

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS  
TA‘LIM VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI  
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

---

# **F I Z I K A**

**MA‘RUZALAR TO‘PLAMI**

**(3 qism)**

**TOSHKENT – 2019**

Umirzakov B.Y., Abduvayitov A.A., Boltayev X.X. **Fizika ma'ruzalar to'plami (3 qism).**–Toshkent, ToshDTU, 2019.–142 b.

Ushbu ma'ruzalar to'plami Fizika fanining yangi dastur asosida tashkil etishga bag'ishlangan bo'lib, uning maqsadi talabalarni nazariy bilimlar va fizikaning asosiy qonunlarini to'laroq o'rgatishdan iborat.

Ma'ruzalar to'plamidan texnika oliy o'quv yurtlarining talabalari foydalanishi mumkin.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy–  
uslubiy kengashi qaroriga muvofiq chop etildi.

### **Taqrizchilar:**

- Norqulov N. – O'zMU Fizika fakulteti “Yarim o'tkazgichlar va polimerlar fizikasi” kafedrasida dotsenti;  
Risbayev A.S. – ToshDTU, “Umumiy fizika” kafedrasida professori.

## KIRISH

Ushbu ma’ruzalar to’plami Davlat ta’lim standarti asosida Toshkent davlat texnika universiteti ta’lim yo’nalishlari bakalavrlar tayyorlash talablariga muvofiq “Fizika” (3 qism) fanining o’quv rejayi asosida tayyorlangan. Ma’ruzalarni o’qish jarayonida multimediali texnik vositalardan foydalangan holda olib borish nazarda tutilgan.

O’quv qo’llanmada “Fizika” fanining kvant fizikasi, kvant optikasi va mexanikasi elementlari, qattiq jismlar fizikasi, atom yadrosining tuzilishi va yangi texnologiyalar fizikasi bo’limlari mavzularga ajratilgan holda bayon etilgan. Jumladan, yorug’likning kvant xususiyatlari mavzusida issiqlik nurlanishi, asolyut qora jism va Kirxgof qonunlari, kvant optikasi elementlari mavzusida fotoeffekt hodisasi, uning qonunlari, yorug’lik bosimi, Lebedov tajribasi va Kompton effekti hodisasi va shu qatori ko’lab mavzular atroflicha bayon qilingan. Mavzularni bayon qilishda fizik hodisalar, ularning mohiyati va matematik ifodalardan foydalangan holda tushuntirilgan. Belgilash va fizik kattaliklarning xalqaro birliklar tizimi (XBT) asosida keltirilgan. O’quv qo’llanma davlat tilida chop etilgan va zamonaviy chet el adabiyotlaridan (D.Giancoli. PHYSICS (PRINCIPLES WITH APPLICATIONS), Hugh d.Young, Roger A. Freedman. UNIVERSITY PHYSICS with modern physics) hamda Hugh d. Young, Roger A. Freedman. UNIVERSITY PHYSICS with modern physics (13<sup>th</sup> Edition) foydalangan holda yozilgan.

Ushbu ma’ruza matnining asosiy maqsadi talabalarni tabiatdagi hodisa va jarayonlar bilan tanishtirish, ularni ilmiy nuqtai nazardan malakalarini shakllantirish, nazariy, amaliy, laboratoriyalarda olingan natijalar asosida fizik qonuniyatlarni obyektiv ekanligini isbot qilishdir. Olingan bilimlar va ko’nikmalar kelgusida mutaxassislik fanlarini o’zlashtirishda asos bo’ladi. Talabalarning bilim darajasi ikkita oraliq, laboratoriya, amaliy mashg’ulot va yakuniy nazorat o’tkazish orqali aniqlanadi.

## 4 BOB. KVANT FIZIKA

### 35–MAVZU: YORUG‘LIKNING KVANT XUSUSIYATLARI

**Ma’ruzaning maqsadi:** Absolyut noldan yuqori haroratdagi har qanday jismlarning ichki energiyasining elektromagnit nurlanishlarni vujudga keltirish sabablarini, uning qonuniyatlarini, yorug‘likning kvant tabiati yordamida tushuntirishdan iborat.

#### 35.1. Issiqlik nurlanishi. Absolyut qora jism

Jismlarning biror tashqi ta’sir natijasida o‘zidan nur chiqarishi uning nur chiqarish qobiliyati degan kattalik bilan xarakterlanadi. Tajribalar ko‘rsatadiki, jismning nur chiqarishi undagi atom va molekullarning tebranishi, aylanma harakati va ulardagi zaryadlarning ko‘chishi hisobiga ro‘y berar ekan.

1) Atom va molekullarning tebranishi va aylanma harakati asosan infraqizil nurlarni chiqarar ekan.

2) Zaryadlarning, masalan, elektronlarning bir orbitadan ikkinchi orbitaga o‘tishi tufayli infraqizil nurlar ko‘zga ko‘rinadigan nurlar va ayrim hollarda ultrabinafsha nurlar chiqarishi mumkin ekan.

3) Rentgen nurlar ko‘p hollarda erkin elektronlarning tormozlanishi hisobiga chiqishi mumkin ekan.

Nur chiqarish usullari juda ko‘p va xilma xil, lekin eng ko‘p qo‘llanadigan usul qizdirish usulidir. Jismlarning qizishi tufayli ulardan nur ajralib chiqishi **issiqlik nurlanishi** deyiladi. Pastroq haroratlarda infraqizil nurlar, katta haroratlarda ko‘zga ko‘rinadigan nurlar uchib chiqishi kuzatilgan. Ma’lum bir haroratda qizdirish bilan nur chiqarish orasida muvozanat bo‘ladi. Demak, jism nur chiqarishi uchun o‘zi energiya olib va ichki energiyasini o‘zgartirish hisobiga nur chiqarar ekan. Ko‘pincha nur chiqarish ma’lum bir chastota oralig‘ida ro‘y beradi vauni **spektral nur chiqarish** deyiladi. Uning nur chiqarish qobiliyati  $R_{\nu,T}$  quyidagi tenglik bilan topiladi:

$$R_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{nurlanish}}{d\nu} \quad (35.1)$$

Nurlanish qobiliyati birligi  $[R_{T,\nu}] = [\frac{Joul}{m^2sek}]$ .

Bu yerda:  $dW_{\nu, \nu+d\nu}$  – birlik yuzadan  $\nu + d\nu$  chastota intervaliga chiqayotgan nurlanish quvvati;  $d\nu$  – nurlanish chastotasi intervali.

**Nurlanish quvvati** deb, birlik yuzaga bir sekunda tushayotgan nurlanish oqimi tushuniladi. Agar jism har xil chastotali nurlar chiqarayotgan bo'lsa, ularning yig'indisi, ya'ni integrali **to'la nur chiqarish qobiliyati** deyiladi.

Jismning to'la nur chiqarish qobiliyati:

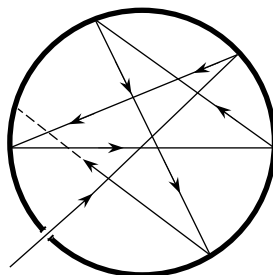
$$R_T = \int_0^{\infty} R_{T,\nu} d\nu \quad (35.2)$$

Jismning o'ziga berilayotgan energiya qabul qilish kattaligi uning **nur yutish qobiliyati** deyiladi. Nur yutish qobiliyati  $A$  harfi bilan belgilanib jism yutgan nur quvvatining unga tushayotgan nur quvvatiga nisbati orqali aniqlanadi:

$$A_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,T}^{yutilish}}{dW_{\nu,T}} \quad (35.3)$$

Jismning nur yutish qobiliyati birliksiz kattalik bo'lib, u har doim birdan kichik, ayrim hollarda teng bo'lishi mumkin.

