

### 64- §. Yorug‘likning kvant nazariyasining vujudga kelishi. Yorug‘lik kvantlari

XIX asrning oxirlarigacha yorug‘lik hodisalari yorug‘likning elektromagnit nazariyasi nuqtayi nazaridan tushuntirilib kelindi.

Yorug‘likning elektromagnit tabiati haqidagi tasavvurlar olimlarni elektromagnit to‘lqin energiyasining uzluksiz tarqalishiga o‘xshab yorug‘lik energiyasi ham uzluksiz uzatiladi, degan fikrga olib keldi. Ammo XIX asrning oxirlarida klassik elektrodinamika asosida tushuntirib bo‘lmaydigan hodisalar aniqlandi. Bu yangi holat fiziklarni yana yorug‘likning korpuskulyar tabiatiga murojaat etishga majbur qildi. Bular qanday hodisalar edi?

Ma‘lumki, yorug‘lik hodisalari yorug‘likning modda bilan ta’sirlashishida namoyon bo‘ladi. Bunday o‘zaro ta’sirlar ham moddada, ham modda bilan o‘zaro ta’sirda bo‘lgan yorug‘likda kechuvchi ma‘lum o‘zgarishlar bilan bir qatorda kuzatiladi. Yorug‘lik qaytadi, sinadi va modda tomonidan yutiladi. Modda bilan yorug‘likning o‘zaro ta’sirlashishida kimyoviy va biologik reaksiyalar yuz beradi.

Yorug‘likning modda bilan o‘zaro ta’siri tufayli yuz beradigan hodisalarni, ular bo‘ysunadigan qonunlarni o‘rganish yorug‘lik tabiatini, uning strukturasi va ichki mohiyatini chuqurroq bilish imkonini beradi. Yorug‘likning tabiati haqidagi tasavvurlarni tub o‘zgarishlarga olib kelgan yangi kashf etilgan va o‘rganilgan hodisalar qatoriga issiqlik nurlanish, fotoelektrik effekt, atom va molekularlarning nurlanishi, rentgen nurlanishi va shu kabilar kiradi.

***Issiqlik nurlanish deb, tayinli bir temperaturagacha qizdirilgan istalgan jismdan atrof fazoga nurlanadigan elektromagnit to‘lqinlarga aytiladi.*** U atom va molekularlarning xaotik harakati energiyasi hisobiga amalga oshadi va jismning sovishiga olib keladi. Elektromagnit to‘lqinlarning yutilishi, aksincha, jismning isishiga olib keladi. Issiqlik nurlanish jarayonida energiya yo‘qotilishi energiya yutilishi bilan kompensatsiyalangan hollarda jism issiqlik muvozanatida bo‘ladi.

Qizdirilgan jismlarning nurlanishi qadimdan ma‘lum edi, ammo termodinamik muvozanatda bo‘lgan qizdirilgan jismlarning issiqlik nurlanishi bo‘yicha o‘tkazilgan dastlabki tadqiqotlar XIX asrning

boshlariga to‘g‘ri keladi. Bu nurlanish jismning temperaturasiga bog‘liq bo‘ladi.

XIX asr oxirida issiqlik nurlanish spektrida energiya taqsimoti muammosi yuzaga keldi. Issiqlik nurlanish tutash spektrga ega bo‘lsa-da, ammo unda energiya taqsimoti temperaturaga bog‘liq: past temperaturalarda nurlanish, asosan, infraqizil nurlanishdan, yuqori temperaturalarda esa ko‘rinadigan va ultrabinafsha nurlanishdan iborat.

1859- yilda nemis fizigi G. Kirxgof issiqlik nurlanishning spektral xarakteristikalarini — *jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari* tushunchalarini, shuningdek, nur chiqarish qobiliyati universal ahamiyatga ega bo‘lgan **absolyut qora jism** tushunchasini kiritib, issiqlik nurlanish qonunini ochdi.

*Jismning birlik yuzasidan vaqt birligida birlik kenglikdagi chastotalar intervalida chiqargan elektromagnit energiyasiga **nur chiqarish qobiliyati** deb ataladi.*

Barcha jismlar o‘ziga tushgan elektromagnit nurlanish energiyasini ozmi-ko‘pmi yutadi. *Birlik vaqt davomida jismning birlik yuzasiga birlik kenglikdagi chastotalar intervalida tushayotgan elektromagnit nurlanish energiyasining qancha qismi jism tomonidan yutilishini xarakterlaydigan kattalik **nur yutish qobiliyati** deb ataladi.* Jismlarning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari chastotaga, temperaturaga, jismning kimyoviy tarkibiga va sirtining holatiga bog‘liq bo‘ladi.

*Istalgan temperaturada o‘ziga tushayotgan elektromagnit to‘lqinlar energiyasini, ularning chastotalaridan qat‘iy nazar, butunlay yutadigan jismini **absolyut qora jism** deyiladi.* Absolyut qora jismning nur yutish qobiliyati istalgan chastota va temperaturalarda birga teng bo‘ladi, nur chiqarish qobiliyati esa chastota va temperaturaga bog‘liq bo‘ladi.

Bu bog‘lanish qanday ko‘rinishga ega ekanligini aniqlash maqsadida tadqiqotchilarning e‘tibori absolyut qora jismning nurlanish qonunlarini, aniqrog‘i, absolyut qora jism nurlanish spektrida energiyaning taqsimlanishini o‘rganishga qaratiladi. Bir qator olimlar eksperimental ma‘lumotlar asosida absolyut qora jism nurlanish qonunining xususiy ko‘rinishlarini aniqladilar. Boshqa olimlar klassik fizikaning asosiy qonunlaridan kelib chiqqan holda absolyut qora jism nurlanish spektri bo‘yicha energiyaning taqsimot qonunini keltirib chiqarishga urindilar, ammo ularning urinishlari muvaffaqiyatsiz yakunlandi. Maksvell elektrodinamikasi asosida absolyut qora jism spektrida energiya taqsimotining tajribada kuzatilgan qonuniyatlarini tushuntirish mumkin bo‘lmay qoldi. Elektromagnit to‘lqinlarning mavjudligini bashorat qilgan va ularning nurlanish hamda tarqalish

jarayonlarini tavsiflagan Maksvell elektrodinamikasi o‘rnatilgan dalillar bilan yana qarama-qarshi bo‘lib qoldi.

Qarama-qarshilikning mohiyati quyidagidan iborat edi. Elektromagnit nazariyaga asosan, qizigan jism elektromagnit to‘lqinlarning nurlanishi tufayli absolyut nolgacha sovishi kerak edi. Ammo kundalik tajriba bunday emasligini ko‘rsatadi. Qizdirilgan jism o‘z energiyasining bir qisminigina elektromagnit to‘lqinlarni chiqarishga sarflaydi. Bundan tashqari qarama-qarshilikning mohiyati yana shundan iborat ediki, klassik fizikaga ko‘ra oq nur chiqarish darajasigacha qizdirilgan absolyut qora jismning tutash spektrida eng ko‘p energiya miqdori qisqa to‘lqin uzunligi (yoki eng katta chastota)ga to‘g‘ri kelishi kerak edi. Amaliy o‘lchashlar esa eng yuqori temperaturalarda energiyaning maksimal qiymati eng qisqa to‘lqinlar sohasiga, ya‘ni nurlanish spektrining ultrabinafsha qismiga to‘g‘ri kelmasligini ko‘rsatadi.

Absolyut qora jism nurlanishi muammosini yechish 1890- yilda nemis fizigi M. Plankka nasib etdi.

Yuzaga kelgan qarama-qarshiliklardan qutulish yo‘lini izlagan Plank yorug‘lik to‘lqinlarining uzluksizligi haqidagi klassik tasavvurlar noto‘g‘ri deb hisobladi. U *yorug‘lik modda tomonidan uzluksiz emas, balki diskret, alohida porsiyalar tarzida nurlanadi*, degan prinsipial yangi gipotezani ilgari surdi. Plank bu porsiyalarni **energiya kvanti** yoki **kvantlar** deb atadi. U har bir porsiyaning energiyasi nurlanish chastotasiga proporsional, deb taxmin qildi:  $\epsilon = h\nu$ , bunda  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s — nurlanish chastotasiga bog‘liq bo‘lmagan doimiy kattalik bo‘lib, keyinroq olimning sharafiga **Plank doimiysi** deb ataldi.

Plank absolyut qora jism spektrida topilgan energiyaning taqsimot qonuni haqida 1900- yilning 19- oktabrida Berlin fizika jamiyatining majlisida ma‘ruza qildi va shu yilning 14- dekabrda uning nazariy asoslarini berdi. Bu kun fan tarixiga kvant nazariyaning tug‘ilish kuni bo‘lib kirdi.

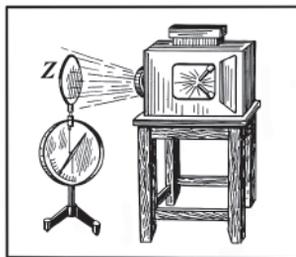
Plank nazariyasini rivojlantira borib, 1905- yilda A. Eynshteyn yorug‘likning kvant nazariyasini yaratdi. Bu nazariyaga muvofiq, *yorug‘lik moddaning atom va molekulalaridan kvantlarda chiqadi, tarqaladi va yutiladi*. Yorug‘lik to‘lqinlari energiyasi faqat kvant energiyasi  $\epsilon$  kattaligiga karrali miqdorda bo‘lishi mumkin, ya‘ni to‘lqin eltayotgan energiya quyidagicha bo‘lishi mumkin:

$$E = n\epsilon,$$

bunda  $n = 1, 2, 3, \dots$  qiymatlarni, ya‘ni faqat butun son qiymatlarini qabul qiladi.

## 65- §. Fotoeffekt hodisasi

Fotoeffekt hodisasini nemis fizigi Gers kashf etdi. Bu hodisaning mohiyati quyidagidan iborat: elektrometrga rux plastinkani oʻrnatib, uni manfiy zaryad bilan zaryadlaymiz (166- rasm). Plastinkani tarkibida ultrabinafsha nurlar boʻlgan kuchli yorugʻlik manbayi, masalan, elektr yoyi bilan yoritamiz, bunda plastinka oʻz zaryadini tez yoʻqotayotganini, yaʼni elektrometr strelkasi pasayganini sezamiz. Nurlarning yoʻliga ultrabinafsha nurlarni oʻtkazmaydigan qalin shisha plastinkani qoʻyib, tajribani takrorlaymiz, bunda plastinka oʻz zaryadini yoʻqotmaydi. Boshqa metallar, masalan, kaliy, natriy, rubidiy, sezidan qilingan plastinkalar



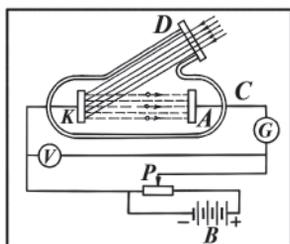
166- rasm.

oʻzidagi manfiy zaryadini ultrabinafsha nurlar taʼsiridagina emas, hatto koʻzga koʻrinadigan nurlar taʼsirida ham yoʻqotadi. Rux plastinkani musbat zaryad bilan maʼlum potensialgacha zaryadlaymiz va elektr yoyi bilan yoritamiz, bu holda esa plastinka oʻz zaryadini yoʻqotmaganini, strelka holatining oʻzgarmaganligini koʻramiz. Bundan yorugʻlik manfiy zaryadlangan metallardan zarralarni urib chiqarishi kelib chiqadi. Ularning zaryadini 1898- yilda J.J. Tomson aniqlagan va bu zarralar elektronlardan iborat ekanligini koʻrsatgan.

Bu hodisa **fotoelektrik effekt** yoki qisqacha **fotoeffekt** deb ataladi. Agar elektron yoritilayotgan modda tashqarisiga chiqsa (butunlay ajralish) **tashqi fotoeffekt** deb ataladi. Agar elektronlar faqat «oʻz» atomlari va molekulalari bilan bogʻlanishni yoʻqotsa-yu, lekin yoritilayotgan moddaning ichida «erkin elektron»lar sifatida qolsa (qisman ajralishi) va shu bilan barcha moddaning elektr oʻtkazuvchanligini oshira borsa, u vaqtda bunday fotoeffekt **ichki fotoeffekt** deb ataladi.

Ichki fotoeffektni 1873- yilda amerikalik fizik U. Smitt kashf qilgan va yarimoʻtkazgichlarda, baʼzan dielektriklarda ham kuzatgan. Tashqi fotoeffektni 1887- yilda Gers kashf qilgan va 1888- yilda A.G. Stoletov tomonidan mufassal tekshirilgan. Tashqi fotoeffekt, asosan, metallarda kuzatiladi.

Fotoeffekt hodisasi metallarning kimyoviy tabiatidan tashqari ular sirtining holatiga ham bogʻliqdir. Sirtidagi ozgina ifloslik ham yorugʻlik taʼsirida boʻladigan elektronlar emissiyasiga taʼsir etadi.

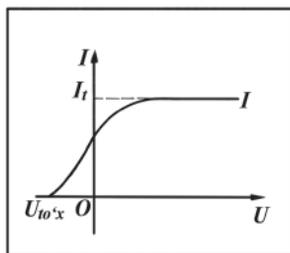


167- rasm.

Shu sababli fotoeffektning o'rganish uchun anod va katod joylashtirilgan vakuumli shisha ballondan foydalaniladi. Tashqi fotoeffektning tekshirishda Stoletov foydalangan qurilmaning prinsipial tuzilishi 167- rasmga ko'rsatilgan. Havosi so'rib olingan *C* shisha ballonga ikkita elektrod — *A* anod va *K* katod o'rnatilgan. Katodga kvarsdan yasalgan *D* darcha orqali yorug'lik tushadi. *B* batareya yordamida elektrodga kuchlanish beriladi. Kuchlanishning qiymati *P* potensiyometr yordamida o'zgartiriladi va *V* voltmeter yordamida o'lchanadi. Katod vazifasini ruxdan yasalgan plastinka o'taydi. Katodga yorug'lik tushmaganda elektr zanjirida tok hosil bo'lmaydi. Katod yorug'lik bilan yoritilganda yorug'lik undan elektronlarni urib chiqaradi. Bu elektronlar **fotoelektronlar** deb ataladi. Fotoelektronlar anodga tomon harakatlanadi va zanjirda tok hosil bo'ladi. Bu tokka **fototok** deb ataladi. Sxema katod va anod orasidagi kuchlanishning turli qiymatlarida katodni turlicha yoritish sharoitida fototok kuchini o'lchash imkonini beradi.

Fototokning anod kuchlanishiga bog'liqligi **fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi** deyiladi.

Tajribaning ko'rsatishicha, agar yorug'lik oqimini o'zgartirmay turib, elektrodlar orasidagi potentsiallar ayirmasi orttirilsa, tok kuchayadi. Kuchlanish biror qiymatga erishganda tok kuchining qiymati eng katta bo'ladi, bundan keyin kuchlanish ortsa ham tok kuchi o'zgarmaydi (168- rasm). Tok kuchining bu eng katta  $I_t$  qiymatiga **to'yinish toki** deb ataladi. To'yinish tokining qiymati elektrodan sekundiga uzilib chiqqan elektronlar soniga bog'liq. Kichik kuchlanishlarda yorug'lik urib chiqargan elektronlarning ma'lum qismigina anodga yetib boradi (tokning qiymati kichik bo'ladi). Kuchlanishni oshirib borib, anodga yetib kelayotgan elektronlarning sonini ham ko'paytirib boriladi (tokning qiymati o'sib boradi), va, nihoyat, kuchlanishning ma'lum qiymatidan boshlab yorug'lik urib chiqargan elektronlarning hammasi anodga yetib boradi (tok maksimal — to'yinish qiymatiga erishadi).



168- rasm.

168- rasmda keltirilgan grafikdan ko‘rinib turibdiki, kuchlanish nol bo‘lganda ham fototokning kuchi noldan farq qiladi. Bu tok yorug‘lik katoddan urib chiqargan elektronlarning bir qismi anod kuchlanishi bo‘lmasa ham, anodga yetib borishidan hosil bo‘ladi. Agar batareyaning qutblari o‘zgartirilsa, tok kamayadi va biror kuchlanishda tok nolga teng bo‘lib qoladi. Bu esa barcha elektronlarning yana katodga qaytishini bildiradi. Bu vaqtdagi kuchlanish **to‘xtatuvchi** yoki **tormozlovchi kuchlanish** deyiladi. Tormozlovchi kuchlanishning qiymati yorug‘lik urib chiqargan elektronlarning maksimal kinetik energiyasiga bog‘liq bo‘ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan tormozlovchi kuchlanish quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_t \quad (117)$$

bunda:  $U_t$  — tormozlovchi kuchlanish;  $m$  — elektronning massasi;  $e$  — elektron zaryadi;  $v$  — fotoelektronlarning tezligi.

Bu tenglik bajarilganda elektr maydonining elektronni ko‘chirishda bajargan ishi elektron kinetik energiyasining o‘zgarishiga teng bo‘ladi. Binobarin, elektronning tezligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$v = \sqrt{\frac{2eU_t}{m}}. \quad (118)$$

Shunday qilib, 167- rasmda ko‘rsatilgan sxemadan foydalanib, fototokning maksimal qiymati va fotoelektronlarning tezligini aniqlash mumkin.

## **66- §. Fotoeffekt qonunlari. Eynshteyn tenglamasi**

Tashqi fotoeffekt hodisasini har tomonlama o‘rganish uning quyidagi muhim qonunlarini ochishga olib keladi:

1. Metallni o‘zgarmas to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik bilan yoritilganda vaqt birligi ichida yorug‘lik urib chiqaradigan elektronlarning maksimal soni (ya’ni, to‘yinish fototoki) yorug‘lik oqimiga to‘g‘ri proporsionaldir.

2. Tushayotgan yorug‘lik chastotasi ortishi bilan fotoelektronlarning tezligi orta boradi, ammo bu yorug‘likning intensivligiga bog‘liq bo‘lmaydi.

3. Fotoeffekt yorug‘likning intensivligiga bog‘liq bo‘lmagan holda berilgan metall uchun fotoeffektning «*qizil chegarasi*» deb ataladigan aniq minimal chastotada boshlanadi.

Fotoeffektning ikkinchi va uchinchi qonunlarini yorug‘likning elektromagnit nazariyasi asosida tushuntirish mumkin emas. Haqiqatan ham bu nazariyaga ko‘ra intensivligi yetarlicha katta bo‘lgan istalgan chastotali yorug‘lik metallardan elektronlarni urib chiqarishi kerak, boshqacha aytganda, fotoeffektning «qizil chegarasi» mavjud bo‘lmazligi kerak. Bu xulosa fotoeffektning uchinchi qonuniga ziddir. So‘ngra yorug‘likning intensivligi qanchalik katta bo‘lsa, unda elektronlar shunchalik katta kinetik energiya bilan harakatlanishi, ya‘ni fotoelektronlarning tezligi yorug‘likning intensivligi ortishi bilan o‘sishi kerak edi; bu xulosa fotoeffektning ikkinchi qonuniga ziddir.

Tashqi fotoeffekt qonunlarini yorug‘likning kvant nazariyasi asosida osongina izohlash mumkin. Bu nazariyaga ko‘ra yorug‘lik oqimining kattaligi vaqt birligida metall sirtiga tushadigan yorug‘lik kvantlarining soni bilan aniqlanadi. Har bir yorug‘lik kvanti faqat bitta elektron bilan o‘zaro ta’sirlashadi deb qaralsa, fotoelektronlarning maksimal soni yorug‘lik oqimiga proporsional bo‘lishi kelib chiqadi (*fotoeffektning birinchi qonuni*).

Elektron yutgan yorug‘lik kvantining  $h\nu$  energiyasi elektronning metalldan chiqish ishini bajarishga safflanadi; bu energiyaning qolgan qismi fotoelektronning kinetik energiyasidan iborat bo‘ladi. Bunga ko‘ra energiyaning saqlanish qonunini quyidagicha yoza olamiz:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A, \quad (119)$$

bunda:  $A$  — elektronning chiqish ishi.

1905- yilda Eynshteyn taklif qilgan va keyinchalik tajribalarda tasdiqlangan bu formulani *Eynshteyn tenglamasi* deb ataladi.

Eynshteyn tenglamasidan bevosita ko‘rinib turibdiki, yorug‘lik chastotasi ortishi bilan fotoelektronning tezligi ortadi va yorug‘likning intensivligiga bog‘liq bo‘lmaydi. Bu xulosa fotoeffektning ikkinchi qonuniga mos keladi.

(119) formulaga muvofiq, yorug‘likning chastotasi kamayishi bilan fotoelektronlarning kinetik energiyasi ham kamayadi. Ma‘lumki, elektronlarning metalldan chiqish ishi ham bir metall uchun o‘zgarmas kattalikdir, binobarin, bu kattalik yorug‘lik chastotasiga bog‘liq emas. Biror yetarlicha kichik  $\nu = \nu_m$  chastotada fotoelektron-

ning kinetik energiyasi nolga teng bo‘lib, bunda fotoeffekt to‘xtaydi. Bu  $h\nu_m = A$  bo‘lganda sodir bo‘ladi, ya’ni yorug‘lik kvantining hamma energiyasi elektronning chiqish ishiga sarflangan bo‘ladi. U vaqtda:

$$v_m = \frac{A}{h} \text{ yoki } \lambda_m = \frac{hc}{A}. \quad (120)$$

Fotoeffektning kuzatish mumkin bo‘lgan eng katta to‘lqin uzunligi  $\lambda_m$  elektrod (katod)ning ayni shu materiali uchun fotoeffektning «qizil chegarasi» deb ataladi. (120) formuladan fotoeffektning «qizil chegarasi» elektronlarning chiqish ishining kattaligiga bog‘liqligi kelib chiqadi. Turli metallar uchun chiqish ishining qiymati turlicha, binobarin, har bir metall uchun fotoeffekt hodisasi ma’lum bir minimal chastota (yoki maksimal to‘lqin uzunligi)dan boshlab kuzatiladi. Bu xulosa fotoeffektning uchinchi qonuniga mos keladi.

Fotoeffekt deyarli noinersion hodisadir. Eynshteyn nazariyasi bo‘yicha fotoeffektning noinersionligi yorug‘likda kvant xossalari mavjudligi va yorug‘likning modda bilan o‘zaro ta’siri kvant xarakterga ega ekanligining isbotidan iboratdir. Fotoeffektning chiqish vaqti yorug‘lik kvanti va metalldagi elektron orasidagi energiya almashinuvi bilan aniqlanadi. Bu vaqt  $10^{-13}$  s tartibidagi kattalikka tengdir. Agar fotoeffektning to‘lqin nazariya nuqtayi nazaridan qaralsa, u holda yorug‘likning berilgan intensivligida elektronning chiqish ishini bajarish uchun zarur bo‘lgan energiyani elektromagnit to‘lqin elektronga berishi uchun ma’lum vaqt talab qilinadi, degan xulosa chiqarish kerak bo‘lar edi.

Shunday qilib, Eynshteyn o‘zi rivojlantirgan tashqi fotoeffekt nazariyasi asosida yorug‘likning kvant xossalari mavjudligi va yorug‘likning modda bilan ta’sirlashishi kvant xarakterga ega ekanligi haqidagi g‘oyasini tasdiqlay oldi.

## 67- §. Foton va uning xarakteristikalarini

Fotoeffekt hodisasi, absolyut qora jismning nurlanishi, fotokimyoviy reaksiyalar va boshqalar Eynshteynning elektromagnit nurlanish nafaqat porsiya (kvant)lar bilan chiqadi, balki elektromagnit maydonning alohida zarralari —  $\epsilon = h\nu$  energiyaga ega kvantlar ko‘rinishida tarqaladi ham, modda tomonidan yutiladi ham, degan xulosasining to‘g‘riligini yorqin isbotlab berdilar. Agar Plank kvantlar haqidagi gipotezani ilgari surganda kvantni faqat yordamchi tushuncha

sifatida zarur, deb hisoblagan bo'lsa, Eynshteyn uzoqroqqa ketdi. U kvantda elektromagnit maydonning real mavjud zarrasini ko'rdi va bu zarrani keyinroq, 1929- yilda **foton** deb atadi.

Foton qator muhim xossalarga ega.

1. Fotonning energiyasi mos elektromagnit to'lqinning chastotasi (to'lqin uzunligi) orqali quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (121)$$

2. Foton tinch tura olmaydi, u dunyoga kelishi bilan harakatlana boshlaydi. Uni to'xtatish mumkin emas. Foton  $m_0$  tinchlikdagi massaga ega emas. Fotonning moddani oddiy zarralaridan prinsipial farqi ham ana shunda. Fotonlarning tinchlikdagi massasi yo'qligining isboti shundaki, yorug'lik dastalari o'zaro kesishganda ularning har biri bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda tarqalishda davom etadi.

3. Nisbiylik nazariyasiga binoan, massa va energiyaning o'zaro bog'liqlik qonuni bo'yicha  $E=mc^2$  edi. Shunga ko'ra fotonning massasini  $h\nu=mc^2$  tenglikdan aniqlash mumkin:

$$m_f = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{yoki} \quad m_f = \frac{h}{c\lambda}. \quad (122)$$

Bu massani elektromagnit maydon energiyaga ega bo'lganligi tufayli maydon massasi sifatida qaraladi. Fotonning massasini o'lchashning imkoni yo'q va undan tashqari hech bir eksperimental dalilda bu massa fotonning boshqa xarakteristikalaridan farq qilib, bevosita o'zini namoyon etmaydi. Lekin maydon massasi haqidagi tushunchadan bir qator hodisalarni, jumladan, elementar zarralarni tadqiq qilish bilan bog'liq hodisalarni tushuntirishda foydalaniladi.

4. Fotonlarning muhim xossalardan yana biri shuki, boshqa elementar zarralardan farqli o'laroq, ular nisbatan oson vujudga kelishi va yo'q bo'lishi mumkin (masalan, elektronlar va pozitronlarning vujudga kelishi va yo'q bo'lishi maxsus sharoitlarda sodir bo'ladi). Elektromagnit maydonning uyg'onishi sifatida foton moddasiz vujudga kela olmas edi, ammo modda bo'lmaganda foton cheksiz uzoq yashagan bo'lar edi.

5. Elektromagnit maydonning zarrasi bo'lgani holda foton hamma vaqt  $c$  yorug'lik tezligi bilan harakatlanadi. Yorug'likning struktura birligi bo'lib fotonlar elektromagnit maydonning energiyasi va massasini eltadi. Fotonlarning modda bilan o'zaro ta'sirida yorug'likning ta'siri namoyon bo'ladi.

6. Energiya va massadan tashqari foton  $p_f$  impulsiga ham ega. Fotonning impulsi uning massasi bilan tezligi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$p_f = m_f c = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (123)$$

Foton impulsi vektor kattalik, uning yoʻnalishi yorugʻlik nuri yoʻnalishi bilan mos tushadi. Foton impulsining mavjudligi yorugʻlikning bosimi va moddada sochilishi boʻyicha oʻtkazilgan tajribalar bilan tasdiqlanadi.

(123) formula yorugʻlikning toʻlqin va kvant xossalari bir-biriga bogʻlovchi formula hisoblanadi. (122) va (123) formulalardan koʻrinadiki, nurlanish chastotasi ortishi bilan fotonning massasi va impulsi ham ortar ekan. Nurlanishlarning baʼzi turlari uchun fotonning energiyasi, massasi va impulsi jadvalda keltirilgan:

1- jadval

Nurlanish turi	$\epsilon$ , J	$\nu$ , Hz	$m_f$ , kg.	$p_f$ , kg·m·s <sup>-1</sup>
Koʻrinadigan yorugʻlik	$3,14 \cdot 10^{-19}$	$5,14 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-36}$	$1,2 \cdot 10^{-27}$
Ultrabinafsha nurlar	$2 \cdot 10^{-18}$	$3 \cdot 10^{15}$	$2,2 \cdot 10^{-35}$	$6,6 \cdot 10^{-27}$
Qattiq rentgen nurlari	$5,3 \cdot 10^{-15}$	$8 \cdot 10^{18}$	$6 \cdot 10^{-32}$	$1,8 \cdot 10^{-23}$
Gamma nurlar	$2 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{20}$	$2,2 \cdot 10^{-30}$	$6,6 \cdot 10^{-22}$

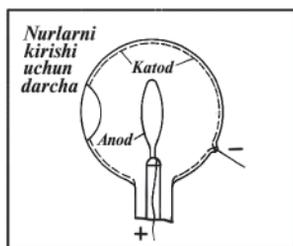
Jadvaldan koʻrinadiki, yorugʻlik fotonining massasi eng kichik ekan, biroq qattiq rentgen nurlari uchun fotonning massasi elektron massasi ( $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg) bilan solishtirarli darajada, gamma nurlanishida esa hatto elektron massasidan katta ekan.

## 68- §. Fotoeffektning qoʻllanilishi

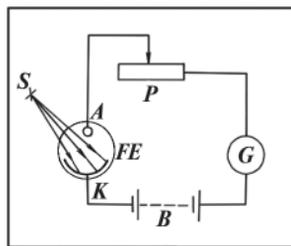
Fotoeffekt qonunlarini oʻrganish yorugʻlik haqidagi asosiy bilimlarimizni chuqurlashtirish uchun koʻp narsani beradi. Shuning uchun fotoeffekt hodisasi katta ilmiy ahamiyatga ega. Shu bilan birga fotoeffektning amaliy (texnik) ahamiyati ham katta. Ayniqsa fotoelementlar yaratilgandan keyin fotoeffektning turli-tuman qoʻllanish imkoniyati vujudga keldi.

Yorugʻlik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi asboblarni **fotoelementlar** deyiladi. A.G. Stoletovning qurilmasini fotoelement deyish mumkin. Hozirgi zamon fotoelementi ichki

yuzining bir qismiga chiqish ishi kichik bo'lgan metall qoplangan shisha ballondan iborat bo'lib (169- rasm), bu qatlam katod vazifasini o'taydi va manbaning manfiy qutbiga ulanadi. Ballon ichiga yorug'lik shaffof «darcha» orqali kiradi. Ballonga kavsharlangan metall halqa anod vazifasini o'taydi va manbaning musbat qutbiga ulanadi. Odatda ballonda vakuum hosil qilinadi, biroq ba'zida ballonga inert gaz, masalan, neon yoki argon kiritiladi. Vakuumli fotoelementlar o'ziga tushgan har bir lyumen yorug'lik hisobiga 5 dan 30 mikroampergacha tok beradi, holbuki gazli fotoelementlar esa har lyumenga 30 dan 700 mikroampergacha tok beradi. Bunday asboblarda fototok katod sirtidan urib chiqarilgan elektronlar ta'sirida gazning ionlashishi hisobiga ortadi.



169- rasm.



170- rasm.

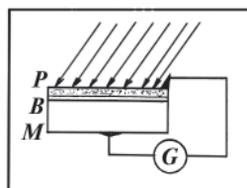
Fotoelementlarning zanjirga ulanish sxemasi 170- rasmda ko'rsatilgan. Agar katodga  $S$  manbadan yorug'lik tushayotgan bo'lsa, u elektronlar ajratib chiqaradi va bu elektronlar anodga qarab harakatlanadi; bu holda zanjirda tok hosil bo'ladi. Tok kuchini galvanometr bilan o'lchanadi. Anod bilan katod orasidagi kuchlanishni reostat yordamida o'zgartirish mumkin.

Ichki fotoeffektga asoslangan fotoelementlarni **yarimo'tkazgichli fotoelementlar** deb ataladi. Bunday yarimo'tkazgichli fotoelementlarni tayyorlashda selen, qo'rg'oshin (II)-sulfid, kadmiy sulfid va boshqa ba'zi yarimo'tkazgichlardan foydalaniladi. Yarimo'tkazgichli fotoelementlarning fotosezgirliги vakuumli fotoelementlarning sezgirligidan ancha (yuzlarcha marta) katta.

Lekin yarimo'tkazgichli fotoelementlarning kamchiligi shundan iboratki, ular sezilarli darajada inersion, shuning uchun ularni tez o'zgaruvchan yorug'lik oqimlarini qayd qilishga ishlatib bo'lmaydi.

Berkituvchi qatlamli yarimo‘tkazgichli fotoelement yoki **ventilli fotoelementlar** ham ichki fotoeffektga asoslangan. Bu fotoelementning sxemasi 171- rasmda berilgan.

$G$  galvanometr ulangan tashqi elektr zanjirga  $M$  metall plastinka va uning ustiga surkalgan yarimo‘tkazgichning  $P$  yupqa qatlami ulangan. Yarimo‘tkazgichning metall bilan



171- rasm.

kontakt sohasida ventilli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan  $B$  berkituvchi qatlam hosil bo‘ladi, bu qatlam elektronlarni faqat yarimo‘tkazgichdan metall tomonga o‘tkazadi. Yarimo‘tkazgichli qatlamni yoritganda ichki fotoeffekt tufayli unda erkin elektronlar paydo bo‘ladi. Bu elektronlar tartibsiz harakat jarayonida berkituvchi qatlam orqali metallga o‘tib, teskari yo‘nalishda siljish imkoniyati bo‘lmaganidan metallda ortiqcha manfiy zaryadni vujudga keltiradi. Elektronlarining bir qismini yo‘qotgan yarimo‘tkazgich musbat zaryadlanib qoladi. Metall va yarimo‘tkazgich orasida hosil bo‘ladigan potentsiallar ayirmasi fotoelement zanjirida tokni vujudga keltiradi.

Shunday qilib, ventilli fotoelement yorug‘lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantiradigan tok generatoridan iboratdir.

Ventilli fotoelementda yarimo‘tkazgichlar sifatida selen, mis (I)-oksid, talliy sulfid, germaniy, kremniylardan foydalaniladi.

Toza kremniyni olish texnologiyasi murakkabligi sababli kremniyli fotoelementlar juda qimmat turadi. Lekin shunga qaramay shu narsa muhimki, kremniyli fotoelementlar yuqori temperaturalarga bardosh bera oladi, hatto sferik ko‘zgular vositasida quyosh energiyasi konsentratsiyasini ularga yuborish mumkin. Shu sababli ham kremniyli fotoelementlar **quyosh batareyalari** nomini olgan.

O‘zbekistonda yarimo‘tkazgichlar fizikasi sohasidagi ishlar XX asrning 30- yillarida avval Geliotexnik laboratoriyada olib borilgan, so‘ng fizika-texnika institutida davom ettirilgan va davom ettirilmogda. Institutda o‘zbek olimlari tomonidan yarimo‘tkazgichlar ustida fundamental ilmiy tadqiqotlar olib borish bilan bir vaqtda, ulardan fan, texnika, qishloq xo‘jaligida foydalanish masalalari ham ko‘rib borilmoqda. Masalan, yuqori kuchlanishli selenli to‘g‘rilagichlarning sanoat texnologiyasi ishlab chiqilgan va seriyali ishlab chiqarish tashkil etilgan. Institutning izlanishlari asosida sanoatda o‘ta toza kremniyni ishlab chiqarish amalga oshirilgan, turli optoelektron asboblar yaratilgan va hokazo.

Fotoelementlarning qoʻllanish sohalari juda turli-tumandir. Ovozli kino, tasvirlarni simlar orqali uzatish (fototelegraf), televideniye, avtomatika va telemexanikaga tegishli koʻp masalalar fotoelementlarni ishlatish tufayligina hal qilinadi. Fotometriyada darajalangan galvanometrga ulangan fotoelementlar samarali ravishda ishlatiladi. Bu asbobni *lyuksmetr* deb ataladi.

Yerning sunʼiy yoʻldoshlari va kosmik kemalarda quyosh batareyalari ishlatiladi. Ular kema-dagi asboblarni elektr toki bilan taʼminlaydigan birdan-bir manba hisoblanadi. Masalan, Yerning uchinchi sunʼiy yoʻldoshi «Soyuz-3» da quyosh batareyalari 12500 soat (691 kun, deyarli 2 yil) ishladi va kema-dagi butun radioaparaturani tok bilan taʼminlab berdi. Buning uchun fotoelementlarning umumiy yuzasi yetarli katta boʻlishi kerak. «Soyuz-3» kosmik kemasida quyosh batareyalarining yuzi qariyb  $14 \text{ m}^2$  ni tashkil qilgan edi.

Kosmik texnikadan tashqari kremniyli fotoelementlar akkumulyatorlarni zaryadlashda, radiopriyomnik va peredatchiklarni, telefon stansiyalarni tok bilan taʼminlashda va hokazolarda xizmat qiladi.

«Agar Misr sirtiga tushayotgan yorugʻlik energiyasining hech boʻlmaganda 10% dan foydalanish imkoni boʻlganda edi, insoniyat butun dunyoda ishlab chiqarilayotgan energiyaga teng energiyani olgan boʻlar edi», degan edi fransuz olimi F. Jolio-Kyuri.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Issiqlik nurlanish qanday hodisa?*
2. *Jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari qanday fizik kataliklar?*
3. *Absolyut qora jism qanday jism? Uning nur yutish qobiliyati nechaga teng?*
4. *Plank gʻoyasining mazmuni nimadan iborat?*
5. *Energiya kvanti qanday formuladan aniqlanadi?*
6. *Fotoeffekt qanday hodisa? Qanday turlari mavjud?*
7. *Tashqi fotoeffekt qanday asbob yordamida oʻrganiladi?*
8. *Fotoelektronlar, fototok, toʻyinish toki, toʻxtatuvchi potensial tushunchalarining mazmunini ayting.*
9. *Fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi nimani ifodalaydi?*
10. *Tashqi fotoeffekt qonunlarini taʼriflang.*
11. *Fotoeffekt qonunlarini tushuntirishda qanday muammolar yuzaga keldi?*
12. *Fotoeffekt haqida Eynshteyn nazariyasining mohiyati nimadan iborat?*
13. *Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini yozing va fizik mohiyatini tushuntiring.*

14. Fotoeffektning «qizil chegarasi»ni qanday aniqlash mumkin? Formulasini yozing.
15. Foton qanday zarra? Qanday xossalarga ega?
16. Foton energiyasi, massasi va impulsi formulalari qanday ko'rinishda? Izohlab bering.
17. Fotoelement qanday asbob? Qanday turlarini bilasiz?
18. Vakuumli fotoelementning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring. U zanjirga qanday ulanadi?
19. Ventilli fotoelementning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring. Nima uchun uni tok generatori deb ataladi?
20. Nima uchun kremniyli fotoelementlar «quyosh batareyalari» nomini olgan?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Nikel uchun fotoeffektning «qizil chegarasi»ni aniqlang. Nikel uchun chiqish ishi 5 eV ga teng.

*Berilgan:*  $A=5 \text{ eV}=5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}=8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  $h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

*Topish kerak:*  $\lambda_m$ —?

*Yechilishi.* Fotoeffektning «qizil chegarasi»ga mos kelgan yorug'likning, ya'ni fotonning hamma energiyasi metallardan elektronning chiqish ishiga sarflanadi. Shuning uchun  $h\nu_m = A$ ,  $\nu_m = \frac{c}{\lambda_m}$

ekanligini nazarga olsak,  $h \cdot \frac{c}{\lambda_m} = A$  bo'ladi, bundan  $\lambda_m = \frac{hc}{A}$ .

*Hisoblash:*

$$\lambda_m = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{8 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,475 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 2475 \text{ \AA}.$$

**2- masala.** To'lqin uzunligi 300 mmk bo'lgan ultrabinafsha nurlar bilan yoritilgan rux plastinkadan uchib chiqqan fotoelektronlarning tezligini toping. Rux uchun elektronning chiqish ishi 4 eV ga teng.

*Berilgan:*  $\lambda=300 \text{ mmk}=3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $A=4 \text{ eV}=6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  
 $m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  $h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

*Topish kerak:*  $v$ —?

*Yechilishi.* Fotoeffekt hodisasi uchun Eynshteyn formulasini yozamiz:

$$h\nu = \frac{m v^2}{2} + A \quad \text{yoki} \quad \frac{hc}{\lambda} - A = \frac{m v^2}{2}.$$

Bundan fotoelektronning  $v$  tezligini topamiz:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{hc}{\lambda} - A \right)}$$

*Hisoblash:*

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \left( \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J} \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{0,44 \cdot 10^{12} \text{ J}}{9,1}} \approx 0,21 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 210 \frac{\text{km}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

**3- masala.** Agar sirt to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-12}$  sm, quvvat zichligi  $N = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  bo'lgan gamma nurlar oqimi bilan nurlatilsa, shu sirtning  $S = 10 \text{ sm}^2$  li yuzasiga  $t = 15$  sekund davomida nechta nurlanish kvanti tushadi?

*Berilgan:*  $\lambda = 10^{-12} \text{ sm} = 10^{-14} \text{ m}; \quad N = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2};$

$S = 10 \text{ sm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2; \quad t = 15 \text{ s}; \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$

*Topish kerak:*  $n = ?$

*Yechilishi.* Nurlanish kvantlarining soni sirtga tushayotgan nurlanish energiyasining bitta nurlanish kvant energiyasiga nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$n = \frac{W}{\varepsilon}.$$

Sirtga tushayotgan nurlanish energiyasi  $W = NSt$  ga teng.

Nurlanish kvantining energiyasi  $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ . Binobarin:

$$n = \frac{NSt\lambda}{hc}.$$

*Hisoblash:*

$$n = \frac{20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 15 \text{ s} \cdot 10^{-14} \text{ m}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ ta} = 15 \cdot 10^7 \text{ ta}.$$

**4- masala.** Agar chiqish ishi 4 eV ga teng bo'lsa, to'liq uzunligi 300 mmk bo'lgan nurlar bilan yoritilayotgan katoddan uchib chiqayotgan fotoelektronlarni batamom tormozlash uchun katod bilan anod orasidagi potentsiallar ayirmasi kamida qancha bo'lishi kerak?

*Berilgan:*  $A=4 \text{ eV}=6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $\lambda=300 \text{ nm}=3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  
 $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Topish kerak:*  $U - ?$

*Yechilishi.* Fotoelektronlar anodga yetib bormasligi uchun katod bilan anod orasidagi potensiallar ayirmasi shunday bo'lishi kerakki, bu potensiallar ayirmasida fotoelektronlarni katoddan anodga ko'chirishda elektr kuchlariga qarshi bajarilgan ish katoddan elektronlarning uchib chiqishida olgan kinetik energiyasiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$eU = \frac{m v^2}{2}.$$

bunda:  $e$  — elektron zaryadi;  $m$  — massasi,  $v$  — tezligi.

Bunda elektron manfiy zaryadga ega bo'lgani uchun anodning potentsiali manfiy bo'lishi kerak. Yuqoridagi ifodadan anod bilan katod orasidagi potensiallar ayirmasi  $U$  ni topamiz:

$$U = \frac{m v^2}{2e}.$$

Elektronning kinetik energiyasi Eynshteyn tenglamasidan foydalanib aniqlanadi, ya'ni:

$$\frac{m v^2}{2} = h \nu - A = h \frac{c}{\lambda} - A.$$

Binobarin:

$$U = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A}{e}.$$

*Hisoblash:*  $\frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$U = \frac{\phantom{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} - 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 0,12 \text{ V}.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**116.** 168- rasmda fotoeffektning volt-amper xarakteristikasi berilgan. 1. Tushayotgan nurlanish chastotasi ortganda. 2. Tushayotgan yorug'lik oqimi ortganda volt-amper xarakteristikalarini chizing.

**117.** Qizil ( $\lambda_q=700 \text{ nm}$ ) va yashil ( $\lambda_{ya}=500 \text{ nm}$ ) yorug'lik nurlari fotonining energiyasini toping.

**118.** Platinada fotoeffekt hodisasi kuzatilishi uchun yorug'lik to'lqinining eng katta uzunligi qancha bo'lishi kerak? Chiqish ishi  $5,3 \text{ eV}$ .

**119.** Fotonning energiyasi  $4,4 \cdot 10^{-19}$  J bo'lgan yorug'lik to'liqining biror muhitdagi uzunligi  $3 \cdot 10^{-7}$  m; shu muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichini aniqlang.

**120.**  $5 \cdot 10^{-7}$  m to'liqin uzunligiga to'g'ri keladigan kvant energiyasini toping.

**121.** Foton massasi elektron massasiga teng bo'lishi uchun u qanday energiyaga ega bo'lishi kerak?

**122.** Rentgen ( $\lambda_1 = 0,25 \text{ \AA}$ ) va gamma nurlari ( $\lambda_2 = 1,24 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$ ) fotonining massasini toping.

**123.** Yorug'lik to'liqinida  $5 \cdot 10^{-19}$  J energiyali fotonga mos kelgan maydon kuchlanganligining tebranish chastotasi qanday?

**124.** Rentgen trubkasi chiqaradigan nurlanishning to'liqin uzunligi eng kamida  $10 \text{ \AA}$  ga teng bo'lishi uchun u qanday kuchlanishda ishlashi kerak?

**125.** Energiyasi 1 eV bo'lgan fotonning impulsi qancha? Bunda chiqadigan nurning to'liqin uzunligi qancha?

**126.** To'liqin uzunligi  $5,2 \cdot 10^{-7}$  m li nurlanish fotonining impulsiga teng impulsiga ega bo'lgan elektron qanday tezlik bilan harakatlanishi kerak?

**127.** To'liqin uzunligi  $\lambda = 3,3 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan yorug'lik bilan yoritilayotgan seziydan chiqayotgan elektronlarning eng katta tezligini aniqlang. Chiqish ishi  $3,2 \cdot 10^{-19}$  J.

## **69- §. Geliotexnika elementlari. Quyosh energiyasidan foydalanish**

Geliotexnika fizikaning bir bo'limi bo'lib, u quyosh nurlanishini o'rganish va bu nurlanishni o'zlashtirish bilan shug'ullanadi.

Olimlar insoniyat oxir-oqibatda energiyaning Yerdagi asosiy manbai Quyoshga murojaat etishi kerak, degan fikrni oldindan aytib kelganlar.

Bir yil davomida Yer Quyoshdan taxminan  $60 \cdot 10^{16}$  kW·soat nurlanish energiyasini oladi, bu butun insoniyat hozirgi vaqtda sarflayotgan energiyadan 20 ming martadan ko'proqdir. Uning 0,001 qismidan kamrog'idan o'simlik va odamlar foydalanadilar.

Energiyaning nurlanish manbai sifatida Quyosh turli-tuman to'liqlarni chiqaradi. Quyosh energiyasining katta qismi spektrning infraqizil sohasiga, deyarli yarmi spektrning  $4 \cdot 10^{-7}$  m dan  $7 \cdot 10^{-7}$  m

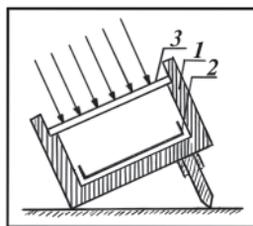
gacha to‘lqin uzunliklari sohasiga to‘g‘ri keladi. Bu energiya Yer yuziga ko‘rinuvchan yorug‘lik ko‘rinishida yetib keladi.

Yorug‘lik energiyasidan foydalanish imkonini beradigan gelioqurilmalar yaratilgan. Ularni past temperaturali va yuqori temperaturali gelioqurilmalarga ajratiladi.

### I. Past temperaturali gelioqurilmalar

Ko‘pchilik sanoat va qishloq xo‘jalik ishlab chiqarishlarda temperaturasi  $100^{\circ}\text{C}$  gacha bo‘lgan suv va havo kerak bo‘ladi. Odam hayotiy zaruriyati (hammom, dush, kirxona) uchun uncha yuqori bo‘lmagan temperaturali suvni ishlatadi. Bu maqsadda quyosh nurlanish energiyasidan muvaffaqiyatli foydalanish mumkin. Quyosh radiatsiyasi (nurlanish energiyasi) suvni tuzsizlantirishda, meva va sabzavotlarni quritishda, issiqxona — parnik xo‘jaliklarini va binolarni isitishda qo‘llanilishi mumkin. Bunda past temperaturali quyosh qurilmalaridan foydalaniladi. Shulardan ba‘zilari bilan tanishib chiqaylik.

1. **Havo va suv isitkich.** Turli ko‘rinishdagi past temperaturali isitkichlarning samaradorligini ilmiy o‘rganish «qaynoq quti» deb nomlangan isitkich eng manfaatlilikini ko‘rsatdi. «Qaynoq quti»ning tuzilishi 172- rasmda keltirilgan. Quti (1) yog‘ochdan yasalgan bo‘lib, uning ichiga (2) qoraytirilgan qoplama joylashtirilgan va (3) shisha plastina (deraza oynasi) bilan yopilgan.

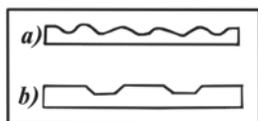


172- rasm.

«Qaynoq quti»da jarayon quyidagicha ketadi: quyosh nurlari spektrining qisqa to‘lqinli sohasi qoraytirilgan qoplama tomonidan yutiladi, qutining tubi esa issiq uzun to‘lqinli nurlarni chiqaradi, (3) shisha plastina bu nurlarni tashqariga o‘tkazmaydi. Natijada qutidagi havo isiydi, termoizolyator yordamida qutining devorlari va tubidan befoyda issiqlik sarfi kamaytiriladi. Qutini shunday joylashtirish kerakki, shisha qopqoqning sirtiga quyosh nuri tik tushsin.

Yozda bunday qutida temperaturani  $70\text{--}75^{\circ}\text{C}$  gacha yetkazish mumkin. Agar 2—2,5 sm oraliq bilan ikkinchi shisha qopqoq qo‘yilsa, temperatura  $95^{\circ}\text{C}$  gacha ko‘tariladi. Shisha qatlami 8 ta bo‘lganda  $210^{\circ}\text{C}$  gacha temperaturani olish mumkin.

Agar bunday qutini gorizontall joylashtirib, ichiga qoraytirilgan tunukadan yasalgan tova qo‘yilsa va unga suv quyilsa, suvning temperaturasi  $60^{\circ}\text{C}$  gacha ko‘tarilishi mumkin.



173- rasm.

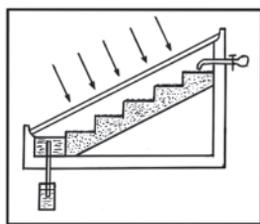
O‘zbekiston Respublikasi FA ning Fizi-ka-texnika institutida gofirovka qilingan va yassi taram-taram qozonli quyosh isitkich qurilmasining konstruksiyasi yaratilgan. 173- *a* rasmda gofirovka qilingan va 173- *b* rasmda yassi taram-taram suv isitkichning ko‘ndalang kesimi tasvirlangan. Tajribalarning ko‘rsatishicha, bu isitkichlar kichik issiqlik inersiyasiga ega, shu sababli ularning samaradorligi boshqa isitkichlarnikidan 10–15% ga yuqori ekan.

2. **Quyoshli tuzsizlantirgich.** Aniqlanishicha, cho‘l va yarimcho‘l maydonlarning yarmi yer osti suv zaxirasiga ega ekan. Suv uncha chuqurda emas, uni chiqarish oson. Fizika-texnika institutining geliobazasida yaratilgan quyoshli batareya bilan ishlaydigan qurilmadan foydalanib yer osti suvni chiqarish mumkin. Lekin bu suvning sho‘rligi tufayli ishlatib bo‘lmaydi. Okean va dengiz suvlari ham shunday.

Suv yaxshi erituvchi hisoblanadi. Okean va dengiz suvlarida o‘rtacha  $35 \frac{g}{l}$  gacha turli xil tuzlar bor. Qoraqumdagi yer osti suvida

$22 \frac{g}{l}$  gacha tuz erigan. Odam sho‘rligi  $(1-1,5) \frac{g}{l}$  bo‘lgan suvni iste‘mol qila oladi. Shuning uchun sho‘r suvni tuzsizlantirish katta ahamiyatga ega, chunki chuchuk suv zaxirasi sezilarli kamayib bormoqda.

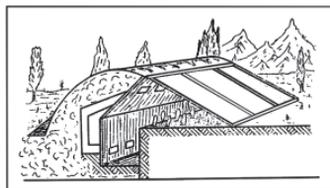
Suvni tuzsizlantirishning asosiy usuli dastlab uni bug‘lantirib, so‘ng kondensatsiyalash (ya‘ni, suvni haydash)dan iborat. Buning uchun ko‘p yoqilg‘i talab etiladi, shu sababli tuzsizlantirish qimmatga tushadi. Hozirgi vaqtda tuzsizlantirgichlarning turli konstruksiyalari ishlab chiqilgan, ularda issiqlik energiyasi sifatida quyosh radiat-siyasidan foydalaniladi. 174- rasmda qiya-pog‘onali tuzsizlan-tirgichning prinsipial tuzilishi tasvirlangan. U «qaynoq quti»dan iborat bo‘lib, quti ichidagi mayda toshli beton pog‘ona bo‘yicha suv jildirab oqadi. Toshli pog‘ona suvning bug‘lanish sirtini, binobarin, qurilmaning unumdorligini oshiradi.



174- rasm.

3. **Quyosh issiqxonasi.** Xalqni yil bo‘yi yangi sabzavotlar bilan ta‘minlab turishda, issiqlikka talabchan sitrus o‘simliklarni (apelsin, limon, mandarinlarni) yetishtirishda quyosh issiqxonasi muhim ahamiyatga ega.

Issiqxonalarni yoqilg'i bilan isitish qimmatga tushadi, daromadning 60–70% i faqat isitish uchun sarf bo'ladi. Shu sababli quyosh radiatsiyasi yil bo'yi yuqori bo'lgan tumanlarda issiqxonalarni quyosh energiyasidan foydalanib isitish maqsadga muvofiq bo'ladi.



175- rasm.

Issiqxonaning FIK ni ko'tarish uchun, albatta, geliotexnika talablariga amal qilish lozim. Issiqxonaga tushayotgan yorug'lik energiyasidan to'laroq foydalanish uchun: a) issiqxonaning oynaklangan tomoni aniq janubga qaratilgan bo'lishi kerak; b) romlarning qiyaligini joyning geografik kengligiga teng qilib olish kerak; d) issiqxonada kunduzi to'plangan quyosh issiqligidan kechki va tungi vaqtlarda foydalanish lozim.

175- rasmda tuproq issiqxona tuzilishi ko'rsatilgan. Issiqxonaning ichidan qazib olingan tuproq uning shimol tomoniga to'kiladi, janub tomoni esa oyna solingan yoki shaffof parda bilan qoplangan romlar bilan berkitiladi. Ortiqcha issiqlik tuproq orqali o'tuvchi zovurlar yordamida tuproqda to'planadi.

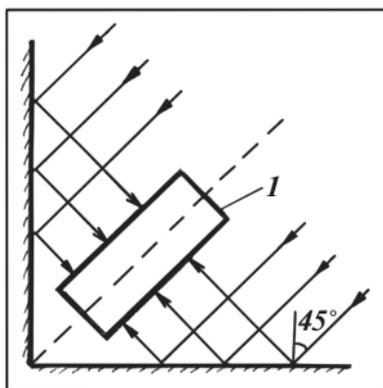
Parniklar ham issiqxonaga o'xshagan, lekin ularda sabzavot ko'chatlari yetkaziladi va sabzavotlarni erta yetkazib berish uchun mavsumi kelganda bu ko'chatlar ochiq maydonga ekiladi.

## II. Quyosh konsentratorlari.

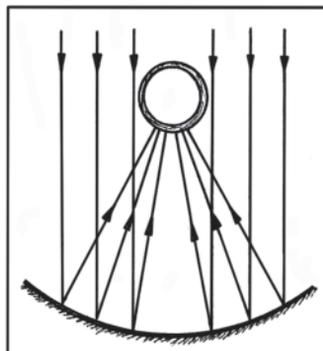
Xalq xo'jaligida va turmushda nisbatan yuqori temperaturali hamda bosimli issiqlik energiyasi talab qilinadi. Masalan, ovqat pishirish uchun 100°C dan yuqori temperatura kerak; payvandlash va ba'zi metallarni eritish uchun 1000–2000°C, keramikani eritish uchun esa yanada yuqoriroq temperatura kerak bo'ladi. Bunday hollarda quyosh energiyasidan foydalanish uchun uni konsentratorlar yordamida to'plashga to'g'ri keladi.

Quyosh energiyasi konsentratorlari turli xil ko'zgular: silindrik, sferik, parabolasilindrik yoki konus shaklidagi ko'zgulardan, shuningdek, ko'zgu bo'lakchalaridan tashkil topgan faset ko'zgulardan iborat. Ba'zi hollarda konsentratorlarga quyosh energiyasi geliostat deb nomlangan yassi ko'zgu yordamida yo'naltiriladi. Quyosh konsentratorlardan ba'zilari bilan tanishib chiqaylik.

1. Konus shaklidagi konsentrator ichki sirti ko'zgu qilib yasalgan va cho'qqisi to'g'ri burchakli konusdan iborat bo'lib, to'g'ri burchakning diagonali bo'yicha  $l$  silindrik qozon joylashtirilgan (176-rasm). Quyosh nurlari konusning ichki ko'zgu sirtiga 45° burchak ostida



176- rasm.



177- rasm.

tushib, undan qaytgach, qozon devoriga perpendikulyar tushadi. Konusli konsentrator parallel nurlarni bir nuqtaga emas, balki qozon bo'yicha fokal chiziq deb ataladigan chiziqda to'playdi.

2. Parabolasilindrik konsentrator ichki sirti ko'zgusimon qaytaruvchi silindrik sirtning bir qismidan iborat. Bunday konsentratorlarda ham fokus nuqta bo'lmaydi (177- rasm), yorug'lik fokal chiziq bo'yicha to'planadi.

### III. Quyosh energiyasi bilan payvandlash.

Quyosh energiyasidan materiallarni payvandlash va kavsharlashda ham keng foydalanish mumkin. Payvandlashning klassik usullariga, masalan, gaz alangasida va elektr yoyda payvandlashga qaraganda quyosh energiyasida payvandlash mutloq sterilliligi bilan, payvandlanayotgan buyumlarning elektr va magnit xossalari bog'liq emasligi bilan farq qiladi. Payvandlash quyosh qurilmalarining ishlash prinsipi juda oddiy: aniq paraboloid sirt yordamida konsentra-tsiyalangan quyosh energiyasi buyumlarning tutashgan joyiga yuboriladi va qirralarning erishi hisobiga chok hosil bo'ladi. Amaliy va ilmiy-amaliy ahamiyatga ega bo'lgan ana shunday ishlar Fizika-texnika institutida akademik S.A. Azimov, muxbir a'zo G.E. Umarovlarning bevosita rahbarligida olib borilgan va ularning shogirdlari tomonidan olib borilmoqda. O'zbek olimlarining ilmiy izlanishlari natijasida 1000 kW quvvatga ega bo'lgan yirik geliotexnik qurilma — Katta quyosh pechi yaratildi va 1987- yilda Toshkent viloyatining Parkent tumanida ishga tushirildi. Qurilmaning fokusida 2700–3000°C gacha temperaturaga erishildi. Bu pechda fan hamda texnika uchun kerakli o'ta toza keramik mahsulot olish mumkin.

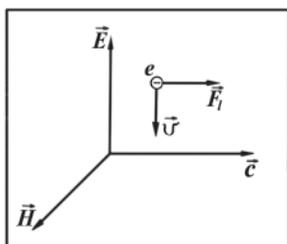
## 70- §. Yorug‘likning bosimi. Lebedev tajribasi

Quyosh nurlari ta’sirida kometa dumining og‘ishini kuzatishlar asosida yorug‘lik bosimi haqidagi gipotezani o‘z vaqtida Kepler aytgan edi. Bu hodisaga ilmiy yondoshgan birinchi olim Maksvell bo‘ldi. 1873- yilda o‘zining yorug‘likka oid elektromagnit nazariyasi asosida u jism sirtiga tushayotgan yorug‘lik unga bosim berishini ko‘rsatdi. Shu bilan birga Maksvell yorug‘lik bosimi  $\vec{E}$  elektr va  $\vec{H}$  magnit maydon kuchlanganliklarining tebranishlari tufayli yuzaga kelishini nazariy isbotlab berdi. Ko‘pgina olimlar yorug‘likning bosimini o‘lchashga urinib ko‘rdilar. Ammo bu bosim shu darajada kichikki ( $\sim 10^{-8}$  Pa), olimlarning urinishlari hech qanday natija bermadi. Maksvellning yorug‘lik bosimi bo‘yicha amalga oshirgan nazariy hisoblashlariga katta shubha bilan qarashdi. Xususan mashhur fizik V. Tomson (lord Kelvin) ularga qarshi bo‘lib chiqdi.

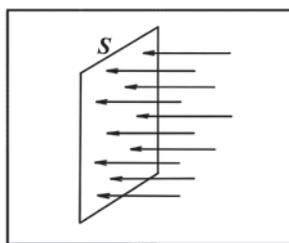
Yorug‘lik to‘lqinining elektr maydoni ta’siri ostida jismlardagi elektronlar elektr maydon kuchlanganligining yo‘nalishiga qarshi yo‘nalishda harakatga keladi. Batartib harakatlanayotgan elektronlarga yorug‘lik to‘lqinining magnit maydoni xuddi elektr tokiga ta’sir qilgani kabi to‘lqinning yo‘nalishi tomon yo‘nalgan Lorens kuchi bilan ta’sir etadi (178- rasm). Bu kuch yorug‘likning bosim kuchi bo‘lib, uning jismning yuza birligiga to‘g‘ri kelgan qiymati yorug‘lik bosimini beradi.

Yorug‘likning kvant nazariyasidan ham yorug‘lik uchragan to‘siqqa bosim ko‘rsatish xossasi borligi kelib chiqadi. Bu nazariya asosida yorug‘lik bosimini yorug‘likni fotonlar oqimidan iborat deb qarab hisoblash oson.

Faraz qilaylik, chastotasi  $\nu$  va intensivligi  $I$  bo‘lgan monoxromatik yorug‘lik dastasi biror  $S$  yuzaga normal tushayotgan bo‘lsin (179- rasm). Birlik yuzaga vaqt birligida tushayotgan barcha fotonlarning



178- rasm.



179- rasm.

energiyasi yorug‘lik intensivligini xarakterlaydi. Bitta fotonning energiyasi  $h\nu$  ga teng bo‘lgani uchun:

$$I = N h \nu \quad (124)$$

bo‘ladi, bunda  $N$  — birlik yuzaga vaqt birligida tushayotgan fotonlar soni.

