lib chiqdi va nurlanishning spektral qonunlarini tushuntirib bera olmadi. Kelgusi mavzuda ushbu muammolarga batafsilroq to'xtalamiz.



### Sinov savollari

1. Moddalarning tuzilishi haqida yunon faylasuflarining fikrlari qanday bo'lgan? 2. Atom so'zi qanday ma'noni anglatadi? 3. Mendeleyevning moddalarning atomlardan tashkil topganligini tasdiqlashdagi xizmatlari nimalardan iborat? 4. Elektron qanday zarra va uni kim kashf qilgan? 5. Elektron atomning tarkibiga kiradimi? 6. Atom tarkibida yana nima bo'lishi kerak? 7. Atomning Tomson modeli qanday? 8. Tomson modelini tarvuzga o'xshatib bo'ladimi? 9. Qachon «tarvuz»ga yo'naltirilgan o'q orqaga qaytishi mumkin? 10. Rezerford tajribasining sxemasini tushuntirib bering. 11.  $\alpha$ -zarra haqida nimani bilasiz? 12.  $\alpha$ -zarralar qayoqqa yo'naltirilgan? 13. Oltin qog'ozning buncha yupqa qilib olinishiga sabab nima? 14. Oltin qog'ozdan o'tgan zarralar qayerda qayd qilingan? 15.  $\alpha$ -zarralar oltin qog'ozdan o'tishda dastlabki yo'nalishidan og'ganmi? 16. Qaytuvchi zarralar ham bo'lganmi? 17. Rezerford o'z tajribasidan qanday xulosa chiqargan? 18. Atom yadrosining o'lchami, massasi va zaryadi qanday? 19.  $\alpha$ -zarraning orqaga qaytishiga sabab nima? 20. Nima uchun  $\alpha$ -zarralarning 10 000 dan bittasi orqaga qaytadi? 21. Atomning yadroviy modeli qachon va kim tomonidan taklif qilingan? 22. Atomning yadroviy (planetar) modelini tushuntiring. 23. Ushbu modelga muvofiq elektronlarning zaryadi yadroning zaryadiga tengmi? 24. Atomning Rezerford taklif qilgan modeli atom tuzilishi haqida to'la xulosa chiqarishga imkon beradimi?

## 26-§. Vodorod atomining spektri

Mazmuni: atomning tuzilishi va uning nurlanish spektri; Balmer seriyasi; Pashen va Layman seriyalari; Balmerning umumlashgan formulasi; kombinatsion prinsip; atomlar spektri va Rezerford modeli.

**Atomning tuzilishi va uning nurlanish spektri.** Yuqorida qayd etilganidek, atomning o'lchamlari juda kichik bo'lgani uchun ( $\approx 10^{-10}$  m) uning tuzilishini bevosita o'rganish juda qiyin. Shuning uchun uning tuzilishini bilvosita, ya'ni ichki tuzilishi akslanuvchi xarakteristikalar yordamida o'rganish maqsadga muvofiqdir. Shunday xarakteristikalardan biri — atomning nurlanish spektri. Atomning nurlanish spektri, ya'ni atom elektromagnit nurlar chiqarishida (yoki yutishida) hosil bo'ladigan optik spektrlar ancha

batafsil o'rganilgan. Tajriba natijalariga asoslanib, ularni tushuntirib beruvchi ba'zi qonunlar ham yaratilgan. Masalan, barcha elementlarning spektral chiziqlarini bir qancha seriyalarga (dastalarga) bo'lish mumkin. Turli kimyoviy elementlar mos seriyalarining tuzilishlari esa bir-birlariga juda ham o'xshashdir. Aytganlarimizni eng sodd atom – vodorod atomi misolida ko'raylik.

**Balmer seriyasi.** Shveysariyalik fizik I. Balmer 1885- yilda vodorod spektrining ko'zga ko'rinuvchi qismidagi spektral chiziqlarning taqsimoti (chastotasi) uchun quyidagi

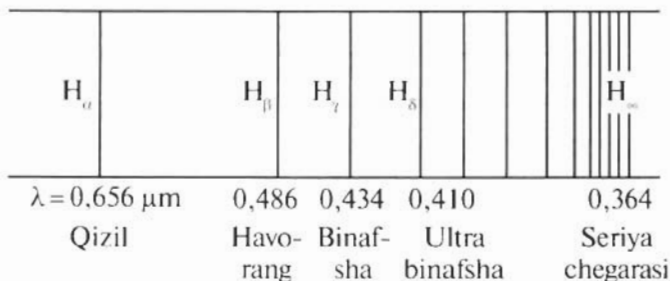
$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (26.1)$$

formulani topdi. Bu yerda  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$  – Ridberg doimiysi (shu kattalikni fanga kiritgan shvetsiyalik fizik I. Ridberg (1854–1919) sharafiga shunday nomlangan). Agar  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  ekanligini nazarda tutsak, Balmer formulasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{c} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R' \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (26.2)$$

$R' = \frac{R}{c} = 1,10 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$  ga ham Ridberg doimiysi deyiladi.

$n$  ning turli qiymatlariga qarab chiziqlar guruhi hosil bo'ladi va ularga *Balmer seriyasi* deyiladi. 50- rasmda Balmer seriyasi ko'rsatilgan bo'lib,  $H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\gamma}, H_{\delta}$  lar bilan ko'zga ko'rinuvchi chiziqlar belgilangan bo'lsa,  $H_{\infty}$  ga Balmer seriyasining eng so'nggi chizig'i mos keladi.



50- rasm.

**Pashen va Layman seriyalari.** Vodorod spektrining ko'zga ko'rinmas qismini o'rganish infraqizil va ultrabinafsha sohalarda joylashgan seriyalar ham mavjudligini ko'rsatdi. Jumladan, spektrning ultrabinafsha sohasida Layman seriyasi

$$\nu = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 2, 3, 4, \dots) \quad (26.3)$$

va infraqizil sohasida Pashen seriyasi

$$\nu = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 4, 5, 6, \dots) \quad (26.4)$$

joylashgan.

**Balmerning umumlashgan formulasi.** (26.1), (26.3) va (26.4) formulalarni solishtirish ularning o'xshashligini ko'rsatib turibdi. Modomiki shunday ekan, ularni yagona formulaga birlashtirish mumkin emasmi, degan savol tug'iladi. Bunday formula:

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (26.5)$$

Bu ifoda Balmerning umumlashgan formulasidir. Bu yerda  $m$  har bir seriya uchun o'zgarmas  $m = 1, 2, 3, 4, \dots$  qiymatlarni qabul qilib, chiziqlar guruhi qanday seriyani hosil qilishini ko'rsatsa,  $n$  butun qiymatlarni ( $m + 1$  dan boshlab) qabul qilib, seriyadagi chiziqlarni ko'rsatadi. Seriyalarni quyidagi jadval yordamida ham ifodalash mumkin.

3-jadval

Seriyalar	$M$	$N$
Layman	1	2, 3, 4, ...
Balmer	2	3, 4, 5, ...
Pashen	3	4, 5, 6, ...

Vodorod spektrining yana Breket, Pfund, Xemfri seriyalari mavjud bo'lib, biz ularga to'xtalib o'tirmaymiz. Shu bilan birga, boshqa elementlarning nurlanish spektrlari qanday ko'rinishga ega, degan savolni qo'yamiz.

**Kombinatsion prinsip.** Tajribalarning ko'rsatishicha, yuqoridagiga o'xshash spektrlar nafaqat vodorodda, balki ishqorli metallarda (Li, Na, K) ham kuzatiladi. Ularda ham spektral

chiziqlarning joylashuvi Balmer formulasiga o'xshash formula bilan aniqlanadi. Ushbu spektrlarni o'rgangan shveysariyalik fizik V. Rits, biror spektral chiziqning chastotasi, ikkita boshqa chiziqlar chastotalarining yig'indisiga teng bo'lib qolishiga e'tibor berdi. Bu holni tushuntirish maqsadida u *kombinatsion prinsip* deb ataluvchi quyidagi Ridberg—Rits prinsipini olg'a surdi: *har bir atom uchun spektral termlar deb ataluvchi shunday sonlar ketma-ketligi mavjudki, shu atomning barcha spektral chiziqlarining chastotasini ikkita shunday spektral termlarning ayirmasi ko'rinishida ifodalash mumkin, ya'ni*

$$\nu = T(m) - T(n). \quad (26.6)$$

Ushbu prinsipning to'g'riligi juda ko'p tajribaviy natijalar bilan tasdiqlangan. Bu esa uning atomning tuzilishi va nurlanish jarayonida atom ichida ro'y beradigan jarayonlar bilan bog'liq ekanligining isbotidir.

**Atomlar spektri va Rezerford modeli.** Garchi Rezerfordning yadroviy modeli atom fizikasining ulkan yutug'i bo'lsa-da, u atomning spektral qonuniyatlarini tushuntirib bera olmadi. Bundan tashqari, bu model klassik mexanika va elektrodinamika qonunlariga zid bo'lib chiqdi.

**Birinchi**dan, elektronning yadro atrofidagi orbita bo'ylab harakati egri chiziqli, ya'ni tezlanish bilan ro'y beradigan harakatdir. Bu harakatda esa klassik elektrodinamika qonunlariga muvofiq elektron o'zidan nur chiqarishi kerak. Ya'ni harakat davomida elektronning energiyasi kamayadi, uning aylanish orbitasi kichrayadi va u yadroga yaqinlasha boradi. Boshqacha aytganda, ma'lum vaqtdan keyin elektron yadroga tushib, atom yo'qolishi kerak. Bu Rezerford modeliga muvofiq, atom nostabil sistema bo'lishini ko'rsatadi.

Amalda esa atomlar juda mustahkam sistema hisoblanadi.

**Ikkinchi**dan, elektron atomga yaqinlashgan sari orbitasining radiusi kichraya boradi ( $R \rightarrow 0$ ), tezligi esa o'zgarmaydi ( $v = \text{const}$ ).

Natijada tezlanishi  $\left(\frac{mv^2}{R}\right)$  ortishi bilan elektronning nurlanish

chastotasi ham uzluksiz ravishda ortishi va demak, uzluksiz nurlanish spektri kuzatilishi kerak. Biz esa ushbu mavzuda, tajribalar atomning nurlanish spektri uzlukli (chiziqli) ekanligini ko'rsatganini bildik.

Bularning hammasi atomning Rezerford modeli o'zining ulkan vazifasini juda qisqa vaqtda bajarib bo'lganidan nishona edi.

Bundan tashqari, spektral seriyalar uchun yozilgan ajoyib formulalar, Ridberg doimiysining universal xarakterga egaligi, tajriba natijalarini tushuntirib bera oluvchi yangi g'oya, yangi nazariyaga ehtiyoj tug'ilganidan dalolat berib turardi.

Zamonaviy fizikaning rivojlanishi uchun ulkan ahamiyatga ega bo'lgan nazariya bilan tanishishni kelgusi mavzuda davom ettiramiz.



### Sinov savollari

1. Nima uchun atomning tuzilishini bevosita o'rganish qiyin? 2. Atomning tuzilishi qanday o'rganiladi? 3. Atomning optik spektrlari tajribalarda o'rganilganmi va ular orasida qanday o'xshashliklar mavjud? 4. Nima uchun vodorod atomining spektrini o'rganish lozim topilgan? 5. Balmer formulasini yozing. 6. Balmer seriyasi spektrning qaysi qismida joylashgan? 7. Ridberg doimiysi nimaga teng? 8. To'liq uzunligi uchun Balmer formulasi qanday? 9. Balmer seriyasidagi spektral chiziqlarni izohlang. 10. Vodorod spektrining ko'zga ko'rinmas qismida qanday seriyalar joylashgan? 11. Layman seriyasi formulasi qanday? 12. Pashen seriyasini kichik? 13. Yuqorida keltirilgan formulalarning o'xshash tomonlari mavjudmi? 14. Balmerning umumlashgan formulasi qanday? 15.  $m$  qanday qiymatlarni qabul qiladi va nimani ko'rsatadi? 16.  $n$ -chi? 17. Seriyalar ifodalangan jadvalni izohlang. 18. Vodorod spektrida yana qanday seriyalar mavjud? 19. Boshqa elementlarning nurlanish spektrlari qanday ko'rinishga ega? 20. V. Rits nimani aniqladi? 21. Kombinatsion prinsip nima? 22. Kombinatsion prinsip tajriba natijalari bilan mos keladimi? 23. Rezerford modeliga asosan elektronning yadro atrofidagi harakati qanday harakat? 24. Nima uchun yadro atrofida harakatlanayotgan elektron o'zidan nur chiqarishi kerak? 25. Nima uchun elektron yadroga tushishi kerak? 26. Amalda elektron yadroga tushib, atom yo'qoladimi? 27. Nima uchun elektronning nurlanish chastotasi uzluksiz bo'lishi kerak? 28. Tajribalar atomning nurlanish chastotasi qandayligini ko'rsatadi? 29. Rezerford modeli nimalarni tushuntirib bera olmadi? 30. Yana qanday asoslar yangi nazariya tug'ilishidan dalolat berardi?

## 27-§. Vodorod atomi uchun Bor nazariyasi

**M a z m u n i :** Bor postulatları; birinchi Bor radiusi; atomdagi energetik sathlar; chiziqli spektrlar; Ridberg doimiysi; Frank–Gers tajribalari; Bor nazariyasining kamchiliklari.

**Bor postulatları.** Yig'ilib qolgan muammolarni yecha oluvchi nazariyani yaratish yigirmanchi asrning eng buyuk fiziklaridan biri daniyalik N. Bor ga nasib etdi. Uning asosiy maqsadi chiziqli spektrlarning tajribalar asosida topilgan qonuniyatlarini Rezerfordning yadroviy modeli asosida tushuntirishdan iborat edi. Buni yaxshi tushungan Bor atomning nurlanishi yoki yorug'lik yutishi kvantlardan iborat bo'ladi, degan g'oyani ilgari surdi. Shunday qilib, 1913- yilda Rezerfordning yadroviy modeliga kvant nazariyasi tatbiq etilib, tajriba natijalarini to'la tushuntirib bera oladigan vodorod atomi nazariyasi yaratildi. Umuman olganda, *kattaliklarning istalgan emas, balki ma'lum qoidaga bo'ysunuvchi tanlangan qiymatlarni qabul qilishi kvantlanish deyiladi. Kvantlanish asosida yaratilgan nazariyaga esa kvant nazariyasi deyiladi.*



N. BOR  
(1885–1962)

Bor nazariyasining asosini quyidagi ikkita postulat tashkil qiladi. Bu postulatlardan har biri biz yuqorida qayd etgan Rezerford modelining ikkita kamchiligini bartaraf etishga qaratilgan.

1. **Statsionar (turg'un) holatlar haqidagi postulat:** *atomda statsionar holatlar mavjud bo'lib, bu holatlarga elektronlarning statsionar orbitalari mos keladi.*

*Elektronlar faqat shu statsionar orbitalarda bo'lib, hattoki tezlanish bilan harakatlanganlarida ham nurlanish chiqarmaydilar.*

Statsionar orbitadagi elektronning harakat miqdori momenti (impuls momenti) kvantlangan bo'lib, quyidagi shart bilan aniqlanadi:

$$m_e v_n r_n = n\hbar, \quad (27.1)$$

bu yerda  $m_e$  – elektronning massasi;  $r_n$  –  $n$ - orbitaning radiusi;  $v_n$  – elektronning shu orbitadagi tezligi;  $m_e v_n r_n$  – elektronning shu orbitadagi impuls momenti;  $n$  – nolga teng bo'lmagan ( $n \neq 0$ ) butun son, unga *bosh kvant soni* deyiladi;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  ( $h$  – Plank doimiysi).

Demak, Borning birinchi postulatiga ko'ra, atomdagi elektron istalgan orbita bo'ylab emas, balki statsionar orbita deb ataluvchi ma'lum orbitalar bo'ylab harakatlanishi mumkin. Bu harakat davomida u o'zidan nurlanish chiqarmaydi, ya'ni energiyasi ka-

maymaydi. Energiyasi kamaymasa, yadroga tushmaydi va atom yo'qolmaydi. Shunday qilib, ushbu postulat Rezerford modelining birinchi kamchiligini bartaraf qiladi.

2. **Chastotalar haqidagi postulat:** elektron bir statsionar orbitadan ikkinchisiga o'tgandagina, energiyasi shu statsionar holatlardagi energiyalarining farqiga teng bo'lgan bitta foton chiqaradi (yoki yutadi):

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (27.2)$$

bu yerda  $E_n$  va  $E_m$  – mos ravishda elektronning  $n$ - va  $m$ - statsionar orbitalardagi energiyalari.

Agar  $E_n > E_m$  bo'lsa, foton chiqariladi. Boshqacha aytganda, elektron katta energiyali holatdan kichikroq energiyali holatga, ya'ni yadrodan uzoqroqda bo'lgan statsionar orbitadan yadroga yaqinroq bo'lgan statsionar orbitaga o'tadi.

Agar  $E_n < E_m$  bo'lsa, foton yutiladi va yuqoridagi mulohazalarga teskari hol ro'y beradi.

(27.2) ifodadan nurlanish ro'y beradigan chastotalarni, ya'ni atomning chiziqli spektrini aniqlash mumkin:

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}. \quad (27.3)$$

Demak, Borning ikkinchi postulatiga ko'ra, elektron istalgan chastotali nurlanish chiqarmay, chastotasi (27.3) shartni qanoatlantiruvchi nurlanishnigina chiqarishi mumkin. Va aynan shuning uchun ham, atomning nurlanish spektri uzluksiz bo'lmay, uzlukli (chiziqli) ko'rinishga egadir. Demak, Borning ikkinchi postulati Rezerford modelining ikkinchi kamchiligini bartaraf qiladi.

**Birinchi Bor radiusi.** Eng sodda atom – vodorod atomini ko'raylik. U bitta protondan iborat yadro va uning atrofida aylanma orbita bo'ylab harakatlanuvchi bitta elektrondan iborat. Yadro elektronni o'ziga kulon kuchi bilan tortadi va unga markazga intilma tezlanish beradi, ya'ni:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e \cdot e}{r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}. \quad (27.4)$$

Bu yerda  $e$  – elektronning va protonning zaryadi,  $\epsilon_0$  – elektr doimiysi. Endi (27.1) ifodadan  $v_n$  ni aniqlab olamiz va natijani (27.4) ga qo'yib, undan  $r_n$  uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m_e e^2}, \quad (27.5)$$

bu yerda  $n$  – elektron stasionar orbitasining (aniqrog'i atomning stasionar holatining) tartib raqamini ko'rsatadi. Masalan,  $n = 1$  deb olsak, elektronning vodorod atomidagi birinchi stasionar orbitasi radiusining qiymatini hosil qilamiz. Bu radiusga birinchi *Bor radiusi* deyiladi va atom fizikasida uzunlik birligi sifatida foydalaniladi:

$$r_B = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$$

Shuningdek,  $r_2 = 4r_B$  va h.k.

**Atomdagi energetik sathlar.** Stasionar holatdagi atom energiyasi qabul qiladigan qiymatlar *energetik sath* deyiladi.

Bor nazariyasiga muvofiq, atom yadrosi harakatsiz hisoblanadi. Shuning uchun atomning to'la energiyasi  $E$ , elektronning aylanma harakat kinetik energiyasi  $E_k$  va elektronning yadro bilan o'zaro ta'sir potensial energiyasi  $E_p$  larning yig'indisiga teng, ya'ni

$$E = E_k + E_p. \quad (27.6)$$

Agar

$$E_k = \frac{m_e v_n^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} \quad (27.7)$$

va

$$E_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (27.8)$$

ekanligini e'tiborga olsak, atomning to'la energiyasi quyidagi ifodadan topiladi:

$$E = E_k + E_p = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}. \quad (27.9)$$

(27.7) ifodani hosil qilishda (27.4) dan va (27.8) ni hosil qilishda ikki zaryad orasidagi o'zaro ta'sir potensial energiyasini aniqlash qoidasidan foydalandik.

Endi  $r_n$  uchun topilgan (27.5) ifodani (27.9) ga qo'yib, atomning istalgan energetik sathdagi energiyasi  $E_n$  ni topamiz:

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (27.10)$$



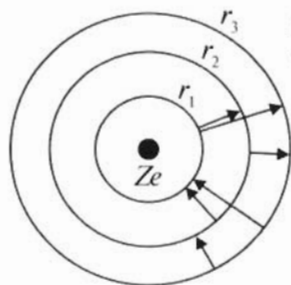
Ushbu ifodadan ko‘rinib turibdiki, vodorod atomining to‘la energiyasi manfiy bo‘lib, u elektron va protonni erkin zarralarga aylantirish uchun qancha energiya sarflash kerakligini ko‘rsatadi. Boshqacha aytganda, aynan shu energiya bu ikki zarrani bir butun atom sifatida saqlab turadi. Shuning uchun ham  $n = 1$  holat eng turg‘un holat hisoblanib, bu holatda atom eng kam energiyaga ega bo‘ladi va u *asosiy energetik holatda* deyiladi. Bu holatdagi vodorod atomini ionlashtirish uchun eng ko‘p energiya sarflash taqozo qilinadi.  $n > 1$  holatlar esa *g‘alayonlangan (uyg‘ongan) holatlar* deyiladi va ulardagi atomning energiyasi kamroq bo‘lib, bunday holatdagi atomni ionlashtirish uchun kamroq energiya sarflanadi.

**Chiziqli spektrlar.** Borning ikkinchi postulatiga ko‘ra, elektron bir energetik sathdan ikkinchisiga o‘tganida

$$h\nu = E_2 - E_1 = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (27.11)$$

energiyali foton chiqariladi yoki yutiladi. Agar elektron ikkinchi orbitadan ( $n_2 = 2$ ) birinchisiga o‘tsa ( $n_1 = 1$ ), foton chiqariladi (51- rasm). Teskari holda — yutiladi. Elektronni  $n_1 = 1$  orbitadan  $n_2 \rightarrow \infty$  ga o‘tkazish uchun, boshqacha aytganda, elektronni atom yadrosidan ajratib olish (atomni ionlashtirish) uchun eng katta energiya sarflanadi. Bu energiyaning qiymati 13,53 eV ga teng bo‘lib, vodorod atomini ionlashtirish energiyasidir.

Demak, vodorod atomining asosiy holatidagi elektronning energiyasi  $-13,53$  eV ga teng. Yuqorida ta’kidlaganimizdek, energiyaning manfiyligi elektronning bog‘langan holatda ekanligini ko‘rsatadi. Erkin holatdagi elektronning energiyasi nolga teng deb qabul qilingan.

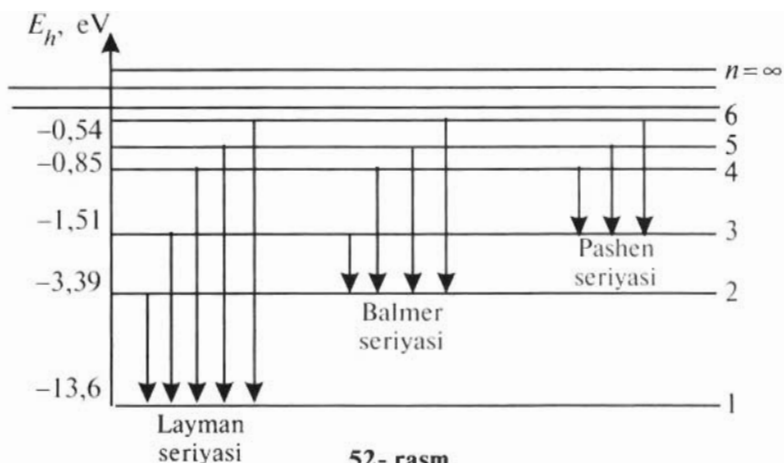


51- rasm.

(27.11) ifoda yordamida chiqariladigan yoki yutiladigan fotonning chastotasini yoki to‘lqin uzunligini aniqlash mumkin:

$$\nu = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (27.12)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2 c} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (27.13)$$



52- rasm.

Ushbu formulalar *seriyalar formulasi* deyiladi. Ular yordamida vodorod atomi spektrining barcha seriyalarini hosil qilish mumkin (52- rasm).

**Ridberg doimiysi.** (27.12) ifodani Balmerning umumlashgan (27.5) formulasi bilan solishtirib, ularning juda o'xshashligiga ishonch hosil qilamiz. Faqat (27.12) dagi Ridberg doimiysi

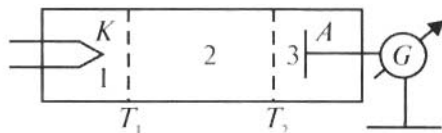
$$R = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2}$$

ga tengligini ko'ramiz. (27.14) asosida topilgan Ridberg doimiysi-ning qiymati tajribada topilgan natijalar bilan to'la mos keldi. Bu esa vodorod atomi uchun Bor nazariyasi to'g'riligining yaqqol isbotidir.

Bor nazariyasi, o'zi yaratilguncha atom fizikasida mavjud bo'lgan barcha muammolarni yechib bergan bo'lsa-da, atomning statsionar holatlari mavjudligi va energetik sathlarning diskret qiymatlarni qabul qilishi hali tajribada isbotlanmagan edi. Quyida shu maqsadda o'tkazilgan tajribalardan biri bilan tanishamiz.

**Frank—Gers tajribasi.** Nemis fiziklari D.Frank va G.Gers elektronlarning gaz atomlari bilan to'qnashuvini tutuvchi potensiallar usulida o'rganib (1913- yil), atom energiyasi qiymatlarining diskretligini tajribada isbotladilar. Tajribaning sxemasi 53- rasmda keltirilgan.

Simob bug'lari bilan to'ldirilgan, havosi so'rib olingan nayda katod ( $K$ ), anod ( $A$ ) va to'rlar ( $T_1$  va  $T_2$ ) bo'lgan. Katoddan

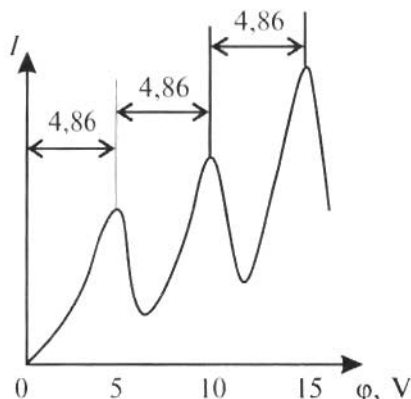


53- rasm.

chiqqan va 1- sohada tezlashtirilgan elektronlar 2- sohada simob atomlari bilan to'qnashadi. Bunda ular simob atomlarini g'alayonlantirishi mumkin. Bor nazariyasiga muvofiq, agar chindan ham simob atomlarining energetik sathlari diskret bo'lsa, ular faqat ma'lum energiyani olib, birorta g'alayonlangan holatga o'tishlari mumkin. Shuning uchun elektron simob atomlari bilan to'qnashganda atomning stasionar holatlari orasidagi energiya farqiga teng energiyagina yo'qotadi.

54- rasmda anod tokining tezlashtiruvchi potensialga bog'lanishi ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, tezlashtiruvchi potensial 4,86 V ga yetguncha tokning qiymati ortib boradi va so'ngra keskin kamayadi. Bu hol  $U = 2 \cdot 4,86$  V va  $U = 3 \cdot 4,86$  V larda ham takrorlanadi.

Anod tokining bunday o'zgarishiga sabab nima? Elektronning energiyasi  $eU = 4,86$  eV bo'lguncha, u simob atomini g'alayonlantira olmaydi va shuning uchun ham anod toki o'sa boradi. Elektronning energiyasi simob atomini g'alayonlantirishga yetarli bo'lgandan so'nggina o'z energiyasini simob atomiga beradi va natijada energiyasini yo'qotgan elektron katodga yetib borolmay, anod toki keskin kamayadi. Tezlashtiruvchi potensial ortishi bilan elektron ikki va uch marta simob atomlari bilan to'qnashib, ularni g'alayonlashtirish qobiliyatiga ega bo'lishlari mumkin.



54- rasm.

Frank va Gers tajribalarining ko'rsatishicha, simob atomlari bilan to'qnashgan elektron o'z energiyasining faqat ma'lum qismini ularga berishi mumkin. Bu energiya 4,86 eV ga teng bo'lib, asosiy holatdagi simob atomi yutishi mumkin bo'lgan eng kichik energiya porsiyasidir. Shunday qilib, atomda statsionar holatlar mavjudligi haqidagi Bor nazariyasi tajribada to'la isbotlangan.

Borning ikkinchi postulatiga muvofiq,  $\Delta E = 4,86$  eV energiya olib g'alayonlangan simob atomi yana qaytib asosiy holatga o'tganida shu energiyaga mos keluvchi nurlanish chiqarmog'i kerak. Agar

$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$  ekanligini nazarda tutsak,  $\lambda \approx 0,255$   $\mu\text{m}$  va bu ultrabinafsha

nurlanishga to'g'ri kelishini topamiz. Tajriba haqiqatan ham  $\lambda \approx 0,254$   $\mu\text{m}$  to'lqin uzunlikli ultrabinafsha nur chiqishini aniqladi. Bu esa Borning ikkinchi postulati ham to'g'ri ekanligining isbotidir.

**Bor nazariyasining kamchiliklari.** Bor nazariyasi atom fizikasi rivojlanishiga ulkan hissa qo'shib, kvant mexanikasining yaratilishida muhim qadam bo'lib xizmat qildi. U vodorod va vodorodsimon atomlarning spektrlari va spektral chiziqlarning chastotalarini hisoblashga imkon bergan bo'lsa-da, bu chiziqlarning intensivligini aniqlashga va u yoki bu o'tishlarning ro'y berishiga sabab nimaligini tushuntirishga o'zlik qildi. Bor nazariyasining jiddiy inqirozi, ayniqsa, eng sodda elementlardan biri, vodoroddan bevosita keyingi element – geliy atomining spektrini tushuntirish yo'lidagi urinishlarning muvaffaqiyatsizlikka uchrashida namoyon bo'ldi. Borning o'zi buning asosiy sababi – nazariyaning yarim klassik ekanligida, ya'ni, bir tomondan, kvant postulatlarini qo'llanilsa, ikkinchi tomondan, klassik fizika qonunlarining qo'llanilishida, deb tan oldi. Atomning ichiga yanada dadilroq nigoz tashlash uchun yangi g'oya, yangi nazariyalarga muhtojlik tug'ildi.



### Sinov savollari

1. N. Bor qanday nazariya yaratdi? 2. Uning asosiy maqsadi nimadan iborat edi? 3. Bor o'z nazariyasini qanday g'oyaga asoslanib yaratdi? 4. Kvantlanish deb nimaga aytiladi? 5. Kvant nazariyasi deb-chi? 6. Bor nazariyasining asosini nima tashkil qiladi? 7. Bor postulatlaridan nima maqsad ko'zlangan? 8. Statsionar holatlar haqidagi postulat nimadan iborat? 9. Elektron harakat miqdorining kvantlanishini tushuntiring. 10. Bosh kvant soni qanday qiymatlarni qabul qiladi? 11. Borning birinchi postulati Rezerford modelining qanday kamchiligini bartaraf qiladi? 12. Chastotalar haqidagi postulat nimadan iborat? 13. Qachon foton chiqariladi? 14. Foton

chiqarilganda elektron qaysi orbitaga o'tadi? 15. Qachon foton yutiladi va bunda elektron qaysi orbitaga o'tadi? 16. Nurlanish ro'y beradigan chastota qanday aniqlanadi? 17. Borning ikkinchi postulati Rezerford modelining qanday kamchiligini bartaraf qilgan? 18. Vodorod atomidagi elektron qanday kuchlar ta'sirida bo'ladi? 19. Vodorod atomidagi elektron orbitalarining radiusi qanday aniqlanadi? 20. Birinchi Bor radiusi nimaga tengligini hisoblab toping. 21. Energetik sath deb nimaga aytiladi? 22. Bor nazariyasiga muvofiq atom yadrosi qanday holatda deb hisoblanadi? 23. Atomning to'la energiyasi nimaga teng? 24. Elektronning aylanma harakat kinetik energiyasi nimaga teng? 25. Elektron va yadroning o'zaro ta'sir potensial energiyasi nimaga teng? 26. Atomning istalgan energetik sathdagi energiyasi qanday aniqlanadi? 27. Vodorod atomi energiyasining manfiyligini qanday tushuntirasiz? 28.  $n=1$  holat qanday holat? 29.  $n>1$  holatlar-chi? 30. Bunday holatdagi vodorod atomini ionlashtirish uchun qancha energiya sarflanadi? 31. Elektron bir energetik sathdan ikkinchisiga o'tganida chiqaradigan fotonning energiyasi qanday aniqlanadi? 32. Qachon foton chiqariladi, qachon yutiladi? 33. Atomni ionlashtirish uchun qanday energiya sarflanadi? 34. Vodorod atomi uchun bu energiyaning qiymati nimaga teng? 35. Vodorod atomining asosiy holatidagi elektronning energiyasi nimaga teng? 36. Bu energiyaning manfiyligi nimaga ishora? 37. Qanday elektronning energiyasi nolga teng deb olinadi? 38. Seriyalar formulasini yozing. 39. 52- rasmdagi manzarani tushuntiring. 40. Ridberg doimiysi nimaga teng? 41. Ridberg doimiysining nazariy qiymati va tajribada topilgan natijalar mos keladimi? 42. Frank-Gers tajribalaridan maqsad nima? 43. 54- rasmdagi holatni tushuntirib bering. 44. Anod tokining bunday o'zgarishiga sabab nima? 45. 4,86 eV qanday energiya? 46. Frank-Gers tajribalari simob atomlarining statsionar orbitalari mavjudligini isbotladimi? 47. Simob atomi g'alayonlangan holatdan asosiy holatga o'tganida qanday nurlanish chiqarishi kerak? 48. Tajriba qanday natijani ko'rsatdi? 49. Bu natijadan qanday xulosa chiqarish mumkin? 50. Bor nazariyasining ahamiyati nimada? 51. Bor nazariyasining kamchiliklari nimadan iborat? 52. Bu kamchiliklarning mavjudligiga sabab nima?