O'ziga tushayotgan nurni to'liq yutadigan jism **absolyut qora jism** deyiladi. Absolyut qora jismga yaqin bo'lgan jism qora kuya, qora baxmal misol bo'lishi mumkin. Ammo, absolyut qora jism holdagi yahlit qora material mavjud emas. Kichkina tuynukdan iborat ichi g'ovak va ichki qismiga qora surtilgan jism absolyut qora jism deb qabul qilingan.



35.1-rasm

## 35.2. Kirxgof qonunlari

Jismlarning nur chiqarish, nur yutish qobiliyatlari va ular orasidagi bog'lanishlarni Kirxgof tajribalarida aniqlagan. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, jismning turidan, tarkibidan qat'iy nazar ularning

nur chiqarish qobiliyatlarining nur yutish qobiliyatlariga nisbati o'zgarmas bo'lar ekan. Bizga nur chiqarish qobiliyatlari  $R_1, R_2, R_3 \dots R_q$  bo'lgan va unga mos ravishda nur yutish qobiliyatlari  $A_1, A_2, A_3 \dots A_q$  bo'lgan materiallar berilgan bo'lsin.  $A_q = 1$  bo'lsa, u holda Kirxgof qonuniga asosan,

$$\frac{R_1}{A_1} = \frac{R_2}{A_2} = \dots = \frac{R_q}{A_q} = R_q \quad (35.4)$$

Berilgan haroratda barcha jismlar uchun nur chiqarish qobiliyatining nur yutish qobiliyatiga nisbati o'zgarmas kattalik bo'lib, u absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyatiga teng bo'ladi. Bu qoidadan quyidagi 3 ta xulosa kelib chiqadi:

1) Har qanday jismning nur chiqarish qobiliyati uning nur yutish qobiliyatining absolyut qora jism nur chiqarish qobiliyati ko'paytmasiga teng:

$$R = A \cdot R_q \quad (35.5)$$

2) Har qanday jismning nur chiqarish qobiliyati absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyatidan kichik bo'ladi.

$$R < R_q \quad (35.6)$$

3) Jism qanday chastotali nurni yutsa huddi shunday chastotali nurni chiqaradi.

### 35.3. Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari

Absolyut qora jismning nurlanishi vanur yutishi asosan temperturaga va chastotaga bog'liq. Stefan-Bolsman absolyut qora jismning haroratga bog'liqligini aniqlab quyidagi qonunni yaratdi. Absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati absolyut haroratning 4-darajasiga proporsional bo'ladi:

$$R_q = \sigma \cdot T^4 \quad (35.7)$$

$\sigma$  – Stefan-Bolsman doimiysi.

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{Wt}{m^2 \cdot K^4}$$

Nurlanishning yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligi Vin qonuni bilan ifodalanadi: Absolyut qora jismning maksimum

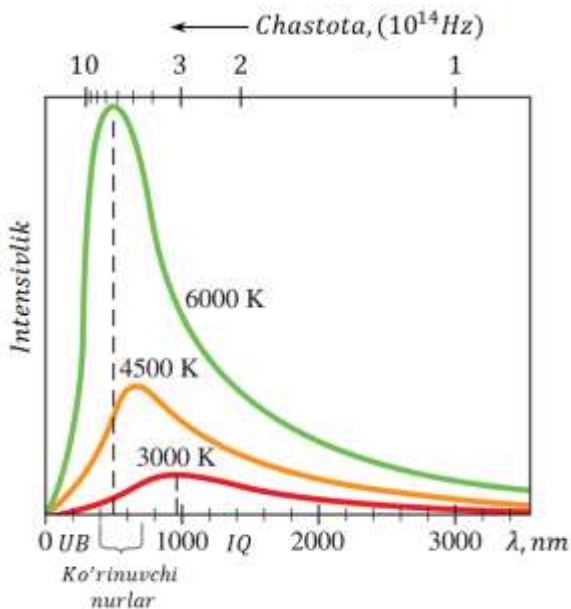
nurlanishiga to'g'ri kelgan to'lqin uzunlik absolyut haroratga teskari proporsional:

$$\lambda_{max} \cdot T = b \quad (35.8)$$

Bu yerda:  $b$  – Vin doimiysi.

$$b = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Stefan-Bolsman va Vin qonunlarini izohlash uchun 35.2-rasmda ko'mirning turli haroratlarda nurlanish spektridagi energiya taqsimoti grafigi berilgan.  $T$  oshgan sari nurlanish maksimum chap tomoni siljiydi. Shuning uchun bu qonun “**Vinning siljish qonuni**“ deyiladi.

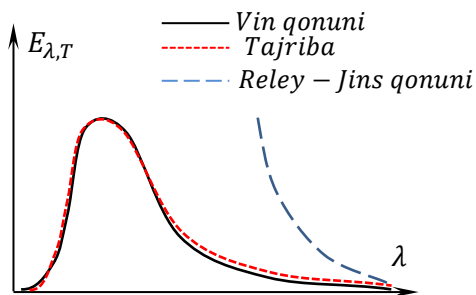


35.2-rasm. Ko'mirning nurlanish spektri

Reley va Jins issiqlik nurlanishga statik fizika uslublaridan foydalanib, absolut qora jism nur chiqarish qobiliyati uchun

$$E_{\lambda,T} = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4} \quad (35.9)$$

ifoda topdi.



35.3-rasm. Reley-Jins qonuni

Bu ifoda katta to‘lqin uzunliklar sohasida tajriba bilan mos keladi. Qisqa to‘lqin sohasida cheksiz katta ("ultrabinafshaviy xalokat", P.Erenfest) qiymatlariga ega bo‘ladi. Reley-Jins qonunidan Stefan-Bolsman qonunini chiqarishga urinishlar ham natija bermadi.

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{\lambda, T} d\lambda = 2\pi ckT \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^4} = \infty \quad (35.10)$$

Reley-Jins ifodasi klassik fizika qonunlariga qat’iy amal qilingan holda chiqarilgan. Lekin tajribani tushuntira olmadi. M.Plank (1900)-klassik fizika asosida kamchilik bor degan xulosaga keladi va o‘z gepotezasini ilgari surdi: ya’ni jismlarning nurlanishi uzluksiz emas, balki alohida kvantlar (ulushlar) sifatida chiqariladi. Har bir nurlanish kvantining energiyasi:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (35.11)$$

ga teng. Bunda  $\nu = c/\lambda$  nurlanishning chastotasi  $h$  - Plank doimiysi ( $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$  J·s). (35.11) ga asosan  $\lambda \rightarrow 0$  da kvant energiyasi shu darajada ortib ketadiki, natijada jism issiqlik harakatining energiyasi, hatto bittagina kvant chiqarishiga ham yetmaydi va  $E_{\lambda, T}$  ning qiymati keskin kamayib ketadi.