Impulsning saqlanish qonuniga asosan, fotonning sirtga beradigan kuch impulsi fotonning sirtga «urilishdan» oldingi va keyingi impulslarning ayirmasiga teng. Agar sirt yorug‘likni to‘la yutsa, u vaqtda bu impuls quyidagi ifodaga teng bo‘ladi:

$$\frac{h\nu}{c} - 0 = \frac{h\nu}{c},$$

(fotonning urilishidan keyingi impulsi nolga teng, chunki foton yutilgandan keyin yo‘qoladi).

Agar yorug‘lik sirdan to‘la qaytsa, foton unga

$$\frac{h\nu}{c} - \left(-\frac{h\nu}{c}\right) = 2\frac{h\nu}{c}$$

impulsni beradi (fotonning tushishdagi va qaytishdagi impulsi qarama-qarshi ishoraga ega bo‘ladi).

Birlik yuzaga vaqt birligi ichida ta’sir ko‘rsatadigan kuch impulsi shu yuzaga bo‘lgan bosimni beradi. Shuning uchun birlik yuzaga ega bo‘lgan sirtning vaqt birligi ichida barcha  $N$  fotonlardan olgan to‘la impulsi yorug‘lik bosimi  $p$  ga teng bo‘ladi. Binobarin, yorug‘lik bosimi yutuvchi sirt uchun  $p = N \frac{h\nu}{c}$ , qaytaruvchi sirt uchun  $p = 2N \frac{h\nu}{c}$  bo‘ladi. U vaqtda (124) formulani e’tiborga olgan holda quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$p = \frac{I}{c} \quad (125)$$

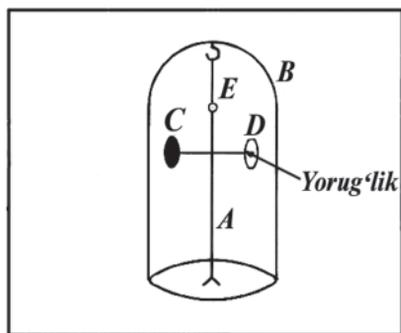
yutuvchi sirt uchun va

$$p = 2\frac{I}{c}. \quad (126)$$

qaytaruvchi sirt uchun.

Maksvellning elektromagnit nazariyasiga asosan yorug‘likning bosimi quyidagiga teng:

$$p = (1 + k) \frac{I}{c}, \quad (127)$$



180- rasm.

bunda  $k$  — sirtning yorug'likni qaytarish koeffitsiyenti bo'lib, yorug'likni to'la yutuvchi sirt uchun  $k=0$ , to'la qaytaruvchi sirt uchun  $k=1$  bo'ladi.

Shunday qilib, yorug'likning to'lqin nazariyasi va kvant nazariyasi yorug'lik bosimi uchun bir xil natijaga olib keladi. Bu natijaning to'g'riligini isbotlash uchun yorug'likning bosimini o'lchash muhimdir. Yorug'likning bosimini birinchi bo'lib 1900-yilda mashhur rus fizigi Petr Nikolayevich Lebedev eksperimental ravishda juda nozik va nodir tajriba vositasida aniqladi. Bu tajribaning prinsipial sxemasi 180- rasmda berilgan. Havosi so'rib olingan  $B$  idishda tortilgan  $A$  shisha tolaga ikkita yengil  $D$  va  $C$  metall plastinka mahkamlangan, ulardan biri ( $C$ ) ning sirti qoraytirilgan (yorug'lik yutadi), ikkinchisi yaltiroq (yorug'likni qaytaradi) qilib ishlangan.

Yorug'lik dastasi tushgan plastinka yorug'lik ta'sirida harakatlanadi, natijada  $A$  tola biror burchakka buriladi, uni tolaga yopishtirilgan  $E$  ko'zgu va ko'rish trubasi (rasmda ko'rsatilmagan) yordamida o'lchanadi. Burilish burchagining kattaligiga qarab yorug'likning plastinkaga berayotgan bosimi hisoblanadi.

Lebedev tomonidan yorug'lik bosimining tajribada olingan qiymatlari yorug'lik bosimining nazariy jihatdan hisoblangan qiymatlari bilan mos tushgan. Jumladan, qaytaruvchi sirtga (yaltiroq plastinkaga) yorug'likning bosimi yutuvchi sirtidagi (qoraytirilgan plastinka)ga nisbatan ikki marta kattaligi aniqlangan.

Yorug'lik bosimining kvant va to'lqin nazariyalar yordamida bir xil tushuntirilishi yorug'likning to'lqin xossalari ham, korpuskulyar xossalari ham ega bo'lgan elektromagnit to'lqin ekanligini yana bir karra isbotlaydi.

## 71- §. Yorug‘likning kimyoviy ta’siri

Yorug‘lik nurlanishi yoritilayotgan jismga turlicha ta’sir ko‘rsatadi. Jumladan: 1. *Yorug‘likning issiqlik ta’siri*. Bunda yorug‘likning jism tomonidan yutilishi natijasida yorug‘lik energiyasining ichki energiyasiga aylanishi ro‘y beradi. 2. *Yorug‘likning fotoelektrik ta’siri*. Bunda yorug‘lik ta’sirida moddadan elektronlar chiqariladi. 3. *Yorug‘likning mexanik ta’siri* — yorug‘lik bosim ko‘rsatadi. 4. *Yorug‘likning kimyoviy ta’siri* — yorug‘lik energiyasining kimyoviy energiyaga aylanishi natijasida fotokimyoviy reaksiyalar ro‘y beradi va hokazo. Yorug‘likning issiqlik, fotoelektron, mexanik ta’sirlarini ko‘rib chiqqan edik. Endi yorug‘likning kimyoviy ta’sirini ko‘rib chiqaylik.

Yorug‘lik ta’siri ostida bir qancha kimyoviy reaksiyalar ro‘y beradi. *Yorug‘lik ta’sirida vujudga keladigan reaksiyalarni fotokimyoviy reaksiyalar deb ataladi.*

Fotokimyoviy reaksiyalar juda turli-tumandir. Yorug‘lik nuri ta’sirida murakkab molekulalar tarkibiy qismga ajraladi, masalan,  $\text{NH}_3$  ammiak azot va vodorodga yoki  $\text{AgBr}$  kumush bromid kumush va bromga ajraladi. Murakkab molekulalar ham hosil bo‘lishi mumkin, masalan, xlor va vodorod aralashmasini yoritganda vodorod xlorid  $\text{HCl}$  hosil bo‘ladi.

Yorug‘likning uzoq vaqt kimyoviy ta’sirida bo‘lgan jism bo‘yoqlarining o‘zgarganligini ko‘ramiz. Bo‘yoqlarning buzilishi bo‘yoq moddasining havo tarkibidagi kislorod bilan yorug‘lik ta’sirida oksidlanishi natijasida sodir bo‘ladi.

Fotokimyoviy reaksiyalarning ko‘pchiligi tabiat va texnikada muhim ahamiyatga ega. Eng katta ahamiyatga ega bo‘lgan reaksiya — bu *fotosintezdir*.

*Fotosintez noorganik moddalar (suv va karbonat angidrid)ning organik modda (uglevod)larga aylanishidir.* Fotosintez daraxtlar va o‘tlarning yashil barglarida, ignabarglarda va ko‘pgina mikroorganizmlarda yuz beradi. Barglar havodan karbonat angidrid ( $\text{CO}_2$ ) ni yutib, uni tarkibiy qismlarga — uglerod va kislorodga ajratadi. Rus biolog K.A. Timiryazov aniqlaganidek, bu jarayon xlorofill (yashil barglardagi pigment) molekulalarida quyosh spektrining qizil nurlari ta’sirida sodir bo‘ladi. O‘simliklar uglerod atomlaridan iborat reaksiya zanjiriga ildizlar vositasida yerdan oladigan boshqa elementlarning atomlarini qo‘shib olib, inson va hayvonlar uchun oziq oqsil, yog‘ va uglevodlarning molekulalarini

hosil qiladi. Taxminiy hisoblarga qaraganda Yer sharidagi quruqlik va suv o‘simliklari har yili fotosintez vositasida 450 mlrd tonnaga yaqin organik moddalar hosil qilar ekan.

Shunday qilib, fotosintez organik moddalar hosil qilib, atmosferani karbonat angidrid gazidan tozalaydi va kislorod bilan boyitadi. Shu yo‘l bilan fotosintez Yerdagi organik hayotning uzoq vaqt mavjud bo‘lishi uchun zarur bo‘lgan uglerodning tabiatda aylanishini ta‘minlab turadi.

Ko‘rinib turibdiki, odam, hayvon va o‘simliklar uchun yorug‘lik zarur hayot omilidir, chunki uning yetmasligi yoki bo‘lmasligi organizmning normal faoliyatini buzadi; yorug‘lik yetishmasligini boshqa hech qanday ta‘sir (isitish, ovqatlanish va shunga o‘xshashlar) bilan kompensatsiyalab bo‘lmaydi.

Fotokimyoviy jarayonlar quyidagi miqdoriy qonunga bo‘ysunadi: *fotokimyoviy reaksiyada qatnashgan moddaning m massasi yutilgan yorug‘likning energiyasiga proporsionaldir:*

$$m = kWt, \quad (128)$$

bunda:  $W$  — yutilgan yorug‘lik quvvati;  $t$  — yoritish vaqti;  $k$  — proporsionallik koeffitsiyenti, uning kattaligi ro‘y berayotgan fotokimyoviy reaksiyaning tabiatiga bog‘liqdir.

Fotokimyoviy jarayon fotokimyoviy o‘zgarish natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlarning kimyoviy faolligi tufayli yuzaga keladigan sof kimyoviy reaksiyalar — ikkilamchi reaksiyalarni sodir qiladi. (128) formula fotokimyoviy reaksiyaga tegishli, ya‘ni birlamchi jarayongina yutilgan yorug‘likning energiyasi hisobiga o‘tadi, barcha ikkilamchi jarayonlarda kimyoviy o‘zgarishlar natijasidagi, ya‘ni sistemaning ichki energiyasining o‘zgarishi natijasidagi aylanishlar bilan ish ko‘riladi. 1905- yilda Eynshteyn yorug‘lik kvantlari gipotezasini aytib, fotokimyoviy (birlamchi) jarayonlar uchun xos bo‘lgan juda sodda qonunni kashf etdi: *yutilgan har bir hv kvantga yorug‘likni yutgan bir dona molekulaning o‘zgarishi mos keladi.* Bu qonunni ***Eynshteynning ekvivalentlik qonuni*** deb ataladi.

Eynshteyn qonuniga ko‘ra bir dona fotonning yutilishi bir dona molekulaning o‘zgarishiga olib kelsa, u holda to‘lqinlar orasida  $hv$  energiyasi birlamchi jarayon (masalan, yorug‘likni yutgan molekulaning dissotsiyalanishi) uchun zarur bo‘lgan  $E_a$  aktivatsiya energiyasidan katta bo‘lgan to‘lqinlarga fotokimyoviy reaksiyani yuzaga keltira oladi:

$$h\nu \geq E_a. \quad (129)$$

Bu ifodadan fotokimyoviy reaksiyaning uzun to‘lqinli chegarasi («qizil chegarasi») mavjudligi kelib chiqadi: agar yorug‘likning chastotasi

$$\nu < \nu_0 = \frac{E_a}{h}$$

munosabatni qoniqtirsa, fotokimyoviy reaksiya ro‘y bermaydi. Har bir berilgan fotokimyoviy reaksiya uchun  $\nu_0$  chegaraviy chastota o‘zining qiymatiga ega bo‘ladi.

Ko‘rish qobiliyatining asosida ham fotokimyoviy jarayon yotadi.

Ko‘zning optik sistemasi ko‘rilayotgan buyumning tasvirini to‘r pardaga tushiradi (31- § ga qarang). To‘r parda xili va vazifasi turlicha bo‘lgan nerv hujayralarining bir necha qatlamidan iborat murakkab struktura bo‘lib, uning oxirgi qatlamida joylashgan reseptor hujayralar, ya’ni kolbacha va tayoqchalar yorug‘likni bevosita sezadi. Tekshirishlar tayoqchalarning yorug‘lik nuriga sezgirroq ekanligini va qorong‘i (g‘ira-shira)da ko‘rish sezgisi tayoqchalarning ta’sirlanishi sababli paydo bo‘lishini ko‘rsatadi. Kolbachalarning sezgirligi kamroq bo‘lib, ular rangli ko‘rish uchun javobgardir. Tayoqchalarning uchlari ko‘rish purpuri deb nomlanadigan alohida pigment bilan bo‘yalgan bo‘lib, u yorug‘lik ta’sirida parchalanadi. Parchalanish mahsuloti tayoqchalarga kimyoviy ta’sir ko‘rsatadi. Bunday ta’sirlanish nervni qo‘zg‘atadi va miyaga uzatiladi. Ko‘rish nervining qo‘zg‘alishi to‘r pardadagi tasvir xarakteri haqida, demak bu tasvirning manbayi bo‘lgan tashqi fazodagi manzara haqida fikrlashga, tasavvur hosil qilishga imkon beradi.

## 72- §. Fotografiya

Hozirgi zamon fotografiyasi fotokimyoviy jarayonning muhim amaliy qo‘llanishidir. Bu yerda birlamchi fotokimyoviy jarayon ham, keyingi ikkilamchi kimyoviy reaksiyalar ham bo‘ladi.

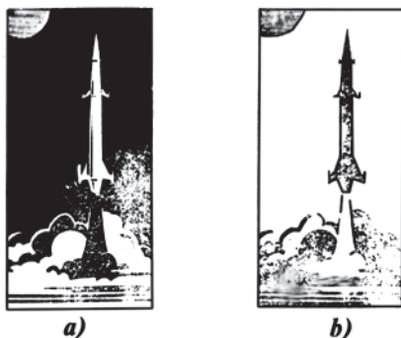
Fotografiya qilish jarayoni fotoplastinkaning sezgir qatlamini yoritish va keyin plastinkani kimyoviy ishlash (ochiltirish)dan iborat. Fotoplastinka (yoki fotoplyonka)ning sirti jelatinadagi yorug‘likka sezgir AgBr kumush bromid emulsiyasi bilan qoplangan bo‘ladi. Fotoplastinka unga tushayotgan yorug‘lik kvanti ta’sirida bo‘layotgan fotokimyoviy reaksiya natijasida kumush bromid molekulasi

parchalanib, kumush atomini yoki metall ko‘rinishidagi kumush mayda zarralarini ajratib chiqaradi.

Kumush atomining paydo bo‘lishini quyidagicha tushuntirish mumkin: yorug‘lik sezuvchi qatlam tarkibiga kirgan kumush tuzlari (xususan, AgBr) da kumush ionlari bor. Yorug‘lik ta‘sirida fotoelektrik hodisasi ro‘y beradi, shu hodisa natijasida ajralgan elektronlar kumushning musbat ionlarini neytrallashtirib atomlarga aylantiradi. Natijada ayrim atomlar yoki metall kumushning mayda zarralari hosil bo‘ladi. Ana shu kumush metall fotoplastinkani qoraytiradi. Hosil bo‘lgan kumush zarralarining soni tushayotgan yorug‘likning intensivligiga va tushish vaqtiga proporsional bo‘ladi. Fotoplastinkani sezilarli darajada qoraytirish uchun juda kuchli yorug‘lik bilan uzoq vaqt yoritish zarur bo‘ladi.

Agar amalda ko‘p uchraydigan qisqa muddatli ekspozitsiyalar (yoritish) qo‘llansa, plastinkaning shunday yoritilgan qismida yorug‘likning ta‘sirini sezish mumkin emas. Birlamchi fotokimyoviy ta‘sir jarayonning boshi bo‘lib, fotoplastinkaning yorug‘lik ta‘sir qilgan joylarini kumushni tezlikda ajralib chiqishiga tayyorlaydi, buyumning yashirin tasvirini vujudga keltiradi.

Keyinchalik plastinkaga tegishli kimyoviy reaktivlar bilan ta‘sir qilib, (ya‘ni, fotoplastinkani ochiltirgich deb ataladigan gidroksinon, metol yoki boshqa moddalar eritmasiga botirib), kumush bromidning ayrim molekullari parchalangan kristallidan metall kumushni ajratib olish mumkin. AgBr molekullari bo‘lgan kristallar ochiltirgich bilan reaksiyaga kirishmaydi. Fotoplastinkaning qaysi joyi qanchalik ko‘p yoritilgan bo‘lsa, sof kumushning tiklanish darajasi shunchalik katta bo‘ladi, demak surat ochiltiriladi, obyektning *negativ tasviri* hosil bo‘ladi. Bu tasvirda obyektning oq joylari qora, qora joylari esa oq bo‘ladi (181- a rasm).



181- rasm.

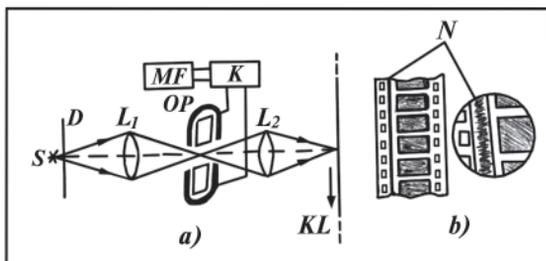
Surat ochiltirib bo‘lgandan so‘ng parchalanmagan kumush bromid qoldiqlarini  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  giposulfatning eritmasida eritib va suvda yuvib tashlanadi. Shunday qilib, fotoplastinka yorug‘likning bundan keyingi ta’sirlaridan ehtiyot qilinadi (fiksatsiyalanadi) va negativni tayyor holga keltiriladi.

Fotosurat olish uchun negativ ostiga fotoqog‘ozni qo‘yib, negativ ustidan yoritiladi va yuqorida qayd etilgan usulda kimyoviy ishlov berib, **pozitiv tasvir** hosil qilinadi. Pozitivda obyektning ranglari to‘g‘ri, ya’ni oq joylari oq va qora joylari qora bo‘ladi (181- b rasm).

Fotografiya fan va texnikada nihoyatda keng qo‘llaniladi. Jumladan, fotografiyadan: 1) ko‘z bilan bevosita kuzatish mumkin bo‘lmagan ultrabinafsha va infraqizil nurlarni qayd etishda; 2) juda qisqa muddatda o‘tadigan (elektr uchqun, lazer impulslari, zaryadlangan zarralarning uchishi kabi) jarayonlarni qayd etishda; 3) intensivligi juda sust bo‘lgan, shuning uchun uzoq vaqt ekspozitsiya talab etiladigan jarayonlarni suratga olishda; 4) reproduksiya olish texnikasida; 5) astronomiya va astrofizikada ilmiy-tadqiqot ishlarda; 6) kinematografiyada va hokazo juda ko‘p sohalarda foydalaniladi.

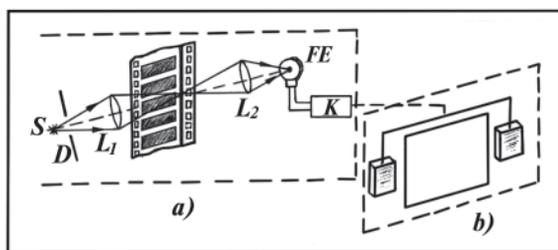
### 73- §. Kinoda ovoz yozib olish va uni eshittirish

Kinematografiyada ovoz yozib olish va uni qayta eshittirishda fotografiyadan foydalaniladi. Bu jarayonning fizik mohiyati quyidagicha: tovush tebranishlari elektr toki tebranishlariga aylantiriladi, elektr toki tebranishlaridan kintasmada tovush yo‘llari, ya’ni «tovush fotografiyasi» hosil qilish uchun foydalaniladi. So‘ng «tovush fotografiyasi» yorug‘lik bilan yoritilib, undan o‘tgan yorug‘lik dastasi fotoelementga tushiriladi va tovush qayta tiklanadi.



182- rasm.

Ovoz yozib olish asboblari murakkab. 182- *a* rasmda ovoz yozish qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan. Bunda tovush tebranishlari *MF* mikrofon yordamida elektr toki tebranishlariga aylantiriladi. Elektr toki tebranishlari *K* kuchaytirgichda kuchaytirilib, *OP* sistema orqali o'tkaziladi. *OP* magnit sistema qutblari orasida bir-biriga juda yaqin joylashtirilgan ikki metall plastinkadan iborat bo'lib, plastinkalar orasidagi tirqish orqali *KL* kinotasmaning ovoz yo'liga *S* manbadan *D* diafragma,  $L_1$  va  $L_2$  linzalar yordamida yorug'lik dastasi tushiriladi. Agar metall plastinkalarga elektr toki tebranishlari uzatilayotgan bo'lsa, u holda magnit qutblari orasidagi magnit maydon ta'sirida tokli plastinkalar elektr toki tebranishlariga mos tebranma harakatga keladi. Buning natijasida plastinkalar orasidagi tirqish kengligi o'zgarib turadi: u goh kattalashadi, goh kichiklashadi. Boshqacha aytganda, *OP* sistema o'ziga xos «optik pichoq» vazifasini o'taydi, u tasmaga tushayotgan yorug'lik oqimini tovush tebranishlariga moslab boshqarib turadi, natijada tovush kengligi o'zgaruvchan *N* qora yo'l ko'rinishida yozib olinadi (182- *b* rasm), «tovush fotografiyasi» hosil bo'ladi.



183- rasm.

183- rasmda tovushni qayta eshittirish uchun foydalaniladigan asbobning prinsipial sxemasi tasvirlangan. Bunda fotoelement «tovush fotografiyasi»ni tovushning o'ziga aylantirib beradi. Bu narsa quyidagicha amalga oshiriladi: kinoapparatda tasmadagi tovush yo'li yorug'likning ingichka shu'lasini bilan yoritiladi, undan o'tgan yorug'lik *FE* fotoelementga tushadi (183- *a* rasm). Tovush yo'lidagi qorong'i sohalar yorug'lik oqimining bir qismini yutadi. Kinotasma harakatlanayotganda tovush yo'li orqali o'tayotgan yorug'lik oqimining kattaligi uzluksiz ravishda o'zgarib turadi, shuning uchun fotoelement zanjiridagi tok ham o'zgaradi. Hosil bo'layotgan elektr toki tebranishlari avval zarur quvvatgacha kuchaytiriladi, shundan

soʻng reproduktorlarga uzatiladi (183- b rasm) va u yerda elektr tebranishlari qayta tovush toʻlqinlariga aylanib, tovush tiklanadi.

#### **74- §. Yorugʻlikning korpuskulyar-toʻlqin dualizmi**

Ushbu bobda elektromagnit nurlanish (jumladan, yorugʻlik) elektromagnit maydon zarralari — fotonlar koʻrinishida chiqarilishi, tarqalishi va modda tomonidan yutilishiga guvoh boʻladigan bir qator hodisalar — fotoeffekt, issiqlik nurlanishi kabi hodisalar bilan tanishdik. Tajribadan olingan dalillar yorugʻlikning kvant tabiatiga ega ekanligini tasdiqlaydi va uning kvant nazariyasini yaratish uchun asos boʻlib xizmat qiladi.

Boshqa hodisalar, masalan, yorugʻlikning interferensiyasi, difraksiyasi, dispersiyasi va qutblanishi bizni elektromagnit nurlanish toʻlqin xarakterga ega, deb ishontiradi. «Interferensiya sohasida toʻlqin nazariya ulkan gʻalabaga erishdi», deb aytgan edi mashhur ingliz fizigi Sh. Reley. Ingliz fizigi L. Bregg esa: «Nahotki dushanba, seshanba va chorshanba kunlari fotoeffekt va Kompton effekti bilan tajriba oʻtkazayotganimizda yorugʻlik korpuskulalardan tashkil topgan deb, va payshanba, juma va shanba kunlari difraksiya va interferensiya hodisalari bilan ishlayotganimizda yorugʻlik toʻlqinlardan iborat, deb tasavvur qilishimiz kerak», degan savolni qoʻyadi. L. Bregg tomonidan bu tarzda qoʻyilgan savolni quyidagicha ifodalash mumkin: yorugʻlik oʻzi nimadan iborat? Manbadan nurlanayotgan uzluksiz elektromagnit toʻlqinlarni yoki manbadan tartibsiz chiqarilayotgan va vakuumda  $c$  tezlik bilan harakatlanadigan diskret fotonlar oqimimi?

Yorugʻlikka, bir tomondan, kvant, korpuskulyar xossalarni, ikkinchi tomondan, toʻlqin xossalarni berish zaruriyati yorugʻlik haqidagi bilimlarimiz mukammal emas, degan taassurot qoldirishi mumkin. Eksperimental dalillarni tushuntirishda turlicha, lekin shu bilan birga, goʻyo bir-birini inkor etuvchi tasavvurlardan foydalanish zaruriyati sunʼiydek tuyuladi. Toʻlqinlar va zarralarning qator belgilari haqiqatan ham qarama-qarshidir. Masalan, harakatdagi zarra (foton)lar fazoning aniq sohalarida boʻladi, tarqalayotgan toʻlqinni esa fazoda «yoyilgan» toʻlqin sifatida koʻrish kerak va yuguruvchi toʻlqinning fazoning biror aniq sohasidagi manzili haqida gapirish mumkin emas.

XX asrda fizikaning eng ulkan yutuqlaridan biri yorugʻlikning toʻlqin va kvant xossalarni bir-biriga qarama-qarshi qoʻyishga intilish

xato ekanligiga asta-sekin ishonch hosil qilishdan iborat bo‘ldi. Elektromagnit to‘lqinlarga xarakterli bo‘lgan uzluksizlik xossalari yorug‘lik kvantlari – fotonlarga xarakterli bo‘lgan diskretlik xossalarni inkor etmaydi. *Yorug‘lik to‘lqin ham, zarra ham emas, u murakkab tabiatga ega bo‘lib, bir vaqtning o‘zida ham uzluksiz elektromagnit to‘lqinlar xossalariga, ham diskret fotonlar xossalariga ega.* Shunday qilib, yorug‘lik bu ikki qarama-qarshi xossalarning dialektik birligidan iboratdir.

Haqiqatan ham qator hollarda, masalan, yorug‘likning bosimi, sinishi, qaytishi kabi xossalarni to‘lqin nuqtayi nazaridan ham, kvant tasavvurlar nuqtayi nazaridan ham bir xilda yaxshi tushunish va tushuntirish mumkin. Shuningdek, yorug‘likning interferensiya va difraksiya hodisalarini bayon qilishda to‘lqin tasavvurlarni qo‘llagan holda, interferensiyon va difraksiyon manzaralarni fotoelement yordamida qayd qilishda biz yorug‘likning to‘lqin xossalarini oshkor qilish uchun uning kvant xossalaridan foydalanishimizning o‘zi yorug‘lik ikki yoqlama xossaga ega ekanligiga ishonch hosil qiladi. Yorug‘likning ham to‘lqin, ham korpuskulyar xossalarga egalik dalilini ***korpuskulyar-to‘lqin dualizmi*** deb ataladi.

Yorug‘likning to‘lqin va kvant xossalarining birligi kvant fizikaning asosiy formulalari:

$$\varepsilon = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{va} \quad p_f = \frac{hv}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

da ham o‘z aksini topgan. Bu formulalarda  $\varepsilon$  energiya,  $p_f$  impuls va  $h$  Plank doimiysi yorug‘likni fotonlar oqimi sifatida xarakterlaydi,  $\nu$  chastota va  $\lambda$  to‘lqin uzunlik esa to‘lqin sifatida xarakterlaydi. Yorug‘likning kvant va to‘lqin xossalari bir-birini inkor etmaydi, aksincha, bir-birini o‘zaro to‘ldiradi.

Elektromagnit nurlanish (yorug‘lik)ning tashqi ko‘rinishidan bunday bir-biriga zid xossalarida juda qiziq va juda muhim qonuniyat bor: to‘lqin uzunlik qancha kichik bo‘lsa, kvant qonuniyatlar shuncha yorqin va, aksincha, to‘lqin uzunlik qancha katta bo‘lsa, nurlanishning to‘lqin xossalari shuncha yorqin namoyon bo‘ladi. Elektromagnit to‘lqinlar shkalasi bo‘yicha uzun to‘lqinlar sohasidan qisqa to‘lqinlar sohasiga siljib borilsa, elektromagnit nurlanishning to‘lqin xossalari borgan sari yorqin namoyon bo‘lib borayotgan kvant xossalariga asta-sekin o‘z o‘rnini beradi.

Shunday qilib, yorug‘lik tabiatining ikkiyoqlamaligini materiyaning turli-tuman xossalarini aks ettiradigan obyektiv reallik deb qabul qilish kerak.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Geliotexnika nima bilan shug‘ullanadi?*
2. *Yerga Quyoshdan energiya qanday ko‘rinishda keladi?*
3. *Gelioqurilmalar qanday asboblarda? Past temperaturadagi gelioqurilmalar qanday maqsadda ishlatiladi?*
4. *Yuqori temperaturali gelioqurilmalarda temperaturani ko‘tarish uchun qanday usullardan foydalaniladi?*
5. *Quyosh energiyasi bilan payvandlashning afzalligi nimalardan iborat?*
6. *Nima uchun kometalar dumini hamma vaqt Quyoshdan teskari tomonga yo‘nalgan?*
7. *Lebedev g‘oyasini, eksperimental qurilmasining sxemasini va tajriba natijalarini tushuntiring.*
8. *Kvant nazariyasiga asoslanib yorug‘lik bosimining formulasini keltirib chiqaring.*
9. *Maksvell nazariyasiga asosan yorug‘lik bosimi qanday formuladan aniqlanadi?*
10. *Lebedev tajribalarining natijalari yorug‘lik uchun qanday ahamiyatga ega bo‘ldi?*
11. *Fotokimyoviy reaksiyalar qanday sodir bo‘ladi?*
12. *Nima uchun fotosintez hayot uchun muhim bo‘lgan kimyoviy reaksiya hisoblanadi?*
13.  *$m=kWt$  formula nimani ifodalaydi?*
14. *Eynshteynning ekvivalentlik qonunini ta‘riflang.*
15. *Ko‘zning ko‘rish qobiliyatini tushuntiring.*
16. *Fotoplastinkada buyumning yashirin tasviri qanday hosil bo‘ladi?*
17. *Yashirin tasvirdan negativ tasvir, negativ tasvirdan pozitiv tasvir qanday hosil qilinadi?*
18. *«Tovush fotografiyasi» nima? Uni qanday hosil qilinadi? Qurilmani chizib, tushuntiring.*
19. *Tovushni tiklash uchun qanday qurilmadan foydalaniladi?*
20. *Yorug‘likning korpuskulyar-to‘lqin dualizmi nima haqida? Qanday isbotlar mavjud?*

### **Masala yechish namunalari**

**1- masala.** Yuzasi  $10 \text{ sm}^2$  bo‘lgan sirtga intensivligi  $10^{18} \frac{1}{\text{s}}$  bo‘lgan fotonlar dastasi tushadi. Tushayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi  $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Agar sirtning qaytarish koeffitsiyenti 0,7 bo‘lsa, sirtga ko‘rsatilayotgan yorug‘lik bosimini toping.

*Berilgan:*  $S=10 \text{ sm}^2=10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ;  $n=10^{18} \frac{1}{\text{s}}$ ;  $\lambda=5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $k=0,7$ .

*Topish kerak:*  $p$  — ?

*Yechilishi.* Yorug‘likning elektromagnit nazariyasiga ko‘ra yorug‘likning bosimi:

$$p = \frac{I}{c}(1 + k),$$

bunda:  $I$  — sirtga tushayotgan yorug‘likning intensivligi. Intensivlik sirtning birlik yuzasiga birlik vaqtda tushgan fotonlarning energiyasiga teng ekanligini e‘tiborga olsak, u holda:

$$I = \frac{n \cdot h\nu}{S} = \frac{nhc}{S\lambda}$$

deb yoza olamiz. Binobarin, yorug‘likning bosimini:

$$p = \frac{n \cdot hc}{S\lambda} \cdot \frac{1}{c}(1 + k) = \frac{nh}{S\lambda}(1 + k)$$

formuladan hisoblab topish mumkin.

*Hisoblash:*

$$p = \frac{10^{18} \frac{1}{\text{s}} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}(1 + 0,7) = 2,25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

**2- masala.** Yuzasi  $100 \text{ sm}^2$  bo‘lgan sirtga har minutda  $63 \text{ J}$  yorug‘lik energiyasi tushadi. 1) yorug‘likni to‘la qaytaradigan; 2) yorug‘likni to‘la yutadigan sirtga ko‘rsatiladigan yorug‘lik bosimini toping:

*Berilgan:*  $S=100 \text{ sm}^2=10^{-2} \text{ m}^2$ ;  $t=1 \text{ min}=60 \text{ s}$ ;  $W=63 \text{ J}$ .

*Topish kerak:*  $p_1$  — ?  $p_2$  — ?

*Yechilishi.* 1. Yorug‘likni to‘la qaytaradigan sirt uchun  $k=1$ ,

binobarin, yorug‘likning bosimi  $p = 2 \frac{I}{c}$  bo‘ladi.

Intensivlikning ta‘rifiga ko‘ra:

$$I = \frac{W}{St}$$

bo‘lgani uchun bosim formulasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$p = \frac{2W}{cSt}.$$

*Hisoblash:*

$$p = \frac{2 \cdot 63 \text{ J}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ s}} = 7 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ Pa.}$$

2. Yorug'likni to'la yutuvchi sirt uchun  $k=0$ . U holda yorug'likning bosimi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$p = \frac{I}{c} = \frac{W}{c \cdot St}.$$

*Hisoblash:*

$$p = \frac{63 \text{ J}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ s}} = 3,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 3,75 \cdot 10^{-7} \text{ Pa.}$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**128.** Yorug'lik yassi plastinkaga  $\alpha \neq 0$  burchak ostida tushadi. a) agar plastinkaning sirti hamma yorug'likni yutsa; b) agar uning sirti yorug'likni ko'zgudek qaytarsa, unda plastinka qaysi yo'nalishda itariladi?

**129.** Jismning sirtiga har sekunda 100 J ga teng yorug'lik energiyasi tushadi. Agar yorug'likning to'lqin uzunligi  $5 \cdot 10^{-5}$  sm bo'lsa, shu sirtga 15 sekund davomida nechta yorug'lik kvanti tushadi?

**130.** Quvvati 9 W bo'lgan yorug'lik oqimi qaytarish koeffitsiyenti 0,8 bo'lgan  $10 \text{ m}^2$  yuzali sirtga normal yo'nalishda tushadi. Bunda sirtga qanday bosim ko'rsatiladi?

**131.** 100 W li elektr lampochka devoriga beradigan yorug'lik bosimini toping. Lampochka kolbasining radiusi 5 sm bo'lgan sferik idishdan iborat. Lampochka devori o'ziga tushayotgan yorug'likning 10% ni qaytaradi. Iste'mol qilingan barcha quvvat nurlanishga sarflanadi deb hisoblang.

**132.** To'lqin uzunligi  $4900 \text{ \AA}$  bo'lgan yorug'lik dastasi sirtga perpendikulyar holda tushib, unga  $5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  bosim beradi.

Yorug'likning sirtidan qaytish koeffitsiyenti 0,25 ga teng. Shu sirtning birlik yuzasiga bir sekunda qancha foton tushadi?

## ATOM VA YADRO FIZIKASI

### VII bob. ATOM FIZIKASI

---

#### 75- §. Atom tuzilishi. Tomsonning atom modeli

Moddaning tuzilishi haqidagi dastlabki fikrlar qadimgi yunon falsafasida uchraydi. Eramizdan avvalgi V asrda atom haqidagi birinchi tushunchani yunon olimi, faylasuf-materialist Demokrit kiritgan. Demokritning fikricha, materiya juda ko'p sonli mayda bo'linmas zarralar — atomlardan tashkil topgan, ular bir-biri bilan birikib va bo'linib tabiatdagi cheksiz turli-tuman narsalarni hosil qiladi. Atomlar abadiy va o'zgarmas, ular «yo'qdan bor bo'lmaydi va bordan yo'q bo'lmaydi», ular shakli va o'lchami bilan bir-biridan farqlanadi, degan fikrni ilgari surgan. Demokritning atomistik falsafasi hozirgi zamon tabiiy bilishning asosi bo'lib qoldi.

Taxminan o'sha davrda Empedokl modda tuzilishi to'g'risidagi boshqa nazariyani ko'tarib chiqqan, uni keyinroq (eramizdan avvalgi IV asrda) tabiiy bilish rivojiga ta'siri uzoq vaqt davom etgan Aristotel rivojlantirgan. Bu olimlarning fikricha, modda mayda zarralardan — barcha jismlar uchun bir xil bo'lgan birlamchi materiya («il» va «ilem» deb nomlangan materiya)dan tuzilgan bo'lib, birlamchi materiyaga to'rt element: olov, tuproq, havo va suv ta'sir etishi natijasida moddalar ma'lum sifat kasb etadi, ular ana shu sifatlarga qarab bir-biridan farq qiladi.

O'rta asr alkimyosi shu fikrga asoslanadi. Alkimyogarlarning maqsadi oddiy metallarni nodir metallar — oltin va kumushga aylantirishdan iborat bo'lganligidan, ular moddalardan yuqorida aytilgan to'rt elementni chiqarib tashlab, sof birlamchi materiya olishga urindilar.

Lekin ularning urinishlari samarasiz bo'ldi va inqirozga yuz tutdi. Shundan so'ng yana atom nazariyasi birinchi o'ringa chiqib oldi. XIX asr boshlarida bu nazariya Dalton va Lomonosovning buyuk xizmatlari tufayligina muhim ahamiyat kasb etdi. Dalton turli elementlarni o'zaro ta'sir qildirib kimyoviy birikmalar hosil qilish usullarini kuzatib, har bir element atomlardan tuzilgan, atom esa moddaning bo'linmas birligidir, degan xulosaga keldi. Bir xil kimyoviy elementning atomlari boshqa xil kimyoviy elementning atomlaridan farq qiladi.

1869- yilda rus olimi D.I. Mendeleev tomonidan elementlarning davriy sistemasi kashf etildi. Mendeleevning xizmatlari shundan iboratki, u birinchi bo‘lib, elementlarning individual xossalaring tashuvchilarini o‘rnatdi. Bu tashuvchilar atomlardir.

U atomlar kimyoviy ma‘noda bo‘linmas dedi, ammo qo‘rqmasdan atomlar hosil bo‘lganda energiya ajraladi va ularning massalari o‘zgaradi, deb faraz qildi. Mendeleev «atomlar dunyosi osmon yoritkichlari dunyosi o‘zining quyoshi, sayyora va yo‘ldoshlari bilan qanday tuzilgan bo‘lsa, shunday tuzilgan», degan g‘oyani sezgan edi. Fanning keyingi rivoji bu ulug‘ g‘oyaning to‘g‘riligini isbotladi.

XIX asr oxiridagi eksperimental izlanishlar bilan hozirgi zamon fizik atomistikasining yangi bosqichiga qadam qo‘yildi. Bu bosqich Rentgen va Bekkerel kashfiyotlaridan boshlandi. 1895- yilning oxirida nemis fizigi V.K. Rentgen rentgen nurlarini (56- § ga qarng), 1896- yilda fransuz fizigi A.A. Bekkerel radioaktivlikni kashf etdilar (97- § ga qarang). Bu ikkala hodisa atom ichida ro‘y beruvchi noma‘lum jarayonlar bilan albatta bog‘liqligi olimlarga ma‘lum bo‘lib qoldi.

Va, nihoyat, 1897- yili ingliz fizigi J. Tomson katod nurlarining tabiatini o‘rganish jarayonida atom tarkibiga kiruvchi birinchi elementar zarra — elektronni kashf etdi. Elektr zaryadini tashuvchi elementar zarra — elektronning mavjudligini nemis olimi Gelmgols nazariy aytib o‘tgan edi.

Shunday qilib, jismlarning ishqalanishida elektrlanishini o‘rganish, elektroliz, gazlarning ionlanishi, katod nurlari, fotoeffekt, rentgen nurlari va radioaktivlikni tadqiq qilish atomlar ichida manfiy elektr xossalriga ega bo‘lgan juda kichik zarra — elektron mavjud ekanligini, binobarin, atom bo‘linmas zarra emas, balki murakkab ichki strukturaga ega ekanligini isbot qildi.

Fizika va kimyo sohasidagi ko‘pgina tadqiqotlar barcha moddalarning molekularlari hamda atomlari elektr jihatidan neytral (ya‘ni, ortiqcha elektr zaryadiga ega emas) degan xulosaga olib keladi. Shunday ekan, atomning ichida zaryadlarining yig‘indisi shu atom tarkibidagi barcha elektronlar zaryadlarining yig‘indisiga teng bo‘lgan musbat zaryadlangan zarralar bo‘lishi kerak, deb o‘ylash tabiiydir.

Olimlar oldida: Atom qanday tuzilgan? Atomning ayrim qismlari nimalardan iborat? Ular bir-biriga nisbatan qanday joylashgan?

degan va shunga o'xshash ko'plab savollar tug'ildi. Shu tufayli turli atom modellari muhokama qilina boshlandi.

1903- yilda J. Tomson o'zining atom modelini taklif qildi. Ushbu modelga asosan atom butun hajmi musbat elektr zaryadi bilan bir xil zichlikda zaryadlangan shardan iborat bo'lib, elektronlar o'sha musbat elektr «bulutida» go'yo suzib yuradi. Shardagi musbat zaryadlar yig'indisi elektronlarning manfiy zaryadlari yig'indisiga teng bo'ladi. Atom bir butun holatda elektr jihatdan neytraldir. Atomning yorug'lik chiqarishiga elektronlarning muvozanat holatdagi kichik tebranishlari natijasi deb qaraldi.

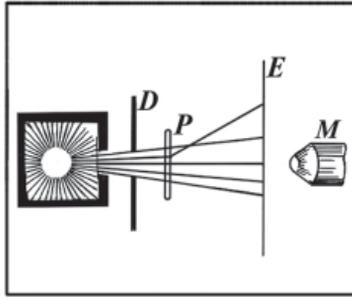
Bu modelda ko'p tushunmovchiliklar mavjud edi. Musbat zaryadlangan atom massasi nimadan iborat? Bu modelni atomlarning radioaktiv nurlarni chiqarishi bilan qanday bog'lash mumkin? Atomda musbat zaryadlangan zarralar bormi? Nihoyat, Tomson taklif qilgan atom modeli to'g'rimi? Axir, u bu modelni taxmin va farazlar asosida qurgan-ku! Bu taxmin va farazlarni tajribada tasdiqlash zarur edi.

Tomson o'z modelini yaratayotgan vaqtda unga qarama-qarshi hodisalar mavjudligiga qaramasdan, bu model atom tuzilishi haqidagi tushunchalarning rivojlanish bosqichlarida kerakli rol o'ynadi. Eng avvalo Tomson atomning murakkab sistema ekanligini birinchi marta isbotladi. Atomning elementarligi haqidagi ko'p asrlik tasavvurlarni buzdi. Tomson modeli fizika nuqtayi nazaridan elementlarning davriy sistemasini va kimyoviy reaksiyalarni tushuntirib berishi katta ahamiyatga ega edi. Tomson kimyoviy reaksiyalar elektronlar hisobiga sodir bo'lishini ham isbotlab berdi. Ammo yangi tajriba natijalari ko'proq va yana ko'proq Tomsonning atom modelini inkor qila boshladi.

## **76- §. Rezerford tajribasi. Rezerford formulasi**

Ko'p tajriba va nazariy tekshirishlar natijasida atom tuzilishi nazariyasi yaratildi. Bu nazariyani yaratishda ingliz olimi Rezerford tomonidan o'tkazilgan tajribalar muhim ahamiyatga ega bo'ldi.

Katod nurlarining elektr va magnit maydonlarda og'ishini kuzatish elektronlarning bu maydondagi harakat tezligini hisoblashga va ular zaryadining massasiga nisbati ( $e/m$ ) ni aniqlashga imkon berdi. Elektronning zaryadi elektroliz qonunlari asosida hisoblab topildi va so'ngra bevosita o'lchandi. Elektronning zaryadini va



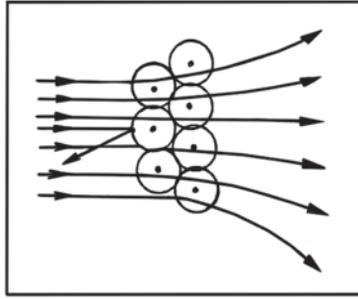
184- rasm.

uning zaryadining massasiga nisbatini bilgan holda elektronning massasini hisoblash mumkin bo'ldi. Elektronning massasi vodorod atomi massasidan 1836 marta kichikdir.

Elektronlarning massasi atomlarning massasidan bir necha ming marta kichikligidan atomning asosiy massasi uning musbat zaryadli qismiga to'g'ri keladi, degan fikr kelib chiqadi.

Atom ichida musbat zaryadning va binobarin, massasining taqsimlanishini tadqiq qilish uchun Rezerford va uning shogirdlari  $\alpha$ -zarralarning yupqa metall plastinka — folgalar orqali o'tganda uchish yo'nalishlari o'zgarishi (sochilishi)ni o'rgandilar.  $\alpha$ -zarralar ba'zi moddalarning radioaktiv yemirilishi (parchalanishi) paytida juda katta tezlik bilan ajratib chiqaradigan musbat zaryadli zarralari bo'lib, ular o'z tabiatiga ko'ra gely ionlaridan iboratdir. Bu zarralarning massalari elektron massasidan taxminan 8000 marta katta, musbat zaryadi esa absolyut kattaligi jihatidan elektron zaryadidan ikki marta kattadir. Radioaktiv moddadan  $\alpha$ -zarralarning uchib chiqish tezligi  $10^4$  km/s tartibida bo'ladi.

Rezerford tajribasi quyidagicha amalga oshirilgan (184- rasm). Qo'rg'oshindan maxsus yasalgan kovak ichiga radioaktiv modda kiritilgan bo'lib, u  $\alpha$ -zarralar manbayi bo'lib xizmat qiladi.  $\alpha$ -zarralar qo'rg'oshin qatlamida kuchli tormozlanishi sababli ular tashqariga faqat ingichka tirqish orqali chiqa oladi. Shu usul bilan hosil qilingan  $\alpha$ -zarralarning ingichka dastasi uning yo'lga qo'yilgan tekshirilayotgan modda (masalan, oltin, mis)dan yasalgan yupqa folga *P* ga tushadi.  $\alpha$ -zarralar folgadan o'tganida boshlang'ich harakat yo'nalishidan turli burchakka og'adi, ya'ni  $\alpha$ -zarralar folgada sochiladi. Sochilgan  $\alpha$ -zarralar rux sulfid surtilgan *E* ekranga borib urilib hosil qilgan chaqnash (ssintillyatsiya)lar *M* mikroskop orqali kuzatiladi.



185- rasm.

Qurilma ichidan havosi soʻrib olinadi. Folga boʻlmaganda  $E$  ekranda  $\alpha$ -zarralarining ingichka shuʻlasi hosil qilgan chaqnashlardan iborat yorugʻ yoʻl hosil boʻladi. Biroq shuʻlaning yoʻliga folga qoʻyilganda  $\alpha$ -zarralarning sochilishi tufayli ekranning katta qismida chaqnashlar vujudga keladi.

Kuzatishlarning koʻrsatishicha: 1)  $P$  folgaga tushayotgan  $\alpha$ -zarralarning soniga nisbatan unda sochilgan zarralarning soni ancha kam; 2) katta burchak ostida, hatto  $180^\circ$  burchak ostida sochilgan  $\alpha$ -zarralar ham bor (185- rasm); 3) sochilish burchagining ortishi bilan sochilgan  $\alpha$ -zarralarning soni keskin kamayib ketadi.

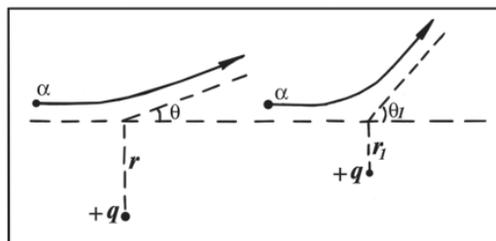
$\alpha$ -zarralarning modda orqali oʻtganda bunday sochilishiga sabab, ularga moddani tashkil etuvchi zarralarning taʼsir etishidir, deb oʻylash tabiiydir.  $\alpha$ -zarraning katta burchakka ogʻishi modda atomining musbat zaryadli va uning massasini oʻziga mujassamlantirgan qismi bilan oʻzaro taʼsiri (toʻqnashishi)dan kelib chiqadi. Chunki yengil elektronlar nisbatan oʻzidan ogʻir va juda tez  $\alpha$ -zarralarning harakatini sezilarli darajada oʻzgartira olmaydi. Bundan Rezerford atomning yadrosi haqidagi gʻoyaga keldi. *Atom yadrosi atomning deyarli butun massasi va butun musbat zaryadi yigʻilgan juda kichik oʻlchamli qismidir.*

Agar folganing  $1 \text{ sm}^2$  yuzasiga  $1 \text{ s}$  da tushgan  $\alpha$ -zarralarning soni  $N$ , folganing  $1 \text{ sm}^3$  hajmdagi atomlar soni  $n$ ,  $P$  folga markazidan  $E$  ekrangacha boʻlgan masofa  $l$ , folganing qalinligi  $b$  boʻlsa, u holda  $1 \text{ sm}^2$  yuzadan  $1 \text{ s}$  da  $\theta$  burchak ostida sochilayotgan  $\alpha$ -zarralarning  $\Delta N$  soni:

$$\Delta N = \frac{nNb}{l^2} \left( \frac{2Ze^2}{m_\alpha \cdot v^2} \right)^2 \frac{1}{4 \sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (130)$$

formuladan aniqlanishini Rezerford hisoblab ko'rsatdi, bunda:  $m_\alpha$  —  $\alpha$ -zarraning massasi;  $v$  —  $\alpha$ -zarraning tezligi;  $q=Ze$  — atom yadrosining zaryadi; ( $q_\alpha=2e$  —  $\alpha$ -zarraning zaryadi).

(130) formulani **Rezerford formulasi** deyiladi.  $\alpha$ -zarralarning sochilishiga doir tajribalar Rezerford formulasini to'la tasdiqlaydi.



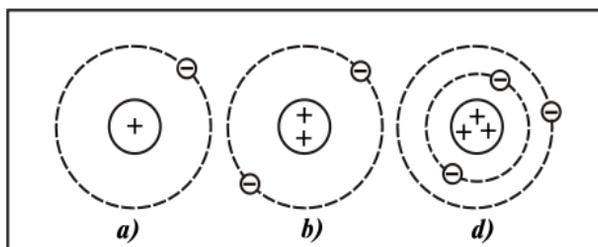
186- rasm.

Turli xil burchaklar ostida sochilgan  $\alpha$ -zarralarni sanab (186-rasm), Rezerford yadro o'lchamini aniqlay oldi. Yadroning diametri  $10^{-15}$  m tartibida ekanligi ma'lum bo'ldi. Keyinchalik yadroning  $q=Ze$  zaryadi ham aniqlandi, bunda:  $e$  — elementar zaryadning absolyut qiymati;  $Z$  — mazkur kimyoviy elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi tartib nomeri.

## 77- §. Atomning planetar modeli va uning kamchiliklari

Ko'pgina tajribalar natijalarini tahlil qilib, 1911- yilda Rezerford atom tuzilishining **planetar modelini** yaratdi. Bu modelga muvofiq atomning markazida uning deyarli butun massasiga teng massali va musbat zaryadga ega bo'lgan yadro joylashgan. Yadro atrofida elektronlar tayinli orbitalar bo'ylab harakat qiladi (elektronlar atom ichida tinch holatda tura olmaydi, bu holda ular yadroga qulab tushgan bo'lar edi). Bu harakat yadro tomonidan ta'sir qiluvchi kulon kuchi natijasida yuz beradi. Yadroning o'lchami  $10^{-15}$  m tartibida, atomning o'lchami esa elektronlar orbitasining o'lchami bilan aniqlanadi va  $10^{-10}$  m ga yaqin ekanligi ma'lum. Butunicha olib qaralganda atom neytral bo'lgani uchun atom ichidagi elektronlar soni yadro zaryadi singari elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi tartib nomeriga teng bo'ladi.

Shunday qilib, har bir kimyoviy elementning atomi yadro va uning atrofida harakatlanuvchi elektronlardan iborat. Bu elektronlar atomning **elektron qobig'ini** tashkil etadi.



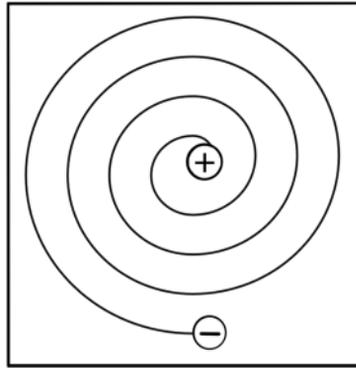
187- rasm.

Eng sodda atom vodorod atomi bo‘lib, uning yadrosi atrofida faqat bitta elektron harakatlanadi. Vodorod atomining yadrosi absolyut kattaligi jihatidan elektron zaryadiga teng bo‘lgan musbat zaryadga va elektron massasidan taxminan 1836 marta katta bo‘lgan massaga ega. Bu yadro **proton** deb ataladi va elementar zarra sifatida qaraladi. Qolgan atomlar ancha murakkab tuzilishga egadir. Elementning davriy sistemasidagi tartib nomeri ortib borgan sari atomdagi elektronlar soni ortib boradi. Masalan, vodorod atomining yadrosi atrofida 1 elektron, geliy atomining yadrosi atrofida 2 elektron, litiy yadrosi atrofida 3 elektron aylanadi va hokazo, nihoyat, 104- o‘rinda turgan kurchatoviy atomining yadrosi atrofida 104 elektron aylanadi. 187- rasmda vodorod (*a*), geliy (*b*) va litiy (*d*) atomlarining modellari tasvirlangan.

Shunday qilib, atomning sodda va yaqqol planetar modelining bevosita eksperimental asosi bor. Ammo atom tuzilishining bu klassik modeli kamchiliklardan xoli emas.

Biz 53- paragrafda yorug‘lik to‘lqinlarining manbai moddalarning atomlari ekanligini va atomar holatdagi moddalarning nurlanish spektri chiziq-chiziq spektr ekanligini ko‘rib o‘tgan edik. Xo‘sh, atomlar qanday qilib nur sochadi? Bu savolga atom tuzilishining planetar modeliga asosan quyidagicha javob topish mumkin.

Atomda elektron yadro atrofida berk orbitalar bo‘ylab tezlanish (markazga intilma tezlanish) bilan harakat qiladi, shu sababli klassik elektrodinamika qonunlariga muvofiq elektron o‘zgaruvchan elektromagnit maydon hosil qiladi. Shuning uchun atom elektromagnit to‘lqinlar manbai bo‘lishi va elektronning yadro atrofida aylanish chastotasiga teng chastotali to‘lqinlarni uzluksiz nurlab turishi kerak. Ammo elektron yadro atrofida istagan chastota bilan aylanishi mumkin. Shunday ekan, berilgan modda atomlarining



188- rasm.

nurlanish spektrida turli uzunlikdagi to‘lqinlarning bo‘lishi, binobarin, modda atomlarining nurlanishi tutash spektrni berishi kerak.

Atom nurlanishining mexanizmi haqidagi savolga berilgan bunday javob tajriba natijalariga mutlaqo ziddir. *Birinchi*dan, atomlarning nurlanish spektri tutash bo‘lmay, balki chiziq-chiziqdir. *Ikkinchi*dan, bu chiziq-larga mos elektromagnit to‘lqinlarning chastotalari elektronlarning yadro atrofidagi aylanish chastotasiga mutlaqo bog‘liq emas. *Uchinchi*dan, agar elektron yadro atrofida aylanib, elektromagnit to‘lqinlarni to‘xtovsiz chiqarib tursa, atomning energiyasi uzluksiz kamayib borishi kerak. Buning natijasida elektron spiral bo‘yicha harakatlanib, asta-sekin yadroga yaqinlashib borishi va oxiri elektr tortishish kuchlari ta’sirida yadroga tushishi lozim (188- rasm). Nyuton mexanikasi va Maksvell elektrodinamikasiga asoslangan hisoblar elektronning  $10^{-8}$  sekund tartibidagi juda qisqa vaqt ichida yadroga qulashi lozim ekanini ko‘rsatadi. Bunga ko‘ra atom o‘zining elektron qobig‘ini, shu bilan birga o‘ziga xos fizik va kimyoviy xossalarini yo‘qotadi. Tajribalar esa atomlarning juda ham turg‘un sistema ekanligini va qo‘zg‘atilmagan holatda hech qanday elektromagnit to‘lqinlar chiqarmasdan cheksiz uzoq muddat yashay olishini ko‘rsatadi.

Atomlar nurlanishga energiya sarf qilishi natijasida muqarrar halokatga uchrashi haqidagi tajribaga muvofiq kelmaydigan xulosa klassik fizika qonunlarini atom ichida bo‘ladigan hodisalarga tatbiq qilish natijasidir. Bundan atom masshtabidagi hodisalarga klassik fizika qonunlarini qo‘llash mumkin emas, degan xulosa kelib chiqadi.

## 78- §. Bor postulatları. Energetik sathlar

77- § da atomning planetar modeli (uni *yadro modeli* deb ham yuritiladi) klassik mexanika va elektrodinamika bilan birgalikda na atomning turg'un sistema ekanligini, na atom spektrining xarakterini tushuntirishga qodir emas ekanligini ko'rdik.

Bu ziddiyatlarni hal qilish yo'lini 1913- yilda daniyalik fizik Nils Bor topgan edi. Bunda u Plank gipotezasiga va Eynshteynning yorug'lik kvantlarining mavjudligi haqidagi g'oyalariga tayanib, tabiat jarayonlari haqidagi kvant tasavvurlarni yanada rivojlantirdi. Biroq Bor atomning izchil nazariyasini bermay, balki yangi nazariyaning asosiy qoidalarini postulatlar tariqasida ifodalab berdi. Shu bilan birga Bor klassik fizika qonunlarini ham shaksiz rad etmay, balki o'zining postulatları bilan klassik nazariya qo'llanishlariga ba'zi cheklanishlar qo'yadi, xolos.

Borning qilgan farazi u ta'riflagan quyidagi ikki postulatda o'z mazmunini topdi:

1. Atom sistemasi faqat maxsus statsionar yoki kvant holatlarda bo'la oladi, bu holatlarning har biriga muayyan  $W_n$  energiya mos keladi. Statsionar holatda atom yorug'lik chiqarmaydi ham, yutmaydi ham.

2. Atom bir statsionar holatdan ikkinchisiga o'tganda yorug'lik chiqaradi (yoki yutadi). Nurlangan (yoki yutilgan) fotonning energiyasi statsionar holatlar energiyalarining ayirmasiga teng:

$$h\nu_{mn} = W_m - W_n, \quad (131)$$

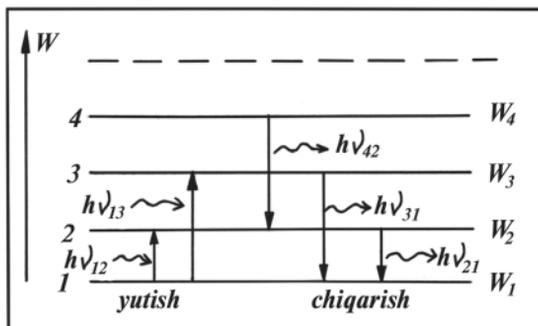
bunda:  $m$  va  $n$  — butun sonlar;  $W_m$  va  $W_n$  — mos ravishda atomning  $m$  va  $n$ -statsionar holatlari energiyasi.

(131) formuladan atomning  $m$ -statsionar holatdan  $n$ -statsionar holatga o'tganida nurlanish chastotasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\nu_{mn} = \frac{W_m - W_n}{h} = \frac{W_m}{h} - \frac{W_n}{h}. \quad (132)$$

Shunday qilib, atom chiqaradigan elektromagnit to'lqinlar chastotasi atomning statsionar holatlariga mos keladigan energiya farqi bilan aniqlanar ekan.

Atomning har bir statsionar holatiga mos keladigan energiya qiymatlarini grafik usulda ma'lum energetik balandliklarda joylashgan sathlar tarzida gorizontalar bilan tasvirlash



189- rasm.

mumkin (189- rasm). Bu gorizontali chiziqlarni **energiya sathlari** yoki **energetik sathlar** deyiladi. Bunda eng chuqur (eng past) sath energiyaning eng kichik ( $W_1$ ) qiymatiga mos keladi. Atomning bunday energiya bilan xarakterlanadigan holati **normal holat**, energetik sathni esa **normal energetik sath** deyiladi. Normal sathdan yuqorida yotgan barcha sathlarni **uygʻongan sath** deb, unga mos atomning holatini esa **uygʻotilgan holat** deb ataladi. Atomning bir energetik sath (statsionar holat)dan ikkinchi energetik sath (statsionar holat)ga oʻtishida nurlanishini yoki nur yutishini shu ikki sathni birlashtiruvchi strelkali chiziqlar bilan tasvirlanadi.

Atom yuqori energetik sathlardan quyi energetik sathlarga oʻz-oʻzidan oʻtish ehtimoli koʻp, bunda u elektromagnit toʻlqinlarni nurlaydi. Ammo atom normal sathdan uygʻotilgan sathga oʻz-oʻzidan oʻtishi mumkin emas. Bunday oʻtishni amalga oshirish uchun atomga tashqaridan maʼlum miqdorda energiya berishi kerak, yaʼni atomni **uygʻotish** kerak. Bunda atom energiya yutadi va yutilgan energiyaga mos kelgan chastota ham (132) formula bilan aniqlanadi. Atomni uygʻotilgan holatga keltirish uchun zarur boʻladigan eng kam energiya **uygʻotuvchi energiya** deb ataladi.

Shunday qilib, atom tamomila aniq chastota (uzunlik)li elektromagnit toʻlqinlarinigina chiqarishi yoki yutishi mumkin. Atom spektrining chiziq-chiziq ekanligi ham shu bilan bogʻlangan.

Borning birinchi postulati klassik mexanikaga ziddir. Klassik mexanikaga asosan harakatlanayotgan elektronning energiyasi har qanday boʻlishi mumkin.