## 28-§. Lui de Broyl gipotezasi. Zarralarning to'liq xossalari

Mazmuni: Lui de Broyl gipotezasi; Devisson va Jermer tajribasi; ta'sir kvanti.

**Lui de Broyl gipotezasi.** Bor nazariyasidan ham takomilroq nazariyani yaratish olimlarni to'liq mexanikasi bilan bog'liq g'oyalarga murojaat qilishga undadi. Buning asosiy sababi, *nurlanishning korpuskular-to'liq dualizmidir*. Bizga ma'lumki, foton tushunchasi kiritilgandayoq uning energiyasi va chastotasi orasidagi  $E = hv$

munosabat yozilib, foton mavjudligining o'zi bevosita dualizm bilan bog'liqligiga asos solingan edi. Agar foton shunday xususiyatga ega ekan, unda boshqa zarralar, jumladan, elektron ham shunday korpuskular-to'liqin dualizmi xususiyatiga ega emasmi, degan savol tug'iladi. Bu savolga ijobiy javob bergan fransuz fizigi Lui de Broyl 1923- yilda *korpuskular-to'liqin dualizmining universalligi* haqidagi quyidagi gipotezani ilgari surdi. Uning fikricha, *nafaqat foton, balki elektron va boshqa zarralar ham korpuskular xossalari bilan bir qatorda, to'liqin xossalari ham egadirlar.*



**Lui de BROYL**  
(1892–1987)

Boshqacha aytganda, har bir zarra, bir tomondan, energiya ( $E$ ) va impuls ( $P$ ) kabi korpuskular kattaliklari bilan xarakterlanadi, ikkinchi tomondan, chastota ( $\nu$ ) va to'liqin uzunligi ( $\lambda$ ) kabi to'liqin kattaliklari bilan ham xarakterlanadi. Zarralarning ham korpuskular va to'liqin xarakteristikalarini orasidagi munosabatlar fotonniki kabi quyidagi ko'rinishga ega:

$$E = h\nu, \quad P = \frac{h}{\lambda}. \quad (28.1)$$

Lui de Broylning fikricha, (28.1) ifoda tinchlikdagi massasi noldan farq qiluvchi har qanday zarra uchun ham o'rinlidir. Demak, impulsiga ega bo'lgan har qanday zarraga to'liqin uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (28.2)$$

Lui de Broyl formulasi bilan aniqlanuvchi to'liqin mos keladi.

Demak, zarralar to'liqin xususiyatiga ega ekan, ular ham to'liqinlarga xos bo'lgan interferensiya va difraksiyaga kirishishadimi, degan savol tug'iladi. Ayni shu savolga javob topish maqsadida o'tkazilgan tajribalar bilan tanishamiz.

**K. Devisson va L. Jermer tajribasi.** 1927- yilda amerikalik fiziklar K. Devisson va L. Jermer elektronlarning nikel monokristalida sochilishini o'rgandilar. Tajribaning ko'rsatishicha, garchi elektronlarning tushish burchaklari bir xil bo'lsa-da, ular kristall sirtidan turli burchaklar ostida qaytadi. Natijada bir yo'nalishda qaytgan elektronlar soni ko'p bo'lsa, boshqa yo'nalishdagisining soni kam bo'lib, ularni qayd etgan fotoplastinkada difraksion manzara kuzatildi. Devisson va Jermer tajribasining ko'rsatishicha, sochilish

jarayonida elektronlar o'zlarini xuddi to'liqlardek tutishgan va ularning to'liq uzunligi Lui de Broyl to'liq uzunligi bilan mos kelgan.

To'liq xususiyati nafaqat harakatlanayotgan zarralar dastasiga taalluqli bo'lmay, u harakatlanayotgan alohida zarraga ham xos xususiyatdir. 1948- yilda V.A.Fabrikant, Biberman va Sushkinlar alohida elektronlarning difraksiyasini kuzatishdi. Keyinchalik difraksiya hodisasi neytronlar, protonlar, atomlar va molekulalar ishtirokida ham kuzatildi. Shunday qilib, korpuskular-to'liq dualizmi nafaqat fotonga tegishli xususiyat bo'lmay, u materiyaning istalgan zarralariga xos xususiyat ekanligi isbotlandi.

Binobarin, makrojismlar ham to'liq xususiyatiga egami, degan savol tug'iladi. Albatta ega, jumladan, biz ham. Lekin to'liq uzunligimiz juda kichik bo'lgani uchun uni qayd etish mumkin emas. Misol uchun 100 m/s tezlik bilan otilgan 1 g massali o'qning to'liq uzunligini topaylik. De Broyl formulasiga ko'ra:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{10^{-3} \cdot 100} \text{ m} = 6,62 \cdot 10^{-33} \text{ m} .$$

Bunday kichik to'liq uzunlikli to'liqlarni qayd qilishning iloji bo'lmaganligi uchun ham biz o'qni faqatgina zarra sifatida qaraymiz. Shu bilan birga  $10^8$  m/s tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning to'liq uzunligini hisoblasak, u  $\lambda = 7,3 \cdot 10^{-12}$  m ga teng bo'ladi va bunday to'liqni hisobga olmaslik mutlaqo mumkin emas.

**Ta'sir kvanti.** Shunday qilib, biz materiyaning korpuskular-to'liq dualizmi universal xarakterga egaligi, ya'ni materiya bir paytning o'zida ham korpuskular, ham to'liq xususiyatiga egaligiga ishonch hosil qildik. Bu xususiyatlarni xarakterlovchi kattaliklar orasidagi

$$E = h\nu \text{ va } P = \frac{h}{\lambda}$$

bog'lanishlarni ham ko'rdik. Ammo ularni bog'lab turuvchi kattalik —  $h$  Plank doimiysiga batafsil to'xtalmadik. Agar  $\nu = 1 \text{ s}^{-1}$  deb olsak, energiya Plank doimiysiga teng bo'lishini ko'ramiz. Demak, Plank doimiysi kvant energiyasining o'zgarish kattaligini, ya'ni kvant energiyasi o'zgarishining eng kichik miqdori nimaga teng bo'lishini ko'rsatadi. Xuddi shuningdek, ikkinchi ifodada  $\lambda = 1 \text{ m}$  deb olsak, impulsning Plank doimiysiga teng bo'lishi chiqadi. Demak, bu kattalik nafaqat energiyaning, balki impulsning ham o'zgarish

kattaligini xarakterlaydi, shuning uchun unga *ta'sir kvanti* deyiladi. Shunday qilib, *Plank doimiysi kvant xarakteristikalarining o'zgarish kattaligini, ya'ni diskretlik darajasini ko'rsatuvchi kattalikdir.*

Yuqoridagilarni tasavvur qilish uchun quyidagicha solishtirish o'tkazaylik. Agar o'zimizni mikrozaralar olamida deb tasavvur qilsak, bu zaralarning energiyasi diskret o'zgarishini, ya'ni go'yoki zinapoyalardan yurganimiz kabi o'zgarishini ko'ramiz. Har ikkita qo'shni zina orasidagi farq esa Plank doimiysiga teng bo'ladi, boshqacha aytganda, kattaliklar kvantlanadi. Endi makrojismalar olamiga ko'chaylik. Mikrozaralar olami bizdan shu qadar uzoqda qolib ketadiki, endi zinapoyalarni ko'ra olmaymiz, zinaning balandligi esa sezilmay qoladi. Ko'tarilish yo'li tekis ko'rinadi va yuqoriga ko'tarilganimizda qadamimizni istalgancha kichik tashlashimiz mumkindek tuyuladi, ya'ni kattaliklar uzluksiz o'zgaradi.

Ushbu solishtirish Plank doimiysining fizik ma'nosi haqida dastlabki tasavvurga ega bo'lishingizga yordam berar degan umiddamiz. Kelgusi mavzuda esa unga yana to'xtalamiz.



### Sinov savollari

1. Korpuskular-to'lqin dualizmi nima? 2. Nima uchun fotonda korpuskular-to'lqin dualizmi bevosita akslangan deyiladi? 3. Elektronda ham bu dualizm mavjudmi? 4. Korpuskular-to'lqin dualizmining universalligi haqidagi gipotezani ta'riflang. 5. Bu gipotezaning muallifi kim? 6. Qanday kattaliklar korpuskular, qandaylari to'lqin xarakteristikalar hisoblanadi? 7. Ular orasidagi munosabatlar qanday? 8. Impulsga ega bo'lgan har qanday zarraga to'lqin uzunligi mos keladimi? 9. Devisson va Jermer tajribasi nima maqsadda o'tkazilgan va qanday natija berdi? 10. Boshqa zaralarda ham difraksiya hodisasi kuzatilganmi? 11. Yer bilan birga harakatlanyapman deb hisoblab, o'zingizning to'lqin uzunligingizni hisoblang. 12. Nima uchun sizning to'lqin xususiyatingiz sezilmaydi? 13. Elektronning to'lqin uzunligi seziladimi? 14. Plank doimiysining materiyaning korpuskular-to'lqin dualizmini bog'lashdagi o'rni nimada? 15. Plank doimiysi nimani ko'rsatadi? 16. Nima uchun unga ta'sir kvanti deyiladi? 17. Plank doimiysining mikrozaralar olamidagi o'rnini qanday tasavvur qilasiz? 18. Makrojismalar orasida uning o'rnini qanday?

## 29-§. Kvant mexanikasi elementlari

M a z m u n i: kvant mexanikasi haqida tushuncha; noaniqlik munosabatlari; elektron buluti; kvant sonlari; Pauli prinsipi; Mendeleyev elementlar davriy sistemasining talqini.





V. GEYZENBERG

(1901–1976)



E. SHREDINGER

(1887–1961)

### **Kvant mexanikasi haqida tushuncha.**

Shunday qilib, Bor nazariyasi mikroduyo-dagi juda ko'p jarayonlarni, jumladan, ko'p elektronli atomlar va molekulalarning tuzilishi, kimyoviy bog'lanishlar va hokazolarni tushuntirishga ojizlik qildi. Lui de Broylning zarralarning to'liq xususiyatiga egaligi haqidagi nazariyasi esa ularning bu xususiyatlarini hisobga olib yangi nazariya yaratishga turtki bo'ldi. Bunday nazariyaning asosiy qismi 1925–1926- yillarda nemis fizigi V. Geyzenberg va avstriyalik fizik E. Shredinger tomonidan yaratilgan kvant mexanikasidir. *Kvant mexanikasida moddalarning ikki xil xususiyati: kattaliklarning kvantlanishi va zarralarning to'liq xususiyatlari mujassamlashgan.*

Shu bilan birga, quyidagicha savol tug'iladi. Kvant mexanikasining qo'llanilish chegarasi qayerdan boshlanadi? Qachon zarralarning ham korpuskular, ham to'liq xususiyati birgalikda namoyon bo'la boshlaydi? Qachongacha zarrani faqat zarra sifatida qarash yetarli bo'ladi? Shunday mezon mavjudmi? Ha, mavjud. Bu mezon Plank doimiysidir. Biz bu

masalaga oldingi mavzuda qisman to'xtalganmiz. Va keyinroq ham to'xtalamiz. Hozir esa lo'nda qilib qo'yilgan savolga shunday javob beramiz. Qaralayotgan holda Plank doimiysining qiymatini hisobga olish zarur bo'lgan chegaradan boshlab kvant mexanikasi qonunlari ishlay boshlaydi. Demak, Plank doimiysini e'tiborga olmaslik mumkin bo'lgan chegaragacha, klassik fizika qonunlaridan foydalanish mumkin. Bundan tashqari, biz uchun odatiy holga aylangan ba'zi tushunchalarga yangicha yondashishimizga to'g'ri keladi. Buni oydinlashtirib olish maqsadida noaniqlik munosabatlari bilan tanishaylik.

**Noaniqlik munosabatlari.** Zarraning holatini bilish — uning koordinatasi (fazodagi o'rni)  $x$ , impulsi  $P$ , energiyasi  $E$  va boshqa xarakteristikalarini bilishdir. (Soddalik uchun harakat  $X$  o'qi yo'nalishida deb olingan.) Klassik mexanikada bu kattaliklarni bir paytning o'zida istalgancha katta aniqlikda o'lchash mumkin. Ammo kvant mexanikasida sharoit mutlaqo boshqacha.

*Harakatlanayotgan zarra korpuskular-to'liqin dualizmiga ega bo'lganligi uchun bir paytning o'zida uning koordinatasi  $x$  va impuls  $P_x$  larni aniqlashning imkoni yo'q.*

V. Geyzenbergning ko'rsatishicha, yuqoridagi kattaliklarni aniq topishning ma'lum chegarasi mavjud. Agar  $\Delta x$  bilan koordinatani aniqlashdagi noaniqlikni,  $\Delta P_x$  bilan impulsni aniqlashdagi noaniqlikni belgilasak, bu kattaliklar o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$\begin{aligned}\Delta x \cdot \Delta P_x &\geq \hbar, \\ \Delta y \cdot \Delta P_y &\geq \hbar, \\ \Delta z \cdot \Delta P_z &\geq \hbar.\end{aligned}\tag{29.1}$$

Keyingi ikkita tengsizlik ham birinchisiga o'xshatib yozilgan.

(29.1) munosabatlar *Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari* deyiladi. Ulardan ko'rinib turibdiki, koordinata qanchalik aniq topilsa ( $\Delta x \rightarrow 0$ ), impulsni aniqlashda shunchalik katta xatolikka yo'l qo'yiladi ( $\Delta P \rightarrow \infty$ ) va teskarisi.

Shuningdek, noaniqliklar munosabatini energiya ( $E$ ) va vaqt ( $t$ ) uchun ham yozish mumkin:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar.\tag{29.2}$$

Noaniqlik munosabatlari kvant mexanikasining qo'llanilish chegarasini quyidagicha aniqlab beradi. Agar  $\Delta x \cdot \Delta p$  ko'paytmaning kattaligi Plank doimiysi bilan solishtiriladigan son bo'lsa, zarraning holati kvant mexanikasi qonunlari yordamida o'rganiladi. Agar  $\Delta x \cdot \Delta p$  ko'paytma Plank doimiysidan juda katta bo'lsa, zarraning holati klassik fizika qonunlari yordamida o'rganiladi.

**Elektron buluti.** Noaniqlik munosabatlari — kvant mexanikasida zarraning o'rnini aniq topish o'z ma'nosini yo'qotganini ko'rsatdi. Boshqacha aytganda, zarraning ma'lum joyda aniq bo'lishi emas, balki shu joyda bo'lish ehtimoli bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Zarraning u yoki bu joyda bo'lish ehtimoli esa uning holat funksiyasi  $\Psi$  ning kvadrati  $|\Psi|^2$  bilan aniqlanadi.  $\Psi$  funksiya zarraning kvant mexanikasidagi harakat tenglamasi, ya'ni Shredinger tenglamasining yechimi. Demak, zarraning ma'lum joyda bo'lishi o'z ma'nosini yo'qotsa, elektronning ma'lum orbita bo'ylab harakatlanishi haqidagi fikr va atomning planetar modeli ham o'z ma'nosini yo'qotadi. Endi elektronning atomda bo'lish ehtimolligining zichligi — «elektron buluti» bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Elektron bulutining zichligi uning ma'lum joyda



V. PAULI  
(1900–1958)

bo'lishining o'lchovidir. Elektron zichlik noldan farqli bo'lgan istalgan joyda bo'lishi mumkin. Zichlik eng katta bo'lgan joyda uning bo'lish ehtimoli ham eng kattadir.

Tabiiyki, atomdagi elektron buluti qanday bo'ladi, u nimaga bog'liq, degan savol tug'iladi.

**Kvant sonlari.** Elektron bulutining shakli, kattaligi va fazodagi o'rni kvant sonlari bilan aniqlanadi. Shredinger o'z tenglamasining yechimiga asoslanib, elektronning atomdagi holati uchta:  $n$  — bosh,  $\ell$  — orbital va  $m$  — magnit kvant sonlari bilan xarakterlanadi, deb ta'kidlaydi.

**Bosh kvant soni  $n$**  elektronning atomdagi energetik sathlarini aniqlaydi. Elektronning atom yadrosigacha bo'lgan o'rtacha masofasini, ya'ni elektron bulutining kattaligini xarakterlaydi. Istalgan butun qiymatlarni qabul qilishi mumkin:  $n = 1, 2, 3, \dots$

**Orbital kvant soni  $\ell$**  elektron impuls momentining qiymatlarini aniqlaydi va elektron bulutining shaklini xarakterlaydi. U  $\ell = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$  gacha qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

**Magnit kvant soni  $m$**  elektron impuls momentining berilgan yo'nalishdagi proyeksiyasini aniqlaydi va elektron bulutning fazodagi o'rnini xarakterlaydi.  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$  qiymatlarini qabul qilishi mumkin.

Keyinchalik, elektronning spin momenti ( $S$ ) deb ataluvchi kvant soniga ham egaligi aniqlandi. Hisoblashlarning ko'rsatishicha, elektron faqat ikki xil:  $S = +\frac{1}{2}$  va  $S = -\frac{1}{2}$  spin kvant soniga ega bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, elektronning atomdagi holati to'rtta:  $n, \ell, m, S$  kvant sonlari bilan xarakterlanadi.

**Pauli prinsipi.** Shveysariyalik fizik V. Pauli atom fizikasi uchun juda muhim bo'lgan quyidagi qoidani aniqladi: bitta atomda to'rtta kvant soni ( $n, \ell, m, S$ ) bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin emas.

Bu qoida Pauli prinsipi deyiladi. Bu prinsipga muvofiq, bosh kvant soni  $n$  bo'lgan holatda hammasi bo'lib  $2n^2$  ta elektron bo'lishi mumkin.

Odatda, bosh kvant soni  $n$  bir xil bo'lgan elektronlar bitta elektron qobiqni tashkil qiladi va quyidagicha belgilanadi:

- $n = 1$ ,  $K$  qobiq,  
 $n = 2$ ,  $L$  qobiq,  
 $n = 3$ ,  $M$  qobiq,  
 $n = 4$ ,  $N$  qobiq.

**Mendeleyev elementlar davriy sistemasining talqini.** Elektronlarning atomdagi qobiqlarda tartib bilan joylashuvining Mendeleyev elementlar davriy sistemasiga aloqasi yo'qimikan, degan savol tug'iladi. Chunki davriy sistemada ham elementlar elektron qobiqlariga qarab turli davrlarga bo'lingan. Shunday aloqa mavjudligini aniqlash maqsadida quyidagi jadvalni tuzamiz.

4-jadval

Bosh kvant soni ( $n$ )	1	2	3	4
Qobiqning belgisi	$K$	$L$	$M$	$N$
Qobiqda bo'lishi mumkin bo'lgan elektronlar soni, $2n^2$	2	8	18	32
Jami bo'lishi mumkin bo'lgan elektronlar soni	2	$2 + 8 = 10$	$2 + 8 + 18 = 28$	$2 + 8 + 18 + 32 = 60$
Elementlar	1. H 2. He	3. Li 4. Be 5. B 6. C 7. N 8. O 9. F 10. Ne	11. Na 12. Mg 13. Al 14. Si 15. P 16. S 17. Cl 18. Ar	19. K 20. Ca 21. Se 22. Ti 23. V 24. Cr 25. Mg ...

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, haqiqatan ham, elektron qobiqlari davriy sistemadagi davrlar bilan ayni bir narsa ekan. Demak, elementlarning davriyligi ular atomining tuzilishiga bog'liq.



### Sinov savollari

1. Kvant mexanikasining yaratilishiga asosiy turtki nima bo'lgan?
2. Bu nazariyaning asosiy qismini kimlar yaratgan?
3. Kvant mexanikasida nima mujassamlashgan?
4. Kvant mexanikasining qo'llanilish chegarasi qanday aniqlanadi?
5. Qachon kvant mexanikasi, qachon klassik fizika

qonunlaridan foydalaniladi? 6. Zarraning holatini bilish deganda nimani tushunasiz? 7. Kvant mexanikasida zarraning holatini bilish mumkinmi? 8. Nima uchun kvant mexanikasida zarraning koordinatasi va impulsini bir paytning o'zida aniqlashning imkoni yo'q? 9. Geizenbergning koordinata va impuls uchun noaniqlik munosabatlarini yozing. 10. Geizenbergning koordinata va impuls uchun noaniqlik munosabatlarini tushuntiring. 11. Geizenbergning energiya va vaqt uchun noaniqlik munosabatlarini tushuntiring. 12. Noaniqlik munosabatlariga muvofiq, kvant mexanikasining qo'llanilish chegarasi qanday aniqlanadi? 13. Kvant mexanikasida «zarraning o'rni» tushunchasi ma'noga egami? 14. Zarraning biror joyda bo'lish ehtimoli qanday aniqlanadi? 15. Kvant mexanikasida «elektronning orbita bo'ylab harakati» tushunchasi ma'noga egami? 16. Atomning planetar modeli-chi? 17. «Elektron buluti» nima? 18. Elektronning qayerda bo'lish ehtimoli katta? 19. Elektron bulutining shakli, kattaligi va fazodagi o'rni qanday aniqlanadi? 20. Atomdagi elektronning o'rni qanday kvant sonlari bilan aniqlanadi? 21. Bosh kvant soni nima? 22. Orbital kvant soni-chi? 23. Magnit kvant soni-chi? 24. Spin kvant soni-chi? 25. Pauli prinsipini tushuntiring. 26. Bosh kvant soni  $n$  bo'lgan holatda nechta elektron bo'lishi mumkin? 27. Elektron qobiqlar qanday belgilanadi? 28. Pauli prinsipiga asosan Mendeleyev elementlar davriy sistemasini tushuntirish mumkinmi? 29. Elektron qobiqlar va davriy sistemadagi davrlar o'zaro bog'liqmi? 30. 4- jadvalni va Mendeleyev elementlar davriy sistemasini tahlil qiling.

### **30-§. Yorug'likning kvant generatorlari va ularning qo'llanilishi**

Mazmuni: lazer haqida tushuncha; atomning majburiy nurlanishi; yoqut lazeri; lazerning xossalari; lazerning qo'llanilishi.

**Lazer nima?** Lazer deb ataluvchi optik kvant generatorlarining paydo bo'lishi fizika fanining yangi sohasi – kvant elektronikasining ulkan yutug'idir. *Lazer deganda, juda aniq yo'naltirilgan kogerent yorug'lik nurining manbaya tushuniladi.* Lazer so'zining o'zi inglizcha «majburiy tebranish natijasida yorug'likning kuchaytirilishi» so'zlaridagi birinchi harflaridan olingan («Light amplification by stimulated emission of radiation»).

Birinchi kvant generatorlari rus fiziklari N. Basov, A. Proxorov va amerikalik fizik Ch. Tauns tomonidan yaratilgan. Bunday generatorlarning ish prinsipini tushunish uchun nurlanish jarayoni bilan batafsilroq tanishaylik.

**Atomning majburiy nurlanishi.** Oldingi mavzularda qayd etilganidek, atom asosiy holatda bo'lganida nurlanmaydi va unda cheksiz uzoq vaqt davomida turadi. Ammo atom boshqa ta'sirlar (elektr-



N. G. BASOV  
(1922–2001)



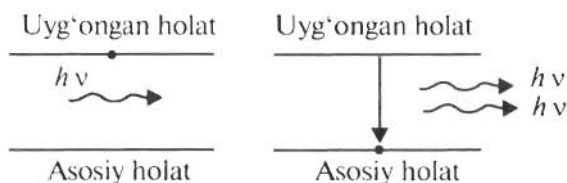
A. PROXOROV  
(1916- y. t.)



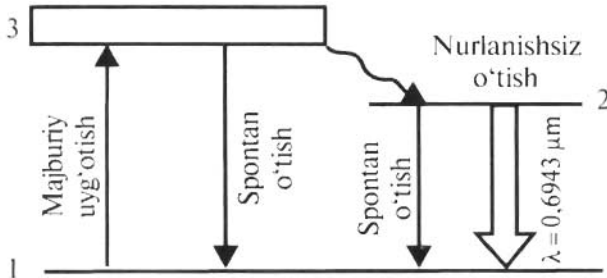
CH. TAUNS  
(1915- y. t.)

magnit maydon, boshqa zaryadlar) natijasida uygʻongan holatga oʻtishi mumkin. Odatda, atom uygʻongan holatda uzoq boʻlmay yana qaytib asosiy holatga oʻtadi va bunda energetik sathlarning farqiga teng energiyali foton chiqaradi. Bunday oʻtish oʻz-oʻzidan roʻy bergani uchun chiqariladigan nurlanish *spontan nurlanish* deyiladi va chiqarilgan nurlar kogerent boʻlmaydi. Ammo A. Eynshteynning taʼkidlashicha, bunday oʻtishlar nafaqat oʻz-oʻzidan, balki majburiy ham boʻlishi mumkin. Bunday majburiy oʻtish uygʻongan atom yonidan oʻtayotgan foton taʼsirida roʻy berishi mumkin (55- rasm).

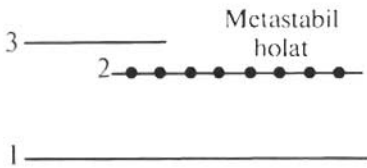
Natijada atom uygʻongan holatdan asosiy holatga oʻtishida chiqariladigan foton, bu oʻtishni vujudga keltiradigan foton bilan bir xil boʻladi. Boshqacha aytganda, har ikkala foton ham bir xil chastotaga, harakat yoʻnalishiga, fazaga va qutblanish yoʻnalishiga ega boʻladi. Rus fizigi V. Fabrikant majburiy nurlanish yordamida yorugʻlikni kuchaytirish usulini taklif qildi. Bu usulning mohiyatini tushunish uchun quyidagi misolni koʻraylik. Ayrim moddalarning atomlarida shunday uygʻongan holatlar mavjudki, atomlar bu holatlarda uzoq vaqt davomida boʻlishlari mumkin. Bunday holatlar *metastabil holatlar* deyiladi. Metastabil holatlar bilan yoqut kristali misolida batafsil tanishaylik.



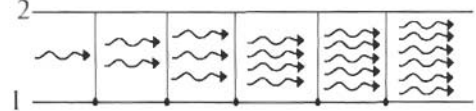
55- rasm.



56- rasm.



57- rasm.



58- rasm.

**Yoqut lazeri.** Yoqut kristali aluminiy oksid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan iborat bo'lib, Al ning ba'zi atomlari o'rnini xromning uch valentli  $\text{Cr}^{3+}$  ionlari egallagan bo'ladi. Kuchli yoritilish natijasida xrom atomlari 1 asosiy holatdan 3 uyg'ongan holatga majburiy ravishda o'tkaziladi (56- rasm).

Xrom atomining uyg'ongan holatda yashash davri juda kichik ( $10^{-7}$  s) bo'lganligi uchun u yoki spontan ravishda ( $o'z-o'zidan$ ) 1 asosiy holatga o'tishi, yoki nurlanishsiz 2 holatga o'tishi (metastabil holat) mumkin. Bunda energiyaning ortiqcha qismi yoqut kristalining panjarasiga beriladi. 2 holatdan 1 holatga o'tishning tanlov qoidalariga muvofiq man qilinganligi xrom atomlarining 2 holatda to'planishiga olib keladi. Agar majburiy uyg'otish juda katta bo'lsa, 2 holatdagi atomlarning konsentratsiyasi 1 holatdagidan juda katta bo'lib, 2 holatda elektronlarning juda zich joylashuvi ro'y beradi (57- rasm). Agar yoqutga xrom atomining metastabil holati ( $E_2$ ) va asosiy holati ( $E_1$ ) energiyalarining ayirmasiga teng,  $E_2 - E_1 = h\nu$  energiyali birorta foton tushsa, unda ionlarning 2 holatdan 1 holatga majburiy o'tishlari ro'y berib, energiyasi dastlabki fotonning energiyasiga teng bo'lgan fotonlar chiqariladi. Bu jarayon ko'chkisimon rivojlanib, fotonlarning soni keskin ortib boradi (58- rasm). Bu fotonlarning nafaqat

chastotalari, balki fazalari, tarqalish yo'nalishlari va qutblanish tekisliklari ham bir xil bo'ladi. Natijada yoqutdan kuchaygan kogerent yorug'lik dastasi, ya'ni *lazer nuri* chiqadi.

59- rasmda yoqut lazerini hosil qilish sxemasi ko'rsatilgan. Yoqut tayoqcha 1 xrom atomlarining metastabil holatga o'tishini ta'minlovchi 2 gazli lampa bilan o'ralgan. Yoqutning temperaturasi zarur qiymatda saqlanishini ta'minlash maqsadida sovitish sistemasi 3 ulangan.

Boshqa lazerlarning hosil bo'lish mexanizmi ham shunga o'xshaydi. Biz shu qadar batafsil o'rgangan lazer nimasi bilan diqqatga sazovor, degan savol tug'iladi. Buni bilish uchun lazerning xossalari bilan tanishaylik.

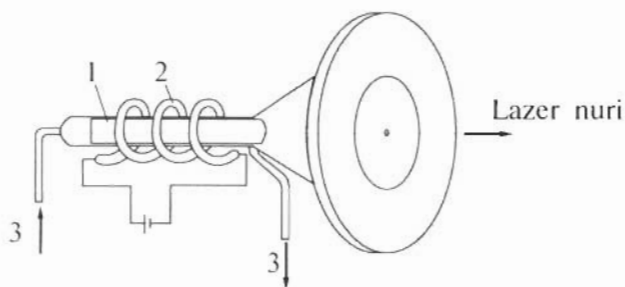
**Lazerning xossalari.** 1. *Yuqori darajada kogerent*, ya'ni fotonlarning fazalari bir xil.

2. *Qat'iy monoxromatik*. Dastaga kiruvchi fotonlar to'liq uzunliklarining farqi  $10^{-11}$  m dan oshmaydi, ya'ni  $\Delta\lambda < 10^{-11}$  m.

3. *Nurlanish quvvati juda katta*. Lazer nurida nurlanish quvvati  $10^{16}-10^{20}$  W/m<sup>2</sup> gacha bo'lishi mumkin. Bu juda katta qiymat hisoblanadi. Vaholanki, Quyoshning to'la nurlanish spektri bo'yicha nurlanish quvvati  $7 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup> ni tashkil qiladi.

4. *Nurning yoyilish burchagi juda kichik*. Masalan, Yerdan Oyga yo'naltirilgan lazer Oy sirtida 3 km diametrli joyningina yoritadi. Odatdagi proyektor nuri esa 40 000 km diametrli maydonni yoritgan bo'lardi.

Lazerning bu qadar ajoyib xossalarga egaligining sababi nimada? Gap shundaki, u kvant mexanikasi qonunlari asosida istalgan (elektr, issiqlik, yorug'lik, kimyoviy va h.k.) energiyani kogerent yorug'lik nuri energiyasiga aylantirib beradi. Bu ajoyib xossaga egaligi lazer nurining juda keng qo'llanilishiga sabab bo'lmoqda.



59- rasm.



**Lazerning qo'llanilishi.** Qulayligi va kam energiya sarflanishi lazerning juda qattiq materiallarni qayta ishlash va payvandlashda keng qo'llanilishiga imkon yaratdi. Masalan, oldin olmosdan kichkina teshikcha ochish uchun 24 soat vaqt sarflangan bo'lsa, hozir bu ish lazer yordamida 6–8 minutda amalga oshiriladi. Soatsozlik sanoati uchun zarur bo'lgan yoqut va olmos toshlarda ochiladigan diametri 1–10  $\mu\text{m}$ , chuqurligi 10–100  $\mu\text{m}$  bo'lgan nozik teshikchalar lazer yordamida hosil qilinadi.

Lazer juda keng qo'llaniladigan sohalardan yana biri — materiallarni kesish va payvandlashdir. Bu ishlar nafaqat mikroelektronika, poligrafiya kabi nozik sohalarda, balki mashinasozlik, avtomobilsozlik, qurilish materiallarini ishlab chiqarishda ham bajariladi.

Lazer nurlari buyumlardagi nuqsonlarni aniqlash, kimyoviy reaksiyalar mexanizmini o'rganish va ularni tezlashtirish, o'ta toza materiallarni hosil qilishda ham juda yaxshi yordamchidir. Hozir lazer yordamida izotoplar, jumladan, uran izotoplari ajratib olinmoqda.

Lazer o'lchov ishlarida ham juda keng qo'llaniladi. Ular yordamida uzoqdan turib ko'chishlarni, muhitning sindirish ko'rsatkichini, bosimni, temperaturani o'lchash mumkin. Lazer nuri Yerdan Oygacha bo'lgan masofani aniqlashtirishga, Oy xaritasiga aniqliklar kiritishga yordam berdi.

Lazer tibbiyotda ham juda keng qo'llanilmoqda. U qon chiqarmaydigan pichoq vazifasini bajarib, kishilarning umrini uzaytirishga, ko'rish qobiliyatini tiklashga xizmat qilmoqda.

Lazer qo'llanadigan istiqbolli sohalardan yana biri — yuqori temperaturali plazma hosil qilishdir. Bu soha termoyadro sintezini lazer bilan boshqarish yo'lida yaxshigina imkoniyatlar ochgani sababli olimlarning diqqat markazida turibdi.

Lazerli disklar tushunchasi kompyuterda ishlovchilar va musiqasevarlar kundalik hayotining ajralmas qismiga aylanib qoldi.

Hozirgi paytda lazerning qo'llanilish sohasi shu qadar ko'pki, ularning hammasiga to'xtalib o'tishning imkoni ham yo'q. Ammo bizning izlanuvchan o'quvchimiz bu ishni mustaqil amalga oshiradi, degan umiddamiz.



### **Sinov savollari**

1. Lazer nima? 2. Lazer so'zi qayerdan olingan? 3. Lazerning mualliflari kim? 4. Spontan nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi? 5. Spontan nurlanish kogerent bo'ladimi? 6. Majburiy o'tish qanday hosil qilinadi?