Issiqlik nurlanishi uchun Plank:

$$E_{\lambda, T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (35.12)$$



formula kelib chiqadi. Bu formula **Plank doimiysi** deb ataladi. Bu formula tajribada olingan natijalarni to‘la tushuntiradi va unda absolut qora jism nurlanishi uchun olingan hamma qonunlar kelib chiqadi. Bundan Stefan-Bolsman qonunini olish uchun (35.12)ni to‘lqin uzunlikning 0 dan  $\infty$  gacha intervalda integrallaymiz:

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{\lambda,T} d\lambda = 2\pi hc^2 \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \quad (35.13)$$

Hisoblashlarni bajarish uchun yangi o‘zgaruvchanlikni kiritaylik:

$$x = \frac{\lambda kT}{hc}; \quad \lambda = \frac{hc}{kT} x; \quad d\lambda = \frac{hc}{kT} dx$$

Bularni (35.13) ga qo‘ysak:

$$E_T = 2\pi hc^2 \left( \frac{hc}{kT} \right)^4 \int_0^{\infty} \frac{dx}{x^5 (e^{1/x} - 1)}$$

ifodani hosil qilamiz. Bundagi integral  $\pi^4/15$  ga teng. Shuning uchun

$$E_T = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

Bu ifodada

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \quad (35.14)$$

Stefan-Bolsman doimiysidir.

## 36–MAVZU: KVANT OPTIKASI ELEMETLARI

**Ma’ruzaning maqsadi:** Yorug‘likning kvant tabiatini tasdiqlovchi fotoeffekt hodisasi va uning qonunlarini o‘rganishdan iborat.

### 36.1. Foton va uning xarakteristikalari

Fotoeffekt hodisasi, absolyut qora jismning nurlanishi, foto-kimyoviy reaksiyalar va boshqalar Eynshteynning elektromagnit

nurlanish nafaqat porsiya (kvant)lar bilan chiqadi, balki elektromagnit maydonning alohida zarralari –  $\varepsilon = h\nu$  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:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (36.1)$$

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  $h\nu = m_f c^2$  tenglikdan aniqlash mumkin:

$$m_f = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{yoki} \quad m_f = \frac{h}{c\lambda} \quad (36.2)$$

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 xossaligidan 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:

$$p_f = m_f c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (36.3)$$

Foton impulsi vektor kattalik, uning yo'nalishi yorug'lik nuri yo'nalishi bilan mos tushadi. Foton impulsining mavjudligi yorug'likning bosimi va moddada sochilishi bo'yicha o'tkazilgan tajribalar bilan tasdiqlanadi.

(36.3) formula yorug'likning to'liq va kvant xossalari bir-biriga bog'lovchi formula hisoblanadi. (36.2) va (36.3) formulalardan ko'rinadiki, nurlanish chastotasi ortishi bilan fotonning massasi va impulsi ham ortar ekan. Nurlanishlarning ba'zi turlari uchun fotonning energiyasi, massasi va impulsi jadvalda keltirilgan:

36.1- jadval

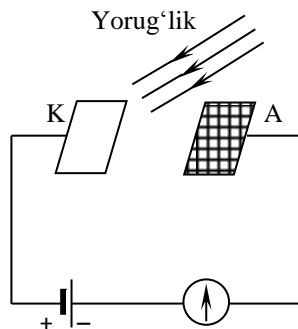
Nurlanish turi	$\varepsilon$ , J	$\nu$ , Hz	$m_f$ , kg.	$p_f$ , $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Ko'rinadigan yorug'lik	$3,14 \cdot 10^{-19}$	$5,14 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-36}$	$1,2 \cdot 10^{-27}$
Ultrabinafsha nurlar	$2 \cdot 10^{-18}$	$3 \cdot 10^{15}$	$2,2 \cdot 10^{-35}$	$6,6 \cdot 10^{-27}$
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 ko‘rinadiki, yorug‘lik 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.

### 36.2. Fotoeffekt hodisasi. Fotoeffekt qonunlari. Eynshteyn formulasi

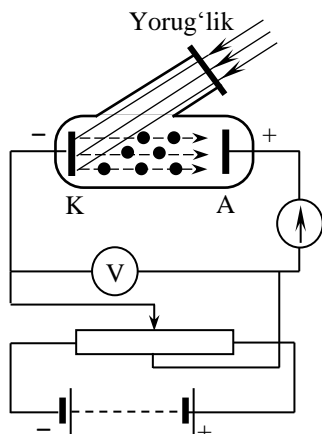
**Fotoeffekt** – yorug‘lik ta‘sirida jismdan elektronning ajralib chiqishidir. Bu hodisani birinchi marta 1887-yilda G. Gers ko‘zatgan. Fotoeffekt bo‘yicha mqdoriy tekshirishglarni rus fizigi A.G. Stoletov bajardi (1888-1889 yillar). Stoletov tajribasining sxemasi 36.1-rasmda tasvirlangan. Ikki metall elektroddan biri plastinka shaklida, ikkinchisi esa to‘rsimon shaklda yasalgan bo‘lib, ular galvanometr zanjiriga ulangan. Qurilma qorong‘ulikda joylashtirilganda zanjir bo‘ylab elektr toki kuzatilmadi. Lekin katod vazifasini o‘tayotgan pastinkaning yortilishi bilanoq zanjirda tok paydo bo‘ldi. Anod vazifasini o‘tayotgan to‘r yoritilsa, zanjirda elektr toki vujudga kelmaydi. Demak, yorug‘lik ta‘sirida katod sirtidan manfiy zarralar ajralib chiqadi va ular anod tomon harakatlanib zanjirda elektr tokini hosil qiladilar. Bu tokni **fototok** deb ataladi. 1898 yilda Lenard va Tomson katoddan ajralib chiqayotgan zarralarning magnit maydonda og‘ishiga asoslanib, ularning solishtirma zayadini aniqladilar. Bu esa katoddan ajralayotgan zarralar elektronlardir degan xulosaga olib keldi.

Fotoeffekt hodisasi plastinka (katod)ning faqat kimyoviy tarkibigagina emas, balki plastinka sirtining tozalik darajasiga ham bog‘liq ekanligi tajribalarda aniqlandi. Shuning uchun fotoeffekt hodisasini o‘rganish uchun 36.2-rasmda tasvirlangan qurilmadan foydalaniladi. Havosi so‘rib olingan shisha idish ichidagi katod tekshirilishi lozim bo‘lgan metall bilan qoplangan. Uni odatda **fotokatod** deb ataladi.

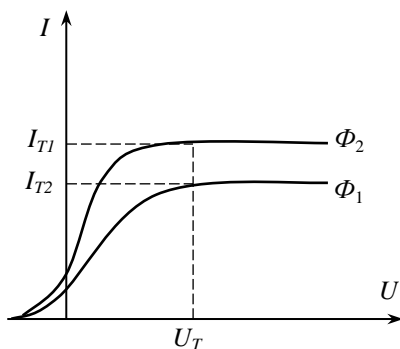


36.1-rasm. Stoletov tajribasi

Monoxromatik nurlar dastasi shisha idishdagi derazadan o‘tib katod sirtiga tushadi. Sxemadagi potensiometr elektrodlar orasidagi kuchlanishlar qiymatlarini hamda ishorasini o‘zgartirishga imkoniyat beradi. Kuchlanish voltmetrda, fototok esa galvanometr yordamida o‘lchanadi. 36.3-rasmda yorug‘lik oqimi  $\Phi_1$  va  $\Phi_2$  bo‘lgan hollar uchun fototokning anod va katod orasidagi kuchlanishning bog‘liqligini ifodalovchi egri chiziqlar, ya’ni volt-ampere xarakteristikalar tasvirlangan. Rasmda ko‘rinishicha, elektr maydon tezlatuvchi xarakterga ( $K$  da manfiy,  $A$  da musbat) ega bo‘laganda fototokning qiymati kuchlanishga monand ravishda ortib boradi. Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab fototok o‘zgar olmay qoladi, ya’ni to‘yinadi. Boshqacha aytganda, fotoelektronlarning barchasi anodga yetib boradi. Fototokning bu qiymatini **to‘yinish toki** deb ataladi. Lekin fotokatodga tushayotgan fototokning oqimi o‘zgartirilsa, to‘yinish tokining qiymati ham o‘zgaradi. Masalan 36.3-rasmda tasvirlangan grafiklarda  $I_{T1}$ ,  $I_{T2}$ , chunki  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ . Bu tajribalar fotoeffektning birinchi qonunini keltirib chiqaradi: muayyan fotokatodga tushayotgan yorug‘likning spektral tarkibi o‘zgarmas bo‘lsa, fototokning to‘yinish qiymati yorug‘lik oqimiga to‘g‘ri proporsionaldir.