Borning ikkala postulati Maksvell elektrodinamikasiga ham ziddir, chunki birinchi postulat elektronlar elektromagnit toʻlqinlar

chiqarmagan holda tezlanish bilan harakatlanishini va ikkinchi postulat nurlangan yorug‘likning chastotasi elektronlar harakatining xarakterini emas, balki atom energiyasining o‘zgarish kattaligini ko‘rsatadi.

Bor postulatlari, asosan, Rezerfordning atom tuzilishi planetar modelini saqlash bilan birga, uni 77-§ da ko‘rsatib o‘tilgan va tajribaga zid bo‘lgan kamchiliklardan xoli qildi.

## **79- §. Vodород atomi uchun Borning elementar nazariyasi**

Bor o‘z postulatlari eng sodda atom – vodorod atomining nazariyasini yaratish uchun qo‘lladi. Vodород atomi bitta proton (vodorod atomining yadrosi) va bitta elektrondan iborat. Yadroning massasi elektron massasidan 1836 marta katta bo‘lgani uchun yadroni qo‘zg‘almas deb hisoblash mumkin. Bor elektron yadro atrofida doiraviy orbitalar bo‘yicha harakatlanadi, deb faraz qildi. Asosiy vazifa vodorod chiqarayotgan elektromagnit to‘lqinlarning chastotalarini aniqlashdan iborat bo‘ldi.

Bu chastotalarni ikkinchi postulatdan foydalanib topish mumkin, lekin buning uchun atom energiyasining statsionar qiymatlarini aniqlash metodini bilish kerak. Boshqacha aytganda, *energiyani kvantlash qoidasini* bilish zarur. Bu qoidani ham Bor postulat tarzida berdi.

Atomning to‘liq  $W$  energiyasi elektronning yadro bilan bo‘ladigan o‘zaro ta‘sirining potensial energiyasi bilan elektronning orbital harakatidagi kinetik energiyasi yig‘indisiga tengdir:

$$W = \frac{m_0 v^2}{2} + \left( -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) = \frac{m_0 v^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (133)$$

bunda:  $m_0$  — elektronning massasi;  $v$  — uning orbita bo‘yicha harakat tezligi;  $r$  — orbita radiusi;  $\epsilon_0$  — elektr doimiysi, minus ishora o‘zaro ta‘sirlashayotgan zarralar (elektron va proton)ning zaryadlari qarama-qarshi ishorali ekanligidan (bunda potensial energiya manfiy bo‘ladi) kelib chiqadi.

Ravshanki, elektronni radiusi  $r$  bo‘lgan orbitada tutib turuvchi markazga intilma kuch elektron bilan yadroning o‘zaro tortishishidagi Kulon kuchidan iboratdir, ya‘ni:

$$\frac{m_0 v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (134)$$

Tezlikning bu munosabatdan topilgan qiymatini (133) formulaga qo‘yib,  $W$  energiyani topamiz:

$$W = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}. \quad (135)$$

Borning birinchi postulatiga ko‘ra energiya faqat tayinli  $W_n$  qiymatlariga qabul qilishi mumkin. Shuning uchun (135) formulaga muvofiq vodorod atomidagi orbitalarning radiuslari ham ixtiyoriy bo‘la olmaydi. Borning kvantlash qoidasi orbitalarning mumkin bo‘lgan radiuslari uchun:

$$r_n = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_0 e^2}, \quad (136)$$

ifodani va elektronning orbita bo‘yicha harakat tezligi uchun

$$v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n} \quad (137)$$

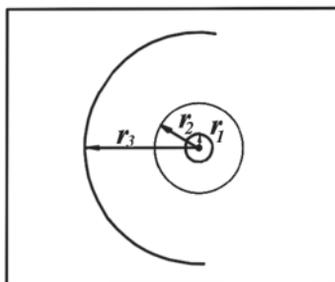
ifodani beradi, bunda  $n=1,2,3, \dots$  qiymatlarni oladi.

(136) formula mumkin bo‘lgan orbitalarning radiuslarini hisoblashga imkon beradi. Bor postulati bo‘yicha bu orbitalarni **ruxsat etilgan** yoki **Bor orbitalari** deb ataladi. Bor orbitalarining radiuslari  $n$  soni o‘zgarishi bilan uzlukli (diskret) ravishda o‘zgaradi.

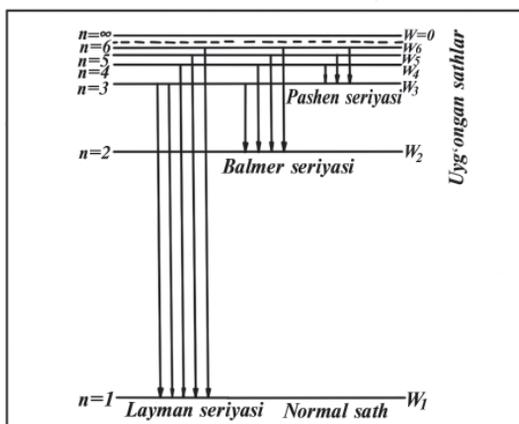
Bor orbitasining eng kichik radiusi uchun  $n=1$  bo‘ladi, binobarin:

$$r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_0 e^2} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot (6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2} = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

Bu kattalik atom radiusining kattaligi tartibida (77- § ga qarang) ekanligi ko‘rinib turibdi. Demak, Bor nazariyasi atomning o‘lchamini to‘g‘ri ko‘rsatib beradi. Ruxsat etilgan elektron orbitalari 190- rasmda tasvirlangan.



190- rasm.



191- rasm.

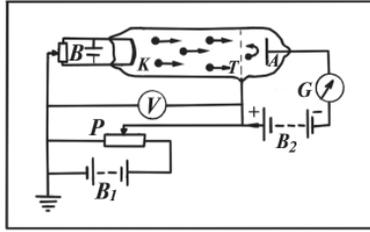
Elektron orbitalari radiuslarining (136) ifodasini (135) formulaga keltirib qo'yib, atomning statsionar holatlari energiyalarining qiymatlarini topamiz:

$$W_n = -\frac{m_0 e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (138)$$

191- rasmda vodorod atomining (138) formula bo'yicha hisoblangan energetik sathlari diagrammasi tasvirlangan. (136) va (138) formulalarga binoan, atomning statsionar orbitalari radiusi va statsionar holatlari energiyasi **kvant soni** deb ataladigan  $n$  sonining qiymatiga bog'liq. Energiyaning manfiy ishorasi atomdan elektronni olish uchun tashqi kuchlar ish bajarishi kerakligini bildiradi.

Elektronning eng kam  $W_1$  energiyasi atomning normal holatdagi statsionar orbitasining  $r_1$  radiusiga mos keladi. Binobarin, atomning normal holati shundayki, unda elektron yadroga eng yaqin orbita bo'ylab harakatlanadi. Atom bu holda nur chiqara olmaydi, chunki elektronning bu orbitadan yadroga yanada yaqinroq orbitaga o'tishining imkoni yo'q.

Shunday qilib, (138) formulaga ko'ra elektron yadroga eng yaqin ( $n=1$ )  $r_1$  radiusli orbitada harakatlanganda atom minimal ( $W_1$ ) energiyaga, elektron eng uzoq ( $n=\infty$ )  $r_\infty$  radiusli orbitada harakatlanganda esa maksimal ( $W_\infty$ ) energiyaga ega bo'ladi. Biroq  $n \rightarrow \infty$  da  $r_n \rightarrow \infty$  va  $W_\infty \rightarrow 0$  bo'ladi. Bu esa elektronning yadrodan cheksiz uzoqlashganini va yadro bilan bog'lanishni uzganini bildiradi. Demak, bu holda atom elektronini yo'qotadi va musbat ionga



192- rasm.

aylanadi. Elektronni  $n=1$  orbitadan (normal holatdan)  $n=\infty$  orbitaga (cheksiz uzoqlikka) o'tkazish uchun zarur bo'lgan energiyani atomning **ionlashish energiyasi** deyiladi.

Borning ikkinchi postulatiga va (138) formulaga muvofiq, vodorod atomi nurlanishining mumkin bo'lgan chastotalari quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\nu_{mn} = \frac{W_m}{h} - \frac{W_n}{h} = \frac{m_0 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (139)$$

bunda:  $m > n$ ,  $m$  va  $W_m$  — atomning boshlang'ich (nur chiqarish-gacha) holatiga mos kelgan kvant soni va energiyasi;  $n$  va  $W_n$  — atomning oxirgi (nur chiqargandan keyingi) holatiga oid xarakteristikalar.

Vodorod atomining nazariyasi **vodorodsimon atomlar** deb ataluvchi ionlashgan atomlarga, (masalan, geliy  $\text{He}^+$ , litiy  $\text{Li}^{++}$ , berilliy  $\text{Be}^{+++}$  ionlariga) ham qo'llaniladi. Ammo bu holda formulalarni chiqarishda yadro zaryadini  $e$  ga emas, balki  $Ze$  (bunda  $Z$  elementning atom raqami)ga teng deb olish kerak. U holda Borning (139) spektral formulasini vodorodsimon atomlarga tatbiq qilganda u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\nu_{mn} = \frac{m_0 Z^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right). \quad (140)$$

Bor nazariyasida spektral chiziqlar chastotalari uchun topilgan (139) va (140) formulalar tajriba juda mos kelishi aniqlandi.

## 80- §. Frank va Gers tajribasi

Atomning diskret energetik sathlarining mavjudligi 1913- yilda nemis fiziklari D. Frank va G. Gerslar tomonidan o'tkazilgan tajribalar bilan tasdiqlangan. Tajriba asosida quyidagi g'oya yotadi.

Yadro atrofida aylanayotgan elektron o'zining energiyasini asta-sekin bir tekis o'zgartira olmaydi. Atomning boshqa atom yoki elektron bilan o'zaro ta'siri natijasida olishi mumkin bo'lgan minimal energiya miqdori atomning normal holati va birinchi uyg'ongan holatidagi energiyalarining ayirmasiga teng bo'lishi kerak.

Bundan shunday xulosa chiqadi: agar gaz orqali har birining energiyasi atomning birinchi uyg'ongan va normal holatlari energiyalari farqidan kichik bo'lgan elektronlar oqimi o'tkazilsa, u holda bu elektronlar atomlar bilan elastik to'qnashishlari kerak, ya'ni to'qnashishda elektronlarning energiyasi o'zgarmaydi, faqat harakat yo'nalishi o'zgaradi.

Agar oqimdagi elektronlarning energiyasini oshirsak, u holda energiyaning bu farqqa teng qiymatida elektronlar atomlar bilan to'qnashganda o'zlarining kinetik energiyasini atomlarni uyg'otish uchun bera oladi, elektronlarning kinetik energiyasi atomlarning uyg'otish energiyasiga aylanadi, atom bilan elektron noelastik to'qnashadi. Birinchi bo'lib elektronlarning simob atomlari bilan noelastik to'qnashishlarini Frank va Gers o'z tajribalarida qayd qilganlar.

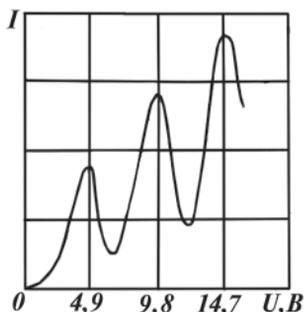
Frank va Gers tajribalarida foydalanilgan qurilmaning sxemasi 192- rasmda keltirilgan. Bu tajribada uchta elektron ( $K$  — katod,  $T$  — to'r va  $A$  — anod) bo'lgan va taxminan 1 mm sim. ust. bosimda simob bug'lari bilan to'ldirilgan shisha nay ishlatilgan.  $K$  katod elektr toki bilan qizdiriladi. Katoddan uchib chiqqan elektronlar katod va  $T$  to'r orasidagi elektr maydonda tezlashadi. Ularning to'rga yetgandagi kinetik energiyasi elektr maydonning ishiga teng:

$$\frac{mv^2}{2} = eU,$$

bunda:  $e$  — elektron zaryadi;  $U$  — katod bilan to'r orasidagi kuchlanish.  $T$  to'rning potentsiali  $A$  anodning potentsialidan 0,5 V yuqori, shuning uchun to'rga yetib kelgan elektronlar to'r bilan anod orasidagi maydonda tormozlanadi.

Frank va Gers tajribasida anod zanjiridagi tok kuchining katod hamda to'r orasidagi kuchlanishga bog'liqligi o'rganilgan. To'rning potentsiali anod potentsialidan 0,5 V yuqori bo'lgani uchun anodga faqat kinetik energiyalari 0,5 eV dan yuqori bo'lgan elektronlarga yetib bora oladi.

193- rasmda anod zanjiridagi ( $G$  galvanometr bilan o'lchanayotgan)  $I$  tok kuchining ( $V$  voltmetr bilan o'lchanayotgan)  $U$  kuchla-



193- rasm.

nishga qanday bog‘lanishda ekanligi tasvirlangan. Tok kuchi avval monoton o‘sib borib,  $U=4,9$  V da maksimumga erishadi, shundan keyin  $U$  ning yana ortib borishi bilan keskin kamayib, minimumga tushadi va yana yangidan o‘sa boshlaydi. Tok kuchining maksimumlari  $U$  kuchlanishning 9,8 V; 14,7 V va hokazo qiymatlarida takrorlanadi.

Grafikning bunday ko‘rinishda bo‘lishi energetik sathlarning diskretligi natijasida atomlar energiyani faqat ma‘lum porsiylar tarzida qabul qila olishi bilan tushuntiriladi. Agar  $W_1, W_2, W_3, \dots$  lar 1-, 2-, 3- va hokazo statsionar holatlarning energiyalari bo‘lsa, atom  $\Delta W_1 = W_2 - W_1$ ,  $\Delta W_2 = W_3 - W_1$  yoki  $\Delta W_3 = W_4 - W_1$  va hokazo energiyalarnigina qabul qilishi mumkin.

Elektronning energiyasi  $\Delta W_1$  dan kichik bo‘lguncha elektron bilan simob atomining o‘zaro to‘qnashuvi elastik xarakterda bo‘ladi. Elektronlarning bir qismi to‘rga kelib tushadi, qolganlari anodga yetib borib, galvanometr zanjirida tok hosil qiladi. Elektronning katod — to‘r oralig‘ida erishgan energiyasi  $\Delta W=4,9$  eV ga yetganda (bu hol  $U=4,9$  V da ro‘y beradi) yoki undan ortib ketganda to‘qnashish noelastik bo‘ladi, elektronlar  $\Delta W_1$  energiyani atomlarga beradi, keyin ancha kichik tezlik bilan harakatlanishni davom ettiradi. Shuning uchun anodga yetib keluvchi elektronlarning soni, demak tok kuchi kamayadi. So‘ng kuchlanishning ortishi bilan tok kuchi yana o‘sib boradi, maksimumga erishadi, keyin noelastik to‘qnashishdan so‘ng keskin kamayib ketadi va hokazo.

Keyingi noelastik to‘qnashuvlar  $U=9,8$  V da (ikki marta),  $U=14,7$  V da (uch marta) sodir bo‘ladi.

Demak, tajriba natijalaridan simob atomlarining ichki energiyasi  $\Delta W=4,9$  eV dan kichik qiymatga o‘zgarishi mumkin emas, degan xulosa kelib chiqadi. Shunday qilib, atomning ichki energiyasi ixtiyoriy qiymatlar qabul qila olmaydi va ixtiyoriy qiymatlarga o‘zgarishi mumkin emas. Bu hol atomning diskret energetik sathlarining (statsionar holatlarning diskret to‘plami) borligini tasdiqlaydi.

Bunday xulosaning to‘g‘riligi yana shu bilan tasdiqlanadiki, katod va to‘r orasidagi kuchlanish 4,9 V dan kam bo‘lganda naydagi

simob bugʻlari yorugʻlik sochmaydi. Bunday kuchlanishga erishganda esa simob bugʻlari nurlana boshlaydi:

$$\nu = \frac{\Delta W_1}{h} = \frac{4,9 \text{ eV}}{h}$$

formula boʻyicha hisoblangan nurlanishlar chastotasi eksperimental kuzatilgan chastotaga muvofiq keladi. Bu esa noelastik toʻqnashishlar natijasida simobning uygʻongan atomlari keyin quyi energetik holatlarga oʻtib, Borning ikkinchi postulatiga muvofiq nurlanib yorugʻlik kvantlari chiqarishini bildiradi.

## 81- §. Atom spektridagi qonuniyatlar. Balmerning umumlashgan formulasi

Atom spektrlarini oʻrganish atom tuzilishini bilishning kaliti boʻlib xizmat qiladi. Bizga maʼlumki, atomlarning nurlanish spektri chiziq-chiziq spektrdan, yaʼni alohida rangli chiziqlardan iboratdir (53- § ga qarang). Maʼlum boʻlishicha, atom spektridagi chiziqlar tartibsiz joylashgan boʻlmay, balki ularning joylashishi muayyan qonuniyatlarga boʻysunar ekan. Eng sodda atom boʻlgan vodorod atomida buni yaqqol koʻrish mumkin. Aniqlanishicha, spektral chiziqlar guruh-guruh yoki boshqacha aytganda, seriyalarga ajralib, biror seriyaga tegishli chiziqlar esa oʻzaro maʼlum qonuniyatlar bilan bogʻlangan ekan.

1885- yilda shveysariyalik oʻqituvchi Ya. Balmer birinchi boʻlib vodorod atomining nurlanish spektrining koʻrinadigan qismida yotgan spektral chiziqlarning chastotasini hisoblashga imkon beradigan empirik formulani topdi. Vodorod spektrining bu qismidagi barcha chastotalar quyidagi sodda munosabatni qanoatlantiradi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (141)$$

bunda  $m=3, 4, 5 \dots$  (butun sonlar);  $R$  — **Ridberg doimiysi** deb atalib, u  $3,28985 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$  ga teng.

Bu formula juda aniq bajariladi. Shuning uchun u nur chiqarayotgan atomlarga xos boʻlgan biror ichki qonuniyatni ifodalaydi, deb aytish mumkin.

Vodorod spektrining koʻrinadigan barcha turlari chiziqlari  $m$  ning turli xil butun son qiymatlariga mos keladi. Bu chiziqlar guruhi **Balmer seriyasi** deb ataladi.

Keyinchalik vodorod spektrida yana bir necha seriyalar borligi aniqlangan. Jumladan, spektrning ultrabinafsha qismida 1906- yilda ingliz fizigi Layman topgan seriya va spektrning infraqizil qismida 1908- yili nemis fizigi Pashen topgan seriya bor (191- rasmga qarang). **Layman seriyasidagi** spektral chiziqlarning chastotalari quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (142)$$

bunda  $m=2,3,4 \dots$

**Pashen seriyasi** chiziqlarining chastotalari esa quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (143)$$

bunda  $m=4, 5, 6 \dots$  Barcha seriyalarning empirik formulalari bir xil strukturaga ega, shuning uchun vodorod spektrining barcha chiziqlarini quyidagi bitta formula bilan ifodalash mumkin:

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (144)$$

bunda  $n$  va  $m$  butun sonlar bo‘lib,  $n=1, 2, 3 \dots$  qiymatlarni,  $m=(n+1), (n+2), (n+3) \dots$  qiymatlarni oladi. Ko‘rinib turibdiki,  $m > n$ . (144) ifoda **Balmerning umumlashgan formulasi** deb ataladi.

## 82- §. Kombinatsion prinsip. Bor nazariyasining kamchiliklari

Vodorod atomidan tashqari boshqa atomlarda chastotalarning spektral to‘plami bo‘ysunadigan qonuniyatlar ancha murakkabroq, lekin ularning hammasi uchun umumiy bo‘lgan xossalar bor. Haqiqatan ham (141) — (144) formulalarning tashqi ko‘rinishiga bir nazar tashlaylik. Bu formulalardan har birining birinchi doimiy hadi boshqasida o‘zgaruvchan hadlardan biri ekanligini oson payqash mumkin. Masalan, (143) Pashen formulasidagi  $\frac{R}{3^2}$  doimiy had (141) Balmer formulasidagi birinchi o‘zgaruvchan had, (142) Layman formulasi uchun esa ikkinchi o‘zgaruvchan had bo‘ladi. (141) Balmer formulasidagi  $\frac{R}{2^2}$  doimiy had, o‘z navbatida, (142) Layman

formulasida birinchi o'zgaruvchan had bo'ladi va hokazo. Bu hol Balmerning (144) umumlashgan formulasining ko'rinishida yaqqol ifodalanib, u vodorod spektrining istalgan spektral chizig'ining chastotasini  $n$  ning qandaydir ikkita butun qiymatida  $\frac{R}{n^2}$  tarzidagi ikkita hadning ayirmasi sifatida ifodalash mumkinligini ko'rsatadi.

$T(n) = \frac{R}{n^2}$  kabi kattaliklarni **spektral term** yoki **term** deb,

$$\frac{R}{1^2}, \frac{R}{2^2}, \frac{R}{3^2}, \dots, \frac{R}{m^2}, \dots, \frac{R}{n^2}, \dots \quad (145)$$

qatorni esa **spektral termlar qatori** yoki **spektral termlar sistemasi** deb ataladi. (145) dan muayyan atom uchun spektral termlar sistemasini bilgan holda ixtiyoriy spektral chiziqning chastotasini shu sistemaning ikkita hadi ayirmasi holida topish mumkinligi kelib chiqadi. Chastotani bunday usulda ifodalash **kombinatsion prinsip** deb ataladi.

Kombinatsion prinsipga boshqacha ta'rif ham berish mumkin: *bitta seriyaning ikkita spektral chizig'ining chastotasi ma'lum bo'lsa, u holda ularning ayirmasi shu atomga tegishli boshqa seriyaning biror spektral chizig'ining chastotasi bo'ladi.* Masalan, Layman seriyasining  $\nu_1 = T(1) - T(2)$  va  $\nu_2 = T(1) - T(3)$  ikki spektral chiziqlarining chastotasi berilgan bo'lsin, u holda  $\nu_2 - \nu_1 = [T(1) - T(3)] - [T(1) - T(2)] = T(2) - T(3)$  ayirma Balmer seriyasidagi birinchi chiziqning chastotasi bo'ladi.

Kombinatsion prinsip sof empirik yo'l bilan kashf qilingan. Bu prinsipning chuqur ma'nosi Borning kvant postulatlarini ta'riflangandan keyingina ochildi.

Energetik sathlar tushunchasidan foydalanib, kombinatsion prinsipning fizik ma'nosini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Spektral termlar orqali nurlanish chastotasining ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\nu_{m,n} = T(m) - T(n). \quad (146)$$

Borning ikkinchi postulatiga ko'ra bu chastota quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\nu_{m,n} = \frac{W_m - W_n}{h} = \frac{W_m}{h} - \frac{W_n}{h}. \quad (147)$$

(146) va (147) formulalarni taqqoslab, spektral term:

$$T(m) = \frac{W_m}{h} \text{ yoki } T(n) = \frac{W_n}{h}$$

ekanligini ko‘ramiz. Demak, *spektral term atomning statsionar holati energiyasining Plank doimiysiga nisbatiga teng ekan.*

Shu nuqtayi nazardan kombinatsion prinsipni ko‘raylik. Layman seriyasidagi chastotalar quyidagicha yoziladi:

$$\nu_{1,2} = \frac{W_2 - W_1}{h}; \quad \nu_{1,3} = \frac{W_3 - W_1}{h}; \quad \nu_{1,4} = \frac{W_4 - W_1}{h}; \quad \nu_{1,5} = \frac{W_5 - W_1}{h}, \dots$$

bunda: 1 — birinchi seriyaning raqami, 2, 3, 4, 5, — energetik sathlar raqami. Bu hadlarning ixtiyoriy ikkitasining ayirmasini olaylik:

$$\nu_{1,5} - \nu_{1,2} = \frac{W_5 - W_1}{h} - \frac{W_2 - W_1}{h} = \frac{W_5 - W_2}{h} = \nu_{2,5},$$

bunda  $\nu_{2,5}$  — Balmer seriyasi uchinchi spektral chizig‘ining chastotasidir (194- rasm) yoki:

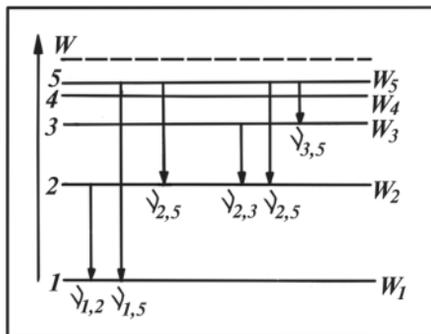
$$\nu_{2,3} = \frac{W_3 - W_2}{h} \quad \text{va} \quad \nu_{2,5} = \frac{W_5 - W_2}{h}$$

lar Balmer seriyasi birinchi va uchinchi spektral chiziqlarining chastotasi bo‘lsa, u holda:

$$\nu_{2,5} - \nu_{2,3} = \frac{W_5 - W_2}{h} - \frac{W_3 - W_2}{h} = \frac{W_5 - W_3}{h} = \nu_{3,5}$$

dan  $\nu_{3,5}$  — Pashen seriyasi ikkinchi spektral chizig‘ining chastotasi ekanligi ko‘rinib turibdi (194- rasmga qarang).

Borning ikkinchi postulatiga asosan, vodorod atomi nurlanishining mumkin bo‘lgan chastotalari quyidagi formula bilan aniqlanar edi [(139) formula].



194- rasm.

$$\nu_{m,n} = \frac{m_0 e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Vodorod atomi spektral chiziqlari seriyalarining empirik formulasi (Balmerning umumlashgan formulasi)ga ko'ra nurlanish chastotalari quyidagi qonunga bo'ysunadi [(144) formula].

$$\nu_{m,n} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Bu ikki formulani taqqoslansa, Ridberg doimiysi uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$R = \frac{m_0 e^4}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3}. \quad (148)$$

Bu ifodaga kiruvchi doimiy kattaliklarning qiymatlarini qo'yib chiqsak, Ridberg doimiysining eksperimental aniqlangan qiymati bilan teng bo'lgan miqdor kelib chiqadi. Bundan Bor nazariyasi eksperiment bilan miqdoriy jihatdan mos tushishini ko'ramiz.

Bor nazariyasi vodorod atomiga qo'llanganda eng katta muvaffaqiyatga erishildi, uning yordamida vodorod atomi (shuningdek, vodorodsimon atomlar deb nom olgan, atigi bitta elektroni bo'lgan ionlar) spektral chiziqlarining to'lqin uzunligini hisoblash nazariyasini yaratish mumkin bo'ldi.

Biroq vodorod atomidan keyingi o'rinda turgan atomlar (ular ko'p elektronli atomlar deyiladi) uchun Bor postulatlari yordamida miqdoriy nazariya yaratib bo'lmasligi ma'lum bo'ladi. Bu atomlar uchun Bor nazariyasi faqat sifat jihatidagina xulosa chiqarishga imkon beradi. Bundan tashqari Bor nazariyasi atom chiqarayotgan yorug'likning intensivligi haqida ham hech qanday ma'lumot bermaydi. Bunga Bor nazariyasining mukammal emasligi, uning ichki ziddiyatlarga ega ekanligi sababdir.

Shunga qaramay, Bor nazariyasi fizikaning rivojlanishida g'oyat muhim rol o'ynadi. Bu nazariya vodorod atomi tuzilishini va vodorod spektrining murakkab tuzilishini miqdor jihatdan tushuntirib, atom ichidagi jarayonlarni o'rganishga to'g'ri yondashish yo'lini belgilab berdi. Bu nazariyani yanada takomillashtirish atomlar va molekularlarning xossalari hamda tuzilishining hamma xususiyatlarini miqdor jihatdan tushuntiruvchi hozirgi zamon **kvant**

**mexanikasini** yaratish bilan tugallandi. Binobarin, klassik mexanika-ga asoslangan Bor nazariyasi kvant mexanikasini yaratish yoʻlidagi oʻtish bosqichi boʻlib hisoblanishi mumkin.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Atom tuzilishi haqidagi dunyoqarashning rivojlanishi haqida nimalarni bilasiz?*
2. *Qanday fizik hodisalar atomlarning murakkab tuzilishga ega ekanligini koʻrsatadi?*
3. *Tomsonning atom modelini va uning kamchiliklarini tushuntiring.*
4. *Rezerford tajribasida qanday zarralar oqimidan foydalanilgan? Xarakteristikalarini ayting.*
5. *Rezerford tajribasi asosida qanday gʻoya yotadi?*
6. *Rezerford tajribasini tushuntiring.*
7. *Zarralarning elastik va noelastik toʻqnashishlari bir-biridan qanday farqlanadi?*
8. *Rezerford formulasini yozing va tushuntiring. Bu formulaning qanday ahamiyati bor?*
9. *Atomning planetar modelini tushuntiring. Bu model bilan klassik elektrodinamika orasidagi ziddiyat nimadan iborat?*
10. *Bor postulatlarini taʼriflang. Bor postulatlari klassik fizikaning qaysi qonun-qoidalariga zid?*
11. *Energetik sathlar tushunchasi nimani bildiradi? Energetik sathlar diagrammasini tasvirlang.*
12. *Atomning normal holati, uygʻotilgan holati deganda nimani tushunasiz?*
13. *Atomning nurlanishi va nur yutishini energetik sathlardan foydalanib tasvirlang.*
14. *Atomning statsionar holatdagi energiyasi qanday energiyalardan tashkil topgan?*
15. *Vodorod atomi uchun Bor nazariyasini tushuntiring. Statsionar holat energiyasi va statsionar orbita radiusi formulalarini yozing va tushuntiring.*
16. *Bor nazariyasiga koʻra vodorod atomining nurlanish chastotasi qanday formula yordamida aniqlanadi?*
17. *Vodorod atomi spektral qonuniyatlarini tushuntiring. Energetik sathlar diagrammasi vositasida spektral seriyalarning qanday hosil boʻlishini tasvirlang.*
18. *Spektral term deganda nimani tushunasiz? Uning mazmuni nimadan iborat?*
19. *Vodorod atomi spektral chiziqlari chastotasi spektral termlar orqali qanday ifodalanadi?*
20. *Kombinatsion prinsip nima?*
21. *Ridberg doimiysi fundamental fizik doimiylar orqali qanday ifodalanadi? Uning son qiymatini hisoblang.*

22. Bor nazariyasining qanday yutuqlari mavjud?  
 23. Bor nazariyasining kamchiliklari nimalardan iborat?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Vodorod atomida elektronning uchinchi orbitadan birinchi orbitaga o'tganida chiqargan foton energiyasini toping.

*Berilgan:*  $n=1$ ;  $m=3$ ;  $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$  kg;  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  C;

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}; \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

*Topish kerak:*  $\epsilon = h\nu - ?$

*Yechilishi.* Borning ikkinchi postulatiga muvofiq elektronning uchinchi elektron qobiqdan birinchi elektron qobiqqa o'tishida chiqargan foton energiyasini 139- formuladan foydalanib hisoblaymiz:

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

*Hisoblash:*

$$\epsilon = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^4}{8 \left( 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right)^2 (6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 1,9 \cdot 10^{-18} \text{ J}.$$

**2- masala.** Vodorod atomining ionlashish potensialini aniqlang.

*Berilgan:*  $n=1$ ;  $m=\infty$ ;  $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$  kg;  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  C;  
 $h=6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s.

*Topish kerak:*  $U_i - ?$

*Yechilishi.* Atomning ionlanish potentsiali  $eU_i = A_i$  tenglama bilan aniqlanadi, bundagi  $A_i$  elektronni normal ( $n=1$ ) elektron qobiqdan cheksizlikdagi ( $m=\infty$ ) elektron qobiqqa chiqarish uchun sarflangan ish. Vodorod atomi uchun Bor nazariyasiga muvofiq:

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

U holda ionlanish potentsiali:

$$U_i = \frac{A_i}{e} = \frac{m_e e^3}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} \text{ bo'ladi, chunki } \frac{1}{m^2} = 0.$$

*Hisoblash:*

$$U_i = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^3}{8(8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \text{ m}^{-2})^2 \cdot (6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2 \cdot 1^2} = 13,6 \text{ V}.$$

**3- masala.** Vodorod atomi to'liqin uzunligi 4340Å bo'lgan yorug'likni nurlaganida elektron qaysi elektron qobiqdan ikkinchi elektron qobiqqa o'tadi?

*Berilgan:*  $\lambda = 4340 \text{ \AA} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m}; n=2;$

$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$

*Topish kerak:*  $m$ —?

*Yechilishi.* Elektronning bir elektron qobiq (yuqori energetik sath) dan ikkinchi elektron qobiqqa (quyi energetik sathga) o'tganida chiqaradigan yorug'lik chastotasini aniqlashda Balmer formulasidan foydalanamiz:

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

Biroq  $v = \frac{c}{\lambda}$ , shuning uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{c} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Bu formuladan  $m$  ni topamiz:

$$\frac{1}{m^2} = \frac{1}{n^2} - \frac{c}{\lambda R}, \text{ bundan } m = \left( \sqrt{\frac{1}{n^2} - \frac{c}{\lambda R}} \right)^{-1}.$$

*Hisoblash:*

$$m = \left( \sqrt{\frac{1}{2^2} - \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}}} \right)^{-1} = 5.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**133.** Atomning (yadro+elektronlar) tuzilishi quyosh sistema-sining (Quyosh+sayyoralar) tuzilishini eslatadi. Ularning orasidagi farq nimada?

134. Elektron atomning bir elektron qobig'idan ikkinchi elektron qobig'iga o'tganida chiqargan foton energiyasi  $3,37 \cdot 10^{-19}$  J ga teng. Chiqarilgan yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlang.

135. Birinchi Bor orbitasining radiusini aniqlang.

136. Vodorod atomi birinchi ikkita Bor orbitasida harakatlanayotgan elektronning tezligini toping.

137. Normal holatda bo'lgan vodorod atomining yadrosi va elektroni orasida ta'sir qiluvchi kulon tortishish kuchi va gravitatsiya kuchini hisoblab toping.

138. Vodorod atomining dastlabki uyg'onish potensialini aniqlang.

139. Vodorod atomining ikkinchi elektron qobig'idagi elektronning to'liq energiyasini hisoblang.

140. Vodorod atomlari elektronlar zarbidan uyg'otilishida vodorod spektri faqat bitta spektral chiziqqa ega bo'lishi uchun bombardimon qiluvchi elektronlarning energiyasi qanday chegarada bo'lishi kerak?

141. Normal holatda turgan atom bilan uyg'otilgan holatda turgan atom orasidagi farq nimada?

142. Vodorod atomi spektrining ko'rinadigan sohasidagi uchinchi spektral chizig'iga mos keluvchi to'lqin uzunligini aniqlang.

143. Vodorod atomi nurlanish spektrining ko'rinadigan sohasidagi spektral chiziqlarning eng katta va eng kichik to'lqin uzunliklarini toping.

144. Layman seriyasidagi to'lqinning minimal uzunligini aniqlang.

145. Vodorod atomi 12,5 eV energiyali elektronlar bilan uyg'otilganda qanday spektral chiziqlar hosil bo'ladi?

## 83- §. Moddalarning to'lqin xususiyatlari.

### Lui de-Broyl gipotezasi

Bor nazariyasining kamchiliklari atomda elektron makroskopik jismlar bilan o'tkazilgan tajribalar asosida aniqlangan klassik mexanika va elektrodinamika qonunlaridan farqlanuvchi boshqa qonunlar bo'yicha harakatlanishini ko'rsatadi. Nisbiylik nazariyasidagi kabi bu qonunlarni makrojismlarga tatbiq qilinganda klassik mexanika qonunlariga aylanishi kerak. Bunday *moslik prinsipi* atom tuzilishi muammolarini hal etishdagi ko'p urinishlarga sabab bo'ldi. Bu sohada fransuz fizik-nazariyotchisi Lui de-Broyl to'g'ri yo'ldan bordi.

Yorug'lik tabiati haqidagi bilimning rivojlanishi shuni ko'rsatadiki, optik hodisalarda o'ziga xos dualizm mavjuddir, ya'ni yorug'lik ham to'lqin, ham korpuskulyar xossalarga ega (74- § ga qarang).

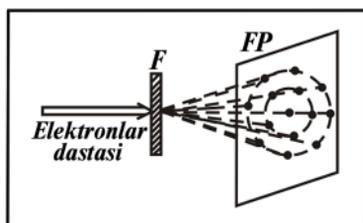
1924- yilda Lui de-Broyl bunday dualizm faqat optik hodisalarning spesifik xossalari bo'lmay, balki universal ma'noga egadir, degan gipotezani ilgari suradi. Uning gipotezasiga ko'ra modda zarralari ham xuddi yorug'lik kabi ikkilanma xossaga ega va **harakatlanayotgan har qanday zarraga**

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \quad (149)$$

**to'liqin uzunligi mos keladi**, bunda:  $p=mv$  — harakatlanayotgan zarraning impulsi. (149) formula bilan aniqlanadigan to'liqinlarni **de-Broyl to'liqinlari** deb ataladi. De-Broyl gipotezasi faqat nazariy xarakterga ega. Ushbu gipotezani isbotlash yoki inkor etish uchun tajriba natijalari lozim edi.

De-Broyl to'liqin uzunligi juda kichik. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, masalan, elektron hatto yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan harakatlanganda ham de-Broyl to'liqin uzunligi  $10^{-10}$  m tartibida ekan. Bundan davri  $10^{-10}$  m tartibida bo'lgan difraksion panjaraga elektronlar oqimining dastasi yuborilsa, elektronlarning ularning to'liqin xossalari namoyon qiluvchi difraksiyanalarni kuzatilishi kerak. Bunday difraksion panjara sifatida fazoviy kristall panjaradan foydalanish mumkin, chunki kristall atomlari orasidagi masofa (kristall panjara davri) ham  $10^{-10}$  m tartibidadir.

1927- yilda amerikalik tadqiqotchilar K. Devisson va L. Jermer shu usuldan foydalanib, nikel monokristallida elektronlarning sochilishini o'rgandilar. Sochilgan elektronlar o'zlarini xuddi to'liqin kabi tutdilar va difraksion manzara kabi manzarani hosil qildilar. Elektronlar difraksiyasi katta tezlikka ega bo'lgan elektronlarning yupqa metall plastinka — folgadan o'tgandan so'ng ham hosil bo'lishini bir-biridan mutlaqo bexabar J.P. Tomson va P.S. Tartakovskiylar kuzatishgan. Ular tajribasining sxemasi 195-rasmda keltirilgan.



195- rasm.

Potensiallar ayirmasi bir necha oʻn kV boʻlgan elektr maydonida tezlatilgan elektronlar dastasi  $F$  folgadan oʻtib,  $FP$  fotoplastinkaga tushadi. Elektronlar fotoplastinkaga kelib urilganda ularga yorugʻlik taʼsiri kabi taʼsir koʻrsatadi. Plastinka ochiltirilganda ularning oʻrni difraksion manzarani eslatadi. Shu difraksion manzara uchun hisoblangan toʻlqin uzunligi (149) formula boʻyicha hisoblangan de-Broyl toʻlqin uzunligiga mos keladi. Ushbu natija Lui de-Broyl gipotezasi toʻgʻri ekanligining isbotidir.

Keyinroq neytronlar, atomlar, molekulalar va boshqa mikrozarralarning difraksiyasi ham eksperimental kuzatilgan hamda oʻrganilgan. Shu bilan mikrozarralarning toʻlqin xossalari mavjud ekanligi batamom tasdiqlangan.

Umuman, de-Broyl toʻlqinlari harakatdagi har qanday zarralar, jumladan, makroskopik jismlarga ham xosdir. Biroq  $h$  Plank doimiysi juda kichik boʻlgani uchun katta massali jismlarda toʻlqin xossalar shunchalik kichik boʻladiki, ularni mutlaqo sezish mumkin emas.

Masalan, massasi  $m=10^{-3}$  kg va  $v = 10^2 \frac{m}{s}$  tezlik bilan uchayotgan oʻq uchun de-Broyl toʻlqinining uzunligi quyidagiga teng:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10^{-3} \text{ kg} \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 6,625 \cdot 10^{-33} \text{ m.}$$

Amalda bunday uzunlikni oʻlchab boʻlmaydi. Binobarin, makroskopik jismlarning toʻlqin xossalarini hisobga olmasa ham boʻladi.

Shunday qilib, de-Broyl gipotezasi va bu gipotezaning toʻgʻriligini tasdiqlovchi koʻpgina tajribalardan kelib chiqadiki, tayinli tezlik hamda tayinli yoʻnalishga ega boʻlgan mikrozarralar dastasi yassi toʻlqinlar beradigan interferensiyon va difraksion manzaraga oʻxshash manzarani hosil qiladi. Shuni qayd qilish lozimki, de-Broyl toʻlqinlari elektromagnit toʻlqinlar emas (bu hol eksperimentda aniqlangan). Haqiqatan ham, elektromagnit toʻlqinlar fazoda oʻzgaruvchan elektromagnit maydonning tarqalish jarayonidan iborat (4- § ga qarang). De-Broyl toʻlqinlari esa fazoda tarqaluvchi biror-bir elektromagnit maydon bilan bogʻliq emas. Shuningdek, klassik fizikada maʼlum boʻlgan boshqa tabiatli toʻlqinlar bilan ham bogʻliq emas.

***Modda zarralarining harakati bilan bogʻliq boʻlgan de-Broyl toʻlqinlari klassik fizikada oʻxshashi yoʻq kvant tabiatga ega toʻlqinlardir.***

## 84- §. Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari

Mikrozarralarning to‘lqin xossalari ularga koordinata va impuls tushunchalarini klassik ma’noda qo‘llash imkoniyatini cheklaydi. Klassik fizikada ham ma’lum obyektlarga ba’zi tushunchalarni qo‘llashning chegaralari mavjud. Masalan, bitta molekula uchun temperatura tushunchasi ma’noga ega emas, fazoda to‘lqinning vaziyatini aniqlash uchun nuqtaviy lokalizatsiya (bir nuqtada turish) tushunchasini qo‘llash mumkin emas, chunki to‘lqin hamma vaqt harakatda bo‘ladi.

Ammo klassik fizikada zarra koordinatasining muayyan qiymatiga uning tezligi va impulsining aniq qiymatlari mos keladi. Mikrozarralar xossalari korpuskulyar-to‘lqin dualizmi sababli kvant mexanikada mikrozarralar aniq bir trayektoriya bo‘yicha harakatlanadi, deyish qat’iy emas. Lekin bunday tasdiq qator hollarda tajribalarda olingan dalillarga zid bo‘lganday tuyuladi. Masalan, elementar zarralarni qayd etishda Vilson kamerasida zarralarning harakat yo‘li tuman tomchilari hosil qilgan ingichka iz (trek) shaklida namoyon bo‘ladi.

Elektron nur trubkadagi elektronlarning harakatini klassik fizika qonunlari asosida aniq hisoblab topish mumkin va hokazo. Bunday qarama-qarshilik shu bilan tushuntiriladiki, trayektoriya va aniq o‘rin tutish tushunchasini zarralarga qo‘llash mumkin ekan, lekin aniqlik ma’lum darajagacha taqribiy bo‘ladi.

Zarralarning fazodan aniq o‘rin olish tushunchasini ularga qo‘llash mumkinligining aniqlik darajasi 1927- yilda nemis fizik nazariyotchisi V. Geyzenberg aniqlagan **noaniqlik munosabati** orqali beriladi. Bu munosabatga asosan zarra bir vaqtning o‘zida aniq qiymatlarga ega bo‘la olmaydi. Masalan, zarraning  $x$  koordinatasi va shu koordinataga mos keluvchi impulsning  $p_x$  tashkil etuvchisini bir vaqtda bir xil aniqlikda o‘lchab bo‘lmaydi. Bu kattaliklarning qiymatlari orasidagi noaniqliklar quyidagi shartni qanoatlantiradi:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}. \quad (150)$$

Xuddi shu kabi boshqa koordinatalar uchun ham quyidagi munosabatlar o‘rinli bo‘ladi:

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{h}{2\pi}; \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{h}{2\pi}, \quad (151)$$

bunda:  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  va  $\Delta z$  — de-Broyl to‘lqinlari bilan tavsiflanuvchi zarra koordinatalarini aniqlashdagi noaniqliklar,  $\Delta p_x$ ,  $\Delta p_y$  va  $\Delta p_z$  esa mos ravishda impuls noaniqliklari.

Jism impulsi  $p = mv$  ifodasidan  $\Delta p = m \cdot \Delta v$  bo‘ladi. Shuning uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{h}{2\pi m}; \quad \Delta y \cdot \Delta v_y \geq \frac{h}{2\pi m}; \quad \Delta z \cdot \Delta v_z \geq \frac{h}{2\pi m}, \quad (152)$$

bunda  $\Delta v_x$ ,  $\Delta v_y$  va  $\Delta v_z$  — tezlik noaniqliklari. (150), (151) va (152) munosabatlarni **Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari** deb ataladi.

Bu ifodalardan ko‘rinadiki, zarraning koordinatasi qanchalik aniq aniqlansa (ya‘ni,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  va  $\Delta z$  lar qancha kichik bo‘lsa), ayni paytda impuls (yoki tezlik) proyeksiyasini aniqlash aniqligi shunchalik kam bo‘ladi (ya‘ni,  $\Delta p_x$ ,  $\Delta p_y$ ,  $\Delta p_z$  yoki  $\Delta v_x$ ,  $\Delta v_y$ ,  $\Delta v_z$  lar shuncha katta bo‘ladi) yoki aksincha. Agar zarraning  $x$  o‘qidagi vaziyati aniq o‘lchangan va  $\Delta x=0$  bo‘lsa, u holda  $\Delta p_x=\infty$  va  $p_x$  mutlaqo noaniq bo‘ladi; yoki  $p_x$  aniq o‘lchangan va  $\Delta p_x=0$  bo‘lsa, u holda  $x$  (ya‘ni, zarraning vaziyati) mutlaqo noaniq bo‘ladi.

Shuni qayd etish kerakki, zarraning koordinatasi va tezligi (yoki boshqa parametrlar)ni bir vaqtda aniq aniqlashning mumkin emasligi o‘lchov asboblari va o‘lchash usullarining mukammal emasligining natijasi emas, balki zarralarning obyektiv xossalari, ularning ikkilanma korpuskulyar-to‘lqin tabiatini aks ettiruvchi prinsiplial imkoniyatsizlikdir.

## 85- §. Kvant mexanika haqida tushuncha

Ma‘lumki, klassik mexanikaga asosan har bir zarra aniq trayektoriya bo‘yicha harakatlanadi va zarralar oqimida hech qanday to‘lqin jarayon ro‘y bermaydi. Ammo 83- § da ko‘rib o‘tganimizdek, tajribalar zarralarning to‘lqin xususiyatlari mavjudligini ko‘rsatadi. Shuning uchun ularning tabiatini klassik mexanika to‘g‘ri tavsiflay olmaydi. Zarralarning hamma xususiyatlarini aks ettiradigan nazariya ularning to‘lqin xususiyatlarini ham hisobga olishi kerak. Bunday nazariya E. Shredinger, V. Geyzenberg, P. Dirak va boshqa olimlar tomonidan 1926- yilda yaratilgan **kvant mexanika** (uni **to‘lqin mexanika** deb ham yuritiladi) hisoblanadi.

Kvant mexanikada atomlar, molekular va ularning kollektivi, xususan, kristallar, shuningdek, atom yadrolari va elementar zarralar fizikasi o‘rganiladi. Bunda o‘rganiladigan mikrodunyo obyektlarining

o'Ichami  $10^{-8} \div 10^{-15}$  m tartibida. Agar zarralar  $v \ll c$  tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, bunda  $c$  — yorug'likning vakuumdagi tezligi, u holda **norelativistik kvant mexanika** qo'llaniladi: agar  $v < c$  bo'lsa, u holda **relyativistik kvant mexanika** qo'llaniladi.

Kvant mexanika asosida atomlar energiyasi o'zgarishining diskret xarakteri haqidagi Plank, fotonlar haqidagi Eynshteyn tasavvurlari, ma'lum sharoitlarda mikroduyo zarralarining holatini xarakterlovchi ba'zi fizik kattaliklar (masalan, impuls va energiya)ning kvantlanganligi haqidagi ma'lumotlar yotadi.

Kvant mexanikada eng muhim g'oya shundan iboratki, yorug'lik uchun o'rnatilgan xossalarning korpuskulyar-to'lqin ikkilanmaligi universal xarakterga ega ekanligidir. Bu ikkilanmalik impulsga ega istalgan zarralarda namoyon bo'ladi, ularning harakati qandaydir to'lqin jarayon bilan birga sodir bo'ladi.

Kvant mexanikada fazoda vaqtning berilgan momentida zarra-ning holati **to'lqin funksiya** yoki **psi-funksiya** deb ataluvchi va  $\psi$  harfi bilan belgilanuvchi funksiya orqali tavsiflanadi. Bu funksiya koordinatalar va vaqtning funksiyasi hisoblanib, 1926- yilda Shredinger taklif etgan va uning nomi bilan **Shredinger tenglamasi** deb ataladigan tenglamaning yechimidan iboratdir.

Klassik mexanika asosida yotuvchi Nyuton harakat tenglamalari keltirib chiqarilmagani kabi, Shredinger tenglamasi ham keltirib chiqarilmaydi va postulat sifatida qabul qilinadi. Shredinger tenglamasining to'g'riligi atom va yadro fizikasida bu tenglama yordamida olingan kvant mexanika xulosalarining tajriba natijalariga yaxshi mos kelishi bilan isbotlanadi.

To'lqin funksiya va bu funksiya bilan tavsiflanadigan zarra orasidagi munosabat yorug'lik to'lqini bilan foton orasidagi munosabatga o'xshaydi. To'lqin tasavvurga asosan, biror sirtning yoritilganligi yorug'lik to'lqini amplitudasining kvadratiga proporsionaldir. Korpuskulyar nuqtayi nazardan yoritilganlik fotonlar oqimining zichligiga proporsionaldir. Demak, yorug'lik to'lqini amplitudasining kvadrati bilan fotonlar oqimining zichligi orasida to'g'ri proporsionallik mavjud: **to'lqin amplitudasining kvadrati sirtning berilgan nuqtasiga fotonning kelib tushish ehtimolini aniqlaydi.**

Elementar zarralar uchun ham xudda shunday mulohaza yuritish mumkin: **fazoning biror nuqtasi uchun to'lqin funksiya modulining kvadrati fazoning shu nuqtasida zarraning bo'lish ehtimolligini aniqlaydi.**

To‘lqin funksiya mikroobyektlar holatining asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Bu funksiya vositasida shu funksiya tavsiflaydigan holatda turuvchi mikroobyektning xarakterlovchi fizik kattaliklarning o‘rtacha qiymatlari hisoblab topiladi.

Shunday qilib, kvant mexanika statistik xarakterga ega bo‘lib, u zarralarning haqiqiy tabiatini ochib beradi. Kvant mexanika bo‘yicha zarraning fazodagi o‘rnini yoki zarraning harakat trayektoriyasini aniqlash mumkin emas, chunki aniq trayektoriya bo‘yicha bo‘lgan harakat bilan to‘lqin xususiyatlarini hech qachon birgalikda qarab bo‘lmaydi. Kvant mexanikaga ko‘ra faqat zarraning fazoning turli nuqtalarida qanday ehtimollikda bo‘lishini to‘lqin funksiya yordamida oldindan aytib berish mumkin.

Shunday ekan, bu holda elektronning ma‘lum tezlik bilan harakat qiladigan orbitasi to‘g‘risidagi tasavvur o‘rinli bo‘lmaydi, binobarin, atomda elektronni ma‘lum trayektoriya bo‘yicha harakatlanuvchi zarra deb tasavvur qilish qat‘iy emas. Lekin shunga qaramay, elektronlarning atomda ma‘lum orbitalar bo‘yicha harakatlanishi haqidagi faraziyadan ma‘lum darajada foydalanish mumkin. Ko‘p hollarda bu faraziyat taxminan to‘g‘ri natijalarga olib keladi.

Kvant mexanikada atomdagi elektron orbitasi deganda, elektronlarning eng katta ehtimollik bilan bo‘lishi mumkin bo‘lgan nuqtalarning geometrik o‘rni tushuniladi. Xususan, normal holatdagi vodorod atomi uchun radiusi (136) formula bilan aniqlanadigan birinchi doiraviy Bor orbitasi shunday orbitadan iboratdir.

## **86- §. Atom sistemasini xarakterlovchi kvant sonlar. Spin**

Kvant mexanikaga asosan atomda elektronning harakati to‘rtta kvant soni bilan xarakterlanadi. Ushbu kvant sonlari bilan tanishib chiqaylik.

1. **Bosh kvant soni**  $n$  atomning statsionar holat energiyasini xarakterlaydi va  $n=1,2,3, \dots$  butun sonlarni qabul qiladi. Vodorod atomining statsionar holatlari energiyalarining qiymati [(138) formulaga qarang:

$$W_n = -\frac{m_0 e^4}{8 \varepsilon_0 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

formuladan aniqlanadi. Yadroning kulon maydonidagi elektron uchun Shredinger tenglamasining yechimi ham shunday natijani beradi. Formuladan ko‘rinadiki,  $W_n$  energiya  $n^2$  ga teskari proporsional bo‘lib, uning o‘zgarishi bilan diskret qiymatlarni oladi, ya’ni atomning statsionar holat energiyasi kvantlangandir.

2. **Orbital kvant soni**  $l$  elektronning atomdagi orbital impuls momentini aniqlaydi. Elektron orbita bo‘yicha harakatlanganda impuls momentiga ega bo‘ladi. Bu momentni **orbital impuls momenti** deyiladi. Kvant mexanikada ko‘rsatilishicha, elektronning orbital impuls momenti kvantlangan bo‘lib, quyidagi formula bo‘yicha ifodalanadi:

$$p_l = \sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (153)$$

bunda:  $h$  — Plank doimiysi. Orbital kvant soni  $l=0,1,2,3, \dots, (n-1)$  qiymatlarni, hammasi bo‘lib  $n$  ta qiymatni qabul qiladi, bunda  $n$  — bosh kvant soni.

Atomda elektronning orbita bo‘ylab harakati biror tokli berk konturga ekvivalentdir. Shu sababli elektron  $p_l$  orbital impuls momentidan tashqari orbital magnit momentiga ham ega bo‘ladi. Orbital magnit momenti orbital impuls momentiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi:

$$\mu = -\frac{e}{2m_0} \cdot p_l = -\frac{e}{2m_0} \cdot \sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (154)$$

bunda:  $e$ — elementar (elektron) zaryad;  $m_0$  — elektronning massasi. (154) formuladagi minus ishora  $p_l$  impuls momenti bilan  $\mu$  magnit momenti qarama-qarshi yo‘nalganligini bildiradi.

3. **Magnit kvant soni**  $m_l$ . Kvant mexanikada elektronning orbital mexanik va magnit momentlarining fazoda ma’lum fizik yo‘nalishga bo‘lgan proyeksiyasi ham katta ahamiyatga ega. Fizik yo‘nalish deganda, atom turgan tashqi magnit maydon yo‘nalishi yoki atomdagi barcha elektronlar (ko‘rilayotgan elektrondan tashqari)ning hosil qilgan ichki magnit maydon yo‘nalishi tushuniladi va, odatda, bu yo‘nalish  $z$  harfi bilan belgilanadi. Kvant mexanikada ko‘rsatilishicha, elektronning orbital impuls momentining  $z$  yo‘nalishga bo‘lgan proyeksiyasi:

$$p_{lz} = m_l \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (155)$$

magnit momentining proyeksiyasi esa quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$\mu_z = -\frac{e}{2m_0} \cdot p_{lz} = -\frac{eh}{4\pi m_0} \cdot m_l. \quad (156)$$

Magnat kvant soni  $m_l = -l, \dots, -l, 0, +l, \dots, +l$  qiymatlarni, hammasi bo'lib  $(2l+1)$  ta qiymatni qabul qiladi.

4. **Spin kvant soni**  $m_s$ . Atomda elektron orbital mexanik va magnit momentlardan tashqari xususiy impuls momenti va xususiy magnit momentiga ham ega. Elektronning xususiy impuls momenti **elektron spini** deb ataladi. Elektron va boshqa elementar zarralarning spini ularning qandaydir bir alohida xossasi bo'lib, ular (zarralar) massaga, zaryadga ega bo'lganidek, spinga ham ega deb qarash kerak.

Kvant mexanika elektronning xususiy impuls momenti uchun:

$$p_s = \sqrt{s(s+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (157)$$

xususiy magnit momenti uchun quyidagi ifodalarni beradi:

$$\mu_s = -\frac{e}{m_0} \cdot p_s = -\frac{eh}{2\pi m_0} \cdot \sqrt{s(s+1)}, \quad (158)$$

bunda  $s$  kvant soni faqat bitta qiymatni qabul qiladi, ya'ni  $s = \frac{1}{2}$ ,

Elektron spinining  $z$  yo'nalishga bo'lgan proyeksiyasi:

$$p_{sz} = m_s \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (159)$$

xususiy magnit momentining proyeksiyasi esa quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\mu_{sz} = -\frac{e}{m_0} \cdot p_{sz} = -\frac{eh}{2\pi m_0} \cdot m_s \quad (160)$$

bunda  $m_s$  spin kvant soni faqat ikkita qaymatni, ya'ni  $+\frac{1}{2}$  va  $-\frac{1}{2}$  qiymatlarni qabul qiladi.

(153) ÷ (160) formulalardan ko'rinadiki, atomdagi elektronning orbital va xususiy momentlari kvantlangan ekan.

Atomning orbital impuls momenti atom tarkibidagi barcha elektronlarning orbital impuls momentlarining vektor yig'indisiga teng bo'ladi. Yadro va valentlik elektronidan tashqari atomdagi

barcha elektronlar *atom qoldig'i* deb ataladi. Ishqoriy metallar (masalan,  $Na$  — natriy,  $K$  — kaliy) ionlarining optik spektrini tekshirish atom qoldig'i impulsining momenti nolga tengligini ko'rsatadi. Demak, ishqoriy metallar atomining momenti uning valentlik elektronining momentiga teng bo'ladi. Shuningdek, ishqoriy metallar spektrini o'rganish vodorod atomi spektri bilan ishqoriy metallar spektrining bir-biriga o'xshashligini ko'rsatadi. Bundan ishqoriy metallarning spektrlari eng tashqi, valentlik elektronining bir energetik sathdan ikkinchisiga o'tishidan hosil bo'ladi, deyish mumkin. Shuning uchun elementning valentlik elektronini *optikaviy elektron* deb ataladi.

### **87- §. Pauli prinsipi. Mendeleyevning kimyoviy elementlar davriy sistemasining fizikaviy tushuntirilishi**

Atomdagi har bir elektronning holati to'rtta — bosh, orbital, magnit va spin kvant sonlari bilan xarakterlanishini ko'rdik (86- § ga qarang).

$n$  bosh kvant soni bir xil bo'lgan elektronlar to'plami *elektronlar qobig'i* deb ataladi,  $n$  va  $l$  kvant sonlari bir xil bo'lgan elektronlar *qobiqchani* tashkil etadi. Elektron qobiqlar lotin alfavitining bosh harflari bilan belgilanadi:  $n=1$  bo'lganda  $K$  qobiq (yadroga eng yaqin qobiq),  $n=2$  bo'lganda  $L$  qobiq,  $n=3$  bo'lganda  $M$  qobiq,  $n=4$  bo'lganda  $N$  qobiq va hokazo.

Atom normal holatda bo'lganda elektronlar o'zlari uchun qulay eng quyi energetik sathlarda joylashishi kerak. Biroq tajribalar bunday emasligini ko'rsatadi. Kvant mexanikaga ko'ra atomda elektronlarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi ***Pauli prinsipi (taqiqlash prinsipi)*** ga bo'ysunadi. Pauli prinsipiga binoan, *atomda to'rttala  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  va  $m_s$  kvant sonlari bir xil bo'lgan ikkita yoki undan ortiq elektron bo'lishi mumkin emas*. Bu prinsip elektron qobiqdagi elektronlar sonini cheklaydi. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, har bir elektron qobiqdagi elektronlarning maksimal soni  $2n^2$  ga teng ekan. Jumladan:

$n=1$ ,  $K$  qobiqda  $2n^2=2 \cdot 1^2=2$  ta elektron,

$n=2$ ,  $L$  qobiqda  $2n^2=2 \cdot 2^2=8$  ta elektron,

$n=3$ ,  $M$  qobiqda  $2n^2=2 \cdot 3^2=18$  ta elektron,

$n=4$ ,  $N$  qobiqda  $2n^2=2 \cdot 4^2=32$  ta elektron

va hokazo joylashishi mumkin.

Rus olimi D.I. Mendeleev 1869- yilda kimyoviy elementlarning fizik-kimyoviy xossalarini o‘rganib, elementlarning davriy sistemasini yaratdi. Mendeleev agar kimyoviy elementlarni atom og‘irligi bo‘yicha ketma-ket joylashtirilsa, ularning fizik-kimyoviy xossalari davriy ravishda takrorlanishini ko‘rsatdi. Hozirgi elementlar davriy sistemasida elementlar atom og‘irligi tartibida emas, balki  $z$  zaryad soni tartibida joylashtirilgan. Ammo bu ikkala tartib deyarli bir-biriga mos keladi.

Elementlar atomlarining fizik-kimyoviy xossalaridagi davriylikni elektron qobiqlarning elektronlar bilan Pauli prinsipiga asosan to‘ldirilishi orqali tushuntirish mumkin.

Ma‘lumki, Mendeleevning elementlar davriy sistemasi (muqovaning ichki sahifasidagi kimyoviy elementlar sistemasiga qarang) davrlar va guruhlarga ajratilgan. Gorizontaal yo‘nalishda ketma-ket joylashgan elementlar davrni tashkil etadi, vertikal yo‘nalishda (ustun bo‘yicha) joylashgan elementlar guruhni tashkil etadi.