7. 55- rasmdagi holatlarni tahlil qiling. 8. Majburiy o'tishda chiqarilgan foton dastlabki fotonga o'xshaydimi? 9. V.Fabrikant nimani taklif qilgan? 10. Metastabil holat deb qanday holatga aytiladi? 10. Yoqut qanday tuzilishga ega? 12. Xrom atomlari qanday qilib uyg'ongan holatga o'tadi? 13. Uyg'ongan holatdagi xrom atomi qanday holatlarga o'tishi mumkin? 14. Xrom atomi 2 holatga o'tganda ortiqcha energiya nimaga sarflanadi? 15. Nima uchun xrom atomlari 2 holatda to'planadi? 16. 57- rasmdagi holatni tahlil qiling. 17. Ionlarning 2 holatdan 1 holatga majburiy o'tishlariga nima sabab bo'ladi? 18. 58- rasmdagi holatni tushunturib bering. 19. Fotonlarning nimalari bir xil? 20. Lazer nuri qanday hosil bo'ladi? 21. 56- rasmni tushuntiring. 22. 59- rasmdagi sxemani tushuntiring. 23. Lazerning qanday xossalari bilasiz? 24. Lazerning kogerentligi nima? 25. Monoxromatikligi-chi? 26. Nurlanish quvvati nima? 27. Yoyilish burchagi nima? 28. Lazerning sanoatda qo'llanilishiga misollar keltiring. 29. Lazerning o'lchov ishlarida qo'llanilishiga misollar keltiring. 30. Lazerning fanda qo'llanilishiga misollar keltiring. 31. Lazerning tibbiyotda qo'llanilishiga misollar keltiring.

### 31-§. Atom yadrosining tuzilishi. Izotoplar

**M a z m u n i :** atom yadrosi; atom yadrosining tuzilishi; yadroning belgilanishi; izotoplar; izobarlar; yadroning kattaligi.

**Atom yadrosi.** Rezerford o'z tajribalari natijasida (25-§ ga qarang) atomning musbat zaryadlangan yadrosi (o'zagi) bor degan xulosaga keladi. Atomning kattaligi  $10^{-10}$  m bo'lgan bir paytda yadroning kattaligi  $10^{-14}$ – $10^{-15}$  m ni tashkil qiladi. Boshqacha aytganda, yadro atomdan 10 000–100 000 marta kichikdir. Shu bilan birga, atom massasining qariyb 95 foizi yadroda mujassamlashgan. Agar biror jism massasining 95 foizi u egallab turgan hajmdan 100 000 marta kichik hajmda mujassamlashganini e'tiborga olsak, barcha moddalar, asosan, bo'shliqdan iborat ekanligiga hayratlanishdan boshqa ilojimiz qolmaydi. Endi yadroning o'zi qanday tuzilishga ega, degan masalani qaraylik.

**Atom yadrosining tuzilishi.** Rus fizigi D.I.Ivanenko va nemis fizigi V.Geyzenberg *atom yadrosi – proton va neytronlardan tashkil topgan*, degan g'oyani olg'a surganlar.

**Proton (p)** – vodorod atomining yadrosi, 1919- yilda Rezerford va uning xodimlari tomonidan kashf qilingan. Elektronning zaryadiga teng musbat zaryadga ega. Tinchlikdagi massasi  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  kg  $\approx 1836m_e$ , bu yerda  $m_e$  – elektronning massasi.

**Neytron (n)** – 1932- yilda ingliz fizigi J.Chedvik tomonidan kashf qilingan. Elektr neytral zarra. Tinchlikdagi massasi  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1839m_e$ .

Proton va neytronlarni birgalikda *nuklonlar* deyishadi (lotincha *nucleus – yadro* soʻzidan olingan). Atom yadrosidagi nuklonlarning umumiy soni *massa soni (A)* deyiladi.

**Yadroning belgilanishi.** Atom yadrosi  $Ze$  zaryad miqdori bilan xarakterlanadi. Bu yerda  $e$  – protonning zaryadi,  $Z$  – yadroning zaryad soni deyilib, u yadrodagi protonlar soniga teng va Mendeleev elementlar davriy sistemasida kimyoviy elementning tartib raqami bilan mos keladi.

Yadro neytral atom qanday belgilansa, xuddi shunday belgilanadi:  ${}^A_ZX$ , bu yerda  $X$  – kimyoviy elementning belgisi,  $Z$  – atomning tartib raqami (yadrodagi protonlar soni);  $A$  – massa soni (yadrodagi nuklonlar soni). Atom elektr neytral boʻlgani uchun ham yadrodagi protonlar soni atomdagi elektronlar soni bilan teng boʻladi.

**Izotoplar.** Tartib raqami ( $Z$ ) bir xil, lekin massa soni ( $A$ ) turlicha boʻlgan elementlar *izotoplar* deyiladi.

Izotoplar yadrosidagi neytronlar soni ( $N = A - Z$ ) bilan farq qiladi. Masalan, vodorodning ( $Z = 1$ ) uchta izotopi mavjud:  ${}^1_1\text{H}$  – protiy ( $Z = 1, N = 0$ ),  ${}^2_1\text{H}$  – deyeriy ( $Z = 1, N = 1$ ),  ${}^3_1\text{H}$  – tritiy ( $Z = 1, N = 2$ ). Qalayning oʻnta izotopi mavjud. Aksariyat hollarda izotoplar bir xil kimyoviy va qariyb bir xil fizikaviy xususiyatlarga ega boʻladi (bundan faqat vodorod izotoplarigina mustasno). Chunki bu xossalar, asosan, elektron qobiqqa bogʻliq boʻlib, izotoplar uchun bir xildir.

**Izobarlar.** Massa soni ( $A$ ) bir xil, lekin tartib raqami ( $Z$ ) turlicha boʻlgan elementlar *izobarlar* deyiladi. Izobarlar yadrosidagi protonlar soni ( $Z = A - N$ ) bilan farq qiladi. Izobar yadrolarga  ${}^{10}_4\text{Be}$ ,  ${}^{10}_5\text{B}$ ,  ${}^{10}_6\text{C}$  lar yaxshi misol boʻla oladi.

Hozirgi paytda tartib raqami ( $Z$ ), massa soni ( $A$ ) yoki har ikkalasi bilan ham farq qiluvchi 2000 dan ortiq yadro maʼlum.

**Yadroning kattaligi.** Yadroning radiusi tajriba natijasi asosida yozilgan

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (31.1)$$

formula bilan aniqlanadi. Bu yerda  $R_0 = (1,2-1,7) \cdot 10^{-15} \text{ m}$ . Shuni

ta'kidlash zarurki, atom yadrosining radiusi deganda, yadro kuchlarining ta'siri namoyon bo'ladigan sohaning chiziqli kattaligi tushuniladi. Yadroning hajmi unga kiruvchi nuklonlar soni  $A$  ga bog'liq bo'lsa-da, barcha yadrolarda nuklonlarning zichligi bir xil. Yadroning zichligi juda katta bo'lib,  $\rho = 2 \cdot 10^{11} \text{ kg/m}^3$  atrofida. Boshqacha aytganda, *1 m<sup>3</sup> yadro materialining massasi 200 million tonna bo'ladi.* Bu qadar katta massa qanday qilib bog'lanib turar ekan?



### Sinov savollari

1. Atom yadrosi tushunchasini kim kiritgan? 2. Nimaga asosan bunday tushuncha kiritilgan? 3. Yadro atomdan qancha kichik? 4. Atom massasining qancha qismi yadroda mujassamlashgan? 5. Materiyaning qancha qismini bo'shliq tashkil qiladi? 6. Yadroning proton–neytron modulini kimlar taklif qilgan? 7. Proton qanday zarra va u qanday xarakteristikalariga ega? 8. Neytron qanday zarra va u qanday xarakteristikalariga ega? 9. Nuklon qanday zarra? 10. Atom yadrosining massa soni nimani ko'rsatadi? 11. Yadroning zaryad soni-chi? 12. Yadro qanday belgilanadi? 13. Yadrodagi proton soni atomdagi elektronlar soniga tengmi? 14. Izotoplar deb qanday elementlarga aytiladi? 15. Izotoplar nimasi bilan farq qiladi? 16. Vodorodning nechta izotopi bor? 17. Izotoplarga misol keltiring. 18. Izotoplarning kimyoviy va fizikaviy xossalari bir xilmi? 19. Izotoplarning elektron qobiqlari farq qiladimi? 20. Izobarlar deb qanday elementlarga aytiladi? 21. Izobarlar nimasi bilan farq qiladi? 22. Yadroning radiusi qanday aniqlanadi? 23. Yadroning radiusi deganda qanday kattalik tushuniladi? 24. Yadroning zichligi nimaga teng?

## 32-§. Yadroning bog'lanish energiyasi

**M a z m u n i :** yadroning bog'lanish energiyasi; massa defekti; solishtirma bog'lanish energiyasi; sehirli yadrolar; atom birligi energiyasi.

**Yadroning bog'lanish energiyasi.** Tekshirishlarning ko'rsatishicha, atom yadrosi ancha mustahkam tuzilishga ega. Demak, yadrodagi nuklonlar orasida ma'lum bog'lanish mavjud. *Yadroni alohida nuklonlarga ajratish uchun zarur bo'ladigan energiya yadroning bog'lanish energiyasi deyiladi.* Yadroning bog'lanish energiyasi uning barqarorligining o'lchovidir. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, yadroni parchalash uchun qancha energiya sarflansa, yadro hosil bo'lganda ham shuncha energiya ajralib chiqadi.

Xo'sh, bu energiya nimaga teng va u qanday vujudga keladi?

**Massa defekti.** Yadro massasini *mass-spektrometrlar* deb ataluvchi asbob yordamida katta aniqlikda o'lchash mumkin. Bunday o'lchashlarning ko'rsatishicha, yadroning massasi uning tarkibiga kiruvchi nuklonlar massalarining yig'indisidan kichik ekan. Boshqacha aytganda, nuklonlardan yadro hosil bo'lishida

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n] - m_{ya} \quad (32.1)$$

ga teng massa yetishmovchiligi vujudga keladi. Bu yerda  $m_p$ ,  $m_n$ ,  $m_{ya}$  – mos ravishda protonning, neytronning va yadroning massalari. Massaning yetishmagan bu qismi *massa defekti* deyiladi. Bizga ma'lumki (I qism, 35- § ga qarang), massaning har qanday  $\Delta m$  o'zgarishiga energiyaning  $\Delta mc^2$  o'zgarishi mos keladi. Aynan shu energiya yadroni bir butun tutib turadi va bog'lanish energiyasiga teng:

$$E_{\text{bog'}} = \Delta mc^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_{ya}]c^2. \quad (32.2)$$

Tabiiyki, turli yadrolar uchun bog'lanish energiyasi ham turlicha. Ularni taqqoslab, qaysilari barqaror, qaysilari esa beqarorroq ekanligini qanday aniqlashimiz mumkin? Buni aniqlashning yagona yo'li har bir nuklonga to'g'ri keluvchi bog'lanish energiyasini solishtirishdir.

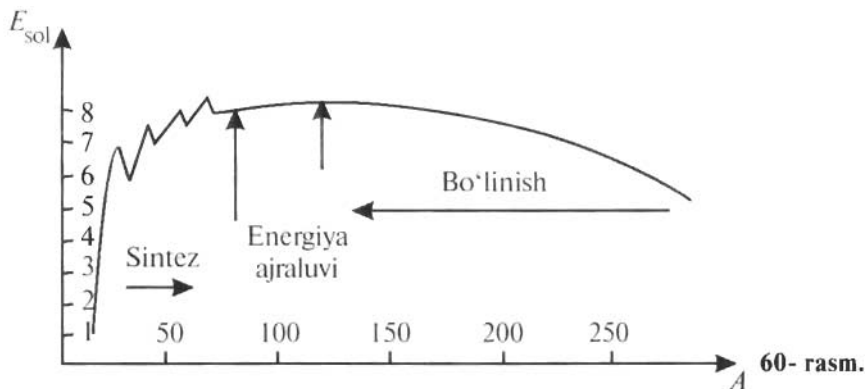
**Solishtirma bog'lanish energiyasi.** *Solishtirma bog'lanish energiyasi  $E_{\text{sol}}$  deb, har bir nuklonga to'g'ri keluvchi bog'lanish energiyasiga aytiladi, ya'ni*

$$E_{\text{sol}} = \frac{E_{\text{bog'}}}{A}, \quad (32.3)$$

bu yerda  $A$  – yadrodagi nuklonlar soni.

60- rasmda solishtirma bog'lanish energiyasi  $E_{\text{sol}}$  ning massa soni  $A$  ga bog'liqlik grafigi keltirilgan. Ko'rinib turibdiki,  $E_{\text{bog'}}$  ning turli yadrolar uchun qiymatlari ham turlichadir. Mendeleev elementlar davriy sistemasining o'rtasida joylashgan elementlarning yadrolari ancha barqaror. Bunday yadrolar uchun bog'lanish energiyasi 8,7 MeV ga yaqin. Yadrodagi nuklonlarning soni ortishi bilan bog'lanish energiyasi kamaya boradi. Davriy sistemaning oxiridagi elementlar (masalan, uran uchun) u 7,6 MeV atrofida bo'ladi. Bunga sabab – yadrodagi protonlarning soni ortishi bilan ular orasidagi itarishish kuchining ortishidir.

Elektronning atomga bog'lanish energiyasi 10 eV atrofida bo'ladi. Demak, nuklonning yadroga bog'lanish energiyasi, elek-



tronning atomga bog'lanish energiyasidan million marta katta ekan.

Xuddi shuningdek, yengil yadrolar uchun ham solishtirma bog'lanish energiyasi ancha kichik. Deyteriy uchun u bor-yo'g'i 1,1 MeV ni tashkil qiladi.

Shuning uchun ham yadro energiyasini ajratib olishning ikki xil usuli va demak, yadro energetikasining ham ikki xil yo'nalishi mavjud. Bulardan birinchisi, yengil yadrolarni sintez qilish bo'lsa, ikkinchisi, og'ir yadrolarning parchalanishidir. Biz kelgusida bu yo'nalishlarga batafsil to'xtalamiz.

**Sehrli yadrolar.** Tajribalarning ko'rsatishicha, tarkibidagi protonlari yoki neytronlari 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 sonlarga teng bo'lgan yadrolar eng barqaror yadrolar bo'ladi. Shuning uchun ham bunday yadrolar *sehrli yadrolar* deyiladi. Ikki karra sehrli yadrolar, ya'ni ham protonlarning, ham neytronlarining soni sehrli bo'lgan yadrolar yanada barqarordir. Bunday yadrolarning o'zi beshtagina bo'lib, ular quyidagilar:  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{258}_{82}\text{Pb}$ .

**Atom energiyasi birligi.** Yadro fizikasida atom energiyasi birligi (a.e.b) tushunchasidan foydalaniladi. Bir atom energiyasi birligi deb, bir atom massa birligiga to'g'ri keluvchi energiyaga aytiladi:

$$1 \text{ a.e.b.} = 1 \text{ c}^2 \cdot 1 \text{ a.m.b.} = 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \\ = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 931,1 \text{ MeV.}$$

1 atom massa birligi (a.m.b.) esa uglerod  ${}^{12}\text{C}$  nuklidi massasi-ning 1/12 qismiga teng:  $1 \text{ a.m.b.} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .



## Sinov savollari

1. Yadroning bog'lanish energiyasi deb qanday energiyaga aytiladi? 2. U nimaning o'lchovi va siz uni qanday tushunasiz? 3. Yadroni parchalash uchun qancha energiya sarflanadi? 4. Yadroning massasi undagi nuklonlar massalarining yig'indisiga tengmi? 5. Massa defekti nima? 6. Bog'lanish energiyasi nimaga teng? 7. Bog'lanish energiyasi hamma yadrolar uchun bir xilmi? 8. Nima uchun solishtirma bog'lanish energiyasi tushunchasi kiritiladi? 9. Solishtirma bog'lanish energiyasi nimaga teng? 10. 61- rasmdagi bog'lanishni tushuntiring. 11. Qanday yadrolar uchun solishtirma bog'lanish energiyasining qiymati eng katta? 12. Qanday yadrolar uchun u kichik? 13. Yadro energetikasining nechta yo'nalishi mavjud? 14. Elektronning atomga bog'lanish energiyasi kattami yoki nuklonning yadroga bog'lanish energiyasimi? 15. Qanday yadrolarga sehrli yadrolar deyiladi? 16. Ikki karra sehrli yadrolar deb-chi?

## 33-§. Yadro kuchlari. Yadro modellari haqida tushuncha

Mazmuni: yadro kuchlari; yadro kuchlarining xossalari; yadroning tomchi modeli; yadroning qobiq modeli.

**Yadro kuchlari.** Oldingi mavzuda nuklonlarni bir butun yadro sifatida tutib turuvchi bog'lanish energiyasi haqida gaplashdik. Ammo ularni yadroda tutib turuvchi kuch haqida hech narsa demadik. Bu kuch qanday kuch bo'lishi mumkin? Agar uni nuklonlar orasidagi o'zaro gravitatsion tortishish kuchi desak, bu aqlga sig'maydi. Chunki tortishish kuchi juda kichik. Masalan, ikkita proton orasida o'zaro tortishish kuchi, ular orasidagi kulon ta'sir kuchidan ham  $10^{36}$  marta kichik. Bu kuch kulon kuchi ham bo'lishi mumkin emas. Chunki yadrodagi protonlar orasida tortishish emas, balki itarishish kuchlari mavjud bo'lishi kerak. Proton va elektrneytral neytron hamda neytron-neutron orasida umuman kulon ta'sir kuchi bo'lishi mumkin emas. Bundan tashqari, elektr xarakteriga ega atomdagi elektronning energiyasi eV lar tartibida bo'lsa, yadrodagi nuklonlarning energiyasi undan million marta kattaligini oldingi mavzuda qayd etdik. Bularning hammasi, yadroda bizga noma'lum bo'lgan boshqa kuch mavjud, degan xulosaga kelishimizga sabab bo'ldi.

*Yadroni kulon kuchi ta'sirida parchalanib ketishdan saqlab turadigan bunday tortishish kuchlari **yadro kuchlari** deyiladi.*

Nuklonlar orasidagi bunday ta'sir kuchlari kuchli ta'sir deyiladi va ular quyidagi xossalarga ega.

**Yadro kuchlarining xossalari.** 1. *Yadro kuchlari – tortishish kuchlari.*

2. *Yadro kuchlari – qisqa masofada ta'sir etuvchi kuchlardir.* Ularning ta'sir masofasi  $10^{-15}$  m atrofida bo'ladi. Yadro kuchlarining ta'sir masofasi *yadro kuchlarining ta'sir radiusi* deyiladi.

3. *Yadro kuchlari elektr zaryadiga bog'liq emas.* Proton va neytron, ikkita proton va ikkita neytron orasidagi yadro kuchlari bir xil.

4. *Yadro kuchlari tortishish va kulon kuchlari kabi markaziy xarakterga ega emas.*

5. *Yadro kuchlari to'yinish xarakteriga ega.*

Har bir nuklon yadrodagi barcha nuklonlar bilan emas, balki o'z atrofida joylashgan chekli nuklonlar bilangina o'zaro ta'sirlashadi. Shuning uchun ham bog'lanish energiyasining massa soni  $A$  ga bog'liqligi chiziqli xarakterga ega.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, hozirgacha yadro kuchlari oxirigacha o'rganilmagan. Shu bilan birga, yadroda sof «proton» va sof «neytron» yo'q, ularning o'rnida ikkita – musbat va manfiy zaryadlangan yadro moddasi mavjud, deb hisoblanadi. Yapon fizigi X.Yukavaning g'oyasiga ko'ra, ular bir-birlari bilan uzluksiz ravishda  $\pi$ - mezon deb ataluvchi zarralar almashinib turishadi.

Shunday bo'lsa-da, yadroni qandayligini tasavvur qilishga intilgan fiziklar uning turli modellarini yaratishgan. Bu modellarining har biri yadroning u yoki bu xususiyatlarinigina tushuntirib bera olishini e'tirof etsak-da, ularning ikkitasi haqida ma'lumot berib o'tishni lozim topdik.

**Yadroning tomchi modeli.** Bu model 1936- yilda N.Bor va rus fizigi Y.Frenkel (1894–1952) tomonidan tavsiya etilgan. Unda nuklonning o'zini yadroda tutishini molekulaning tomchida tutishiga o'xshatilgan. Har ikkala holda ham hajm tarkibiga kiruvchi zarralarning soniga proporsional.

Yadroning tomchi modeli yadrodagi nuklonlarning bog'lanish energiyasi uchun tajribaviy formulani topishga imkon berdi. Uning yordamida yadro reaksiyalarining ro'y berish mexanizmi, jumladan, yadroning bo'linishi tushuntirib berildi. Ammo bu model doirasida yadro barqarorligining ortishi, jumladan, sehrli yadrolarining mavjudligini tushuntirishning imkoni bo'lmadi.

**Yadroning qobiq modeli.** Bu model 1949–1950- yillarda amerikalik fizik M.Geppert-Mayer va nemis fizigi X.Iyensen tomonidan taklif qilingan. Ushbu modelga ko'ra, nuklon yadroda



ma'lum qobiqlarda Pauli prinsi piga muvofiq joylashadi. Yadroning barqarorligi shu qobiqlarning to'lishiga bog'liq bo'lib, qobiqlari to'la yadro eng barqaror yadro hisoblanadi. Shu asosda sehrli yadrolarning barqarorligi tushuntirib beriladi.

Qobiq modeli yordamida yadroning spini, magnit momenti, yadroning barqarorligi va xossalari davriy o'zgarishi tushuntirib beriladi. U, ayniqsa, yengil va o'rta yadrolarni tushuntirishda qo'l keldi. Shu bilan birga, bu model yadroning g'alayonlangan holati va juda ko'p boshqa tajriba natijalarini tushuntirib berishga o'zlasiz qildi. Natijada yadroning umumlashgan modeli va boshqa modellar vujudga keldi.



### Sinov savollari

1. Nima uchun gravitatsion tortishish kuchlari yadro kuchlari bo'lolmaydi?
2. Nima uchun kulon kuchlari yadro kuchlari bo'lolmaydi?
3. Yadro kuchlari deb qanday kuchlarga aytiladi?
4. Yadro kuchlari tortishish kuchlarimi yoki itarishish kuchlarimi?
5. Yadro kuchlari qancha masofagacha ta'sir qiladi?
6. Yadro kuchlarining ta'sir radiusi deb nimaga aytiladi?
7. Yadro kuchlari elektr zaryadiga bog'liqmi?
8. Yadro kuchlari markaziy xarakterga egami?
9. Yadro kuchlari to'yinish xarakteriga ega, deganda nima tushuniladi?
10. Hozirgi paytda yadro kuchlarining tabiati to'la o'rganilganmi?
11. Yukavaning g'oyasi nimadan iborat?
12. Yadroning tomchi modelini kimlar taklif qilgan?
13. Bu model nimaga asoslanib kiritilgan?
14. Tomchi modeli nimalarni tushuntirib berdi va nimalarni tushuntirib bera olmadi?
15. Yadroning qobiq modelini kimlar kiritdi?
16. Bu modelga muvofiq yadro qanday tasavvur qilinadi?
17. Qobiq modeli nimalarni tushuntirib berdi va nimalarni tushuntirib bera olmadi?
18. Yadroning yana qanday modellarini bilasiz?

## 34-§. Tabiiy radioaktivlik. Radioaktiv yemirilish qonuni

Mazmuni: radioaktivlikning kashf qilinishi; radioaktiv nurlar; tabiiy radioaktivlik; radioaktiv yemirilish qonuni; yarim yemirilish davri; o'rtacha yashash vaqti; aktivlik; radioaktiv elementlar oilasi.

**Radioaktivlikning kashf qilinishi.** Fransuz fizigi A. Bekkerel 1896- yilda uran tuzlarida luminessensiya hodisasini o'rganayotib, g'aroyib hodisaga duch keldi. Uran tuzini fotoplastinka ustida qoldirgan Bekkerel plastinkani ochganida plastinkaga tuzning surati

o'tib qolganini ko'rdi. Shunday tajribani har xil uran tuzlari bilan bir necha bor takrorlagan Bekkerel, bunday tuzlar qog'ozdan, yupqa metallardan oson o'tuvchi, havoni ionlashtiruvchi, luminessensiya hodisasini vujudga keltiruvchi noma'lum nur chiqaradi, degan xulosaga keldi.



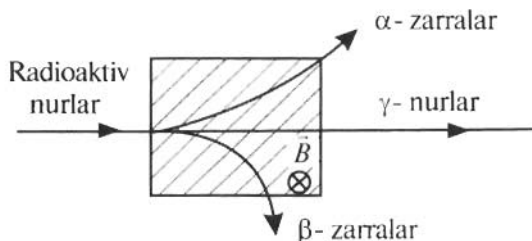
A. A. BEKKEREL  
(1852–1908)

Ushbu nurlar *radioaktiv nurlar* (lotincha *radius* – nur so'zidan olingan), radioaktiv nurlarni chiqarish esa *radioaktivlik* deb nomlandi. Qiziq, radioaktiv nurlar qanday nurlar ekan, degan savol tug'iladi.

**Radioaktiv nurlar.** Rezerford tajribalar yordamida radioaktiv nurlar bir jinsli emas, balki bir necha nurlardan iborat ekanligini aniqladi. Rasm tekisligiga perpendikular yo'nalgan magnit maydondan o'tkazilgan nur (61- rasm) uchta:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ - nurlarga ajralib ketdi.

Ularning birinchisi – geliy yadrosining oqimi, ikkinchisi – elektronlar oqimi, uchinchi esa  $\gamma$ - kvantlar (fotonlar) oqimidir. Kelgusi mavzuda bu nurlarga batafsil to'xtalamiz.

**Tabiiy radioaktivlik.** Uran radioaktiv nur chiqaradigan yagona element emas. Radioaktivlikni har tomonlama chuqur o'rgangan er-xotin Mariya va Pyer Kyurilar uran rudasidan ikkita radioaktiv element – poloniy (Po) va radiy (Ra) larni ajratib olish sharafiga muvassar bo'ldilar. Tabiiy radioaktiv elementlar yerning istalgan joyida mavjud. U havoda, suvda, tuproqda, jonli organizmning hujayralarida, oziq-ovqatlarda istalgancha topiladi. Tabiatda eng ko'p tarqalgan radioaktiv izotoplar  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ , uran va toriy izotoplari oilasidir.



61- rasm.

Shuni alohida ta'kidlash lozimki, radioaktivlik izotopning sof holda yoki biror birikma tarkibiga kirishiga, qanday agregat holatda bo'lishiga mutlaqo bog'liq emas. Shu bilan birga, na bosim, na temperatura, na elektr maydon va na magnit maydon tabiiy radioaktivlikka ta'sir ko'rsata olmaydi. Demak, radioaktivlik yadro ichidagi jarayonlargagina bog'liq, degan xulosaga kelishdan boshqa ilojimiz yo'q.

*Tabiiy radioaktivlik deb, nostabil izotoplar atomi yadrolarining turli zarralar chiqarish va energiya ajratish bilan stabil izotoplarga aylanishiga aytiladi.*

Shunday qilib, radioaktivlik atom yadrosi va unda bo'ladigan jarayonlar haqida ma'lumot beruvchi manbalardan biridir.

**Radioaktiv yemirilish qonuni.** Yadroning radioaktiv nur chiqarish bilan boshqa yadroga aylanishi *radioaktiv yemirilish* yoki soddagina *yemirilish* deyiladi. Radioaktiv yemirilgan yadro *ona yadro*, hosil bo'lgan yadro esa *bola yadro* deyiladi. Xo'sh, bu yemirilish biror qonunga bo'ysunadimi? Ko'plab tajribalarning ko'rsatishicha, qaralayotgan hajmdagi radioaktiv atomlar soni vaqt o'tishi bilan kamaya boradi. Ba'zi elementlarda bu kamayish minutlar, hatto sekundlar davomida ro'y bersa, ba'zilarida milliardlab yil davom etadi. Umuman olganda, yadroning yemirilishi tasodifiy hodisadir. Shuning uchun, u yoki bu yadroning berilgan vaqt oralig'ida yemirilishi statistika qonunlariga bo'ysunadi. Radioaktiv elementning asosiy xarakteristikalaridan bittasi har bir atomning bir sekund davomida yemirilish ehtimoli bilan aniqlanadigan kattalikdir. U  $\lambda$  harfi bilan belgilanadi va *radioaktiv yemirilish doimiysi* deyiladi.

Agar boshlang'ich moment  $t = 0$  da  $N_0$  ta radioaktiv atom mavjud bo'lsa,  $t$  momentda qolgan radioaktiv atomlarning soni

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (34.1)$$

qonunga muvofiq aniqlanadi. Bu yerda  $e \approx 2,72$  – natural logarifmning asosi. (34.1) ifoda *radioaktiv yemirilish qonuni* deyiladi.

**Yarim yemirilish davri.** Radioaktiv yemirilish intensivligini xarakterlovchi kattaliklardan biri yarim yemirilish davridir. *Yarim*

*yemirilish davri*  $\left( \frac{T_1}{2} \right)$  deb, boshlang'ich yadrolarning soni o'rtacha ikki marta kamayishi uchun zarur bo'ladigan vaqtga aytiladi.

Agar  $t = T_{\frac{1}{2}}$  bo'lsa, unda  $N = \frac{N_0}{2}$  va radioaktiv yemirilish qonuniga muvofiq:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}}$$

Ushbu formulani potensirlab quyidagini olamiz:

$$-\lambda T_{\frac{1}{2}} = \ln 2$$

yoki

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (34.2)$$

ni hosil qilamiz.

Turli izotoplar uchun yarim yemirilish davri juda keng intervalda o'zgaradi. U uran uchun 4,56 mlrd yilga teng bo'lsa, poloniy izotopi uchun bor-yo'g'i  $1,5 \cdot 10^{-4}$  s ni tashkil qiladi.

**Aktivlik.** Vaqt birligida parchalanadigan yadrolarning sonini bilish muhim ahamiyatga ega. Aynan shunday xarakteristikadan foydalanganda *nuklid* iborasi ishlatiladi. Nuklid deb, protonlari soni  $Z$  va neytronlari soni  $N$  bilan farq qiladigan atom yadrolariga aytiladi. Radioaktiv manbadagi *nuklidning aktivligi* ( $A$ ) deb, *namunadagi shu yadroning 1 s dagi parchalanishlar soniga aytiladi:*

$$A = \lambda N. \quad (34.3)$$

Aktivlikning SI dagi birligi — *Bekkerel (Bq): nuklidning 1 Bq aktivligi deb, 1 s da 1 ta parchalanish ro'y beradigan aktivlikka aytiladi.*  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ parch./1 s} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Hozirgacha yadro fizikasida sistemaga kirmaydigan nuklid aktivligining birligi — kyuri (Cu) qo'llaniladi:  $1 \text{ Cu} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

**Radioaktiv elementlar oilasi.** Tartib raqami 83 dan katta bo'lgan elementlar izotoplarining barchasi radioaktivdir. Tabiiy radioaktiv elementlar, odatda, to'rt qatorda joylashtiriladi. Dastlabki elementdan boshqa barchasi oldingisining radioaktiv yemirilishi natijasida hosil bo'ladi.

${}_{92}^{238}\text{U}$  uran oilasi qo'rg'oshinning stabil izotopi  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  bilan tugaydi. Toriy  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  ning oilasi esa qo'rg'oshinning boshqa stabil izotopi  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$  bilan, aktiniy  ${}_{89}^{235}\text{Ac}$  ning oilasi qo'rg'oshinning stabil izotopi  ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  bilan, neptuniy  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  ning oilasi esa vismutning stabil izotopi  ${}_{83}^{209}\text{Bi}$  bilan tugaydi.



## Sinov savollari

1. Radioaktivlikni kim kashf qilgan? 2. Radioaktivlik qanday qilib kashf qilingan? 3. Radioaktiv soʻzi qanday maʼnoni anglatadi? 4. Qanday nurlar radioaktiv nurlar deyiladi? 5. Radioaktivlik deb nimaga aytiladi? 6. Radioaktiv nurlar qanday nurlardan tashkil topgan? 7. 62- rasmdagi manzarani tushuntirib bering. 8. Urandan boshqa ham radioaktiv elementlar mavjudmi? 9. Tabiatda radioaktiv elementlar qayerlarda uchraydi? 10. Havoda, suvda, tuproqda radioaktiv elementlar mavjudmi? 11. Jonli organizmlar hujayrasida-chi? 12. Oziq-ovqatlar tarkibida-chi? 13. Qanday izotoplar tabiatda eng koʻp tarqalgan? 14. Radioaktivlik izotoplarning qanday holatda boʻlishiga bogʻliqmi? 15. Ularning agregat holatiga-chi? 16. Ularning qanday bosim ostida yoki temperaturada ekanligiga-chi? 17. Elektr yoki magnit maydonda boʻlishiga-chi? 18. Radioaktivlik yadro ichidagi jarayonlarning natijasimi? 19. Tabiiy radioaktivlik deb nimaga aytiladi? 20. Radioaktivlik yadroda roʻy beradigan jarayonlar haqida maʼlumot bera oladimi? 21. Radioaktiv yemirilish deb nimaga aytiladi? 22. Yemirilgan yadro qanday yadro deyiladi? 23. Hosil boʻlgani-chi? 24. Yadroning yemirilishi qanday qonunlarga boʻysunadi? 25. Yadroning yemirilishi qancha vaqtgacha choʻzilishi mumkin? 26. Radioaktiv yemirilish doimiysi qanday kattalik? 27. Radioaktiv yemirilish qonunini taʼriflang. 28. Yarim yemirilish davri qanday aniqlanadi? 29. Yarim yemirilish davri turli izotoplar uchun nimaga teng? 30. Nuklid deb nimaga aytiladi? 31. Nuklidning aktivligi deb-chi? 32. Aktivlikning SI dagi va sistemadan tashqari birliklari. 33. Radioaktiv elementlar oilasi.

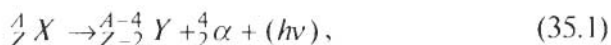
## 35-§. Alfa, beta va gamma-nurlanishlar

**Mazmuni:** alfa-nurlanish; beta-nurlanish; neytrino; gamma-nurlanish; fotoeffekt; kompton sochilishi; elektron-pozitron juftligining hosil boʻlishi.