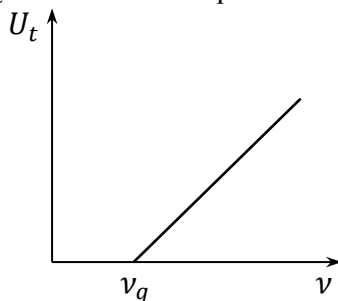
36.2-rasm. Fotoeffekt hodisasi



36.3-rasm. Fotoeffektning volt-ampere tavsifi

Anod va katod orasidagi kuchlanish nolga teng boʻlgan holda ham fototok mavjud boʻladi. Hattoki  $U = 0$  boʻlgan (yaʼni  $K$  da musbat,  $A$  da manfiy) hollarda ham fototok kuzatiladi. Bunday xollarda katoddan anodga tomon harakatlanayotgan fotoelektronlar maydon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Bu ish fotoelektronlarning kinetik energiyasi evaziga bajariladi. Agar elektr maydon yetarlicha kuchli boʻlsa, fotoelektronlar anodga yetib bormasdan oʻz energiyalarini sarflab qoʻyadilar. Natijada zanjirdagi fototok toʻxtab qoladi. Bu holga mos keluvchi tormozlovchi kuchlanishning qiymati  $U_t$  ni **toʻxtatuvchi kuchlanish** (baʼzan toʻxtatuvchi potensial) deb ataladi. Tajribalarning koʻrsatishicha, tormozlovchi maydon kuchaytirilgan sari (36.4-rasmdagi grafikni  $U = 0$  qismiga qarang) fototok ohista kamayib boradi va  $U = U_t$  da  $I = 0$  boʻlib qoladi.

Demak, fotokatoddan ajralib chiqayotgan fotoelektronlarning tezliklari turlicha.  $U = U_t$  boʻlganda, hatto eng katta tezlikka ega boʻlgan fotoelektronlarning kinetik energiyasi ham tormozlovchi maydon qarshiligini yenga olmaydi. Bu chegaraviy holdan foydalanib quyidagi munosabatni yoza olamiz:



36.4-rasm

$$eU_t = \frac{1}{2} m_e v_{max}^2 \quad (36.4)$$

Bunda:  $e$  – va  $m$  mos ravishda elektronning zaryadi va massasi;  $v_{max}$  – fotoelektron tezligining maksimal qiymati.

(36.4) ifodadan  $U_t$  ning tajribada olingan qiymatlariga mos keluvchi  $v_{max}$  larni topish mumkin. Toʻlqin uzunliklari turlicha boʻlgan monoxromatik yorugʻliklar bilan oʻtkazilgan tajriba natijalarini muhokama qilish tufayli **fotoeffektning ikkinchi qonuni** deb ataladigan quyidagi xulosaga kelingan: muayyan fotokatoddan ajralib chiqayotgan fotoelektronlar boshlangʻich tezliklarining maksimal qiymati yorugʻlik intensivligiga bogʻliq emas. Yorugʻlikning toʻlqin uzunligi oʻzgarsa, fotoelektronlarning ham maksimal tezliklari oʻzgaradi.

Muayyan fotokatodga tushayotgan yorug‘lik tulqin uzunligi va fotoelektronlarning maksimal tezliklari orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi grafikni chizish qulayroq. Tajribada aniqlangan shunday grafik 36.4-rasmda tasvirlangan. Rasmda ko‘rinishicha  $U_t$  ning qiymati (ya‘ni fotoelektronlarning maksimal qiymati) va yorug‘lik chastotasi orasida chiziqli bog‘lanish mavjud. Shunisi e‘tiborga loyiqki, chastotaning biror qiymatida fotoelektronlarning qiymati nolga teng bo‘ladi. Chastotaning bu qiymati **chegara** hisoblanadi. Past chastotali yorug‘lik fotoeffekt hodisasini vujudga keltirmaydi. Fotoeffekt ko‘zatilishi uchun  $v > v_q$  chastotali yorug‘lik ta’sir ettirish lozim. Chegaraviy chastotaga mos bo‘lgan:

$$\lambda_q = \frac{c}{v_q} \quad (36.5)$$

to‘lqin uzunlikni fotoeffektning **“qizil chegarasi”** deb atash odat bo‘lgan. **Fotoeffektning uchinchi qonuni** ana shu qizil chegara haqidagi xulosadir: “Har bir fotokatod uchun biror “qizil chegara” mavjud bo‘lib, undan kattaroq to‘lqin uzunlikli yorug‘lik ta’sirida fotoeffekt vujudga kelmaydi”.

$\lambda_q$  ning qiymatini yorug‘lik intensivligiga mutlaqo bog‘liq emas, u faqat fotokatod materialining kimyoviy tabiatiga va sirtining holatiga bog‘liq.

Nihoyat tajribalarda namoyon bo‘ladigan yana bir fakt mavjud: “Yorug‘likning fotokatodga tushishi bilan fotoelektronlarning hosil bo‘lishi orasida sezilarli vaqt o‘tmaydi”. Bu **fotoeffektning to‘rtinchi qonunidir**. Bayon etilgan bu to‘rt qonun fotoeffektning xususiyatlarini to‘liq tavsiflaydi. Lekin shuni alohida qayd qilish lozimki, 36.2-rasmda tasvirlangan zanjir bo‘ylab elektr tokining vujudgan kelishiga yorug‘lik oqimi sababchi bo‘lmoqda. Ikkinchi tomondan, zanjirda elektr toki mavjud bo‘lishi uchun tashqi elektr yurituvchi kuch ta’sir qilishi lozim albatta. Demak, ko‘rilayotgan holda yorug‘lik elektr yurituvchi kuch vazifasini bajaradi. Uni **fotoelektr yurituvchi kuch** deyiladi. Elektr yurituvchi kuchlarni hosil qiluvchi galvanik element yoki termoelementga qiyos qilib yorug‘lik ta’sirida elektr yurituvchi kuchni vujudga keltiradigan qurilmani **fotoelement** deb ataladi.

Fotoelementlar texnikaning turli sog‘alarida keng qo‘laniladi.

### 36.3. Fotoeffekt nazariyasi

Fotoeffektning faqat birinchi qonunini to‘lqin nazariyasi asosida tushuntirish mumkin. Lekin to‘lqin nazariyasi ikkinchi va uchinchi qonunlarini tushuntirishda o‘zlik qiladi.

Haqiqatan, to‘lqin nazariyaga asosan fotokatodga tushayotgan ixtiyoriy to‘lqin uzunlikka ega bo‘lgan yorug‘likning intensivligi ortgan sari ajralib chiqayotgan fotoelektronlarning energiyalari ham ortishi lozim edi. Vaholanki, tajribalarning ko‘rsatishicha fotoelektronning energiyasi mutlaqo yorug‘lik intensivligiga bog‘liq emas.