Uyg‘otilmagan atomda elektronlar yadroga yaqin qobiqlarni to‘ldiradi, bu atomning minimal energiyasiga mos keladi. 196-rasmda Mendeleev sistemasining birinchi uchta davrini tashkil etuvchi kimyoviy elementlarning atomlaridagi elektron qobiqlarning elektronlar bilan to‘ldirilishi sxematik tasvirlangan. Bu sxemadan faqat ko‘rgazmalilik maqsadida foydalanilgan, bunda nuqtalar bilan elektronlar ko‘rsatilgan, qobiqlar orasidagi nisbiy masofalar saqlanmagan.

Birinchi davr birinchi o‘rinda turgan  ${}_1\text{H}$  vodorod bilan boshlanadi.  ${}_1\text{H}$  atomdagi bitta elektron  $K$  qobiqda ( $n=1$ ) joylashadi.  ${}_1\text{H}$  dan keyin ikkinchi o‘rinni  ${}_2\text{He}$  geliy egallagan. Uning ikkita elektroni bor, ikkalasi ham  $K$  qobiqda joylashadi va uni to‘lg‘azadi. Binobarin, inert gaz  ${}_2\text{He}$  geliy birinchi davrni tugallaydi. Uchinchi o‘rinda joylashgan  ${}_3\text{Li}$  litiy ikkinchi davrni boshlaydi, uning ikkita elekt-

		<i>Guruhlar</i>								
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	
<i>Davrlar</i>	<i>I</i>	${}_1\text{H}$ 								${}_2\text{He}$ 
	<i>II</i>	${}_3\text{Li}$ 	${}_4\text{Be}$ 	${}_5\text{B}$ 	${}_6\text{C}$ 	${}_7\text{N}$ 	${}_8\text{O}$ 	${}_9\text{F}$ 	${}_{10}\text{Ne}$ 	
	<i>III</i>	${}_{11}\text{Na}$ 	${}_{12}\text{Mg}$ 	${}_{13}\text{Al}$ 	${}_{14}\text{Si}$ 	${}_{15}\text{P}$ 	${}_{16}\text{S}$ 	${}_{17}\text{Cl}$ 	${}_{18}\text{Ar}$ 	

196- rasm.

roni  $K$  qobiqda joylashadi, uchinchi elektroni esa  $L$  qobiqni ( $n=2$ ) ochadi, chunki Pauli prinsipiga ko'ra u  $K$  qobiqda joylasha olmaydi.

O'zida hammasi bo'lib 8 elementni saqlaydigan ikkinchi davr va  $L$  qobiq inert gaz  $_{10}\text{Ne}$  neon bilan tugallanadi. O'n birinchi o'rinni egallagan  $_{11}\text{Na}$  natriyning 11 ta elektronidan 2 tasi  $K$  qobiqda, 8 tasi  $L$  qobiqda joylashadi; qolgan o'n birinchi elektron esa  $M$  qobiqni ( $n=3$ ) ochadi, demak uchinchi davr boshlanadi.

Bu davr ham inert gaz  $_{18}\text{Ar}$  argon bilan tugallanadi. Lekin Pauli prinsipiga ko'ra  $M$  qobiq hali to'ldirilmagan. Shuning uchun o'n to'qqizinchi o'rindagi  $_{19}\text{K}$  kaliyning o'n to'qqizinchi elektroni ham shu  $M$  qobiqda joylashishi kerak edi, ammo bu elektron to'rtinchi  $N$  qobiq ( $n=4$ ) da joylashib, uni ochadi, binobarin,  $_{19}\text{K}$  kaliy elementi sistemaning to'rtinchi davrini boshlaydi.

Shu to'rtinchi davrdan boshlab elektronlarning qobiqlar bo'yicha ideal taqsimlanishi buziladi, Pauli prinsipidan chetlanishlar kuzatiladi. Bu holni ko'p elektronli atomlarda elektronlarning o'zaro ta'siri natijasi deb qarash lozim. Elektronlarning o'zaro ta'siri tufayli ular energetik jihatdan qulayroq (minimal energiyaga mos) bo'lgan holatlarda joylashishga harakat qiladi.

Shunday qilib, kimyoviy element atomidagi elektronlarning umumiy soni (demak, zaryad soni ham) elementning Mendelejev davriy sistemasidagi tartib raqamiga, elektron qobiqlar soni element tegishli bo'lgan davr raqamiga, tashqi qobiqdagi elektronlar (valentlik elektronlari) soni element joylashgan guruh raqamiga teng ekan, degan xulosaga kelamiz.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *De-Broyl gipotezasining mazmuni nimadan iborat?*
2. *De-Broyl to'liqlari uzunligi qanday aniqlanadi?*
3. *De-Broyl gipotezasining to'g'riligini tasdiqlovchi qanday fizik tajribalarni bilasiz?*
4. *Nima uchun makrojislarning to'liq xossalari sezmaymiz?*
5. *Geyzenbergning noaniqlik munosabatlarini yozing va fizik mohiyatini tushuntiring.*
6. *Kvant mexanika nimani o'rganadi? Kvant mexanika asosida qanday ma'lumotlar yotadi?*
7. *To'liq funktsiya orqali nima tavsiflanadi? Bu funktsiya qanday tenglamaning yechimidan iborat?*
8. *To'liq amplitudasining kvadrati bilan to'liq funktsiya modulining kvadrati orasida qanday o'xshashlik bor?*
9. *Kvant mexanikada atomdagi elektron orbitasi deganda nima tushuniladi?*

10. Atomda elektronning holati qanday kvant sonlari bilan tavsiflanadi?  
Har bir kvant sonining fizik mohiyatini tushuntiring.
11. Fizik yo'nalish deganda nimani tushunasiz?
12. Atom qoldig'i nima? Optikaviy elektron-chi?
13. Pauli prinsipini ta'riflang.
14. Har bir elektron qobiqda eng ko'pi bilan nechta elektron bo'lishi mumkin?
15. Pauli prinsipi bilan kimyoviy elementlarning Mendeleev davriy sistemasi orasida qanday moslik mavjud?
16. Nima uchun elementlar davriy sistemasining to'rtinchi davridan boshlab Pauli prinsipidan chetlanishlar kuzatiladi?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.**  $\alpha$ -zarra kuchlanganligi  $20 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$  bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 0,83 sm radiusli aylana bo'yicha harakat qiladi. Shu  $\alpha$ -zarra uchun de-Broyl to'liqini uzunligini toping.

*Berilgan:*  $H = 20 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ ;  $r = 0,83 \text{ sm} = 83 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ;  $q = 2e = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Topish kerak:*  $\lambda$ —?

*Yechilishi.* De-Broyl gipotezasiga ko'ra, harakatdagi  $\alpha$ -zarraga mos de-Broyl to'liqini uzunligi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$\lambda = \frac{h}{m_{\alpha} \cdot v}, \quad (\text{a})$$

bunda:  $v$  — massasi  $m_{\alpha}$  bo'lgan  $\alpha$  zarraning harakat tezligi. Ma'lumki,  $\alpha$ -zarra elektr zaryadga ega ( $q = +2e$ ). Binobarin, bir jinsli magnit maydonda unga ta'sir etayotgan Lorens kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$F_l = qvB = qv\mu_0 H,$$

bunda:  $B = \mu_0 H$  — magnit maydon induksiyasi.  $F_l$  Lorens kuchi  $\alpha$ -zarrani  $r$  radiusli aylana bo'yicha harakatlanishga majbur etuvchi

$F_{m.i.} = \frac{m_{\alpha} v^2}{r}$ . markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'ladi.

Shuning uchun  $F_l = F_{m.i.}$  deb yoza olamiz. Demak:

$$qv\mu_0 H = \frac{m_{\alpha} v^2}{r}, \quad \text{bundan } v = \frac{qr\mu_0 H}{m_{\alpha}}, \quad (\text{b})$$

(b) dan  $v$  ning ifodasini (a) ga keltrib qo‘ysak, u holda  $\lambda$  uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\lambda = \frac{h}{qr\mu_0 H}.$$

*Hisoblash:*

$$\lambda = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 83 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 20 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}} = 1 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

**2- masala.** De-Broyl to‘lqin uzunliklari 100 pm bo‘lgan elektron, kislorod molekulasini, radiusi 0,1 mkm va zichligi  $2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  bo‘lgan zarraning kinetik energiyalarini hisoblab toping.

*Berilgan:*  $\lambda = 100 \text{ pm} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  
 $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ ;  $r = 0,1 \text{ mkm} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $\rho = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ;

*Topish kerak:*  $W_k$ —?

*Yechilishi.* Zarraning kinetik energiyasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

bunda:  $v$  — zarraning tezligini de-Broyl to‘lqin uzunligi  $\lambda = \frac{h}{mv}$

formulasidan topamiz, ya’ni:  $v = \frac{h}{m\lambda}$ .

Demak, kinetik energiya quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

1. Elektron uchun:  $m = m_e$ ,  $W_k = \frac{h^2}{2m_e\lambda^2}$ .

2. Kislorod molekulasini uchun:  $m = \frac{\mu}{N_A}$ , bunda:  $\mu$  — kislorodning molekulyar massasi;  $N_A$  — Avogadro soni. Binobarin:

$$W_k = \frac{h^2 \cdot N_A}{2\mu \cdot \lambda^2}.$$

3. Zarra uchun:  $m = V \cdot \rho = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$ . Demak:

$$W_k = \frac{h^2}{2 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \lambda^2 \cdot \rho} = \frac{3h^2}{8\pi r^3 \rho \lambda^2}.$$

*Hisoblash:*

$$1. W_k = \frac{(6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (10^{-10})^2 \text{ m}^2} = 2,4 \cdot 10^{-17} \text{ J} = 150,6 \text{ eV}.$$

$$2. W_k = \frac{(6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot (10^{-10} \text{ m})^2} = 4,13 \cdot 10^{-22} \text{ J} = 2,58 \cdot 10^{-3} \text{ eV}.$$

$$3. W_k = \frac{3 \cdot (6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})^2}{8 \cdot 3,14 \cdot (10^{-7})^3 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (10^{-10})^2 \text{ m}^2} = 2,62 \cdot 10^{-30} \text{ J} = 1,64 \cdot 10^{-11} \text{ eV}.$$

**3- masala.** Vodород atomidagi elektron tezligining noaniqligi qanday bo'ladi? Tezlikning topilgan qiymati birinchi Bor orbitasidagi elektron tezligidan necha marta ortiq? Elektron koordinatasini aniqlashdagi eng katta xatolik vodorod atomi o'lchami bilan bir xil tartibda ( $d \approx 10^{-10} \text{ m}$ ) bo'ladi deb hisoblang.

*Berilgan:*  $\Delta x = d = 10^{-10} \text{ m}$ ;  $n = 1$ ;  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Topish kerak:*  $\Delta v$  —?  $\frac{\Delta v}{v_1}$  —?

*Yechilishi.* Geyzenbergning noaniqlik munosabatlariga ko'ra:

$$\Delta v \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi m},$$

bunda:  $\Delta v$  — elektron tezligining noaniqligi;  $m$  — elektron massasi. Bu munosabatdan

$$\Delta v = \frac{h}{2\pi m \cdot \Delta x}$$

bo'ladi. Endi  $\frac{\Delta v}{v_1}$  ni aniqlash uchun Bor orbitasidagi elektron tezligi formulasidan foydalanamiz:

$$v_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n}.$$

$n=1$  da birinchi Bor orbitasidagi elektron tezligini topamiz:  
 $v_1 = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h}$ . Shunday qilib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{h}{2\pi m \cdot \Delta x} \cdot \frac{2\varepsilon_0 h}{e^2} = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m \cdot \Delta x \cdot e^2}.$$

*Hisoblash:*

$$\Delta v \geq \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 11,6 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot (6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2} = 0,53.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**146.** Kinetik energiyasi 10 keV bo'lgan elektron uchun de-Broyl to'liqini uzunligini toping.

**147.** Proyeksiyon tipdagi televizion trubkalardagi elektronlar  $10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  tezlikkacha tezlashtiriladi. Massaning tezlikka bog'lanishini hisobga olmagan holda katod nurlarining to'liqin uzunligini aniqlang.

**148.** 200 V potentsiallar ayirmasi bilan tezlashtirilgan zaryadli zarra 2,02 pm ga teng de-Broyl to'liqini uzunligiga ega. Zarraning zaryadi son jihatdan elektr zaryadiga teng bo'lsa, shu zarraning massasini toping.

149. 25°C temperaturada oʻrtacha kvadratik tezlik bilan harakatlanayotgan  $\alpha$ -zarralar, neytronlar va azot molekullari uchun de-Broyl toʻlqini uzunligini toping.

150. Absissa oʻqi boʻylab harakatlanayotgan elektronlar tezligining noaniqligi  $\Delta v = 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Bunda elektronning vaziyatini ifodalovchi  $x$  koordinataning  $\Delta x$  noaniqligi qanday boʻladi?

151. Massasi 1 g boʻlgan sharcha markazining vaziyati va elektronning vaziyati  $\Delta x \approx 10^{-5}$  sm xato bilan aniqlangan. Sharcha va elektron uchun tezlikning noaniqligi qanday boʻladi?

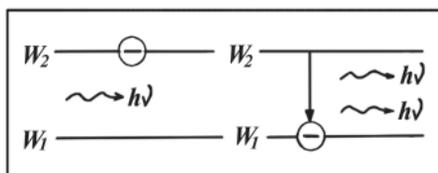
### 88- §. Spontan va majburiy nurlanishlar. Yorugʻlikni kuchaytirish prinsipi

Yorugʻlikning nurlanishida nurlanuvchi sistemalar (atomlar, molekullar va hokazo) uygʻotilgan yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga oʻtadi. Agar bunday oʻtish oʻz-oʻzidan, hech qanday tashqi taʼsirsiz sodir boʻlsa, **spontan oʻtish**, bunda vujudga kelgan nurlanish **spontan nurlanish** deyiladi. Spontan oʻtish turli vaqtlar ichida, tasodifan, tartibsiz holatda boʻladi, shunga mos ravishda nurlanayotgan yorugʻlik xaotik ravishda fazasini, qutblanishini va yoʻnalishini oʻzgartirib turadi.

1916- yilda A. Eynshteyn elektronning atomda yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga oʻtishi va bu oʻtishda roʻy beradigan nurlanish faqat oʻz-oʻzidan boʻlmasligi ham mumkinligini oldindan aytgan edi. Tashqi elektromagnit maydon taʼsirida uygʻongan atom oʻzidagi ortiqcha energiyani foton chiqarish yoʻli bilan oldinroq berib yuborishi ham mumkin. Bunday nurlanishni **majburiy nurlanish** yoki **induksiyalangan nurlanish** deb ataladi.

Tashqi elektromagnit toʻlqin chastotasi bilan uygʻongan atomning xususiy nurlanish chastotasi mos tushganda induksiya-  
langan nurlanish ehtimolligi keskin ortadi.

Shunday qilib,  $h\nu = W_2 - W_1$  foton chiqarishga tayyor turgan uygʻongan atomning  $h\nu$  foton bilan oʻzaro taʼsiri natijasida energiyalari ham, harakat yoʻnalishlari ham tamomila birday ikkita egizak-foton yuzaga keladi (197- rasm). Elektromagnit toʻlqin nazariyaga koʻra atom oʻzini nurlanishga majbur qilgan toʻlqin bilan tarqalish yoʻnalishi, chastotasi, fazasi va qutblanishi jihatidan



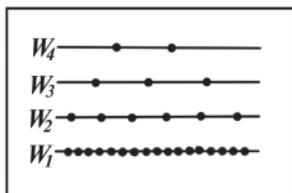
197- rasm.

mutlaqo bir xil bo‘lgan elektromagnit to‘lqin chiqaradi. Induksion nurlanishning o‘ziga xosligi uning **monoxromatikligi** va **kogerentligidir**.

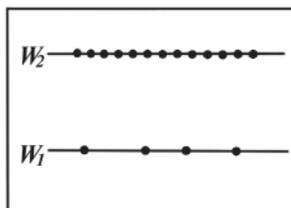
Termodinamik muvozanatda va tashqi ta’sir bo‘lmaganda modda atomlarining ko‘pchilik qismi minimal energiyaga ega bo‘ladi, yuqori energetik sathlarning atomlar bilan bandligi quyi sathlarning bandligidan kamroq bo‘ladi (198- rasmda doirachalar bilan atomlar tasvirlangan).

1939- yilda rus fizigi V.A. Fabrikant zarralarning energiya bo‘yicha shunday taqsimlanishiga erishish mumkinki, bunda uyg‘ongan atomlar soni normal holatdagi atomlar sonidan ko‘p bo‘ladi (199- rasm), degan fikrni ilgari surdi. Bunday holat sathlarning **invers bandlik holati** deb ataladi (lotincha *inversio* — to‘ntarmoq).

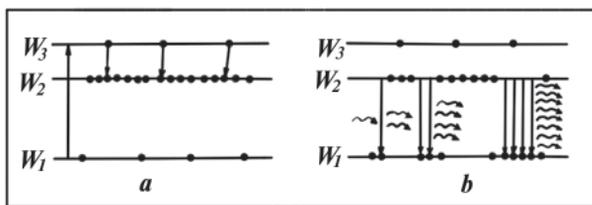
Termodinamik muvozanat holatida moddadan yorug‘lik o‘tganda fotonlar ko‘pincha uyg‘onmagan atomlar bilan o‘zaro ta’sirlashadi va moddada yutiladi. Sathlari invers band bo‘lgan moddada esa fotonlarning uyg‘onmagan atomlar tomonidan yutilish ehtimoli kamayadi. Haqiqatan ham, agar moddada energiyasi atomlarning  $W_2$  va  $W_1$  holatlaridagi energiyalari farqiga aniq teng bo‘lgan foton harakatlanayotgan bo‘lsa (197- rasimga qarang), u holda bu foton uyg‘ongan atom bilan o‘zaro ta’sirlashib, induksiyalangan nurlanishni yuzaga keltiradi. Natijada ikkinchi xuddi shunday foton paydo bo‘ladi. Bu fotonlar boshqa ikkita uyg‘ongan atomlar bilan o‘zaro ta’sirlashib, yana ikki atomning majburiy nurlanishiga sabab bo‘ladi. Oxirida



198- rasm.



199- rasm.



200- rasm.

moddadan bir foton o'rniga ko'plab fotonlar chiqadi, demak tushayotgan yorug'lik kuchayadi.

Moddada energetik sathlarning invers bandligini yuzaga keltirish uchun energetik holatlar orasida atomlar uyg'ongan holatlarda odatdagidek  $10^{-8}$  s emas, balki ancha uzoqroq ( $\sim 10^3 - 10^5$  marta kattaroq) muddat tura oladiganlari ham bo'ladigan moddalardan foydalaniladi. Bunday holatlarni **metastabil holatlar** deb, ularga mos keladigan energetik sathni **metastabil sath** deb ataladi.

Faraz qilaylik,  $W_2$  energetik sath metastabil sath bo'lib (200- a rasm), uning «yashash muddati»  $W_3$  sathning «yashash muddati» ( $\sim 10^3 c$ ) dan 1000 marta katta bo'lsin.  $W_2$  sath bo'lganda  $W_3$  sathdan spontan o'tishlar faqat asosiy  $W_1$  sathgagina emas, shu bilan birga  $W_2$  metastabil sathga ham bo'ladi.  $W_3$  va  $W_2$  holatlar «yashash muddatlari»ning farqi katta ekanligi shunga olib keladiki,  $h\nu \geq W_3 - W_1$  energiyali uyg'otuvchi foton ta'sirida atomlar dastlab  $W_3$  holatdan  $W_2$  holatga va so'ngra  $W_{32} = W_3 - W_2$  energiyali kvant chiqarib,  $W_2$  holatga o'tadi.

Buning natijasida atomlar  $W_2$  metastabil holatda to'planib qoladi va vaqt o'tishi bilan ularning soni normal  $W_1$  holatdagidan ko'p bo'ladi (200- a rasm). Demak, shunday sathlar sistemasiga ega bo'lgan moddada uyg'otuvchi  $h\nu \geq W_3 - W_1$  nurlanish ta'sirida sathlarning invers band bo'lishiga erishish mumkin bo'ladi.

Agar dastlab shunday tayyorlangan moddaga  $h\nu_1 = W_2 - W_1$  yorug'lik kvanti yo'naltirilsa, u holda induksiyalangan nurlanish hodisasi tufayli yorug'likning kuchayishi ro'y beradi (200- b rasm). Fotonlar soni geometrik progressiya bo'yicha ortadi. Agar muhitda induksiyalangan fotonlar soni yutilgan fotonlar sonidan katta bo'lsa, bunday muhit **aktiv muhit** deb ataladi.

Induksion nurlanishning bu xossasi uning kogerentligi va monoxromatikligi lazerlar deb ataluvchi optik kvant generatorlarning ishlashiga asos qilib olingan.

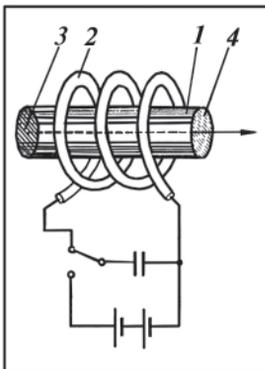
## 89- §. Lazerlar

Elektromagnit to‘lqinlarni kuchaytirish va generatsiyalash prinsipini rus fiziklari N.G. Basov va A.M. Proxorov hamda ayni bir vaqtda amerikalik olimlar Ch.X. Tauns va Sh. Veberlar tavsiya qilgan edilar. Santimetrli to‘lqinlar diapazonida ishlaydigan bunga mos asboblarni *mazerlar* deb atalgan.

1960- yili amerikalik fizik T.G. Meyman optikaviy diapazonda ishlaydigan shunday asbobni yaratdi. Bu asbobga *lazer* nomi berildi. Ba‘zan lazerlar *optik kvant generatorlari* deb ataladi. Optik kvant generatorlari ikki asosiy qismdan — aktiv muhit va rezonator tuzilgan. Quyida kristall va gaz lazerlarining tuzilishi hamda ishlash prinsipi bilan tanishamiz.

1. **Yoqut lazeri.** Yoqut lazerida aktiv muhit sifatida tarkibida 0,05% ga yaqin xrom aralashmasi bo‘lgan yoqut kristalli ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan foydalaniladi. Lazerning bu asosiy elementi, odatda, diametri 0,4÷2 sm va uzunligi 3÷20 sm bo‘lgan 1- silindr shaklida bo‘ladi (201- rasm). Sterjenning 3 va 4 asos sirlari bir-biriga rosa parallel joylashgan va yaxshilab silliqlangan. Ulardan biri shaffof bo‘lmagan, ikkinchisi esa qisman shaffof darajada kumush qatlami bilan qoplangan. Qisman shaffof sirtidan 92% yorug‘lik oqimi qaytadi va 8% ga yaqinini u o‘zi orqali o‘tkazadi. Bu o‘zaro parallel ko‘zgular generatorning rezonatori vazifasini o‘taydi.

Yoqut sterjen spiral ko‘rinishdagi impulsli 2 ksenon lampa ichiga joylashtirilgan bo‘lib, lampa kondensatorlar batareyasiga ulangan (201- rasmga qarang). Kondensator batareyasidan kelgan qisqa vaqtli tok impulsi lampani yorug‘ chaqnatadi va sterjen yoritiladi, lampa uyg‘otuvchi nurlanish manbai bo‘lib xizmat qiladi.



201-rasm.

Yoqut kristallida alyuminiyning ba‘zi atomlari o‘rnida xrom atomlari joylashgan. Ksenon lampa chaqraganda xrom ionlari lampa spektridagi  $5,6 \cdot 10^{-7}$  m to‘lqin uzunlikdagi yashil rangli nurlanishni yutib, asosiy  $W_1$  sathdan uyg‘ongan  $W_3$  sathga o‘tadi (200- b rasmga qarang).

Yoqut sterjen lampa chiqarayotgan boshqa to‘lqin uzunlikdagi nurlanishlarni yutishi natijasida qiziydi. Issiqlikdan

parchalanib ketmasligi uchun sterjen suyuq azot bilan sovitiladi (201- rasmda sovitish sistemasi ko'rsatilmagan).

Xrom ioni asosiy holatga ikki bosqichda qaytib o'tadi. Uyg'ongan atomlar birinchi bosqichda o'z energiyasining bir qismini panjaraga berib,  $W_3$  sathdan metastabil  $W_2$  sathga o'tadi. Ikkinchi bosqichda ionlar metastabil  $W_2$  sathdan

$$\nu_{21} = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

chastotali fotonni chiqarib, asosiy  $W_1$  holatga o'tadi. Bu chastotaga qizil yorug'likning  $\lambda = 6,943 \cdot 10^{-7}$  m to'lqin uzunligi mos keladi.

Atomlarni asosiy holatdan uyg'ongan holatga o'tkazish uchun kerakli bo'ladigan energiyani uzatish jarayoni ***nakachka (quvvatlash)*** deb ataladi. Bu lazerda foydalaniladigan impulsli ksenon lampasi ***nakachka lampasi*** deb ataladi.

Bittagina xrom atomining  $W_2$  metastabil sathdan  $W_1$  asosiy sathga spontan o'tib,  $\nu_{21}$  chastotali foton chiqarishining o'zi metastabil holatda joylashgan xrom atomlarining induksiyalangan nurlanish tufayli fotonlar quyunini hosil qilish uchun yetarli bo'ladi. Ko'zgulardan biriga tomon harakatlanganda bu foton induksiyalangan nurlanish yuzaga keltiradi va ko'zguga har birining energiyasi  $h\nu_{21}$  bo'lgan fotonlar quyuni yetib keladi.

Ko'zgudan qaytgandan keyin fotonlar qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi va yo'l-yo'lakay metastabil sathda qolgan uyg'ongan atomlarni nurlanishga majbur qiladi. Bu nurlanish rezonatorning yarimshaffof ko'zgisidan tashqariga chiqadi (201- rasmga qarang). Nurlanish to'lqin uzunligi  $\lambda = 694,3 \text{ \AA}$  bo'lgan monoxromatik, kogerent va o'tkir yo'nalishli bo'lib, uni ***lazer nurlari*** deb ataladi.

Yoqut lazerlari impuls rejimda ishlaydi.

2. **Gaz lazeri.** Gaz lazerida aktiv muhit sifatida gaz yoki gaz aralashmasidan foydalaniladi. Gaz lazeri atmosfera bosimidan 100—1000 marta past bosimda gaz yoki gaz aralashmasi bilan to'ldirilgan shisha yoki kvarts naydan iborat. Rezonator ko'zgulari nayning chekkalari yaqinida, uning ichida yoki tashqarisida joylashtirilishi mumkin.

Gaz lazerlarida optik nakachkadan emas, balki elektr nakachkadan foydalaniladi, bunda quvvatlash energiyasi miltillama razryad hisobiga beriladi.

Neon-geliyli lazerlar eng keng tarqalgan. Razryad nayi 1 mm sim. ust. ga teng bosim ostidagi geliy va 0,1 mm. sim. ust. ga teng bosim ostidagi neon gazlari aralashmasi bilan to'ldiriladi. Bunday lazerlarda elektr tokining energiyasi gaz razryadi elektr maydonidagi tezlashgan elektronlar bilan noelastik to'qnashuvlarda bo'lgan geliy atomlarini uyg'otishga sarf qilinadi.

Geliyning uyg'ongan atomlari to'qnashuvlarda neon atomlariga energiya beradi, bunda ular metastabil sathga o'tadi. Natijada invers band bo'lish hosil bo'ladi — yorug'lik chiqarishga tayyor bo'lgan neon uyg'ongan atomlari soni neonning uyg'onmagan atomlari sonidan katta bo'ladi.

Neon uyg'ongan atomlarining spontan nurlanishining birinchi kvantlariyoq rezonator ko'zgularidan ko'plab marta qaytib, to'liq uzunligi  $\lambda=6328 \text{ \AA}$  bo'lgan yorug'lik intensivligining quyunsimon ortishini vujudga keltiradi. Nakachka quvvati yetarlicha bo'lganda lazer uzluksiz ishlaydi va intensiv sovitishga muhtoj emas. Neon va geliy uyg'ongan atomlarining kamayishi elektr toki energiyasi hisobiga to'ldirib turiladi.

Uzluksiz ravishda ishlash gaz lazerlarining o'ziga xos afzalligidir. Hozirgi vaqtda turli-tuman muhitlar — gazlar, suyuqliklar, shishalar, kristallardan lazerlar yaratilgan. Masalan, uzluksiz ishlaydigan yarimo'tkazgichli lazerlar, gazodinamik lazerlar shular jumlasidandir. Yarimo'tkazgichli lazerlarda nurlanish uchun energiya elektr tokidan olinsa, gazodinamik lazerlarda energetik sathlarning invers bandligi bir necha ming gradusgacha qizdirilgan, tovushdan tez gaz oqimlarining kengayishi va adiabatik sovishida hosil bo'ladi.

## 90- §. Lazer nurlanishining xossalari. Lazerlarning qo'llanilishi

Lazer nurlanishining bir qator ajoyib xossalari mavjud. Lazer nurlanishi, ***birinchidan***, vaqt bo'yicha va fazoviy kogerent; ***ikkinchidan***, qat'iy monoxromatik; ***uchinchidan***, quvvati katta; ***to'rtinchidan***, dastasi o'tkir yo'nalishli (ingichka) bo'ladi.

Lazer eng kuchli yorug'lik manbalaridir. Bunga sabab yorug'lik to'liqida elektr maydoni kuchlanganligining yuqori bo'lishidir. Quyosh nuri uchun monoxromatik yorug'likning elektr maydon kuchlanganligi taxminan  $10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$  ga teng bo'lsa, lazer nuri uchun bu kattalik  $10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}$  ga yetishi mumkin.

Lazer nurining yoyilishi bir burchak sekundi tartibida bo‘ladi. Ko‘zgular sirtiga qat’iy perpendikulyar bo‘lgan nurlargina rezonatorlarda kuchayishi sababli lazer nurlari ingichka, o‘tkir yo‘nalgan bo‘ladi. Linza yordamida lazer nurlarini fokuslash va diametri  $10^{-4}$  mm bo‘lgan dog‘ hosil qilish mumkin, bu hol nur energiyasini  $10^{-8}$  mm<sup>2</sup> tartibidagi maydonga yig‘ish imkonini beradi.

Lazerlarning barcha qo‘llanishlari ular nurlanishlarining spesifik xossalari — yuqori darajada monoxromatikligiga, kogerentligiga, o‘tkir yo‘nalganligiga hamda quvvatining katta bo‘lishiga asoslangan. Sanoatda turli vazifalarga mo‘ljallangan turli lazerlar ishlab chiqariladi. Lazerlarning aniq amaliy qo‘llanishlari shuncha ko‘pki, ularning barchasini sanab chiqish qiyin. Quyida lazerlarning ba’zi bir qo‘llanishlarini bayon etamiz.

Lazer texnologiyasi jarayonlarini shartli ravishda ikki turga bo‘lish mumkin. Ularning birinchisida lazer nurini o‘ta aniq fokuslash va impulsi rejimda ham, uzluksiz rejimda ham energiyani aniq dozlash (kerakli miqdorda olish) imkoniyatidan foydalaniladi. Bunday texnologik jarayonlarda o‘rtacha quvvati uncha yuqori bo‘lmagan lazerlar qo‘llaniladi. Masalan, soatsozlik sanoati uchun yoqut va olmos toshlarda mayda teshiklar parmalash va ingichka sim tortish uchun filyerlar tayyorlash texnologiyalari ishlab chiqilgan.

Kichik quvvatli impuls lazerlardan mikroelektronika va elektrovakuum sanoatida mitti detallarni kesish hamda payvandlashda, mitti detallarga markalar tushirishda foydalaniladi; poligrafiya sanoati ehtiyojlari uchun raqamlar, harflar, tasvirlar avtomatik tarzda kuydirib tayyorlanadi.

Lazerlardan mikroelektronikaning eng muhim sohalaridan biri — fotolitografiyada foydalaniladi. Faqat fotolitografiya usulini qo‘llabgina o‘ta mitti bosma platalar, integral sxemalar va mikroelektron texnikaning boshqa elementlarini tayyorlash mumkin.

Lazer texnologiyasining ikkinchi turi o‘rtacha quvvati katta bo‘lgan lazerlardan foydalanishga asoslangan. Bunday lazerlardan kuchli texnologik jarayonlar: qalin po‘lat listlarni qirqish va payvandlash, sirtqi toblash, yirik gabaritli detallarga metallni eritib yopishtirish va legirlash (metallarni xrom, nikel va boshqalar bilan qoplash), binolar sirtini tozalash, marmar, granitni kesish, gazlama, teri va boshqa materiallarni bichishda foydalaniladi.

Lazerlar golografiyada (92- § ga qarang) hajmiy tasvirlarni olishda, aloqa sistemasida, lazer lokatsiyada masofani o'lovchi asbob sifatida (masalan, lazer lokatori vositasida Oygacha bo'lgan masofa 4 m gacha aniqlikda o'lvangan), qurilishda (masalan, «Ostankino» teleminora qurilishida minora o'vining vertikalidan og'ishi 6 mm gacha aniqlik bilan qayd etilgan), tibbiyotda, biologiyada, ilmiy-tekshirishda va boshqa ko'p sohalarda keng qo'llaniladi.

Lazer fizikasi va texnologiyasining rivojlanishida O'zbekiston olimlari ham salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar. Xususan, O'RA FA ning «Akademiasbob» ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida nohiziqiy optika bo'yicha fundamental tadqiqotlar; Teplofizika bo'limida lazer sistemalarini va qurilmalarini yaratish uchun zarur bo'lgan yangi materiallarni tadqiq qilish; Elektronika institutida lazer nurlanishining qattiq jism sirti bilan ta'sirini o'rganish; O'zbekiston Milliy universitetida lazer nurlanishini qayd etish, tasvirlarni tiklash, ma'lumotni golografik yozishning yangi usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish; Yadro fizikasi institutida lazer plazmasi va ko'p zaryadli ionlar emissiyasida yuzaga keladigan jarayonlarni o'rganish kabi juda ko'p yo'nalishlar bo'yicha ilmiy tadqiqot va ilmiy-texnologik ishlar olib borilmoqda.

Olimlar tomonidan erishilgan yutuqlar xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida tatbiq etilib, ham moddiy, ham ma'naviy foyda keltirmoqda. Jumladan, Toshkent qishloq xo'jalik mashinasozlik zavodi, Toshkent instrumental zavodi, Toshkent motor zavodi, Toshkent kabel zavodi va shu kabi ishlab chiqarish tashkilotlarida lazer texnologiyalari po'lat materiallarni kesish va payvandlash, mahsulotni markalash va prezision (yuqori darajada aniq) ishlov berish, ishlab chiqarishni to'xtatmagan holda kabel qobig'iga kerakli ma'lumotni qayd etuvchi tang'a bosish, elektron sanoat korxonalarida elektron detallarni me'yoriga yetkazish va hokazo maqsadlarda foydalaniladi. «Lidar» deb nomlangan maxsus lazer qurilma vositasida bizning regionda ekologiyani nazorat qilinadi; jarroh va jarroh-oftalmolog qo'lida lazer skalpeli instrument sifatida ishlatiladi; ilmiy tadqiqotlarda, tibbiyot va biologiyada diagnostikaning lazer usullari keng qo'llaniladi. Truboprovod va aloqa sistemasi qurilishlarida qurilishning samaradorligini va sifatini oshirishga imkon beruvchi lazer qurilmalarini qurish mumkin. O'zbek

olimlari yasama tishlarning sifatini nihoyatda yaxshilaydigan noyob flyussiz kavsharlardan foydalanish imkoniyatini namoyish qildilarki, hozirda bu texnologiya Respublikaning bir qator stomatologik klinikalarida qoʻllaniladi.

Shuningdek, respublikada terapevtik taʼsir etish uchun lazer asboblari ishlab chiqariladi. Bu asboblarning turli tibbiyot muassasalarida koʻz va teri kasalliklarini davolash uchun, operatsiyadan keyingi va kuyish jarohatlarining bitish muddatini qisqartirish uchun keng qoʻllaniladi.

Hozirgi vaqtda lazer texnologiyalaridan foydalanish jadal oʻsib bormoqda. Hozirda biz dunyoni lazer kompakt disklersiz, lazer printerlarsiz, nishonni moʻljalga olish va aniqlashning lazer sistemalarisiz, lazer lokatsiyasi va lazer aloqasisiz tasavvur qila olmaymiz. Hatto hozirgi zamon butunjahon informatsion tarmoq — Internet ham aloqaning lazer texnologiyasidan foydalanadi.

## 91- §. Optikada nohiziqiy effektlar

Muhitdan oʻtayotgan yorugʻlik dastasi taʼsirida muhitning optik xarakteristikalarini oʻzgaradimi, degan savolga lazerlar paydo boʻlgunga qadar salbiy javob berilar edi. Haqiqatan ham, atom ichidagi maydonlar  $10^8 \div 10^{12} \frac{\text{V}}{\text{m}}$  tartibidagi kuchlanganliklar bilan xarakterlangani holda, lazermas yorugʻlik manbalaridan chiqayotgan yorugʻlik toʻlqini maydonining elektr kuchlanganligi  $10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$  dan ortmaydi.

Shu sababli yorugʻlik toʻlqini amalda atom ichidagi maydonlarga va, demak, muhit xarakteristikalariga taʼsir koʻrsata olmaydi. Bunday hollarda muhitning optik xususiyatlari va koʻpgina optik hodisalar xarakteri yorugʻlikning intensivligiga bogʻliq boʻlmaydi.

Muhitning  $P$  qutblanish vektori tashqi maydon  $E$  kuchlanganligi bilan  $P = \chi E$  chiziqli bogʻlanishda ekanligi maʼlum, bunda  $\chi$  — muhitning dielektrik qabul qiluvchanligi. Bundan hozirda lazerlar ishlatilishidan avvalgi optikaga nisbatan «chiziqli optika» atamasi qoʻllanila boshlangan.

Yorugʻlikning kvant generatorlari yaratilgandan soʻng optikada vaziyat keskin oʻzgardi. Lazer nurlanishining yuqori darajadagi kogerentligi yorugʻlik quvvatini gʻoyat kuchli konsentratsiyalash imkonini beradi. Lazerlar kuchlanganligi  $10^{10} \div 10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}$  boʻlgan

yorug'lik maydonlarini beradi. Bunday kuchli yorug'lik oqimlari moddada tarqalganda superpozitsiya prinsipidan keskin chetlanishlar ro'y beradi, muhitda tarqalayotgan to'lqinlar bir-biriga ta'sir etadi, fizik jarayonlar nohiziqiy qonunlarga bo'ysunadi. Endi muhitning dielektrik qabul qiluvchanligi  $E$  kuchlanganlikka bog'liq bo'lib qoladi, natijada  $P$  ning  $E$  ga bog'lanishi nohiziqiy bo'ladi. Masalan, agar  $\chi = \chi_0 + \chi_1 E$  bo'lsa, u holda  $P = \chi E = \chi E + \chi_1 E^2$  bo'ladi. Bundan «nohiziqiy optika», «nohiziqiy qutblanish», «Nohiziqiy qutblanishli muhit» degan atamalar kelib chiqqan.

Nohiziqiy optika intensiv lazer nurlanishi ta'sirida muhitning nohiziqiy qutblanishi bilan bog'liq bo'lgan bir qator nohiziqiy optik hodisalarni o'rganadi. Bu hodisalarning ba'zilarini keltiramiz.

1. **Yorug'likning nohiziqiy qaytishi.** Yorug'lik intensivligi katta bo'lganda qaytgan yorug'likda tushuvchi yorug'likning  $\omega$  chastotasiga teng chastotali nur bilan birga  $2\omega$  chastotali nur ham bo'ladi. Ularning yo'nalishi bir xil emas.

2. **Optikaviy garmonikalar.** Quvvatli yorug'lik dastalari suyuqlik va kristallarda sochilganda tushuvchi yorug'lik chastotasiga teng  $\omega$  chastotali yorug'likdan tashqari  $2\omega$ ,  $3\omega$  va hokazo chastotali sochilgan yorug'liklar ham kuzatiladi. Sochilgan yorug'likning bu spektral komponentlari *optikaviy garmonikalar* deyiladi.

3. **Yorug'likning o'z-o'zidan fokuslanishi.** Yorug'lik dastalari suyuqliklar va ba'zi kristallardan o'tganda dastaning quvvati ortishi bilan yoyilishi kamayadi, kritik quvvat deb ataladigan quvvatda dasta hech yoyilmasdan (kengaymasdan) tarqaladi. Quvvat kritik quvvatdan katta bo'lganda dasta qisiladi — yorug'lik o'z-o'zidan fokuslanadi. Aniqlanishicha,  $E$  kuchlanganlik ortganda  $n$  sindirish ko'rsatkichi ham ortadi, dasta egallagan muhit optikaviy zich bo'lib qoladi. Bu esa nurlarning dasta o'qiga tomon egilishiga, demak dastaning qisilishiga olib keladi. Dasta go'yo ingichka kanal bo'ylab tarqaladi va o'ziga xos optik to'lqin o'tkazgich bo'lib qoladi.

4. **Ko'p fotonli jarayonlar.** Yorug'lik yutilishining kvant nazariyasiga ko'ra odatdagi manbadan nurlanayotgan yorug'lik oqimi bilan modda o'zaro ta'sirlashgandagi har bir elementar aktda bitta foton yutiladi va shuning uchun ham jarayon bir fotonli hisoblanadi. Modda yorug'likning katta quvvatli oqimi bilan nurlatilganda bitta elementar aktda bir necha foton yutilishi mumkin, ya'ni:

$Nh\nu = W_n - W_i$ , bunda:  $N$  — yutilgan foton soni,  $W_i$  va  $W_n$  lar mos ravishda atomning normal va uygʻongan holati energiyalari.

Bu holda koʻp fotonli yutilish boʻladi. Bunda har bir foton energiyasining qiymati bir fotonli yutilish aktida yutiladigan foton energiyasidan  $N$  marta kam boʻladi. Agar  $W_n = W_i$  sath boʻlsa (bunda  $W_i$  — ionizatsiya energiyasi), u holda fotonlar energiyasining  $Nh\nu$  yigʻindisi  $W_i$  dan katta qiymatga erishganda atom (molekula va hokazo) ning ionlanishi yuz beradi.

Bunda **koʻp fotonli ionlanish (koʻp fotonli fotoeffekt)** boʻladi. Inert gazlarning yetti fotonli ionlanishi ishonchli ravishda qayd etilgan.

Hozirgi vaqtda optikaning bu yangi sohasi — nochiziqiy optika jadal rivojlanib bormoqda. OʻR FA ning «Akademasbob» ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida nochiziqiy-optik usullar asosida fundamental ilmiy-tadqiqot ishlari boʻyicha oʻzbek olimlari oʻz hissalarini qoʻshib kelmoqdalar.

## 92- §. Golografiya

Yorugʻlikning interferensiya va difraksiya hodisalaridan foydalanib, buyumlarning hajmiy tasvirlarini hosil qilish mumkin, bu odatdagi fotografiyadan prinsipial farq qiladi.

Odatdagi fotografiyada yoritilgan buyumning alohida nuqtalaridan qaytgan yorugʻlik obyektiv yordamida fotoplyonkaning sirtiga fokuslanadi. Obyektivdan turli uzoqlikda joylashgan nuqtalar tasviri obyektivdan turli masofalarda hosil boʻladi. Agar buyum uch oʻlchamli, hajmiy boʻlsa, uning tasviri ham hajmiy boʻladi. Biroq bu tasvir yassi fotoplyonkada (fotoemulsiyaning qalinligi 6—25 mkm tartibida boʻladi) qayd qilingani uchun buyumning faqat aniq sozlangan nuqtalarining tasviri aniq hosil boʻladi. Hajmiy tasvirning uzoqroq yoki yaqinroq turgan boshqa nuqtalari fotoplyonkada yoyilgan, noaniq dogʻlar beradi. Natijada hajmiy buyum va uning fotosurati har holda uni koʻrganimizdan ancha farq qiladi, buyum haqidagi informatsiya toʻliq boʻlmaydi, uning bir qismigina qoladi.

Fotosuratga olishda bu informatsiyalarning yoʻqotishiga sabab shuki, fotoplastinka faqat yoritilganlikni, yaʼni buyumning turli nuqtalaridan qaytgan yorugʻlik toʻlqinlarining amplitudasinigina qayd qiladi. Ayni vaqtda buyumning bu nuqtalarida yorugʻlik toʻlqini faqat tebranishlar amplitudasi bilan emas, shuningdek, fazasi bilan ham xarakterlanadi. Fotoplastinkaning qorayishiga esa tebranishlar fazasi hech qanday taʼsir koʻrsatmaydi, boshqacha aytganda,

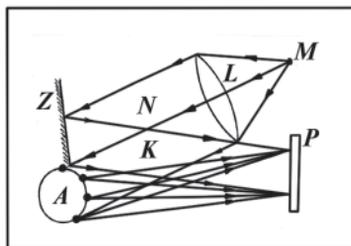
fotoplastinka to‘lqin sirti (teng fazalar sirti) ning shaklini qayd qilmaydi. Binobarin, fotosuratda hajmiy buyumning turli nuqtalarigacha bo‘lgan masofalar to‘g‘risida hech qanday obyektiv informatsiya bermaydi. Vaholanki, kuzatuvchiga yoki fotoplastinkaga yetib boruvchi to‘lqin sirtining shakli xuddi shu masofalarga bog‘liq bo‘ladi.

Agar fotoplastinkada buyum sochgan yorug‘lik to‘lqinlarining faqat amplitudasi emas, shuningdek, ularning fazalari ham qayd qilinsa, u holda buyumning fotosuratini ko‘rgan kuzatuvchi uni buyumdan ajrata olmaydi.

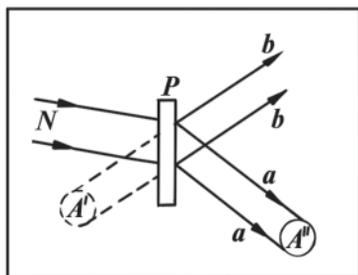
Birinchi marta buyum sochgan yorug‘likni oddiy fotosuratdagidan ancha to‘laroq qayd qilishni 1948- yilda ingliz fizigi D. Gabor amalga oshirdi. Gabor o‘zi tavsiya qilgan usulni **golografiya** (grekcha «golos» — butun, hammasi degan so‘zdan olingan) deb atadi.

**Gologramma** hosil qilishda asosiy narsa monoxromatik va kogerent lazer nuridir. Shuning uchun golografiya 1960- yillarda lazerlar paydo bo‘lishi bilangina rivojlana boshladi. Hozir golografiya optikaning eng muhim sohalaridan biriga aylangan.

Tasvirlarni golografik usul bilan olishning turlari ko‘p. Rus olimi Yu.N. Denisyuk tavsiya etgan usullardan biri quyidagicha: *M* kogerent yorug‘lik manbayining keng dastasi ikki — *N* va *K* qismlarga ajratiladi (202- rasm). Ularning biri *K* dasta *A* buyumdan qaytgandan so‘ng *P* fotoplastinkaga tushadi (uni **signal dasta** deyiladi), ikkinchisi *N* dasta fotoplastinkaga *Z* yassi ko‘zgdan qaytgandan so‘ng tushadi (uni **tayanch dasta** deyiladi). Kogerent to‘lqinlarning bu ikki dastasi qo‘shilishi natijasida fotoplastinkaning emulsiya qatlamida interferension manzara hosil bo‘ladi. Bu manzaraning fotoplastinka ochiltirilgandan keyingi fotosurati **gologramma** deb ataladi. Shunday qilib, *buyumning gologrammasi* — *murakkab shakldagi signal to‘lqinning yassi tayanch to‘lqin bilan o‘zaro ta’siri natijasida hosil bo‘lgan va notekis joylashgan*



202- rasm.



203- rasm.

*interferension polosalardan tashkil topgan murakkab interferension manzaradan iborat bo'ladi.*

Gologrammada buyum sirtidan qaytgan nurlarning amplitudalari haqida ham, fazalari haqida ham to'liq ma'lumot bo'ladi. Odam ko'zi gologrammaning kuchli kattalashtirilgan sohasini turli darajada qoralashgan tartibsiz dog'lar shaklida ko'radi, lekin gologrammada aniq qonuniyatlar asosida berilgan buyum haqidagi ma'lumotlarni ko'ra olmaydi. Bundan golografik tasvirni tiklash kerakligi kelib chiqadi.

*Golografik tasvirni tiklash — bu buyum haqidagi ma'lumotlarni bir shakldan inson his qilishi uchun qulay bo'lgan boshqa shaklga aylantirishdan iborat.* Buyumning tasviri  $P$  gologrammani  $N$  tayanch nuri bilan yoritish (203- rasm) va gologrammaning qoralashgan birjinslimasliklarida yuz bergan difraksiya natijasida hosil bo'ladi. Buyumning  $A''$  haqiqiy tasvirni obyektivsiz hosil qiluvchi to'lqin maydoni  $aa$  yo'nalishda tarqaladi. Kuzatilayotgan buyum sohib yuborgan to'lqin maydoni  $bb$  yo'nalishda tiklanadi. Bu to'lqin maydoni buyumning  $A'$  mavhum tasviriga mos keladi.

Qayta tiklangan to'lqin sirtining signal to'lqin sirti bilan aniq mos tushishi shunga olib keladiki, ko'zimiz qabul qiladigan tasvir tashqi ko'rinishi jihatidan buyumdan farq qilmaydi.

Gologrammalar yordamida hosil qilinadigan tasvirlar ajoyib xususiyatlarga ega. Masalan: 1. Buyumning oddiy fotografiyasining bir bo'lagi buyumning faqat shu bo'lagi haqida ma'lumot beradi. Agar gologrammani bir necha bo'laklarga bo'lib, ixtiyoriy bir bo'lagini tayanch nurlar dastasi bilan yoritsak, ularning har biri gologrammadagidek buyumning to'liq tasvirini beradi. 2. Fotografiyadan farq qilib, golografiyada bitta fotoplastinkaga turli buyumlarning tasvirini ketma-ket suratga tushirish mumkin. Har

bir tasvirni qayta tiklashda boshqa tasvirlar xalaqit bermaydi. 3. Gologrammani tiklashda yorug‘likning tarqaluvchi dastasini qo‘llash yo‘li bilan buyum tasvirini linzalar ishlatmasdan bir necha marta kattalashtirish mumkin.

Gologrammani tiklash vaqti juda qisqa ( $10^{-10}$  s gacha). Shuning uchun golografiya ulkan miqdordagi ma‘lumotlarni yozib olish, saqlash va juda tez o‘zgartirish imkonini beradi. Golografiyaning bu xususiyatlaridan ko‘plab ilmiy va texnik muammolarni hal qilishda foydalaniladi.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Spontan va induksiyalangan nurlanish deb qanday nurlanishlarga aytiladi? Ularning farqi nimadan iborat?*
2. *Energetik sathlarning invers bandligi deganda nimani tushunasiz? Bu holat qanday hosil qilinadi?*
3. *Metastabil holat, metastabil sath, aktiv muhit tushunchalarining mazmunini tushuntiring.*
4. *Induksiyalangan nurlanish hodisasi asosida yorug‘likning kuchayishini tushuntiring.*
5. *Lazerlar qanday asboblardir? Ularning asosiy qismlari nimadan iborat?*
6. *Yoqut lazerining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.*
7. *Nima uchun yoqut lazerini sovitib turish kerak?*
8. *Gaz lazerlari qanday ishlaydi? Neon-geliy lazeri misolida tushuntiring.*
9. *Nakachka nima? Yoqut lazerida qanday nakachkadan foydalaniladi? Neon-geliy lazerida-chi?*
10. *Lazer nurlanishining asosiy xususiyatlarini tushuntiring.*
11. *Lazer nurlanishining qo‘llanishlari haqida gapirib bering.*
12. *Chiziqiy optika, nochiziqiy optika atamaları nimani anglatadi?*
13. *Nochiziqiy optika qanday hodisalarni o‘rganadi? Nochiziqiy optik hodisalarga misollar keltiring.*
14. *Tasvir olishning odatdagi fotografiya usulining qanday nuqsonlari bor? Sababi nima?*
15. *Gologramma qanday hosil qilinadi?*
16. *Gologramma qanday qayta tiklanadi?*
17. *Golografik tasvirning qanday xususiyatlarini bilasiz?*

### 93- §. Atom yadrosining tarkibi. Atom yadrosini xarakterlovchi asosiy kattaliklar

Atom yadrosi ham atomning o‘zi singari ma’lum ichki tuzilishga ega.

1932- yilgacha olimlar atomlarning yadrolari protonlar (vodorod yadrolari) va elektronlardan iborat, deb qarar edilar. Biroq atom yadrolarining tuzilishi haqidagi bunday tasavvur noto‘g‘ri edi. Atom yadrolarining tuzilishini bunday tushunishda atomlarning yadrolarida elektronlarning mavjudligi dalilini mutlaqo izohlab bo‘lmas edi. Agar elektronlar atomlarning yadrolarida bo‘lganida edi, ular elektr kuchlari ta’sirida protonlarga tortilar va buning natijasida zarralarning bu ikki xili elektr jihatidan neytral bo‘lib qolar edi. Agar bunday bo‘lsa, yadrolar atrofidagi orbitalarda harakatlanayotgan elektronlar atomda qanday ushlanib turishi tushunarsiz edi.

Orbitalarda elektronlar gravitatsiya kuchi (butun olam tortishish kuchi) ta’sirida ushlab turiladi deb o‘ylash mumkin. Biroq hisoblashlarning ko‘rsatishicha, butun olam tortishish kuchi atom yadrosi atrofida harakatlanayotgan elektronlarni orbitada ushlab turishga yetarli emas ekan.

1932- yilda ingliz fizigi, Rezerfordning shogirdi D. Chedvik yangi zarra — **neytronni** kashf etdi. Bu kashfiyot yadro fizikasi uchun muhim voqea edi.

Shu yili fizik olim D.D. Ivanenko va nemis fizigi V. Geyzenberg neytronning ochilishiga doir tajribalarga tayanib, atom yadrosining yangi nazariyasini yaratdilar. Ular yadrolarda elektronlar bo‘lishi mumkin emasligini nazariy ravishda asoslab berdilar.

D.D. Ivanenko va V. Geyzenberg nazariyasiga ko‘ra barcha atom yadrolari tarkibiga faqat ikki xil zarra: **protonlar** va **neytronlar** kiradi.

Qator olimlarning kelgusi eksperimental tadqiqotlari bu nazariyaning to‘g‘ri ekanligini isbot qildi. Yadroning proton-neytronli nazariyasi hozirgi vaqtda butun dunyoda tan olingan nazariya bo‘lib qoldi.

Proton musbat zaryadga ega bo‘lib, uning zaryadi elektron zaryadiga teng (ya’ni, elementar zaryadga teng:  $e=1,6\cdot 10^{-19}$  C) va tinch holatdagi massasi  $m_p=1,6724\cdot 10^{-27}$  kg. Neytronning zaryadi yo‘q, u neytral zarra hisoblanadi. Neytronning massasi proton

massasidan bir oz kattaroq va  $m_n=1,6748 \cdot 10^{-27}$  kg. Protonni  $p$  harfi bilan, neytronni  $n$  harfi bilan belgilash qabul qilingan. Bu zarralar **nuklonlar** deb ataladi.

Yadro va elementar zarralarning massasi, odatda, **massaning atom birligi** (m.a.b.)da ifodalanadi. *Massaning atom birligi qilib uglerod atomi massasining  $\frac{1}{12}$  qismi qabul qilingan.* Bu birlik quyidagiga teng:

$$1 \text{ m.a.b.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

$$\text{Demak, } m_p=1,00747 \text{ m.a.b, } m_n=1,00892 \text{ m.a.b.}$$

Shunday qilib:

$$m_p \approx m_n = 1 \text{ m.a.b.} \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

87-§ da ko'rsatilganidek, istalgan kimyoviy element atomi yadrosining elementar zaryadlarda ifodalangan zaryadi shu elementning Mendeleev davriy sistemasidagi atom nomeri  $Z$  ga teng. Ammo yadro zaryadi protonlar zaryadlari yig'indisiga teng, binobarin, elementning atom yadrosidagi protonlar soni  $N_p$  elementning atom nomeri  $Z$  ga teng:

$$N_p = Z.$$

Yadrodagi nuklonlar soni (ya'ni, protonlar va neytronlar yig'indisi) **yadroning massa soni** deb ataladi va  $A$  harfi bilan belgilanadi.

$$A = N + Z,$$

bunda  $N=(A-Z)$  yadrodagi neytronlar sonini bildiradi.

Massaning atom birligi (m.a.b.) da ifodalangan yadro massasining son qiymati (atom og'irligi)ga eng yaqin bo'lgan butun son massa soni  $A$  ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, kimyoviy elementning massa soni va atom nomeriga qarab shu element yadrosidagi protonlar va neytronlar sonini bevosita aniqlash mumkin.

Kimyoviy elementlarning atomi yadrolarini  ${}_Z^A X$  simvol bilan belgilash qabul qilingan, bunda:  $X$  — elementning kimyoviy simvoli,  $A$  — massa soni;  $Z$  — atomning tartib nomeri. Masalan,  ${}_2^4 \text{He}$  — geliy atomi yadrosini,  ${}_8^{16} \text{O}$  — kislorod atomi yadrosini bildiradi.

Biroq shunday elementlar borki, ularning atom yadrolarida protonlar soni bir xil, ammo neytronlar soni har xil bo'ladi. Bunday

elementlarning atomlariga shu elementning **izotoplari** deyiladi. Izotoplarning Mendeleev jadvalidagi tartib nomeri bitta, lekin massa sonlari turlicha bo‘ladi. Masalan, havoda azotning ikki izotopi bor:  $^{16}_7\text{N}$  va  $^{15}_7\text{N}$ , kislorodning uchta izotopi bor:  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$  va hokazo.  $A$  massa soni bir xil bo‘lgan yadrolar **izobarlar** deyiladi. Izobarlarga  $^{40}_{18}\text{Ar}$  va  $^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  $^7_3\text{Li}$  va  $^7_4\text{Be}$  yadrolar misol bo‘la oladi. Neytronlar soni bir xil bo‘lgan yadrolar **izotonlar** deyiladi. Bunga misol qilib  $^{13}_6\text{C}$  va  $^{14}_7\text{N}$ ,  $^7_3\text{Li}$  va  $^8_4\text{Be}$  yadrolarni ko‘rsatish mumkin.

Bir kimyoviy element barcha izotoplarining elektron qobiqlarining tuzilishi bir xil bo‘ladi. Shuning uchun berilgan element izotoplarining kimyoviy xossalari, shuningdek, asosan, elektron qobiqning tuzilishidan kelib chiqadigan fizik xossalari ham bir xil. Biroq yadro tuzilishidan kelib chiqadigan fizik xossalari (massa soni, zichlik, radioaktivlik va hokazo) ancha farq qiladi.

Tabiatda deyarli mavjud bo‘lgan hamma elementlarning izotoplari bor. Olimlar izotoplarni sun‘iy yo‘l bilan ham olish mumkin ekanligini tajribada ko‘rsatdilar. Tabiatda kimyoviy elementlarning 300 ga yaqin turg‘un izotoplari va 1000 ga yaqin sun‘iy (radioaktiv) izotoplari mavjud.

#### **94- §. Yadroning zaryadi, massasi va radiusini aniqlash usullari**

Yadroning zaryadi, massasi va radiusi uni xarakterlovchi asosiy kattaliklar qatoriga kiradi. Yadro fizikasida bu kattaliklarni o‘lchashning turli usullari ishlab chiqilgan.

1. *Yadro zaryadini aniqlashda*, masalan,  $\alpha$ -zarralarning moddada sochilishidan foydalaniladi. Sochiluvchi  $\alpha$ -zarralarning  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbiy sonini ifodalovchi Rezerford formulasi [(130) formulaga qarang] quyidagicha edi:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{nb}{l^2} \left( \frac{2e \cdot Ze}{m_\alpha \cdot v^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot \sin^4 \frac{\theta}{2}}.$$

Agar bu formulada  $\alpha$ -zarraning tezligi  $v = \text{const}$  va sochilish burchagi  $\theta = \text{const}$  bo‘lsa, u holda  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbat yadroning  $Ze$  zaryadi

funksiyasi bo‘lib qoladi. Demak, tajriba yo‘li bilan  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbatni o‘lchab, Rezerford formulasidan yadro zaryadi  $Ze$  ni hisoblab topish imkoniyati paydo bo‘ladi. 1920- yili Chedvig turli moddalardan (masalan, mis, kumush, oltin) sochuvchi modda sifatida foydalanib,  $\alpha$ -zarralarning  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbiy sonini eksperimental aniqladi va  $Ze$  zaryadni hisobladi. Tajriba natijalari aniqlangan yadroning zaryad soni  $Z$  tajriba xatolikasi chegarasida elementning Mendeleev davriy sistemasidagi tartib nomeri bilan mos kelishini ko‘rsatdi.

2. *Yadro radiusini aniqlashda* yadroda nuklonlar doimo harakatda bo‘ladi va yadroga kvant mexanikaga bo‘ysunuvchi zarralar sistemasi deb qaralishi kerak. Shuning uchun nuklonlar to‘lqin xususiyatga ega ekanligini, demak, Geyzenbergning noaniqlik prinsipini hisobga olish kerak. Shu sababli yadro zarralari mavjud bo‘ladigan sohaning o‘lchamlari noaniqlik munosabatlari ruxsat etadigan aniqlikda berilishi mumkin. Binobarin, yadroning hajmi ma‘lum aniq chegaralarga ega bo‘la olmay, balki xuddi atomdagi elektron orbitasi kabi «surkalgan» bo‘ladi.

Yetarlicha katta energiyali va elektr jihatdan neytral zarralarning, shuningdek, o‘ta katta energiyali elektronlarning yadrolarda sochilishini eksperimental o‘rganib, yadroning radiusini aniqlash mumkin ekan. Neytronlarning yadrolarda sochilishi bo‘yicha o‘tkazilgan tajribalar yadro radiusi  $R$  yadroning massa soni  $A$  ortishi bilan

$$R = R_0 \sqrt[3]{A} \quad (161)$$

qonuniyatga ko‘ra kattalashib borishini ko‘rsatadi, bunda  $R_0 = (1,3 \div 1,7) \cdot 10^{-15}$  m.