**Alfa-nurlanish.** Atom yadrosidagi nuklonlar doimo harakatda va oʻzaro aylanishda boʻladi. Yadro ichida hosil boʻladigan eng barqaror mahsulot ikkita proton va ikkita neytrondan iborat boʻlgan mahsulotdir. Yadro ichidagi energiya taqsimotida aynan shu zarra yadroning asosiy energiyasini oʻziga olishi va maʼlum sharoitlarda  $\alpha$ -zarra sifatida uni tark etishi mumkin.

*Atom yadrosining  $\alpha$ -zarra chiqarish bilan boshqa yadroga aylanishi **alfa-nurlanish (yemirilish)** deyiladi.*

Agar  ${}^A_Z X$  ona yadro bo'lsa,  $\alpha$ -nurlanish natijasida bu yadroning boshqa yadroga aylanishi quyidagi sxema asosida ro'y beradi:



bu yerda  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$  — bola yadroning belgisi,  ${}^4_2\alpha$  — geliy ( ${}^4_2\text{He}$ ) atomining yadrosi ( $\alpha$ -zarra),  $h\nu$  — g'alayonlangan  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$  yadro chiqaradigan kvant.

(35.1) dan ko'rinib turibdiki,  $\alpha$ -nurlanish natijasida yadroning massa soni 4 ga, zaryadi esa 2 ta elementar musbat zaryadga kamayadi. Boshqacha aytganda,  $\alpha$ -nurlanish natijasida kimyoviy elementning Mendeleev elementlar davriy sistemasidagi o'rni ikki katak chapga siljiydi. Bu hol *siljish qoidasi* deyiladi. U elektr zaryadi va massa soni saqlanish qonunlarining natijasidir.

*Yadro parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan mahsulotlar zaryadlarining yig'indisi dastlabki yadro zaryadiga teng bo'ladi.*

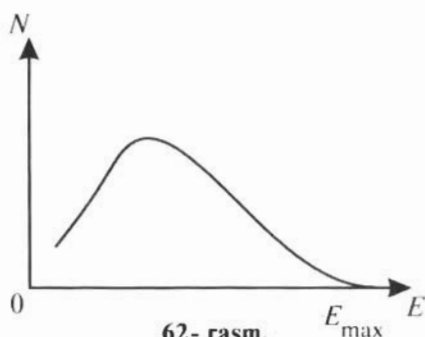
Xuddi shunday saqlanish qonuni massa soni uchun ham o'rinlidir.

**Beta-nurlanish.** Yadroda nuklonlarning bir-birlariga aylanishi bilan bog'liq bo'lgan boshqa o'zgarishlar ham ro'y beradi. Masalan, yadro elektronlar oqimini chiqarishi mumkin. Bu hol  $\beta$ -nurlanish (yemirilish) deb nomlanadi.

Siljish qoidasiga muvofiq,  $\beta$ -nurlanishda yadroning massa soni o'zgarmaydi:



Ushbu ifodadan ko'rinib turibdiki,  $\beta$ -nurlanish natijasida kimyoviy element Mendeleev davriy sistemasida bir katakcha o'ngga siljiydi. Bunda yadroning massa soni o'zgarmagani ( $A = \text{const}$ ) uchun undagi nuklonlar spinlarining yig'indisi ham o'zgarmay qolishi kerak. Lekin yadrodan o'tilib chiqayotgan elektron  $+\frac{1}{2}$  yoki  $-\frac{1}{2}$  spinga ega bo'ladi. Unda yadroning spini nega o'zgarmay qoladi, degan savol tug'iladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, mazkur element yadrosidan uchib chiqayotgan elektron har xil, jumladan,  $E_{\text{max}}$  gacha energiyaga ega bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, uchib chiqayotgan elektronning energiyasi, doimo yadroning  $\beta$ -yemirilishgacha va  $\beta$ -yemirilishdan keyingi energiyalarining farqidan kichik bo'ladi. Boshqacha aytganda,  $\beta$ -yemirilishda go'yoki



62- rasm.

yadro energiyasining bir qismi izsiz yo'qolgandek tuyuladi. Bu hol  $\beta$ - yemirilishdagi elektronlar energetik spektrining uzluksizligidan ham ko'rinib turibdi (62- rasm).

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra bunday hol bo'lishi mumkin emas!

Tajriba natijalarini chuqur tahlil qilgan V. Pauli, energiyaning shu yetishmagan qismini o'zi bilan olib ketadigan va yadro spinining o'zgarmay qolishiga sabab bo'ladigan yana bitta zarra bo'lishi kerak, degan xulosaga keldi.

**Neytrino.** Demak, Paulining fikricha,  $\beta$ - yemirilishda yadrodan elektron bilan birga, yana bitta *neytrino* ( $\nu$ ) deb ataluvchi zarra chiqadi. Neytrino so'zi italyanча *neytroncha*, *kichkina neytron* ma'nosini anglatadi. U zaryadga va tinchlikdagi massaga ega emas. Spini esa elektronning spiniga teng. Elektron va neytrino yadrodan uchib chiqqanda spinlari qarama-qarshi bo'lib, bir-birlarini kompensatsiyalaydi va shuning uchun yadroning spini o'zgarmay qoladi. Shuningdek,  $\beta$ - yemirilishdagi energiya uchun

$$E_{\beta} + E_{\nu} = E_{\max} \quad (35.3)$$

ifoda o'rinli, ya'ni energiyaning yetishmagan qismi neytrino energiyasidir.

Ammo  $\beta$ - yemirilishda yadrodan otilib chiqayotgan elektronlar qayerdan kelib qolgan, degan savol tug'iladi. Axir yadro protonlar va neytronlardan tashkil topgan-ku! Shuning uchun ham  $\beta$ - yemirilishni tushuntirib berish yadro fizikasining eng qiyin muammolaridan biri bo'lgan. Uni yechish italiyalik mashhur fizik E. Fermiga nasib etgan. Fermi gipotezasiga ko'ra, *yadrodagi nuklonlarning doimo bir-birlariga aylanib turishlari ro'y beradi va shuning natijasida elektron va antineytrino (neytrinoga qarama-qarshi zarra) vujudga keladi.*

**Gamma-nurlanish.** Fransuz fizigi P. Villar 1900- yilda qo'rg'oshinni  $\alpha$ - va  $\beta$ - zarralar bilan nurlantirilganda qandaydir qoldiq nurlanish bo'lishini aniqlagan. Bu nurlanish magnit maydon ta'sirida o'z yo'nalishidan og'magan. Ionlashtirish qobiliyati ancha kichik, singish qobiliyati esa rentgen nurlarinikidan ham ancha kuchli bo'lgan. Uni  $\gamma$ - *nurlanish* deb ataganlar.

$\gamma$ -nurlanish ham rentgen nurlari kabi elektromagnit to'liqlardir. Ular faqat hosil bo'lishlari va energiyalari bilan bir-birlaridan farq qiladilar. Agar rentgen nurlari orbital elektronlarning g'alayonlanishi va tez elektronlarning tormozlanishining natijasi bo'lsa,  $\gamma$ -nurlanish yadrolarning bir-biriga aylanishida hosil bo'ladi.

Umuman olganda, yadro radioaktiv yemirilish yoki sun'iy ravishda yadrolarning bir-biriga aylanishi natijasida g'alayonlangan holatga o'tadi. U g'alayonlangan holatdan asosiy holatga o'tganida  $\gamma$ -nurlanish chiqaradi. Uning energiyasi bir necha kiloelektron-volt dan, bir necha million elektron-voltgacha bo'lishi mumkin.  $\gamma$ -nurlanish moddadan o'tganda uning dastlabki intensivligi ancha kamayadi. Bunga sabab – fotoeffekt, kompton effekti va elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi.

**Fotoeffekt.** Biz fotoeffekt hodisasi bilan 19- § da batafsil tanishganmiz. Shuni ta'kidlash lozimki, u faqat 1 MeV dan kichik energiyali  $\gamma$ -kvantlar uchun kamayishning asosiy qismini tashkil qiladi.

**Kompton sochilishi.** Agar  $\gamma$ -kvantning energiyasi 1 MeV dan ancha katta bo'lsa, u moddaga tushib erkin yoki kuchsiz bog'langan elektronda sochilishi mumkin. Buning natijasida  $\gamma$ -kvant o'zining dastlabki yo'nalishidan og'adi va to'liq uzunligi o'zgarib, energiyasi kamayadi.  $\gamma$ -kvant sochilgan elektron, uning sochilishidan oldingi ( $h\nu$ ) va sochilishidan keyingi ( $h\nu'$ ) energiyalarining farqiga teng bo'lgan  $h\nu - h\nu'$  energiya oladi. Bu hodisa *Kompton sochilishi* deyiladi.

**Elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi.**  $\gamma$ -kvantning ancha katta energiyalarida elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi kuzatiladi. Bunda  $\gamma$ -kvant kulon maydonida to'la yutilib, elektron  ${}_{-1}^0e$  va  ${}_{+1}^0e$  pozitron juftligi vujudga keladi. Juftlik vujudga kelishida har bir zarraning hosil bo'lishi uchun 0,51 MeV ga teng (ularning tinchlikdagi energiyasi) energiya kerak bo'ladi. Demak, elektron-pozitron juftligi hosil bo'lishi uchun  $\gamma$ -kvantning energiyasi eng kami bilan  $E_{\gamma} = 2m_0c^2 = 1,02$  MeV bo'lishi kerak. Agar uning energiyasi 1,02 MeV dan katta bo'lsa, ortiqcha qismi hosil bo'lgan zarralarning kinetik energiyalariga aylanadi.



**E. FERMI**  
(1901–1954)





## Sinov savollari

1. Yadro ichida hosil bo'ladigan eng barqaror mahsulot nima? 2. Alfa-nurlanish deb nimaga aytiladi? 3.  $\alpha$ - nurlanishning sxemasini tushuntiring. 4. Ona yadro qanday belgilanadi? 5.  $\alpha$ - nurlanish natijasida yadroning massa soni qanchaga kamayadi? Zaryadi-chi? 6. Siljish qoidasi nima? 7.  $\alpha$ - nurlanish uchun zaryadning saqlanish qonunini tushuntiring. 8. Shu nurlanish uchun massa sonining saqlanish qonunini tushuntiring. 9.  $\beta$ - nurlanish deb nimaga aytiladi? 10.  $\beta$ - nurlanishda yadroning massa soni o'zgaradimi? 11.  $\beta$ - nurlanishning sxemasini tushuntiring. 12.  $\beta$ - nurlanish natijasida kimyoviy elementning o'rni o'zgaradimi? 13. Yadrodagi nuklonlar spinlarining yig'indisi o'zgaradimi? 14. Elektronning spinini hisobga olganda-chi? 15. Elektronning energiyasi yadroning nurlanishdan oldingi va keyingi energiyalarining farqiga tengmi? 16.  $\beta$ - nurlanish haqidagi tajribalarni tahlil qilgan Pauli qanday xulosaga kelgan? 17. Neytrino qanday zarracha? 18.  $\beta$ - nurlanishda energiyaning saqlanish qonuni qanday? 19. Yadroda elektronlar qanday paydo bo'ladi? 20. Fermi gipotezasini aytib bering. 21.  $\gamma$ - nurlanishni kim kashf qilgan? 22.  $\gamma$ - nurlar qanday nurlar? U rentgen nurlaridan nimasi bilan farq qiladi? 23.  $\gamma$ - nurlar qanday vujudga keladi? 24. Yadro qanday qilib g'alayonlangan holatga o'tadi? 25.  $\gamma$ - kvant moddadan o'tganda qanday hodisalar ro'y berishi mumkin? 26. Fotoeffekt nima? 27. Kompton effektini tushuntirib bering. 28. Kompton effektida elektron qanday energiya oladi? 29. Elektron-pozitron juftligi qanday hosil bo'ladi? 30. Juftlik hosil bo'lishi uchun  $\gamma$ - kvantning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak?

## 36-§. Yadro reaksiyalari. Radioaktiv aylanishlar

**M a z m u n i :** yadro reaksiyalari; yadro reaksiyalarining turlari; Bor nazariyasi; proton va neytronning kashf qilinishi; radioaktiv aylanishlar;  $\beta$ - radioaktivlik.

**Yadro reaksiyalari.** *Yadro reaksiyalari atom yadrolarining o'zaro bir-birlari bilan yoki yadro zarralari bilan ta'sirlashishlari natijasida boshqa yadrolarga aylanishidir.*

Yadro reaksiyalarida: elektr zaryadining, nuklonlar sonining, energiyaning, impulsning, impuls momentining saqlanish qonunlari bajariladi. Barcha reaksiyalar reaksiya jarayonida ajraladigan yoki yutiladigan energiya bilan xarakterlanadi. Energiya ajralishi bilan ro'y beradigan reaksiyalarga *ekzotermik*, energiya yutilishi bilan ro'y beradigan reaksiyalarga esa *endotermik reaksiyalar* deyiladi.

**Yadro reaksiyalarining turlari.** Yadro reaksiyalari quyidagi belgilariga qarab turlarga bo'linadi:

1. *Unda ishtirok etadigan zarralarning turlariga qarab*, neytronlar,  $\gamma$ -kvantlar, zaryadlangan zarralar (proton, deytion,  $\alpha$ -zarra va h.k.) ta'sirida ro'y beradigan reaksiyalar.

2. *Reaksiyada ishtirok etuvchi zarralarning energiyasiga qarab*, kichik energiyali ( $\approx 100$  eV); o'rta energiyali ( $\approx 1$  MeV) va yuqori energiyali ( $\approx 50$  MeV) reaksiyalar.

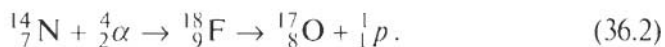
3. *Ishtirok etuvchi yadrolarning turiga qarab*, yengil yadrolarda ( $A < 50$ ); o'rta yadrolarda ( $50 < A < 100$ ); og'ir yadrolarda ( $A > 100$ ) o'tadigan reaksiyalar.

4. *Yadroviy aylanishlarning xarakteriga qarab*, neytron chiqaruvchi; zaryadlangan zarralar chiqaruvchi; zarra yutuvchi reaksiyalar.

**Bor nazariyasi.** Bor taklif qilgan nazariyaga muvofiq, yadro reaksiyasi ikki bosqichda ro'y beradi. Birinchi bosqichda nishon yadro  $A$  unga yo'naltirilgan zarra bilan qo'shilib ketadi va yangi g'alayonlangan holatdagi  $C$  yadroni hosil qiladi:  $A + a \rightarrow C$ . Ikkinchi bosqichda esa g'alayonlangan yadro  $C$  yadro reaksiyasi mahsulotlariga parchalanib ketadi:  $C \rightarrow b + B$ . Shunday qilib, yadro reaksiyasi quyidagi sxemaga muvofiq ro'y beradi:

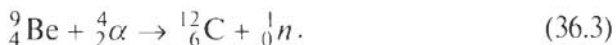


**Proton va neytronning kashf qilinishi.** Dastlabki reaksiyalardan biri azot yadrosining geliy yadrosi ( $\alpha$ -zarra) bilan birikishi bo'lgan. Bu reaksiya 1919-yili Rezerford tomonidan amalga oshirilgan. Azotni  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilish natijasida proton hosil bo'lgan.  $\alpha$ -zarrani yutgan azot yadrosi g'alayonlangan holatdagi fluor  ${}^{18}_9\text{F}$  ni hosil qilgan, u esa reaksiyaning oxirgi mahsulotlari  ${}^{17}_8\text{O}$  va  ${}^1_1\text{p}$  ga parchalangan:



Protonning paydo bo'lganligi oldin chaqnash (sintilatsiya) usuli bilan, keyin esa Vilson kamerasida qayd etilgan.

Rezerfordning yadroda elektrneytral zarra (neytron) mavjudligi to'g'risidagi bashorati 1932-yilda V. Bote va G. Benker tajribalaridan keyin haqiqatga aylandi. Tajribada berilliy yadrosi  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilindi:



Bunda hosil bo'lgan zarrani J.Chedvik *neytron* deb atadi.

Keyinchalik esa neytron radioaktiv va uning o'rtacha yashash vaqti  $\tau \approx 15,3$  minut ekanligi aniqlandi.

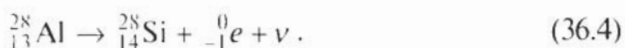
**Radioaktiv aylanishlar.** Yuqoridagi reaksiyalardan ko'rinib turibdiki, ular yordamida bir kimoviy elementlarni boshqasiga aylantirish va shu yo'l bilan sun'iy ravishda radioaktiv elementlarni hosil qilish mumkin. Bunday reaksiyalarga *radioaktiv aylanishlar* deyiladi.

Umuman olganda, sun'iy va tabiiy radioaktivlik o'rtasida hech qanday farq yo'q. Chunki izotopning xossalari uning hosil bo'lish usuliga mutlaqo bog'liq emas va sun'iy izotop tabiiy izotopdan hech qanday farq qilmaydi.

Shuni ta'kidlash lozimki, radioaktivlik atom yadrosining barqarorligi bilan bog'liq. Protonlari va neytronlari soni teng bo'lgan yadrolar *barqaror* hisoblanadi.

**$\beta^-$  radioaktivlik.** Agar yengil yadrolarda ( $A < 50$ ) sun'iy ravishda neytronlar ortiqchaligi hosil qilinsa, yadroning barqarorligi buziladi va  $\beta^-$  radioaktivlik vujudga keladi.

Masalan,  ${}_{13}^{28}\text{Al}$  barqaror izotopi deytroonlar bilan bombardimon qilinganda  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  izotopi hosil bo'ladi. U esa, o'z navbatida, quyidagi sxemaga asosan  $\beta^-$  - nur chiqaradi:



Agar yadroda sun'iy ravishda protonlarning ortiqchaligi vujudga keltirilsa, bu  $\beta^+$  - radioaktivlikka olib keladi. Bu reaksiya quyidagi sxemaga muvofiq amalga oshadi:



Siljish qoidasiga muvofiq hosil bo'lgan element Mendeleyev davriy sistemasida bir katak chapga siljiydi.



### Sinov savollari

1. Yadro reaksiyalari nima? 2. Yadro reaksiyalarida qanday saqlanish qonunlari bajariladi? 3. Qanday reaksiyalarga ekzotermik reaksiyalar deyiladi? Qanday reaksiyalarga endotermik reaksiyalar deyiladi? 4. Yadro reaksiyalari nechta turga bo'linadi? 5. Birinchi tur reaksiyalar qanday reaksiyalar? 6. Ikkinchi tur reaksiyalar-chi? 7. Uchinchi tur reaksiyalar-chi? 8. To'rtinchi tur reaksiyalar-chi? 9. Yadro reaksiyasi haqidagi Bor nazariyasini aytib bering. 10. Bor nazariyasining sxemasini tushuntiring.

11. Rezerford qanday reaksiyani amalga oshirgan? 12. Proton kashf qilingan reaksiyaning sxemasi qanday? 13. Neytronning kashf qilinish reaksiyasining sxemasi qanday? 14. Neytronning yarim yemirilish davri nimaga teng? 15. Radioaktiv aylanishlar deb nimaga aytiladi? 16. Sun'iy va tabiiy radioaktivlik o'rtasida qanday farq bor? 17. Qanday yadrolar barqaror hisoblanadi? 18.  $\beta$ -radioaktivlik qanday vujudga keladi? 19.  $\beta$ -radioaktivlik-chi? 20.  $\beta$ -radioaktivlikda elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi o'rnini o'zgaradimi?

### 37-§. Elementar zarralar. Zarralar va antizarralar

**Mazmuni:** elementar zarralar; elektron; foton; proton; pozitron; neytron; myuonlar;  $\pi$ - mezonlar;  $K$ - mezonlar; giperonlar; rezonanslar; antizarralar; modda va maydonning bir-biriga aylanishi; antimodda.

**Elementar zarralar.** «Elementar» so'zining lug'aviy ma'nosi «eng sodda» demakdir. Garchi bugungi kungacha ma'lum zarralarni elementar deb atash uncha to'g'ri bo'lmasa-da, dastlabki paytlarda kiritilgan bu iboradan hamon foydalaniladi. Umuman olganda, zarralar endigina kashf qilina boshlanganda materiyani eng kichik bo'lakchasi sifatida qabul qilingan va chindan ham elementar deb hisoblangan. Lekin ularning ba'zilarining (jumladan, nuklonlarning) murakkab tuzilishga ega ekanligi keyinroq ma'lum bo'lib qolgan. Hozirgi paytda 200 dan ortiq elementar zarralar mavjud. Ularning ko'pchiligi nostabil bo'lib, asta-sekin yengil zarralarga aylanadi.

**Elektron.** Birinchi kashf qilingan elementar zarra *elektron* hisoblanadi. Katod nurlarining xossalari o'rganayotgan J. Tomson, bu manfiy zaryadlangan zarra elektronlar oqimidan iborat ekanligini aniqladi. Bu voqea 1897- yil 29- aprelda ro'y bergan edi va shu sana birinchi elementar zarra kashf qilingan kun hisoblanadi.

**Foton.** 1900- yilda M. Plank yorug'likning *foton* deb ataluvchi zarralar oqimidan iborat ekanligini ko'rsatdi. Foton elektr zaryadiga ega emas, tinchlikdagi massasi nolga teng, ya'ni foton yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan harakat holatidagina mavjud bo'lishi mumkin.

**Proton.** 1919- yilda E. Rezerford tajribalarida, azotning  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilinishi natijasida, vodorod atomining yadrosi proton kashf qilingan. U zaryadining miqdori elektronning zaryadiga teng bo'lgan, musbat zaryadlangan zarradir. Massasi elektronning massasidan 1836 marta katta.



**P. DIRAK**  
(1902–1961)

**Pozitron.** 1928- yilda P. Dirak mavjudligini bashorat qilgan va K. Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida kashf qilingan. Uning tinchlikdagi massasi elektronning tinchlikdagi massasi bilan teng bo'lsa-da, zaryadi protonning zaryadiga teng. Pozitron elektronga qarama-qarshi, ya'ni antizarra.

**Neytron.** 1932- yilda D.J. Chadwick tomonidan kashf qilingan. Uning massasi protonning massasiga yaqin:  $m_n = 1838m_e$ , elektr zaryadi esa nolga teng.

**Neytrino.** 1931–1935- yilda  $\beta$ - nurlanish qonunlarini tushuntirib bergan V. Pauli tinchlikdagi massasi nolga teng bo'lgan yana bitta zarra – neytrino mavjudligini bashorat qilgan. Bu zarra tajribada 1956- yilda K. Kouen tomonidan yadro reaktorida kashf qilingan.

**Myuonlar.** 1938- yilda K. Anderson va S. Niddermeyer kosmik nurlar tarkibida massasi taxminan  $207m_e$  ga teng bo'lgan, yashash davri  $2,2 \cdot 10^{-6}$  s ni tashkil qilgan zarralarni kashf qildilar. Bu zarralar  $\mu$ - mezonlar yoki myuonlar ( $\mu^+$ ,  $\mu^-$ ) deb nomlandi.

**$\pi$ - mezonlar.** 1947- yilda S. Pauell tinchlikdagi massasi  $273m_e$  ga teng bo'lgan zarralarni kashf qildi. Bu zarralar  $\pi$ - mezonlar yoki pionlar ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ) deb nomlandi. Ularning erkin holatdagi yashash davri  $2,55 \cdot 10^{-8}$  s ga teng. 1950- yilda massasi  $264,2m_e$  ga teng bo'lgan elektrneytral  $\pi^0$ - mezon kashf qilindi.

**K-mezonlar.** 1950- yillardan boshlab kashf qilinadigan zarralarning soni keskin ortib bordi. Bular qatoriga K-mezonlar ham kiradi. Ularning zaryadi musbat, manfiy, nol bo'lishi mumkin. Massalari esa  $966-974m_e$  atrofida.

**Giperonlar.** Keyingi zarralar guruhi *giperonlar* deyiladi. Ularning massalari  $2180m_e$  dan  $3278m_e$  gacha oraliqda bo'ladi.

**Rezonanslar.** Keyingi paytlarda yashash davrlari juda kichik bo'lgan *rezonanslar* deb ataluvchi zarralar kashf qilindi. Ularni bevosita qayd qilishning iloji bo'lmay, vujudga kelganini parchalanishida hosil bo'lgan mahsulotlarga qarab aniqlanadi.

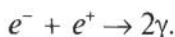
Umuman olganda, dastlabki paytlarda bor-yo'g'i bir nechtagina va materiyaning eng jazzi g'ishtchalari deb hisoblangan elementar zarralar keyinchalik, shu qadar xilma-xil va shu qadar murakkab bo'lib chiqdi.

**Antizarralar.** Birinchi antizarra – elektronning antizarrasi (qarama-qarshi zarrasi) – *pozitron* kashf qilingandan so‘ng, boshqa zarralarning ham antizarrasi yo‘qmikan, degan savol tug‘ildi. Anti-proton 1955- yilda mis nishonni protonlar bilan bombardimon qilish natijasida hosil qilindi. 1956- yilda esa antineytron kashf qilindi. *Hozirgi paytda har bir zarraning o‘z antizarrasi, ya‘ni massasi va spini teng, zaryadi esa qarama-qarshi bo‘lgan zarra mavjudligi aniqlangan.*

Elektron va protonlarning antizarralari zaryadining ishorasi bilan farq qilsa, neytron va antineytron xususiy magnit momentlarining ishorasi bilan farq qiladi. Zaryadsiz zarralar foton,  $\pi^0$ -mezonlarning o‘zlari va antizarralarining fizik xossalari bir xil.

Antizarralar to‘g‘risida ma‘lumotga ega bo‘lgandan keyin o‘quvchida zarra va antizarra uchrashib qolsa nima bo‘ladi, degan savol tug‘ilishi tabiiy. Ushbu savolga javobni keyingi satrlarda topasiz.

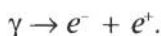
**Modda va maydonning bir-biriga aylanishi.** Elektronning o‘z antizarrasi – pozitron bilan uchrashuvi ularning elektromagnit nurlanish kvantiga aylanishiga va energiya ajralishiga olib keladi. Bu hodisa *annigilatsiya* deyiladi:



Nafaqat elektron va pozitron, balki barcha zarralar ham o‘z antizarralari bilan uchrashganda annigilatsiyaga kirishadi. Boshqacha aytganda, ular elektromagnit maydon kvantlariga (fotonlarga) aylanadi.

Ushbu holda annigilatsiya so‘zi uncha qulay tanlanmagan. Chunki u lotincha «yo‘qolish» degan ma‘noni anglatadi. Aslida esa zarra va antizarra uchrashganda hech qanday yo‘qolish ro‘y bermaydi. Barcha saqlanish qonunlari to‘la bajariladi. Materiya modda ko‘rinishidan elektromagnit maydon kvantlari ko‘rinishiga o‘tadi, xolos.

Agar moddaning elektromagnit maydon kvantlariga aylanish jarayoni ro‘y bersa, unda teskarisi, maydon kvantlarining moddaga aylanish jarayoni ham ro‘y bermaydimi, degan savol tug‘iladi. Albatta, ro‘y beradi. Umuman olganda, biz bu jarayon bilan tanishmiz (35- § ga qarang). Energiyasi elektron va pozitronning tinchlikdagi energiyalari yigindisidan katta bo‘lgan  $\gamma$ - kvant  $E_\gamma > 2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV}$  yadroning yonidan o‘tganida elektron-pozitron juftligiga aylanishi mumkin:



Elektron-pozitron juftligining paydo bo'lishi va ularning annigilatsiyasi materiyaning ikki shakli (modda va maydon) o'zaro bir-biriga aylanishlarini ko'rsatadi.

**Antimodda.** Agar barcha zarralarning antizarralari mavjud bo'lsa, unda antiyadro, aniqrog'i antizarralardan tashkil topgan antimodda yo'qmikan? Antiyaadrolarning mavjudligi qayd qilingan. Birinchi antiyadro – antideytron ( $\bar{p}$  va  $\bar{n}$  larning bog'langan holati) 1965- yilda amerikalik fiziklar tomonidan topilgan. Keyinchalik esa Serpuxovadagi tezlatgichda antigeliy (1970) va antitritiy (1973) yadrolari hosil qilindi.

Zarralar bilan to'qnashganda annigilatsiyaga uchrashi antizarralarning uzoq vaqt zarralar orasida bo'lishiga imkon bermaydi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, annigilatsiya jarayonida juda katta miqdorda energiya ajralib chiqadi. Solishtirish uchun aytish mumkinki, ajralib chiqadigan energiya yadro reaksiyalarida ajraladigan energiyadan millionlab marta kattadir. Shunday qilib, annigilatsiyada o'zaro ta'sirlashadigan zarralarning barcha energiyasi boshqa turdagi energiyaga aylanadi, ya'ni annigilatsiya mavjud energiya manbalari orasida eng katta energiya ajraladigan jarayondir. Agar olamning bizga yaqin biror joyida antimodda mavjud bo'lganda edi, kuchli annigilatsiya jarayoni ro'y berishi va ulkan portlash bo'lib, katta miqdorda energiya ajralishi kerak edi. Lekin astrofiziklar hanuzgacha bunday holni qayd etmaganlar. Shuning uchun ham antimoddani o'rganish hozircha, faqat modda tuzilishini o'rganish yo'nalishidagi fundamental izlanishlardan iborat bo'lib qolmoqda.

Aziz o'quvchilar, siz ham tez orada bu izlanishlarga o'zingizning munosib hissangizni qo'shasiz, degan umiddamiz.



### Sinov savollari

1. «Elementar» so'zi qanday ma'noni anglatadi? 2. Elementar zarralar haqiqatan ham elementarmi? 3. Hozir nechta zarra mavjudligi aniqlangan? 4. Qaysi kun elementar zarralar kashf qilingan kun hisoblanadi? 5. Elektron qachon, kim tomondan, qanday holatda kashf qilingan? 6. Foton haqida nimalarni bilasiz? 7. Proton qachon kashf qilingan va uning xarakteristikalarini qanday? 8. Pozitron qanday kashf qilingan va uning xarakteristikalarini qanday? 9. Neytronning xarakteristikalarini qanday? 10. Neytrino haqida nimalarni bilasiz? 11. Myuonlar qanday zarrachalar? 12.  $\pi$ - mezonlar-chi? 13.  $K$ - mezonlar-chi? 14. Giperonlar-chi? 15. Rezonanslar qanday zarralar? 16. Antizarralar qanday zarralar? 17. Ular zarralardan nimasi

bilan farq qiladi? 18. Nechta zarraning antizarrasi mavjud? 19. Zarra va antizarra uchrashganda qanday hodisa ro'y beradi? 20. Annigilatsiya deb qanday jarayonga aytiladi? 21. Annigilatsiya so'zi nima ma'noni anglatadi? 22. Elektron-pozitron annigilatsiyasida materiya yo'qoladimi? 23. Elektron-pozitron annigilatsiyasiga teskari jarayon ham ro'y beradimi? 24. Qachon elektron-pozitron juftligi paydo bo'ladi? 25. Modda va maydon bir-biriga aylanadimi? 26. Antiyadrolar mavjudmi? 27. Annigilatsiya natijasida qancha energiya ajraladi? 28. Koinotda antimodda mavjudligi qayd etilganmi? 29. Agar biror joyda antimodda mavjud bo'lsa, qanday hol ro'y berar edi?

### **38-§. Elementar zarralarning asosiy xossalari va ularni klassifikatsiyalash. Kvarklar**

**Mazmuni:** elementar zarralar ta'sirlashuvining turlari; kuchli ta'sirlashuv; elektromagnit ta'sirlashuv; kuchsiz ta'sirlashuv; gravitatsion ta'sirlashuv; «Buyuk birlashuv» nazariyasi; fotonlar; leptonlar; mezonlar; barionlar; kvarklar.

**Elementar zarralar ta'sirlashuvining turlari.** Zamonaviy tasavvurlarga ko'ra, tabiatda to'rt xil fundamental ta'sirlashuv mavjud. Bular kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion ta'sirlashuvlardir. Bu ta'sirlashuvlarning har birini amalga oshiruvchi zarralar va har biriga mos keluvchi o'z maydonlari mavjud.

**Kuchli yoki yadroviy ta'sirlashuv.** Bu ta'sirlashuv atom yadrosidagi nuklonlarning (proton va neytron) aloqasini ta'minlaydi va yadroni bir butun mahsulot sifatida saqlab turadi. Aynan uning sharofati bilan moddalarning barqarorligi ta'minlanadi. Kuchli ta'sirlashuv atom yadrosining radiusiga teng  $\sim 10^{-15}$  m masofada namoyon bo'la boshlaydi. U nuklonlar o'rtasida  $\pi$ - mezonlar almashinuvi bilan amalga oshiriladi.

**Elektromagnit ta'sirlashuv.** Bunday ta'sirlashuv barcha elektr zaryadiga ega zarralar orasida mavjud. U kuchli ta'sirdan 137 marta kuchsiz. Ta'sir radiusi cheklanmagan. Elektromagnit maydon energiyasini tashuvchi zarra foton vositasida amalga oshiriladi. U atomning mavjudligini ta'minlaydi. Eng batafsil o'rganilgan ta'sirlashuv hisoblanadi.

**Kuchsiz ta'sirlashuv.** Asosan elementar zarralarning parchalanishida namoyon bo'ladi.  $\beta$ - yemirilish,  $\mu$ - yemirilish kuchsiz ta'sirlashuvga yaxshi misol bo'ladi. U kuchli ta'sirdan  $10^{14}$  marta kuchsiz bo'lib, oraliq bozonlari ( $z$ ,  $w$ ) vositasida amalga oshiriladi.



**Gravitatsion ta'sirlashuv.** Bu barcha elementar zarralarga xos bo'lgan xususiyat, ya'ni ular bir-birlarini tortishadi. U kuchli ta'sirdan  $10^{39}$  marta kuchsiz. Shuning uchun ham mikrodujyo jarayonlaridagi ta'siri e'tiborga olinmaydi. Gravitatsion maydon orqali, graviton deb ataluvchi ekzotik zarralar vositasida amalga oshiriladi.