Ikkinchidan, to‘lqin nazariyaga asosan, elektron metallardan ajralib chiqishi uchun kerakli energiyani har qanday yorug‘likdan olishi mumkin, ya‘ni yorug‘lik to‘lqin uzunligining ahamiyati yo‘q. Faqat yorug‘lik intensivligi yetarlicha katta bo‘lishi lozim. Vaholanki, to‘lqin uzunligi “qizil chegara”dan katta bo‘lgan yorug‘likning intensivligi har qancha katta bo‘lsa ham fotoeffekt hodisasi ro‘y bermaydi. Aksincha, to‘lqin uzunligi “qizil chegara”dan kichik bo‘lgan yorug‘lik (masalan ultrabinafsha nurlar) intensivligi nihoyatda zaif bo‘lsa ham fotoeffekt kuzatiladi. Bundan tashqari nihoyatda zaif intensivlikdagi yorug‘lik tushayotgan taqdirda, to‘lqin nazariyasiga asosan yorug‘lik to‘lqinlari tashib kelgan energiya evaziga metallardagi elektron ma‘lum miqdordagi energiyani jamg‘arib olishi kerak. Bu energiya elektronning metallardan chiqishi (ya‘ni chiqish ishi  $A_{ch}$ ) uchun yetarli bo‘lgan holda fotoeffekt sodir bo‘lishi kerak. Hisoblarning ko‘rsatishicha, intensivligi juda kam bo‘lgan yorug‘likdan  $A_{ch}$  ga yetarli energiyani elektron jamg‘arib olishi uchun soatlab, ba‘zan, hattoki, sutkalab vaqt o‘tishi lozim ekan. Tajribalarda esa metallga yorug‘likning tushishi va fotoelektronning vujudga kelishi orasida  $10^{-6}$  s lar chamasi vaqt o‘tadi, xolos.

Demak, yorug‘likning to‘lqin nazariyasi va fotoeffekt hodisasi orasida yuqorida bayon etilgan mos kelmasliklar mavjud. Shuning uchun yorug‘likni uzluksiz elektromagnit to‘lqin protsessi deb tasavvur qilish yorug‘lik tabiatini to‘lq aks ettirmaydi, degan fikr vujudga keldi. Bu fikr 1905-yilda A. Eynshteyn yorug‘likning kvant nazariyasini ishlab chiqishiga sabab bo‘ldi. Eynshteyn bu sohada



Plank gipotezasini rivojlantirib quyidagi g'oyani ilgari surdi: yorug'lik kvantlar tariqasida nurlanibgina qolmay, balki yorug'lik energiyaning tarqalishi ham yutilishi ham kvantlangan bo'ladi. Bu g'oyaga asosan metall sirtiga tushayotgan yorug'lik oqimini yorug'lik kvantlari (ya'ni fotonlar) oqimi deb tasavvur qilish lozim. Fotoeffekt hodisada esa bu fotonlardan ayrimlarining metall sirtiga yaqin joylashgan ayrim elektronlar bilan ta'sirlashuvi ro'y beradi (odatda metall sirtiga tushayotgan fotonlarning taxminan mingdan biri fotoeffektni hosil qiladi, qolgan fotonlar esa o'z energiyalarini elektronlarga emas balki kristall panjaraga beradi). Eynshteyn fotoeffektga energiyaning saqlanish qonunini qo'lladi. Foton bilan elektronning ta'sirlashuvi jarayonida fotonning  $h\nu$  energiyasi elektronga o'tadi. Boshqacha aytganda, ta'sirlashuvga qadar yorug'lik kvanti tarzida namoyon bo'layotgan energiya ta'sirlashuvdan so'ng elektronning energiyasiga aylanadi. Agar bu energiya yetarlicha katta ( $h\nu > A_{ch}$ ) bo'lsa, metalldan tashqariga chiqib olgan elektron (ya'ni fotoelektron)ning maksimal kinetik energiyasi sifatida namoyon bo'ladi. Shuning uchun:

$$h\nu = A_{ch} + \frac{m_e v^2}{2} \quad (36.6)$$

tenglama bajariladi. Maksimal kinetik energiya deyishmiz sababi shundaki, elektron o'z yo'lidagi qarshiliklarni yengish (masalan, atomlar bilan to'qnashish)da energiyaning bir qismini yo'qotishi mumkin. (36.6) ifoda tashqi fotoeffekt uchun **Eynshteyn tenglamasi** deb ataladi. "Tashqi fotoeffekt" iborasining ishlatilishiga sabab, yuqorida bayon etilgan hollarda fotoelektronlar moddadan tashqariga ajralib chiqadi. Ba'zi moddalar esa, masalan, yarimo'tkazgichlarda, fotonlar ta'sirida valent zonadagi elektron bo'sh zonadagi energetik sathlarga ko'chadi. Bu jarayon tufayli elektron modda tashqarisiga chiqmasdan uning ichida qoladi. Shuning uchun fotoeffektning bu turini **ichki fotoeffekt** deb ataladi.

Eynshteyn tenglamasi fotoeffektning barcha qonunlarini tushuntira oladi. Xususan, fotoeffekt amalga oshishi uchun lozim bo'ladigan foton energiyasining eng kichik qiymati (36.6) ga asosan elektronning metalldan chiqish ishi qiymatiga teng, ya'ni

$$h\nu = A_{ch} \quad (36.7)$$

Bu tenglik fotoeffektning “qizil chegarasi”ni aniqlaydi. (36.7) ga asosan “qizil chegara” tushayotgan yorug‘lik intensivligiga mutlaqo bog‘liq emas, chunki yorug‘lik intensivligi undagi fotonlar sonini xarakterlaydi, xolos. Eynshteyn tengalimasining zamirida elektron faqat bitta fotonni yutadi degan tasavvur yotadi. Lekn intensivligi juda katta bo‘lgan yorug‘liklar uchun fotoeffekt qonunlari o‘z kuchini yo‘qotadi. Haqiqatan, agar intensivligi juda katta bo‘lgan yorug‘lik bilan tajriba o‘tkazilayotgan bo‘lsa, metalldagi elektronga bir vaqtning o‘zida ikkita foton tushishi mumkin. Bu holda elektron yutgan energiya ikkala foton energiyalarining yig‘indisiga teng. Bunda sodir bo‘ladigan fotoeffektни **ko‘p fotonli fotoeffekt** deb ataladi. Tabiiyki, ko‘p fotonli fotoeffektning “qizil chegarasi” kichik chastotalar (katta to‘lqin uzunliklar) sohasiga siljiydi.

Fotoeffektning kvant nazariyasining muvaffaqiyati yorug‘likning kvant tabiatini namoyish qiluvchi dalillardan biridir. Keyinchalik yorug‘likning kvant tabiati bir qator tajribalarda tasdiqlanadi.

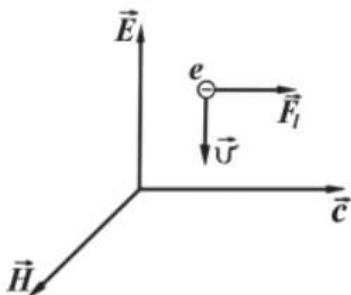
### 36.4. Yorug‘likning bosimi. Lebedev tajribasi

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.