(161) formulani quyidagicha tushuntirish mumkin. Yadro bir-biridan bir xil masofada turgan bir xil o‘lchamli zarralar yig‘indisidan iborat. Shuning uchun har bir zarraga o‘rtacha birday «effektiv» hajm to‘g‘ri keladi. U vaqtda (161) formulada ifodalangandek, yadro hajmi undagi nuklonlar soniga proporsional bo‘ladi. Haqiqatan ham,  $R$  — yadroning radiusi,  $R_0$  — bitta nuklonning «radiusi» deb olinsa,

u holda  $\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_0^3 \cdot A$  munosabat hosil bo‘ladi. Ko‘rinib turibdiki, bu munosabatdan (161) formula bevosita kelib chiqadi. Eng og‘ir yadro, masalan uran yadrosining radiusi  $10^{-14}$  m tartibida ekan.

(161) formuladan yadro moddasining  $\rho$  o'rtacha zichligini topish mumkin:

$$\rho = \frac{m_{ya}}{V_{ya}} = \frac{m_{ya}}{\frac{4}{3}\pi R^3},$$

bunda:  $m_{ya}$  va  $V_{ya}$  — yadroning massasi va hajmi. Agar  $m_{ya} = m_n \cdot A$  deb qabul qilinsa, bunda  $m_n$  — neytronning massasi, unda (161) ga binoan:

$$\rho = \frac{m_n \cdot A}{\frac{4}{3} \cdot \pi (R_0 \sqrt[3]{A})^3} = \frac{m_n}{\frac{4}{3} \cdot \pi R_0^3} = \frac{3 \cdot 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,5 \cdot 10^{-15})^3 \text{ m}^3} \approx 1,3 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Shuni qayd etish lozimki, yadro moddasining zichligi yadrodagi nuklonlar soni  $A$  ga bog'liq emas va odatdagi eng zich jismlarning zichligidan ancha katta.

3. *Atom yadrolari massalarini o'lchashning bir qator usullari mavjud bo'lib, ulardan biri mass-spektrometriya usulidir. Bu usulda zaryadli zarralarning elektr va magnit maydonlar ta'sirida og'ishidan foydalaniladi. Yadro massasi mass-spektrograf yoki mass-spektrometrlar yordamida o'lchanadi (Elektrodinamika. Tebranishlar va to'liqlar, 2- kitob, 86- § ga qarang).*

## **95- §. Yadro kuchlari. Yadro modellari haqida tushuncha**

Yadrolar juda barqaror sistemadir, binobarin, protonlar va neytronlar yadro ichida qandaydir juda katta kuchlar bilan tutib turiladi. Yadrolarning tuzilishi haqidagi ta'limotning eng muhim masalalaridan biri yadroda mavjud bo'lgan nuklonlarni tutib turuvchi kuchlarning tabiati haqidagi masaladir.

Bu kuchlar qanday kuchlar? Yadrolar protonlar va neytronlardan iborat bo'lgani uchun bu kuchlar elektr zaryadlari o'rtasidagi oddiy o'zaro ta'sir kuchlari bo'lishi mumkin emas. Buning ustiga protonlar orasida bir-biridan itariluvchi elektr kuchlari ta'sir qiladi. Yadrodagi nuklonlarni bir-biriga bog'lab turuvchi kuchlar tortishish kuchlari ham emas, chunki proton va neytrondek kichik massali zarralar orasidagi tortishish kuchlari juda kichik, bu kuchlarning yadrodagi jarayonlarda qandaydir bir sezilarli rol o'ynashi ehtimoldan uzoq.

Demak, yadroda nuklonlarni tutib turuvchi qandaydir yangi, yadroga xos bo'lgan kuchlar mavjud bo'lishi kerak. Bu kuchlarni **yadro kuchlari** deb ataladi. Yadro kuchlari tabiatda mavjud bo'lgan kuchlarning eng qudratlisidir. Shuning uchun nuklonlarning yadro ichidagi o'zaro ta'siri **kuchli o'zaro ta'sir** deb ataladi. Yadro kuchlarining o'ziga xos tomonlari quyidagicha.

1. *Yadro kuchlari qisqa masofada ta'sir etadigan kuchlardir.* Bu kuchlar nuklonlarni bir-biridan  $10^{-15}$  m masofada ushlab turadi. Nuklonlar orasidagi masofa  $2 \cdot 10^{-15}$  m dan ortganda ularning ta'siri sezilmaydi. Nuklonlar orasidagi masofa  $1 \cdot 10^{-15}$  m dan kichik bo'lganda ular tortishish o'rniga itarishadi. Yadro kuchlari ta'sir etadigan  $r=2 \cdot 10^{-15}$  m masofaga **yadro kuchlarining ta'sir radiusi** deyiladi.

2. *Kuchli o'zaro ta'sir nuklonlar zaryadiga bog'liq bo'lmaydi.* Ikki proton, proton va neytron, ikki neytron orasida ta'sir qiluvchi yadro kuchlari kattaligi jihatdan bir xil bo'ladi. Bu xossa **yadro kuchlarining zaryaddan mustaqilligi** deyiladi.

3. *Yadro kuchlari gravitatsion yoki Kulon kuchlari kabi markaziy kuchlar emas.* Bu kuchlar nuklonlar orasidagi masofaga bog'liq bo'lish bilan birga, yana o'zaro ta'sirlashayotgan nuklonlar spinlarining bir-biriga nisbatan qanday joylashganiga ham bog'liq bo'ladi.

4. *Yadro kuchlari to'yinish xossasiga ega.* Bu xossaga ko'ra har bir nuklon yadrodagi barcha nuklonlar bilan emas, balki o'ziga yaqin turgan chekli sanoqli nuklonlar bilangina o'zaro ta'sirda bo'ladi.

5. *Yadro kuchlari almashinish xarakteriga ega.* 1935- yilda yapon fizigi X. Yukava yadroda nuklonlar bir-biri bilan alohida elementar zarralarni almashtirish yo'li bilan o'zaro ta'sirlashadi, degan gipotezani ilgari surdi. Bu zarralarning tinchlikdagi massasi elektron va nuklon massalari oralig'ida bo'lib, taxminan  $300 m_e$  ga teng va  **$\pi$ -mezonlar** yoki **pionlar** deb ataladi (grekcha «mezon» so'zi – «o'rta» deganni bildiradi), bunda  $m_e$  — elektronning tinchlikdagi massasi. Yukava nazariyasiga ko'ra nuklonlar o'z atrofida (elektr zarayadlarning elektromagnit maydoniga o'xshash) mezon maydoni hosil qiladi. Bu maydon proton va neytronlarga turlicha ta'sir ko'rsatadi. Elektr zaryadlarning fotonlarini chiqarishi va yutishi kabi nuklonlar bu maydon kvantlari – pionlar chiqarishi va yutishi mumkin.

Yukava nazariyasi asosiy yadro hodisalarini tushuntirib berdi, lekin nuklonlarning o'z tuzilishini tushuntira olmadi. Nuklonlar nimadan tuzilgan? Bu savolga olimlarning XX asrning ikkinchi

yarmida erishgan muvaffaqiyatlari asosida javob topish mumkin (115- § ga qarang).

Yadro kuchlarining tabiatini va qonuniyatlarini tushuntirib beradigan qat'iy nazariya mavjud emas. Shu sababli atom yadrosining turli xossalari yadro modellari yordamida o'rganiladi. Shu vaqtgacha olimlar tomonidan tavsiya etilgan yadro modellarining birortasi ham yadroning xossalarini to'liq yoritib bera olmaydi. Shuning uchun bir nechta yadro modellaridan foydalaniladi. Barcha mavjud yadro modellaridan tomchi va qobiqsimon modellar samarali foydalaniladi.

*Yadroning tomchi modelini* 1938- yilda Ya.I. Frenkel ishlab chiqqan, N. Bor va Vayszeckerlar tomonidan rivojlantirilgan. Frenkel nazariyasiga ko'ra atom yadrosini zaryadlangan suyuqlik tomchisiga o'xshatish mumkin. Suyuqlik tomchisidagi molekular o'zaro molekulyar tutinish kuchlari bilan bog'langani singari yadroni tashkil qiluvchi nuklonlar ham o'zaro yadro kuchlari bilan bog'langan. Bu model yadro fizikasidagi bir qator muhim hodisalarni tushuntirishga imkon beradi, xususan butun yadro reaksiyalarini, shu jumladan, yadroning bo'linishini yaxshi tushuntirib beradi.

*Yadroning qobiqsimon modeli* atom yadrosining eng samarali zamonaviy modellaridan biri hisoblanadi. Yadro qobiqlari haqidagi g'oyani birinchi bo'lib 1932- yilda D.D. Ivanenko shakllantirgan, X. Yensen va M. Geppert-Mayer tomonidan rivojlantirilib, atom yadrosining qobiqsimon modeli yaratilgan. Bu modelga ko'ra yadrodagi nuklonlar ularning o'zi hosil qilgan maydonda deyarli bir-biridan mustaqil harakatlanadi. Yadroda ham, xuddi atomdagidek, diskret energetik sathlar bo'lib, ular nuklonlar bilan to'ldiriladi. Energetik sathlari bir-biriga yaqin bo'lgan nuklonlar yadro qobiqlarini hosil qiladi.

Hozirgi vaqtda yadroning qobiqsimon modeli oxirigacha yetkazilmagan bo'lsa-da, ko'p olimlar tomonidan tan olingan. Yadro qobiqlarining mavjudligi atom xossalaridagi davriylik kabi yadro xossalarining davriyligiga sabab bo'ladi. Masalan, yadrolar ham uyg'ongan holatda bo'lishi mumkin, ular gamma-kvantni chiqarib, normal holatga o'tadi. Tajriba natijalari atom yadrosidagi nuklonlar holati haqida taxminan atomning elektron qobig'idagi elektronlar holati haqidagi tasavvurga o'xshash tasavvur hosil qiladi. Amalda yadrolarning 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126 ta nuklonlar bilan to'ldirilgan qobiqlari topilgan. Berk yadro qobig'idagi nuklonlarning bu sonini **magik sonlar** (*sehrli sonlar*) deb ataladi. Aniqlanishicha,

nuklonlar (proton yoki neytronlar) soni magik sonlarga teng bo'lgan yadrolar boshqalariga qaraganda turg'unroq bo'lar ekan.

## 96- §. Yadroning bog'lanish energiyasi. Massa defekti

Atom yadrosidagi nuklonlar orasidagi bog'lanishni uzish uchun, ya'ni nuklonlarni to'la ajratib yuborish uchun ma'lum energiya miqdorini sarflash (ish bajarish) kerak.

*Yadroni tashkil qilgan nuklonlarni bir-biridan ajratib yuborish uchun zarur bo'lgan energiya **yadroning bog'lanish energiyasi** deb ataladi.* Yadroning bog'lanish energiyasi qancha katta bo'lsa, yadro shuncha barqaror bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan zarralar birikib yadro hosil qilganda bog'lanish energiyasi ajralib chiqadi.

Bog'lanish energiyasining kattaligini energiyaning saqlanish qonuni hamda massa bilan energiyaning o'zaro proporsionallik qonuni (63- § ga qarang) asosida aniqlash mumkin.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan yadroda bog'langan nuklonlar energiyasi ajratib yuborilgan nuklonlar energiyasidan yadroning bog'lanish energiyasi  $W_b$  kattaligicha kam bo'lishi kerak. Ikkinchi tomondan, massa va energiyaning proporsionallik qonuniga asosan sistema energiyasi  $\Delta W$  ga ortganda, sistema massasi proporsional ravishda  $\Delta m$  ga ortadi:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2, \quad (162)$$

bunda:  $c$  — yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Yadrolarning massalarini eng aniq o'lchash natijalari shuni ko'rsatadiki, yadroning tinchlikdagi massasi  $m_{ya}$  uning tarkibiga kiruvchi hamma zarralar massalarining yig'indisidan hamisha kichik bo'ladi, chunki nuklonlar birikib yadro hosil qilganda nuklonlarning  $W_b$  bog'lanish energiyasi ajralib chiqadi.

Binobarin, yadroning massasi:

$$m_{ya} < Z \cdot m_p + N \cdot m_n, \quad (163)$$

bunda:  $Z$  — protonlar soni;  $N$  — neytronlar soni;  $m_p$  — proton massasi;  $m_n$  — neytron massasi.

Massalar ayirmasi

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{ya} \quad (164)$$

musbat kattalikdir. Bu  $\Delta m$  kattalik **massa defekti** (*massaning yetishmasligi*) deb ataladi. Agar yadroning massa defekti  $\Delta m$  ma'lum

bo'lsa, (162) formula bo'yicha shu yadroning bog'lanish energiyasini hisoblash mumkin.

Ixtiyoriy yadroning massa defektiga ko'ra bog'lanish energiyasini hisoblashning umumiy formulasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W_b = c^2 \{ [Z \cdot m_p + (A - Z) m_n] - m_{ya} \}, \quad (165)$$

bunda:  $A$  — yadroning massa soni. Biroq bunda  $W_b$  energiya va  $\Delta m$  massa qayoqqa ketadi?

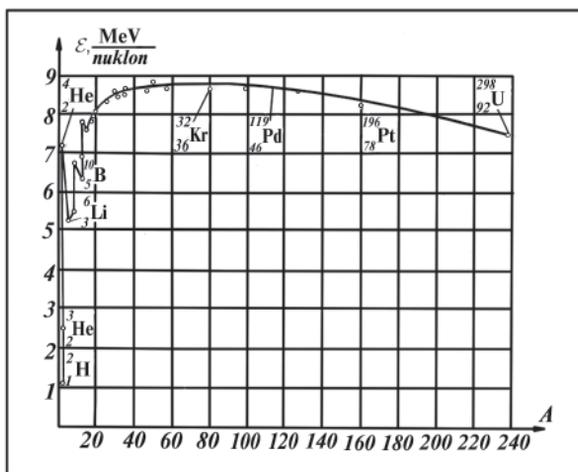
Zarralardan yadro hosil bo'lishida zarralar yadro kuchlarining qisqa masofada ta'sir qilishi hisobiga bir-biriga qarab nihoyatda katta tezlanish bilan harakatlanadi. Natijada nurlanadigan gamma kvant (juda qisqa elektromagnit to'lqin)larning energiyasi nuklonlarning bog'lanish energiyasiga teng bo'ladi.

Nuklonlar va yadroning massasini massaning atom birliklarida ifodalab:

$$c^2 \cdot 1 \text{ m.a.b.} = 9 \cdot 10^{16} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = - \frac{14,94 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

ekanini e'tiborga olsak, (165) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$W_b = 931 \{ [Z m_p + (A - Z) m_n] - m_{ya} \} \text{ MeV.} \quad (166)$$



Bitta nuklonga to'g'ri kelgan yadro bog'lanish energiyasi **solishtirma bog'lanish energiyasi** deb ataladi va  $\varepsilon$  harfi bilan belgilanadi, binobarin:

$$\varepsilon = \frac{W_b}{A}. \quad (166 \text{ a})$$

Solishtirma bog'lanish energiyasi atom yadrolarining barqarorligini xarakterlaydi. Solishtirma bog'lanish energiyasi qancha katta bo'lsa, yadro ham shunchalik barqaror bo'ladi. Eng yengil yadrolarni hisobga olmaganda, solishtirma bog'lanish energiyasi o'zgarmas qiymatga ega bo'lib, taxminan  $8,3 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$  ga teng. 204-rasmda solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanish grafigi tasvirlangan.

Yengil elementlarda solishtirma bog'lanish energiyasining kam bo'lishiga sirt effektlari sabab bo'ladi. Yadroning sirtidagi nuklonlar o'zining qo'shni zarralar bilan bo'lgan bog'lanishlaridan to'la foydalana olmaydi va yadro qancha kichik bo'lsa, uning uchun sirt effektlari hajmiy effektlarga qaraganda shuncha katta rol o'ynaydi.

Og'ir yadrolarda solishtirma bog'lanish energiyasi atom nomerining ortishi bilan protonlarning kulon itarishish energiyasi hisobiga kichik bo'ladi. Masalan, eng og'ir tabiiy element hisoblangan uran uchun u  $7,5 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$  ga teng. Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bunday bog'langan bo'lishi quyidagi ikki jarayonning energetik nuqtayi nazardan mumkin bo'lishiga imkon yaratadi:

1) og'ir yadrolarning bir nechta yengilroq yadrolarga bo'linishi va 2) yengil yadrolar qo'shilib, bitta og'ir yadro hosil bo'lishi. Ikkala jarayonda ko'p miqdorli energiya ajralib chiqishi kerak. Masalan,

massa soni  $A = 240 \left( \varepsilon = 7,5 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}} \right)$  bo'lgan bitta yadroning massa sonlari

$A = 120$  dan  $\left( \varepsilon = 8,5 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}} \right)$  bo'lgan ikkita yadroga bo'linishi  $240 \text{ MeV}$  energiya ajralishiga olib kelgan bo'lar edi. Ikkita og'ir vodorod  ${}_1\text{H}^2$  yadrosi birlashib,  ${}_2\text{He}^4$  geliy hosil qilishda taxminan  $24 \text{ MeV}$  energiya chiqqan bo'lar edi. Taqqoslash uchun ko'rsatish mumkinki, bitta uglerod atomi ikkita kislorod atomi bilan birikkanda (reaksiya mahsuloti karbonat anhidrid  $\text{CO}_2$  bo'ladi) taxminan  $5 \text{ eV}$  energiya chiqadi.

Og'ir yadrolarda solishtirma bog'lanish energiyasining yengil yadrolardagiga nisbatan kichik bo'lishi, og'irroq elementlar atomlarining yadrolari uncha mustahkam emasligini ko'rsatadi.

### Takrorlash uchun savollar

1. Atom yadrosi qanday tuzilgan?
2. Yadro va elementar zarralarning massalari qanday birlikda o'lchanadi?
3. Massa soni nimani aniqlaydi?
4. Yadro tarkibi qanday aniqlanadi? Mendeleyev jadvalidan foydalanib misollar keltiring.
5. Izotoplar, izobarlar va izotonlar deb qanday yadrolarga aytiladi? Misollar keltiring.
6. Yadro kuchlari qanday kuchlar? Yadro kuchlarining ta'sir radiusi nima?
7. Yadro kuchlarining zaryaddan mustaqilligi deganda nimani tushuniladi? Yadro kuchlari to'yinish xossasiga ega deganda-chi?
8. Yadro kuchlarining mezon nazariyasi qanday tasavvurga asoslanadi?
9. Yadro modellaridan nima maqsadlarda foydalaniladi?
10. Yadroning tomchi va qobiqsimon modellarini tavsiflab bering.
11. Yadroning bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasiga ta'rif bering.
12. Massa defekti nima? U qanday aniqlanadi?
13. Nima uchun og'ir yadrolarda nuklonlarning solishtirma bog'lanish energiyasi yengilroq yadrolardagiga nisbatan kamroq bo'ladi?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.**  ${}^1_7\text{N}$ ,  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  va  ${}^{238}_{92}\text{U}$  yadrolarining tarkibida qancha proton va qancha neytron bor? Bu elementlarning yadrolari atrofida nechta elektron harakatlanadi?

*Berilgan:*  ${}^1_7\text{N}$ ,  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .

*Topish kerak:*  $Z$ —?  $N$ —?

*Yechilishi.* Azot yadrosi  ${}^1_7\text{N}$  ning simvolik yozilishidan ko'rinadiki, bunda massa soni  $A=14$ , protonlar soni  $Z=7$ , binobarin, neytronlar soni  $N=A-Z=14-7=7$ . Atom neytral bo'lganidan, undagi protonlar soni elektronlar soniga teng bo'ladi. Demak, bu element yadrosining atrofida 7 ta elektron harakatlanadi.

Xuddi shuningdek, qo'rg'oshinning yadrosi  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  uchun:  $A=207$ ,  $Z=82$ ,  $N=A-Z=207-82=125$  va qo'rg'oshin atomida 82 ta elektron;

${}_{92}^{238}\text{U}$  uran yadrosi uchun:  $A=238$ ,  $Z=92$ ,  $N=A-Z=238-92=146$  va atomda 92 ta elektron bor.

**2- masala.** Neon izotopi  ${}_{10}^{20}\text{Ne}$  yadrosining massa defektini hisoblang.

*Berilgan:*  ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ ;  $m_p=1,6724 \cdot 10^{-27}$  kg;  $m_n=1,6748 \cdot 10^{-27}$  kg;  $m_{ya}=33,1888 \cdot 10^{-27}$  kg.

*Topish kerak:*  $\Delta m$ —?

*Yechilishi.* Ta'rifga muvofiq yadroning massa defekti quyidagiga teng:

$$\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m_{ya}.$$

Neon elementi  ${}_{10}^{20}\text{Ne}$  ning simvolik yozuvidan  $A=20$  va  $Z=10$ . U holda massa defektining ifodasi

$$\Delta m = 10m_p + (20-10)m_n - m_{ya} = 10(m_p + m_n) - m_{ya}$$

ko'rishga keladi.

*Hisoblash:*

$$\Delta m = [10(1,6724 \cdot 10^{-27} + 1,6748 \cdot 10^{-27}) - 33,1888 \cdot 10^{-27}] \text{ kg} = 2,832 \cdot 10^{-28} \text{ kg}.$$

**3- masala.** Litiy izotopi  ${}_{3}^7\text{Li}$  yadrosining bog'lanish energiyasini toping.

*Berilgan:*  $m_p=1,6724 \cdot 10^{-27}$  kg;  $m_n=1,6748 \cdot 10^{-27}$  kg;  $m_{ya}=11,6475 \cdot 10^{-27}$  kg

*Topish kerak:*  $W_b$ —?

*Yechilishi.* Yadroning bog'lanish energiyasi  $W_b = \Delta m \cdot c^2$ . Bunga  $\Delta m$  massa defektining ifodasini keltirib qo'yamiz:

$$W_b = c^2 [Zm_p + (A-Z)m_n - m_{ya}].$$

Litiy izotopi  ${}_{3}^7\text{Li}$  ning simvolik yozuvidan  $A=7$ ,  $Z=3$ . Bu kattaliklarni bog'lanish energiyasining ifodasiga keltirib qo'yamiz. U vaqtda quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$W_b = c^2 (3m_p + 4m_n - m_{ya}).$$

*Hisoblash:*

$$W_b = (3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot (3 \cdot 1,6724 \cdot 10^{-27} + 4 \cdot 1,6748 \cdot 10^{-27} - 11,6475 \cdot 10^{-27}) \text{ kg} = 6,201 \cdot 10^{-12} \text{ J}.$$

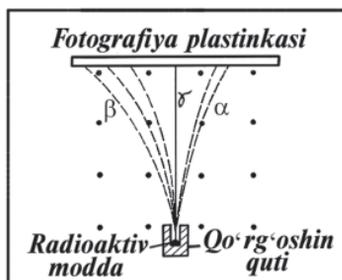
## Mustaqil yechish uchun masalalar

152. Geliy  ${}^4_2\text{He}$ , litiy  ${}^6_3\text{Li}$ , natriy  ${}^{23}_{11}\text{Na}$ , temir  ${}^{54}_{26}\text{Fe}$  va molibden  ${}^{94}_{42}\text{Mo}$  yadrolarining tarkibini aniqlang.
153. a)  $7p+7n$ ; b)  $51p+71n$ ; d)  $101p+155n$  nuklonlari bo'lgan kimyoviy elementning nomini ayting.
154. Kislород izotoplari  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$  va  ${}^{18}_8\text{O}$  ning yadrolari bir-biridan nima bilan farq qiladi?
155. Elektronning tinch holatdagi massasini massaning atom birligi (m.a.b.) da hisoblab toping.
156. Vodород atomining massasi 1,00814 m.a.b. ga teng. Protonning tinch holatdagi massasini m.a.b. da hisoblab toping.
157. Energiyaning 4,19 J o'zgarishi massaning qanday o'zgarishiga mos keladi?
158. Elektron massasining miqdorini tinch turgan elektron massasi miqdoricha o'zgartirilganda uning energiyasining o'zgarishini toping.
159. Vodород izotopi  ${}^2_1\text{H}$  yadrosining massa defektini hisoblang.
160. Alyuminiy atomi  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  yadrosining bog'lanish energiyasini toping.
161. Geliy atomi  ${}^4_2\text{He}$  yadrosining bog'lanish energiyasini toping.

## 97- § Radioaktivlik. Alfa-, beta- va gamma-nurlar

Beqaror kimyoviy element izotoplarining elementar zarralar chiqarib o'z-o'zidan boshqa element izotopiga aylanishiga **radioaktivlik** deyiladi. Bunday aylanishlarning asosiy sabablari: 1)  $\alpha$ -yemirilish, 2)  $\beta$ -yemirilish va 3) og'ir yadrolarning spontan ravishda (o'z-o'zidan) bo'linishidir.

Tabiiy sharoitlarda mavjud bo'lgan izotoplarda kuzatiladigan radioaktivlik **tabiiy radioaktivlik** deyiladi. *Atom yadrolarining katta tezlik bilan harakatlanayotgan elementar zarralar yoki boshqa atomlarning yadrolari ta'sirida bo'ladigan aylanish jarayoni yadro reaksiyasi deb ataladi* Yadro reaksiyalari vositasida olinadigan izotoplarning radioaktivligi **sun'iy radioaktivlik** deyiladi. Sun'iy va tabiiy radioaktivlik orasida prinsiplial farq yo'q. Ikkala holda ham



205- rasm.

yuz beradigan radioaktiv yemirilish jarayoni bir xil qonunlarga bo'ysunadi.

Tabiiy radioaktivlikni birinchi marta 1896- yilda fransuz fizigi Bekkerel kashf qilgan. U uran tuzi lyuminessensiyalanishni vujudga keltiradigan, noshaffof moddalar qatlamidan o'ta oladigan, gazlarni ionlashtira oladigan, fotografiya plastinkasini qoraytiradigan ko'rinmas nurlar chiqarishini payqagan. Uranning turli kimyoviy birikmalarini tekshirib ko'rib, Bekkerel muhim haqiqatni aniqladi: nurlanish intensivligi preparatdagi uranning faqat miqdoriga bog'liq bo'lib, uning qanday birikmalar tarkibida qatnashishiga bog'liq bo'lmas ekan. Binobarin, bu xossa birikmalarga emas, balki uran elementiga, uning atomlariga xos ekan.

Bu kashfiyot bilan qiziqib qolib, Mariya Skladovskaya-Kyuri va Per Kyuri bu hodisani chuqur o'rgandilar va urandan tashqari toriy (Th), aktiniy (Ac) va uranning toriy bilan kimyoviy birikmalari ham shunday xossaga ega ekanligini aniqladilar. Tadqiqotlarni davom ettirib, Mariya Skladovskaya-Kyuri va Per Kyuri 1898- yilda ilgari ma'lum bo'lmagan yangi kimyoviy element — poloniy (Po) va radiy (Ra) ni topdilar. Radiy elementi juda quvvatli nurlanishga (uning aktivligi uranga nisbatan bir necha million marta katta) ega. Bu elementlarning hammasini **radioaktiv elementlar**, ular chiqaradigan nurlarni **radioaktiv nurlar**, hodisa esa **radioaktivlik** deb ataladi. Hozirgi vaqtda 40 dan ortiq tabiiy radioaktiv elementlar va 270 dan ortiq radioaktiv birikmalar ma'lum.

Radioaktiv nurlanish o'z tarkibiga ko'ra murakkabdir. Bu nurlanishning fizik tabiatini o'rganishda Bekkerel va er-xotin Kyurilardan tashqari Rezerford ham o'z hissasini qo'shgan.

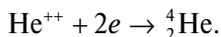
Quyidagi klassik tajriba radioaktiv nurlanishning tarkibi murakkab ekanligini aniqlashga imkon berdi (205- rasm). Radioaktiv modda qo'rg'oshin qutining tubiga joylashtirilgan. Tor tirqishdan

chiqayotgan radioaktiv nurlanishga kuchli magnit maydon ta'sir qiladi (205- rasmda magnit maydonning kuch chiziqlari rasm tekisligiga tik holda kitobxonga yo'nalgan va nuqtalar bilan ko'rsatilgan). Butun qurilma vakuumga joylashtirilgan.

Magnit maydon ta'sirida radioaktiv nurlanish uch tarkibiy qismga ajraladi, ular  **$\alpha$ -nurlar**,  **$\beta$ -nurlar** va  **$\gamma$ -nurlar** deb ataladi. Bu nurlarning tabiati va asosiy xossalari bilan tanishib chiqaylik.

1. Alfa-nurlar elektr va magnit maydonda og'adi; bu nurlar  $\alpha$ -zarralar deb ataladigan geliy ( ${}^4_2\text{He}$ ) atomi yadrolari oqimidan iborat bo'lib, har bir  $\alpha$ -zarra ikkita elementar musbat zaryad ( $+2e$ ) ga ega va massa soni 4 ga teng. Alfa-zarralar radioaktiv elementlar yadrolaridan 14 000 dan 20 000 km/s gacha tezlikda uchib chiqadi, bu 4 dan 9 MeV gacha kinetik energiyaga to'g'ri keladi. ( $\alpha$ -zarralarning tezliklari turli elementlar uchun turlicha, lekin ayni bir element uchun deyarli bir xildir).

$\alpha$ -zarra modda orqali o'tishida o'z elektr maydoni bilan uning atomlariga ta'sir qilib, ularni kuchli ionlashtiradi va o'z energiyasini atomlarni ionlashga sarflab to'xtaydi; bunda u moddada mavjud bo'lgan erkin elektronlardan ikkitasini o'ziga qo'shib oladi va geliy atomiga aylanadi:



$\alpha$ -zarraning moddadan o'tgan yo'lini (to'xtashgacha) uning odimi (yugurishi), ya'ni ***o'tuvchanlik qobiliyati*** deyiladi,  $\alpha$ -zarraning odimida hosil qilgan juft ionlar sonini esa uning ionlashtirish qobiliyati deyiladi.

Masalan,  $\alpha$ -zarraning havoda o'tgan yo'li 3—9 sm ni tashkil qiladi, ularning ionlashtirish qobiliyati esa 100000—250000 juft ionga teng,  $\alpha$ -zarraning ionlashtirish qobiliyati yuqori, lekin o'tuvchanlik qobiliyati zaif. Ularni yupqa alyuminiy varag'i yoki qog'oz varag'i bilan ham tutib qolish mumkin.

2. Beta-nurlar elektr va magnit maydonlarda og'adi. Ular tez harakatlanuvchi elektronlar oqimidan iborat bo'lib,  **$\beta$ -zarralar** deb ataladi.  $\beta$ -zarraning massasi  $\alpha$ -zarra massasidan 7350 marta kichik, uning o'rtacha tezligi 160000 km/s ga yaqin. 205- rasmda magnit maydonda zarralarning og'ishi ko'rsatilgan.  $\beta$ -zarraning energiyasi MeV ning yuzdan bir ulushidan bir necha MeV gacha bo'ladi yoki boshqacha aytganda,  $\beta$ -zarralar tezlikning mumkin bo'lgan barcha qiymatlarini olishi mumkin: radioaktiv elementning yadrosi

tezligi nolga yoki yorug'lik tezligiga yaqin bo'lgan  $\beta$ -zarralarni chiqarishi mumkin.

$\beta$ -zarraning massasi nihoyatda kichik, o'rtacha tezligi katta va faqat bitta elementar zaryadga ega bo'lganidan uning ionlashtirish qobiliyati  $\alpha$ -zarranikidan o'rtacha 100 marta kam, o'tuvchanlik qobiliyati esa xuddi shuncha marta katta bo'ladi. Masalan, yuqori energiyali  $\beta$ -zarra havoda 40 m gacha, alyuminiyda 2 sm gacha, biologik to'qimada 6 sm gacha yo'l o'tadi.

3) Gamma-nurlar — chastotasi juda katta ( $10^{20}$  Hz), to'lqin uzunligi esa juda qisqa ( $10^{-12}$  m) bo'lgan elektromagnit to'lqinlar, ya'ni,  $\gamma$ -fotonlar oqimidan iborat.  $\gamma$ -fotonlarning energiyasi 1 MeV chamasida bo'ladi.

$\gamma$ -nurlar eng qattiq elektromagnit nurlar bo'lib, ko'p jihatdan rentgen nurlariga o'xshashdir. Ularga elektr va magnit maydonlar ta'sir qilmaydi (205- rasmga qarang), yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladi, kristalldan o'tishida difraksiyalanadi, havo qatlamidan o'tadi. Kishi tanasidan bemalol o'tib ketadi.

$\gamma$ -nurlarning ionlashtirish qobiliyati sust, lekin o'tuvchanligi juda katta. Eng qattiq  $\gamma$ -nurlar qalinligi 5 sm bo'lgan qo'rg'oshin qatlamidan yoki qalinligi bir necha yuz metr bo'lgan havo qatlamidan o'tadi. Kishi tanasidan bemalol o'tib ketadi.  $\gamma$ -nurlar atom yadrosidan hech vaqt mustaqil chiqmaydi, ular yoki  $\alpha$ -zarralar bilan, yoki  $\beta$ -zarralar bilan, yoxud ikkala xil zarralar bilan birga chiqadi.

## 98- §. Siljish qoidalari. Neytrino

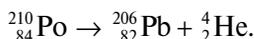
Radioaktiv nurlanish atomlarning elektron qobiqlaridan emas, balki atom yadrolaridan chiqadi.  $\alpha$ -nurlar uchun bu ravshan, chunki elektron qobiqda  $\alpha$ -zarrani tashkil qiladigan protonlar va neytronlar yo'q.  $\beta$ -nurlanishning ko'rsatilgan har qanday ta'sirga bog'liq ekanligidan,  $\beta$ -zarralar yadro tarkibiga kirmasa ham, ularni yadro yemirilishi jarayonida hosil bo'ladi, deb hisoblash o'rinlidir. Ravshanki, radioaktiv nurlanish nurlanayotgan element atomlarining boshqa element atomlariga aylanishiga olib keladi.

**$\alpha$ -yemirilishda** yadrodan  $\alpha$ -zarra uchib chiqadi. Yadro miqdor jihatidan ikkita elektron zaryadiga teng musbat zaryadni yo'qotadi va massa soni 4 ga kamayadi. Natijada element elementlar davriy sistemasining boshiga qarab ikki katakka siljiydi.

Bu siljish simvolik ko'rinishda quyidagicha yoziladi:



Masalan:

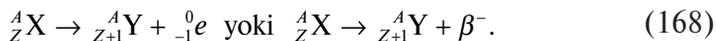


Poloniy elementi  $\alpha({}^4_2\text{He})$  yemirilish natijasida qo'rg'oshin elementiga aylanadi.

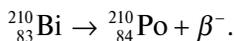
Yadrolarning o'z-o'zidan  $\beta$ -zarralarni (ya'ni, elektronlar va pozitronlarni) chiqarish jarayoni  **$\beta$ -yemirilish** deyiladi. Elektronlarni simvolik  ${}^0_{-1}e$  yoki  $\beta^-$  ko'rinishda belgilanadi, «0» indeks elektronning massasi atom massasi birligiga nisbatan nazarga olmasa bo'ladigan darajada kichik ekanini bildiradi. Demak, elektronning massa soni 0 ga teng deb olinadi.

Pozitron elektronning antizarrasidan iborat (122- § ga qarang). Uning massasi, spini elektron massasi va spiniga teng, lekin zaryadi musbat. Pozitronni simvolik  ${}^0_{+1}e$  yoki  $\beta^+$  ko'rinishda belgilanadi. Pozitronning ham massa soni 0 ga teng.

Shunday qilib,  $\beta$ -yemirilishda yadrodan elektron uchib chiqadi. Natijada yadro zaryadi bir birlikka ortadi, massasi esa amalda o'zgar-may qoladi. Demak,  $\beta^-$ -yemirilishda radioaktiv element massa sonini o'zgartmagani holda atom nomeri bir nomerga katta bo'lgan boshqa elementga aylanadi va elementlar davriy sistemasining oxiriga qarab bir katakka siljiydi:

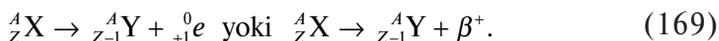


Masalan:

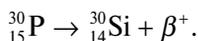


Vismut elementi  $\beta^-$ -yemirilish natijasida poloniy elementiga aylanadi.

$\beta^+$ -yemirilishda yadrodan pozitron uchib chiqadi. Natijada yadro zaryadi bir birlik kamayadi, massasi deyarli o'zgar-maydi. Demak,  $\beta^+$ -yemirilishda radioaktiv element massa sonini o'zgartirmagani holda atom nomeri bir nomerga kichik bo'lgan boshqa elementga aylanadi va elementlar davriy sistemasida oldinga qarab bir katakka siljiydi:



Masalan:



Fosfor elementi  $\beta^+$ -yemirilish natijasida kremniy elementiga aylanadi.

Atom yadrosi nuklonlar – proton va neytronlardan tarkib topgan, unda na elektron va na pozitron bor, shunday ekan, radioaktiv yadrolarda  $\beta$ -yemirilish qanday ro‘y beradi, degan savol tug‘ilishi mumkin. Haqiqatan ham, atom yadrosining proton-neytron tuzilishi yadrodan  $\beta$ -zarralarning chiqishini inkor etgandek ko‘rinadi.

$\beta$ -yemirilish nazariyasini 1934- yilda italyan fizigi E. Fermi yaratdi. Unda olim elektron va neytrino yadroda nuklonning yemirilishi paytida paydo bo‘ladi, deb taxmin qildi. (Neytrino tinchlikdagi massasi nolga teng bo‘lgan neytral zarra). Haqiqatan ham, tekshirishlar  $\beta$ -yemirilish proton va neytronlarning o‘zaro aylanishi natijasi ekanligini ko‘rsatdi. Yadroning  $\beta$ -zarralarni chiqarishi atomning fotonlarni chiqarishiga o‘xshaydi. Uyg‘otilgan atomda fotonlar bo‘lmaydi, lekin atom bir energetik holatdan ikkinchi energetik holatga o‘tish jarayonida fotonlar hosil bo‘ladi va chiqariladi. Xuddi shuningdek, nuklonlar bir kvant holatdan boshqasiga o‘tish jarayonida elektronlar yoki pozitronlar hosil bo‘ladi. Masalan, nuklonning neytron holatdan proton holatga o‘tishi elektronlarni chiqarish bilan va, aksincha, proton holatdan neytron holatga o‘tishi pozitron chiqarish bilan sodir bo‘ladi (113-§ ga qarang).

1931- yilda Pauli  $\beta$ -yemirilishda  $\beta$ -zarralar bilan birga zaryadi va tinchlikdagi massasi nolga teng bo‘lgan zarra — neytrino ham ajralishi kerakligini gipoteza shaklida aytgan. Neytrino nol massali va zaryadsiz bo‘lgani uchun katta qalinlikdagi jismlardan o‘tib keta oladi, atom yadrosi bilan ta’sirlashishi juda kam ehtimolga ega. Shuning uchun neytrinoni payqash juda qiyin. 1936- yilda ukrainalik fizik A.I. Leypunskiy  $\beta$ -yemirilishda tepki yadrolarning energiyasini o‘lchash asosida neytrino haqidagi gipotezani bilvosita tasdiqladi, 1956- yilda amerikalik fiziklar F. Reynes va K. Kouen birgalikda birinchi marta erkin antineytrinoni eksperimental qayd etganlar (antineytrino neytrinoning antizarrasi, 112- § ga qarang).

**$\gamma$ -nurlanishda** yadroning zaryadi o‘zgarmaydi; yadroning massasi esa juda kam o‘zgaradi. Radioaktiv elementlarning davriy sistemadagi siljishini aniqlaydigan (167)-(169) qoidalarni **siljish qoidalari** deb ataladi. Bu qoidalarni 1913- yilda nemis fizik-kimyodagi Fayans va undan mustaqil ravishda ingliz radiokimyogari F. Soddi ta’riflab bergan.

## 99- §. Radioaktiv yemirilish qonuni. Radioaktiv oila

Radioaktiv yemirilish element atomlarining asta-sekin kamayishiga olib keladi. Qachon va aynan qaysi atomning yemirilishini oldindan aytish mumkin emas, binobarin, radioaktiv yemirilish tasodifiy xarakterga ega. Har bir atomning ma'lum vaqt oralig'ida yemirilish ehtimoli to'g'risidagina gapirish mumkin.

Radioaktiv element yemirilish tezligini xarakterlash uchun *yarim yemirilish davri* tushunchasi kiritiladi. **Yarim yemirilish davri** deb, boshlang'ich element atomlari miqdorining ikki marta kamayishi uchun ketgan vaqtga aytiladi.

Radioaktiv yemirilish qonuni juda sodda. Bu qonunning matematik ifodasini topaylik.  $t = 0$  bo'lgan boshlang'ich paytda radioaktiv atomlar soni  $N_0$  ga teng bo'lsin. U holda yarim yemirilish davri  $T$  o'tgandan keyin bu son  $N_0/2$  ga teng bo'lib qoladi. Yana bitta shunday davr o'tgandan keyin bu son:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2^2}$$

ga teng bo'lib qoladi.  $t = nT$  vaqt o'tganda, ya'ni  $n$  ta yarim yemirilish davri o'tgandan keyin qoladigan radioaktiv atomlar soni quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}.$$

Lekin  $n = \frac{t}{T}$  bo'lganligi uchun:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (170)$$

Bu (170) ifoda radioaktiv yemirilishning asosiy qonunidir. Bu qonunni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}.$$

So'ngra munosabatning ikki tomonini logariflaymiz:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{t}{T} \ln 2, \quad (171)$$

bu ifodaga kiruvchi

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T} \quad (172)$$

kattalik **radioaktiv yemirilish doimiysi** deb ataladi.

U yarim yemirilish davriga teskari proporsional bo‘lgan kattalik bo‘lib, radioaktiv yadroning birlik vaqt ichida yemirilish ehtimolini bildiradi. (172) ifodani e‘tiborga olib, (171) munosabatni quyidagicha yozamiz:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t.$$

Bu ifodani potensirlab, **radioaktiv yemirilish qonuni** uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

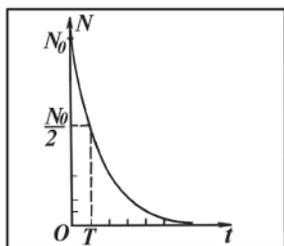
$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (173)$$

Radioaktiv yemirilish qonuni grafik ravishda 206- rasmda ko‘rsatilgan.

Yarim yemirilish davri turli radioaktiv elementlar uchun turlichadir. Masalan, uran uchun 4,5 mlrd yil, radiy uchun 1600 yil. Yarim yemirilish davri radioaktiv yemirilish tezligini xarakterlovchi asosiy kattalikdir. Bu davr qancha kichik bo‘lsa, yemirilish shuncha intensiv bo‘ladi. Binobarin, radiyning aktivligi (1 sekundda yemiriladigan atomlar soni) uranning aktivligidan ancha katta ekan.

Yarim yemirilish davri moddaning massasiga bog‘liq emas. Bir gramm moddadagi atomlarning yarmi qancha vaqt ichida yemirilsa, 1 kilogramm, 1 tonna va ixtiyoriy boshqa massali modda atomlarining yarmi ham shuncha vaqt ichida yemiriladi.

Bundan tashqari muayyan radioaktiv elementning yarim yemirilish davri bu elementning kimyoviy jihatdan sof yoki boshqa elementlar bilan birikma sifatida olinganiga bog‘liq bo‘lmasligi tajribada aniqlangan.



206- rasm.

Ayni radioaktiv moddaning yarim yemirilish davri o‘zgarmas kattalik ekanligini va uning qiymatini hech qanday tashqi ta’sir (past va yuqori temperatura, bosim, magnit maydoni va hokazo) o‘zragtira olmasligini ko‘pgina tajribalar ko‘rsatadi. Yarim yemirilish davrining tashqi sharoitga bog‘liq emasligi radioaktiv yemirilish atom yadrolarining xossalari ekanligini bildiradi, odatdagi yer

sharoitidagi ta'sirlarning energiyasi esa atom yadrolarini o'zgar-tirish uchun yetarli emas.

Radioaktiv yemirilish doimiysiga teskari bo'lgan

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (174)$$

kattalikni radioaktiv izotopning ***o'rtacha yashash vaqti*** deb ataladi. Radioaktiv yemirilish qonuniga ko'ra  $t = \tau$  vaqt o'tgandan so'ng quyidagicha bo'ladi:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\lambda \tau} = N_0 e^{-\lambda \frac{1}{\lambda}} = \frac{N_0}{e}.$$

Demak, radioaktiv yemirilish tufayli boshlang'ich radioaktiv yadrolar soni  $N_0$  ning  $e$  marta kamayishi uchun ketgan vaqt radioaktiv izotopning o'rtacha yashash vaqtiga teng ekan. (172) va (174) formulalardan

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0,693} = 1,44T \quad (175)$$

ekanligi kelib chiqadi, ya'ni o'rtacha yashash vaqti  $\tau$  yarim yemirilish davri  $T$  dan taxminan 1,5 marta katta ekan.

Radioaktiv yemirilishda paydo bo'ladigan yangi yadrolar, o'z navbatida, radioaktiv bo'lishi mumkin. Shuning uchun radioaktiv yemirilish jarayoni radioaktiv aylanishlar zanjirini hosil qiladi, bu zanjir bilan bog'langan yadrolar ***radioaktiv qator*** yoki ***radioaktiv oila*** deb ataladi.

Hozirgi vaqtda tabiiy radioaktiv yadrolar uchta, sun'iy radioaktiv yadrolar esa bitta oilani tashkil qiladi? Ularning har biri stabil yadro bilan tugallanadi:

1. Uran-radiy oilasi uran  ${}^{238}_{92}\text{U}$  izotopidan boshlanadi va qo'rg'oshinning stabil  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  izotopi bilan tugallanadi.

2. Aktiniy oilasi aktinouran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopidan boshlanadi va qo'rg'oshinning stabil  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  izotopi bilan tugallanadi.

3. Toriy oilasi toriy  ${}^{222}_{90}\text{Th}$  izotopidan boshlanadi va qo'r-g'oshinning stabil  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  izotopi bilan tugallanadi.

4. Neptuniy oilasi (sun'iy radioaktiv oila) neptuniy  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  izotopidan boshlanadi va vismutning  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$  stabil izotopi bilan yakunlanadi.

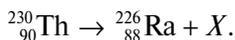
## Takrorlash uchun savollar

1. Radioaktivlik deb qanday hodisaga aytiladi? Radioaktivlikning qanday turlarini bilasiz?
2. Radioaktivlik kimlar tomonidan va qanday kashf etilgan?
3. Radioaktiv nurlanishning tarkibi qanday aniqlangan?
4. Alfa-nurlar qanday xususiyatlarga ega?
5. Beta-nurlar qanday xususiyatlarga ega? Gamma-nurlar-chi?
6. Alfa-yemirilish uchun siljish qoidasi qanday yoziladi?
7. Elektron bilan pozitronning bir-biriga o'xshashligi va farqi nimadan iborat?
8. Beta-yemirilishda siljish qoidasini tushuntiring.
9. Atom yadrosining proton-neytron tuzilishiga asoslanib  $\beta$ -yemirilishni qanday tushuntirish mumkin?
10. Neytrino qanday zarra?
11. Radioaktiv yemirilish qonunini keltirib chiqaring va fizik mazmunini tushuntiring.
12. Yarim yemirilish davri modda massasiga, elementning sof yoki birikma ko'rinishida ekanligiga va tashqi ta'sirga bog'liqmi?
13. Radioaktiv izotopning o'rtacha yashash vaqti qanday kattalik? Uning mohiyati nima?
14. O'rtacha yashash vaqti bilan yarim yemirilish davri o'zaro qanday bog'langan?
15. Radioaktiv oila deganda nima tushuniladi? Radioaktiv oilaning turlarini ayting.

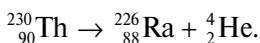
## Masala yechish namunalari

**1- masala.** Toriy  ${}^{230}_{90}\text{Th}$  yadrosi qanday zarrani chiqarib radiy  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  yadrosiga aylanadi?

*Yechilishi.* Noma'lum zarrani  $X$  harfi bilan belgilab, yadro reaksiyasi formulasini yozamiz:

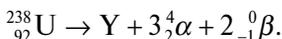


Zarraning massa soni  $230 - 226 = 4$  ga, zaryadi esa  $90 - 88 = 2$  ta elementar zaryadga teng ekan. Demak, yadrodan  $\alpha$ -zarra uchib chiqadi. U vaqtda yadro reaksiyasi formulasi quyidagicha bo'ladi:



**2- masala.** Uchta  $\alpha$ -yemirilish va ikkita  $\beta$ -yemirilishdan so'ng  ${}^{238}_{92}\text{U}$  dan qanday izotop hosil bo'ladi?

*Yechilishi.* Noma'lum izotopni «Y» harfi bilan belgilab, yadro reaksiyasi formulasini yozamiz:



Massa va zaryadning saqlanish qonuniga asosan bu ifodaning o'ng va chap qismlarida massa sonlari va zaryadlarning yig'indisi o'zaro teng bo'lishi kerak. Shuning uchun noma'lum izotopning massa soni:  $238 - 3 \cdot 4 = 226$  ga, zaryadi esa  $92 - [3 \cdot 2 + 2 \cdot (-1)] = 88$  ta elementar zaryadga teng ekan.

Demak, hosil bo'lgan elementni simvolik ravishda  ${}_{88}^{226}\text{Y}$  ko'rinishda yozish mumkin. Mendeleevning jadvalidan foydalanib, bu element  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  izotopi ekanligini aniqlaymiz.

**3- masala.** Agar bir sutka davomida radonning 1 mln atomidan 175000 tasi yemirilsa, radonning yarim yemirilish davri qanchaga teng bo'ladi?

*Berilgan:*  $t = 1$  sutka  $= 8,64 \cdot 10^4$  s;  $N_0 = 1$  mln  $= 10^6$ ;  $\Delta N = 175000 = 1,75 \cdot 10^5$ .

*Topish kerak:*  $T = ?$

*Yechilishi.* Radonning yarim yemirilish davri (172) ifodadan topiladi:

$$T = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (\text{a})$$

Yemirilish doimiysini topish uchun  $t$  vaqt ichida yemirilgan atomlarning soni  $\Delta N = N_0 - N$  ifodasidan foydalanamiz, bunda  $N$  kattalik  $t$  vaqt o'tgandan keyin yemirilmay qolgan atomlarning sonini bildiradi. Yemirilish qonuniga asosan  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , u holda:

$$\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

Bundan:

$$N_0 e^{-\lambda t} = N_0 - \Delta N, \quad e^{\lambda t} = \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}.$$

Logarifmlaymiz:

$$\lambda t \lg e = \lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}, \quad \text{bundan: } \lambda = \frac{1}{t \lg e} \cdot \lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}.$$

Bu ifodani (a) munosabatga keltirib qo'yamiz:

$$T = \frac{0,693 \cdot t \cdot \lg e}{\lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}}$$

*Hisoblash:*

$$T = \frac{0,693 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s} \cdot \lg 2,72}{\lg \frac{10^6}{10^6 - 1,75 \cdot 10^5}} = \frac{0,693 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \cdot 0,43 \text{ s}}{\lg \frac{1}{0,825}} = 3,3 \cdot 10^5 \text{ s.}$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**162.** Agar yadrodan: 1) proton; 2)  $\alpha$ -zarra otilib chiqsa, atom massasi va element nomeri qanday o'zgaradi?

**163.** Ikkita  $\beta$ -yemirilish va bitta  $\alpha$ -yemirilishdan so'ng  ${}_{92}^{239}\text{U}$  dan qanday izotop hosil bo'ladi?

**164.** Agar proton tomonidan neytron tutib olinsa, qaysi element atomining yadrosi hosil bo'ladi? Reaksiya formulasini yozing.

**165.** Radioaktiv yemirilish natijasida uran  ${}_{92}^{238}\text{U}$  qo'rg'oshin  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  ga aylanadi. Bunda u necha marta  $\alpha$ - va  $\beta$ -yemirilishlarga duch kelgan?

**166.**  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  izotopining yarim yemirilish davri 1620- yilga teng. Yemirilish doimiysini toping.

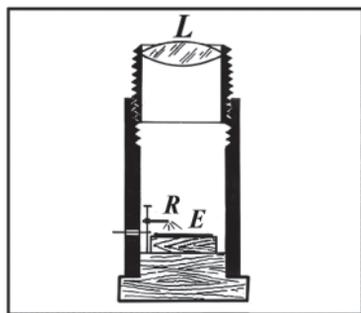
**167.** 1 mln poloniy atomidan bir sutkada qanchasi parchalanadi? Poloniy izotopining yarim yemirilish davri 138 sutkaga teng.

**168.** Radon atom soni 1 sutkada 18,2% kamaysa, radonning yemirilish doimiysini toping.

### 100- §. Zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari

Atom yadrolarini va yadrodagi ichki jarayonlarni o'rganishda juda ham kichik zarralar (elektronlar, protonlar,  $\alpha$ -zarralar: mezonlar,  $\gamma$ -kvantlar va hokazolar) bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Hozir fiziklar ixtiyorida bu zarralarni sezish va ularning modda bilan bo'lgan o'zaro ta'sirini tekshirishning ko'p usullari mavjud.

Zaryadli zarralar modda orqali o'tganda qoldiradigan izlari tufayli ularni kuzatish mumkin. Izlarning xarakteri zarra zaryadining ishorasi, uning energiyasi, impulsi va shunga o'xshash fizik katta-



207- rasm.

liklarni baholashga imkon beradi. Zaryadli zarralar o‘z yo‘lida uchragan molekulalarni ionlashtiradi.

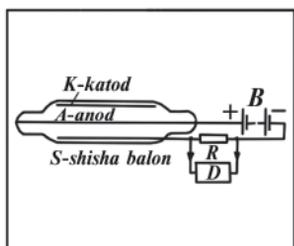
Neytral zarralar iz qoldirmaydi, lekin ular yemirilib zaryadli zarralar hosil qilish paytida yoki biror yadro bilan to‘qnashish paytida seziladi. Demak, neytral zarralar ham o‘zlari hosil qilgan zaryadli zarralarning ionlashtirish ta’siri orqali seziladi.

Zaryadli zarralar tezlatkichlarida, yadro reaktorlarida o‘tkaziladigan eksperimental tadqiqotlarda, kosmik nurlarni o‘rganishda, shuningdek, dozimetriya, radiometriya va hokazo sohalarda zarralarni kuzatish va qayd etish uchun **detektorlar** (lotincha detector — ochmoq, oshkor qilmoq) deb ataladigan asboblari ishlatiladi. Ularning ba’zilari bilan tanishib chiqaylik.

1. **Sintillatsiya (chaqnash) usuli.** Bu usul radioaktiv nurlanish natijasida chiqqan zarralar ta’sirida moddaning chaqna (sintillatsiyalar) yorug‘lik chiqarishiga asoslangan. Tajriba ko‘rsatadiki, agar yupqa rux sulfid qatlami bilan qoplangan  $E$  ekranga igna uchiga joylashtirilgan  $R$  radioaktiv moddadan chiqqan zarra kelib urilsa, ekranda  $L$  lupa orqali ko‘rib bo‘ladigan yorug‘likning chaqnashi vujudga keladi (207- rasm). Bu chaqnashlar **sintillatsiyalar** deb ataladi. Shunday chaqnashlar soniga qarab, radioaktiv moddaning ma’lum vaqt ichida, masalan, nechta  $\alpha$ -zarra chiqarishini aniqlash mumkin. 207- rasmda shunday chaqnashlarni kuzatish imkonini beradigan asbob — *sintariskopning* tuzilishi ko‘rsatilgan.

Bu usul bilan yengil zarralar (masalan,  $\beta$ -zarralar)ni kuzatish qiyin, chunki ularning massasi va kinetik energiyasi juda kichik bo‘lgani uchun ekranda juda kuchsiz nurlanish hosil qiladi.

2. **Ionlashish schyotchigi** harakatlanayotgan zaryadli zarraning gaz molekulalari va atomlarini ionlashtirishiga asoslangan.



208- rasm.

Ionlashish schyotchigining eng ko'p tarqalgan turi Geyger schyotchigi bo'lib, uning sxemasi 208- rasmda ko'rsatilgan. Geyger schyotchigi ichki tomoni metall qatlami (katod) bilan qoplangan shisha ballon va ballonning o'qi bo'ylab tortilgan ingichka metall tola (anod)dan iborat. Shisha ballon *S* past bosim sharoitida gaz bilan to'ldiriladi. Buni silindrik kondensator deb qarash mumkin. Kondensatorga *B* batareyadan *R* qarshilik orqali kuchlanish beriladi.

Agar kondensatorga zaryadlangan zarra uchib kirs, gaz molekularini ionlashtirib, gaz razryadini vujudga keltiradi.

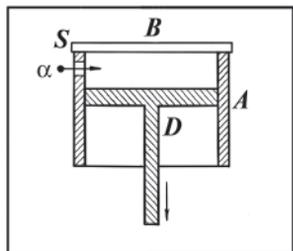
Natijada schyotchik orqali tok o'ta boshlaydi va *R* qarshilik bo'ylab potensial kamayadi. Kuchlanishning bunday tebranishi *D* kuchaytirgich va mexanik hisoblagichdan iborat qayd qiluvchi qurilmaga uzatiladi.

Shunday qilib, Geyger schyotchigi har bir ionlashtiruvchi zarrani qayd qiladi. Uning sezgirligi katta bo'lib, sekundiga 10000 zarrani qayd qila oladi.

3. **Vilson kamerasi** havoda uchib o'tayotgan zarra hosil qiladigan ionlarning o'ta to'yingan bug' uchun kondensatsiya markazi bo'lib qolishiga asoslangan. Bu kamerani 1912- yilda ingliz fizigi Vilson ixtiro qilgan. O'ta to'yingan bug' odatdagi sharoitlarda kondensatsiya boshlanadigan temperaturadan past temperaturali bug'dir. Bu holat chang zarralari va ionlari bo'lmagan bug'lardagina bo'ladigan beqaror holatdir.

Vilson kamerasing tuzilishi 209- rasmda tasvirlangan: u *A* silindr, germetik yopilgan *B* shisha qopqoq va harakatlanuvchi *D* porshendan iborat. Kameraning ichida suv yoki spirtning to'yintiruvchi bug'i bor.

Porshen pastga juda tez tushirilganda, kameraning ishchi hajmidagi (porshen ustidagi) havo adiabatik kengayadi va soviydi. Bunda havoning tarkibidagi suv bug'i o'ta to'yingan holatga o'tadi va kameraga silindr devorining *S* darchasidan uchib kirgan zarra (masalan,  $\alpha$ -zarra) hosil qilgan ionlarda kondensatsiyalanadi.



209- rasm.

Zarraning butun yoʻlini suv tomchilari qoplaydi. Bu yoʻl (yaʼni, zarraning qoldirgan izi) **treklar** deb ataladi. Kameraning ishchi hajmini yoritib, izlarni kuzatish yoki fotosuratga olish mumkin.

Vilson kamerasidagi izlar beradigan axborot schyotchiklardagidan ancha toʻlaroq boʻladi. Izning uzunligiga qarab, zarraning energiyasini aniqlash, izning uzunlik birligidagi tomchilar soniga qarab, zarraning tezligini aniqlash mumkin. Umuman, izning koʻrinishiga qarab, ionlashtiruvchi zarraning tabiati toʻgʻrisida fikr yuritish mumkin boʻladi. Masalan, elektronning izi  $\alpha$ -zarranikidan ingichkaroq va uzunroq boʻladi.

1924- yilda rus fiziklari P.L. Kapitsa va D.V. Skobelsin kuchli magnit maydonga joylashtirilgan Vilson kamerasi yordamida zarralarni tekshirish usulini ishlab chiqdilar.

Bu holda zarra zaryadga ega boʻlgani sababli izlar egri boʻladi. Ularning egilish yoʻnalishiga va egrilik radiusiga qarab ionlashtiruvchi zarralarning massasini, zaryadini va tezligini aniqlash mumkin boʻladi.

4. **Pufakli kamera** oʻta isitilgan suyuqlik ichida zaryadli zarra harakatlanganda hosil boʻladigan ionlar ustida bugʻ pufakchalari paydo boʻlishiga asoslangan. Bu usul 1952- yilda amerikalik fizik D. Gleyzer tomonidan ixtiro qilingan.

Boshlangʻich holatda kameradagi suyuqlik yuqori bosim ostida boʻladi, shuning uchun suyuqlikning temperaturasi atmosfera bosimidagi qaynash temperaturasidan yuqori boʻlsa-da, u qaynab ketmaydi.

Tekshirilayotgan zarra kameradan uchib oʻtishida suyuqlik molekularini ionlashtiradi. Xudda shu vaqtda suyuqlikning bosimi kengaytiruvchi qurilma yordamida keskin pasaytiriladi. Suyuqlik oʻta isitilgan holatga oʻtadi va qaynaydi. Bu vaqtda ionlarda juda kichik bugʻ pufakchalari paydo boʻladi. Shuning uchun zarraning butun yoʻli pufakchalar bilan qoplangan boʻladi. Kamerani yoritib, izlarni kuzatish yoki fotosuratga olish mumkin.

Pufakli kamerada suyuqlik sifatida efir, suyuq vodorod, propan va boshqalar ishlatiladi.

Pufakli kameraning Vilson kamerasidan afzalligi, unda ishchi modda zichligining katta boʻlishidadir. Shuning natijasida zarralar kuchli tormozlanadi va nisbatan qisqa yoʻlni oʻtib toʻxtaydi. Shu sababli pufakli kamera yordamida juda katta energiyali zarralarni ham tekshirish mumkin (bunday zarra Vilson kamerasidan juda tez oʻtib ketib, tugamagan izni bergan boʻlardir).

5. **Qalin qatlamli fotoemulsiya usuli.** Bu usul zaryadlangan zarra mayda donali fotoemulsiya qatlamiga tushganda unda o‘z yo‘lining yashirin izini qoldirishiga asoslangan. Bu usul 1926—1929- yillarda L.V. Misovskiy, A.P. Jdanovlar tomonidan ixtiro qilingan. Fotoemulsiya bo‘lib kumush bromid (AgBr)ning mayda kristallari bo‘lgan jelatin qatlami xizmat qiladi. Uning qalinligi 1 mm ga yaqin.