**«Buyuk birlashuv» nazariyasi.** Yuqorida ta'kidlanganidek, har bir ta'sirlashuvning o'z qonunlari mavjud. Ammo olimlarning fikricha, bu ta'sirlashuvlarning barchasi yagona qonunga bo'ysunishi va sodda qilib tushuntirilishi zarur. Boshqacha aytganda, har to'rtala ta'sirlashuvning ham shunday birlashuvi ro'y berishi kerakki, biz yuqorida ko'rgan ta'sirlashuvlar, bu yangi ta'sirlashuvning ma'lum sharoitlarda namoyon bo'ladigan xususiy holiga aylanmog'i lozim. Demak, yangi topilgan nazariya mavjud nazariyalarning umumlashmasi bo'lishi nazarda tutilmoqda. Bundan tashqari, yangi nazariya mavjud nazariyalarning hozirgacha noma'lum bo'lib kelgan ba'zi qirralarini aniqlashga imkon beradi, deb umid qilinmoqda. Ammo bu yo'ldagi ko'plab urinishlar hanuzgacha kutilgan natijani bermadi. Hozircha elektromagnit va kuchsiz ta'sirlashuvlarnigina yagona elektr kuchsiz ta'sirlashuvga birlashtirishning iloji topildi, xolos. Kun tartibida kuchli, elektromagnit va kuchsiz ta'sirlarni birlashtiruvchi «Buyuk birlashuv» nazariyasi turibdi. Har to'rtala ta'sirlashuvlarni ham o'z ichiga oluvchi «superbirlashuv» nazariyasi ham o'rganilmoqda.

Xuddi shuningdek, elementar zarralarni ham ma'lum qonuniyatlar asosida jadvalga joylashtirish, ya'ni klassifikatsiyalash fiziklarning azaliy orzusidir. Shu maqsadda ularni to'rt guruhga bo'lishga kelishilgan (5-jadvalga qarang).

**Fotonlar.** Bu guruh faqat bitta zarra — elektromagnit nurlanish kvanti fotondan iborat.

**Leptonlar.** Leptonlar («leptos» yunoncha — yengil ma'nosini anglatadi) elektromagnit va kuchsiz ta'sirlarda ishtirok etadi. Leptonlarga elektron, myuon va tay neytrinosi, elektron, myuon, tay-lepton va ularning antizarralari kiradi.

**Mezonlar.** Massasi 207 elektron massasidan katta, ammo proton massasidan kichik bo'lgan zarralar mezonlar guruhini tashkil qiladi.

**Barionlar.** Og'ir zarralar. Ular protondan boshlanadi va nuklonlar, giperonlarni o'z ichiga oladi. Barcha ta'sirlashuvlarda ishtirok etadi.

## Elementar zarralar jadvali

Zarralarning nomi		Belgisi		Elektron massasi birligidagi massasi	Elektron zaryadi birligidagi zaryadi	Yasash vaqti, s	
		Zarra	Antizarra				
	Foton	$\gamma$	$\gamma$	0	0	Doimiy	
Leptonlar	Elektron neytrinosi	$\nu_e$	$\bar{\nu}_e$	0	0	Doimiy	
	Myuon neytrinosi	$\nu_\mu$	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	Doimiy	
	Tau neytrino	$\nu_\tau$	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	Doimiy	
	Elektron	$e^-$	$e^+$	1	-1	Doimiy	
	Muyon	$\mu^-$	$\mu^+$	207	-1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	
	Tau-lepton	$\tau^-$	$\tau^+$	3492	-1	$1,46 \cdot 10^{-12}$	
Mezonlar	Pi-mezonlar (pionlar)	$\pi^0$	$\pi^0$	264,1	0	$1,83 \cdot 10^{-16}$	
		$\pi^+$	$\pi^-$	273,1		$2,6 \cdot 10^{-8}$	
	Ka-mezonlar (kaonlar)	$K^+$	$K^-$	966,4	1	$1,2 \cdot 10^{-8}$	
		$K^0$	$\bar{K}^0$	974,1		$K_{S^-}^0$ $8,9 \cdot 10^{-11}$ $K_{L^-}^0$ $5,2 \cdot 10^{-8}$	
Eta-nol-mezon	$\eta^0$	$\bar{\eta}^0$	1074	0	$2,4 \cdot 10^{-19}$		
Barionlar	Nuklonlar	Proton	$p$	$\bar{p}$	1836,1	1	Doimiy
		Neytron	$n$	$\bar{n}$	1838,6	0	(?) $10^3$
	Giperonlar	Giperon-lyambda	$\Lambda^0$	$\bar{\Lambda}^0$	2183,1	0	$2,63 \cdot 10^{-10}$
			$\Sigma^+$	$\bar{\Sigma}^+$	2327,6	1	$8 \cdot 10^{-11}$
			$\Sigma^0$	$\bar{\Sigma}^0$	2333,6	0	$5,8 \cdot 10^{-20}$
		Giperon-ksi	$\Sigma^-$	$\bar{\Sigma}^-$	2343,1	-1	$1,48 \cdot 10^{-10}$
			$\Xi^0$	$\bar{\Xi}^0$	2572,8	0	$2,9 \cdot 10^{-10}$
		Omega-minus giperon	$\Xi^-$	$\bar{\Xi}^-$	2572,8	-1	$1,64 \cdot 10^{-10}$
$\Omega^-$	$\Omega^+$		3273	-1	$8,2 \cdot 10^{-11}$		

Shu bilan birga, spinining qiymatiga qarab zarralar fermionlarga (spini  $S = \frac{1}{2}$  bo'lgan zarralar) va bozonlarga (spini  $S = 0$  yoki butun  $S = 1$  bo'lgan zarralar) bo'linadi. Yashash davriga qarab, zarralar *barqaror* va *beqaror* zarralarga ajratiladi.

**Kvarklar.** Materiyaning eng kichik g'ishtchalari hisoblangan elementar zarralar murakkab tuzilishga ega ekanligi ma'lum bo'lgandan so'ng, materiyaning haqiqatdan eng kichik g'ishtchalarini izlash muammosi vujudga keldi. Agar shunday zarralar mavjud bo'lsa, hozirgacha bizga ma'lum bo'lgan va murakkab tuzilishga ega bo'lgan barcha zarralar ulardan tashkil topgan bo'lishi kerak. 1964-yilda amerikalik fizik M.Gell-Mann va D.J.Sveyglar mezonlar va barionlar *kvarklar* deb ataluvchi sodda zarralardan tashkil topganligi to'g'risidagi gipotezani taklif qildilar. Bu gipotezaga muvofiq, barionlar uchta: *u*, *d*, *s* kvarklardan, antibarionlar esa antikvarklardan tashkil topgan. Bu kvarklar yarim spinga ega bo'lishlari, zaryadlari esa elektron zaryadining  $\frac{1}{3}$  va  $\frac{2}{3}$  qismiga teng bo'lishi kerak. Keyinchalik yana ikkita: *c* «maftunkor» (inglizcha «charm») va *b* «go'zal» (inglizcha «beauty») kvarklari antikvarklari bilan birga kiritildi. Zamonaviy gipotezalarga ko'ra, kvarklar ham leptonlar kabi oltita bo'lishi kerak. Lekin *t* «haqiqiy» (inglizcha «truth») kvarkining mahsulini topish maqsadida qilinayotgan barcha urinishlar hozircha hech qanday natija bermadi. Shu bilan birga, kvark va antikvarklarning kombinatsiyalari mavjud mezonlarning barchasini vujudga kelishini tushuntirib bera oldi. Shu nuqtayi nazardan qaraganda, kvarklar hech qanday ichki tuzilishga ega emas va ularni chin ma'noda elementar zarralar deb hisoblash mumkin.

Ammo kvarklar elementar zarralarning tuzilishini va ularning xossalarini qanchalik ajoyib tushuntirib bermasin, ularni erkin zarra sifatida qayd etish yo'lidagi barcha urinishlar besamar qolmoqda.



### Sinov savollari

1. Elementar zarralar ta'sirlashuvining nechta turi mavjud? 2. Kuchli ta'sirlashuvni tushuntiring. 3. Elektromagnit ta'sirlashuv qanday ta'sirlashuv? 4. Kuchsiz ta'sirlashuv-chi? 5. Gravitatsion ta'sirlashuv-chi? 6. «Buyuk birlashuv» dan maqsad nima? 7. «Buyuk birlashuv» nazariyasi yuqorida ko'rilgan ta'sirlashuvlarni inkor etadimi? 8. Elektr kuchsiz ta'sirlashuv qanday ta'sirlashuv? 9. 5-jadvalni tahlil qiling. 10. Fotonlar, leptonlar,

mezonlar, barionlar, fermionlar va bozonlar qanday zarralar? 11. Barqaror va beqaror zarralar-chi? 12. Gell-Mann va Sveyg g'oyalari ga ko'ra barcha zarralar nimalardan tashkil topgan? 13. Kvarklar qanday zarralar? 14. Ularning spinlari va zaryadlari nimaga teng? 15.  $c$  kvark nima ma'noni anglatadi? 16.  $b$  kvark-chi? 17.  $t$  kvark nima maqsadda kiritilgan? 18.  $t$  kvarkning mahsuli qayd etilganmi? 19. Kvarklarni elementar zarralar deb hisoblash mumkinmi? 20. Kvarklar erkin zarralar sifatida qayd etilganmi?

## 39-§. Kosmik nurlar

**Mazmuni:** kosmik nurlar; birlamchi kosmik nurlar; ikkilamchi kosmik nurlar; yumshoq tashkil etuvchisi; qattiq tashkil etuvchisi; Yerning radiatsion belbog'i.

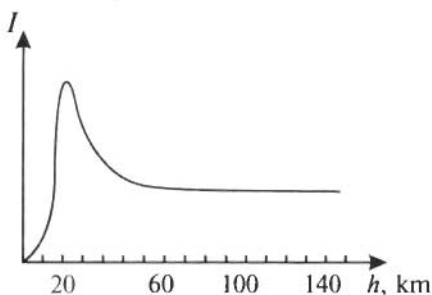
**Kosmik nurlar.** 1912- yilda Yer sirtidagi havo qatlamining ionlashuvini o'rgangan avstriyalik fizik V. F. Gess qiziq natijaga duch keldi. Uning fikriga ko'ra, havoning ionlashuvini asosan Yerdan chiqayotgan radioaktiv nurlar vujudga keltirishi va shuning uchun ham yuqoriga ko'tarilgan sari havoning ionlashuvi kamayishi kerak edi. Ammo tajriba natijasiga ko'ra 5000 m balandlikdagi havoning ionlashish darajasi Yer sirtinikidan 3 marta katta bo'lib chiqdi.

Ushbu holni tahlil qilgan olimlar, havoning ionlashuvini faqatgina Yerning radioaktivligi emas, balki koinotdan va Quyoshdan kelayotgan nurlar ham vujudga keltiradi, degan xulosaga kelishdi. Bu nurlarga *kosmik nurlar* deb nom berildi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, kosmik nurlarning intensivligi yuqoriga ko'tarilgan sari tez ortadi va o'zining maksimal qiymatiga erishgach, yana kamayadi. Taxminan 50 km balandlikdan boshlab intensivlik qariyb o'zgarmay qoladi (63- rasm). Kosmik nurlar *birlamchi* va *ikkilamchi* kosmik nurlarga ajratiladi.

### Birlamchi kosmik nurlar.

Bevosita kosmosdan keladigan nurlar *birlamchi kosmik nurlar* deyiladi. Tarkibini o'rganish, birlamchi kosmik nurlar yuqori energiyali elementar zarralar oqimidan iborat ekanligini ko'rsatdi. Uning to'qson foizdan ko'prog'ini protonlar, taxminan yetti foizini  $\alpha$ -zarralar, bir foiz



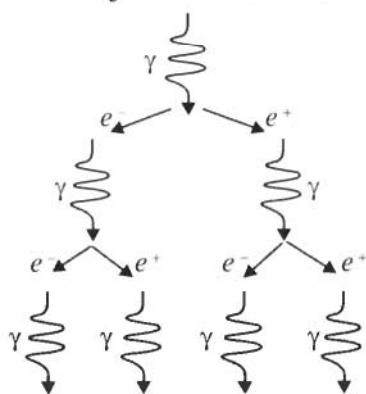
63- rasm.

atrofidagisini og'irroq atomlarning ( $Z > 20$ ) yadrolari tashkil qiladi. Birlamchi kosmik nurlarning asosiy qismi galaktikadan keluvchi, energiyasi  $10^{21}$  eV gacha bo'lgan nurlar hisoblanib, ular o'zining shu qadar katta energiyasini yulduzlararo magnit maydonlar bilan to'qnashish natijasida oladi.

Shuni ham ta'kidlash lozimki, kosmik nurlarning intensivligi vaqt davomida o'zgarib turadi. Bu Quyosh aktivligining o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Quyoshda chaqnash ro'y bergan paytlarda kosmik nurlarning intensivligi o'nlab va hatto yuzlab foizgacha o'zgarib ketishi mumkin. Bu esa kosmik nurlarning ma'lum bir qismi Quyoshda hosil bo'lishini ko'rsatadi. Birlamchi kosmik nurlar Yer sirtidan 50 km balandliklargaacha yetib keladi va shuning uchun ham  $h \geq 50$  km da kosmik nurlarning intensivligi o'zgarmas bo'ladi.

**Ikkilamchi kosmik nurlar.** Atmosferaning yuqori qatlamlarigacha yetib kelgan birlamchi kosmik nurlar u yerdagi atom yadrolari bilan to'qnashib *ikkilamchi kosmik nurlarni* vujudga keltiradi. Yigirma kilometrda pastda kosmik nurlarning asosiy qismi ikkilamchi nurlardan iborat bo'ladi. Balandlik kamayishi bilan nurlarning intensivligi ham kamaya boradi, chunki zarralarning aksariyati Yer sirtiga yaqinlashgan sari yutila boradi. Ikkilamchi kosmik nurlar tarkibiga qarab ikkita: *yumshoq* va *qattiq* tashkil etuvchilarga ajratiladi.

**Yumshoq tashkil etuvchilar.** Qo'rg'oshinda kuchli yutiladigan nurlar ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq tashkil etuvchisi bo'ladi. Ular quyidagicha vujudga keladi. Kosmik nurlar tarkibidagi  $E > 2m_e c^2$  energiyali  $\gamma$ - kvantlar atom yadrosining maydonida



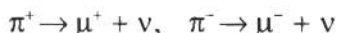
64- rasm.

tormozlanadi va elektron-pozitron juftligiga aylanadi. Hosil bo'lgan elektron va pozitronlar ham, o'z navbatida, tormozlanib,  $\gamma$ - kvantni vujudga keltiradi. Energiyasi  $2m_e c^2$  dan katta bo'lgan bu  $\gamma$ - kvantlar ham, o'z navbatida, yangi elektron-pozitron juftligiga aylanadi. Bu jarayon vujudga keladigan  $\gamma$ - kvantning energiyasi  $2m_e c^2$  dan kichik bo'lgunicha davom etadi. Unga *elektron-pozitron-foton jalasi* deyiladi (64- rasm). Garchi jalani vujudga keltiradigan birlamchi

zarralar katta energiyaga ega bo'lsa-da, jala zarralari «yumshoq» bo'lib, uncha qalin bo'lmagan moddadan ham o'tolmaydi. Shunday qilib, ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq tashkil etuvchilari elektron, pozitron va  $\gamma$ - kvantlardan iborat bo'ladi.

**Qattiq tashkil etuvchilar.** Ular qo'rg'oshing katta singish qobiliyatiga ega. 1938- yilda K. Anderson va S. Niddermeyer qattiq tashkil etuvchilarning massalari  $207m_e$  va yashash davrlari  $2,2 \cdot 10^{-6}$  s bo'lgan, musbat va manfiy zaryadlangan zarralar oqimidan iborat ekanligini aniqlashdi. Bu zarralarga *myuonlar* ( $\mu^+$ ,  $\mu^-$ ) deb nom berishdi. 1947- yilda S. Paue II birlamchi kosmik nurlarning atom yadrolari bilan to'qnashuvlari natijasida  $273m_e$  massali, oldin noma'lum bo'lgan zaryadlangan zarralar paydo bo'lishini aniqladi. Bu zarralar  $\pi$ - mezonlar ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ) yoki *pionlar* deb nomlandi. Ularning erkin holatdagi yashash davrlari  $2,55 \cdot 10^{-8}$  s. 1950- yilda massasi  $264,2m_e$  ga teng va yashash davri  $1,8 \cdot 10^{-16}$  s dan kichik bo'lgan neytral  $\pi$ - mezon kashf qilindi. Pionlar nuklonlar bilan jadal ta'sirlashadigan zarralar hisoblanadi.

Umuman olganda, bu zarralarning mavjudligini yadro kuchlarining tabiatini tushuntirgan X. Yukava bashorat qilgan edi. Yuqorida aytilganidek, ular juda kichik yashash davriga ega bo'lib, quyidagi sxema bo'yicha parchalanadi:



va kosmik nurlarning qattiq tashkil etuvchilarining zarralarini hosil qiladi. Pionlardan farqli ravishda, myuonlar yadro ta'sirlashuvlarida ishtirok etmaydi va o'z energiyasini ionlashtirishga sarflaydi.

**Yerning radiatsion belbog'i.** Zaryadlangan zarralarning Yer atrofidagi taqsimoti haqidagi dastlabki ma'lumotlar Yerning sun'iy yo'ldoshlari yordamida olingan. Yer atrofidagi fazoda Yerning magnit maydoni ta'sirida vujudga kelgan shunday belbog' mavjudki, undagi zaryadlangan zarralarning zichligi sayyoralararo bo'shliqdagi birlamchi kosmik nurlar zarralarining zichligidan yuz millionlab marta kattadir. Zarrachalardan iborat bunday belbog' *radiatsion belbog'* deyiladi.

Radiatsion belbog'ning ekvator tekisligidan G'arbiy yarim shardagi balandligi Yer sirtidan 600 km bo'lsa, sharqiy yarim shardagi balandligi 1600 km atrofida bo'ladi. Belbog'ning tashqi chegarasining balandligi Yerning 8–10 radiusiga teng. Yer radiatsion belbog'ining nosimmetrik joylashuvi, zaryadlangan zarra-

lar harakatining Yer magnit maydonining joylashuviga bog'liqligidadir. Radiatsion belbog' va kosmik nurlarni o'rganish, bir tomondan, koinotda bo'ladigan jarayonlar haqida ma'lumot manbayi bo'lib xizmat qilsa, ikkinchi tomondan, ularning jonli organizmlarga ta'sirini bilish muhim ahamiyatga egadir.



### Sinov savollari

1. Kosmik nurlarni kim kashf etgan? 2. V.Gess nimani o'rgangan? 3. Nimaga asosanib kosmik nurlarning mavjudligi haqida fikr yuritganlar? 4. Nima uchun bu nurlarga kosmik nurlar deb nom berishgan? 5. Kosmik nurlarining intensivligi balandlikka qarab qanday o'zgaradi? 6. 63- rasmni tahlil qiling. 7. Qanday nurlarga birlamchi kosmik nurlar deyiladi? 8. Birlamchi kosmik nurlar nimalardan tashkil topgan? 9. Birlamchi kosmik nurlar qayerlardan keladi? 10. Ular bu qadar katta energiyani qayerdan oladi? 11. Quyoshdan keluvchi kosmik nurlarning energiyasi qanday? 12. Birlamchi kosmik nurlar qayergacha yetib keladi? 13. Ikkalamchi kosmik nurlar qanday vujudga keladi? 14. Balandlik kamayishi bilan nurlar intensivligining kamayishiga sabab nima? 15. Ikkalamchi kosmik nurlar qanday tashkil etuvchilardan iborat? 16. Yumshoq tashkil etuvchi nurlar qanday hosil bo'ladi? 17. Qanday energiyali  $\gamma$ - kvant elektron-pozitron juftligini vujudga keltirishi mumkin? 18. Elektron-pozitron-foton jalasi qanday vujudga keladi? 19. Ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq tashkil etuvchisi nimalardan tashkil topgan? 20. Ular qo'rg'oshinda yutiladimi? 21. 64- rasmdagi manzarani tahlil qiling. 22. Ikkilamchi kosmik nurlarning qattiq tashkil etuvchisi nimalardan iborat? 23. Myonlar qanday zarralar? 24.  $\pi$ - mezonlar-chi? 25.  $\pi$ - mezonlarni kim kashf etgan? 26. Zaryadlangan va elektrneymal  $\pi$ - mezonlarning massalari tengmi? 27. Pionlar yadro bilan ta'sirlashadimi? 28. Pionlarning mavjudligini kim bashorat qilgan? 29. Pionlarning parchalanish sxemalari qanday? 30. Zaryadlangan zarralarning Yer atrofidagi taqsimoti haqidagi dastlabki ma'lumotlar qayerdan olingan? 31. Yerning radiatsion belbog'i nima? 32. Radiatsion belbog'ning balandligi va qalinligi qanday? 33. Yer radiatsion belbog'ining nosimmetrik joylashganligiga sabab nima? 34. Radiatsion belbog'ni o'rganishning qanday ahamiyati bor?

## 40-§. Elementar zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari

Mazmuni: zarralarni qayd qiluvchi asboblarning turlari; sintillatsion hisoblagich; gaz razryadli sanagich; Vilson kamerasi; fotoemulsiya usuli.

**Zarralarni qayd qiluvchi asboblarning turlari.** Radioaktiv moddalarning nurlanishini o'rganishdan asosiy maqsad — radioaktiv yemirilishda chiqariladigan zarralarning tabiatini, energiyasini va nurlanish intensivligini (radioaktiv modda bir sekundda chiqaradigan zarralar sonini) aniqlashdan iborat. Ularni qayd qilishning eng keng tarqalgan usullari zarralarning ionlashishiga va fotokimyoviy ta'sirlarga asoslangandir. Bu vazifani bajaruvchi asboblarda ham ikki turga bo'linadi:

1. Zarralarni fazoning biror qismidan o'tganligini qayd qiluvchi va ba'zi hollarda ularning ba'zi xarakteristikalari, masalan, energiyasini aniqlashga imkon beruvchi asboblarda. Bunday asboblarga sintillatsion (chaqnovchi) hisoblagich, Cherenkov hisoblagichi, gaz razryadli hisoblagich, yarimo'tkazgichli hisoblagich va impulsli ionlashtiruvchi kamera misol bo'la oladi.

2. Zarraning moddadagi izini kuzatishga, masalan, suratga tushirishga imkon beruvchi asboblarda. Bunday asboblarga Vilson kamerasi, diffuziyali kamera, pufakli kamera, fotoemulsiya usuli misol bo'la oladi. Biz quyida ularning ba'zilar bilan tanishib o'tamiz.

**Sintillatsion hisoblagich.** Ish prinsipi tez zarralarning fluoresiyalanuvchi ekranga tushishida ro'y beradigan chaqnash — sintillatsiyaning kuzatilishiga asoslangan. Hosil bo'lgan kuchsiz yorug'lik chaqnashi elektr impulslariga aylantiriladi va kuchaytirilib, maxsus apparatlar yordamida qayd qilinadi.  $\alpha$ -zarra birinchi marta aynan shunday hisoblagich yordamida (1903-yil) qayd qilingan edi.

**Gaz razryadli hisoblagich.** Bunday hisoblagich, odatda, gaz to'ldirilgan metall silindr (katod) va uning o'qi bo'ylab tortilgan ingichka sim (anod)dan iborat bo'ladi. Qayd etiladigan zarra elektrodlar orasidan o'tganda gazni ionlashtiradi. Bu ionlar esa gaz, devor atomlari va molekullar bilan to'qnashib, ularni ikkilamchi ionlashtiradi. Umuman olganda, ikki xil gaz razryadli hisoblagich mavjud. Birinchisi, *proporsional hisoblagich* deyilib, unda gaz razryadi nomustaqil bo'ladi. *Geyger—Myuller hisoblagichi* deb ataluvchi ikkinchi xil hisoblagichda esa gaz razryadi mustaqil bo'ladi. Geyger—Myuller hisoblagichlarining ajrata olish vaqti  $10^{-3}$ – $10^{-7}$  s ni tashkil qiladi, ya'ni shunday vaqt oralig'ida tushgan zarralar qayd qilinadi. Gaz razryadli hisoblagichlarning zaryadlangan zarralarni qayd etish unumdorligi 100 % bo'lsa,  $\gamma$ -kvantlar uchun 5% ni tashkil qiladi.



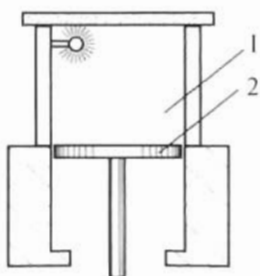
**Vilson kamerasi.** Kamera 1911- yilda ingliz fizigi Ch.Vilson tomonidan yaratilgan. U tez uchib kelayotgan zarralarning bug'simon holatdagi modddadan o'tganida, shu modda molekularini ionlashtirishiga asoslangan.

Vilson kamerasining sxemasi 65- rasmda tasvirlangan. Kamera- ning ishchi hajmi (1) suvning yoki spirtning to'yingan bug'i bo'lgan havo yoki gaz bilan to'ldirilgan. Porshen (2) pastga qarab tez harakatlanganda 1 hajmdagi gaz adiabatik ravishda kengayadi va soviydi. Natijada gaz o'ta to'yingan holatga keladi. Kameradan uchib o'tgan zarra o'z yo'lida ionlarni vujudga keltiradi va hajm kengayganda kondensatsiyalangan bug'lardan tomchilar hosil bo'ladi. Shunday qilib, zarra orqasida ingichka tuman yo'l ko'rinishidagi iz qoladi. Bu izni kuzatish yoki rasmga tushirish mumkin.

Alfa-zarra gazni kuchli ionlashtiradi va shuning uchun Vilson kamerasida qalin iz qoldiradi (66- rasm). Beta-zarra – juda ingichka iz qoldiradi. Gamma-nurlanish esa Vilson kamerasidagi gaz molekularidan urib chiqargan fotoelektronlari yordamidagina qayd etilishi mumkin.

1927- yilda Vilson kamerasini kuchli magnit maydonda joylashtirgan rus fizigi D.Skobelsen uning imkoniyatlarini ancha kuchaytirdi. Endi zarralarning magnit maydondagi og'ishlariga qarab, ularning zaryadi, energiyasi va ba'zi boshqa xarakteristikalari haqida xulosa chiqarishga imkoniyat tug'iladi.

**Fotoemulsiya usuli.** 1927- yilda rus fizigi L. Misovski yaryadlangan zarralar izini qayd qilishning oddiy usulini taklif qildi. Zaryadlangan zarralar fotoemulsiya orqali o'tganda, unda tasvir hosil qiluvchi ionizatsiyani vujudga keltiradi. Surat ochilgandan keyin zaryadlangan zarralarning izlari ko'rinib qoladi. Emulsiya juda qalin bo'lganligi uchun ham zarraning unda qoldirgan izi



65- rasm.



66- rasm.

juda ham qisqa bo'ladi. Shuning uchun, fotoemulsiya usuli juda katta energiyali tezlatkichlardan chiqayotgan zarralar va kosmik nurlar vujudga keltiradigan reaksiyalarni o'rganish maqsadida ishlatiladi.



### Sinov savollari

1. Radioaktiv moddalarning nurlanishini o'rganishdan maqsad nima?
2. Zarralarni qayd qilishning asosiy usullari ularning qanday ta'sirlariga asoslangan?
3. Bu asboblarda nechta turga bo'linadi?
4. Bu asboblarni sanab o'ting.
5. Sintillatsion hisoblagichning ish prinsipi nimadan iborat?
6.  $\alpha$ -zarra birinchi bo'lib qanday asbobda qayd qilingan?
7. Gaz razryadli hisoblagichning ish prinsipi qanday?
8. Geyger—Myuller hisoblagichining ish prinsipi va unumdorligi qanday?
9. Vilson kamerasi qachon kashf qilingan?
10. Vilson kamerasining ish prinsipi qanday?
11. Vilson kamerasida zarraning izi qanday hosil bo'ladi?
12. Vilson kamerasida  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -zarralarning izlari qanday bo'ladi?
13. D.Skobelsen Vilson kamerasining imkoniyatlarini qanday qilib kuchaytirgan?
14. Fotoemulsiya usuli nimadan iborat?
15. Fotoemulsiya usulidan qayerda foydalaniladi?



### Masala yechish namunalari

**1 - masala.** Vodorod atomidagi elektronning uchinchi statsionar orbitadan ikkinchisiga o'tishida chiqariladigan fotonning energiyasi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$Z = 1; \quad n = 3; \quad m = 2.$$

$$E_f = ?$$

**Yechish.** Borning ikkinchi pos-

tulatiga muvofiq, vodorod atomidagi elektronning  $n$ - statsionar orbitadan  $m$ - orbitaga o'tishida chiqariladigan foton energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$E_f = E_n - E_m. \quad (1)$$

Bu yerda  $E_n$  va  $E_m$ , mos ravishda, elektronning  $n$ - va  $m$ - statsionar orbitadagi energiyalari:

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (2)$$

$$E_m = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{m^2}. \quad (3)$$

(2) va (3) larni (1) ga qo'yib, quyidagi ifodani olamiz:

$$E_f = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J · s;  
 $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$  F/m ekanligini va berilganlarni hisobga olib,  $E_f$  ni topamiz:

$$E_f = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{8 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2 \cdot (8,85 \cdot 10^{-12})^2} \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ J} = 0,3 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 1,89 \text{ eV}.$$

J a v o b:  $E_f = 1,89$  eV.

**2- m a s a l a .** Harakatdagi massasi tinchlikdagi massasidan ikki marta katta bo'lgan elektronning de Broyl to'lqin uzunligi aniqlansin.

**Berilgan:**

$$m = 2m_0.$$

**Yechish.** Elektronning de Broyl to'lqin uzunligini quyidagi ifoda yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda = ? \qquad \qquad \qquad \lambda = \frac{h}{mv}. \qquad (1)$$

Masalaning shartiga ko'ra,  $m = 2m_0$ . Demak,

$$\lambda = \frac{h}{2m_0 \cdot v}. \qquad (2)$$

Elektronning tezligi  $v$  ni uning relativistik massasi ifodasidan aniqlaymiz:

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

yoki

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

Bundan  $v$  ni topamiz:

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot c. \qquad (3)$$

(3) ifodani (2) ga qo'ysak,  $\lambda$  uchun ifodaga ega bo'lamiz:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3} \cdot m_0 \cdot c}. \qquad (4)$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  ekanligini e'tiborga olib, hisoblaymiz:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{3} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} \text{ m} = 1,4 \text{ pm.}$$

Javob:  $\lambda = 1,4 \text{ pm}$ .



### Mustaqil yechish uchun masalalar

- Vodorod atomi nurlanish spektrining Balmer seriyasidagi fotonining maksimal energiyasi aniqlansin. ( $E_{\max} = 3,4 \text{ eV}$ .)
- Bor nazariyasiga muvofiq, vodorod atomi ikkinchi stasionar orbitasining radiusi  $r_2$  va undagi elektronning tezligi  $v_2$  aniqlansin. ( $r_2 = 212 \text{ pm}$ ;  $v_2 = 1,1 \text{ Mm/s}$ .)
- Bor nazariyasiga muvofiq, ikkinchi stasionar orbitada bo'lgan elektronning aylanish davri  $T$  aniqlansin. ( $T = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ s}$ .)
- Protonning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasidan ikki marta kichik. Uning de Broyl to'lqin uzunligi topilsin. ( $\lambda = 1,19 \text{ fm}$ .)
- Elektronning kinetik energiyasi o'zining tinchlikdagi energiyasiga teng. Bunda elektron koordinatasining eng kichik noaniqligi nimaga teng bo'ladi? ( $\Delta x = 0,27 \text{ pm}$ .)
- $^{14}_7\text{N}$  yadrosining massa defekti va bog'lanish energiyasi aniqlansin. ( $\Delta m = 0,186 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $E_{\text{bog'}} = 104,3 \text{ MeV}$ .)
- Protonlar va neytronlar 5 g geliy hosil qilishida qanday energiya ajraladi? ( $E = 3,42 \cdot 10^{12} \text{ J}$ .)
- $^{24}_{12}\text{Mg}$  atom yadrosining massa defekti, bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasi aniqlansin. ( $\Delta m = 0,21 \text{ a.m.b}$ ;  $E_{\text{bog'}} = 192 \text{ MeV}$ ;  $E_{\text{sol}} = 2,6 \text{ MeV}$ .)
- Radiyning yarimyemirilish davri 1600 yilga teng. Radiy yadrosining o'rtacha yashash davri nimaga teng? ( $\tau = 2240 \text{ yil}$ .)
- $^{11}_5\text{B}$  bor yadrosini protonlar bilan bombardimon qilganda berilgan  $^{8}_4\text{Be}$  yadrosi hosil bo'ldi. Bu reaksiyada yana qanday yadro hosil bo'ladi? ( $^4_2\text{He}$ .)
- Kalsiy va sirkoniyning davriy jadvaldagi tartib nomerlari, mos ravishda, 20 va 40 ga teng. 1 mol sirkoniydagi barcha yadrolar zaryadi 2 mol kalsiydagi barcha yadrolar zaryadidan necha marta katta? (1.)

12. Agar kadmiy izotopining massa defekti 0,008 m.a.b. bo'lsa, bu yadroning bog'lanish energiyasini MeV larda hisoblang. (7,47 MeV.)
13. Pluton yadrosining  $\alpha$ -zarra bilan o'zaro ta'sirlashishi tufayli kyuriy  $^{242}\text{Cu}$  yadrosi va neytron hosil bo'ldi. Pluton yadrosining massa sonini toping. (239.)
14. Biror atomni ionlashtirish uchun 0,825 eV energiya zarur bo'lsa, bu ionlashtirishni yuzaga keltiruvchi elektromagnit nurlanishning minimal chastotasini THz larda hisoblang. (200 THz.)