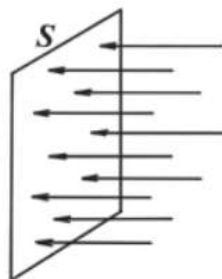
Yorug‘lik to‘lqinining elektr maydoni ta’siri ostida jismlardagi elektronlar elektr maydon kuchlanganligining yo‘nalishiga qarshi yo‘nalishda harakatga keladi. Batartib harakatlanayotgan elektronlarga yorug‘lik to‘lqinining magnit maydoni xuddi elektr tokiga ta’sir qilgani kabi to‘lqinning yo‘nalishi tomon yo‘nalgan Lorens kuchi bilan ta’sir etadi (36.5-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 (36.6-rasm).



36.5-rasm



36.6-rasm

Birlik yuzaga vaqt birligida tushayotgan barcha fotonlarning energiyasi yorug‘lik intensivligini xarakterlaydi. Bitta fotonning energiyasi  $h\nu$  ga teng bo‘lgani uchun:

$$I = Nh\nu \quad (36.8)$$

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

Impulsning saqlanish qonuniga asosan, fotonning sirtga beradigan kuch impulsi fotonning sirtga «urishdan» 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 sirtidan 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:

$$p = \frac{I}{c} \quad (36.9)$$

yutuvchi sirt uchun va

$$p = 2\frac{I}{c} \quad (36.10)$$

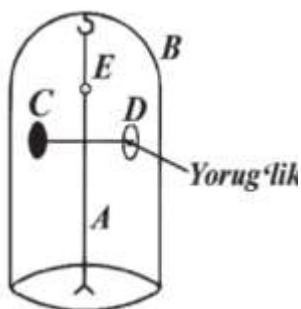
qaytaruvchi sirt uchun.

Maksvellning elektromagnit nazariyasiga asosan yorug'likning bosimi quyidagiga teng:

$$p = (1 + k)\frac{I}{c} \quad (36.11)$$

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 36.7-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.



36.7.-rasm

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.

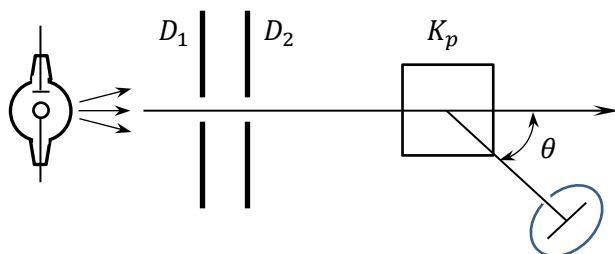
Yorug‘lik bosimining kvant va to‘lqin nazariyalar yordamida bir xil tushuntirilishi yorug‘likning to‘lqin xossalariga ham, korpuskulyar xossalariga ham ega bo‘lgan elektromagnit to‘lqin ekanligini yana bir karra isbotlaydi.

### 36.5. Kompton effekti

Yorug‘likning korpuskulyar xossalari Kompton effektida yorqin nomoyon bo‘ladi. Amerikalik fizik Kompton 1923-yilda yengil atomli moddalarda monoxromatik rentgen nurlarining sochilishini o‘rganayotib, sochilgan nurlanish tarkibida birlamchi to‘lqin uzunlikli nurlanish bilan birga kattaroq to‘lqin uzunlikli nurlanish borligini aniqladi. Tajribalar  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$  farq tushuvchi nurlanishning to‘lqin uzunligi  $\lambda$ , sochuvchi jismga bog‘liq bo‘lmay, faqat sochilish burchagi  $\theta$  ga bog‘liqligini ko‘rsatdi:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2K \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (36.12)$$

bu yerdagi  $K$  – **Kompton doimiysi** deb ataladi va  $K = 2,41 \cdot 10^{-12}$  m ga teng. 36.8-rasmda ko‘rsatilgan  $D_1$ ,  $D_2$  diafragmalardan o‘tgan ingichka rentgen nurlari  $K_r$  kristallga tushadi. Sochilgan nurlanishni  $S_n$  – spektrograf yordamida tekshirish mumkin. Nurlanish yo‘nalishda ( $\theta = 0$ )  $\lambda$  o‘zgarmaydi, boshqa yo‘nalishlarda  $\Delta\lambda \sim \sin^2 \theta/2$ .



36.8-rasm. Kompton effekti

Shunday qilib, Kompton effekti deb nurlanish (rentgen,  $\gamma$  - nurlanish) moddaning erkin elektronlarida sochilishi natijasida to‘qin uzunligining ortishiga aytiladi.

To‘lqin nazariya nuqtai nazaridan bu hodisani tushintirib bo‘lmaydi. Elektron yorug‘lik to‘lqini ta’sirida shu to‘lqin chastotasiga teng chastota bilan tebranishi va shu chastotaga teng to‘lqin nurlantirishi kerak.

Kvant nuqtai nazariga ko'ra rentgen fotonlarining kristall elektronlari bilan ta'sirlashganda yuqoridagi ifoda hosil bo'ladi  $K = h/m_0c$ . Hisob-kitoblar  $K$  uchun yuqoridagi son qiymatini, ya'ni  $h$ ,  $m_0$ ,  $c$  larning qiymatlaridan foydalanib,  $K = 2.426 \cdot 10^{-12}$  m hosil bo'ladi. Demak, nazariy ( $K = h/m_0c$ , ya'ni

$$\Delta\lambda = 2 \frac{h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

ifoda va (36.12) munosabat mos kelib, fotonlarning mavjudligini isbotlovchi dalil bo'lib xizmat qiladi.

### 37–MAVZU: KVANT MEXANIKASI ELEMENTLARI

#### 37.1. Mikrozarralarning to'liq tabiati. Zarra – to'liq dualizmi. Elektronlar difraksiyasi

Yorug'lik ham zarra, ham to'liq xususiyatiga ega. Bunday ikki xususiyatga ega bo'lishlik **dualizm** deyiladi.

Keyinchalik de-Broyl har qanday katta tezlik bilan harakat qilayotgan elementar zarrachalar ham dualizm xususiyatiga ega degan g'oyani ilgari surdi. Masalan, tezlashtirilgan elektronlar, protonlar va neytronlar ikki xil xususiyatga ega ekan. De-Broyl to'liq xususiyat va zarra xususiyat orasidagi bog'lanishni quyidagicha aniqladi.

Masalan, yorug'lik energiyasi:

$$E = h\nu \quad (37.1)$$

$$E = m_f c^2 \quad (37.2)$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (37.3)$$

Bu ifodalardan yorug'lik uchun:

$$\lambda = \frac{h}{m_f c} \quad (37.4)$$

Har qanday zarra uchun:

$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta} \quad (37.5)$$

bu yerda,  $\lambda$  – harakatdagi zarraning to‘lqin uzunligi;  $m$  – zarraning massasi;  $\vartheta$  – tezligi.

Zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligi juda kichikdir, uning tartibi  $10^{-10}$  m ni tashkil qiladi. Bu rentgen nurlar to‘lqin uzunligining tartibidir. Shu tufayli Lui de-Broyl gipotezasining to‘g‘ri ekanligini isbotlashda rentgen nurlarini o‘rganish usullaridan foydalaniladi.

Devison va Jermer de-Broyl gipotezasining to‘g‘ri ekanligini tekshirish maqsadida 1927-yilda elektronlar oqimi bilan nikel monokristalini bombardimon qildilar va uning sirtidan elektronlarning qaytishini o‘rgandilar. Ular energiyasi bir necha o‘n elektronvolt bo‘lgan elektronlar oqimining nikel monokristaliga tushish burchagini o‘zgartirgan holda qaytgan elektronlar oqimi intensivligining o‘zgarishini qayd qilib bordilar. Bu intensivlik elektronlar oqimining ma’lum bir tushish burchagida maksimal qiymatga ega bo‘ladi. U esa nikel monokristalidan qaytgan elektronlarning deBroyl to‘lqinlarining interferensiyasi natijasidir. Ushbu natija esa Lui de-Broyl gipotezasi to‘g‘ri ekanligini isbotidir.