Tez harakatlanayotgan zaryadli zarra kristallga kirib, kumush bromidning ayrim molekulalarini parchalaydi. Bunday kristallar zanjiri yashirin tasvir hosil qiladi. Ularni ochiltirganda kristallarda kumush metalli qayta tiklanadi va kumush donalarining zanjiri zarra izini hosil qiladi. Izning uzunligi va yo‘g‘onligiga qarab zarraning energiyasi va massasini aniqlash mumkin.

Fotoemulsiyaning zichligi katta bo‘lishi tufayli izlar juda qisqa bo‘ladi, biroq ularni kattalashtirish va suratga olish mumkin.

Fotoemulsiyalarning afzalligi ularda ta’sirning uzluksiz va yig‘indi xarakterda bo‘lishidadir. Bu hol noyob hodisalarni qayd qilishga imkon beradi.

Yuqorida qarab chiqilgan usullar yordamida faqat zaryadlangan zarralarnigina bevosita kuzatish mumkin. Neytral zarralarni bevosita kuzatib bo‘lmaydi, chunki ular modda atomlarini ionlashtirmaydi, binobarin, trek hosil qilmaydi.

Neytral zarralarning massasi, tezligi va energiyasi to‘g‘risidagi ma’lumotlarni bu zarralarning zaryadlangan zarralarga ta’siri xarakterini o‘rganish asosida olinadi. Bunday hisoblashlarda energiya va impulsning saqlanish qonunidan foydalaniladi.

## **101- §. Yadro reaksiyalari. Neytronning kashf etilishi**

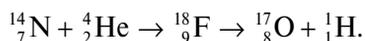
Tabiiy radioaktivlikni o‘rganish shuni ko‘rsatadiki, bir kimyoviy elementning boshqa kimyoviy elementga aylanishi yadrodagi ichki jarayonlar, ya’ni atom yadrolari ichida ro‘y beradigan o‘zgarishlar sababli bo‘ladi. Shu munosabat bilan atom yadrolariga ta’sir qilib, bir kimyoviy elementni boshqalariga sun’iy aylantirish uchun urinib ko‘rildi. Bunday ta’sirning effektiv vositasi atom yadrolarini katta (bir necha milliondan o‘n milliard elektron-voltlargaacha) energiyali zarralar bilan bombardimon qilishdir.

Atom yadrolarining katta tezlik bilan harakatlanayotgan elementar zarralar (yoki boshqa atomlarning yadrolari) ta’sirida

oʻzgarish jarayoni **yadro reaksiyasi** deb ataladi. Reaksiyaga kirishuvchi zarralar bir-biriga  $10^{-15}$  m tartibidagi masofaga yaqinlashganda ular orasida yadro kuchlari tufayli taʼsir yuzaga keladi. Yadro reaksiyalarini yuzaga keltirishda  $\alpha$ -zarralar (geliy yadrolari), protonlar (yengil vodorod yadrolari), deytronlar (massa soni ikkiga teng boʻlgan ogʻir vodorod yadrolari) va neytronlardan foydalaniladi. Katta energiyali zaryadli zarralar hosil qilish uchun maxsus qurilmalar, masalan, **siklotron** ishlatiladi.

Birinchi sunʼiy yadro reaksiyasini 1919- yilda Rezerford amalga oshirgan. U azot atomlarini radiy chiqarayotgan  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilganda azot atomlarining bir qancha yadrolari tez harakatlanuvchi protonlar chiqarib yemirilishini payqadi, bunday yadro reaksiyasi natijasida kislorod hosil boʻladi. Reaksiya azot bilan toʻldirilgan Vilson kamerasida oʻtkazildi.

Bu reaksiya quyidagicha boʻladi:  $\alpha$ -zarra (geliy  ${}^4_2\text{He}$  izotopi yadrosi) azot  ${}^{14}_7\text{N}$  atomi yadrosi ichiga kiradi va yutiladi. Bu vaqtda yadrosi barqaror boʻlmagan oraliq yadro-ftor  ${}^{18}_9\text{F}$  izotopi hosil boʻladi. U darhol oʻzidan yengil vodorod yadrosi  ${}^1_1\text{H}$  (proton)ni chiqarib, kislorod  ${}^{17}_8\text{O}$  izotopi yadrosiga aylanadi. Bu yadro reaksiyasini quyidagicha yozish mumkin:



Shunday qilib, Rezerford tajribasi yadro reaksiyalarini sunʼiy ravishda amalga oshirish imkoni borligini tasdiqladi va shu bilan birga protonlar atom yadrolari tarkibiga kirishini hamda uni ajratish (urib chiqarish) mumkinligini koʻrsatdi.

1932- yilda ingliz fizigi Chedvik yadro reaksiyasini amalga oshirib, butun yadro fizikasida muhim rol oʻynagan yangi zarra – **neytronni** kashf etdi.

Neytronning kashf etilish tarixi quyidagicha.

1920- yilda birinchi boʻlib Rezerford atom yadrosida uni ogʻirlashtiruvchi yana qandaydir nomaʼlum zarralar mavjud, degan gʻoyani ilgari suradi. 1930- yilda nemis fiziklari V. Bote va G. Bekker berilliy  ${}^9_4\text{Be}$  ni  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilib, kuchli oʻtuvchanlik qobiliyatiga ega nurlanish chiqarilishini kuzatishadi.

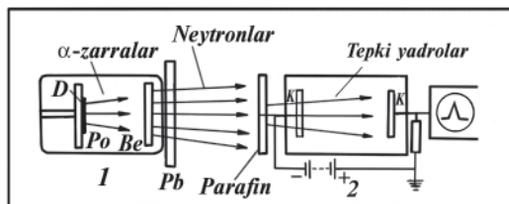
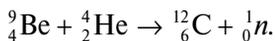
Bu nurlanishga qattiq  $\gamma$ -nurlanish kabi elektromagnit to'liqlarning yangi turi deb qarashadi.

Bote-Bekker nurlanishi bilan fransuz fiziklari Iren Jolio-Kyuri va Frederik Jolio-Kyurilar qiziqib qoladi. Ular bu nurlanishni tarkibida qo'rg'oshin va vodorod bo'lgan modda (masalan, parafin) orqali o'tkazishga qaror qilishadi va juda qiziq natija olishadi: yengil parafin qopqoq og'ir qo'rg'oshin qopqoqdan farqli o'laroq, o'zidan Bote-Bekker nurlanishini o'tkazmaydi, lekin parafindan nurlanish yo'nalishida protonlar uchib chiqadi. Jolio-Kyurilar protonlar parafindagi vodorod atomi bilan yuqori energiyali fotonlarning to'qnashishi natijasida yuzaga keladigan tepki yadrolar bo'lsa kerak, degan fikrga kelishadi.

1932- yil 18- yanvarda Parij akademiyasining majlisida bu haqda bergan ma'lumotlarini «... Shunday qilib, ushbu tajribalardan shu narsa ma'lumki, yuqori chastotali elektromagnit nurlanish vodorodi bor moddalardan protonlarni ajratib chiqarish va ularga katta tezliklar berish xususiyatiga ega ekan», degan so'zlar bilan yakunlashadi.

Bir qarashda hodisa tushunarliga o'xshab ko'rinar edi. Lekin, shu bilan birga, ko'p narsa tushunarsiz edi. Masalan, katta energiyali bunday fotonlar qayoqdan olinadi? Nima uchun o'z energiyalarini protonlarga berayotgan fotonlar o'sha vaqtda qo'rg'oshin atomlari bilan o'zaro ta'sirlashmaydi?

Bu tajriba natijalari bilan ingliz fizigi J. Chedvig qiziqib qoladi. Darhol u tajribalar o'tkazadi, o'lchashlarni amalga oshiradi. Jolio-Kyurilar o'tkazgan tajribalarni takrorlaydi va tekshiradi. Chedvig eksperimental qurilmasining sxemasi 210- rasmda keltirilgan. I vakuumli kamerada sirtiga  $\alpha$ -zarralar manbai bo'lgan poloniy Po surtilgan D disk o'rnatilgan. Poloniydan nurlangan  $\alpha$ -zarralar bilan berilliy Be plastinkasi bombardimon qilinganda, berilliy yadrosi  $\alpha$ -zarrani o'ziga qo'shib oladi va neytronni chiqarib, uglerod yadrosiga aylanadi:



210- rasm.

Hosil bo'lgan neytronlar kameraning yupqa devoridan va Pb qo'rg'oshin plastinkadan o'tib, parafin qopqoqqa tushadi va unda sekinlashadi. Parafin qopqoqdan chiqqan tepki yadrolar – protonlar 2 ionizatsion kamera ga tushadi va kamera to'ldirilgan gaz atomlarini ionlashtiradi. Hosil bo'lgan zaryadli zarralar tegishli elektrodlar ga so'rilib, ionizatsion kamera zanjirida tok impulsini yuzaga keltiradi.

Tok impulsini kuchaytirilib, ossillografga uzatiladi. Kuzatilayotgan tok impulsining intensivligini o'lchab, Chedvig turli tepki yadrolarning energiyasini aniqlaydi so'ngra bu energiyalarni bir-biri bilan taqqoslab, xulosa chiqaradi.

Jolio-Kyurilar bergan axborotdan 5 hafta o'tgandan so'ng, ya'ni 1932- yil 27- fevralda Chedvig Parij akademiyasining majlisida o'z tajribalarining natijalari haqida quyidagi mazmunda xabar beradi: «Bote-Bekker nurlanishi umuman elektromagnit nurlanish emas, balki elementar zarralarning yangi turi – massasi proton massasiga taxminan teng neytral zarralar oqimidan iboratdir». Bu zarrani **neytron** deb ataldi.

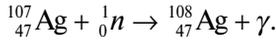
Shunday qilib, neytron kashf etildi.

Yadrolarni bombardimon qiluvchi eng qulay zarra – neytrondir, chunki u neytral zarra bo'lganligi uchun nishon yadroga bimalol yaqin kela oladi. Binobarin, yadro reaksiyalarini amalga oshirishda neytronlardan foydalanish yaxshi samara beradi.

## **102- §. Sun'iy radioaktivlik. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari**

Sun'iy radioaktivlik hodisasini 1934- yilda fransuz fiziklari Iren va Frederik Jolio-Kyurilar kashf qilishgan. Ular yadrolarning parchalanishini o'rganish jarayonida ko'p hollarda parchalanish mahsulotlari radioaktiv xossaga ega ekanligini aniqlaganlar. Yadro reaksiyalari natijasida hosil bo'ladigan radioaktiv moddalar **sun'iy radioaktiv moddalar** deb, hodisa esa **sun'iy radioaktivlik** deb ataladi.

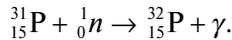
Sun'iy radioaktiv moddalar turli yadro reaksiyalarida hosil bo'lishi mumkin. Masalan, kumushning  $^{107}_{47}\text{Ag}$  barqaror izotopini neytronlar bilan bombardimon qilinganda uning yarim yemirilish davri  $T=2,3$  minut bo'lgan  $^{108}_{47}\text{Ag}$  radioaktiv izotopi hosil bo'ladi va  $\gamma$ -nurlar chiqadi:



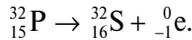
Kumushning  ${}_{47}^{108}\text{Ag}$  izotopi  $\beta^-$ -radioaktiv xossaga ega bo'lib, u o'zidan elektronni va neytrinoni chiqaradi hamda kadmiyning  ${}_{48}^{108}\text{Cd}$  barqaror izotopiga aylanadi:



Xuddi shuningdek, fosfor  ${}_{15}^{31}\text{P}$  ning neytronlarni qo'shib olish reaksiyasi radioaktiv izotoplarni olishga misol bo'la oladi. Bunday reaksiyada  $\gamma$ -foton chiqadi va fosforning radioaktiv  ${}_{15}^{32}\text{P}$  izotopi hosil bo'ladi:

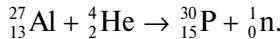


Hosil bo'lgan  ${}_{15}^{32}\text{P}$  izotopning yarim yemirilish davri 14,3 kunga teng. Bu izotop  $\beta^-$ -yemirilish natijasida oltingugurtning barqaror  ${}_{16}^{32}\text{S}$  izotopiga aylanadi:

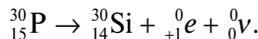


$\alpha^-$ ,  $\beta^-$  va  $\gamma$ -yemirilishlar tabiiy radioaktiv moddalar kabi sun'iy radioaktiv izotoplarga ham xosdir. Lekin sun'iy radioaktiv moddalar ichida tabiiy radioaktiv elementlarga xos bo'lmagan boshqa tur yemirilish uchraydi. Bu pozitronlar chiqarish bilan bo'ladigan yemirilishdir.

Pozitron aktiv moddaning hosil bo'lishiga misol tariqasida Jolio-Kyurilar kashf etgan quyidagi reaksiyani ko'rsatish mumkin:



Reaksiya natijasida hosil bo'lgan fosforning  ${}_{15}^{30}\text{P}$  radioaktiv izotopi (yarim yemirilish davri 2,5 minutga teng) o'zidan pozitron va neytrinoni chiqarib, kremniyning barqaror  ${}_{14}^{30}\text{Si}$  izotopiga aylanadi:



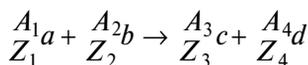
Yadro reaksiyalarida barcha saqlanish qonunlari, jumladan, elektr zaryadi va massa sonining saqlanish qonunlari bajariladi.

**Elektr zaryadining saqlanish qonuni:** *reaksiyaga kirishayotgan yadro va zarralar elektr zaryadlarining yig'indisi reaksiya natijasida*

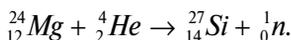
hosil bo'lgan yadro va zarralar elektr zaryadlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

**Massa sonining saqlanish qonuni:** reaksiyaga kirishayotgan yadro va zarralar massa sonlarining yig'indisi reaksiyadan so'ng hosil bo'lgan yadro va zarralar massa sonlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Agar quyidagi:



reaksiya sodir bo'lgan bo'lsa, u holda yuqorida ta'riflangan saqlanish qonunlariga binoan  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$  va  $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$  bo'ladi. Masalan, Jolio-Kyurilar amalga oshirgan yadro reaksiyalaridan biri quyidagicha edi:



Bu reaksiyada  $Z_1=12$ ,  $Z_2=2$ ,  $Z_3=14$ ,  $Z_4=0$ , demak,  $12+2=14+0$  yoki  $14=14$ . Shuningdek,  $A_1=24$ ,  $A_2=4$ ,  $A_3=27$ ,  $A_4=1$ , demak,  $24+4=27+1$  yoki  $28=28$ .

### 103- §. Yadrolarning bo'linishi

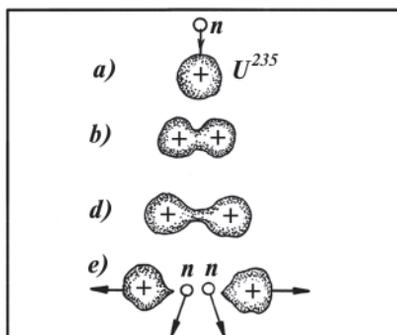
Turli izotoplarning protonlar, deytronlar va neytronlar ta'sirida bo'ladigan yadro reaksiyalarini o'rganish hamda shu maqsadda o'tkazilgan juda ko'p tajribalar fan uchun g'oyat qimmatli natijalar berdi. 1938—1939- yillarda bir qancha olimlar (Germaniyada O. Gan va F. Shtrassman, Italiyada E. Fermi, Fransiyada er-xotin Jolio-Kyurilar)ning ishlari tufayli neytronlar bilan bombardimon qilinayotgan uran yadrosining bo'linish reaksiyasi kashf qilindi.

*Og'ir yadroni neytronlar bilan bombardimon qilinishi natijasida yadroning taxminan ikkita bir xil bo'lakka va boshqa zarralarga yemirilish jarayoniga og'ir yadrolarning bo'linishi deyiladi.*

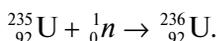
211- rasmda neytron bilan bombardimon qilinganda  ${}_{92}^{235}\text{U}$  uran yadrosining bo'linishi variantlaridan birining sxemasi keltirilgan. Bo'linish vaqtida yadro ikkita katta bo'lakka va 2—3 ta neytronga yemiriladi.

Atom yadrosining bo'linish jarayonini N. Bor tavsiya qilgan yadroning tomchi modeli asosida quyidagicha tushuntirish mumkin.

Uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$  yadrosi bitta neytronni qamrab olib, uran  ${}_{92}^{236}\text{U}$  izotopiga aylanadi (211- a rasm).



211- rasm.



Neytronni yutib olgan yangi uran izotopi uygʻongan va kuchli deformatsiyalangan holatga oʻtadi (211- b rasm). Uning hajmi oʻzgarmaydi, chunki «yadro suyuqligi» amalda siqilmaydi. Bunda yadroning sirti va demak, sirt energiyasi ortadi. Agar yadroga kelib tushgan neytronning energiyasi uncha katta boʻlmasa, u vaqtda yadro  $\gamma$  fotonlar yoki neytron chiqarish yoʻli bilan ortiqcha energiyasidan ozod boʻlib, dastlabki holatiga qaytadi. Agar neytronning energiyasi yetarlicha katta boʻlsa, u vaqtda yadroda ikkiga boʻlinayotgan suyuqlik tomchisining ikki qismi orasidagi choʻzilishga oʻxshash choʻzilish paydo boʻladi (211- d rasm). Choʻzilayotgan yadroning juda ingichka qismida taʼsir qilayotgan yadro kuchlari endilikda yadroning bir xil ishorali zaryadlangan qismlarining kulon itarishish kuchlariga qarshi tura olmaydi. Natijada choʻzilgan yadro uziladi va qarama-qarshi tomonga katta tezlik bilan harakatlanuvchi ikkita boʻlakka ajraladi (211- e rasm), bu boʻlaklarni **boʻlinish parchalari** deb ataladi.

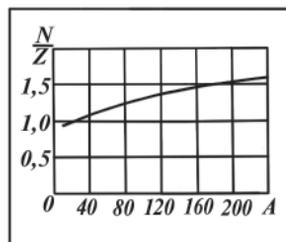
Oʻrtacha massali yadrolarda bitta nuklonga toʻgʻri keluvchi bogʻlanish energiyasi ogʻir yadrolardagidan ancha koʻp (204- rasimga qarang).

Bundan yadrolar boʻlinganda katta energiya ajralib chiqishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi.

Barqaror yadrolarda neytronlar soni protonlar soniga nisbatan aniq bir qiymatga ega boʻladi. Yengil yadrolarda bu nisbat birga yaqin. Yadrodagi nuklonlar soni orta borishi bilan neytronlar sonining protonlar soniga nisbati ham ortadi (212- rasm, unda absissa oʻqiga massa soni  $A$ , ordinata oʻqiga  $\frac{N}{Z}$  nisbat qoʻyilgan).

Masalan, uran uchun bu nisbat 1,6 ga yetadi.

Og'ir yadrolarda neytronlarning  $\frac{N}{Z}$  nisbiy soni o'rtacha massali yadrolardagiga qaraganda sezilarli darajada ko'p bo'lgani uchun bo'linish parchalarida neytronlar ko'proq bo'lib, natijada ular 2—3 tadan neytron ajratib chiqaradi.



212- rasm.

Neytronlarning ko'pchiligi bir onda ( $10^{-14}$  sekunddan kichik vaqt ichida) ajralib chiqadi, ularni **oniy neytronlar** deb ataladi. Neytronlarning bir qismi bir onda emas, balki 0,05 sekunddan 1 minutgacha kechikib chiqadi, ular **kechikkan neytronlar** deb ataladi va ular juda ham oz miqdorda bo'ladi.

Oniy neytronlarning energiyasi noldan taxminan 10 MeV oraliqida yotadi, ularning ko'pchiligi 1—2 MeV energiyaga ega. Energiyasi 1,5 MeV dan katta bo'lgan neytronlar **tez neytronlar**, energiyasi 1,5 MeV dan kichik neytronlar **sekin neytronlar** deb ataladi. Energiyasi 0,025 eV bo'lgan neytronlar esa **issiq neytronlar** deb ataladi.

Og'ir yadrolarning bo'linish mahsulotlari turli-tumandir, ularning massa sonlari 70 dan 160 gacha oraliqda bo'ladi. Ammo massalar nisbati 2:3 kabi bo'lgan parchalarga bo'linish ehtimoli eng ko'p. Bunday bo'linishga uranning  $^{235}_{92}\text{U}$  izotopi yadrosining uchta neytron chiqarib, kripton  $^{93}_{36}\text{Kr}$  va bariy  $^{140}_{56}\text{Ba}$  izotoplari yadrolariga yemirilishi misol bo'la oladi:



Oniy va kechikkan neytronlar ajralib chiqqaniga qaramay, bo'linish parchalarida neytronlar ortiq bo'laveradi. Shuning uchun parchalarning ko'pchiligi radioaktiv bo'lib, ularda  $\beta$  yemirilish reaksiyalari yuz beradi, bunda  $\gamma$ -nurlar chiqadi.

Tabiiy uranda, asosan, ikkita izotop bo'ladi:  $^{235}_{92}\text{U}$  va  $^{238}_{92}\text{U}$ , bulardan  $^{238}_{92}\text{U}$  asosiy massani tashkil etadi,  $^{235}_{92}\text{U}$  esa aralashmada faqat 0,714% ni tashkil qiladi. Tekshirishlar shuni ko'rsatadiki,  $^{235}_{92}\text{U}$  yadrolari har qanday neytronlar ta'sirida bo'linadi, ayniqsa,

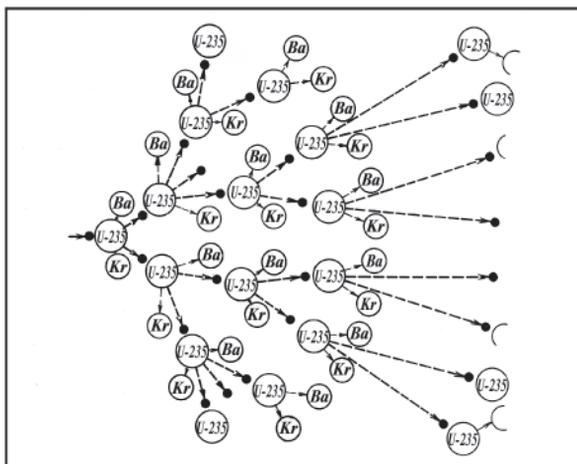
sekin neytronlarda yaxshi bo‘linadi, holbuki  ${}_{92}^{238}\text{U}$  faqat tez neytronlar ta’siridagina bo‘linadi.

### 104- §. Zanjir yadro reaksiyasi

1940- yilda rus olimlari G.N. Flerov va K.A. Petrjak uran yadrolarining parchalarga o‘z-o‘zidan bo‘linishini, ya’ni **spontan bo‘linishini** aniqladilar. Biroq bunday bo‘linishning tezligi juda kichik, chunki  ${}_{92}^{235}\text{U}$  izotopi yadrolarining yarim yemirilish davri  $10^{15}$  yilga teng,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  izotopi uchun esa yarim yemirilish davri  $10^{17}$  yilga teng.

Har bir yadro bo‘linganda 2–3 ta neytron chiqishi, ayniqsa, muhim ahamiyatga ega, chunki bu neytronlar uran massasida o‘z-o‘zidan davom etadigan reaksiyani amalga oshirishga imkoniyat yaratib beradi. Haqiqatan ham, ajratib chiqarilgan 2–3 ta neytrondan har biri atom yadrosiga tushishi mumkin, bunda ham ikkita bo‘linish parchasi hosil bo‘ladi va 2–3 ta neytron ajralib chiqadi, bu neytronlar ham yana bo‘linishga va neytronlar ajralib chiqishiga sabab bo‘ladi va hokazo.

Aktiv neytronlar va reaksiyaga kiruvchi yadrolar soni geometrik progressiya bo‘yicha o‘sib borishini sezish qiyin emas, shuning uchun butun moddada tobora avj oluvchi yadro reaksiyasi yuz beradi (213-rasm). Bu reaksiya **zanjir yadro reaksiyasi** deb ataladi.



213- rasm.

*Yadrolarning bo‘linishida hosil bo‘lgan neytronlarning ta’siri ostida ro‘y beradigan boshqa yadrolarning quyunsimon bo‘linish jarayoniga zanjir yadro reaksiyasi deyiladi.*

Uranning har bir yadrosining bo‘linishidan paydo bo‘ladigan neytronlarning hammasi ham boshqa yadrolarning bo‘linishiga sabab bo‘lavermaydi. Neytronlarning bir qismini yadro yoqilg‘isidagi bo‘linmaydigan yoki qiyin bo‘linadigan aralashma yadrolari o‘ziga qo‘shib olishi mumkin, neytronlarning yana bir qismini yoqilg‘i material hajmi sirtidan uning boshqa yadrolari bilan to‘qnashmay chiqib ketishi mumkin. Zanjir reaksiyada aktiv ishtirok qiluvchi neytronlar sonini kamaytiradigan sabablar ham mavjud.

Zanjir reaksiyaning kuchayishi neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti  $k$  bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyent reaksiyaning birorta bosqichida yadrolarning bo‘linishini vujudga keltiradigan neytronlar soni  $N_i$  ning bundan avvalgi bosqichda bo‘linishini vujudga keltirgan neytronlar soni  $N_{i-1}$  ga nisbati bilan o‘lchanadi:

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}.$$

Masalan, 213- rasmda tasvirlangan zanjir reaksiyada neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti:

$$k = \frac{4}{2} = \frac{8}{4} = 2$$

ga teng bo‘ladi.

Neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti bo‘linayotgan moddaning tabiati va miqdoriga hamda egallagan hajmining geometrik shakliga bog‘liq bo‘ladi.

Berilgan modda biror miqdorining hajmi shar shaklida bo‘lganda neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti eng katta qiymatga ega, chunki bu holda hajmning sirti orqali oniy neytronlarni yo‘qotish eng kam bo‘ladi.

Zanjir reaksiya neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti birga teng bo‘lgan holatda boradigan bo‘linuvchi modda massasiga berilgan moddaning *kritik massasi* deyiladi. Masalan, sof  $^{235}_{92}\text{U}$  uchun kritik massa taxminan 40 kg.

Agar yadro yoqilg‘isining massasi kritik massadan oz bo‘lsa, u vaqtda  $k < 1$  va bo‘linish reaksiyasi asta-sekin so‘nadi. Agar yoqilg‘i

massasi kritik massaga teng bo'lsa, u vaqtda  $k=1$  va zanjir reaksiya o'zgarmas intensivlik bilan boradi. Agar yoqilg'i massasi kritik massadan katta bo'lsa, u vaqtda  $k>1$ , bu holda zanjir reaksiya boshqarib bo'lmaydigan darajada avj oladi va portlash ro'y beradi. Atom bombasida ana shunday reaksiya ketadi.

## **105- §. Yadro energiyasini olish. Yadro reaktorlari**

Uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$  yadrosining bo'linishida chiqadigan energiyani bevosita o'lchash natijalari shuni ko'rsatdiki, har bir yadro bo'linganda taxminan 200 MeV energiya ajraladi. Boshqa hech qanday (yadroning bo'linishi bilan bog'liq bo'lmagan) yadro reaksiyasida bunchalik katta energiya ajralib chiqmaydi. Ajralib chiqqan energiyaning katta qismi (~ 80%) parchalarning kinetik energiyasi ko'rinishida ajraladi, qolgan (20%) qismi esa parchalarning radioaktiv nurlanishiga va neytronlarning kinetik energiyalariga to'g'ri keladi.

Agar yadroning bo'linishini hosil qiladigan neytronlarning energiyasi (ya'ni, sarf qilingan energiya) 7-10 MeV dan ortmasligini e'tiborga olsak, yadrosi bo'linadigan materiallar juda katta energiya manbai bo'lib xizmat qila oladi. Masalan, 1 kg  ${}_{92}^{235}\text{U}$  da bo'lgan barcha yadrolarning bo'linishida ajraladigan energiya taxminan  $2,3 \cdot 10^7$  kW-soatga teng.

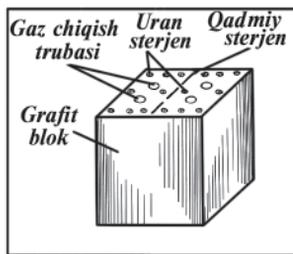
Bunday energiyani tasavvur qilish uchun quyidagi yoqilg'ilarni yonishi natijasida hosil bo'lgan energiya bilan taqqoslash mumkin.  $2 \cdot 10^6$  kg benzin yoki  $2,5 \cdot 10^6$  kg toshko'mir yonganida yoki  $2,5 \cdot 10^7$  kg trinitrotoluol (trotil) portlaganda ajraladigan energiya  $2,3 \cdot 10^7$  kW-soatga tengdir.

Sanoat uchun yadro energiyasi olishda zanjir reaksiyani amalga oshirish va uni boshqarish zarur.

Uranda zanjir yadro reaksiyasi ikki xil usul bilan amalga oshirilishi mumkin. Birinchi usul tabiiy urandan bo'linuvchi  ${}_{92}^{235}\text{U}$  izotopni ajratib olishdan iborat (chunki yuqorida aytib o'tilganidek,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  yadrolarini faqat tez neytronlarga parchalay olishi mumkin). Izotoplarning kimyoviy jihatdan farqi bo'lmagani sababli ularni ajratib olish juda qiyin masaladir. Lekin shunga qaramasdan, bu masala bir necha xil usullar bilan hal qilinadi.

Zanjir reaksiyani amalga oshirishning ikkinchi usuli **yadro reaktorlari (atom qozonlari)** da qo'llaniladi.

Yadro reaktorlarining ishlashini ko'rib chiqaylik. 214- rasmda uran qozonining tuzilishi ko'rsatilgan: uran qozoni katta hajmli idish bo'lib, uning ichiga tez harakatlanuvchi neytronlarni sekinlatadigan modda solingan, atrofiga neytronlarni qaytaruvchi modda qo'yilgan. Sekinlatkich va qaytargich sifatida grafit ishlatiladi.

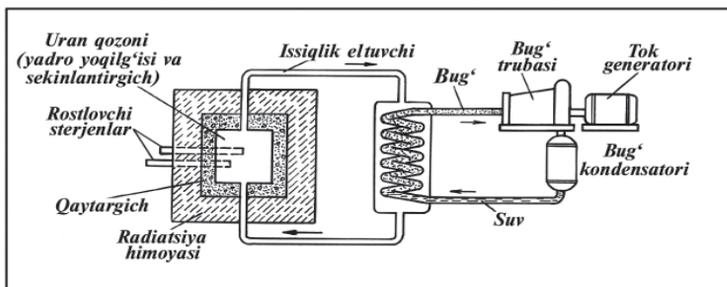


214- rasm.

Sekinlatkich ichida metall uran sterjenlar bo'lib, ularda atom yadrolari bo'linadi. Zanjir reaksiya portlashga olib kelmasligi uchun reaksiyani boshqarish kerak, buning uchun sust neytronlarni yaxshi yutuvchi moddalar ishlatiladi. Bunday moddalar kadmiy va borli po'latdir (tarkibida bor elementi bo'lgan po'lat sust neytronlarni kuchli yutadi). Bu moddalar qozon ichiga yetarli miqdorda kiritilganda ular zanjir reaksiyani susaytirishi va hatto batamom to'xtatib qo'yishi ham mumkin.

Uran yadrolarining bo'linish energiyasi issiqlik va radioaktiv nurlanish tarzida chiqadi. Bu issiqlikdan issiqlik elektr markazlarining ishlashi uchun foydalanish mumkin. Shu maqsadda uran qozoniga uzluksiz gaz yuborib turiladi, bu gaz yuqori temperaturagacha qiziydi va bug' qozoniga keladi. Gaz energiyasi suvni bug'lantirib, yuqori bosimli o'ta qizigan bug' hosil qilishga sarflanadi, bu bug' elektr generatoriga ulangan bug' turbinasini harakatga keltiradi.

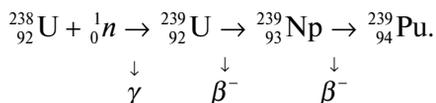
215- rasmda atom elektr stansiyasi tuzilishining prinsipial sxemasi keltirilgan. Uran qozonlari radioaktiv nurlanishlarning kuchli manbayidir, shuning uchun qozonlarni muhofaza vositalari bilan



215- rasm.

ta'minlash (betonlash va boshqa muhofaza tadbirlarini ko'rish) kerak. Qozonlarni boshqarishga doir barcha jarayonlar, ichiga uran sterjenlarini tushirish va chiqarib olish ishlari avtomatik ravishda uzoq masofadan turib amalga oshiriladi.

Shuni aytib o'tish kerakki, yadro reaktorida energiya ajralish bilan bir qatorda yangi yadro yoqilg'isi — plutoniy ham hosil bo'ladi va yig'iladi. Gap shundaki,  $^{238}_{92}\text{U}$  yadrosi sekin neytronni yutib gamma fotonni chiqaradi va yarim yemirilish davri 23 minut bo'lgan radioaktiv uran izotopi  $^{239}_{92}\text{U}$  ga aylanadi. Bu yadro, o'z navbatida,  $\beta$ -zarra chiqaradi va neptuniyga aylanadi, uning yarim yemirilish davri 2,3 kun. Neptuniy yadrosi  $\beta$ -zarra chiqarib, plutoniy  $^{239}_{94}\text{Pu}$  yadrosiga aylanadi. Bu reaksiyani quyidagicha ifodalash mumkin:



Plutoniy — yaxshi yadro yoqilg'isidir, uning yadrolari uran yadrolariga o'xshash sekin neytronlar ta'sirida parchalanadi. Plutoniy radioaktiv, u  $\alpha$ ,  $\beta$  va  $\gamma$ -nurlarni chiqaradi. Uning yarim yemirilish davri 24100 yil, shuning uchun plutoniydan katta miqdorlarda yig'ish mumkin.

Yadro reaktorlari yordamida ko'p miqdorda energiya olish bilan bir qatorda tibbiyotda, qishloq xo'jaligida, biologiyada, turli ilmiy, mexanik va sanoat maqsadlarida keng qo'llaniladigan turli-tuman radioaktiv izotoplar olish mumkin.

### **Takrorlash uchun savollar**

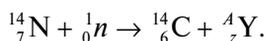
1. Zaryadli zarralarni kuzatish va qayd etish qanday hodisalarga asoslangan? Neytral zarralarni-chi?
2. Zarralarni qayd etish uchun yadro fizikasida qanday asboblardan foydalaniladi?
3. Vilson kamerasining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Fotoemulsiya usulining qanday afzalliklari bor?
5. Yadro reaksiyasi qanday fizik jarayon?
6. Yadro reaksiyalarini amalga oshirishda qanday zarralardan foydalaniladi?
7. Neytron qanday kashf qilingan? Chedvig eksperimental qurilmasining sxemasini chizing va unda amalga oshirilgan yadro reaksiyasini yozing.

8. Sun'iy radioaktivlikni kim kashf etgan? Sun'iy radioaktiv modda hosil bo'lishi reaksiyasiga misollar keltiring.
9. Pozitron qanday kashf qilingan?
10. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlarining bajarilishi haqida nima deya olasiz?
11. Og'ir yadrolarning bo'linish reaksiyasini tushuntiring.
12.  ${}_{92}^{235}\text{U}$  uran yadrosining bo'linishini yadroning tomchi modeliga asosan tushuntiring.
13. Nima uchun og'ir yadrolar bo'linganda katta energiya ajralib chiqadi? Bitta uran yadrosi bo'linganda qancha energiya ajralib chiqadi?
14. Tez neytronlar, sekin neytronlar, issiq neytronlar deganda qanday neytronlarni tushunasiz? Oniy neytronlar va kechikkan neytronlar deganda-chi?
15. Zanjir yadro reaksiyasini tushuntiring.
16. Atom yadrosi energiyasidan qanday foydalaniladi?
17. Yadro reaktorining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.

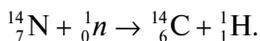
### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Azot  ${}_{7}^{14}\text{N}$  izotopini neytronlar bilan bombardimon qilganda  $\beta$  radioaktiv nurlanishga ega bo'lgan uglerod  ${}_{6}^{14}\text{C}$  izotopi hosil bo'ladi. Yadro reaksiyalari tenglamasini yozing.

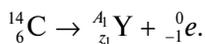
*Yechilishi.* Birinchi yadro reaksiyasi tenglamasi:



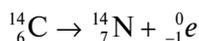
Zaryadning saqlanish qonuniga asosan  $Z=7-6=1$ , massa sonining saqlanish qonuniga asosan  $A=(14+1)-14=1$  ekanligini topamiz. Demak,  ${}_{z}^{A}\text{Y} = {}_{1}^{1}\text{Y} = {}_{1}^{1}\text{H}$  protondir. Natijada quyidagini yozamiz:



Ikkinchi yadro reaksiyasi tenglamasi:



Massa va zaryadning saqlanish qonuniga muvofiq  $Z_1=6-(-1)=7$ ,  $A_1=14-0=14$ , ya'ni  ${}_{z_1}^{A_1}\text{Y} = {}_{7}^{14}\text{Y} = {}_{7}^{14}\text{N}$ , Mendeleyev elementlar davriy sistemasidan uning azot izotopi ekanligini aniqlaymiz. Nihoyat:



deb uzil-kesil yozamiz.

**2- masala.** Uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopi yadrosi bir marta bo'linganda 200 MeV energiya ajralib chiqadi. 1 g uran bo'linganida qancha miqdor energiya olish mumkin? (Kilovatt-soatlarda hisoblang).

*Berilgan:*  $W_1=200$  MeV;  $m=1$  g= $10^{-3}$  kg.

*Topish kerak:* W—?

*Yechilishi:* 1 g uran bo'linganda qancha miqdor energiya ajralganini topish uchun mazkur modda massasidagi atomlar sonini topish kerak. Agar bitta uran atomining massasini  $m_0$  bilan belgilasak, berilgan massadagi atomlar soni  $N = \frac{m}{m_0}$  ga teng bo'ladi. Bitta uran atomining massasini quyidagi ifodadan topamiz:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A},$$

bunda  $\mu$  uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopining bir gramm-atomining massasi, u  $\mu=235$  kg/kmol ga teng,  $N_A$  — Avagadro soni. Shunday qilib:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A$$

ifodaga ega bo'lamiz. U holda ajralayotgan energiya uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$W = NW_1 = \frac{m}{\mu} N_A W_1.$$

*Hisoblash:*

$$W = \frac{10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{235 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} 6,02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1} \cdot 200 \text{ MeV} \approx 5,1 \cdot 10^{23} \text{ MeV}.$$

Energiyani kW-soatlarda ifodalaymiz. Buning uchun avval 1 MeV qancha kW-soat ekanligini hisoblab olamiz:

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{16}{36} \cdot 10^{-19} \text{ kW} \cdot \text{soat}$$

Demak:

$$W = 5,1 \cdot 10^{23} \text{ MeV} = 5,1 \cdot 10^{23} \frac{16}{36} \cdot 10^{-19} \text{ kW} \cdot \text{soat} \approx 2,3 \cdot 10^4 \text{ kW} \cdot \text{soat}.$$

**3- masala.** Yemirilish mahsulotlari bilan muvozanatda bo'lgan 1 g radiy  $^{226}_{88}\text{Ra}$  izotopi har sekunda  $14,2 \cdot 10^{11}$  MeV energiya ajratib chiqaradi. Shu radioaktiv yemirilish energiyasi hisobiga 10 g suvning temperaturasini  $0^\circ$  dan  $100^\circ\text{C}$  gacha ko'tarish uchun qancha vaqt kerak bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } P = 14,2 \cdot 10^{11} \frac{\text{MeV}}{\text{s}} = 14,2 \cdot 10^{11} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{s}};$$

$$m = 10 \text{ g} = 10^{-2} \text{ kg}; \Delta t = 100 \text{ K}; s = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}.$$

*Topish kerak:*  $\tau$ —?

*Yechilishi.* Radioaktiv yemirilish natijasida  $\tau$  vaqt ichida ajralib chiqqan energiya  $W = P \cdot \tau$  ga teng bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan bu energiya  $m$  massali suvni isitish uchun sarflangan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi, ya'ni  $W=Q$ . Issiqlik miqdorining formulasi:

$$Q=mc\Delta t,$$

bunda:  $c$  — suvning solishtirma issiqlik sig'imi. Demak,  $P\tau=mc\cdot\Delta t$ .

bundan:  $\tau = \frac{cm \cdot \Delta t}{P}$  bo'ladi.

*Hisoblash:*

$$\tau = \frac{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 100 \text{ K}}{14,2 \cdot 10^{11} 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}} = \frac{4,19}{2,27} 10^4 \text{ s} = \frac{4,19}{2,27} 10^4 \frac{1}{3600} \text{ soat} = 5 \text{ soat}.$$

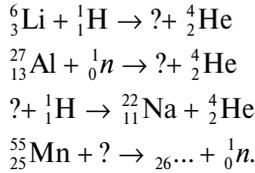
### Mustaqil yechish uchun masalalar

**169.**  $^{10}_5\text{B}$  bor izotopining  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilinganda radioaktiv azot hosil bo'ladi va u pozitron chiqarib parchalanadi. Yadro reaksiyalarining tenglamalarini yozing.

**170.**  $^{13}_7\text{N}$  radioaktiv azot parchalanib, uglerod  $^{13}_6\text{C}$  izotopiga aylanadi. Yadro reaksiyasini yozing. Bunda qanday zarra otilib chiqadi?

**171.** Litiy yadrosiga neytron tushib, reaksiya jarayonida  $\alpha$ -zarra uchib chiqqan. Bu reaksiya natijasida qanday yadro hosil bo'lgan?

**172.** Quyidagi yadro reaksiyalarini tugallang:



**173.** 5 g uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$  izotopining radioaktiv yemirilishida qancha kW-soat energiya ajralib chiqadi?

**174.** Atom reaktorining sutkasiga 200 g uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$  izotopini iste'mol qilgandagi quvvati 32000 kW. Uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$  izotopining bo'linishidan hosil bo'lgan energiyaning qancha qismi foydali ishga sarf bo'ladi?

### 106- §. Termoyadro reaksiyasi

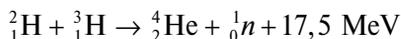
Atom yadrolari orasida kichik masofa ( $\sim 10^{-15}$  m) larda yadro tortishish kuchlari ta'sir qilishi sababli, bir-biriga shunday masofagacha yaqinlashayotgan ikki yadro o'zaro qo'shilishi mumkin. *Yengil yadrolarning qo'shilib, og'irroq yadro hosil qilishi **yadro sintezi** deb ataladi.*

Uran yadrosining tinchlikdagi massasi yadro bo'linganda hosil bo'lgan parchalarning tinchlikdagi massalari yig'indisidan katta ekanligidan har bir uran yadrosi parchalanganda taxminan 200 MeV energiya ajralishi bizga ma'lum. Yengil yadrolarda esa ular qo'shilganda qo'shilayotgan yadrolarning tinchlikdagi massasi yig'indisi sintezlangan yadroning tinchlikdagi massasidan katta. Demak, bunda ham katta energiya ajralishi kerak. Yengil yadrolarning bunday qo'shilish reaksiyalari faqat juda yuqori temperaturalardagina yuz berishi mumkin. Shuning uchun bu reaksiya **termoyadro reaksiyasi** deb ataladi.

Yadrolar qo'shilishi uchun ular  $r_n \approx 10^{-15}$  m masofaga yaqinlashishi, ya'ni yadro kuchlarining ta'sir doirasiga tushishi lozim. Lekin bunday yaqinlashishga yadrolarning zaryadlari tufayli yuzaga keladigan kulon itarishish kuchlari to'sqinlik qiladi. Bu kuchni yadrolar issiqlik harakatining juda katta kinetik energiyasi hisobigagina yenga oladi. Buning uchun ular quyidagi energiyaga ega bo'lishi kerak:

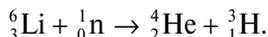
$$W = \frac{z_1 \cdot z_2 \cdot e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{yo}},$$

bunda  $Z_1$  va  $Z_2$  lar qo‘shilayotgan yadrolarning elektr zaryadi soni. Hatto  $Z_1=Z_2=1$  bo‘lganda ham  $W=0,7$  MeV, to‘qnashayotgan har bir yadro esa  $\frac{\Delta W}{2} = 0,35$  MeV energiyaga ega bo‘lishi kerak. Bunday energiyaga  $2 \cdot 10^9$  K temperatura mos keladi. Biroq yengil yadrolar ancha past temperaturalarda ( $\sim 10^8$  K) ham qo‘shilishi mumkin ekan. Ayniqsa vodorodning  ${}^2_1\text{H}$  deyeriy (og‘ir vodorod, deyeriy *D* harfi bilan ham belgilanadi) va  ${}^3_1\text{H}$  tritiy (o‘ta og‘ir vodorod, tritiy *T* harfi bilan ham belgilanadi) izotoplari sintezi



uchun sharoit yaratish imkoniyati mavjud. Bunday termoyadro reaksiyada geliyning  ${}^4_2\text{He}$  izotopi va neytron hosil bo‘ladi hamda 17,5 MeV energiya ajralib chiqadi. Agar deyeriy va tritiylarning har biri  $\approx 0,01$  MeV energiyaga ega bo‘lsa, reaksiya samarali bo‘ladi. Buning uchun, tegishli hisoblashlarga ko‘ra, *D* va *T* aralashmasining temperaturasini 77000000 K gacha ko‘tarish kerak bo‘ladi. Hozirgi vaqtda Yer sharoitida bunday yuqori temperaturani faqat atom bombasini portlatish bilangina olish mumkin.

Boshqariladigan termoyadro reaksiyalarining Yer sharoitida amalga oshirilishi insoniyatga amalda bitmas-tuganmas yangi energiya manbaini bergan bo‘lar edi. Bu jihatdan *D* va *T* larning bir-biri bilan qo‘shilishi eng istiqbolli reaksiyadir. Chunki, ***biri-  
nchidan***, bu reaksiyada katta energiya (17,5 MeV) ajralib chiqadi; ***ikkinchidan***, deyeriy Yerda (dengiz suvida) g‘oyat ko‘p miqdorda mavjud (6000 vodorod atomiga bitta deyeriy atomi to‘g‘ri keladi); ***uchinchidan***, Yerda litiy elementining zaxirasi yetarlicha katta. Gap shundaki, tritiy tabiatda yo‘q. Uni hozir termoyadro reaktorining o‘zida litiy neytronlar bilan bombardimon qilish orqali sun‘iy yo‘l bilan olinadi:



Yengil yadrolarning termoyadro sintezi reaksiyasining boshqarish muammosini muvaffaqiyatli hal etilishi insoniyatga qanday foyda keltirishini akademik I.E. Tammning bir maqolasidan keltirilgan quyidagi parcha bilan baholash mumkin: «350 l benzindan qanday energiya olinsa, 1 l suvning tarkibidagi deyeriydan ham shuncha energiya olish mumkin. Shunday qilib, energetik nuqtayi

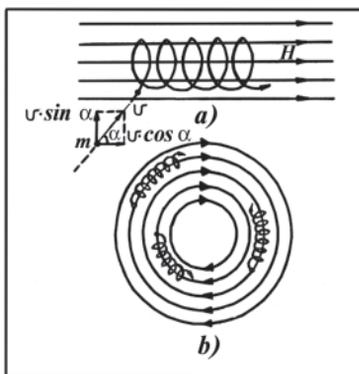
nazardan, Yer sharini o‘rab turgan to‘rtta okean 1400 ta benzin okeaniga teng kuchlidir. Hattoki iste‘mol qilinadigan energiya 100 marta ortsa ham, mavjud energiya zaxirasi insoniyatga milliard yillarga yetadi».

Hozirgi vaqtda ko‘pgina olimlar bu muammoning hal etilishi ustida ish olib bormoqdalar.

### 107- §. Yuqori temperaturali plazmani yaratish va uni saqlab turish. Tokamak

Termoyadro reaksiyasini amalga oshirish uchun yadro «yoqilg‘isi»- ni bir necha 10 million gradus temperaturagacha qizdirish kerak. Bunday temperaturada modda kuchli ionlashgan gaz — plazma holatiga o‘tadi. Reaksiya so‘nmasligi uchun plazmaning kengayishiga yo‘l qo‘ymasdan uni biror tayinli hajmda tutib turish kerak. Buni plazmani berk idishga oddiy qamash bilan amalga oshirish mumkin emas, chunki plazma idish devorlariga tegsa soviydi. Bundan tashqari yuqori temperaturaga chidamli bo‘lgan har qanday moddadan qilingan idish devorlari bunday temperaturada erib, bug‘lanib ketadi.

XX asrning 50- yillarida rus fiziklari A.D. Saxarov va I.E. Tammlar hamda ba‘zi chet el olimlari plazmani tayinli hajmda magnit maydon yordamida tutib turish g‘oyasini ilgari surdilar. Bu g‘oyaning fizik mohiyati quyidagicha. Bir jinsli magnit maydonda boshlang‘ich tezligi maydon kuchlanganligi yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan zaryadli zarra Lorens kuchi ta‘siri ostida maydon yo‘nalishiga perpendikulyar tekislikda aylana bo‘yicha harakatlanadi.



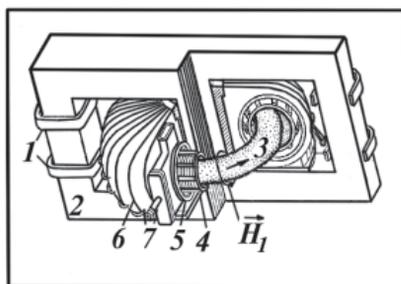
216- rasm.

Zarraning boshlang'ich tezligi magnit maydoni yo'nalishiga parallel bo'lganda esa unga Lorens kuchi ta'sir qilmaydi va zarra inersiyasi bilan maydon bo'yicha harakatlanadi. Agar zarraning  $v$  tezligi maydon yo'nalishi bilan biror  $\alpha$  burchakni hosil qilsa, u holda zarraning keyingi harakati ikki harakatning geometrik yig'indisidan iborat bo'ladi: maydon kuch chiziqlariga perpendikulyar tekislikdagi aylana bo'ylab  $v \cdot \sin\alpha$  tezlik bilan aylanish va  $v \cdot \cos\alpha$  tezlik bilan maydon bo'ylab siljish (216- a, rasm).

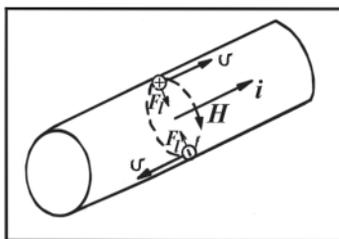
Zarraning natijaviy harakat trayektoriyasi magnit maydonning kuch chiziqlariga o'raluvchi vint chiziqdan iborat bo'ladi. Magnit maydonning bu xossasidan zaryadli zarralarning sochilishiga yo'l qo'ymaslik maqsadida foydalaniladi. Bu jihatdan toroidning magnit maydoni alohida diqqatga sazovordir. Bu maydon go'yo harakatlanayotgan zarralarning tuzog'i bo'ladi: kuch chiziqlariga «o'ralib» zarra bu maydondan chiqmasdan, juda uzoq vaqt harakatlanishi mumkin (216- b rasm). Bu xususiyatdan termoyadro qurilmalarida, xususan, sobiq Ittifoqda 1975- yili I.V. Kurchatov nomli Atom energiyasi institutida ishlab chiqilgan «Tokamak» termoyadro qurilmasida foydalaniladi.

«Tokamak» so'zi quyidagi rus so'zlarining qisqartmasidan hosil qilingan: «Торoidalная Камера с Магнитными Катушками» (Magnit g'altakli toroidal kamera). 217- rasmda Tokamak qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan.

Tokamak asli po'lat varaqlardan yig'ilgan (2) o'zakdan va unga o'ralgan (1) birlamchi chulg'amdan iborat transformator bo'lib, uning ikkilamchi chulg'ami vazifasini yupqa zanglamaydigan po'latdan tor (doiraning uning tekisligida yotgan va uni kesmaydigan o'q yaqinida aylanishidan hosil bo'ladigan fazoviy shakl) ko'rinishda yasalgan (4) kamera ichidagi (3) plazma o'rami



217- rasm.



218- rasm.

o'taydi. (4) kameraning sirti qalin misdan yasalgan (5) g'ilof bilan qoplangan. Kamera bilan g'ilof bir-biridan elektr jihatdan izolyatsiyalangan bo'lib, ular orasidagi oraliq fazoda nasos yordamida vakuum hosil qilib turiladi.

O'zakka o'ralgan birlamchi chulg'am tok manbayiga ulanganda tok impulslari tor ichida kameradagi siyraklashgan gazning zarb bilan ionlashishi uchun yetarli kuchlanganlikli uyurmaviy elektr maydonni induksiyalaydi, natijada gaz ionlashadi, gaz razryad hosil bo'ladi va gaz orqali o'tayotgan  $10^6$ A tartibdagi razryad toki gazni temperaturasi bir necha o'n million gradus bo'lgan plazmaga aylantiradi. Tokning  $\vec{H}_1$  magnit maydoni razryad kanalini qisadi va plazma shnurini kamera devorlariga tegib ketishidan saqlaydi. (Haqiqatan ham, plazma ustuni bo'ylab biror  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan har qanday zaryadga ta'sir qiluvchi  $F_L$  Lorens kuchi shnur o'qiga qarab yo'nalganligi 218- rasmdan ko'rinib turibdi).

Plazmani stabillash va unda yuzaga keladigan noturg'unlikni bosish uchun torga o'ralgan 6- g'altak yordamida hosil qilingan qo'shimcha bo'ylama magnit maydondan foydalaniladi. Bu ikki maydon ta'sirida plazma shnuri maydon kuch chizig'iga o'raluvchi vint bo'yicha harakatlanadi (216- rasimga qarang). 7- patrubok orqali plazmani kuzatib boriladi.

Eksperimentlar plazma shnuri nihoyatda beqarorligini ko'rsatadi. Shu sababli hozircha plazmani kamera devorlariga juda qisqa (sekundning yuzdan bir ulushigacha) vaqt davomidagina tegizmasdan turish mumkin. Bunday yo'l bilan erishilgan temperatura  $\sim 10^6$  K sintez reaksiyaning vujudga kelishi uchun yetarli emas.

Hozirgi vaqtda termoyadro reaksiyasini boshqarish sharoitlarini yaratishga oid nazariy va eksperimental tadqiqot

ishlari olib borilmoqda. Yaqin kelajakda shunday sharoit yaratilishiga va boshqariladigan termoyadro reaksiyasini amalga oshirishga erishiladi, deb ishonch bilan aytishga hamma asoslar mavjud.

## 108- §. Yadroviy nurlanish dozasi

Radioaktiv moddalarning nurlanishi barcha tirik organizmlarga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Yadroviy nurlanishlarning moddaga ko'rsatadigan ta'siri **nurlanish dozalari** deb ataladigan kattaliklar bilan baholanadi. Shu kattaliklar bilan tanishib chiqaylik.

1. **Nurlanish dozasi D.** *Nurlanilayotgan moddaning birlik massasida yutilgan ionlovchi nurlanish energiyasi nurlanish dozasi deb ataladi:*

$$D = \frac{W}{m}, \quad (176)$$

bunda:  $m$  — nurlanilayotgan moddaning massasi;  $W$  — shu modda yutgan ionlovchi nurlanish energiyasi.

SI da *nurlanish dozasining o'lchov birligi qilib nurlanilayotgan 1 kg massali moddaga uzatilgan nurlanish energiyasi 1 J bo'lgandagi doza qabul qilingan.* Bu birlik  $\frac{J}{kg}$  larda ifodalanadi va **grey** (Gy)

deb ataladi:  $1 \text{ Gy} = \frac{J}{kg}$ . Sistemadan tashqarida nurlanish dozasi **rad**

larda o'lchanadi.  $1 \text{ rad} = 10^{-2} \frac{J}{kg} = 10^{-2} \text{ Gy}$ .

**Nurlanish dozasining quvvati N.** *Birlik vaqt davomida yutilgan nurlanish dozasi nurlanish dozasi quvvati yoki doza quvvati deyiladi:*

$$N = \frac{D}{t}. \quad (177)$$

SI da doza quvvati  $\frac{Gy}{s}$  yoki  $\frac{W}{kg}$  larda o'lchanadi.

2. **Nurlanishning ekspozitsion dozasi  $D_e$ .** *Rentgen nurlari yoki  $\gamma$ -nurlanishning quruq havoning ionlashtirish effekti bo'yicha baholanadigan energetik xarakteristikasi nurlanishning ekspozitsion dozasi deb ataladi.*

SI da ekspozitsion doza  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  larda o'lanadi. *Rentgen nurlari yoki  $\gamma$ -nurlanishning 1 kg massali quruq havoda hosil qilgan birday ishorali ionlarning yig'indi zaryadi 1 C bo'lganda ekspozitsion doza  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  ga teng bo'ladi.* Sistemadan tashqarida ekspozitsion dozaning birligi **rentgen** (R) bo'lib, bu birlik amalda keng qo'llaniladi:

$$1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

**Ekspozitsion doza quvvati  $N_e$ .** Birlik vaqt ichida ekspozitsion dozaning orttirmasi **ekspozitsion doza quvvati** deyiladi:

$$N_e = \frac{D_e}{t} \quad (178)$$

SI da ekspozitsion doza quvvati  $1 \frac{\text{A}}{\text{kg}}$  larda o'lanadi. 1 s ichida quruq havoga uzatiladigan  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  ekspozitsion dozaga  $1 \frac{\text{A}}{\text{kg}}$  ekspozitsion doza quvvati deyiladi. Ekspozitsion doza quvvatining SI ga kirmaydigan birliklari  $1 \frac{\text{R}}{\text{s}}$ ,  $1 \frac{\text{R}}{\text{min}}$ ,  $1 \frac{\text{R}}{\text{soat}}$  dan iborat.

**3. Nurlanishning ekvivalent dozasi.** Nurlanish dozasi uning biologik ta'siriga qarab ham baholanishi mumkin. Bunda nurlanishning **ekvivalent dozasidan** foydalaniladi.

*Ekvivalent doza yutilgan nurlanish dozasi bilan ko'rilayotgan nurlanishning rentgen yoki  $\gamma$ -nurlanishlarga nisbatan nisbiy biologik aktivligini xarakterlovchi sifat koeffitsiyenti  $K$  ning ko'paytmasiga teng bo'ladi.* Rentgen va  $\gamma$ -nurlanishlar uchun  $K=1$ ; issiqlik neytronlari uchun  $K=3$ ; 0,5 MeV energiyali neytronlar uchun  $K=10$ .

SI da ekvivalent doza  $1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$  larda o'lanadi. Bu birlik **zivert** (Zv) deb ataladi.  $1Zv = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ . Amalda ekvivalent dozaning **rentgenning biologik ekvivalenti ber** (биологический эквивалент рентгена) deb ataladigan birligidan foydalaniladi. *Rentgen yoki  $\gamma$ -nurlanishlarning bir rentgen dozasi biologik ekvivalent bo'lgan yutilgan nurlanish energiyasi rentgenning biologik ekvivalenti deyiladi.*

$$1\text{ber} = 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

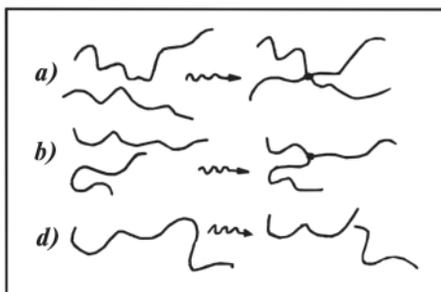
Ekvivalent dozaning quvvati  $\frac{W}{\text{kg}}$  larda o'lchanadi.

Nurlanish manbalari maydonlaridagi dozalarni o'lchash va hisoblash, shuningdek, radioaktiv preparatlarning aktivligini o'lchash bilan amaliy yadro fizikasining **dozimetriya** bo'limi shug'ullanadi. Bunda nurlanish dozasini o'lchash uchun **dozimetr**lardan foydalaniladi. Yadroviy nurlanishlarni, zarralarni qayd etish va kuzatishda qo'llaniladigan asboblari (100-§ ga qarang) dozimetrlardir.

Dozimetriya tibbiyot, atom sanoati, radiobiologiya, radiatsion kimyo kabi sohalarda qo'llaniladi.

### 109- §. Yadroviy nurlanishning kimyoviy va biologik ta'siri. Biologik himoya

**Nurlanishning kimyoviy ta'siri.** Yadroviy nurlanish moddadan o'tayotganida unda turli kimyoviy o'zgarishlarni yuzaga keltiradi. Nurlanish molekula yoki atomlarni ionlashi, uyg'otishi, dissotsiatsiyalashi mumkin. Bunda birlamchi nurlanish zarralari qanday turda (rentgen va  $\gamma$ -nurlar, elektronlar,  $\alpha$ -zarralar, protonlar, tez neytronlar) bo'lganda ham, molekularning kimyoviy o'zgarishiga ularning ikkilamchi (nurlanish ta'sirida yuzaga kelgan) elektronlar, bo'linish parchalari, tepki yadrolar,  $\gamma$ -kvantlar kabilar bilan o'zaro ta'sirlashishi sabab bo'ladi. Bunday o'zaro ta'sirning mahsulotlari: ionlar, erkin radikallar, uyg'ongan zarralar, odatda, boshqa molekular bilan kimyoviy reaksiyalarga kirishadi. Natijada moddaning kimyoviy tarkibi, fizik va kimyoviy



219- rasm.

xossalari o'zgarishi mumkin. Masalan, nurlanish ta'sirida polimerlar xossalari ularda ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy reaksiyalar tufayli o'zgaradi. Yadroviy nurlanish polimer molekularining tuzilishini o'zgartiruvchi bir qator kimyoviy reaksiyalarni, xususan, molekular orasida kimyoviy bog'lanishlar (birikish) (219- a, b, rasm), molekularning uzilishi (destruksiya) (219- d, rasm) (rasmda molekulaning boshlang'ich va oxirgi holatlari tasvirlangan), har qanday qo'sh bog'lanishlarning hosil bo'lishi va yo'qolishi, gazsimon mahsulotlar (vodorod va boshqalar)ning ajralishi va shu kabilarni yuzaga keltiradiki, bu, o'z navbatida, polimerlarning fizik xossalari o'zgarishiga olib keladi. Masalan, polietilen, tabiiy kauchuk, neylon kabi bir guruh polimerlar  $\gamma$ -nurlar bilan nurlantirilganda ularning uzilishga mustahkamligi va temperaturaga chidamliligi, materialning qattiqligi ortadi, eruvchanligi o'zgaradi. Boshqa bir guruh polimerlar, masalan, teflon, sellyuloza, butilkauchuk kabilari borki, nurlantirish oqibatida ularning xossalari yomonlashadi: tolalarning uzilish uzunligi hamda o'rtacha uzunligi qisqaradi, yopishqoqligi kamayadi va hokazo.