### Test savollari

1. Atom massasining 95 % ni egallagan, o'lchami  $10^{-14}$  m bo'lgan musbat zarracha nima?  
A. Zarracha. B. Proton. C. Elektron. D. Yadro. E. Neytron.
2. Elektron nega yadroga qulab tushmaydi?  
A. Atomda elektron va proton orasidagi Kulon kuchlari yo'l qo'ymaydi.  
B. Atomda statsionar holatlar mavjud bo'lib, bu holatlarda elektronlarning statsionar orbitalari mos keladi.  
C. Atomdagi elektromagnit kuchlar yo'l qo'ymaydi.  
D. Elektronlar faqat shu statsionar orbitalarda bo'lib, hattoki tezlanish bilan harakatlanganlarida ham nurlanish chiqarmaydilar.  
E. To'g'ri javob C va D.
3. Yadroni Kulon kuchi ta'sirida parchalanib ketishidan saqlab turadigan kuchlar qanday kuchlar deyiladi?  
A. Tortishish. B. Zaif. C. Yadro.  
D. Gravitatsion. E. To'g'ri javob A va C.
4. Uran  $^{238}_{92}\text{U}$  yadrosi tarkibini aniqlang.  
A. 92 ta proton, 238 ta neytron. B. 92 ta neytron, 146 ta proton.  
C. 92 ta proton, 146 ta neytron. D. 238 ta proton, 92 ta neytron.  
E. 146 ta neytron, 238 ta proton.

### Bobning asosiy xulosalari

*Atomning Tomson modeli* – massasi tekis taqsimlangan  $10^{-10}$  m kattalikdagi musbat zaryadlangan shardan iborat bo'lib, uning ichida o'z muvozanat vaziyati atrofida tebranma harakat qiluvchi manfiy zaryadlar mavjud. Musbat va manfiy zaryadlarning yig'indisi o'zaro teng.

*Atomning planetar modeli* – elektronlar yadro atrofida orbitalar, atomning elektron qobig‘i bo‘ylab harakatlanadi va ularning zaryadi yadrodagi musbat zaryadga teng.

*Balmerning umumlashgan formulasi:*  $v = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ .

$m = 1, n = 2, 3, 4, \dots$  da Layman seriyasi;

$m = 2, n = 3, 5, \dots$  da Balmer seriyasi;

$m = 3, n = 4, 5, 6, \dots$  da Pashen seriyasi.

**Bor postulatlari.** Statsionar (turg‘un) holatlar haqidagi postulat: atomda statsionar holatlar mavjud bo‘lib, bu holatlarga elektronlarning statsionar orbitalari mos keladi.

**Chastotalar haqidagi postulat:** elektron bir statsionar orbitadan ikkinchisiga o‘tgandagina energiyasi shu statsionar holatlardagi energiyalarning farqiga teng bo‘lgan bitta foton chiqaradi (yoki yutadi):

$$h\nu = E_n - E_m.$$

$r_B = 0,528 \cdot 10^{-10} m$  – *Bor radiusi* deyiladi va atom fizikasida uzunlik birligi sifatida foydalaniladi.

*Atomdagi energetik sathlar:*  $E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}$ .

*Ridberg doimiysi:*  $R = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2}$ .

**Lui de Broyl gipotezasi.** Nafaqat foton, balki elektron va boshqa zarralar ham korpuskular xossalar bilan bir qatorda, to‘lqin xossalriga ham egadir.

Kvant mexanikasida moddalarning ikki xil xususiyati: kattaliklarning kvantlanishi va zarralarning to‘lqin xususiyatlari mujassamlashgan.

Plank doimiysi  $h$  energiya, impuls va boshqa kvant xarakteristikalarining o‘zgarish kattaligini, ya’ni diskretlik darajasini ko‘rsatuvchi kattalik bo‘lib, unga *ta’sir kvanti* deyiladi.

*Noaniqlik munosabatlari:*

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar, \quad \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar, \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar.$$

Agar  $\Delta x \cdot \Delta p$  ko‘paytmaning kattaligi Plank doimiysi bilan solishtiriladigan son bo‘lsa, zarraning holati kvant mexanikasi qonunlari yordamida o‘rganiladi. Agar  $\Delta x \cdot \Delta p$  ko‘paytma Plank doimiysidan juda katta bo‘lsa, zarraning holati klassik fizika qonunlari yordamida o‘rganiladi.

*Kvant sonlari.* Elektron bulutning shakli, kattaligi va fazodagi o'rnini kvant sonlari bilan aniqlanadi.

*Bosh kvant soni*  $n$  elektronning atomdagi energetik sathlarini aniqlaydi. Ixtalagan butun qiymatlarni qabul qilishi mumkin:  $n = 1, 2, 3, \dots$

*Orbital kvant soni*  $\ell$  elektron impuls momentining qiymatlarini aniqlaydi va elektron bulutining shaklini xarakterlaydi. U  $\ell = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$  gacha qiymatlarini qabul qilishi mumkin.

*Magnit kvant soni*  $m$  elektron impuls momentining berilgan yo'nalishdagi proyeksiyasini aniqlaydi va elektron bulutning fazodagi o'rnini xarakterlaydi.  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$  qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

Elektronning *s-spin kvant soni* ham mavjud.

**Pauli prinsipi.** Bitta atomda to'rtta kvant soni ( $n, \ell, m, s$ ) bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin emas.

Bosh kvant soni  $n$  bo'lgan holatda  $2n^2$  ta elektron bo'lishi mumkin.

**Lazer** deganda, juda aniq yo'naltirilgan kogerent yorug'lik nurining manbaysi tushuniladi.

*Atom yadrosining tuzilishi.* Atom yadrosi proton va neytrondan tashkil topgan.

*Proton* ( $p$ ) – vodorod atomining yadrosi. Tinchlikdagi massasi:  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1836m_e$ .

*Neytron* ( $n$ ). Elektrneytral zarra. Tinchlikdagi massasi:  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1839m_e$ .

*Yadroning bog'lanish energiyasi.* Yadroni alohida nuklonlarga ajratish uchun zarur bo'ladigan energiya yadroning bog'lanish energiyasi deyiladi:

$$E_{\text{bog}} = \Delta mc^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_{ya}] \cdot c^2.$$

Yadroni Kulon kuchi ta'sirida parchalanib ketishdan saqlab turadigan tortishish kuchlari yadro kuchlari deyiladi.

*Tabiiy radioaktivlik* deb, nostabil izotoplar atomi yadrolarining turli zarralar chiqarish va energiya ajratish bilan stabil izotoplarga aylanishiga aytiladi.

*Radioaktiv yemirilish qonuni:*  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ .

*Yadro reaksiyalari.* Yadro reaksiyalari atom yadrolarining o'zaro bir-biri bilan yoki yadro zarralari bilan ta'sirlashishlari natijasida boshqa yadrolarga aylanishidir.



## IV BOB

### YADRO ENERGETIKASI

32- § da qayd etilganidek, yadroning bog‘lanish energiyasi atomning bog‘lanish energiyasidan millionlab marta katta. Shuning uchun ham yengil yadrolarning sintezida va og‘ir yadrolarning parchalanishida ulkan miqdordagi energiya ajralib chiqadi. Insoniyat bu energiyadan foydalanish yo‘llarini izlashi tabiiy hol. Xo‘sh, yadro energetikasi sohasida erishilgan muvaffaqiyatlar nimalardan iborat va kelgusida qanday niyatlarga erishish orzusida yashamoqdamiz? Siz ushbu bobda bu sohada qilingan ishlar va mavjud muammolar bilan batafsil tanishasiz.

#### **41-§. Og‘ir yadrolarning bo‘linishi. Uzluksiz zanjir reaksiyasi**

**Mazmuni:** og‘ir yadrolarning bo‘linishi; uran yadrosining bo‘linishi; uran yadrosining bo‘linishida ajraladigan energiya; uzluksiz zanjir reaksiyasi; neytronning ko‘payish koeffitsiyenti.

**Og‘ir yadroning bo‘linishi.** Og‘ir yadrolarning bo‘linish imkoniyatini, 61- rasmda keltirilgan solishtirma bog‘lanish energiyasining massa soniga bog‘liqlik grafigi asosida tushuntirish mumkin. Bu grafikdan ko‘rinib turibdiki, og‘ir yadrolarning solishtirma bog‘lanish energiyasi Mendelejev jadvalining o‘rta qismidagi elementlarning solishtirma bog‘lanish energiyasidan 1 MeV ga kichik. Demak, og‘ir yadrolar o‘rta yadrolarga aylansa, unda har bir nuklon uchun 1 MeV dan energiya ajralib chiqar ekan.

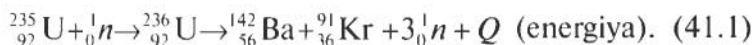
Agar 200 ta nuklonli yadro bo‘linsa, unda  $\approx 200$  MeV atrofida energiya ajralib chiqadi va uning asosiy qismi ( $\approx 165$  MeV) yadro parchalarining kinetik energiyasiga aylanadi.

**Uran yadrosining bo‘linishi.** 1938–1939- yillarda nemis fiziklari O.Gan va F.Strassmanlar neytron bilan bombardimon qilingan uran yadrosi ikkita (ba’zida uchta) bo‘lakka bo‘linishi va bunda katta miqdorda energiya ajralishini aniqladilar. Bu bo‘linishda davriy sistemaning o‘rta elementlari hisoblanmish bariy, lantan va boshqalar hosil bo‘ladi.



Tajriba natijalari quyidagicha tahlil qilindi. Neytronni yutgan uran yadrosi g'alayonlangan holatga o'tadi va ikkita bo'lakka parchalanib ketadi. Bunga sabab – protonlar orasidagi kulon itarishish kuchining yadro tortishish kuchlaridan katta bo'lib qolishidir. Yadro parchalari musbat zaryadlangan bo'lganligi uchun ham birbirlarini kulon kuchi ta'sirida itaradi va katta tezlik bilan otilib ketadi. Bir paytning o'zida 2–3 ta ikkilamchi neytron ajralib chiqadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, ikkilamchi neytronlarning asosiy qismi uchib chiqayotgan, g'alayonlangan parchalardan ajraladi.

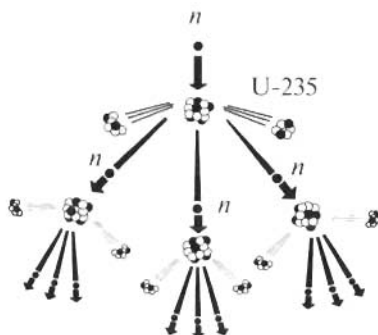
Bo'linish mahsulotlari turli-tuman bo'lib, qariyb 200 xil ko'rinishga ega bo'lishi mumkin. Massa soni 95 dan 139 gacha bo'lgan yadrolarning hosil bo'lish ehtimoli eng katta bo'ladi. Teng massali bo'linish ehtimoli ancha kichik va kamdan kam hollardagina ro'y berishi mumkin. Bo'linish reaksiyasining quyidagicha holi eng ko'p ro'y beradi:



Keyingi izlanishlarning ko'rsatishicha, neytron ta'sirida boshqa og'ir elementlarning yadrolari ham parchalanishi mumkin ekan.

Bular  ${}_{92}^{238}\text{U}$ ,  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ ,  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  va boshqalar.

**Uzluksiz zanjir reaksiyasi.** Yuqorida qayd etilganidek, har bir uran yadrosi bo'linganda yadro bo'laklaridan tashqari 2–3 ta neytron ham uchib chiqadi. O'z navbatida, bu neytronlar ham boshqa uran yadrosiga tushishi va ularning ham parchalanishiga olib kelishi mumkin. Natijada 4–9 ta neytron hosil bo'ladi va shuncha yadroni parchalab, 8 tadan 27 tagacha neytronlarning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Shunday qilib, o'z-o'zining parchalanishini kuchaytiruvchi jarayon vujudga keladi (67- rasm). Bu jarayon *uzluksiz zanjir reaksiyasi* deyiladi.



67- rasm.

Zanjir reaksiyasi ekzotermik reaksiyadir, ya'ni reaksiya katta miqdordagi energiya ajralishi bilan ro'y beradi. Biz yuqorida bitta uran yadrosi bo'linganda 200 MeV energiya ajralishi haqida yozgan edik. Endi 1 kg uran parchalanganda qancha energiya ajralishini hisoblaylik (1 kg uranda  $2,5 \cdot 10^{24}$  ta yadro mavjud):

$$E \approx 200 \text{ MeV} \cdot 2,5 \cdot 10^{24} = 5 \cdot 10^{26} \text{ MeV} = 8 \cdot 10^{13} \text{ J.} \quad (41.2)$$

Bunday energiya 1800 t benzin yoki 2500 t toshko'mir yonganda ajralishi mumkin. Aynan shu qadar katta energiyaning ajralishi olimlarni zanjir reaksiyasidan amalda (ham tinchlik, ham harbiy maqsadlarda) foydalanish yo'llarini izlashga undadi. Zanjir reaksiyasini amalga oshirish unchalik ham oson emas. Bunga sabab – tabiatda mavjud uranning ikkita izotop: 99,3% –  $^{238}_{92}\text{U}$  va 0,7% –  $^{235}_{92}\text{U}$  dan iboratligidir. Zanjir reaksiyasi faqat uran-235 bilangina ro'y beradi.

Shuning uchun uran rudasidan oldin zanjir reaksiyasi ro'y beradigan uran-235 izotopini ajratib olish, so'ngra reaksiya o'tadigan sharoitni vujudga keltirish kerak. Bugungi kunda bu murakkab masala muvaffaqiyatli yechilgan.

**Neytronlarning ko'payish koeffitsiyenti.** Zanjir reaksiyasi ro'y berishi uchun ikkilamchi neytronlarning keyingi yadro bo'linishlaridagi ishtiroki muhim ahamiyatga ega. Shuning uchun *neytronlarning ko'payish koeffitsiyenti* tushunchasi kiritiladi:

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}, \quad (41.3)$$

bu yerda  $N_i$  kattalik –  $i$ - etapda yadrolar bo'linishini vujudga keltiradigan neytronlar soni bo'lsa,  $N_{i-1}$  – undan oldingi etapda yadrolar bo'linishini vujudga keltiradigan neytronlar soni.

Ko'payish koeffitsiyenti nafaqat neytronlar sonini, balki bo'linadigan yadrolar sonini ham ko'rsatadi.

Agar  $k < 1$  bo'lsa, unda reaksiya tezda so'nadi.

Agar  $k = 1$  bo'lsa, zanjir reaksiyasi *kritik* deb ataluvchi doimiy intensivlik bilan davom etadi.

Agar  $k > 1$  bo'lsa, zanjir reaksiyasi jalasifat o'sib boradi va *yadro portlashiga* olib keladi.



### Sinov savollari

1. Og'ir yadrolar solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanishini tushuntiring. 2. Nima uchun og'ir yadrolar o'rta yadrolarga

aylanganda energiya ajralib chiqadi? 3. 200 ta nuklonli yadro bo'linsa, qancha energiya ajralib chiqadi? 4. 400 ta nuklonli yadro bo'linsa-chi? 5. Ajralgan energiyaning asosiy qismi nimaga aylanadi? 6. O.Gan va F.Shtrassmanlar nimani aniqlashgan? 7. Uran yadrosi bo'linganda nimalar ajralib chiqadi? 8. Bo'linishning eng ko'p ro'y beradigan holini yozib ko'rsating. 9. Yana qanday elementlarning yadrolari neytron ta'sirida parchalanishi mumkin? 10. Uzluksiz zanjir reaksiyasi qanday ro'y beradi? 11. Uzluksiz zanjir reaksiyasi qanday reaksiya? 12. 67- rasmdagi manzarani tushuntiring. 13. 1 kg uran parchalanganda qancha energiya ajralib chiqadi? 14. Bunday energiya qancha benzin yonganda ajralib chiqishi mumkin? 15. Uranning barcha izotoplari ham zanjir reaksiyasiga kirishaveradimi? 16. Uran-235 tabiatdagi uran rudasining necha foizini tashkil qiladi? 17. Neytronlarning ko'payish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi? 18.  $k < 1$  da zanjir reaksiyasi qanday davom etadi? 19.  $k = 1$  bo'lsa-chi? 20. Yadro portlashi ro'y berishi uchun  $k$  qanday qiymatlarni qabul qilishi kerak?

## 42-§. Yadro reaktori. Zanjir reaksiyasini boshqarish

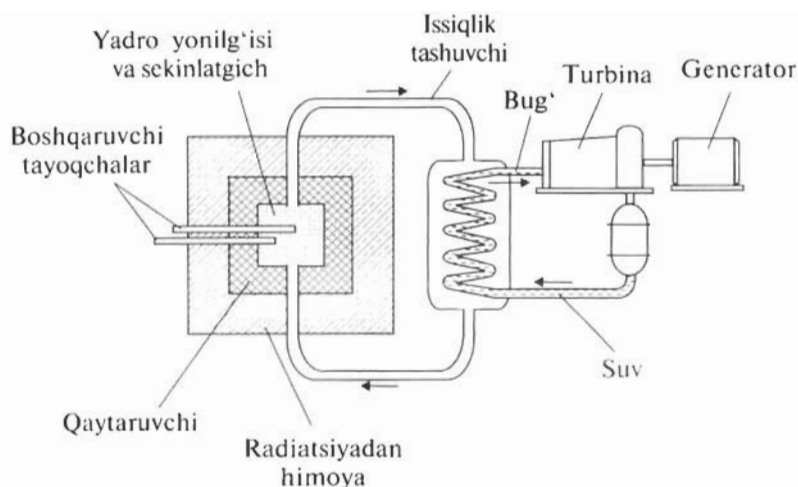
Mazmuni: yadro reaktori; yadro reaktorini boshqarish; kritik massa; yadro yonilg'isini qayta ishlab chiqarish; yadro reaktorining turlari; yadro reaktorining himoyasi; atom bombasi; atom energetikasi.

**Yadro reaktori.** Insoniyat uchun zanjir reaksiyasini amalga oshirish emas, balki ajraladigan energiyadan foydalanish uchun uni boshqarish muhim ahamiyatga egadir. *Og'ir yadrolarning bo'linish zanjir reaksiyasini amalga oshirish va boshqarish imkoniyatini beradigan qurilma yadro reaktori deyiladi.*

Birinchi yadro reaktori 1942- yilda E.Fermi rahbarligida Chikago universiteti qoshida qurilgan.

Yonilg'i sifatida 5% gacha uran-235 bilan boyitilgan tabiiy urandan foydalanadigan bu reaktorning sxemasi 68- rasmda ko'rsatilgan.

Uran-235 yadrosida zanjir reaksiyasini rivojlantirish issiq neytronlar vositasidagina amalga oshirilishi mumkin (energiyasi 0,005–0,5 eV oralig'ida bo'lgan neytronlar *issiq neytronlar* deyiladi). Yadro parchalanishida hosil bo'ladigan neytronlarning energiyasi esa 2 MeV atrofida bo'ladi. Shuning uchun, zanjir reaksiyasi borishini ta'minlash uchun ikkilamchi neytronlarni issiq neytronlargacha sekinlatish kerak. Shu maqsadda *sekinlatgich* deb ataluvchi maxsus moddadan foydalaniladi. Sekinlatgich neytronlarni sekinlatishi, lekin yutmasligi kerak. Sekinlatgich maqsadida



68- rasm.

og'ir suv, oddiy suv, grafit va berilliydan foydalanish mumkin. Og'ir suvni olish juda qiyin bo'lgani uchun, odatda, reaktorlarda oddiy suv yoki grafitdan foydalaniladi.

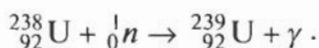
Reaktorning o'z-o'zini kuchaytiruvchi zanjir reaksiyasi ro'y beradigan faol zonasi grafit silindrdan iborat bo'ladi.

**Yadro reaktorini boshqarish.** Yadro yonilg'isi (uran) faol zonaga oralarida neytronlarni sekinlatgich joylashtirilgan tayoqchalar sifatida kiritiladi. Zanjir reaksiyasi jarayonida faol zonadagi temperatura 800–900 K gacha ko'tariladi. Issiqlikni olib ketish uchun reaktorning faol zonasidan quvur orqali issiqlik tashuvchi o'tkaziladi. Misol uchun, bunday issiqlik tashuvchi odatdagi suv yoki suyuq natriy metalli bo'lishi mumkin. Zanjir reaksiyasini boshqarish bor yoki kadmiydan yasalgan, issiq neytronlarni yaxshi yutadigan tayoqchalar yordamida amalga oshiriladi. Zanjir reaksiyasining rivojlanishi bo'linayotgan yadrolar sonining uzluksiz ortishiga, ya'ni reaktor quvvatining ortishiga olib keladi. Zanjir reaksiyasi jala xarakterini olmasligi uchun neytronlarning ko'payish koeffitsiyentini birga teng qilib turish kerak. Bu esa boshqaruvchi tayoqchalar yordamida amalga oshiriladi. Boshqaruvchi tayoqchalar reaktorning faol zonasidan tortib olinganda  $k > 1$ , to'la kiritib qo'yilganda  $k < 1$  bo'ladi. Tayoqchalar yordamida istalgan paytda zanjir reaksiyasi rivojlanishini to'xtatish mumkin.

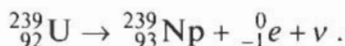
**Kritik massa.** O'z-o'zini kuchaytiruvchi zanjir reaksiyasi ro'y berishi uchun ( $k > 1$ ) faol zonaning hajmi biror kritik qiymatdan

kichik bo'lmashligi kerak. Faol zonaning zanjir reaksiyasini amalga oshirish mumkin bo'lgan eng kichik hajmi *kritik hajm* deyiladi. Kritik hajmda joylashgan yonilg'i massasi *kritik massa* deyiladi. Qurilmaning tuzilishi va yonilg'ining turiga qarab, kritik massa bir necha yuz grammdan, bir necha o'n tonnalargacha bo'lishi mumkin.

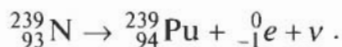
**Yadro yonilg'isini qayta ishlab chiqarish.** Tabiiy uranda ishlovchi reaktorda ikkilamchi neytronlarning bir qismini uran-238 yutib uran-239 ga aylanadi:



Uran-239 izotopi radioaktiv. Uning yarimyemirilish davri 23,5 min ga teng. U  $\beta$ - yemirilish natijasida neptuniy izotopiga aylanadi:



Yana bir karra  $\beta$ - yemirilishdan so'ng neptuniy yadrosi plutoniy-239 yadrosiga aylanadi:



Plutoni-239 ning yarimyemirilish davri 24 ming yilga teng va uning bo'linish qobiliyati uran-235 dan kam emas. Undan yadro reaktorlarida yonilg'i sifatida foydalanish mumkin. Shunday qilib, uran-235 ning ishlatilishi undan yomon bo'lmagan yonilg'i — plutoni-239 ning hosil bo'lishiga olib keladi.

Bitta uran-235 yadrosi bo'linganda o'rtacha 2,5 ta neytron ajraladi. Zanjir reaksiyasini davom ettirish uchun esa bitta neytron yetarli. Demak, 1,5 ta neytron plutoni-239 yadrosini hosil qilishga sarflanadi. Shunday qilib, uran-235 yadrosi bo'linganda nafaqat energiya ajralib chiqmay, ishlatilganidan ko'ra ko'proq yadro yonilg'isi ham qayta ishlab chiqarilar ekan.

**Yadro reaktorining turlari.** Hozirgi paytda turli-tuman reaktorlar yaratilgan bo'lib, ular quyidagi turlarga bo'linadi:

— *yonilg'i yadrosining bo'linishini vujudga keltiradigan neytronlarning energiyasiga qarab:* issiq neytronlar reaktori; tez neytronlar (energiyasi 1 MeV dan katta neytronlar) reaktori;

— *yonilg'ining turiga qarab:* tabiiy uranda, boyitilgan uranda, sof yonilg'ida ishlaydigan reaktorlar;

— *vazifasiga qarab:* ilmiy tadqiqotlar uchun, plutoni-239 ishlab chiqarish uchun, elektr energiya ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan reaktorlar.

**Yadro reaktorining himoyasi.** Zanjir reaksiyasida neytronlar,  $\beta$ - va  $\gamma$ - nurlanishlar manbai bo'lgan yadro parchalari hosil bo'ladi. Boshqacha aytganda, uran reaktori – turli xil nurlanishlar manbai. Ularning katta singish qobiliyatiga ega bo'lgan neytronlari va  $\gamma$ - nurlari ayniqsa xavflidir. Shuning uchun, reaktorda ishlovchi xodimlarning himoyasini tashkil qilish muhim ahamiyatga ega. Bu maqsadda 1 m qalinlikdagi suv, 3 m gacha qalinlikdagi beton va cho'yanning qalin qatlamidan foydalaniladi.

**Atom bombasi.** Atom bombasini boshqarilmaydigan zanjir reaksiyasi ( $k > 1$ ) ro'y beradigan reaktor sifatida qarash mumkin. Yonilg'i sifatida, asosan, uran-235 yoki plutoniy-239 dan foydalaniladi. Yuqorida qayd etilganidek, bu holda ham zanjir reaksiyasi ro'y berishi uchun kritik hajm va yadro yonilg'isining kritik massasi bo'lmog'i kerak. Uran-235 va plutoniy-239 uchun kritik massa 10–20 kg ga yaqin.

Portlashgacha yadro zaryadi, har birining massasi kritik massadan kichik bo'lgan ikkita qismga ajratilgan bo'ladi va shu sababli zanjir reaksiyasi ro'y bermaydi. Ular birlashgandan keyin esa umumiy massa kritik massadan katta bo'lib qoladi va shu lahzadayoq boshqarilmaydigan zanjir reaksiyasi boshlanib, portlash ro'y beradi. Ularni birlashtirish esa oddiy porox yordamida amalga oshirilishi mumkin. Portlash natijasida  $\gamma$ - nurlanish va neytronlar chiqadi, temperatura va bosim keskin ortib ketadi. Atom bombasining asosiy shikastlovchi omili – portlash markazidan har tomonga qarab tovush tezligidek katta tezlik bilan tarqaluvchi to'liq zarbasi va atrof-muhitni zararlantiruvchi radioaktiv nurlanishdir.



### Sinov savollari

1. Yadro reaktori nima?
2. Birinchi yadro reaktori qachon va qayerda qurilgan?
3. Unda yonilg'i sifatida nima ishlatilgan?
4. Uran-235 yadrosida zanjir reaksiyasi qanday amalga oshiriladi?
5. Issiq neytronlar deb qanday neytronlarga aytiladi?
6. Yadro parchalanishida hosil bo'lgan neytronlarning energiyasi qanday bo'ladi?
7. Bu neytronlar qanday sekinlatiladi?
8. Reaktorning faol zonasi qanday bo'ladi?
9. Yadro yonilg'isi faol zonaga qanday ko'rinishda kiritiladi?
10. Faol zonada temperatura qanchagacha ko'tariladi?
11. Issiqlik miqdori faol zonadan qanday qilib olib ketiladi?
12. Zanjir faol zonadan qanday boshqariladi?
13. Boshqaruv tayoqchalari reaktorning faol zonasidan chiqarib olinsa, qanday hol ro'y beradi?
14. Boshqaruv tayoqchalari reaktorning faol zonasiga kiritib qo'yilganda-chi?
15. O'z-o'zini kuchaytiruvchi zanjir reaksiyasi ro'y berishi uchun faol zonaning hajmi

qanday bo'lishi kerak? 16. Kritik massa deb qanday massaga aytiladi? 17. Kritik massa qancha bo'lishi mumkin? 18. Reaktorda uran-239 qanday hosil bo'ladi? 19. Neptun-239 chi? 20. Plutoni-239 ning hosil bo'lish sxemasini tushuntiring. 21. Plutoni-239 qanday xususiyatlarga ega? 22. Uran-235 ning bo'linishi qanday mahsulotlarning hosil bo'lishiga olib kelar ekan? 23. Neytronlarning energiyasiga qarab reaktorlarning qanday turlari mavjud? 24. Yonilg'ining turiga qarab reaktorlarni qanday turlarga ajratish mumkin? 25. Vazifasiga qarab reaktorlarning qanday turlari mavjud? 26. Yadro reaktoridan chiqadigan qanday mahsulotlar juda xavfli hisoblanadi? 27. Ulardan himoyalani uchun nima ishlar qilinadi? 28. Atom bombasini qanday reaktor sifatida qarash mumkin? 29. Atom bombasida yonilg'i sifatida nimalardan foydalaniladi? 30. Bunday yonilg'ilar uchun kritik massa nimaga teng? 31. Portlashgacha yadro zaryadi qanday saqlanadi? 32. Nima uchun shunday qilinadi? 33. Qachon boshqarilmaydigan zanjir reaksiyasi ro'y beradi? 34. Yadro zaryadlarini birlashtirish qanday amalga oshiriladi? 35. Atom bombasining asosiy shikastlovchi omillari nima?

### **43-§. Atom energetikasi va undan tinchlik maqsadlarida foydalanish**

**Mazmuni:** atom energetikasining qulayliklari; ko'chma atom dvigatellari.

**Atom energetikasining qulayliklari.** Insoniyat doimo arzon va qulay energiya manbalariga ega bo'lishga intilgan. Yadro reaktorlarining yaratilishi esa yadro energetikasining sanoatda qo'llanilishiga, ya'ni undan inson ehtiyojlari uchun foydalanishga imkon yaratdi. Yadro yonilg'isining zaxiralari kimyoviy yonilg'i zaxiralariidan yuzlab marta ko'p. Shuning uchun elektr energiyaning asosiy qismi atom elektr stansiyalarida (AES) ishlab chiqarilganda edi, bu, bir tomondan, elektr energiyaning tannarxini kamaytirsa, ikkinchi tomondan, insoniyatni bir necha yuz yillar davomida energetika muammolaridan xalos qilgan bo'lardi. AES larning ancha kichik maydonni egallashini ham ta'kidlash lozim. Dunyoda birinchi AES 1954- yilda Obninsk shahrida ishga tushirilgan. Undan keyin esa juda ko'p ulkan AES lar qurildi va muvaffaqiyatli faoliyat ko'rsatib kelmoqda.

**Ko'chma atom dvigatellari.** Yadro yonilg'isining yuqori unumdorligi va yadro dvigatellarining mustaqil ishlash imkoniyati ulardan suvosti va suvosti kemalarida foydalanish imkoniyatini yaratdi. Hozirgi kunda «Arktika», «Sibir» kabi ko'plab atom muziyorarlari va atom reaktorlaridan energiya olib ishlovchi ko'plab suvosti kemalari faoliyat ko'rsatmoqda.

AES larda texnika xavfsizligi qoidalariga qat'iy rioya qilish kerak. Aks holda, bu katta halokatlarga olib kelishi mumkin. Chernobil AES da bo'lgan halokat bunga misol bo'la oladi.



### Sinov savollari

1. Yadro reaktorlarining yaratilishi insoniyatga qanday imkoniyatlar yaratdi? 2. AES larda elektr energiya ishlab chiqarishning qanday qulayliklari mavjud? 3. Dunyoda birinchi AES qachon ishga tushirilgan? 4. Yadro dvigatellaridan mustaqil holda foydalanish mumkinmi? 5. Bunday dvigatellardan mustaqil foydalanilgan hollarga misollar keltiring. 6. Chernobil AES da bo'lgan halokat haqida nimalarni bilasiz?

## 44-§. Sun'iy radioaktiv izotoplarning olinishi va qo'llanilishi

M a z m u n i: radioaktiv izotoplarning olinishi; radioaktiv izotoplardan foydalanish.

**Radioaktiv izotoplarning olinishi.** Sun'iy radioaktivlikning, ya'ni yadro reaksiyalari natijasida radioaktiv yadrolarning kashf qilinishi, sun'iy radioaktiv izotoplarning yaratilishiga olib keldi.

Sun'iy yo'l bilan hosil qilingan birinchi element texnetsiy  ${}_{43}^{99}\text{Tc}$  dir. U 1937- yilda molibdenni deyteriy bilan bombardimon qilish natijasida hosil qilindi:



Keyinchalik Mendeleev elementlar davriy sistemasining bo'sh turgan 43, 61, 85, 87- katak elementlarining izotoplari topildi. Hozirgacha sun'iy radioaktivlik yordamida 93 dan 109 gacha bo'lgan elementlar kashf qilingan.

**Radioaktiv izotoplardan foydalanish.** Radioaktiv izotoplardan foydalanish ular chiqaradigan radioaktiv nurlarning singish va ionlashtirish qobiliyatlariga asoslangan. Shu sababli, ular oxirgi paytlarda ilmiy izlanishlarda, sanoatda, qishloq xo'jaligida va tibbiyotda juda keng qo'llanilmoqda.

Misol uchun, o'rganilayotgan obyektga oldindan kiritilgan radioaktiv izotop uning bundan keyingi barcha jarayonlardagi ishtiroki haqida ma'lumot berib boradi. Ushbu *tamg'alangan atomlar usuli* yoki radioaktiv indikator o'zining universalligi, aniq-ligi, tezkorligi va ishonchliligi bilan tengsiz hisoblanadi. Radioaktiv



izotoplarning tibbiyotda qo'llanilishi xavfli o'smalar (rak) va boshqa kasalliklarni aniqlash hamda ularni davolashda katta imkoniyatlar yaratdi.

Bugungi kunda radioaktiv izotoplar qo'llaniladigan sohalar shu qadar xilma-xilki, ularni birma-bir sanab o'tishning o'zi mushkul. Aziz o'quvchi, siz ular bilan mustaqil tanishasiz, degan umiddamiz.



### Sinov savollari

1. Sun'iy radioaktivlik deb nimaga aytiladi? 2. Sun'iy radioaktivlik qanday imkoniyatlarni yaratdi? 3. Sun'iy yo'l bilan qanday elementlarning izotoplari kashf qilingan? 4. Radioaktiv izotoplardan foydalanish nimaga asoslangan? 5. Tamg'alangan atomlar usulining mohiyati nimada? 6. Bu usulning qanday afzalliklari bor? 7. Radioaktivlik tibbiyotda ham qo'llaniladimi? 8. Radioaktivlikning qo'llanilishiga uchta misol keltiring.

## 45-§. Radioaktiv nurlanishning biologik ta'sirlari

**M a z m u n i:** radioaktiv nurlanishning jonli organizmga ta'siri; nurlanish turlari; organlarning nurlanishga chidamliligi; nurlanish dozasi; biologik doza.