Tomson va Tartakovskiy de-Broyl gipotezasining to‘g‘ri ekanligini tekshirish maqsadida elektronlar difraksiyasini rentgen nurlarini o‘rganish usullarining biridan foydalangan holda o‘rgandilar. Ular elektronlar oqimini metall plastinka orqali o‘tkazdilar. Ularning fikricha, metall plastinkadan sochilgan elektronlar qurilmaga kiritilgan fotoplastinkada interferension halqalarni hosil qilishi kerak edi.

Haqiqatan ham, Tomson va Tartakovskiy tajribalarida ana shunday interferension halqalar kuzatildi. Bu natija esa de-Broyl gipotezasining yoki de-Broyl tenglamalarining to‘g‘riligini ko‘rsatuvchi natija bo‘lib hisoblanadi.

Shu narsani aytish kerakki, to‘lqin xossalari makroskopik jismlar uchun ham xos, ammo kichikligi tufayli biz ularni sezmaymiz. Misol uchun, 100 m/s tezlik bilan harakatlanayotgan 1 kg massali jismga to‘lqin uzunligi



$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta} = \frac{6.62 \cdot 10^{-34}}{1 \cdot 100} = 6.62 \cdot 10^{-36} \text{ m}$$

bo'lgan de-Broyl to'lqin mos keladi. Bunday uzunlikni o'lchab bo'lmaydi.

Klassik fizikada moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan jism fazoda istalgan vaqt oralig'ida ma'lum bir nuqtada bo'lishi mumkin va u yerda zarra yoki jism harakatlanayotgan bo'lsa, biror bir  $p = m\vartheta$  impulsiga ega bo'ladi. Demak, klassik fizikada ana shu nuqtada jism yoki zarraning koordinatasini va impulsini katta aniqlik bilan o'lchash mumkin ekan.

### 37.2. Geyzenberg noaniqliklar tushunchasi

Zarracha tezligi uncha katta bo'lmasa va uning massasi ma'lum bir qiymatga ega bo'lsa, uning holati klassik mexanika tushunchalari orqali ifodalanadi. Bu holda zarraning koordinatalari impulsi (energiyasi) bir vaqtda aniqlanishi mumkin. Lekin zarra juda katta tezlik bilan harakat qilayotgan bo'lsa, unda to'lqin xususiyatlari namoyon bo'la boshlaydi va uning holati kvant mexanikasi orqali ifodalanadi.

Kvant mexanikasida bir vaqtning o'zida zarraning koordinatalari  $(x, y, z)$  va impulsi to'g'risida ma'lumot olib bo'lmaydi. Ulardan bittasi ma'lum bo'lsa, ikkinchisi noma'lumligicha qoladi.

Geyzenberg bu noaniqliklar orasidagi munosabatni yaratdi va quyidagi formulani topdi:

$$\begin{cases} \Delta x \cdot \Delta P_x \geq h \\ \Delta y \cdot \Delta P_y \geq h \\ \Delta z \cdot \Delta P_z \geq h \end{cases} \quad (37.6)$$

(37.6) formuladan ko'rinadiki, koordinata ma'lum bo'lsa, impulsni aniqlab bo'lmaydi va aksincha. Bu formula asosida

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h \quad (37.7)$$

keltirib chiqarildi.

Unda shunday xulosa qilish mumkinki,  $\Delta x \cdot \Delta P_x \geq h$  bo'lsa, bu zarra kvant mexanikasi qonunlariga bo'ysinadi.

Agar bu ko'paytma  $h$  dan juda kichik bo'lsa, zarra klassik mexanika qonunlariga bo'ysinadi.

### 37.3. To'liq funksiya va uning statistik ma'nosi

Zarraning holatini kvant mexanikasiga asosan aniqlash mumkin emasligini isbotlangandan so'ng, zarraning ma'lum bir joyda bo'lish ehtimolligi degan tushuncha paydo bo'ldi. Buning uchun to'liq funksiya degan tushuncha kiritiladi:

$$\Psi(x, y, z, t)$$

Keyingi nazariyalar ko'rsatdiki, zarraning ma'lum bir joyda bo'lish ehtimolligi to'liq funksiya amplitudasi kvadratiga proporsional bo'lar ekan:

$$W = \Psi(x, y, z, t) \cdot \Psi^*(x, y, z, t) = [\Psi]^2 \quad (37.8)$$

Bu yerda,  $W$  – ehtimollik;  $\Psi$  – to'liq funksiya;  $\Psi^*$  - funksiyaning qo'shmasi.

Bundan ko'rinadiki, mikrozarralarning holatini to'liq funksiya orqali aniqlash statistik fizikaga, ya'ni ehtimollik nazariyasiga asoslanar ekan.

To'liq funksiya kvadratining moduli  $t$  momentda zarraning  $\Delta V$  hajmda bo'lishi ehtimolligini aniqlar ekan.

Shunday qilib, to'liq funksiya  $[\Psi]$  hech qanday fizik ma'noga ega emas, uning amplitudasining kvadrati fizik ma'noga ega bo'ladi.

Kichik biror hajmda zarraning mavjud bo'lish ehtimolligi:

$$dW = |\Psi|^2 \cdot dV \quad (37.9)$$

Bundan

$$|\Psi|^2 = \frac{dW}{dV} \quad (37.10)$$

Zarraning biror chekli hajmda bo'lishi ehtimolligi:

$$W = \int_0^V dW = \int_0^V \Psi^2 \cdot dV \quad (37.11)$$

Agar hajm cheksizga intilsa, zarraning bu hajmda bo‘lish ehtimolligi 1 ga teng bo‘ladi:

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^2 dV = 1$$

Bu formula zarraning vaqt va fazo bo‘yicha haqiqatan mavjud ekanligini ko‘rsatadi.

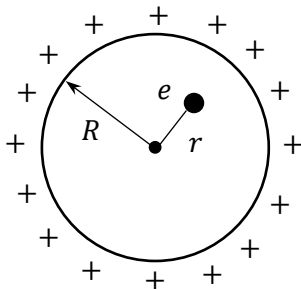
## **38–MAVZU: VODOROD ATOMI UCHUN BOR NAZARIYASI**

### **38.1. Rezerford tajribasi. Atomning yadroviy modeli**

Hozirgi zamon atom fanining, texnikaning va energetikaning ulkan yutuqlari – atom va yadro fizikasining intensiv rivojlanishi natijasidir. Agar biz hozirgi zamon atom va yadro fizikasi modda tuzilishi haqidagi ta’limotning negizi hisoblanadi desak, mubolag‘a bo‘lmaydi. Bundan tashqari, nafaqat modda (gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlar), balki materiyaning elektr, yorug‘lik va boshqa turlari ham atomistik tabiatga ega. Shuning bilan bir qatorda materiya harakati ham atomistik qonunlar bilan aniqlanadi. Aytilganlardan, materiya tuzilishi va harakati haqidagi atomistik ta’limot hozirgi zamon fizikasida hukmron ta’minotdir, degan xulosa kelib chiqadi. Atom fizikasi fizika fanining mustaqil bo‘limi bo‘lib, atom tuzilishini va xossalarni hamda atom doirasida sodir bo‘luvchi jarayonlarni o‘rganadi. Atom fizikasida kvant fizika qonunlaridan keng ko‘lamda foydalaniladi.