Yadroviy nurlanish ta'sirida moddada ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy o'zgarishlarni o'rganish ikki jihatdan ahamiyatga ega: 1. Radiatsion kimyoviy o'zgarishlar atom texnikasida yoki tabiatda bo'ladigan nurlanishlar maydonlarida ro'y beradi. Bunda eng asosiy maqsad — materiallar (atom reaktorlaridagi issiqlik uzatkichlar, nurlanish maydonlarida ishlatiladigan polimerlar va moylovchi materiallar hamda shu kabilari)ni imkoni boricha buzilish va yemirilishdan saqlash. 2. Muhim qimmatli yangi xossalarga ega materiallarni olish va yuqori samarali kimyoviy texnologik jarayonlarni yaratish.

**Nurlanishning biologik ta'siri.** Radiatsion nurlanish barcha tirik obyektlarga, eng oddiy (virus va bakteriyalar) dan tortib to insonlargacha, kuchli ta'sir qiladi, ularga shikast yetkazadi, hatto nobud qilishgacha olib keladi. Biologik obyektning nurlanishga **radiosezgirlik** deb ataladigan ta'sirchanligi va unda to'la yutilgan nurlanish dozasi obyektning shikastlanish darajasini aniqlaydigan asosiy omillardir.

Organizmning radiatsiya ta'sirida zararlanishi asosida molekulyar va hujayra strukturalari shikastlanishining birlamchi jarayonlari — atom hamda molekularning ionlashishi va shu tufayli ularning kimyoviy faolligining o'zgarishi yotadi. Buning oqibatida muhim biologik makromolekulalar — oqsillar, fermentlar, nuklein kislotalar,

polisaxaridlar va hokazolar nurlanish ta'sirida bir qator o'zgarishlarga, ko'proq qaytmas o'zgarishlarga duchor bo'ladi. Nurlanish ta'sirida biologik makromolekulalarda ularning biologik (fermentativ, gormonal va hokazo) faolligining yo'qolishi, depolimerlashish va, aksincha, yangi kimyoviy bog'lanishning hosil bo'lishi, dezaminlashish (kimyoviy birikmadan  $\text{NH}_2$  aminoguruhni yulib ajratish), radiatsion oksidlanish va shu kabi o'zgarishlar yuzaga keladi.

Aniqlanishicha, organizmning temperaturasini 0,001 gradusgagina ko'tara oladigan darajada yutilgan nurlanish dozasi organizm hujayralarining hayot faoliyatini izdan chiqarish uchun yetarli ekan. Tirik hujayraning turli qismlari radioaktiv nurlanishning bir xil dozasiqa nisbatan turlicha sezgir bo'ladi. Nurlanishga hujayralarning yadrolari, ayniqsa, tez bo'linadigan hujayralarning yadrolari sezgir bo'ladi.

Shuning uchun nurlanish, birinchi navbatda, organizmda ilikni shikastlaydi, buning natijasida qon hosil bo'lish jarayoni buziladi (qon saratoni kasalligiga duchor qiladi), nurlanish ovqat hazm qilish yo'lining hujayralariga — me'da va ichaklarning shilliq qatlamlariga ta'sir ko'rsatadi. Katta dozalardagi nurlanish nobud bo'lishga olib keladi, kamroq dozalarda esa qator kasalliklar (nur kasalligi) paydo bo'ladi.

**Biologik himoya.** Radioaktiv izotoplar, atom reaktorlari kabi radioaktiv nurlanish manbalari bilan ishlashda nurlanishning ta'sir doirasiga tushishi mumkin bo'lgan barcha ishlovchilarni nurlanishdan himoya qilish choralari ko'rish lozim. Radiatsion nurlanish intensivligi manbagacha bo'lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayishini nazarga olsak, muhofazaning eng oddiy usuli — odamlarni nurlanish manbayidan yetarlicha kattaroq masofaga uzoqlashtirishdir. Shu ma'noda radioaktiv preparatli ampulalarni qo'l bilan emas, balki uzun dastali qisqichlar bilan ushlab maqsadga muvofiqdir.

Radiatsiya manbayidan kerakli masofagacha uzoqlashtirishning imkoni bo'lmagan hollarda muhofaza qilish uchun nurlanishni yutuvchi materiallardan qilingan to'siqlardan foydalanish zarur.

Ma'lumki, «neytral nurlanish» hisoblanuvchi rentgen nurlari,  $\gamma$ -kvantlar va neytronlar oqimining moddalarga kiruvchanlik qobiliyati katta (97- § ga qarang). Shuning uchun ulardan muhofaza qilish ancha qiyin kechadi. Rentgen nurlari,  $\gamma$ -kvantlar Pb qo'rg'oshida eng ko'p yutiladi. Sekin neytronlar B borda va Cd

kadmiyda yaxshi yutiladi. Tez neytronlarni bu to'siqlarga yo'naltirishdan avval grafitda sekinlashtiriladi.

$\alpha$ -nurlanishdan himoyalaniş ancha sodda:  $\alpha$ -zarralarni bata-mom yutish uchun bir varaq qog'oz yoki bir necha santimetr qalinlikdagi havo qatlami yetarli, ammo radioaktiv manbalar bilan ishlayotganda nafas olish yoki ovqatlanish paytlarida  $\alpha$ -zarralarning organizm ichiga kirib ketishidan ehtiyot bo'lish kerak.

$\beta$ -nurlanishdan himoyalaniş uchun qalinligi bir necha santimetr bo'lgan alyuminiy, pleksiglas yoki shisha plastinkalar kifoya. Bu holda  $e^-$  — elektronlar modda bilan o'zaro ta'sirlashganda rentgen nurlanishining,  $e^+$  — pozitronlar modda bilan ta'sirlashganda esa bu zarralarning elektronlar bilan annigilyatsiyalanishida  $\gamma$ -nurlanishning hosil bo'lishini hisobga olish lozim.

### **110- §. Radioaktiv izotoplarni olish, ulardan nishonli atomlar va nurlanishlar manbayi sifatida foydalanish. Bu sohada O'zbekistonda qilinayotgan ishlar**

Hozirgi vaqtda fanda 107 ta kimyoviy element (106- va 107- elementlar birinchi marta sobiq Ittifoqda Dubna shahrida sintez qilingan) va ularning 1100 tadan ko'proq izotopi ma'lum. Bu izotoplarning 270 ga yaqini turg'un bo'lsa, 40 taga yaqini tabiiy radioaktivlik va 800 taga yaqini sun'iy radioaktivlik xossasiga ega.

Radioaktiv izotoplar ko'proq sun'iy yo'l bilan olinadi. Bunda yadro reaktorlari va elementar zarralar tezlatkichlaridan foydalaniladi. Yadro reaktorlari kanallarida kimyoviy elementlar nurlatilib, fosfor-32 ( $^{32}_{15}\text{P}$ ), molibden-99 ( $^{99}_{42}\text{Mo}$ ), texnisiy-99 ( $^{99}_{43}\text{Tc}$ ), oltin-198 ( $^{198}_{79}\text{Au}$ ), yod-131 ( $^{131}_{53}\text{J}$ ), yod-125 ( $^{125}_{53}\text{J}$ ), stronsiy-89 ( $^{89}_{38}\text{Sr}$ ), va boshqa shu kabi izotoplar olinadi. Elementar zarralar tezlatkichlari (siklotron)da kobalt-57 ( $^{57}_{27}\text{Co}$ ), palladiy-103 ( $^{103}_{46}\text{Pd}$ ), yod-123 ( $^{123}_{53}\text{J}$ ), va hokazo izotoplar olinadi. Bu izotoplar asosida fan va texnika, xalq xo'jaligi, tibbiyot tarmoqlarida ishlatiladigan radiokimyoviy birikmalar tayyorlanadi.

Har bir radioaktiv izotop faqat o'ziga xos, individual xarakterdagi nur chiqaradi va uning o'rtacha yashash vaqti ham shu izotopgagina xos bo'ladi. Radioizotoplarning atomlari ana shu

xossasi bilan boshqa izotoplar atomlaridan farq qiladi, u bamisoli «nishonlangan» bo‘ladi.

Hozirgi vaqtda fizik olimlar radioaktiv izotoplarni olish va ulardan hamda radioaktiv nurlanish energiyasidan fan va xalq xo‘jaligining turli sohalarida foydalanish maqsadida ilmiy va amaliy tadqiqot ishlari olib bormoqdalar. Jumladan, O‘zbekiston olimlari ham mana bir necha o‘n yildirki, shunday tadqiqot ishlari bilan shug‘ullanib kelmoqdalar. O‘zbek (fizik, genetik, fiziolog, biolog, tibbiyot, texnik, kimyogar) olimlari amalga oshirgan va oshirib kelayotgan ishlarning ba‘zilari bilan tanishib chiqsak, sun‘iy radioaktiv izotoplar va radioaktiv nurlanish energiyasidan qanday maqsadlarda va qanday usullar bilan foydalanish mumkinligi haqida tasavvur hosil qilamiz.

### **1. Radioaktiv nurlanish energiyasidan foydalanish.**

Sun‘iy radioaktiv izotoplar nurlayotgan yadro energiyasining qo‘llanishi g‘oyat turli-tumandir. Sanoat tarmoqlarida radioaktiv nurlanishdan ba‘zi texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarishda (gamma- rele, beta- rele), gazning sifati va bosimini aniqlashda, konveyerdan o‘tayotgan mahsulotni sanashda, po‘lat prokatning markirovkasini avtomatik tekshirib tartibga solishda va hokazolarda keng qo‘llaniladi. Masalan, respublikamizdagi Oltintopgan qo‘rg‘oshin-rux kombinatida pulpa (metallni ajratib olish yoki metall bilan boyitish uchun suv yoki suyuq erituvchilar bilan suyultirilgan mayin maydalangan ruda) zichligini radioaktiv asbob yordamida tekshirib, avtomatik tartibga solib turiladi. Bu esa konsentrat tarkibidagi mineralni ko‘paytirishga imkon beradi.

Radioaktiv nurlardan metallurgiya korxonalarida muvaffaqiyatli foydalanilmoqda. Radioaktiv nur yordamida metallning ichki tuzilishini ko‘zdan kechirish, metallda kavakchalar, darzlar, pufakchalar bor-yo‘qligini, quymaning bir tekis chiqqan-chiqmaganligini, payvandlangan chokning bir tekisligini va sifatligini aniqlash mumkin.

Kabelning ulangan joyini topadigan avtomat yaratildi. Unda qo‘llanilgan radioaktiv usul kabelning ulog‘ida gamma-nurlarning yutilishiga asoslangan.

Radioaktiv nurlanish energiyasidan farmatsevtika sanoatida dori preparatlarni, konserva ishlab chiqarishda mahsulotlarni sterillash maqsadida foydalaniladi.

Har doim ham yadro nurlanishlari ta‘siri zararli bo‘lavermaydi. Bundan tibbiyotda turli kasalliklarni davolashda foydalaniladi. Masa-

lan, inson organizmidagi zararli shishlarni terapevtik  $\gamma$ -nurlantirib, o'sishi to'xtatiladi.

Qishloq xo'jaligida radioaktiv izotoplar vositasida o'simliklarning tezpisharlik, sovuqqa chidamlilik, kasalliklarga qarshi barqarorlik va shu kabi ba'zi irsiy xususiyatlariga kerakli yo'nalishda o'zgarish kiritish maqsadida o'simliklarning urug'lari va o'zlari nurlantiriladi. Masalan, ekish oldidan chigitni gamma-nurlar va neytronlar bilan nurlantirish chigitning unuvchanligiga, g'o'zaning o'sib-rivojlanishiga, ko'sak tuguviga hamda chigitning seryog' bo'lishiga ijobiy ta'sir etishi isbotlandi.

Shuningdek, gamma-nurlar bilan ta'sir etilgan pillaning po'sti yaxshi tortilishi sababli ko'proq xom ipak chiqishi, tortishda ipak kam uzilishi, tortilib chiqadigan ipakning umumiy va uzluksiz uzunligining oshishi, gamma-nurlar bilan nurlatilgan tut bargi bilan boqilgan ipak qurtlarining pilla o'rashi ko'payishi, qurtlarning yashash qobiliyati yaxshilanishi aniqlandi.

## **2. «Nishonli atomlar» usulidan foydalanish.**

«Nishonli atomlar» usuli radioaktiv izotoplarning kimyoviy xossalari o'sha elementning radioaktiv bo'lmagan izotoplarining kimyoviy xossalaridan farq qilmasligiga asoslangan. Radioaktiv izotoplarni ularning nurlanishiga qarab osongina payqash mumkin. «Nishonli atomlar» usuli biologiya, fiziologiya, tibbiyot va boshqa sohalarda ko'plab muammolarni hal qilishda eng samarali usul bo'lib hisoblanadi. Bu usulning mohiyati quyidagidan iborat.

Yarim yemirilish davri katta bo'lmagan radioaktiv izotopning mikroskopik dozasi tekshirilayotgan sistema qismlarining biriga, masalan, o'simlik ildizi yaqinidagi tuproqqa, suv yoki havo oqimiga, tirik organizm to'qimalariga va hokazolarga kiritiladi. So'ngra radioaktiv nurlanish schyotchigi yoki boshqa biror qayd qiluvchi asbob yordamida berilgan sistemaga kiritilgan izotopning ko'chishi kuzatiladi. Bu kuzatishlarning natijalari tahlil qilinib, tekshirilayotgan sistemada o'tadigan jarayonlar to'g'risida boshqa bironta hozirgi usullar vositasida o'rganib bo'lmaydigan muhim ma'lumotlar olinadi.

Hozirgi kunda YaFI ning «Radiopreparat» korxonasi yod-131 bilan nishonlangan natriyli izotopik eritma, kapsulalarda natriyli yod, natriyli ortogippurat, albumin, albumin makroagregati kabi radiofarmatsevtik preparatlar ishlab chiqarilmoqda. Bu preparatlar organizmdagi qalqonsimon va so'lak bezlari, bosh

miyadagi, jigar va taloqdagi shishlar, sirroz, gepatit, o't pufagi va boshqa kasalliklarni tashxis qilish va davolash uchun ishlatiladi. Fosfor-32 izotopi bilan nishonlangan natriy fosfat in'eksion eritmasi suyak metastazi (mikroblar yoki shish hujayralarining qon yoki limfatik yo'li bilan boshlang'ich joyidan organizmning boshqa joylariga ko'chishi)ni tashxis qilish va davolashda qo'llaniladi va hokazo. Qishloq xo'jaligida fosfor-32 izotopi bilan nishonlangan qo'shsuperfosfat o'simliklarda fosforning migratsiyasini o'rganish uchun qo'llaniladi.

Ma'limki, neft va tabiiy gaz uzoq masofalarga po'lat quvurlar orqali uzatiladi. Biror sababga ko'ra (quvurlarning biron joyi darz ketishi yoki ular bir-biriga yaxshi ulanmaganligi, yoxud eskirib, zanglab ketishi sababli) quvurlardan gaz sizib chiqishi mumkin. Hozir gaz sizib chiqayotgan joyni tezda topish mumkin. Buning uchun quvur ichidan oqayotgan moddaga (bizning misolimizda gazga) ozgina radioaktiv qo'shimcha qo'shiladi. Gaz sizib chiqayotgan joyga yetganda radioaktiv izotop tuproqqa o'tadi, nurlanishni qayd etuvchi ko'chma asbob esa bu joyni darhol aniqlab beradi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkin, radioaktiv izotoplar va nurlanish energiyasining qo'llanilishi haqida yuqorida keltirilgan g'oyat qisqa ma'lumotlar ularning xalq xo'jaligidagi ahamiyati juda muhim ekanligini ko'rsatadi. Shu sababli hozirda ma'lum usullar va asboblardan yanada kengroq foydalanish va ularni takomillashtirish, yangilarini yaratish xalq xo'jaligi uchun nihoyatda muhim masalalardan hisoblanadi.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Yadro sintezi deganda nimani tushunasiz?*
2. *Termoyadro reaksiyasi deb qanday fizik jarayonga aytiladi?*
3. *Nima uchun deyteriy va tritiylar aralashmasida kechadigan termoyadro reaksiyasi eng samarali bo'ladi, deb hisoblanadi?*
4. *Litiy  ${}^6_3\text{Li}$  izotopidan tritiy  ${}^3_1\text{H}$  izotopini olish reaksiyasini yozing va tushuntiring.*
5. *Plazma moddaning qanday fizik holati?*
6. *Qanday sharoitda plazmani biror tayinli hajmda ushlab turish imkoniyati bor?*
7. *Toroidal magnit maydonda zaryadli zarraning harakatini tushuntiring. Uning harakat trayektoriyasi qanday ko'rinishda bo'ladi?*
8. *Tokomak qanday qurilma? Uning tuzilishini tushuntiring.*

9. Tokomakda plazma qanday hosil qilinadi va qanday ushlab turiladi?
10. Yadroviy nurlanish dozasi deb qanday kattalikka aytiladi? Nurlanish dozasining quvvati deb-chi?
11. Nurlanish dozasi va nurlanish dozasining quvvatining birliklarini tushuntiring.
12. Nurlanishning ekspozitsion dozasi deb nimaga aytiladi? Ekvivalent dozasi deb-chi? Ular qanday birliklarda o'lchanadi?
13. Dozimetrlar qanday asboblardir?
14. Yadroviy nurlanishning kimyoviy ta'sirini tushuntiring.
15. Yadroviy nurlanishning biologik ta'sirini tushuntiring.
16. Nurlanishdan biologik himoyani qanday amalga oshirish mumkin?
17. Radioaktiv izotoplar qanday olinadi?
18. Har bir radioaktiv izotopning o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?
19. Radioaktiv nurlanish energiyasidan sanoatda, metallurgiyada, farmatsevtikada, tibbiyotda va qishloq xo'jaligida qanday maqsadlarda foydalaniladi?
20. «Nishonli atomlar» usulining fizik mohiyatini tushuntiring.
21. Bu usuldan tibbiyotda, qishloq xo'jaligida qanday maqsadlarda foydalaniladi?

## IX bob. ELEMENTAR ZARRALAR HAQIDA TUSHUNCHA

---

### 111- §. Elementar zarralar tarkibi

VII va VIII boblarda elementar zarra deb ataladigan zarralar: protonlar, elektronlar, neytronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar haqida gap yuritildi.

*Elementar zarralar deb, fizika fanining hozirgi taraqqiyot bosqichida eng sodda, ma'lum ichki strukturaga ega bo'lmagan, faqat bitta zarradan tashkil topgan zarralarga aytiladi.*

1932- yilgacha elementar zarralarning soni uchta — elektron, proton va neytron edi. 1956- yilga kelib ularning soni 30 ga bordi. Hozirgi vaqtda barqaror bo'lgan va o'rtacha yashash vaqti  $10^{-7}$  s dan kam bo'lmagan (qiyosan barqaror bo'lgan) 39 ta elementar zarra mavjud. Bundan tashqari 300 dan ortiq qisqa muddat yashovchi zarralar kashf qilindi. Avvalo shu zarralarning kashf qilinishi bilan qisqacha tanishaylik.

**Elektron**  $e$  — birinchi elementar zarra bo'lib, atom tarkibiga kiradi. Uning mavjudligi haqida 1881- yilda Stoney (J.J. Stoni) oldindan postulat tarzida aytgan. 1897- yilda J.J. Tomson elektronning  $\frac{e}{m}$  solishtirma zaryadini o'lchab, elektronning mavjudligini eksperimental kashf etgan. Elektron barqaror zarra, uning yashash vaqti kamida  $10^{22}$  yilga teng ekanligi aniqlangan (qiyoslash uchun: bizning Koinot «atigi»  $2 \cdot 10^{10}$  yil yashar ekan).

**Proton**  $p$  — atom yadrosi tarkibiga kiruvchi birinchi elementar zarra bo'lib, 1919- yilda kashf etilgan. Lekin qaysi hodisani proton kashf qilingan hodisa deb aytish qiyin, chunki vodorod ioni sifatida u uzoq vaqtdan buyon ma'lum edi. Protonning kashf qilinishida 1911- yilda E. Rezerford yaratgan atomning planetar modeli ham, 1906—1919- yillarda J. Tomson, F. Soddi, F. Aston tomonidan izotoplarning ochilishi ham, azot yadrosidan alfa-zarralar urib chiqargan vodorod yadrolarini kuzatish ham rol o'ynaydi.

Proton ham barqaror zarra. Uning yashash vaqti  $10^{32}$  yildan kam emas ekan.

**Neytron**  $n$  — atom yadrosining tarkibiga kiruvchi ikkinchi elementar zarra bo'lib, uni 1932- yilda J. Chedvig kashf etgan.

Neytron faqat barqaror atom yadrolari tarkibidagina turg'undir. Erkin atom yadrosidan tashqarida neytron barqaror emas, uning o'rtacha yashash vaqti 15 minutga yaqin.

**Neytrino**  $\nu$ . Neytrinning mavjudligi haqidagi gipotezani 1930-yilda V. Pauli energiyaning saqlanish qonunini qutqarish maqsadida tavsiya qilgan edi. E. Fermining 1934- yilda yaratgan  $\beta$ -yemirilish nazariyasi (neytrino ishtirokida) eksperimentlarda tasdiqlandi. Biroq fiziklar neytrinoni «tutish»guncha 20 yildan ortiq vaqt o'tdi va, nihoyat, 1953- yilda F. Reynis va K. Kouen tomonidan atom reaktorida o'tkazilgan tajribalarda qayd etildi. Hozirgi vaqtda uning  $\nu_e$  — **elektron neytrino**,  $\nu_\mu$  — **myuon neytrino**,  $\nu_\tau$  — **taon neytrino** deb ataladigan uchta turi mavjud. Neytrino barqaror zarra.

**Myuon  $\mu$**  (yoki myu-mezon). Bu zarrani 1937- yilda K. Anderson va S. Nedermayyer kashf qilgan. Tabiatda ikki xil myuon uchraydi:  $\mu^-$  (myu-minus) — mezon va  $\mu^+$  (myu-plyus) — mezon.

**Pion  $\pi$**  (yoki pi-mezon). 1935- yilda X. Yukava nazariy yo'l bilan  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$  — pionlarni kiritgan.  $\pi^+$  — pionlarning haqiqatan ham mavjudligini 1947- yilda S. Pauell va J. Okkialini, neytral  $\pi^0$  — pionni esa 1950- yilda R. Berklund kashf etishgan.

1950- yillarda kashf qilingan  $\eta^0$  — **mezon** (eta-nol-mezon) ham myuonlar guruhiga kiradi.

XX asrning o'rtalariga kelib yana yangi 15 ta elementar zarra kashf etildi. Bu elementar zarralarni **kaonlar** (yoki ka-mezonlar) va **giperonlar** deb ataladi. Kaonlarga  $K^+$ -,  $K^-$ - va  $K^0$  — mezonlar kiradi. Giperonlarga esa  $\lambda^0$  — lambda giperon,  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^-$ ,  $\Sigma^0$  — sigma giperon,  $\Xi^+$ ,  $\Xi^0$ ,  $\Xi^-$  — ksi-giperon,  $\Omega^-$  — omega giperon kiradi.

Barcha kaon va giperonlar kuchli o'zaro ta'sir natijasida paydo bo'lib, kuchsiz o'zaro ta'sir natijasida yemiriladi (114- § ga qarang). Bundan tashqari ular juft-juft holda paydo bo'ladi. Shuningdek, tajribada kaonlarning hosil bo'lishi sharoitlarida va o'zaro ta'sir reaksiyalarida boshqa zarralardan farq qilishi aniqlandi. Masalan,  $K^+$  — kaon  $K^-$  — kaon bilan ham, giperonlar bilan ham birga paydo bo'lishi mumkin bo'lsa,  $K^-$  — kaon faqat  $K^+$  — kaon bilan birga vujudga kelishi mumkin ekan. Shuning uchun kaonlar va giperonlarning boshqa elementar zarralardan farqlanuvchi bunday tabiatini hisobga olib, ularni «g'alati» **zarralar** deb ataladi.

$\tau$  — **taon** (yoki tau-mezon). Bu zarra 1975- yilda kashf qilingan. Uning yashash vaqti faqat 1981- yildagina ancha aniq topildi —  $3,4 \cdot 10^{-13}$  s.

XX asrning 50—60- yillariga kelib o‘rtacha yashash vaqti juda qisqa ( $10^{-23}$ — $10^{-22}$  s) bo‘lgan zarralar kashf qilindi. Bu zarralarni **rezonans zarralar**, **rezonanslar** yoki **rezononlar** deb ataladi. Birinchi rezonansni 1952- yilda E. Fermi kashf qilgan. 1980- yilga kelib qayd qilingan rezonanslarning soni 300 dan ortib ketdi.

XX asrning 70—80- yillarida elementar zarralarning yangi guruhleri — og‘ir zarralar kashf qilindi. Ularning bir guruhi «**maftunkor**» zarralar, yana bir guruhi esa «**go‘zal**» zarralar deb ataladi. «Maftunkor» zarralar «g‘alati» zarralardan og‘irroq, «go‘zal» zarralar esa «maftunkor» zarralardan og‘irroqdir.

Elementar zarralar tarkibiga gravitonlar va fotonlar ham kiritiladi.

**Graviton**  $G$  gravitatsion o‘zaro ta’sirning tashuvchisidir. Gravitonning mavjudligi A. Eynshteynning tortishish nazariyasidan, kvant mexanika prinsiplaridan va nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadi. Ammo uni tajriba yo‘li bilan hali qayd qilinmagan. Gravitonni topish juda qiyin, chunki u modda bilan juda kuchsiz ta’sirlashadi.

**Foton**  $\gamma$  — elektromagnit maydon kvanti bo‘lib, u barcha elementar zarralar ichida eng keng tarqalgan zarradir. Foton ko‘rinuvchi yorug‘lik oqimida ham, rentgen nurlanishida ham, lazer impulslarida ham mavjud. 1964- yilda amerikalik radioastronomlar A. Penzias va R. Vilson olam fazosi millimetrli radioto‘lqinlar bilan to‘lganligini aniqladilar. Hozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra bu nurlanish koinot rivojlanishining ilk bosqichlarida modda temperaturasi va bosimi juda yuqori bo‘lganda vujudga kelgan. Aniqlanishicha, koinotda fotonlar protonlarga qaraganda milliard marta ko‘proq uchrar ekan.

Fotonni 1900- yilda M. Plank nazariy kashf qilgan. 1905- yilda A. Eynshteyn elektromagnit to‘lqin fotonlar oqimidan iborat, deb hisoblagan. 1922- yilda A. Kompton erkin elektronlarda rentgen nurlarining sochilishini o‘rganish bo‘yicha o‘tkazgan tajribalaridan so‘ng fizika faniga foton — yangi elementar zarra uzil-kesil kirib keldi.

Elementar zarralardan faqat uchitasi — elektron, proton va neytronlar asosiy zarralardir. Atomlar va umuman, bizni o‘rab olgan butun moddiy olam shu zarralardan tashkil topgan.

## **112- §. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi**

Barcha elementar zarralar massasi, elektr zaryadi, o‘rtacha yashash vaqti, spini va boshqa bir qator fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

1. *Elementar zarralar hamma holatda massaga ega.* Zarralarning harakatdagi  $m$  massasi ularning  $W$  to'liq energiyasi bilan bog'liq:

$$W^2 = c^2 p^2 + m_0^2 c^4 = m^2 c^2, \quad (179)$$

bunda:  $p$  — zarraning impulsi;  $m_0$  — tinch holatdagi massasi. Formuladan ko'rinadiki, elementar zarraning harakatdagi massasi impulsi o'zgarishi bilan o'zgarib boradi, demak,  $m \neq \text{const}$ . Shuning uchun elementar zarralar tinchlikdagi  $m_0$  massalari bilan xarakterlanadi. Bu massa zarraning  $W_0$  ichki energiyasi bilan bog'liq:

$$W_0 = m_0 c^2. \quad (180)$$

Tinchlikdagi massasi  $m_0 = 0$  bo'lgan zarra (masalan, foton, neytrino)larning energiyasi ularning impulsi bilan bog'liq:

$$W = cp. \quad (181)$$

2. *Elementar zarralarning ko'pi elektr zaryadiga ega.* Musbat va manfiy zaryadli zarralar bor. Ularning zaryadi  $e$  elementar zaryad birligida  $+1$  va  $-1$  ga teng; ikki yoki undan ko'p zaryadli zarralar mavjud emas. Zaryadsiz zarralar ham bor. Masalan, neytron, neytrino uchun  $q=0$ .

3. *Elementar zarralarning ko'pchiligi barqaror emas va o'rtacha yashash vaqti juda qisqa.* Bu zarralar hech qanday tashqi ta'sir bo'lmasa ham sekundning milliondan ikki ulushi ( $2 \cdot 10^{-6}$  s) dan ortiq vaqt davomida yashay olmaydi.

Faqat to'rtta zarra — foton, elektron, proton va neytrino barqarordir. Bu zarralardan har biri butun olamda yagona o'zi bo'lganda edi, o'zining o'zgarmasligini saqlashi mumkin edi.

4. *Barcha elementar zarralar spini bilan ham xarakterlanadi.* Ko'pchilik elementar zarralarning spini  $\hbar$  birligida ( $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ,  $h$  — Plank

doimiysi)  $\frac{1}{2}$  ga teng. Masalan, proton va neytronning spini  $\frac{1}{2}$ .

Spini 1 bo'lgan zarra (foton) bilan birga spini 0 bo'lgan zarralar ( $K$  — mezon,  $\pi$  — mezon,  $\eta$  — mezon) ham bor.

5. Elementar zarralarning xarakterli xususiyati yana shundaki: ular ikki — **zarra** va **antizarra** ko'rinishda namoyon bo'ladi. Zarra va antizarraning massasi, elektr zaryadining kattaligi, spini bir xil, ammo zaryadining ishorasi bilan farq qiladi, zaryadi yo'q bo'lganda esa spinlarining qarama-qarshi yo'nalganligi bilan farq qiladi.

Masalan, proton  $p$  va antiproton  $\tilde{p}$ , elektron  $e^-$  va pozitron  $e^+$ , neytron  $n$  va antineytron  $\tilde{n}$  zarra hamda antizarralarga misol bo'la oladi.

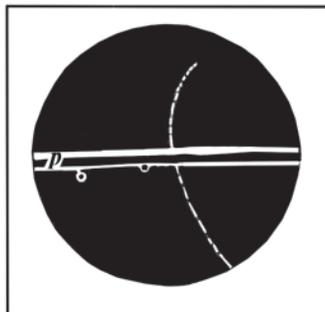
To'rtta zarra —  $\gamma$ -foton,  $\pi^0$ -mezon,  $K_1^0$ -mezon va  $K_2^0$ -mezonning antizarrasi mavjud emas. Bu zarralar **absolyut neytral zarralar** deb ataladi. Absolyut neytral tushunchasini zarraning elektr neytralligi bilan chalkashtirish kerak emas, chunki elektr jihatdan neytral zarraning antizarrasi bo'lishi mumkin (masalan, neytrino va antineytrino). Elektr zaryadining yo'qligi zarraning absolyut neytralligi uchun hali yetarli emas.

Antizarralar ichida pozitron nazariy aytilgan birinchi antizarradir. Pozitronning mavjud ekanligi P. Dirak tomonidan 1930-yilda aytilgan edi. Ikki yil o'tgandan so'ng 1932-yilda K. Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida pozitron mavjud ekanligi magnit maydonga joylashtirilgan Vilson kamerasi yordamida payqaldi.

220- rasmda zarraning qoldirgan ingichka izi (treki)ning fotosurati keltirilgan. Bunda zarra pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. P qo'rg'oshin plastinkadan o'tayotganida zarra energiyasining bir qismini yo'qotgani sababli plastinkadan yuqorida uning trayektoriyasining egrilanishi ortadi. Zarra trekinging egrilanish yo'nalishiga qarab zaryadining ishorasi musbat ekanligi,

egrilik radiusi va energiyasiga ko'ra  $\frac{e}{m}$  solishtirma zaryadi aniqlandi.

Bu nisbat kattalik jihatdan xuddi elektronniki singari bo'lib chiqdi. Keyinchalik pozitronning sun'iy radioaktivlikda va katta energiyali  $\gamma$  kvantlarning atom yadrolari bilan o'zaro ta'sirlashganda hosil bo'lishi aniqlandi.



220- rasm.

1955—1956- yillarda amerikalik fiziklar B. Kork, G. Lambertson, O. Pichchioni, V. Venzellar tezlatkichda antiproton bilan antineytronning hosil bo'lish jarayonlarini kuzatdilar. Eksperimentlar bu zarralarning faqat mavjudligini isbotlabgina qolmay, balki yana nazariy ma'lum bo'lgan xossalari ham tasdiqladi.

Keyinroq yuqori energiyali zarralar yadro reaksiyalarining mahsulotlari orasida **antideytronlar** (antiproton va *antineytron*dan tarkib topgan atom yadrosi) borligi aniqlandi. 1970- yilda Serpuxovoda (Rossiya) Yuqori energiyalar fizikasi institutida **antigeliy-3** (anti  ${}^3_2\text{He}$ ) yadrosi — ikkita antiproton va bitta antineytron tarkib topgan yadro sintez qilindi. Nazariy antiproton va antineytronlardan turli antiyadrolarni qurish, binobarin, bu antiyadrolarga pozitronlarni biriktirib, odatdagi barqaror atomlarga o'xshash barqaror antiatomlarni hosil qilish mumkin. Bu esa antinuklonlar va pozitronlardan tarkib topgan antimodda mavjud bo'lishi mumkinligini bildiradi. Lekin hozirgacha astrofizik kuzatishlar antimoddani qayd etmagan.

### **113- §. Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari. Annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishi**

Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashishi ularning bir-biriga aylanishiga olib keladi. Bu o'zgarish elementar zarraning o'z-o'zidan parchalanib, bir necha yengilroq zarralarga bo'linib ketishidan iborat bo'lishi mumkin. Foton, elektron, protonlar, elektron bilan myu-mezonning neytrinolari hamda bularga tegishli antizarralar bu hisobga kirmaydi, ular barqaror zarralardir. O'z-o'zidan parchalanish har bir zarraga xos bo'lgan qandaydir o'rtacha vaqt oralig'ida sodir bo'ladi va bu vaqt ***o'rtacha yashash vaqti*** deyiladi. O'z-o'zidan parchalanishdan tashqari zarralarning bir-biriga aylanishi ularning o'zaro to'qnashishlarida ham sodir bo'lishi mumkin.

Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi ularning xarakterli xossalariidan biridir.

*Barcha elementar zarralar bir-biriga aylanib turadi va bu o'zaro aylanishlar ular mavjudligining asosiy dalilidir.*

Zarra bilan antizarra o'zaro to'qnashganda boshqa elementar zarralarga aylanadi, bunda ularning ikkalasi ham avvalgi holdagi mavjudligini yo'qotadi. Bu jarayonni ***juftlarning annigilyatsiyasi***

deyiladi. Har bir annigilyatsiyada hosil boʻlgan zarralar toʻplami turlicha boʻlishi mumkin.

Juflarning annigilyatsiyasiga, masalan, proton va antiprotonning pi-nol-mezonga aylanishi:

$$p + \tilde{p} \rightarrow 2\pi^0,$$

yoki proton va antiprotonning neytron hamda antineytronga aylanishi:

$$p + \tilde{p} \rightarrow \tilde{n} + n,$$

yoxud elektron va pozitronlarning fotonlarga aylanishi:

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$$

jarayonlari misol boʻla oladi.

Annigilyatsiyaga teskari jarayonlar ham uchraydi. Bunday jarayonlar natijasida zarralar va ularga mos antizarralar paydo boʻladi. Bu jarayonni **juftlarning paydo boʻlishi** deb ataladi. Juftlarning hosil boʻlishi jarayoniga  $\gamma$ -fotonning elektron bilan taʼsirlashganda:

$$e^- + \gamma \rightarrow e^- + e^- + e^+,$$

ikki elektron oʻzaro toʻqnashganda:

$$e^- + e^- \rightarrow e^- + e^- + e^- + e^+$$

elektron bilan pozitronning hosil boʻlishi misol boʻla oladi.

«Annigilyatsiya» soʻzi «yoʻqolish» maʼnosini anglatrsa ham, bunda materiya butunlay yoʻqolmaydi, balki boshqa koʻrinishgagina oʻtadi. Masalan, elektron bilan pozitronning annigilyatsiyasida  $\gamma$ -fotonning hosil boʻlishida materiyaning zarra koʻrinishi maydon koʻrinishiga aylanganini koʻramiz.

Hozirgi vaqtda elementar zarralar fizikasida eksperimental ravishda annigilyatsiya va juftlarning hosil boʻlishidan tashqari koʻpgina aylanish jarayonlari aniqlangan. Ularda biror elementar zarralar boshqalariga aylanadi.

Atom yadrosi protonlar va neytronlardan tarkib topganini bilamiz; atom yadrosi tarkibiga boshqa hech qanday elementar zarralar kirmaydi.

Vaholanki, radioaktiv parchalanish natijasida yadrodan neytronlar va protonlardan tashqari yana  $\alpha$ -zarralar, elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar ajralib chiqadi.  $\alpha$ -zarralar

murakkab zarralar bo‘lib, yadroning o‘zida neytronlar va protonlardan hosil bo‘ladi.

Elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar yadroda qayerdan paydo bo‘lib qoladi, degan savol tug‘iladi. Yadroda ular yo‘q-ku. Demak, ular yadroning parchalanish jarayonida hosil bo‘ladi.

Hozirgi vaqtda yadro neytronlaridan birining protonga aylanishi natijasida elektronlar sochilishi aniqlangan:

$$n \rightarrow p + e^{-} + \tilde{\nu}_e,$$

bunda yana  $\tilde{\nu}_e$  elektron antineytrinosi hosil bo‘ladi.

Shuningdek, atom yadrosidagi proton pozitron va neytrino chiqarib, neytronga aylanishi mumkin:

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu_e.$$

Shunday qilib, bir-biriga aylana olish elementar zarralarning eng xarakterli belgisidir. *Elementar zarralar bo‘linmaydi, ular bir-biriga aylanish xususiyatiga ega.*

Elementar zarralardagi barcha o‘zgarishlar massa, energiya, impuls, impuls momenti, elektr zaryadining saqlanish qonunlariga qat’iy bo‘ysunadi. Bundan tashqari yadro fizikasi va elementar zarralar fizikasida mavjud bir qator maxsus saqlanish qonunlari, shuningdek, massa va energiyaning o‘zaro proporsionallik qonuni ham qat’iy bajariladi.

Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi mikrodunyoda yuz beradigan hodisalarning nihoyat darajada ko‘p va xilma-xilligiga sababdir, shu bilan birga materiyaning xossalari bepoyon ekanligidan dalolat beradi.

## 114- §. Elementar zarralar sinflari

Yadro reaksiyalarini va yuqori energiyali zarralarning o‘zaro ta’sirini o‘rganish bo‘yicha o‘tkazilgan juda katta tadqiqot ishlari natijasida olingan eksperimental ma’lumotlar to‘plami hozirgi vaqtgacha ma’lum bo‘lgan elementar zarralarni tegishli sinflarga ajratishga imkon berdi.

Barcha elementar zarralar tinch holatdagi  $m_0$  massalarining ketma-ket ortib borishi tartibida va ularning bir qancha umumiy xususiyatlarini e’tiborga olgan holda to‘rtta sinfga ajratiladi (jadvalga qarang. Rezonanslar jadvalga kiritilmagan):

1. Fotonlar ( $m_0=0$ ).
2. Leptonlar yoki yengil zarralar ( $0 < m_0 < m_e$ ).

3. Mezonlar yoki o'rtta og'irlikdagi zarralar ( $m_e < m_o < m_p$ ).

4. Barionlar yoki og'ir zarralar ( $m_p < m_o < m_d$ ).

Bu yerda  $m_e, m_p$  va  $m_d$  mos ravishda elektron, proton va deutron (og'ir vodorod yadrosi  ${}^2_1\text{H}$ ) ning tinch holatdagi massalari. Barionlar, o'z navbatida, yana nuklonlar va giperonlarga bo'linadi.

Tau-mezonning ko'p xossalari leptonlar xossalariga yaqin bo'lgani sababli, u og'ir zarra bo'lsa ham leptonlar sinfiga kiritilgan. Jadvalda keltirilgan barcha zarralarning ba'zi xarakteristikalari berilgan: zarralarning massasi (elektronning tinch holatdagi massasi birligida):

Jadval

Zarralarning nomi		zarra	anti-zarra	Massasi, elektron massasi hisobida	Elektr zaryadi, $e$ hisobida	O'rtacha yashash vaqti, sekundlarda	Spini $\hbar$ birligida	
Foton		$\gamma$	$\gamma$	0	0	stabil	1	
Leptonlar	Elektron neytrinosi	$\nu_e$	$\bar{\nu}_e$	0	0	stabil	1/2	
	Myu-mezon neytrinosi	$\nu_\mu$	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	stabil	1/2	
	Tau-mezon neytrinosi	$\nu_\tau$	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	stabil	1/2	
	Elektron	$e^-$	$e^+$	1	-1	stabil	1/2	
	Myu-minus-mezon	$\mu^-$	$\mu^+$	206,7	-1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	1/2	
	Tau-minus-mezon	$\tau^-$	$\tau^+$	352,8	-1	$2,8 \cdot 10^{-13}$	1/2	
Mezonlar	Pi-nol-mezon	$\pi^0$	$\pi^0$	264,1	0	$0,8 \cdot 10^{-16}$	0	
	Pi-plus-mezon	$\pi^+$	$\pi^-$	273,1	+1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	0	
	Ka-plus-mezon	$\kappa^+$	$\kappa^-$	966,4	+1	$1,22 \cdot 10^{-8}$	0	
	Ka-nol-mezon	$\kappa^0$	$\bar{\kappa}^0$	974,2	0	$1 \cdot 10^{-10}$	0	
	Eta-nol-mezon	$\eta^0$	$\eta^0$	1074	0	$10^{-19}$	0	
Barionlar	Nuklonlar	Proton	$p$	$\bar{p}$	1836,1	+1	stabil	1/2
		Neytron	$n$	$\bar{n}$	1838,6	0	$1,01 \cdot 10^3$	1/2
	Giperonlar	Lyambida-nol-gi peron	$\Lambda^0$	$\bar{\Lambda}^0$	2183	0	$2,5 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Sigma-plus-gi peron	$\Sigma^+$	$\bar{\Sigma}^+$	2327,7	+1	$8,1 \cdot 10^{-11}$	1/2
		Sigma-nol-gi peron	$\Sigma^0$	$\bar{\Sigma}^0$	2331,8	0	$10^{-14}$	1/2
		Sigma-minus-gi peron	$\Sigma^-$	$\bar{\Sigma}^-$	2340,6	-1	$1,65 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Ksi-nol-gi peron	$\Xi^0$	$\bar{\Xi}^0$	2572	0	$3 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Ksi-minus-gi peron	$\Xi^-$	$\bar{\Xi}^-$	2585	-1	$1,75 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Omega-minus-gi peron	$\Omega^-$	$\bar{\Omega}^-$	3273	-1	$1,5 \cdot 10^{-10}$	3/2

elementar zaryadi ( $e$  elementar zaryad birligida); spini ( $\hbar$  birligida,  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ,  $h$  — Plank doimiysi); oʻrtacha yashash vaqti (sekundlarda) ifodalangan.

Shuni qayd etib oʻtish kerakki, elementar zarralar jadvalda keltirilgan kattaliklardan tashqari yana bir qator kattaliklar bilan ham xarakterlanadi. Masalan, barionlarga **barion zaryadi**, leptonlarga **lepton zaryadi** mansub deb hisoblanadi. Gʻalati zarralarning gʻalati xossalari tavsiflash uchun **gʻalatilik** kvant soni kiritilgan va hokazo.

Biror jarayonning taqiqlanishiga biror saqlanish qonuni asos boʻladi. Masalan, barion zaryadining saqlanish qonuni protonning barqarorligini taʼminlaydi. Haqiqatan ham:

$$p = e^+ + \nu + \bar{\nu}$$

jarayonini barion zaryadining saqlanish qonunidan tashqari barcha saqlanish qonunlari taqiqlamaydi. Bu jarayonning ketishini faqat barion zaryadining saqlanish qonuni taqiqlaydi, aks holda bu jarayon atomlarning annigilyatsiyasiga olib kelar edi.

Shuningdek, leptonlar bilan boʻladigan jarayonlarda lepton zaryadining saqlanish qonuni bajariladi. Gʻalatilikning saqlanish qonuni esa gʻalati zarralarning yakka holda paydo boʻlishini taqiqlaydi.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Elementar zarra nima?*
2. *Qanday elementar zarralarni bilasiz?*
3. *Atrofimizdagi butun moddiy olam qanday zarralardan tarkib topgan? Biz-chi?*
4. *Nima uchun kaonlarni va giperonlarni «gʻalati» zarralar deyiladi?*
5. *Foton ham zarrami? U qanday kashf qilingan?*
6. *Elementar zarralarni xarakterlovchi asosiy kattaliklarni ayting va tushuntiring.*
7. *«Antizarralar» qanday zarralar?*
8. *Absolyut neytral zarralar deganda qanday zarralar nazarda tutiladi? Ularga qaysi zarralar kiradi?*
9. *Pozitron qanday kashf qilingan?*
10. *Antideytron qanday zarralardan tarkib topgan? Antigeliy-chi?*
11. *Zarralarning oʻrtacha yashash vaqti deganda nima tushuniladi?*
12. *Zarralarning annigilyatsiyasi qanday jarayon? Misollar keltiring.*

13. Juftlarning hosil bo'lishi qanday jarayon? Misollar keltiring.
14. Elementar zarralarning o'zaro aylanishiga asoslanib radioaktiv yemirilishda yadrodan neytrino yoki antineytrino va elektron yoki pozitronlarning uchib chiqishini qanday tushuntirish mumkin?
15. Elementar zarralar qanday sinflarga bo'linadi?
16. Barqaror zarralarga qaysi zarralar kiradi?

## 115- §. Elementar zarralarning kvark modeli. Glyuonlar

Yuqoridagi paragraflarda qayd etilganidek, hozirgi vaqtga kelib elementar zarralarning soni ko'payib ketdi. Bundan tashqari elementar zarralar bir qator kattaliklar bilan xarakterlanadi. Bundan elementar zarralarning elementarligiga shubha tug'ila boshlandi: olimlar zarralarning hammasi ham birday me'yorda elementar emas, degan fikrga kela boshladilar. Yuksak energiyali elektronlarning vodorod va deyeriy yadrolarida sochilishi bo'yicha o'tkazilgan eksperimentlar natijalariga asoslanib, elementar zarralar ham atomlar kabi murakkab tuzilishga ega, degan xulosaga kelindi.

1964- yilda bir-biridan mustaqil ravishda amerikalik fiziklar M. Gell-Mann va J. Sveyglar tomonidan yadroviy o'zaro ta'sirda qatnashuvchi barcha zarralar (ularni **adronlar** deb ataladi) yanada fundamental (birlamchi) zarralar — **kvarklardan** tuzilgan, degan gipoteza o'rtaga tashlandi. Dastlab uchta kvark va ularga mos uchta antikvarkning mavjudligi haqida gipoteza oldinga surildi. Keyinchalik hamma adronlarni tavsiflash uchun uchta kvark va uchta antikvark yetarli emasligi ma'lum bo'ldi.

1974- yilda yangi turdagi kvark va antikvarkdan iborat psi-mezonlar kashf etildi. Bu to'rtinchi kvark bo'lib, unga **maftun kvark** degan nom berildi. 1977- yilda kvark va beshinchi turdagi antikvarklardan iborat epsilon-mezonlar kashf etildi. Yangi kvark **go'zal kvark** nomini oldi. Oltinchi kvarkdan tashkil topgan elementar zarra hali qayd qilinmagan. Lekin bu zarrani qidirish bo'yicha ko'pgina ishlar olib borilmoqda.

Kvarklarning elektr zaryadi  $e$  elementar zaryaddan kichik. Antikvarklarning elektr zaryadi esa kvarklarnikidan faqat ishorasining teskariligi bilan farqlanadi. Barcha kvarklarning spini  $\hbar$  birligida  $\frac{1}{2}$  ga teng. Kvarklar spindan tashqari «**xid**» («**aromat**») va «**rang**»ga

ega. Har bir kvark shartli ravishda «qizil», «ko‘k» va «sariq» deb ataladigan uch «rang»li (antikvarklar mos ravishda «antiqizil», «antiko‘k» va «antisariq» uch «antirang»li) holatlardan birida bo‘lishi mumkin.

«Kvarklarning rangi» tushunchasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri tushunish kerak emas, bu atamalar qulaylik uchun kiritilgan bo‘lib, optik xossalarga aloqasi yo‘q — barcha uch «rang»li holat yorug‘lik kvantlarini bir xilda yutadi va chiqaradi. Barcha «rang»li holatlarning massasi ham qat‘iy bir xil.

Har bir kvark turini «**kvark aromati**» deyiladi. Demak, kvarkning oltita aromati mavjud ekan. Har xil aromatli kvarklarning xossalari turlicha, shuning uchun ular massalari ortib borishi tartibida har xil harflar bilan belgilanadi:  $u, d, s, c, b, t$ .  $d$ -,  $s$ - va  $b$ - kvarklarning elektr zaryadlari  $e$  elementar zaryad birligida  $-\frac{1}{3}$  ga teng, qolgan  $u$ -,  $c$ - va  $t$ - kvarklarning zaryadi  $+\frac{2}{3}$  ga teng.

1969- yilda J.Sveyg adronlarning kvark modelini tavsiya qildi. Bu modelga ko‘ra barionlar uchta kvarkdan, shunga mos ravishda antibarionlar uchta antikvarkdan tuzilgan. Masalan, proton ikkita  $u$ -kvarkdan va bitta  $d$ -kvarkdan ( $p = uud$ ), antiproton esa ikkita  $\bar{u}$ -antikvarkdan va bitta  $\bar{d}$ -antikvarkdan ( $\bar{p} = \bar{u}\bar{u}\bar{d}$ ) tarkib topgan. Mezonlar kvark va antikvarklardan tarkib topgan. Masalan,  $\pi^+$ -mezon  $u$ -kvarkdan va  $\bar{d}$  antikvarkdan ( $\pi^+ = u\bar{d}$ ),  $\pi^-$ -mezon esa  $d$ -kvarkdan va  $\bar{u}$ -antikvarkdan ( $\pi^- = d\bar{u}$ ) tuzilgan.

Ko‘p (qariyb 20) yillik izlanishlarga qaramay hech bir kvark, xoh yengili, xoh og‘iri hali biror marta erkin holda kuzatilmagan. Kvarklarni faqat adronlar ichida kuzatish mumkin. Kvarklar orasidagi o‘zaro ta’sir  $g$  **glyuonlar** («yelim» ma’nosidagi ingliz so‘zidan) vositasida amalga oshiriladi. Glyuonlar —kvarklar rangini tashuvchi va kuchli o‘zaro ta’sirni amalga oshiruvchi zarralardir.

Bir «rang»li kvark o‘zidan glyuon chiqarib, boshqa «rang»li kvarkka aylanishi mumkin. Glyuonlar va kvarklar nazariyasiga **kvant xromodinamikasi** deyiladi. Bu nazariyaga ko‘ra rang tashuvchi 8 ta turli glyuon mavjud ekan. Glyuonlar adronlarning paydo bo‘lishi va yo‘qolishi reaksiyalarining oraliq bosqichlarida namoyon bo‘ladi. Eksperimentda glyuonlar hosil qilgan adron oqimlari qayd etilgan. Kvarklar va glyuonlar nazariyasi bashorat qilgan barcha narsalar

tajriba natijalariga mos tushganligi sababli glyuonlarning mavjudligiga deyarli shubha yo‘q.

Shunday qilib, hozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra adronlar haqiqiy elementar zarralar hisoblanmaydi. Ular chekli o‘lcham va murakkab tuzilishga ega. Leptonlar ham, kvarklar ham ichki strukturaga ega emas. Bu ma‘noda leptonlar va kvarklar haqiqiy elementar zarralar deb hisoblanishi mumkin. Ularga yana elektromagnit maydon kvanti — fotonni, kvarklararo maydon zarralari — glyuonlarni va, nihoyat, kuchsiz o‘zaro ta‘sir (116- § ga qarang) maydonining kvantlari — **vektor** (yoki **oralik**) **bozonlarni** qo‘shimcha qilish kerak.

### **116- §. Elementar zarralarning o‘zaro ta‘sir turlari. Fizikaviy ta‘sir turlarining birlashgan nazariyasi haqida tushuncha**

Hozirgi vaqtda elementar zarralar orasida ta‘sir qiladigan va shu bilan tabiatdagi barcha hodisalarni belgilab beradigan kuchlarning to‘rt turi mavjud. Bular gravitatsion, elektromagnit, kuchsiz va kuchli o‘zaro ta‘sir kuchlari.

1. **Gravitatsion o‘zaro ta‘sir.** Bu ta‘sir hamma elementar zarralar uchun universal xarakterga ega. Gravitatsion o‘zaro ta‘sir gravitonlar vositasida uzatiladi. Ta‘sir doirasining radiusi cheksiz katta ( $r \approx \infty$ ), ta‘sir vaqti  $t \approx 10^9$  yil. Elementar zarralar uchun gravitatsion o‘zaro ta‘sir shunchalik sustki, bu ta‘sirning yadro fizikasi va elementar zarralar fizikasida sezilarli roli yo‘q.

2. **Elektromagnit o‘zaro ta‘sir.** Bu ta‘sirda elektr zaryadga ega barcha zarralar ishtirok etadi. Elektromagnit o‘zaro ta‘sir fotonlar vositasida uzatiladi. Yadroda protonlarning kulon itarilishi, elektron-pozitron juftlarining annigilyatsiyasi va hosil bo‘lishi va shu kabi jarayonlarni elektromagnit o‘zaro ta‘sir bilan tushuntiriladi. Elektromagnit o‘zaro ta‘sirning ta‘sir vaqti  $10^{-21} \div 10^{-18}$  s, ta‘sir doirasining radiusi cheksiz katta ( $r \approx \infty$ ).

3. **Kuchli o‘zaro ta‘sir.** Bunday ta‘sirda mezonlar va barionlar ishtirok etadi. Kuchli o‘zaro ta‘sirda bo‘ladigan elementar zarralarni adronlar deb ataladi (adronlarga rezonanslar ham kiradi). Atom yadrosi nuklonlari orasidagi yadro kuchlari, yuqori energiyalarda o‘tadigan yadroviy ta‘sirlarda mezonlarning hosil bo‘lish jarayonlari kuchli o‘zaro ta‘sirga misol bo‘la oladi. Yadroda nuklonlarni, adronlar ichida kvarklarni kuchli o‘zaro ta‘sir glyuonlar vositasida

biriktirib turadi. Bunday ta'sirning vaqti  $10^{-23} \div 10^{-22}$  s, ta'sir doirasining radiusi  $r \approx 10^{-15}$  m.

4. **Kuchsiz o'zaro ta'sir.** Kuchsiz o'zaro ta'sirda fotonlardan tashqari barcha elementar zarralar ishtirok etadi. Kuchsiz o'zaro ta'sir turli xil kvarklar orasidagi o'tishlarni yuzaga keltiradi, xususan, yadrolarda nuklonlarning  $\beta$ -yemirilishini aniqlaydi.  $\beta$ -yemirilishda nuklonni tashkil qilgan uchta kvarkdan bittasi boshqa tur kvarkka o'tadi va elektronlar hamda antineytrinoni nurlaydi. Kuchsiz o'zaro ta'sir, shuningdek, turli xil leptonlar orasidagi o'zaro o'tishlarni, masalan, myuonning elektron, neytrino va antineytrinoga yemirilishini keltirib chiqaradi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir ham, kuchli o'zaro ta'sir kabi juda yaqin masofada ( $r \approx 10^{-18}$  m) ta'sir qiladi, ta'sir vaqti  $10^{-9}$  s. Kuchsiz o'zaro ta'sir protondan 100 marta og'irroq o'ta massiv zarralar — **oraliq bozonlar** yoki **vektor bozonlar** deb ataladigan zarralar vositasida uzatiladi. Bu zarralar 1983- yilda Bern (Shveysariya)da ulkan energiyaga ega bo'lgan o'zaro uchrashuvchi proton va antiproton dastalarida kashf etilgan.

Shunday qilib, tabiatdagi o'zaro ta'sirlar maxsus zarralar almashinishi bilan sodir bo'ladi. Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashuvida ishtirok qiladigan oraliq zarralarga **virtual zarralar** deyiladi.

Fizikaviy o'zaro ta'sirlarning zarralar vositasida almashinish xarakteri ularning **birlashgan nazariyasini** yaratish imkoniyatini beradi. Hozirgi vaqtda fizik olimlar tabiat kuchlari orasidagi bog'lanishni aniqlashga harakat qilmoqdalar.

1958- yildayoq A.Salam kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarni birlashtirish haqidagi g'oyani ilgari surdi. 1967- yilda S. Vaynberg kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning yagona modelini tavsiya etdi. 1968- yili A. Salam S. Vaynbergdan mustaqil ravishda kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning birlashgan nazariyasini ishlab chiqdi. 1970- yilda esa Sh. Gleshou Vaynberg-Salam nazariyasini rivojlantirdi. Shu yo'sinda birlashgan nazariya — **elektr kuchsiz kuchlar nazariyasi** yaratildi. Bu nazariyani batamom isbot qilingan deb bo'lmaydi, biroq uning asosiy g'oyasi ko'p tajribalar bilan tekshirilgan. Bu g'oyaning mazmuniga ko'ra elektromagnit maydon yanada umumiyroq bo'lgan elektr kuchsiz maydonning bir qismidir.

Elektr kuchsiz maydon esa bir necha shakllar yoki komponentlardan iborat. Bu maydondagi barcha komponentlar elektromagnit maydondagidan to'rt marta ortiq. Elementar

zarralar — kvarklar va leptonlar elektr kuchsiz maydon kvantlari — fotonlar va vektor — bozonlarni nurlaydi va yutadi. Bozonlarning massasi elektr kuchsiz kuchlar nazariyasining hisoblariga juda mos keladi. Bu hol elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarning birligi to‘g‘risidagi yangi ishonarli dalil hisoblanadi. Kuchsiz kuchlarning ta’sir doirasi radiusi  $10^{-18}$  m. Bu masshtabda ular elektromagnit kuchlar bilan qo‘shilib ketadi.

1972- yilda Sh. Gleshou G. Jorji bilan birga, 1973—1974-yillarda A. Salam kuchli, elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarni o‘z ichiga olgan **buyuk birlashish nazariyasini** tavsiya etdilar. Hozir olimlar bu masala ustida jadal ishlamoqdalar. Ko‘p gipotezalar ilgari surilgan. Ko‘pchilik gipotezalarga ko‘ra elektr kuchsiz ta’sirlar kuchli o‘zaro ta’sirlar bilan taxminan  $10^{-32}$  m masofalarda qo‘shilib ketadi. Bunday kichik masshtablarda eksperiment o‘tkazish juda katta energiyani talab etadi. Hozircha tezlatkichlarda bunday energiyaga erishilganicha yo‘q.

A. Eynshteyn va V. Geyzenberglar o‘z vaqtida maydonning yagona birlashgan nazariyasi ustida ish olib borganlar. Eynshteyn elektromagnit o‘zaro ta’sir bilan gravitatsion o‘zaro ta’sirni birlashtirish mumkin ekanligini aytgan edi.

Endi elektromagnit, kuchli va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarni va, ehtimol, gravitatsion o‘zaro ta’sirlarning ham birlashishini nazarda tutsak, bu endi **superbirlashish** bo‘ladi, deb aytish mumkin. Tabiatning to‘rt kuchi qandaydir fundamental prinsipga asoslanib yagona kuchga keltiriladi.

Shunday qilib, fiziklar tabiatdagi barcha kuchlarning yagona birlashishini topishga intilmoqdalar. Bu sohada anchagina ishni qilishga ulgurdilar. Superbirlashish hali tajribada tekshirilmagan. Lekin uning muvaffaqiyatlari kelajakda materiyaning yagona nazariyasini yaratishga katta yo‘l ochgan bo‘lur edi.

## **117- §. Kosmik nurlar haqida tushuncha. Birlamchi kosmik nurlar**

Kosmik fazodan Yerga juda katta energiyali zarralar oqimi kelishini ko‘pgina kuzatishlar ko‘rsatadi. Bu zarralar oqimini **kosmik nurlar** deb ataladi.

Kosmik nurlarning mavjudligi XX asrning boshlarida quruq havoning ionlanishini o‘rganishda payqalgan. Tajribalarning ko‘rsatishicha, zaryadlangan elektroskop qalin qo‘rg‘oshin g‘ilof ichiga

joylashtirilganligiga qaramay o'z zaryadini yo'qotadi. Bu hodisaning sababini o'rganish kelib chiqishi Yerdan tashqarida bo'lgan, kuchli o'tuvchanlik qobiliyatiga ega ionlashtiruvchi nurlanishning mavjudligini aniqlashga olib keldi. Bu nurlanish Yerga kosmik fazodan kelishini avstriyalik olim V. Gess tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar tasdiqlaydi.