**Radioaktiv nurlanishning jonli organizmga ta'siri.** Radioaktiv nurlanish ta'sirida jonli organizm atom va molekularining ionlashuvi ro'y beradi. Bu esa molekular bog'lanishlarning va turli birikmalar kimyoviy tuzilishining buzilishiga olib keladi. Hujayraning kimyoviy tuzilishidagi buzilish esa undagi modda almashinuvining buzilishiga va natijada hujayraning halokatiga sabab bo'ladi.

To'qima birlik massasi yutadigan energiya, ya'ni yutiladigan nurlanish dozasi ortishi bilan nurdan zararlanish darajasi ham ortib boradi.

Organizmning nurlanish ta'siriga umumiy reaksiyasi nurlanish dozasiga, nurning turiga, nurlanayotgan sirtning o'lchamlariga, nurlanayotgan organning sezgirligiga, organizmning individual xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. Masalan, turli nurlarning bir xil dozasining biologik ta'siri bir xil bo'lmaydi. Bunga sabab, ular vujudga keltiradigan ionlashuv zichligining bir xil bo'lmasligidir. Ionlashuvning zichligi nur ta'sirining kuchliligidan darak beradi.

**Nurlanish turlari.** Nurlanishning organizmga ta'sirini baholaganda tashqi va ichki nurlanishlarni farqlash kerak. Radiatsiyaning ba'zi turlari (masalan,  $\alpha$ -nurlar) tashqi nurlanishda uncha xavfli bo'lmas-da, biror ichki organizmda nurlanganda jiddiy xavf

tug'dirishi mumkin. Alfa-zarralar tashqi nurlanishda teriga bir necha mikrometrlargagina singib, ustki qatlamlarda tutib qolinadi va jiddiy zarar keltirmaydi.

Tashqi nurlanishda gamma (va rentgen) nurlaridan va neytronlardan himoyalanihga alohida e'tibor bermoq kerak. Chunki bu nurlar katta singish qobiliyatiga ega. Beta-zarralar esa to'qimaga bir necha millimetrlargagina singib, teri va teri osti hujayralari tomonidan yutiladi.

**Organlarning nurlanishga chidamliligi.** Turli organizmlarning ionlashtiruvchi nurlanishlarga chidamliligi katta oraliqda o'zgaradi. Binobarin, organizm qanchalik katta va murakkab bo'lsa, nurlanish ta'sirida shunchalik tez yemiriladi. Masalan, bakteriyaning yadro nurlanishiga chidamliligi odamnikiga nisbatan ming marta kuchliroqdir.

Tez rivojlanayotgan organizmning nurga sezgirligi ham ancha kuchli bo'ladi: ko'payayotgan organlar yaxshi rivojlangan muskul to'qimasiga nisbatan, hayvonlarning rivojlanayotgan embrioni kattasiga nisbatan, o'sayotgan urug' tinch turganiga nisbatan tez yemiriladi.

Yana shuni ta'kidlash lozimki, kam dozadagi nurlanish, garchi yomon genetik o'zgarishlarga sabab bo'lsa ham, ba'zi hollarda o'simliklarning, ba'zida esa jonli organizmlarning o'sishiga va rivojlanishiga ham olib kelishi mumkin.

**Nurlanish dozasi.** Nurlanishning jonli organizmga ta'siri *nurlanish dozasi* bilan xarakterlanadi.

**Organizmning bir birlik massasi tomonidan yutiladigan ionlovchi nurlanish energiyasiga nurlanish dozasi deyiladi:**

$$D = \frac{E}{m}. \quad (45.1)$$

Bu yerda  $E$  — organizm tomonidan yutiladigan ionlovchi nurlanish energiyasi,  $m$  — massasi. Nurlanish dozasi SI dagi birligi grey (Gr):

$$[D] = \frac{[E]}{[m]} = \frac{1\text{J}}{1\text{kg}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 1\text{Gr}.$$

Nurlanishning ekspozitsion dozasi deb, nurlanish ta'sirida havoning ionlashish darajasiga aytiladi.

$$D_{eks} = \frac{Q}{m},$$

Q — nurlanish taʼsirida organizmda hosil boʻlgan ionlar zaryadlarining miqdori. Nurlanishning ekspozitsion dozasining SI dagi birligi  $\frac{C}{kg}$ :

$$[D_{eks}] = \frac{[Q]}{m} = \frac{1C}{1kg} = 1 \frac{C}{kg}.$$

Ekspozitsion nurlanish dozasining sistemaga kirmaydigan birligi — *rentgen* (R) ham mavjud:  $1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} C/kg$ .

Bir xil dozadagi turli xil nurlanishlarning inson organizmiga taʼsiri bir xil emas. Shu sababli nurlanishning xavfsizligini baholash uchun *nisbiy biologik faollik* deb ataluvchi *k* koeffitsiyent kiritiladi.

Rentgen nurlari, gamma-nurlar va elektronlar uchun  $k = 1$ , sekin neytronlar uchun  $k = 5$ , tez neytronlar va protonlar uchun  $k = 10$ ,  $\alpha$ -zarralar uchun  $k = 20$  va h.k.

**Biologik doza.** *Biologik doza deb, nurlanishning organizmga taʼsirini aniqlovchi kattalikka aytiladi.*

Biologik dozaning birligi — rentgenning biologik ekvivalenti (ber). 1 ber — istalgan nurlanishning 1 R (rentgen) yoki gamma-nurlanish koʻrsatadigan biologik taʼsiriga teng, ionlashtirish qobiliyatiga ega nurlanish dozasidir.

Radiatsiyaning tabiiy foni (kosmik nurlar, atrofdagi jismlar va inson tanasining radioaktivligi) bir yilda  $2,5 \cdot 10^{-5} C/kg$  atrofidagi biologik dozani tashkil qiladi.

Nurlanish bilan ishlovchilar uchun bir yildagi chegaraviy norma qilib  $1,3 \cdot 10^{-3} C/kg$  doza belgilangan. Qisqa payt ichida olinadigan  $0,15 C/kg$  biologik doza oʻlimga olib keladi.



### Sinov savollari

1. Radioaktiv nurlanishlar taʼsirida jonli organizmlarda qanday oʻzgarishlar roʻy beradi?
2. Bu oʻzgarishlar qanday natijalarga olib keladi?
3. Nurdan zararlanish darajasi nimalarga bogʻliq?
4. Organizmning nurlanish taʼsiriga umumiy reaksiyasi nimalarga bogʻliq?
5. Vujudga keladigan ionlashuv nimalarga bogʻliq?
6. Tashqi va ichki nurlanishlar taʼsirlari bir-biridan farq qiladimi?
7. Alfa-zarralarning tashqi taʼsiri qanday boʻladi?
8. Nima uchun gamma-nurlanish va neytronlar taʼsiri xavfli hisoblanadi?
9. Beta-nurlanish teriga qancha singgadi?
10. Qanday organizm nurlanish taʼsirida tez yemiriladi?
11. Bakteriyaning nurlanishga chidamliligi kattami yoki odamniki?
12. Rivojlanayotgan organizmning nurga sezgirligi qanday?

13. Nurlanish ta'sirida o'sayotgan urug' tez yemiriladimi yoki tinch turganimi? Ko'payayotgan organlar tez yemiriladimi yoki rivojlangan muskul to'qimasimi? 14. Radioaktiv nurlanish o'simliklar va jonli organizmlarning rivojlanishiga yordam ko'rsatishi mumkinmi? 15. Nurlanish dozasi nimani xarakterlaydi? Nurlanishning ekspozitsion dozasi-chi? 16. SI da nurlanish dozasi qanday birligi ishlatiladi? 17. 1 C/kg nurlanish dozasi deb, qanday nurlanishga aytiladi? 18. Nurlanishning nisbiy biologik koeffitsiyenti nima maqsadda kiritiladi? 19. Uning qiymatlari qanday? 20. Ekspozitsion dozaning sistemaga kirmaydigan birligi ham mavjudmi? 21. Biologik doza deb qanday kattalikka aytiladi? 22. Uning birligi nimaga teng? 23. Radiatsiyaning tabiiy foni nimaga teng? 24. Nurlanish bilan ishlovchilar uchun chegaraviy norma qancha belgilangan? 25. Qanday doza o'limga olib kelishi mumkin?

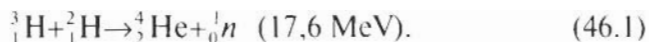
## 46-§. Termoyadro reaksiyalari

**M a z m u n i :** termoyadro sintezi; energiya balansi; termoyadro energetikasi muammolari.

**Termoyadro sintezi.** 32- § da qayd etilganidek, nafaqat og'ir yadrolarning bo'linishida, balki yengil yadrolarning qo'shilib og'irroq yadrolar hosil qilishida (sintezida) ham energiya ajralib chiqadi.

Normal sharoitda yadrolarning qo'shilishi mumkin emas, chunki musbat zaryadlarga juda katta kulon itarishish kuchi ta'sir qiladi. Bu yadrolarni qo'shish uchun esa ularni shunday yaqinlashtirish kerakki, bunda yadro tortishish kuchlari kulon itarishish kuchlaridan kattaroq bo'lib qolsin. Buning uchun esa yadrolarning kinetik energiyalarini orttirish, ya'ni temperaturasini ko'tarish kerak bo'ladi. Juda yuqori temperaturalardagina bu yadrolar bir-birlariga juda yaqin kelishlari, yadro kuchlari ta'sirida bog'lanishlari va og'irroq yadroga birikishlari mumkin. Bunday hol  $10^7$  K va undan yuqori temperaturalarda ro'y beradi. Shu sababli, bunday reaksiyalarga *termoyadro reaksiyalari*, yengil yadrolarning qo'shilib og'irroq yadro hosil qilishiga esa *termoyadro sintezi* deyiladi.

**Energiya balansi.** Yengil yadrolarning qo'shilishi natijasida katta miqdorda energiya ajralib chiqadi. Chunki hosil bo'lgan yangi yadrolarning solishtirma bog'lanish energiyasi katta bo'ladi (61- rasimga qarang). Agar har bir nuklonga uran yadrosining parchalanishida 1 MeV energiya ajralishi mos kelsa, deyteriy va tritiyning sintezida 3,52 MeV energiya to'g'ri keladi:



Deyteriy yadrosining bog'lanish energiyasi 2,2 MeV, tritiy yadrosiniki – 8,5 MeV, geliyniki esa 28,3 MeV. Demak, reaksiya natijasida

$$28,3 \text{ MeV} - (2,2 + 8,5) \text{ MeV} = 17,6 \text{ MeV} \quad (46.2)$$

energiya ajralib chiqadi. Har bir nuklonga to'g'ri keladigan energiyani topsak,

$$\frac{17,6 \text{ MeV}}{5} \approx 3,52 \text{ MeV}. \quad (46.3)$$

Ya'ni har bir nuklonga bo'linish reaksiyasinikiga qaraganda qariyb to'rt marta ko'proq energiya to'g'ri keladi.

Vodorod bombasining asosida yuqorida keltirilgan deyteriy va tritiyning qo'shilish reaksiyasi yotadi. Bunday bombada dastlab atom bombasi portlab,  $10^7$  K temperaturani vujudga keltiriladi, so'ngra boshqarilmaydigan termoyadro reaksiyasi (portlash) ro'y beradi.

**Termoyadro energetikasi muammolari.** Termoyadro reaksiyasida ajraladigan energiyadan foydalanish imkoni topilganda insoniyat eng arzon va eng katta energiya manbayiga ega bo'lardi. Chunki dengiz va okeanlarning suvlari yadro yonilg'isi bo'lardi. Shuning uchun ham termoyadro reaksiyasini boshqarish yo'llarini izlash barcha rivojlangan mamlakatlarda, turli yo'nalishlarda olib borilmoqda.

Yuqorida qayd etilganidek, bu muammoni yechish yo'lidagi asosiy qiyinchilik yuqori temperatura hosil qilishdir. Hozirgi paytda vodorod plazmasida juda yuqori temperaturalar hosil qilish usuli ustida ish olib borilmoqda. Umuman olganda, kichkina hajmga yo'naltirilgan kuchli lazer nuri yordamida o'ta yuqori temperatura ( $10^8$  K) hosil qilinib, termoyadro reaksiyasi amalga oshirildi ham. Ammo yuqori temperaturani saqlash uchun plazmani qurilma devorlaridan ajratmoq kerak. Aks holda, plazma bir lahzadayoq soviydi va yo'qoladi. Demak, plazmani saqlashning yagona yo'li uni vakuum (bo'shliq) bilan o'rashdir. Shu maqsadda issiqlikning magnit izolatsiyasidan foydalaniladi. Bu yo'nalishdagi eng istiqbolli qurilma «Tokomak» (Toroidli magnit kamerasi) hisoblanadi.

Shuni ta'kidlash lozimki, hozirgi paytda erishilgan temperatura plazmaning zichligini uzoq vaqt ushlab turish va ko'p miqdordagi yengil yadrolarning boshqariladigan sintezini amalga oshirish

uchun yetarli emas. Hatto I.V.Kurchatov nomidagi atom energetikasi institutidagi «Tokomak-15» qurilmasida ham bor-yo‘g‘i 80 ms davomida  $-10^6$  K temperaturali plazma hosil qilishga erishildi, xolos. Ammo termoyadro energetikasi muammolarini bartaraf etishdagi tinimsiz izlanishlar tez vaqtlarda samara berishiga shubha yo‘q.



### Sinov savollari

1. Yengil yadrolarning sintezida ham energiya ajraladimi? 2. Odatdagi sharoitlarda ham yadrolar qo‘shiladimi? 3. Qanday qilib yengil yadrolarning qo‘shiluviga erishiladi? 4. Yengil yadrolar qanday temperaturalarda bitta yadroga birikishlari mumkin? 5. Termoyadro reaksiyalari deb qanday reaksiyalarga aytiladi? 6. Termoyadro sintezi deb-chi? 7. Deytiri va tritiy sintezida qancha energiya ajralib chiqadi? 8. Bu sintezda ajraladigan energiya har bir nuklonga qanchadan to‘g‘ri keladi? 9. Bu energiya yadro parchalanish reaksiyasinikidan kattami yoki kichikmi? 10. Vodorod bombasining portlashida qanday reaksiya ro‘y beradi? 11. Termoyadro reaksiyasini boshqarish qanday imkoniyatlar yaratishi mumkin? 12. Bu yo‘ldagi asosiy qiyinchilik nimadan iborat? 13. Plazmani qurilma devorlaridan ajratish nima uchun kerak? 14. Plazma qanday qilib devorlardan ajratilishi mumkin? 15. «Tokomak» qanday qurilma? 16. Hozirgi paytda, boshqariladigan termoyadro sinteziga erishish yo‘lida qanday natijalarga erishilgan?

## 47-§. Quyosh va yulduzlar. Quyosh va yulduzlar energiyasi

**M a z m u n i:** Quyoshning tuzilishi; Quyosh va yulduzlar yadrosi termoyadro reaktori sifatida; proton-proton sikli; uglerod sikli.

**Quyoshning tuzilishi.** Quyosh Yerga eng yaqin joylashgan yulduzdir. Shuning uchun uning tuzilishini bilish va unda ro‘y beradigan jarayonlarni o‘rganish barcha yulduzlar haqida ma‘lum xulosa chiqarishga imkon beradi. *Quyoshning 80% dan ortig‘ini vodorod atomlari va 18% ini geliy atomlari tashkil qiladi.* Quyosh energiyasining asosiy manbai bo‘lmish termoyadro reaksiyalari uning yadrosida ro‘y beradi (69- rasm). Plazma holatidagi Quyosh yadrosining radiusi umumiy radiusining taxminan uchdan biriga teng bo‘lib, temperaturasi o‘n million kelvin ( $10\,000\,000$  K) ga teng. Yadrodan keyin, taxminan shuncha qalinlikdagi, *nurlanish energiyasini tashish zonasi* joylashgan. Undan keyin taxminan ikki yuz ming kilometr qalinlikdagi *konvektiv zona* keladi. Bu zona Quyoshning tashqi qatlamlari – atmosferaga tutashib ketgan.



69- rasm.

Quyoshning markazi

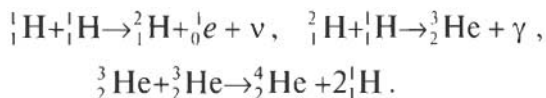
Quyosh atmosferasi *fotosfera*, *xromosfera* va *tojdan* iborat. Garchi Quyosh atmosferasining tashqi qatlamlaridagi temperatura 1 MK atrofida bo'lsa ham, ularning nurlanishi Quyosh chiqaradigan energiyaning juda kam qismini tashkil qiladi. Quyosh chiqaradigan energiyaning asosiy qismini fotosferadan chiqadigan nurlanish tashkil qiladi. Shuning uchun ham fotosferaning 6000 K temperaturasi Quyoshning temperaturasi deb olinadi. Vaqt-vaqti bilan Quyosh fotosferasida faol zonalar – quyosh dog'lari paydo bo'ladi. Bu dog'larning o'rni va kattaligi o'n bir yillik davr bilan o'zgarib turadi. Quyosh aktivligining bunday o'zgarishiga sabab, undagi ionlashgan moddalarning Quyosh magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri hisoblanadi.

Quyosh koinotda mavjud bo'lgan hisobsiz yulduzlardan biridir.

#### **Quyosh va yulduzlar yadrosi termoyadro reaktori sifatida.**

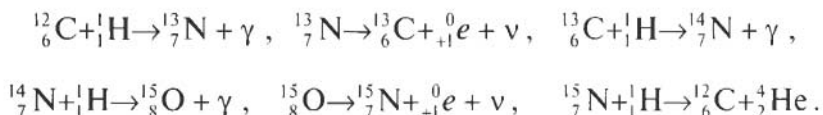
Barcha yulduzlarning, jumladan, Quyoshning yadrosida ham termoyadro sintezi ro'y beradi. Quyoshsimon yulduzlarning ham, xuddi Quyosh singari, 80% massasini vodorod, qolgan 20% ga yaqinini geliy tashkil qiladi. Ularning yadrosidagi temperatura  $10^7$ – $10^8$  K ga teng bo'lib, barcha atomlar to'la ionlashgan, ya'ni plazma holatida bo'ladi. Ularning yadrosida tinimsiz termoyadro sintezi ro'y berib turadi. Shuning uchun ham Quyosh va yulduzlar yadrosini termoyadro reaktori sifatida qarash mumkin. Ularda quyidagi ikki xil sikl ro'y berishi mumkin.

**Proton-proton sikli.** Quyoshning qa'rida ro'y berishi mumkin bo'lgan termoyadro reaksiyalaridan biri, *proton-proton sikli* deb ataluvchi quyidagi reaksiyalardir:



Bu termoyadro reaksiyalari natijasida to'rtta vodorod yadrosi (proton) bitta geliy yadrosiga aylanadi va shuning uchun *proton-proton sikli* deyiladi. Proton-proton siklida 27 MeV energiya ajraladi.

**Uglerod sikli.** Quyoshdan ko'ra yorqinroq yulduzlarda uglerod sikli ro'y beradi. Bu siklda ham, xuddi proton-proton siklidagi kabi, to'rtta vodorod yadrosining bitta geliy yadrosiga aylanishi ro'y beradi. Reaksiyada qatnashadigan uglerod yadrolarining soni o'zgarmay qoladi, chunki u katalizator vazifasiningina o'taydi. Bu siklda oraliq reaksiyalarda uglerodan azot hosil bo'ladi. Azot vodorodning geliyga aylanish reaksiyasining yordamchi mahsuloti bo'ladi. Uglerod sikli quyidagicha ro'y beradi:



Sikl natijasida 26,7 MeV energiya ajraladi.



### Sinov savollari

1. Quyosh ham yulduzmi? 2. Quyosh qanday elementlardan tarkib topgan? 3. Uning yadrosining o'lchamlari va temperaturasi qanday? 4. Quyoshning tuzilishi qanday? 5. 70- rasmni tahlil qiling. 6. Quyoshning atmosferasi qanday tuzilgan? 7. Quyoshdan chiqadigan nurlanishning asosiy qismi qayerdan chiqadi? 8. Quyosh sirtining temperaturasi qanday? 9. Quyosh dog'larining paydo bo'lishiga sabab nima? 10. Quyosh energiyasining manbai nima? 11. Yulduzlar yadrosidagi temperatura qancha? 12. Quyosh va yulduzlarning yadrolari nimaga o'xshaydi? 13. Proton-proton sikli qanday reaksiyalardan iborat? 14. Proton-proton siklida qancha energiya ajraladi? 15. Uglerod sikli qanday ro'y beradi? 16. Uglerod siklida uglerod miqdori o'zgaradimi? 17. Uglerod siklida azot hosil bo'ladimi? 18. Uglerod siklida qancha energiya ajraladi?

## 48-§. O'zbekistonda yadro fizikasi sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar va ularning natijalaridan xalq xo'jaligida foydalanish

Mazmuni: yadro fizikasi sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar; tadqiqotlar natijalaridan xalq xo'jaligida foydalanish.



**Yadro fizikasi sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar.** O'zbekistonda yadro fizikasi sohasidagi ishlar o'tgan asrning 20- yillarida boshlangan. Lekin muntazam tadqiqotlar 1949- yilda Fizika-texnika institutida yo'lga qo'yilgan. 1956- yilda O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining yadro fizikasi instituti tashkil qilingandan keyin, bu tadqiqotlarni yanada kengaytirish imkoni tug'ildi. Hozirgi paytda *yadro spektroskopiyasi va yadro tuzilishi; yadro reaksiyalari; maydonning kvant nazariyasi; elementar zarralar fizikasi; relativistik yadro fizikasi* va boshqa yo'nalishlar bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Radiatsion fizika va materialshunoslik bo'yicha o'tkaziladigan tadqiqotlar nafaqat fan va texnika, balki xalq xo'jaligi uchun ham muhimdir. Bu yo'nalishda radioaktiv nurlarning yarimo'tkazgichlar, dielektriklar, sopollar, yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchan materiallarning elektr o'tkazuvchanligi, mexanik, optik va boshqa xossalari ta'siri o'rganilmoqda.

O'zbekistonda yuqori energiyalar fizikasi sohasida olib borilayotgan ishlar ham talaygina. Bunday izlanishlar «Fizika-quyosh» ishlab chiqarish birlashmasining Fizika-texnika institutida, O'zbekiston Milliy universitetining Fizika institutida va Samarqand davlat universitetida olib borilmoqda. Tadqiqotlar asosan ikki: kosmik nurlar fizikasi va katta energiyagacha tezlashtirilgan zarralar va yadrolarning, nuklonlar va yadrolarning ta'sirlashuvlari yo'nalishlarida olib borilmoqda.

1970- yilda Cherenkov hisoblagichlari asosida zarralarning yadro bilan o'zaro ta'sirini o'rganuvchi ulkan qurilma yaratilib, hosil bo'lgan zarralarning xarakteristikalarini o'rganildi.

Tezlashtirilgan zarralar va yadrolar ta'sirlashuvlarini o'rganish maqsadida pufaksimon kameralardan olingan filmlil axborotlarni qayta ishlash markazi tashkil qilindi. Markazning samarali tadqiqotlari natijasida komulativ izoborlar hosil bo'lishi o'rganildi va massalari 1903, 1922, 1940, 1951 va 2017 MeV bo'lgan tor, ikki barionli rezonanslar mavjudligi haqida ma'lumotlar olindi.

Quyosh atmosferasida bo'ladigan hodisalar Yerdagi hayotga bevosita ta'sir etishi mumkinligi uchun ham, uni o'rganish sohasidagi tadqiqotlar muhim ahamiyatga egadir. Aynan shuning uchun ham O'zbekiston Fanlar akademiyasining Astronomiya instituti 80- yillarning o'rtalaridan boshlab fransuz olimlari bilan hamkorlikda, Quyoshning global tebranishini tadqiq etish sohasida keng ko'lamlil ishlar olib bormoqdalar.

O'zbek olimlarining yadro fizikasi sohasida olib borayotgan ishlari ko'lamini ancha katta va ularning natijalari xalq xo'jaligida ham muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda.

**Tadqiqotlar natijalaridan xalq xo'jaligida foydalanish.** O'zbekistondagi birinchi tadqiqotlarning o'ziyoq bevosita xalq xo'jaligiga aloqador bo'lgan. Bunga U.Orifov tomonidan ishlab chiqilgan «Gamma-nurlar yordamida pilla ichidagi ipak qurtini o'ldirish» usuli misol bo'ladi. Keyinchalik esa suv, tuproq, mevali daraxtlar, yovvoyi va madaniy o'simliklarning tabiiy radioaktivligi o'rganildi.

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining Yadro fizikasi instituti radioaktiv izotoplar, jumladan, farmatsevtik radioaktiv preparatlar ishlab chiqarish bo'yicha yetakchi tashkilotlardan biri hisoblanadi. Bu yerda 1995- yilda 60 dan ortiq nomdagi mahsulot ishlab chiqarilgan.

Radioaktiv va gamma-nurlarning o'simliklarga ta'sirini o'rganish ham qishloq xo'jaligi, ayniqsa, urug'shunoslik sohasida muhim ahamiyatga ega. O'zbekistondagi g'o'za navlarining radioaktiv nurlarga sezgirligini o'rganish, g'o'za seleksiyasida bu usuldan foydalanilayotganligi – yadro fizikasining bevosita ishlab chiqarishga qo'llanilayotganligining yaqqol dalilidir.

Yadro fizikasi sohasidagi tadqiqotlarning tibbiyotda keng qo'llanilayotganligi ham ma'lum. Bunga, ayniqsa, radioaktiv nurlar va zarralar oqimi yordamida rak kasalligini davolashni ham misol sifatida keltirish mumkin. Rentgenologiya va radiologiya sohasidagi dastlabki ishlar ham Yadro fizikasi institutining radiokimyolaboratoriyasi bilan hamkorlikda boshlangan. Natijada radioaktiv izotoplardan foydalanilgan holda yangi tashxis usullari yaratildi. Hozirgi paytda rentgeno-endovaskular xirurgiya, antiografiya, kompyuter tomografiyasi va yadro-magnit rezonanslari ustida tadqiqotlar olib borilmoqda. Yangi rentgenokonstrast moddalar («Rekon», «MM-75» preparati va boshqalar) ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi.



## Sinov savollari

1. O'zbekistonda yadro fizikasi sohasidagi ishlar qachon boshlangan?
2. Hozirgi paytda qaysi yo'nalishlar bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda?
3. Yuqori energiyalar fizikasi sohasidagi ishlar qayerlarda olib borilmoqda?
4. Ular qanday yo'nalishlar bo'yicha olib boriladi?
5. Quyosh xromosferasini o'rganish bo'yicha tadqiqotlarning qanday ahamiyati bor?
6. O'zbekistonda bu sohada qanday ishlar qilinmoqda?
7. O'zbekistonda bu sohadagi birinchi tadqiqotlar nimalarga bag'ishlangan edi?
8. Yadro fizikasi institutida nimalar ishlab chiqariladi?
9. Radioaktiv

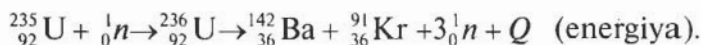
nurlarning qishloq xo'jaligida qo'llanilishiga misollar keltiring. 10. Rak kasalini davolash mumkinmi? 11. Rentgenologiya va radiologiya sohasidagi ishlar nimaga asoslangan? 12. Bu sohada erishilgan muvaffaqiyatlar nimalardan iborat?

### Test savollari

- Og'ir yadrolar o'rta yadrolarga aylansa, unda har bir nuklon uchun qanchadan energiya ajralib chiqadi?  
A. 200 MeV. B. 1 MeV. C. 4 MeV. D. 400 MeV. E. 100 MeV.
- Yadro reaktorining yoqilg'isi sifatida qanday izotoplardan foydalaniladi?  
A. Uran-235. B. Toriy-135. C. Plutoniy-239.  
D. Uran-239 E. To'g'ri javob yo'q.
- Nurlanish bilan ishlovchilar uchun bir yildagi chegaraviy norma qilib qancha C/kg doza (Kulon/kilogramm) belgilangan?  
A. 0,15 C/kg. B.  $1,3 \cdot 10^{-6}$  C/kg. C.  $1,1 \cdot 10^{-5}$  C/kg.  
D.  $1,3 \cdot 10^{-3}$  C/kg. E.  $1,5 \cdot 10^{-3}$  C/kg.
- Yengil yadrolar qanday temperaturalarda bitta yadroga birikishlari mumkin?  
A.  $10^7$  K. B.  $10^{17}$  K. C.  $10^{15}$  K. D.  $10^4$  K. E.  $10^8$  K.
- Ikki protonning birikish reaksiyasi natijasida deytron va neytrino hosil bo'ladi. Bunda yana qanday zarra paydo bo'ladi?  
A. Elektron. B. Neytrino. C. Foton. D. Pozitron. E.  $\pi$ - mezon.

### Bobning asosiy xulosalari

Bo'linish reaksiyasining quyidagicha holi eng ko'p ro'y beradi:



Og'ir yadroning bo'linish zanjir reaksiyasini amalga oshirish va boshqarish imkoniyatini beradigan qurilma *yadro reaktori* deyiladi.

Quyoshdagi reaksiyalar  $10^7$  K va undan yuqori temperaturalarda ro'y beradi. Shu sababli bunday reaksiyalar *termoyadro reaksiyalari*, yengil yadrolarning qo'shilib og'irroq yadro hosil qilishi esa *termoyadro sintezi* deyiladi.

*Quyoshning tuzilishi.* Quyoshning 80% dan ortig'ini vodorod atomlari va 18% ini geliy atomlari tashkil etadi.



## OLAMNING ZAMONAVIY FIZIK MANZARASI

**M a z m u n i :** olam nimadan tashkil topgan; atomlar va molekularlar; elektronlar va yadro; elementar zarralar; kvarklar; fundamental ta'sirlashuvlar; gravitatsion ta'sirlashuv; elektromagnit ta'sirlashuv; kuchli ta'sirlashuv; kuchsiz ta'sirlashuv; ta'sirlashuv maydonlari; tabiat qonunlarining universalligi; buyuk birlashuv nazariyasi; xulosa.

Insoniyat doimo o'z atrofidagi olamni bilishga va tushunishga intilgan. Bu yo'lda qilingan barcha harakatlar, asosan, quyidagi savollarga javob izlashdan iborat bo'lgan:

- Materiya nimalardan tashkil topgan?
- Ularni nima birlashtirib turadi?

Biz ham ushbu savollarga olamning fizik manzarasi nuqtayi nazaridan qisqacha to'xtalib o'tamiz.

**Olam nimadan tashkil topgan?** Bu savolga javob izlash juda qadim zamonlarda boshlangan. Unga faylasufona yondashgan qadimgi yunonlar – «agar hamma narsa bo'linaversa, unda moddiy dunyo bo'lmasligi kerak-ku», degan fikrni bildirishgan. So'ngra, bo'linishning chegarasi bo'lmog'i, ya'ni bo'linmas zarralar mavjud bo'lishi kerak, degan xulosaga kelishgan. Demokrit, Levkipp va Epikur fikriga ko'ra, olam «bo'linmas» zarralardan, ya'ni atomlardan tashkil topgan. Levkipp, atomlar turli-tuman: aylana, piramida, yassi va boshqa shakllarga ega, shuning uchun ulardan tashkil topgan dunyo ham turli-tumandir, deb hisoblagan.

**Atomlar va molekularlar.** Lekin bu fikrlar to'la tasdiqlanishi va atom to'g'risida tasavvurga ega bo'lish uchun bir necha yuzlab yillar vaqt o'tgan. Faqat o'n to'qqizinchi asrning boshlariga kelib J. Dalton, A. Avogadro, Y. Berselius va boshqa olimlarning xizmatlari tufayli, kattaligi  $10^{-10}$  m bo'lgan atom kimyoviy elementlarning eng kichik zarrasi sifatida tasavvur qilina boshlandi. O'n to'qqizinchi asrning o'rtalariga kelib, atom va molekula o'rtasidagi aniq chegara belgilab olindi. D. I. Mendeleyev tomonidan elementlar davriy sistemasining kashf qilinishi esa atomning murakkab tuzilishga ega ekanligini ko'rsatdi.

1895- yilda rentgen nurlarining, 1896- yilda radioaktivlikning, 1897- yilda esa elektronning kashf qilinishi, atomning bo'linmasligi

to'g'risidagi tasavvurlarni chilparchin qilib tashladi. Atom materiyaning eng kichik g'ishtchalari emasligi aniq bo'lib qoldi.

**Elektronlar va yadrolar.**  $\alpha$ - zarralarning og'ir elementlarning atomlarida sochilishini o'rgangan E.Rezerford, 1911- yilda atomning planetar modelini taklif qildi. Bu g'oyaga muvofiq, bo'linmas hisoblanmish atom, atomdan yuz ming marta kichik bo'lgan yadro va uning atrofida harakatlanuvchi elektronlardan tashkil topgan.

1932- yilda esa yadroning proton-neytron modeli taklif qilindi. Bu modelga ko'ra, istalgan kimyoviy element atomining yadrosi ikki xil zarra – protonlar va neytronlardan tashkil topgan bo'lishi kerak. Bu zarralar bo'linmas, ya'ni elementar hisoblanib, ularni bitta nom bilan *nuklon* deb atashdi.

**Elementar zarralar.** O'sha paytda, go'yoki materiyaning tuzilishi haqidagi tasavvurlar biroz oydinlashgandek edi. Elektromagnit ta'sir natijasida elektronlar va yadrolar yagona atomga va molekullarga birlashadi. Neytronlar va protonlar esa yadro kuchlari ta'sirida yadroni hosil qiladi. Jami 14 ta elementar zarra va ularning antizarralari hamda ular orasida to'rt xil fundamental ta'sirlashuvlar mavjud. Go'yoki insoniyat o'zining azaliy orzusi, materiyaning asosini tashkil qilgan eng kichik g'ishtchalarni aniqlab olgandek edi. Lekin olimlarni kutilmagan «sovg'alar» kutardi. Hali ular nafaslarini rostlab olmasdan, masala yanada chigallasha boshladi. Deyarli har yili, xuddi oldingilariga o'xshash, yangi «elementar» zarralar kashf qilina boshlandi. O'tgan asr 60- yillarining boshiga kelib, zarralar soni Mendeleev davriy sistemasidagi elementlar sonidan ham ortib ketdi. Ularning bir-birlariga aylanib turishlari va shu qadar ko'pligi, masalaga oydinlik kiritishni taqozo etardi. Yana o'sha, «Olam nimadan tashkil topgan?» degan savol kun tartibidan o'rin oldi. Shunda olimlar, zarralarning hammasi ham «elementar» emas, ularning ba'zilari yanada fundamental zarralardan tashkil topgan, degan fikrni olg'a surishdi.