1912- yilda V. Gess har xil balandliklardagi ionlashtiruvchi nurlanishning intensivligini aniqlash maqsadida qayd qiluvchi asboblardan biri bilan jihozlangan havo sharini uchirdi. (Kosmik nurlarning intensivligi deganda, birlik yuzadan bir sekundda o'tayotgan zarralar soni — zarralar oqimining zichligi tushuniladi). Shar 5 km balandlikka ko'tarildi. Shunday balandlikda nurlanishning intensivligi dengiz sathidagiga qaraganda ancha kuchli ekanligi aniqlandi.

Gess bunday natijaga asoslanib, havoni ionlashtiruvchi nurlanishning manbai Yer atmosferasidan tashqarida bo'lishi kerak, degan xulosaga keldi. Keyingi tadqiqotlar bu xulosaning to'g'riligini to'la tasdiqladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kosmik nurlar ta'sirida havoning ionlanish intensivligi Yerning sutkalik aylanishiga bog'liq emas ekan. Bu hol kosmik nurlanish Yerga kosmik fazoning barcha yo'nalishdagi sohalaridan kelishini bildiradi.

Kosmik nurlarni tadqiq etishda 100- § da bayon etilgan zarralarni kuzatish va qayd etish usullaridan foydalaniladi.

*Olam fazosidan Yer atmosferasiga kirib keladigan kosmik nurlarni birlamchi kosmik nurlar deb ataladi.* Kosmik nurlarning har xil balandliklardagi va har xil geografik kengliklardagi tarkibini aniqlash maqsadida ko'p tadqiqotlar o'tkazilib, ancha ma'lumot to'plangan. Birlamchi kosmik nurlarning kimyoviy tarkibini o'rganish va tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Yer atmosferasi chegarasida birlamchi kosmik nurlar turli massa soniga ega va bitta nukloniga taxminan  $10^9 \div 10^{20}$  eV tartibida energiya mos keladigan atom yadrolaridan tarkib topgan ekan. Shuningdek,  $10^{13}$  eV dan kichik energiyali birlamchi kosmik nurlarning 90 foizi protonlardan, taxminan 9 foizi geliy atomi yadrolaridan va qolgan 1 foizi esa og'irroq (litiy, berilliy, bor, uglerod va hokazo, to'g'ri zaryad soni  $z = 41$  bo'lgan niobiy) elementlarining yadrolaridan iboratdir.

Birlamchi kosmik nurlarning kelib chiqishi haqida bir necha gipotezalar mavjud. Bu gipotezalar birlamchi kosmik nurlar energiyasi haqidagi ma'lumotlarga hamda radioastronomik ma'lumotlarga asoslanadi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlar o'ta yangi yulduzlarning chaqnashi (potrlashi)dan hosil bo'ladi, degan gipotezani haqiqatga

yaqinroq deb hisoblanadi. Galaktikamizda bir necha yuz yilda bir marta bo‘ladigan bahaybat portlash — o‘ta yangi yulduz paydo bo‘lishidir. Shu portlash paytida og‘ir element yadrolari yemirilib, protonlar,  $\alpha$ -zarralar va boshqa yengil yadrolar — birlamchi kosmik nurlar hosil qiladi.

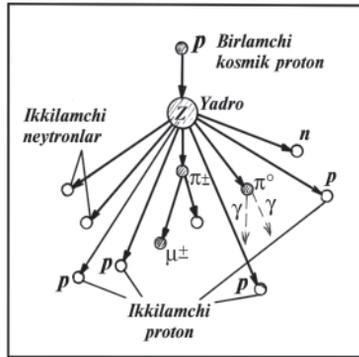
Kosmik nurlarning Yerga keltiradigan energiyasi uncha katta emas. Lekin birlamchi kosmik nurlarning ba’zi zarralari ulkan energiyaga ( $10^{19}$ – $10^{20}$  eV tartibida) ega. Shunga qaramay, ularning faqat oz qismigina Yer sirtiga yetib kela oladi. Bunga, birinchidan, Yerning magnit maydoni, ikkinchidan, Yer atmosferasi jiddiy to‘siq bo‘ladi. Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer magnit maydonida magnit kuch chiziqlariga ko‘ndalang ravishda harakat qilishida ularga harakat trayektoriyasini egrilovchi Lorens kuchi ta’sir qiladi. Past energiyali zarralarning trayektoriyasi kuchli egrilanadi, natijada magnit maydon bo‘lmagan taqdirda Yerga yetib kelishi mumkin bo‘lgan ayrim zarralar og‘adi, Yerga yetib kelishi mumkin bo‘lmagan zarralar Yerga tomon yo‘naladi, uchinchi xil zarralar esa Yer shari atrofida murakkab trayektoriya bo‘yicha aylanadi.

Birlamchi kosmik nurlanishning har qanday energiyali zarralari uchun Yer atmosferasi bartaraf qilib bo‘lmaydigan to‘siq hisoblanadi.

Gap shundaki, birlamchi kosmik nurlar Yer atmosferasiga kirganda atmosferaning yuqori qatlamlarida havoning azot va kislorod atomlari yadrolari bilan asosan noelastik to‘qnashib, o‘zining katta energiyasini yo‘qotadi. Bunday to‘qnashishlar yadro reaksiyalariga olib keladi, bu reaksiyalar natijasida yangi zarralar hosil bo‘ladi.

## **118- §. Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar**

Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer atmosferasidagi havo atomlari yadrolari bilan o‘zaro to‘qnashishi tufayli sodir bo‘ladigan yadro reaksiyalari natijasida *ikkilamchi kosmik nurlar* deb ataladigan zarralar oqimi vujudga keladi. Zarralarning bu oqimi tez protonlar, neytronlar,  $\alpha$ -zarralar,  $\pi$ -mezonlar va yadrolarning bo‘laklaridan iborat. Ikkilamchi protonlar va neytronlar yangi yadrolar bilan to‘qnashib, yana yangi zarralar oqimini hosil qiladi. Yadroviy portlashning har keyingi bosqichida zarralar ko‘payaveradi — *kaskadli yadro quyuni* vujudga keladi.



221- rasm.

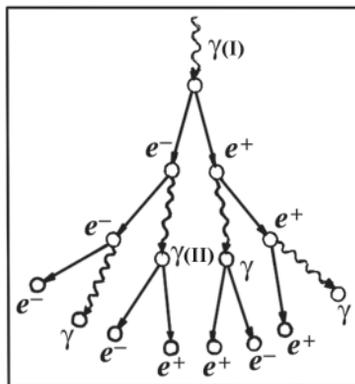
Ikkilamchi kosmik nurlarning paydo bo‘lish sxemasini 221-rasmdagidek tasvirlash mumkin. Yuqori energiyali birlamchi kosmik proton atmosfera atomi yadrosiga uchib kelib uriladi va uni  $p$  va  $n$  nuklonlarga bo‘lib yuboradi. Bunda bir vaqtda  $\pi^\pm$  va  $\pi^0$ -mezonlar uchib chiqadi.  $\pi^\pm$ -mezonlar yemirilib,  $\mu^\pm$ -mezonlarga, neytrino va antineytrinoga aylanadi:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu; \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$$

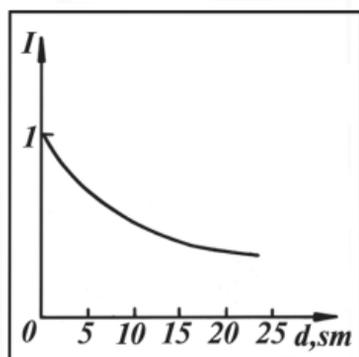
$\pi^0$ -mezonlar yemirilib, ikkita yuqori energiyali  $\gamma$ -fotonga ajraladi:

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma.$$

Ikkilamchi kosmik nurlarning ko‘payishidagi eng muhim hodisalardan biri kaskadli **elektron-pozitron-foton quyuni**ning hosil bo‘lishidir (222- rasm). Yuqori energiyali  $\gamma$ -foton (I) biror



222- rasm.



223- rasmi.

atmosfera yadrosi bilan o‘zaro ta’sirlashib, elektron-pozitron juftini yuzaga keltiradi. Hosil bo‘lgan bu zaryadlangan zarralar jufti ularni yuzaga keltirgan  $\gamma$ -foton harakati yo‘nalishida harakatlanadi. Paydo bo‘lgan elektron va pozitronning energiyasi juda katta. Ular atmosferada tormozlanganda yuzaga kelgan  $\gamma$ -foton(II) ham yadro yaqinidan o‘tayotganda ular bilan ta’sirlashib, yana elektron va pozitron juftini hosil qiladi va hokazo. Boshlang‘ich fotonning energiyasi juda katta ( $10^8 \div 10^{10}$  eV) bo‘lgani uchun ikkilamchi zarralarning bir necha avlodi paydo bo‘ladi, natijada ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli elektron-foton quyuni (elektromagnit kaskad) yuzaga keladi.

Ikkilamchi kosmik nurlar kuchli o‘tuvchanlik qobiliyatiga ega. Ikkilamchi kosmik nurlarning o‘tuvchanlik qobiliyatini o‘rganish uchun ularni turli qalinlikdagi qo‘rg‘oshin qatlami orqali o‘tkazib, so‘ng intensivligi o‘lchanadi. 223- rasmda shunday o‘lchashlar natijasi tasvirlangan, bunda  $d=0$  da kosmik nurlarning intensivligi 1 ga teng qilib olingan.  $d$  qatlamning 0 dan 10÷13 sm gacha qalinliklarida ikkilamchi kosmik nurlarning intensivligi tez kamayib ketadi, qalinlikning keyingi ortib borishida esa intensivlik amalda o‘zgarmay qoladi.

Shunga bog‘liq holda ikkilamchi kosmik nurlarning **yumshoq komponenti** va **qattiq komponenti** deb ataladigan ikki tarkibiy qismi haqida gap yuritiladi. Ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq komponenti qo‘rg‘oshinda kuchli yutiladi. Bu komponentga zaryadlangan yengil zarralar — elektronlar va pozitronlar, shuningdek, fotonlar kiradi. Kosmik nurlarning qattiq komponenti qo‘rg‘oshinda katta o‘tuvchanlik qobiliyatiga ega, u 10 sm

qalinlikdagi qo‘rg‘oshindan bemalol o‘ta oladi. Nuklonlar, mezonlar kosmik nurlarning qattiq komponentini tashkil etadi. Bularning ichida  $\mu$ -mezonlarning energiyasi juda katta va yashash vaqti ham katta. Shuning uchun  $\mu$ -mezonlar Yer sirtigacha, hatto Yerga ancha chuqurlikkacha, dengiz, okean tubigacha kirib boradi.

Kosmik nurlarni tadqiq qilish energiyasi  $10^{19}$  eV gacha bo‘lgan o‘ta yuqori energiyali zarralar bilan bo‘ladigan jarayonlarni o‘rganishga imkon beradi. Bunday zarralarning modda bilan to‘qnashishida, asosan, yangi yadro reaksiyalari vujudga keladi, ularni o‘rganish yadrolarning xossalari va elementar zarralar to‘g‘risidagi bilimlarimizni chuqurlashtiradi, moddalarning tuzilishi, yadro kuchlarining tabiati va koinot haqidagi tushunchalarimizni boyitadi. Kosmik nurlarning asosiy ilmiy ahamiyati ham xuddi shunda. Ko‘pchilik elementar zarralar birinchi marta kosmik nurlarda kashf qilinganligi haqida gapirilgan edi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlarning tarkibida barcha elementar zarralar borligi aniqlangan.

XX asrning o‘rtalaridayoq o‘zbek olimlari akademik S. A. Azimov rahbarligida kosmik nurlarni tadqiq eta boshladilar va kosmik nurlar fizikasining rivojlanishiga salmoqli hissa qo‘shib kelmoqdalar.

S.A. Azimov va uning shogirdlari tomonidan 1948- yilda kosmik nurlarning myu-mezonlar bilan muvozanatda bo‘lmagan yumshoq elektron-foton komponentlari va nuklonlar vujudga keltiradigan elektron-yadro quyunlari kashf etildi. Kosmik nurlar zarralarining o‘zaro ta‘sirini tadqiq qilish maqsadida baland (Pamir) tog‘ ustida noyob qurilma o‘rnatildi. Bu qurilmada zarralarning ko‘pligi haqida, burchak va energiya bo‘yicha taqsimlanishi haqida olingan asosli natijalar zarralarning yadrolar bilan o‘zaro ta‘siri haqidagi hozirgi zamon tasavvurlarining shakllanishida, adronlarning kvark strukturasi namoyon qilishda muhim rol o‘ynadi. O‘zbek kosmik olimlari birinchilar qatorida pionlarning yadrolarda noelastik difraksiyanish jarayonlarini muntazam o‘rganib bordilar va 1966-yilda ular tomonidan kashf etilgan protonlarning difraksion dissotsiatsiyasi jarayoni jahon olimlari tomonidan tan olindi.

Hozirgi vaqtda S.A. Azimov tomonidan yuqori energiyalar fizikasi sohasida tashkil etilgan ilmiy maktab kosmik nurlarni o‘rganish bo‘yicha o‘z tadqiqotlarini davom ettirmoqda.

## **Takrorlash uchun savollar**

1. *Kvarklar qanday zarralar?*
2. *«Kvark aromati» nima? Nechta kvark aromati mavjud?*
3. *Kvarklar qanday «rangli» holatlarda bo'lishi mumkin?*
4. *Adronlarning kvark modelini tushuntiring.*
5. *Glyuonlar qanday zarralar?*
6. *Qanday fizik ta'sirlarni fundamental o'zaro ta'sirlar deb ataladi?*
7. *Bu o'zaro ta'sirlar qanday amalga oshiriladi? Har bir ta'sir misolida tushuntiring.*
8. *Fundamental o'zaro ta'sirlarning birlashgan nazariyasi, buyuk birlashish nazariyasi va super birlashish nazariyasi haqida nimalarni bilasiz?*
9. *Kosmik nurlar nima?*
10. *Birlamchi kosmik nurlar deb nimaga aytiladi? Ikkilamchi kosmik nurlar deb-chi?*
11. *Birlamchi kosmik nurlar qanday kimyoviy tarkibga ega?*
12. *Birlamchi kosmik nurlarning ba'zi zarralari ulkan energiyaga ega bo'lishiga qaramay, Yer sirtigacha yetib kela olmaydi. Nima uchun?*
13. *Ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli yadro quyuni qanday vujudga kelishini tushuntiring.*
14. *Ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli elektron-foton quyuni qanday vujudga keladi?*
15. *Ikkilamchi kosmik nurlarning o'tuvchanlik qobiliyati qanday aniqlanadi?*
16. *Ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq komponentiga qanday zarralar kiradi? Qattiq komponentiga-chi?*
17. *Kosmik nurlarni tadqiq etishning ahamiyati nimada?*

## **X bob. OLAMNING YAGONA FIZIK MANZARASI. FIZIKANING JAMIYAT TARAQQIYOTIDAGI AHAMIYATI**

---

Shunday qilib, fizika kursining «Mexanika», «Molekulyar fizika», «Elektrodinamika asoslari», «Tebranishlar va to‘lqinlar», «Optika», «Atom va yadro fizikasi» bo‘limlarida tabiatning bizni o‘rab turgan olamdagi va butun koinotdagi jarayonlarning borishini boshqarib turuvchi umumiy qonunlari bilan tanishdik.

Fizika fanining maqsadi, tabiatning bunday qonunlarini topish va ular asosida aniq jarayonlarning sabablarini aniqlash hamda bu qonunlardan amaliyotda foydalanish yo‘l-yo‘riqlarini ko‘rsatishdan iboratdir. Bu maqsadga yaqinlashgan sari olimlar oldida tabiat birligining ulug‘ va murakkab manzarasi tobora ravshan bo‘la boradi. Olam bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan alohida-alohida hodisalarning to‘plami emas, balki bir butunning turli-tuman va juda ko‘p ko‘rinishlarda namoyon bo‘lishidan iboratdir.

Fizikaning rivojlanish jarayonida yaratilgan nazariyalar asosida olimlar olamning yagona fizik manzarasini tuzishga harakat qilib keldilar.

### **119- §. Olamning mexanik manzarasi**

Jismlarning harakati va muvozanati haqidagi fan-mexanika dunyoning fizik manzarasida markaziy o‘rin tutadi. Buyuk ingliz olimi I. Nyuton ishlab chiqqan qonunlar mexanikaning mustahkam zaminini tashkil qiladi. I. Nyuton tomonidan kashf etilgan harakat qonunlarini asos qilib, olimlar olamning mexanik manzarasini tuzishga intildilar. Masalan, Nyutonning fikriga ko‘ra butun olam «qattiq, og‘ir, ichiga hech narsa singib kira olmaydigan harakatchan zarralardan» iboratdir. Bu «birlamchi zarralar absolyut qattiq: ular o‘zlari tashkil qilgan jismlarga qaraganda haddan tashqari qattiq, shunchalik qattiqki, ular hech vaqt yeyilmaydi, mayda bo‘laklarga bo‘linib ketmaydi». Ular asosan bir-biridan miqdoriy jihatdan o‘zining massalari bilan farq qiladi. Olamning butun boyligi, sifat jihatdan turli-tumanligi bu zarralar harakatidagi farqning natijasidir, deb qaraladi. Bunda zarralarning ichki mohiyati e‘tiborga olinmaydi.

Uzoq vaqt davomida (XX asrning boshigacha) olimlar Nyuton mexanikasining qonunlari tabiatning yagona asosiy qonunlari deb hisoblab keldilar. Biroq elektromagnit jarayonlarni o‘rganishda

ularning Nyuton mexanikasiga bo'ysunmasligi ma'lum bo'lib qoldi, Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon nazariyasi qonunlarini Nyuton mexanikasiga keltirib bo'lmadi. Olamning mexanik manzarasi asossiz bo'lib chiqdi.

## **120- §. Olamning elektromagnit manzarasi**

Fizikaning elektr zaryadlarining o'zaro ta'sirini o'rganuvchi bo'limi elektrodinamika bo'lib, uning asosini Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon nazariyasining qonunlarini ifodalovchi to'rtta differensial tenglamalar sistemasi tashkil etadi. Agar Nyuton mexanikasida jismlar bir-biri bilan bevosita bo'shliq orqali ta'sir qiladi va bu o'zaro ta'sir oniy ravishda uzatiladi, deb qaralsa, ya'ni olisdan ta'sir qilish nazariyasi o'rinli bo'lsa, elektrodinamika yaratilgandan so'ng kuchlar haqidagi bunday tasavvurlar o'zgardi, yaqindan ta'sir qilish nazariyasi yuzaga keldi. Bu nazariyaga ko'ra o'zaro ta'sirlashayotgan jismlarning har biri fazoda chekli tezlik bilan tarqaladigan elektromagnit maydon hosil qiladi va shu maydon orqali o'z ta'sirini uzatadi.

Elektromagnit kuchlar tabiatda keng tarqalgan: ular atom yadrosida, atomda, molekulada, makroskopik jismlardagi alohida molekulalar orasida ta'sir qiladi, chunki barcha atomlar elektr jihatdan zaryadlangan zarralardan tarkib topgan.

Elektrodinamikaning taraqqiyoti olamning yagona elektromagnit manzarasini yaratishga doir urinishlarga olib keldi. Bu manzaraga muvofiq olamdagi barcha hodisalar elektromagnit o'zaro ta'sirlar qonuni bilan boshqariladi.

Olamning elektromagnit manzarasi maxsus nisbiylik nazariyasi kashf etilgandan so'ng oliy ravnaqiga erishdi. Agar olamning mexanik manzarasi ravnaq topgan yillarda elektromagnit hodisalarni olam efiridagi mexanik jarayonlar deb qarashga urinilgan bo'lsa, endi, aksincha, zarralarning harakat qonunlarini elektromagnit nazariyadan keltirib chiqarishga urinishlar bo'ldi.

Biroq tabiatdagi barcha jarayonlarni elektromagnit jarayonlarga keltirish mumkin bo'lmadi. Zarralarning harakat tenglamalari va gravitatsion o'zaro ta'sir qonunini elektromagnit maydon nazariyasidan keltirib chiqarish mumkin emas. Bundan tashqari elektr jihatdan neytral zarralar va yangi tur o'zaro ta'sirlar kashf etildi. Tabiat dastlab tasavvur qilinganiga qaraganda murakkabroq bo'lib chiqdi: olamdagi turli-tuman jarayonlarning hammasini yagona

harakat qonuni ham, yagona kuch ham qamrab olishga qodir emas.

Olam qanchalik turli-tuman bo‘lmasin, koinotdagi barcha jismlarni hosil qiluvchi atomlar mutlaqo bir xildir. Jonli organizmlar ham xuddi jonsiz organizmlar tuzilgan atomlardan tarkib topgan.

XX asrning birinchi yarmida barcha elementar zarralar bir-biriga aylana olishi aniqlandi. Elementar zarralar va ularning o‘zaro aylanishlari kashf etilgandan so‘ng materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o‘ringa chiqdi. Bu birlikning zamirida barcha elementar zarralarning moddiyligi yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

## **121- §. Olamning hozirgi zamon fizik manzarasi**

Olamning yagonaligi materiya tuzilishining birligi bilangina cheklanib qolmaydi. Olamning yagonaligi zarralarning harakat qonunlarida va ularning o‘zaro ta’sir qonunlarida ham namoyon bo‘ladi. Oxirgi o‘n yilliklarda fiziklarning erishgan muvaffaqiyatlari bizni o‘rab olgan olam qanday tuzilganligini va qanday qonunlar asosida rivojlanganligini tasavvur qilish imkonini beradi.

Atrofimizda bo‘layotgan barcha hodisalardagi asosiy harakatlanuvchi obyektlar ikki guruh zarralardan iborat. Bir guruhga fundamental o‘zaro ta’sirlarda ishtirok etuvchi zarralar kirsa, ikkinchisiga fundamental o‘zaro ta’sirlarni tashuvchisi bo‘lgan zarralar kiradi.

Jismlarning bir-biri bilan o‘zaro ta’siri nihoyatda turli-tuman bo‘lishiga qaramay, hozirgi zamon ma’lumotlariga ko‘ra kuchlarning faqat to‘rtta turi mavjuddir: gravitatsion, kuchsiz, elektromagnit va kuchli o‘zaro ta’sirlar (116- § ga qarang). Bu o‘zaro ta’sirlar ishtirokchisiga fundamental zarralar — leptonlar va kvarklar kiradi. Leptonlar soni 6 ta edi (114- § dagi jadvalga qarang). Har bir leptonga uning antileptoni mos keladi. Xuddi shu kabi ma’lum aromatli har bir kvark rangi bo‘yicha farqlanuvchi uch holatda bo‘lishi mumkinligini inobatga olsak, har xil rangli va aromatli kvarklarning soni 18 ta bo‘ladi. Har bir kvarkka antikvark mos keladi.

Shunday qilib, o‘zaro ta’sir ishtirokchilari guruhiga 12 ta lepton va 36 ta kvark, demak 48 ta turli zarralar kiradi va ular ***tabiatning qurilish elementlari bo‘lgan fundamental zarralarni*** hosil qiladi.

Bu fundamental zarralar orasidagi o‘zaro ta’sir uni tashuvchi boshqa zarralar hisobiga amalga oshadi. Gravitatsion o‘zaro ta’sir gravitonlar vositasida, kuchsiz o‘zaro ta’sir vektor bozonlar vositasida, elektromagnit o‘zaro ta’sir fotonlar vositasida va, nihoyat, kuchli o‘zaro ta’sir glyuonlar vositasida amalga oshiriladi.

Fundamental o‘zaro ta’sirlarning almashinish nazariyasi va modda tuzilishining lepton-kvark modeli umumiy ma’noda olamning hozirgi zamon fizik manzarasini tuzish imkonini beradi.

Endi fundamental zarralardan butun olamni qanday qurish mumkin ekanligini ko‘rib chiqaylik. Bunda bizni o‘rab turgan olamni tashkil qiluvchi turli strukturali sathlar haqidagi bilimlarimizdan foydalanamiz va ulug‘ tabiat binosining barcha qavatlaridan fikran o‘tishga harakat qilamiz.

Shunday qilib, birinchi qavatda 48 ta fundamental zarra bor. Ikkinchi qavatda turli aromatlil kvarklardan tashkil topgan elementar zarralar joylashgan. Bu yerda mezonlar, nuklonlar, giperonlar, rezonanslar va ekzotik ismga ega boshqa zarralar bo‘ladi. Kvarklardan tashkil topgan zarralarning soni 300 dan ortiq.

Undan keyingi qavatni yadro va leptonlardan tashkil topgan atomlar egallaydi. Atomning yadrosi atrofida, odatda, elektronlar bo‘ladi, lekin *mezoatomlar* deb ataluvchi atomlar mavjud, ularda elektronlar mezonlar bilan almashtirilgan. Tabiatdagi turli atomlar soni undagi turli yadrolar soniga mos keladi.

Yana undan keyingi qavatni molekulalar egallaydi. Turli molekulalarning soni 10 mln dan ortiqni tashkil qiladi. Molekulalar soni olimlarning yangi molekulalarni sintezlashi hisobiga doimo ortib boradi.

Undan keyingi qavatni moddaning turli agregat holati — gazsimon, suyuq va qattiq holatdagi moddalar egallaydi. Bu yerda biz gazni, bug‘ni, amorf jismlarni, suyuqlik va kristallarni, metallarni, yarimo‘tkazgich va dielektriklarni, kvazikristall va suyuq kristallarni, ferrit va elektretlarni va hokazo, shuningdek, hozirgi sivilizatsiya ularsiz mavjud bo‘la olmaydigan ko‘p boshqa narsalarni ko‘rishimiz mumkin.

Undan keyingi qavatda o‘lchamlari molekulalar o‘lchamlaridan ancha katta, astronomik obyektlardan kichik bo‘lgan turli fizik jismlar joylashadi. Ularning qatoriga toshlarni, meteoritlarni, kometalarning yadrolarini va boshqalarni kiritsa bo‘ladi.

Bundan keyingi qavatni sayyoralar, yulduzlar, yulduzlar turkumi, galaktikalar, galaktikalar turkumi: tumanliklar va Koinot egallaydi.

Hozirgi vaqtda materiyani tashkil qilgan mikroobyektlar bilan boshlanib bir butun Koinot bilan tugallangan har bir holatdagi fizik sistemalar xossalarini tavsiflash uchun tegishli fizik nazariyasi ishlab chiqilgan. Birinchi ikki qavatdagi zarralarning tabiatini o'rganish uchun **kvant xromodinamikasi** qo'llaniladi. Kvant zarralarning elektromagnit ta'sirlashuvlarini **kvant elektrodinamikasi** tushuntirib beradi. Yadrolarning xossalarini **yadro fizikasi**, atomlarning xossalarini esa **atom fizikasi** o'rganadi. **Molekulyar fizika** sohasi — bu molekulalar va moddaning turli agregat holatlaridir. Elektromagnit maydonlarning xossalarini o'rganish bilan **elektrodinamika**, makroskopik jismlarning o'zaro ta'sirlashuvini o'rganish bilan **mexanika**, **maxsus nisbiylik nazariyasi** shug'ullanadi. **Umumiy nisbiylik nazariyasi** va **astrofizika** astronomik obyektlarni va bir butun Koinot xossalarini o'rganadi.

## 122- §. Fizika va ilmiy-texnika inqilobi

Fizika hozirgi zamon tabiyatshunosligining yetakchi fanlaridan biridir. Fizika fanining olamni bilishdagi erishgan yutuqlari hamda ochilgan qonuniyatlari tufayli XX asrning o'rtalaridan boshlab ilmiy-texnika inqilobi ro'y bermoqda. Ilmiy-texnika inqilobi fan, texnika va ishlab chiqarishning ko'plab sohalarida chuqur sifat o'zgarishlariga olib kelmoqda. Bu o'zgarishlarning ba'zilarini quyida qayd etib o'tamiz.

Astronomiya insonni kosmik fazoga chiqishi bilan bog'liq bo'lgan inqilobni boshidan kechirmoqda. Minglab yillar davomida astronomlar osmon hodisalari to'g'risida faqat ko'zga ko'rinadigan yorug'lik vositasida olinadigan informatsiya bilan cheklanib kelar edilar. XX asrning 50—60- yillarida radiofizikaning rivojlanishi tufayli radioastronomiya vujudga keldi va bizning Koinot haqidagi tasavvurlarimiz haddan tashqari kengaydi. Shu vaqtgacha bizga noma'lum bo'lgan kosmik obyektlarning mavjudligini bilishga imkon yaratildi. Insonning kosmosga chiqishi munosabati bilan astronomiyaning ultrabinafsha va infraqizil nurlar astronomiyasi, rentgen nurlari astronomiyasi, gamma-nurlar astronomiyasi kabi yangi bo'limlari paydo bo'ldi. Shuningdek, Yer atmosferasining chegarasiga tushuvchi birlamchi kosmik nurlarni tadqiq qilish imkoniyatlari ancha kengaydi. Bu inqilob natijasida astronomlar kosmik fazodan kelayotgan zarra va nurlanishlarning barcha turlarini tadqiq qilish imkoniyatiga ega bo'ldilar. Bunday tadqiqotlarni

o‘tkazishda foydalaniladigan usullar va qayd qiluvchi apparatlarni astronomlar fizika arsenalidan oladilar.

Atom yadrolari va elementar zarralar fizikasida erishilgan yutuqlar tufayli hozirgi vaqtda neytrino astronomiyasi yaratilmoqda. Neytrino astronomiyasi olimlarga kosmik jismlarning qa‘ridagi, masalan, Quyosh bag‘ridagi jarayonlar haqida ma‘lumot beradi, ularni o‘rganishga imkon yaratadi.

Molekulyar biologiya va genetikaning yuzaga kelishi biologiyada inqilobni vujudga keltirdi. Molekulyar biologiya va genetika hayotni tirik organizmning eng kichik zarralarida — molekulalarda o‘rganadi. Molekulyar biologiya o‘z obyektlarini payqash, ajratish va o‘rganishning asosiy vositalari va usullarini fizikadan oladi. Bunda elektron va proton mikroskoplar, rentgen struktura analizi, elektronografiya, neytron analizi, nishonlangan atomlar, ultrasentrifuga va hokazolardan foydalaniladi.

Hozirgi zamon fizikasining kimyo, geologiya, okeanologiya, tibbiyot kabi qator tabiiy fanlarni ham inqilob tarzda qayta qurishdagi roli nihoyatda muhimdir. Radioaktiv izotoplarni olish, lazer nurlarining keng imkoniyatlari inson salomatligini saqlash va hayotini asrab qolish sohasida tibbiyot hodimlariga katta ilmiy yordam ko‘rsatmoqda.

Materialshunoslik sohasidagi inqilob sun‘iy materiallar texnologiyasini yaratish va ishlab chiqarishga joriy etish bilan bog‘liq. Yangidan-yangi xususiyatlarga ega bo‘lgan xossalari oldindan belgilangan bunday materiallarni yaratishda kimyo fanidagi inqilob tufayli vujudga kelgan «katta kimyo» bilan bir qatorda moddaga ta‘sir ko‘rsatishning fizik usullari (elektron, ion va lazer nurlari dastalari, o‘ta kuchli magnit maydonlar, o‘ta yuqori bosim va temperaturalar, ultratovush va hokazo) tobora katta rol o‘ynamoqda.

Energetikadagi inqilob organik yoqilg‘i bilan ishlaydigan issiqlik elektr stansiyalaridan atom elektr stansiyalariga o‘tish bilan bog‘langan. Fizik olimlar atom ichki energiyasining g‘oyat katta zaxirasi haqida taxminan XX asrning boshlarida bilgan bo‘lsalarda, atom energetikasi haqidagi fikr shu asrning 40- yillarida ham xayoliy hisoblanar edi. Fizika fani yutuqlari asosida inson atom energiyasiga ega bo‘ldi. Atom yadrolari fizikasining yutuqlariga tayanib yaqin kelajakda fiziklar boshqariladigan termoyadro reaksiyalarini amalga oshirishlariga hech qanday shubha yo‘q. Shunday ekan, termoyadro elektr stansiyalari kelgusida insoniyatni

energiya manbalari haqidagi tashvishdan umrbod xalos etadi, deb umid qilamiz.

Qattiq jism fizikasi sohasidagi tadqiqotlar radiotexnikani, aloqa texnikasini, tez ishlovchi hisoblagich mashinalari texnikasini yangi, yanada yuqoriroq pog'onaga ko'taruvchi gurkirab rivojlanayotgan yarimo'tkazgichlar texnikasining yaratilishiga olib keldi. Shu kunlargaacha yaratilgan elektron hisoblash mashinalarining vakuum lampali, yarimo'tkazgichli va integral sxemali avlodi fizika laboratoriyalarida vujudga keltirildi. Lazerlarning qo'llanilishi va ularga asoslangan golografiyaning taraqqiyoti elektron hisoblash texnikasini yanada takomillashtirish uchun yangi-yangi imkoniyatlarni yaratib beradi.

Yuqorida keltirilgan misollar hozirgi zamon fizikasining ilmiy-texnika inqilobiga hal qiluvchi hissa qo'shayotganligiga ishonch hosil qilish uchun yetarlidir, deb o'ylaymiz.

Shuni qayd etish lozimki, zamonaviy texnika va texnologiya ham, o'z navbatida, fizika fanining rivojlanishiga ta'sir ko'rsatib kelmoqda. Masalan, yadro fizikasida tadqiqotlar olib borish uchun yetarlicha katta energiyali zarralar oqimi talab qilinadi. Bunday energiyali zarralarni texnikaning yuqori darajasi tufayligina yaratilgan qudratli tezlatkichlarda olish mumkin bo'ldi.

Amaliy fizikada eksperimental natijalarni nazariy asoslash uchun murakkab formulalar yordamida ayrim parametrlarni hisoblash lozim bo'ladi. Bunda zamonaviy elektron hisoblash mashinalarining xizmati beqiyos ekanligi tushunarli va hokazo.

# D. I. MENDELEYEVNING KIMYOVIY ELEMENTLAR DAVRIY JADVALI

DAVR-LAR	E L E M E N T G R U P P A L A R I																	
	A I	B	A II	B	A III	B	A IV	B	A V	B	A VI	B	A VII	B	A	(H)	A VIII	B
1	H <sup>1</sup> 1,0078427 VODOROD		He <sup>2</sup> 4,00260222 HELIUM													He <sup>2</sup> 4,00260222 HELIUM		
2	Li <sup>3</sup> 6,9412	Be <sup>4</sup> 9,0121841 BERILLIUM	B <sup>5</sup> 10,81145	C <sup>6</sup> 12,01074	N <sup>7</sup> 14,006424	O <sup>8</sup> 15,999036	F <sup>9</sup> 18,99840321	Ne <sup>10</sup> 20,1797								Ne <sup>10</sup> 20,179721		
3	Na <sup>11</sup> 22,98976928	Mg <sup>12</sup> 24,30467	Al <sup>13</sup> 26,9815386	Si <sup>14</sup> 28,085529	P <sup>15</sup> 30,973761	S <sup>16</sup> 32,06503	Cl <sup>17</sup> 35,453	Ar <sup>18</sup> 39,9484								Ar <sup>18</sup> 39,94841		
4	K <sup>19</sup> 39,09831	Ca <sup>20</sup> 40,0784	Sc <sup>21</sup> 44,955914	Ti <sup>22</sup> 47,883	V <sup>23</sup> 50,94151	Cr <sup>24</sup> 51,996146	Mn <sup>25</sup> 54,93804	Fe <sup>26</sup> 55,8473								Fe <sup>26</sup> 55,8473		
5	Cu <sup>29</sup> 63,546	Zn <sup>30</sup> 65,392	Ga <sup>31</sup> 69,7234	Ge <sup>32</sup> 72,6305	As <sup>33</sup> 74,921621	Se <sup>34</sup> 78,9634	Br <sup>35</sup> 79,9041	Kr <sup>36</sup> 83,8018								Kr <sup>36</sup> 83,8018		
6	Rb <sup>37</sup> 85,4678	Sr <sup>38</sup> 87,62	Y <sup>39</sup> 88,90584	Zr <sup>40</sup> 91,2242	Nb <sup>41</sup> 92,90638	Mo <sup>42</sup> 95,94	Tc <sup>43</sup> 97,9072	Ru <sup>44</sup> 101,072								Ru <sup>44</sup> 101,072		
7	Ag <sup>47</sup> 107,8682	Cd <sup>48</sup> 112,411	In <sup>49</sup> 114,818	Sn <sup>50</sup> 118,710	Sb <sup>51</sup> 121,757	Te <sup>52</sup> 127,76	I <sup>53</sup> 126,90452	Xe <sup>54</sup> 131,294								Xe <sup>54</sup> 131,294		
8	Cs <sup>55</sup> 132,90545	Ba <sup>56</sup> 137,327	La <sup>57</sup> 138,90549	Hf <sup>72</sup> 178,483	Ta <sup>73</sup> 180,94791	W <sup>74</sup> 183,855	Re <sup>75</sup> 186,2071	Os <sup>76</sup> 190,224								Os <sup>76</sup> 190,224		
9	Au <sup>79</sup> 196,96654	Hg <sup>80</sup> 200,593	Tl <sup>81</sup> 204,3834	Pb <sup>82</sup> 207,2	Bi <sup>83</sup> 208,9804	Po <sup>84</sup> 209	At <sup>85</sup> 210	Rn <sup>86</sup> 222								Rn <sup>86</sup> 222		
10	Fr <sup>87</sup> 223,019	Ra <sup>88</sup> 226,0254	Ac <sup>89</sup> 227,0278	Rf <sup>104</sup> 261	Db <sup>105</sup> 262	Sg <sup>106</sup> 263	Bh <sup>107</sup> 264	Hs <sup>108</sup> 265								Hs <sup>108</sup> 266		

Lantanoidlar

Ce <sup>58</sup> 140,127	Pr <sup>59</sup> 140,9077	Nd <sup>60</sup> 144,242	Pm <sup>61</sup> 144,9128	Sm <sup>62</sup> 150,363	Eu <sup>63</sup> 151,9651	Gd <sup>64</sup> 157,253	Th <sup>65</sup> 232,0381	Dy <sup>66</sup> 162,5023	Ho <sup>67</sup> 164,9304	Tm <sup>69</sup> 168,9342	Yb <sup>70</sup> 173,0453	Lu <sup>71</sup> 174,967
-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------

Aktinoidlar

Th <sup>90</sup> 232,0381	Pa <sup>91</sup> 231,0369	U <sup>92</sup> 238,02891	Np <sup>93</sup> 237,0482	Pu <sup>94</sup> 244,0642	Am <sup>95</sup> 243,0614	Cm <sup>96</sup> 247,073	Bk <sup>97</sup> 247,073	Cf <sup>98</sup> 251,0796	Es <sup>99</sup> 252,1038	Fm <sup>100</sup> 257,1037	Md <sup>101</sup> 258,1037	No <sup>102</sup> 259,1037	Lr <sup>103</sup> 260,1037
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

— s-elementlar  
 — p-elementlar  
 — d-elementlar  
 — f-elementlar

---

---

### Mustaqil yechish uchun berilgan masalalarning javoblari

1.  $\vec{E}$  vektor vertikal bo'yicha pastga yo'nalgan **3.**  $4,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{A}}{\text{m}}$ ;  $1,73 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **4.** 15 m;  $5 \cdot 10^{-8}$  s. **5.**  $0,282 \leq L \leq 1,13$  mH. **6.**  $2,12 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; 1,41 marta. **7.** 3770 m; 9230 m. **8.** 200 m; 1,5 marta. **9.**  $10 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ;  $5,0 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ;  $1,14 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . **10.** Chunki elektromagnit to'liqin metall sirtidan qaytadi. **11.**  $S = 0,37 \cdot \cos^2(\omega t + \alpha) \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ . **12.** 1500. **13.** 60 km. **14.** 3 mm. **15.** Chunki ultraqisqa to'liqinlardan foydalaniladi. Bu to'liqinlar Yer sirtida kuchli yutiladi va ionosferadan deyarli qaytmaydi. **16.** 0,37 m. **17.** 14,6 lx; 14,6 lx; 12,8 lx. **18.** 400 cd **19.** 36 cd. **20.** 65 lx; 35 lx; 12,5 lx. **21.** Kichik lampadan 0,33 m masofaga qo'yish kerak. **22.** 210 lx. **23.** 0,1 m. **24.**  $17,6 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ . **25.** 3,16 m, **26.**  $8 \cdot 10^4$  lx. **27.** 7,5 lx. **28.** 0,2 m. **29.**  $30^\circ$ . **31.**  $45^\circ$ . **34.** 0,3 m. **35.** 0,6 m; 4 D. **37.** 2 m. **38.**  $7,5 \cdot 10^{-2}$  m;  $-1,5 \cdot 10^{-2}$  m. Tasvir mavhum, to'g'ri va kichraygan. **39.** 2 m. **40.**  $28^\circ$ ;  $2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **41.**  $49^\circ$ ;  $42^\circ$ ;  $24^\circ 30'$ ;  $62^\circ 43'$ . **42.** 1,11. **43.**  $32^\circ$ . **44.** 1,4. **45.**  $50^\circ$ . **46.** 0,02 m. **47.**  $1^\circ 30'$ . **48.**  $18,6 \cdot 10^{-2}$  m. **49.** 0,86 m. **50.**  $9,9 \cdot 10^{-10}$  s; 0,22 m. **51.** Plastinkaning oldingi sirtidan  $5,32 \cdot 10^{-2}$  m masofada. **54.** 0,5 m. **57.** 0,1 m. **58.**  $R_1 = R_2 = 0,14$  m. **59.** 1,5. **60.**  $11 \cdot 10^{-2}$  m;  $22,5 \cdot 10^{-2}$  m; 9 D. **61.**  $-5,5 \cdot 10^{-2}$  m. **62.** 0,12 m; 8,3 D. **63.**  $F/2$ . **64.** 0,2 m, tasvir jismdan 2,5 marta kichik, mavhum va to'g'ri. **65.** 0,59 m. **67.** Ko'zning ko'rish maydoni kattalashadi. **68.** 0,25 m. **69.** Yig'uvchi; 0,67 m; uzoqdan ko'ruvchi. **70.** 3 D. **71.**  $2,5 \cdot 10^{-2}$  m. **72.** 149 marta. **73.** 0,75 m. **74.** 562 marta. **75.** 3200 marta. **76.** 20 marta. **77.** 0,24 m; 0,02 m. **81.** Tebranishlar maksimumi kuzatiladi. **82.** 2 m. **83.** 1,3 marta. **84.**  $48,2 \cdot 10^{-3}$  mm. **85.**  $5 \cdot 10^{-7}$  m. **86.** 1,8 mm. **87.** 1,3. **88.** 2,82 mm; 3,1 mm. **89.** 275. **91.**  $k_{\text{max}} = 3$ . **92.** Ekranni difraksion panjaradan taxminan 0,5 m

uzoqlikda joylashtirish kerak. **93.**  $4 \cdot 10^{-7}$  m. **94.**  $4,47 \cdot 10^{-7}$  m.  
**95.**  $45^\circ$ . **96.** 0,125. **97.** 2. **98.** 8. **99.** Siyoh qora bo'lib ko'rinadi.  
**100.** 1,335. **101.** Chunki suv ultrabinafsha nurlarni yutadi.  
**102.** Chunki rentgen nurlari qo'rg'oshinda va alyuminiyda yutiladi.  
**103.**  $9,6 \cdot 10^{-15}$  J. **104.** Kvars ultrabinafsha nurlarni yutmaydi.  
**105.**  $3 \cdot 10^{-8}$  m. **106.**  $2,6 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **107.** 68,6%. **108.** 7,1 marta. **110.**  
 $1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **111.** 22,37 marta. **112.** 1,2 marta. **113.**  
 $E_k^{\text{kl}} = 114 \text{ keV}$ ;  $E_k^{\text{rel}} = 175 \text{ keV}$ . **114.**  $1,11 \cdot 10^{-17}$  kg. **115.**  $8,2 \cdot 10^{-14}$  J.  
**117.**  $E_q = 2,8 \cdot 10^{-19}$  J;  $E_{\text{ya}} = 4 \cdot 10^{-19}$  J. **118.**  $2,34 \cdot 10^{-7}$  m. **119.** 1,5. **120.**  
 $3,97 \cdot 10^{-19}$  J. **121.**  $5,1 \cdot 10^5$  eV. **122.**  $8,8 \cdot 10^{-32}$  kg;  $1,8 \cdot 10^{-30}$  kg. **123.**  
 $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz. **124.**  $1,2 \cdot 10^3$  V. **125.**  $5 \cdot 10^{-28}$  N·s;  $1,3 \cdot 10^{-6}$  m. **126.**  
 $1400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **127.**  $7,84 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **128.** a) nur yo'nalishida; b) plastinkaga  
 normal yo'nalishda. **129.**  $3,74 \cdot 10^{21}$  ta. **130.** 54 mkPa. **131.**  $1,2 \cdot 10^{-5}$   
 Pa. **132.**  $2,9 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . **134.**  $5,89 \cdot 10^{-7}$  m. **135.**  $0,53 \cdot 10^{-10}$  m. **136.**  
 $2,18 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $1,1 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **137.**  $8,2 \cdot 10^{-8}$  N;  $1,8 \cdot 10^{-40}$  N. **138.** 10,2 V.  
**139.**  $-5,44 \cdot 10^{-19}$  J. **140.**  $10,2 \leq W \leq 12,1$  eV. **142.**  $4,34 \cdot 10^{-7}$  m. **143.**  
 $\lambda_{\text{max}} = 6,56 \cdot 10^{-7}$  m;  $\lambda_{\text{min}} = 3,65 \cdot 10^{-7}$  m. **144.**  $0,91 \cdot 10^{-7}$  m. **145.**  $1,026 \cdot 10^{-7}$   
 m. **146.**  $12,2 \cdot 10^{-12}$  m;  $0,87 \cdot 10^{-12}$  m. **147.** 1)  $7,3 \cdot 10^{-12}$  m; 2)  $6,9 \cdot 10^{-12}$   
 m. **148.**  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg. **149.**  $7,3 \cdot 10^{-12}$  m;  $145 \cdot 10^{-12}$  m;  $28 \cdot 10^{-12}$  m.  
**150.**  $\Delta x \geq 5,8 \cdot 10^{-7}$  m. **151.**  $\Delta v_x \approx 10^{-23} \frac{\text{m}}{\text{s}}$  shar uchun;  $\Delta v_x \approx 10 \frac{\text{km}}{\text{s}}$   
 elektron uchun. Demak, shar klassik trayektoriya bo'yicha  
 harakatlanadi, deb katta aniqlik bilan aytish mumkin; elektron esa —  
 yo'q. **154.** Neytronlar soni bilan. **155.**  $55 \cdot 10^{-5}$  m.a.b. **156.** 1,00759  
 m.a.b. **157.**  $4,6 \cdot 10^{-17}$  kg. **158.** 0,51 MeV. **159.**  $2,44 \cdot 10^{-29}$  kg. **160.**  
 225 MeV. **161.** 28,3 MeV. **162.** 1)  $\Delta z = 1$ ,  $\Delta A = 1$ ; 2)  $\Delta z = 2$ ,  $\Delta A = 4$ .  
**163.**  ${}_{92}^{235}\text{U}$  izotopi hosil bo'ladi. **164.** Vodorodning  ${}_{1}^2\text{H}$  izotopi. **165.**  
 8 va 6. **166.**  $1,354 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ . **167.** 5025 ta atom. **168.**  $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .  
**170.** Pozitron chiqadi. **171.** Tritiy uchib chiqadi. **173.**  $2,28 \cdot 10^4$   
 kW-soat. **174.** 16,7%.

---

---

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Элементарный учебник физики, под редакцией академика Г.С. Ландсберга, М., «Наука», том III и II, 1972.
2. **Яворский Б.М., Пинский А.А.** Основы физики, том II. М., «Наука» 1981.
3. **R.I. Grabovskiy.** Fizika kursi, T., «O'qituvchi», 1973.
4. **I.V. Savelev.** Umumiy fizika kursi. III qism. T., «O'qituvchi», 1976.
5. **F.A. Korolev.** Fizika kursi. Optika, atom va yadro fizikasi, T., «O'qituvchi», 1978.
6. **G.Ya. Myakishev, B.B. Buxovsev.** Fizika-10, T., «O'qituvchi», 1986.
7. **G.S. Landsberg.** Optika, T., «O'qituvchi», 1981.
8. **R. Bekjonov.** Atom va yadro fizikasi. T., «O'zbekiston», 1972.
9. **M.X. O'tmasova, J. Kamolov, F. Toshmuxamedov.** Fizika. Elektr, optika, atom va yadro fizikasi. T., «O'qituvchi», 1985.
10. **R. Basharuli, G.Z. Bayjasarova, U.K. Tokbergenova.** Fizika. Olmati, «Mektep», 2003.
11. **П.Л. Мухайлов.** «Гелиотехника в школе». Т., «O'qituvchi», 1977.
12. **V.R. Demkovich, L.R. Demkovich.** Fizikadan masalalar to'plami. T., «O'qituvchi», 1975.
13. **A.P. Rimkevich.** Fizikadan masalalar to'plami. T., «O'qituvchi», 1991.
14. **V.S. Volkenshteyn.** Umumiy fizika kursidan savol va masalalar to'plami. T., «O'qituvchi», 1982.
15. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. M.S.Sedrik tahriri ostida, T., «O'qituvchi», 1991.
16. **Храмов Ю.А.** Физики. Биографический справочник. М., «Наука», 1983.
17. Yosh fizik. Ensiklopedik lug'at. T., 1989.
18. **П.С. Кудрявцев.** Kurs istorii fiziki. М., «Prosveshcheniye», 1982.
19. **Raxmatov M.N.** Vatanimiz fiziklari. T., «O'qituvchi», 1983.

---

---

## Mundarija

Soʻzboshi.....3

### I bob. Elektromagnit toʻlqinlar

1- §. Elektromagnit maydon.....	4
2- §. Siljish toʻki.....	6
3- §. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi haqida tushuncha.....	8
4- §. Elektromagnit toʻlqinlar. Gers tajribalari.....	11
5- §. Yassi elektromagnit toʻlqini. Toʻlqin tenglamasi.....	14
6- §. Elektromagnit toʻlqin tezligi. Elektromagnit toʻlqin uzunligi.....	16
<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	18
<i>Masala yechish namunalari</i> .....	19
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	23
7- §. Elektromagnit toʻlqinlarning xossalari.....	25
8- §. Elektromagnit toʻlqin energiyasi. Umov – Poynting vektori.....	28
9- §. Elektromagnit toʻlqinlarni qayd etish. Radioning kashf etilishi.....	29
10- §. Modulyatsiya va detektorlash.....	31
11- §. Hozirgi zamon radioaloqasining prinsiplari.....	33
12- §. Radiolokatsiya.....	35
13- §. Telekoʻrsatuvlarning fizik asoslari.....	36
14- §. Telekoʻrsatuvlarni uzatish.....	39
<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	40
<i>Masala yechish namunalari</i> .....	40
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	44

## OPTIKA

### II bob. Fotometriya

15- §. Yorugʻlik oqimi. Yorugʻlik kuchi. Yoritilganlik.....	46
16- §. Yorqinlik va ravshanlik.....	48
17- §. Yoritilganlik qonunlari.....	50
18- §. Fotometrilar va ularning qoʻllanilishi.....	52
<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	53
<i>Masala yechish namunalari</i> .....	53
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	56

### III bob. Geometrik optika

19- §. Yorugʻlikning toʻgʻri chiziq boʻylab tarqalishi. Ferma prinsipi.....	58
20- §. Yorugʻlikning qaytishi. Koʻzgu.....	60
21- §. Yassi koʻzguda buyumning tasviri.....	62

22- §.	Sferik ko'zgu. Sferik ko'zguning formulasi.....	63
23- §.	Sferik ko'zguda tasvir yasash. Sferik ko'zguning kattalashtirishi.....	66
	<i>Takrorlash uchun savollar.....</i>	67
	<i>Masala yechish namunalari.....</i>	67
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>	71
24- §.	Yorug'likning sinishi.....	72
25- §.	Yorug'likning to'la ichki qaytishi.....	75
26- §.	Yorug'likning yassi-parallel plastinkadan o'tishi.....	78
27- §.	Yorug'likning uchburchakli prizmadan o'tishi.....	79
	<i>Takrorlash uchun savollar.....</i>	81
	<i>Masala yechish namunalari.....</i>	82
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>	85
28- §.	Linzalar. Yupqa linza formulasi.....	86
29- §.	Linzaning fokusi va optik kuchi.....	89
30- §.	Linzalarda tasvir yasash. Linzaning kattalashtirishi.....	92
31- §.	Ko'z — optik sistema.....	94
32- §.	Ko'zgudagi ba'zi nuqsonlar. Ko'zoynak.....	96
	<i>Takrorlash uchun savollar.....</i>	97
	<i>Masala yechish namunalari.....</i>	97
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>	101
33- §.	Optik asboblari. Proyeksiya apparati. Fotoapparat.....	103
34- §.	Lupa. Mikroskop.....	105
35- §.	Ko'rish trubalari. Teleskoplar.....	108
36- §.	Optik asboblarning nuqsonlari.....	110
	<i>Takrorlash uchun savollar.....</i>	113
	<i>Masala yechish namunalari.....</i>	113
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>	116

#### **IV bob. To'liq optikasining asoslari**

37- §.	Yorug'likning to'liq tabiati.....	118
38- §.	Yorug'likning tezligi. Maykelson tajribasi.....	119
39- §.	Yorug'lik interferensiyasi.....	122
40- §.	Interferensiyalar yo'llari.....	125
41- §.	Yorug'lik interferensiyasini kuzatish usullari.....	127
42- §.	Yupqa pardalarda yorug'lik interferensiyasi.....	129
43- §.	Nyuton halqalari.....	131
44- §.	Interferensiyaning texnikada qo'llanishi.....	133
45- §.	Yorug'lik difraksiyasi.....	136
46- §.	Gyuygens—Frenel prinsipi.....	138
47- §.	Difraksiya panjara. Difraksiya spektri.....	141
48- §.	Optik asboblarning ajrata olish qobiliyati.....	144
	<i>Takrorlash uchun savollar.....</i>	146
	<i>Masala yechish namunalari.....</i>	147
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>	153
49- §.	Yorug'likning qutblanishi.....	154
50- §.	Malyus qonuni.....	157
51- §.	Yorug'likning yutilishi. Buger—Lambert qonuni.....	160
52- §.	Yorug'lik dispersiyasi. Dispersiya spektri.....	163

53- §.	Spektral asboblari. Spektr turlari.....	166
54- §.	Nurlanish va yutilish spektrlari. Spektral analiz.....	168
55- §.	Infraqiliz va ultrabinafsha nurlar.....	169
56- §.	Rentgen nurlari.....	170
57- §.	Gamma nurlanishlar haqida tushuncha. Elektromagnit to'liqlar shkalasi.....	173
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	174
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	175
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	178

### V bob. Nisbiylik nazariyasi elementlari

58- §.	Elektrodinamika qonunlari va nisbiylik prinsipi.....	180
59- §.	Olam efiri muammosi. Maykelson-Morli tajribasi.....	181
60- §.	Maxsus nisbiylik nazariyasi postulatlarini.....	184
61- §.	Nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadigan ba'zi natijalar.....	186
62- §.	Jismi massasining tezlikka bog'liqligi.....	189
63- §.	Massa bilan energiyani o'zaro bog'liqligi.....	192
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	194
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	195
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	199

### VI bob. Kant fizikasi

64- §.	Yorug'likning kvant nazariyasining vujudga kelishi. Yorug'lik kvantlari .....	200
65- §.	Fotoeffekt hodisasi .....	203
66- §.	Fotoeffekt qonunlari. Eynshteyn tenglamasi.....	205
67- §.	Foton va uning xarakteristikalarini .....	207
68- §.	Fotoeffektning qo'llanilishi .....	209
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	212
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	213
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	215
69- §.	Geliotexnika elementlari. Quyosh energiyasidan foydalanish.....	216
70- §.	Yorug'likning bosimi. Lebedev tajribasi.....	221
71- §.	Yorug'likning kimyoviy ta'siri.....	224
72- §.	Fotografiya.....	226
73- §.	Kinoda ovoz yozib olish va uni eshittirish.....	228
74- §.	Yorug'likning korpuskulyar-to'liq dualizmi.....	230
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	232
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	232
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	234

## ATOM VA YADRO FIZIKASI

### VII bob. Atom fizikasi

75- §.	Atom tuzilishi. Tomsonning atom modeli .....	235
76- §.	Rezerford tajribasi. Rezerford formulasi .....	237

77- §.	Atomning planetar modeli va uning kamchiliklari .....	240
78- §.	Bor postulatları. Energetik sathlar .....	243
79- §.	Vodorod atomi uchun Borning elementar nazariyasi .....	245
80- §.	Frank va Gers tajribasi .....	248
81- §.	Atom spektridagi qonuniyatlar. Balmerning umumlashgan formulasi .....	251
82- §.	Kombinatsion prinsip. Bor nazariyasining kamchiliklari .....	252
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	256
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	257
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	259
83- §.	Moddalarning to'liqin xususiyatlari. Lui de-Broyl gipotezasi .....	259
84- §.	Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari .....	262
85- §.	Kvant mexanika haqida tushuncha .....	263
86- §.	Atom sistemasini xarakterlovchi kvant sonlar. Spin .....	265
87- §.	Pauli prinsipi. Medeleevning kimyoviy elementlari davriy sistemasining fizikaviy tushuntirilishi .....	268
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	270
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	271
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	274
88- §.	Spontan va majburiy nurlanishlar. Yorug'likni kuchaytirish prinsipi .....	275
89- §.	Lazerlar .....	278
90- §.	Lazer nurlanishining xossalari. Lazerlarning qo'llanilishi .....	280
91- §.	Optikada nohiziqiy effektlar .....	283
92- §.	Golografiya .....	285
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	288

### VIII bob. Atom yadrosi fizikasi

93- §.	Atom yadrosining tarkibi. Atom yadrosini xarakterlovchi asosiy kattaliklar .....	289
94- §.	Yadroning zaryadi, massasi va radiusini aniqlash usullari .....	291
95- §.	Yadro kuchlari. Yadro modellari haqida tushuncha .....	293
96- §.	Yadroning bog'lanish energiyasi. Massa defekti .....	296
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	299
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	299
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	301
97- §.	Radioaktivlik. Alfa-, beta- va gamma-nurlar .....	301
98- §.	Siljish qoidalari. Neytrino .....	304
99- §.	Radioaktiv yemirilish qonuni. Radioaktiv oila .....	307
	<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	310
	<i>Masala yechish namunalari</i> .....	310
	<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	312
100- §.	Zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari .....	312
101- §.	Yadro reaksiyalari. Neytronning kashf etilishi .....	316

102- §. Sun'iy radioaktivlik. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari .....	319
103- §. Yadrolarning bo'linishi .....	321
104- §. Zanjir yadro reaksiyasi .....	324
105- §. Yadro energiyasini olish. Yadro reaktorlari .....	326
<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	328
<i>Masala yechish namunalari</i> .....	329
<i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....	331
106- §. Termoyadro reaksiyasi .....	332
107- §. Yuqori temperaturali plazmani yaratish va uni saqlab turish. Tokamak .....	334
108- §. Yadroviy nurlanish dozasi .....	337
109- §. Yadroviy nurlanishning kimyoviy va biologik ta'siri. Biologik himoya .....	339
110- §. Radioaktiv izotoplarni olish, ulardan nishonli atomlar va nurlanishlar manbai sifatida foydalanish. Bu sohada O'zbekistonda qilinayotgan ishlar .....	342
<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	345

### **IX bob. Elementar zarralar haqida tushuncha**

111- §. Elementar zarralar tarkibi .....	347
112- §. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi .....	349
113- §. Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari. Annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishi .....	352
114- §. Elementar zarralar sinflari .....	354
115- §. Elementar zarralarning kvark modeli. Glyuonlar .....	357
116- §. Elementar zarralarning o'zaro ta'sir turlari. Fizikaviy ta'sir turlarining birlashgan nazariyasi haqida tushuncha .....	359
117- §. Kosmik nurlar haqida tushuncha. Birlamchi kosmik nurlar .....	361
118- §. Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar .....	363
<i>Takrorlash uchun savollar</i> .....	367

### **X bob. Olamning yagona fizik manzarasi. Fizikaning jamiyat taraqqiyotidagi ahamiyati**

119- §. Olamning mexanik manzarasi .....	368
120- §. Olamning elektromagnit manzarasi .....	369
121- §. Olamning hozirgi zamon fizik manzarasi .....	370
122- §. Fizika va ilmiy-texnika inqilobi .....	372
Mustaqil yechish uchun berilgan masalalarning javoblari .....	376
Foydalanilgan adabiyotlar .....	378

MUHABBAT HAMDAMOVNA O‘LMASOVA

**FIZIKA**  
**OPTIKA, ATOM**  
**VA YADRO FIZIKASI**

**3- kitob**

*Akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma*

Ikkinchi hashri

Muharrir *Xudoyberdi Po‘latxo‘jayev*

Rassom *Shuhrat Odilov*

Badiiy muharrir *Uyg‘un Solihov*

Texnik muharrir *Yelena Tolochko*

Musahhih *Mahmuda Usmonova*

Kompyuterda sahifalovchi *Davron Hamidullayev*

Bosishga ruxsat etildi 05.07.2010. Bichimi 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ofset qog‘ozi. Tayms TAD garniturası. Shartli b.t. 24,0. Nashr b.t. 23,98. Shartnoma № 68–2010. 1346 nusxada. Buyurtma № 650.

O‘zbekiston Matbuot va axborot agentligining Cho‘lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 100129, Toshkent, Navoiy ko‘chasi, 30- uy.

«Shoakbar» xususiy ilmiy ishlab chiqarish tijorat firmasi bosmaxonasida chop etildi. 100031, Toshkent, To‘g‘on Rejаметov ko‘chasi, 1 a.

**O‘lmasova M.H.**

O‘ 70 **Fizika optika, atom va yadro fizikasi:** Akad. litseylar uchun o‘quv qo‘llanma/M.H. O‘lmasova; B.M. Mirzaahmedov tahriri ostida; O‘zbekiston Respublikasi oliy va O‘rta-maxsus ta‘lim vazirligi, O‘rta maxsus, kasb-hunar ta‘limi markazi. — T.:, Cho‘lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2010

K. 3. — 384 b.

**BBK 22.343ya722**