**Kvarklar.** 1964- yilda M.Gell-Mann va J.Sveyglar neytronlar va protonlar 3 ta – *u*, *d*, *s* kvarklar deb ataluvchi sodda zarralardan tashkil topganligi to'g'risidagi gipotezani olg'a surdilar. Kvarklar ichki tuzilishga ega emas va shu ma'noda haqiqiy elementar zarralar hisoblanadi. Keyinchalik yana 2 ta – *maftunkor c* va *go'zal b* kvarklar kiritildi. *Haqiqiy t* kvarkning ham bo'lishi ehtimoldan xoli emas.

Shunday qilib, bugungi manzara quyidagicha: moddalar molekula va atomlardan tashkil topgan. Atom esa, o'z navbatida, yadro va uni o'rab turgan elektronlardan, yadro esa neytronlar va protonlardan iborat. Protonlar va neytronlar kvarklardan tashkil topgan.

**Fundamental ta'sirlashuvlar.** Yuqorida ta'kidlanganidek, zarralar — bu olamning eng kichik g'ishtchalari. Yadrolar, atomlar, molekularlar, kimyoviy birikmalar, biologik to'qimalar, sayyoralar, ulkan yulduzlar, koinot jismlari, jumladan, bizning o'zimiz ham shu zarralardan tashkil topganmiz. Lekin bu zarralarni qanday kuchlar bir-biriga bog'lab turadi?

Elementar zarralar o'rtasida to'rt xil fundamental ta'sirlashuv va demak, to'rt xil ta'sir kuchi mavjud. Bular: *tortishish* (gravitatsion); *elektromagnit*; *kuchli* (yadro) va *kuchsiz* ta'sirlashuvlardir.

**Gravitatsion ta'sirlashuv** mavjud fundamental ta'sirlashuvlar orasida eng kuchsizi. U barcha zarralar orasida mavjud va faqat tortishish xarakteriga egadir. Bir-biridan  $10^{-15}$  m masofada bo'lgan ikkita protonning gravitatsion ta'sirlashuvi ularning elektrostatik ta'sirlashuvidan  $10^{36}$  marta kichik. Shu qadar kichik bo'lgani uchun ham elementar zarralar ishtirok etadigan jarayonlarda e'tiborga olinmaydi. Ammo uning makrojismlar harakatidagi ahamiyati buyuk. Aynan shu tortishish kuchi butun koinotni — sayyoralarni, yulduzlarni, galaktikani va boshqa osmon jismlarining mavjud tuzilishini saqlab turadi. Aynan uning sharofati bilan biz ham Yerga bog'lanib turibmiz.

**Elektromagnit ta'sirlashuv** elektr zaryadiga ega zarralar orasida vujudga keladi. U ta'sirlashuvchi zarralarning zaryadiga qarab ham tortishish, ham itarishish xarakteriga ega bo'lishi mumkin.

Elektromagnit ta'sirlashuv elektronlarning yadro atrofidagi harakatini, ya'ni atomning barqarorligini ta'minlaydi.

**Kuchli ta'sirlashuv** kichik masofalarda ( $10^{-15}$  m) namoyon bo'ladi. U nuklonlar orasida mavjud bo'lib, protonlar va neytronlarni birgalikda yadroda tutib turadi. Uning sharofati bilan turli xil yadrolar, atomlar va kimyoviy elementlar mavjud. Kimyoviy elementlarning mavjudligi esa turli murakkab molekularlar, organik birikmalar va hayotning mavjudligini ta'minlovchi omildir.

**Kuchsiz ta'sirlashuv** nafaqat kuchli, balki elektromagnit ta'sirlashuvdan ham ancha kuchsizdir. Lekin u gravitatsion ta'sirlashuvdan sezilarli darajada kuchli. Kuchsiz ta'sirlashuvning ta'sir doirasi juda kichik va taxminan  $2 \cdot 10^{-18}$  m ni tashkil qiladi.

Ayni paytda kuchsiz ta'sirning tabiatdagi o'rni beqiyos. Aynan shu ta'sirlashuvning sharofati bilan yadro ichida protonning neytron, pozitron va neytrinoga aylanish reaksiyasi ro'y beradi. Bu reaksiya esa to'rtta protondan gely yadrosi hosil bo'lish reaksiya-

sida, ya'ni termoyadro sintezida asosiy ahamiyatga egadir. Demak, kuchsiz ta'sirlashuv Quyosh va yulduzlarning energiya manbayi, termoyadro reaksiyalarining ro'y berishida muhim ahamiyatga ega.

**Ta'sirlashuv maydonlari.** Endi bu ta'sirlashuvlar qanday amalga oshadi, degan savolga javob izlaylik.

Barcha ta'sirlashuvlarning o'z nomlari bilan ataluvchi maydonlari bor va ta'sirlashuv shu maydonlar vositasida amalga oshiriladi. Misol uchun, eng yaxshi o'rganilgan elektromagnit ta'sirlashuv elektromagnit maydon vositasida, maydon kvanti – foton orqali amalga oshiriladi. Elektromagnit maydon materiyami yoki biror mavhum tushunchami? Elektromagnit maydon materiyaning bir ko'rinishi va u materiyaning modda ko'rinishiga aylanishi mumkin. Bunga fotonning elektron-pozitron juftligiga aylanishi misol bo'ladi. Shuningdek, teskari hol – elektron-pozitron juftligining annigilatsiyasi, ya'ni modda-materiyaning maydon-materiyaga aylanishi ham ro'y beradi. Boshqa maydonlar to'g'risida ham xuddi shunday fikr yuritish mumkin. Shunday qilib, ta'sirlashuvlar o'z maydonlari orqali amalga oshiriladi va bu maydonlar materiyaning bir ko'rinishidir. Materiyaning modda va maydon ko'rinishlari doimo bir-birlariga aylanib turadi. Shuni ta'kidlash lozimki, olamda maydon-materiya modda-materiyadan ko'ra ko'proqdir.

**Tabiat qonunlarining universalligi.** «Eng murakkab tuyulgan narsalar, aslida sodda narsalardir», deb ta'kidlagan edi Eynshteyn. Buni yaxshi tushungan olimlar doimo tabiat qonunlarini soddalashtirishga, ya'ni universallashtirishga harakat qilganlar. Masalan, teleskop yordamida Oydagi tog'larning soyasini kuzatgan Galiley «fizika qonunlari butun koinotda bir xil, ya'ni universal ko'rinishga ega», degan fikrni bildirgan. Yerda tajribalar o'tkazgan Nyuton «Butun olam tortishish qonunini» yaratgan. Faradey va Amper elektr zaryadi atrofida nafaqat elektr maydon, balki zaryad harakatlenganda magnit maydon ham hosil bo'lishini aniqlagan. Natijada elektr va magnit maydonlarni yagona elektromagnit maydonga birlashtirish, ya'ni elektromagnit maydon nazariyasini yaratishga imkon tug'ildi. So'ngra, yorug'likning elektromagnit to'lqin ekanligi ma'lum bo'lib qoldi va radioto'lqinlar, issiqlik nurlanishi, ko'rinuvchi yorug'lik, ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari va gamma-nurlar yagona elektromagnit to'lqinlar shkalasida joylashtirildi.

Plankning – «elektromagnit nurlanish fotonlar (zarralar) ko'rinishida chiqariladi», degan g'oyasi olamning tuzilishini o'rganishda ulkan ahamiyatga ega bo'ldi. Plank g'oyasini umumlashtirgan Eynshteyn – «nurlanish nafaqat fotonlar ko'rinishida chiqarilib

qolmay, u fotonlar ko‘rinishida tarqaladi va fotonlar ko‘rinishida yutiladi ham», degan fikrga keldi. Bu g‘oyani yanada umumlashtirgan Lui de Broyl – «to‘lqin xususiyati barcha zarralarga ham xos xususiyatdir», deb xulosa qildi. Natijada korpuskula-to‘lqin dualizmi materiyaning barcha turlariga xos xususiyatligi ma‘lum bo‘lib qoldi.

Yuqorida ko‘rilgan to‘rtta fundamental ta‘sirlashuvlarni ham universallashtirishning, ya‘ni birlashtirishning imkoni yo‘qmikan, degan savol tug‘iladi. Ko‘pdan beri bu yo‘lda izlanishlar olib borilmoqda. Masalan, Eynshteyn umrining oxirgi 35 yilini tortishish va elektromagnit ta‘sirlashuvlarni birlashtirishga bag‘ishlagan. Shuningdek, boshqa urinishlar ham yo‘q emas.

**Buyuk birlashuv nazariyasi.** Hozircha bularning eng muvaffaqiyatlisi amerikalik fiziklar Sh. Gleshou, S. Vaynberg va pokistonlik fizik A. Salamlar tomonidan elektr kuchisiz ta‘sir nazariyasining yaratilishidir. Ushbu kashfiyotlari uchun ular 1979- yilda Nobel mukofotiga sazovor bo‘lishdi. Muvaffaqiyatdan ruhlangan fiziklar «Buyuk birlashuv nazariyasi» (BBN)ni taklif qilishdi. Bu nazariyada elektromagnit, kuchsiz va kuchli ta‘sirlar birlashtirilgan. Uning naqadar to‘g‘riligini tajribalar ko‘rsatadi.

BBNga muvofiq, materiya tuzilishining zamonaviy nazariyasi va bizni o‘rab turgan olamda ro‘y beradigan voqealar o‘rtasida uzluksiz bog‘lanish mavjud. Boshqacha aytganda, elementar zarralarning hozirgi holati olamning dastlabki paydo bo‘lish bosqichi, ya‘ni moddaning paydo bo‘lishi bilan bevosita bog‘liq. Olamning zamonaviy modeliga ko‘ra, u kengaymoqda, ya‘ni galaktikalar bir-birlaridan uzoqlashmoqda. Buning hammasi  $10^{10}$  yil burun ro‘y bergan buyuk portlashning natijasidir.

Hozirgi paytda har to‘rtala ta‘sirlashuvni o‘z ichiga olgan superbirlashuv nazariyasi taklif qilingan.

### **Xulosa**

Zamonaviy fizika nuqtayi nazaridan materiya ikki xil: modda va maydon ko‘rinishiga ega.

Korpuskula-to‘lqin dualizmi materiyaning barcha turlariga xos xususiyat.

Bizni o‘rab turgan dunyodagi har bir o‘zgarish materiyaning harakatidir. Bu harakatning manbayi esa o‘zaro ta‘sirlashuvlar. Ta‘sirlashuv maydonlari elementar zarralarni *yadrolar, atomlar, molekulalar, makrojismlar, sayyoralar* va hokazolarga birlashtirib turadi.



Shunday qilib, olam abadiy mavjud bo'lgan va abadiy mavjud bo'luvchi hamda doimo harakatdagi materiyadan iborat. Inson esa o'z atrofidagi olamni o'rganish, tushunish va bilish uchun yashaydi. Bilish jarayoni esa murakkab va cheksizdir.

## **FIZIKA VA FAN-TEXNIKA TARAQQIYOTI**

Fizika tabiiy fan bo'lib, uning qonunlari barcha tabiatshunoslik bilimlarining asosida yotadi. Fizika fanini uzoq vaqtlargacha tabiat falsafasi deb ataganlarining o'zi ham uning falsafa bilan naqadar chuqur bog'lanib ketganligining isbotidir. Fizika sohasida qilingan har bir kashfiyot, dunyoni bilish sohasidagi har bir yangilik materiyani, borliqni o'rganish yo'lidagi dadil bir qadam hisoblanadi. Yunon faylasuflarining olam g'ishtchalari — atomlar haqidagi qarashlari qanchalik munozaralarga sabab bo'lgan bo'lsa, kvarklar to'g'risidagi hozirgi g'oyalar ham faylasuflarning shunday munozaralariga sabab bo'lmoqda. Ammo atomlar mavjudligining isbotlanganligi yangicha falsafiy dunyoqarashlarning vujudga kelishiga, olamni yangicha tushunishimizga olib keldi. Xuddi shunday fikrni atomning boshqa zarralardan tashkil topganligi va o'z navbatida, bu zarralar ham yanada kichikroq zarralardan tashkil topganligi to'g'risida aytish mumkin. O'z atrofidagi olamni o'rganishga intiluvchi hazrati inson uning tuzilishi haqidagi bilimlarini misqollab ko'paytirib boradi. Albatta, bu yo'l tekis emas va ba'zi fizik kashfiyotlar ulkan falsafiy munozarani vujudga keltirgani ma'lum. Ayniqsa, elektron-pozitron juftligining fotonga aylanishini misol sifatida keltirish mumkin. O'z paytida — «materiya yo'qolmoqda, bunday bo'lishi mumkin emas», degan faylasuflar ham topilgan. Ammo insoniyat o'z bilimlari chegarasini kengaytirib, elektromagnit maydon va uning kvanti — foton ham materiyaning bir turi ekanligini tushunishi bilan bu muammo o'z yechimini topgan.

Elementar zarralar nazariyasining olamning vujudga kelishi (kosmologiya) muammolariga borib taqalishi bugungi kunning eng qiziq natijalaridan biridir. Kuchli, elektromagnit va kuchsiz ta'sirlashuvlarni birlashtiruvchi buyuk birlashuv nazariyasining (BBN) olamning vujudga kelishidagi buyuk portlashdan toki uni to'la yemirilishigacha bo'lgan manzarani tavsiflashi chuqur falsafiy munozaralarga sabab bo'lmoqda.

Fizika sohasida yaratilgan kashfiyotlardan yangi kashfiyotlar ochishda foydalanilgan. Mikroskop yordamida mikrozzarralar kuza-

tilgan bo'lsa, teleskop yordamida osmon jismlari o'rganilgan. Elektromagnit to'lqinlar yordamida aloqa vositalari, axborotlarni uzatish yo'lga qo'yilgan, atomlarning nurlanishidan esa ularning tuzilishi haqida ma'lumot olingan. Atomning tuzilishini o'rganish, ham materiya haqidagi bilimlarimizni chuqurlashtirishga imkon bergan bo'lsa, ham insoniyatni atom energiyasidan bahramand qilmoqda. Lazer nurlarining kashf qilinishi, undan insoniyat ehtiyojlarining juda ko'p sohalarida foydalanishdan tashqari, termoyadro sintezidan foydalanish imkoniyatlarini ham vujudga keltirdi. Umuman olganda, bunday misollarni juda ko'p keltirish mumkin.

Shu bilan birga, fizika sohasidagi kashfiyotlarning boshqa fanlardagi tadqiqotlarda qo'llanilishi, o'rganish obyektlarining birlashuvi natijasida ko'plab yangi fanlar vujudga kelganligini ham ta'kidlash lozim. Bular sirasiga biofizika, fizikkimyoy, astrofizika, elektrotexnika, radiotexnika, issiqlik texnikasi, geliotexnika va h.k. kiradi.

Masalan, biofizika — biologiya va fizikaning turli bo'limlari chegarasida vujudga kelgan. Uning vazifasi jonli organizmlarning tuzilishi va faoliyat ko'rsatishining fizik asoslarini o'rganishdan iborat.

Fizika fanining yutuqlari insoniyatning yana bir qancha muammolarini yechishga, og'irini yengil qilishga xizmat qilmoqda. Quyida ularning ba'zilariga to'xtalib o'tamiz.

**Fizika va energetika.** Insoniyat yaratilbdiki, u doimo energiyaga (olovga) muhtojlik sezgan. Nadomatlar bo'lsinkim, energiya esa doimo yetishmagan. Energiya insonga nima uchun kerak? U isinish uchun, yoritish uchun, ovqat pishirish va shu kabi boshqa ko'plab ehtiyojlar uchun kerak. Bu ehtiyojlar uchun u o'tindan, ko'mirdan, neftdan, gazdan, ya'ni tabiiy yoqilg'ilardan foydalanib kelgan va hamon foydalanmoqda.

Ularni tashishning noqulayligi esa energiyani uzatishning turli usullarini izlashni taqozo etgan. Bu vazifani yechishning eng qulay usuli elektr tokidir. Turmushimizning ajralmas qismiga aylanib qolgan elektr energiya elektr dvigatellar yordamida boshqa turdagi energiyalardan hosil qilinadi. Elektr dvigatellarning ish prinsipi esa fizikaning ulkan kashfiyotlaridan biri — elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan.

Bugungi kunda energiya bilan ta'minlash qanday holatda? Baxtga qarshi, yetarli emas. Shuning uchun ham insoniyat doimo yangi energiya manbalarini izlagan. Kelgusida ular bir necha xil bo'lishi mumkin.

Ulardan biri — *og'ir yadrolarning bo'linish reaksiyasidir*. Yonilg'i sifatida uran-235, plutoniy-232 va boshqa og'ir yadrolardan

foydalaniladi. Birinchi atom elektr stansiyasining ishga tushirilganiga ham qariyb yarim asr bo'ldi. Juda ko'p mamlakatlarning elektr energiya ishlab chiqarishida AES larning hissasi sezilarlidir. Hozirgi paytda atom dvigatellaridan energiya olib faoliyat ko'rsatayotgan suvosti va suvusti kemalari ham bor.

Yana bir energiya manbai – *termoyadro sintezida* ajraladigan energiyadir. Ammo uni boshqarish yo'lidagi barcha urinishlar hozircha natija bergani yo'q. Lekin bu mutlaqo natija bermaydi, degani emas. Insoniyat bundan ham qiyin muammolarni yechgan.

Keyingi paytlarda yana bir ulkan energiya manbai haqida turli fikrlar bildirilmoqda. Bu – *modda va antimodda annigilatsiyasidir*. Masalan, vodorod va antivodorodning annigilatsiyasini ta'minlovchi reaktor ulkan energiya manbai bo'lishi mumkin edi.

To'g'ri, insoniyat ixtiyorida boshqa energiya manbalari ham yo'q emas. Bular – quyosh batareyalari, energiyani magnitogidrodinamik o'zgartirgichlar (MGD o'zgartirgich) va h.k. Energiya uzatishdagi yo'qotishni kamaytirishning ham turli yo'llari izlanmoqda. Bu maqsadda, o'ta o'tkazuvchan materiallarni topish yo'lida tadqiqotlar olib borilmoqda. Shunday bo'lsa-da, kelgusida insoniyatning energiyaga bo'lgan ehtiyojini qondira oluvchi yagona manba – yadro energetikasi ekanligi hech kimga sir emas.

**Fizika va tibbiyot.** Inson uchun eng qimmatli narsa sog'liqdir. Shuning uchun ham fizika yutuqlarining tibbiyot sohasida qo'llanishiga to'xtalmasdan ilojimiz yo'q. Fizika yutuqlari tibbiyotda ikki xil maqsadda ishlatiladi.

*Birinchisi – bemorga tashxis qo'yish uchun shifokorga yordamchi sifatida.* Bu sohada rentgen nurlari bilan olingan suratlarining yordami beqiyosdir (rentgenodiagnostika). Ular yordamida suyakning singani, o'sgani, ichki organlardagi o'zgarishlar haqida aniq ma'lumotlar olinadi. Oxirgi paytlarda bu vazifani inson sog'ligi uchun ancha zararsiz bo'lgan ultratovush to'lqinlarida ishlovchi apparatlar bajarmoqda. Kompyuterlar kashf etilgandan so'ng shifokorlar uchun yanada beminnatroq yordamchi – kompyuterli tomograflar kashf qilindi. U insonning ichki organlari to'g'risida to'la ma'lumot berishi va monitorda namoyish qilishi bilan birga, suratga ham tushirib beradi.

*Ikkinchisi – turli kasalliklarni davolashda ishlatilishi.* Ultratovush, magnit maydon, kuchsiz tok, lazer nuri yordamida asab charchoqlarining davolanishi hammaga ma'lum. Ayniqsa, lazer nurlarining inson salomatligi yo'lidagi xizmatlari beqiyosdir. Qon

chiqarmas lazer pichoqlari yordamida organizmdagi kasal hujayralarni davolash, bir-biriga ulash va zarur bo'lganda kesib tashlash mumkin. Lazer nurlari, ayniqsa, insonning eng nozik organlaridan biri bo'lmish ko'z operatsiyalarida juda muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda.

Fiziklar hozirgi paytda davosiz deb hisoblanuvchi, ko'plab odamlarning umriga zomin bo'layotgan rak kasalligini ham davolash yo'llarini izlashmoqda. Bu sohada ma'lum yutuqlarga erishilgan ham. Proton zarralarining dastasi rakka chalingan organni ajratib qo'yish va kasallik rivojlanishini to'xtatishi tajribalarda aniqlangan. Lekin bu usulning juda qimmatligi uning keng qo'llanishiga to'siq bo'lib qolmoqda. Ammo bu muammoning ham yechilishiga ko'p vaqt qolmaganligiga aminmiz.

**Fizika va texnika taraqqiyoti.** Bugungi kunda ishlab chiqarishning fizika fani yutuqlari qo'llanilmaydigan birorta ham sohasi bo'lmasa kerak. O'z paytida turli ishlab chiqarish ehtiyojlari fizikaning rivojlanishiga jiddiy turtki bo'lgan. Masalan, bug' mashinalari foydali ish koeffitsiyentlarini oshirish yo'llarini izlash termodinamikaning rivojlanishiga olib kelganligini qayd etgan edik. Yarim-otkazgichlarning ixtiro qilinishi esa elektron hisoblash sistemasi va aloqa tizimida inqilobiy o'zgarishlarni amalga oshirdi. Juda ulkan imkoniyatli va jajjigina hajmi egallovchi tranzistorlar va rezistorlar bugungi shaxsiy kompyuterlardan tortib, ulkan katta hisoblash mashinalarigacha bo'lgan qurilmalarning asosini tashkil qiladi. Ularning sharofati bilan ulkan aloqa tizimi – Internet tarmog'i, masofadan turib o'qitish tizimlarini yo'lga qo'yish imkoni tug'ildi.

Kelgusida, eng kichik ishlardan tortib, uy bekalarining yordamchisi bo'lishgacha mo'ljallangan robotlarning miyasi tranzistorli sxemalardan, ko'zlari esa fotoelementlardan yasaladi.

Rentgen nurlari yordamida detallarning ichiga nigoh tashlash, nuqsonlarini aniqlash; yorug'lik interferensiyasi va difraksiyasi yordamida kristallarning molekular tuzilishi, kristall panjaralarning joylashuvi haqida xulosa chiqarish; yorug'likning qutblanishi yordamida eritmalarning konsentratsiyasini aniqlash; spektrlar yordamida noma'lum qotishma yoki rudaning tarkibini aniqlash mumkinligi hech kimga sir emas. Chunki shu jarayonlar asosida ishlayotgan qurilmalarning ishlab chiqarishda foydalanilayotganligiga ancha vaqt bo'ldi.

Oxirgi paytlarda kishilar e'tiborida bo'lgan, bevosita ishlab chiqarishga yo'l olgan sohalardan biri – golografiyadir. Uning ma'lumotlarni saqlash sohasidagi imkoniyatlari juda yuksak baholanmoqda.

**Asosiy fizik doimiylar**  
(uchta ahamiyatli raqamgacha aniqlikda yaxlitlangan)

Erkin tushishning normal tezlanishi .....	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Tortishish (gravitatsiya) doimiysi .....	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
Avogadro doimiysi .....	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mo}^{-1}$
Molyar gaz doimiysi .....	$R = 8,31 \text{ J/K} \cdot \text{mo}^{-1}$
Standart hajm .....	$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mo}^{-1}$
Bolsman doimiysi .....	$k = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ J/K}$
Faradey doimiysi .....	$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mo}^{-1}$
Elementar zaryad .....	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Elektronning massasi .....	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Elektronning solishtirma zaryadi .....	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$
Yorug'likning bo'shliq (vakuum)dagi tezligi ..	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Stefan–Bolsman doimiysi .....	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Vin siljish qonunining doimiysi .....	$c = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
Plank doimiysi .....	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
.....	$\hbar = h/(2\pi) = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Ridberg doimiysi .....	$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$
.....	$R' = 1,10 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Birinchi Bor orbitasining radiusi .....	$a = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Elektronning Kompton to'lqin uzunligi .....	$\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Bor magnetoni .....	$\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J/TI}$
Vodorod atomining ionlanish energiyasi .....	$E_i = 2,16 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
Atom massa birligi .....	$1 \text{ a.m.b} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Yadro magnetoni .....	$\mu_N = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ J/TI}$

**Ba'zi elementar zarralar va yengil yadrolarning massalari va tinchlikdagi energiyalari**

Zarra	Massa		Energiya	
	$m_0$ , kg	$m_0$ , (a.m.b)	$E_0$ , J	$E_0$ , MeV
Elektron	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Neytral mezon	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14526	—	135
Proton	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Neytron	$1,68 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Deyton	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
$\alpha$ - zarra	$6,4 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733

## Neytral atomlarning massasi

Element (unsur)	Tartib raqami	Izotopi	Massa (a.m.b.)
Neytron	0	$n$	1,00867
Vodorod	1	$^1\text{H}$	1,00783
		$^2\text{H}$	2,01410
		$^3\text{H}$	3,01605
Geliy	2	$^3\text{He}$	3,01603
		$^4\text{He}$	4,00260
Litiy		$^6\text{Li}$	6,01513
		$^7\text{Li}$	7,01601
Berilliy	3	$^7\text{Be}$	7,01693
		$^9\text{Be}$	9,01219
		$^{10}\text{Be}$	10,01354
Bor	5	$^9\text{B}$	9,01333
		$^{10}\text{B}$	10,01294
		$^{11}\text{B}$	11,00931
Uglerod	6	$^{10}\text{C}$	10,00168
		$^{12}\text{C}$	12,00000
		$^{14}\text{C}$	14,00324
Azot	7	$^{13}\text{N}$	13,00574
		$^{14}\text{N}$	14,00307
		$^{15}\text{N}$	15,00011
Kislorod	8	$^{16}\text{O}$	15,99491
		$^{17}\text{O}$	16,99913
		$^{18}\text{O}$	17,99916
Ftor	9	$^{19}\text{F}$	18,99840
Natriy	11	$^{22}\text{Na}$	21,99444
		$^{23}\text{Na}$	22,98997
Magniy	12	$^{23}\text{Mg}$	22,99414
Aluminiy	13	$^{30}\text{Al}$	29,99817
Kremniy	14	$^{31}\text{Si}$	30,97535
Fosfor	15	$^{31}\text{P}$	30,97376
Kaliy	19	$^{41}\text{K}$	40,96184
Kalsiy	20	$^{44}\text{Ca}$	43,95549
Qo'rg'oshin	82	$^{206}\text{Pb}$	205,97446
Poloniy	84	$^{210}\text{Po}$	209,98297

## MUNDARIJA

So'zboshi .....	3
-----------------	---

### Optika

<b>I bob. Optika elementlari</b> .....	4
1- §. Yorug'lik haqidagi ta'limotning rivojlanishi. Yorug'likning elektromagnit tabiati .....	4
2- §. Yorug'likning tezligi .....	7
3- §. Yorug'likning xarakteristikalari. Fotometriya elementlari .....	10
4- §. Yorug'likning qaytish va sinish qonunlari. To'la qaytish .....	13
5- §. Linzalar. Yupqa linza formulasi .....	16
6- §. Yorug'likning to'lqin nazariyasi. Gyuygens prinsipi .....	19
7- §. Yorug'lik interferensiyasi .....	21
8- §. Yorug'lik interferensiyasini kuzatish usullari. Yorug'lik interferensiyasidan foydalanish .....	25
9- §. Yorug'lik difraksiyasi .....	29
10- §. Parallel nurlar dastasining yakka tirqishdagi difraksiyasi. Difraksion panjara. Difraksiyadan foydalanish .....	32
11- §. Golografiya haqida tushuncha .....	36
12- §. Yorug'likning qutblanishi. Qutblagichlar .....	39
13- §. Yorug'lik dispersiyasi .....	44
14- §. Nurlanish va yutish spektrlari. Spektral analiz .....	47
15- §. Elektromagnit to'lqinlar shkalasi. Infraqizil va ultrabinafsha nurlar .....	51
16- §. Rentgen nurlari .....	53
Masala yechish namunalari .....	56
Mustaqil yechish uchun masalalar .....	58
Test savollari .....	59
Bobning asosiy xulosalari .....	60

### Kvant fizikasi asoslari

<b>II bob. Kvant optikasi elementlari</b> .....	61
17- §. Issiqlikdan nurlanish. Issiqlikdan nurlanish qonunlari .....	62
18- §. Reley—Jins qonuni. Plank gipotezasi .....	66
19- §. Fotoeffekt hodisasi .....	68
20- §. Fotoeffektning qo'llanilishi .....	75
21- §. Yorug'likning bosimi .....	79
22- §. Yorug'likning kimyoviy ta'siri .....	84
23- §. Luminessensiya .....	85
24- §. Yorug'likning korpuskular-to'lqin dualizmi .....	87

Masala yechish namunalari .....	88
Mustaqil yechish uchun masalalar .....	90
Test savollari .....	91
Bobning asosiy xulosalari .....	91
<b>III bob. Atom va atom yadrosi .....</b>	<b>93</b>
25- §. Atomning modellari. Rezerford tajribasi .....	93
26- §. Vodorod atomining spektri .....	96
27- §. Vodorod atomi uchun Bor nazariyasi .....	100
28- §. Lui de Broyl gi potezasi. Zarralarning to'liqin xossalari .....	108
29- §. Kvant mexanikasi elementlari .....	111
30- §. Yorug'likning kvant generatorlari va ularning qo'llanilishi .....	116
31- §. Atom yadrosining tuzilishi. Izotoplar .....	121
32- §. Yadroning bog'lanish energiyasi .....	123
33- §. Yadro kuchlari. Yadro modellari haqida tushuncha .....	126
34- §. Tabiiy radioaktivlik. Radioaktiv yemirilish qonuni .....	128
35- §. Alfa, beta va gamma-nurlanishlar .....	132
36- §. Yadro reaksiyalari. Radioaktiv aylanishlar .....	136
37- §. Elementar zarralar. Zarralar va antizarralar .....	139
38- §. Elementar zarralarning asosiy xossalari va ularni klassifikatsiyalash. Kvarklar .....	143
39- §. Kosmik nurlar .....	147
40- §. Elementar zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari .....	150
Masala yechish namunalari .....	153
Mustaqil yechish uchun masalalar .....	155
Test savollari .....	156
Bobning asosiy xulosalari .....	157
<b>IV bob. Yadro energetikasi .....</b>	<b>159</b>
41- §. Og'ir yadrolarning bo'linishi. Uzluksiz zanjir reaksiyasi .....	159
42- §. Yadro reaktori. Zanjir reaksiyasini boshqarish .....	162
43- §. Atom energetikasi va undan tinchlik maqsadida foydalanish ....	166
44- §. Sun'iy radioaktiv izotoplarning olinishi va qo'llanilishi .....	167
45- §. Radioaktiv nurlanishning biologik ta'sirlari .....	168
46- §. Termoyadro reaksiyalari .....	171
47- §. Quyosh va yulduzlar. Quyosh va yulduzlar energiyasi .....	173
48- §. O'zbekistonda yadro fizikasi sohasida olib borilayotgan tadqiqotlar va ularning natijalaridan xalq xo'jaligida foydalanish .....	175
Test savollari .....	178
Bobning asosiy xulosalari .....	178
<b>Olamning zamonaviy fizik manzarasi .....</b>	<b>179</b>
<b>Fizika va fan-texnika taraqqiyoti .....</b>	<b>184</b>
<b>Ilova .....</b>	<b>188</b>



**G'aniyev A.G.**

**Fizika:** Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun darslik/ A.G. Ganiyev, A.K. Avliyoqulov, G.A. Almardonova [A.G. G'aniyev tahriri ostida.] O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi, O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi. — 8-nashr.—T.: «O'qituvchi» nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2010. — Q.II.—192 b.

I. Avliyoqulov A.K. II. Almardonova G.A.

ББК 22.3я722

ABDUQAHHOR GADOYEVICH G'ANIYEV,  
 ABDURASHID KARIMOVICH AVLIYOQULOV,  
 GULNORA ASHUROVNA ALMARDONOVA

## FIZIKA

### II qism

*Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari  
 uchun darslik*

8-nashri

*«O'qituvchi» nashriyot-matbaa ijodiy uyi  
 Toshkent—2010*

Muharrirlar: *N. G'oiyov, O'.Husanov, M.Po'latov*Rasmlar muharriri *Sh.Xo'jayev*Tex. muharrirlar: *S.Tursunova, T. Greshnikova*Kichik muharrir *H.Musaxo'jayeva*Musahhih *M.Ibrohimova*Kompyuterda sahifalovchi *N. Ahmedova*

Original-maketdan bosishga ruxsat etildi 12.07.10. Bichimi 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Kegli 11 shponli. Tayms garn. Ofset bosma usulida bosildi. Shartli b.t. 12,0. Nashr. t. 10,5. 1000 nusxada bosildi. Buyurtma № 197-10.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining «O'qituvchi» nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 700129, Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30// Toshkent, Yunusobod dahasi, Murodov ko'chasi, 1- uy. Shartnoma № 07-90-10.

© „O'qituvchi“ NMIU  
100206, Toshkent sh., Murodov ko'chasi, 1.  
Tel.: (+99871) 224-04-12  
E-mail: [info@oqituvchi.uz](mailto:info@oqituvchi.uz)  
Web-site: [www.oqituvchi.uz](http://www.oqituvchi.uz)

ISBN 978-9943-02-071-9



9789943020719