XIX asrning oxirlariga kelgunga qadar grek faylasuflari Levkipp, Anaksagor, Empedokl, Demokrit, Epikur tomonlaridan ilgari surilgan atom – materiyaning so‘nggi bo‘linmas zarrasi degan ta’limot ustun bo‘lib keldi. Birinchi elementar zarra – elektron, rentgen nurlari, radioaktivlik hodisasining kashf etilishi, XX asr boshlariga kelganda atom materiyaning oxirgi bo‘linmas zarrasi emasligini ko‘rsatadi. Demak, atom murakkab tuzilishga ega ekan. Uning murakkab tuzilishini isbotlovchi birinchi nazariy modelni 1903-yilda elektron kashf etgan mashhur ingliz fizigi J. Tomson taklif qildi. Ushbu modelga asosan atom musbat elektr zaryadi bilan bir tekis zaryadlangan sferadan iborat bo‘lib, ichida elektron

joylashgan bo'ldi (38.1-rasm). Sferaning yig'indi musbat zaryadi elektron zaryadiga teng bo'lib, atom bir butun holatda elektr neytraldir. Bunday atomning massasi uning butun hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlangan bo'lib, atomdagi barcha elektr zaryadlari unda kuchli elektr maydonini yuzaga keltira olmaydi. Bu atomning radiusini baholaylik.



38.1-rasm. Atom tuzilishining Tomson modeli

Izolyatsiyalangan atom chiqarayotgan spektr xarakterini tushuntirish uchun nurlanayotgan atomdagi elektron teboanma harakat qiladi va demak, muvozanat holat atorfida  $F = -kr$  ko'rinishdagi kvazielastik kuch bilan tutib turiladi, deb faraz qilamiz, bunda  $r$  – elektronning muvozanat holatidan chetlashishi. Elektrodinamikada bir tekis zaryadlangan sfera ichidagi maydon kuchlanganligi quyidagicha topiladi:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{R^3} r \quad (0 \leq r \leq R) \quad (38.1)$$

bunda:  $e$  – sfera zaryadi,  $R$  – uning radiusi. U holda muvozanat holatidan (sfera markazidan)  $r$  oraliqda turgan elektronga

$$F = -eE = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{R^3} r = -kr \quad (38.2)$$

kuch ta'sir qiladi. Bunday sharoitda biror yo'l bilan muvozanat holatdan chiqarilgan elektron

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{mR^3}} \quad (38.3)$$

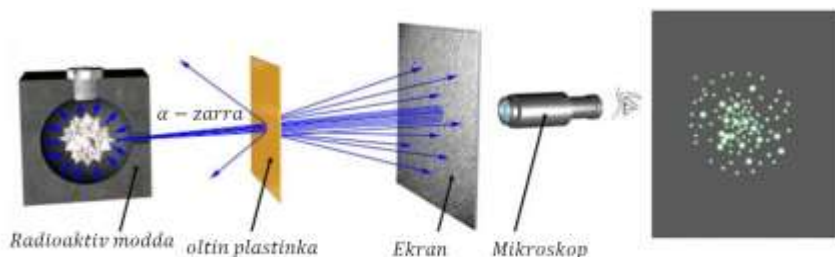
siklik chastota bilan tebranadi ( $m$  – elektron massasi). Oxirgi ifodadan

$$R = \sqrt[3]{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{m}} \quad (38.4)$$

ni topish mumkin. Elektronning tebranish chastotasini  $\omega = 2\pi c/\lambda$  munosabatdan topilsa va bunda  $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$  (spektrning ko‘rinuvchan sohasi) deb olinsa, bu to‘lqin uzunligiga  $\omega = 3 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$  chastota mos keladi.

Uni va  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/m}$ ,  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  larni (38.4) ifodaga qo‘yib, Tomson atomining radiusi  $R \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 3 \text{ \AA}$  ekanligini topamiz. Demak, atom radiusining tartibi  $10^{-10} \text{ m}$  yoki  $10^{-8} \text{ sm}$  tartibida bo‘lib, u atomning gazokinetik o‘lchamlari bilan mos tushar ekan.

Atomning Tomson modeli nazariy bo‘lganligi uchun uni tajribada tekshirish lozim edi. Ushbu ishni Rezerford va uning shogirdlari 1906-1911 yillarda fundamental tajribalar asosida amalga oshirishdi. Bunda ular o‘zidan  $\alpha$  - zarralarni chiqaruvchi radioaktiv moddalardan foydalandilar va  $\alpha$  - zarralarning boshqa moddalar bilan to‘qnashuvlarini o‘rgandilar,  $\alpha$  - zarra butunlay ionlashgan gely atomi bo‘lib, uning massasi elektron massasidan taxminan 8000 marta katta, musbat zaryadi esa moduli jihatidan elektron zaryadidan ikki marta kattadir.  $\alpha$  - zarralarning tezligi juda katta – yorug‘lik tezligining 1/15 ulushiga tengdir. Rezerford tajribasining g‘oyasi juda sodda edi. Agar atomning Tomson modeli haqiqatga to‘g‘ri kelsa, juda yupqa metall plyonka (folga)dan tez harakatlanuvchi  $\alpha$  - zarralarning ensiz dastasi o‘tkazilganda, tajriba o‘tkazuvchilar bu zarralarning sezilarli og‘ishlarini kuzatmasliklari kerak. Rezerford bu zarralar bilan og‘ir elementlarning atomlarini bombardimon qildi. Elektronlarning zaryadi manfiy va massasi juda kichik bo‘lganligidan, ular  $\alpha$  - zarralarning trayektoriyasini sezilarli o‘zgartira olmaydi (38.2-rasm).



38.2-rasm. Rezerford tajribasi

Atomning musbat zaryadli qismigina  $\alpha$  - zarralarning sochilishiga (harakat yoʻnalishining oʻzgarishiga) sabab boʻlishi mumkin. Shunday qilib,  $\alpha$  - zarralarning sochilishiga qarab atom ichida musbat zaryadning va massaning taqsimlanish xarakterini aniqlash mumkin.

Folgadan faqatgina 99.5 %  $\alpha$  zarralar oʻtganini koʻrdik, yaʼni 20000 ta  $\alpha$  zarradan bittasi orqaga qaytgan. Bu tajribadan Rezerford atomning modelini yaratdi.

Atom musbat zaryadlangan yadro va uning atrofida aylanib yurgan elektronlardan iborat. Yadroda musbat zaryadlardan tashqari neytronlar ham mavjud.

Rezerford quyidagilarni aniqladi:

Atom oʻlchami:

$$r_a = 10^{-10}m$$

Yadro oʻlchami:

$$r_{ya} \approx 10^{-15}m$$

Undan tashqari atom yadrosida nechta proton boʻlsa, uning atrofida shuncha dona elektron aylanib yuradi va ularning soni ( $N_p$ ) tartib raqami ( $Z$ )ga teng.

Har bir elektron yadroga Kulon kuchiga teng kuch bilan tortilib turadi:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_y \cdot q_e}{r^2} \quad (38.5)$$

$$q_y = Z \cdot e$$

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z \cdot e^2}{r^2} \quad (38.6)$$

Harakatdagi elektronga markazdan qochma kuch taʼsir etadi:

$$F_M = \frac{m\vartheta^2}{r} \quad (38.6)$$

Rezerford atomning planetar modelini yaratdi. Ammo bu model klassik mexanika qonunlariga asoslangan.

## 38.2. Bor postulatlari. Frank-Gers tajribasi

Rezerford modeli klassik model bo'lganligi uchun atomlarning nur chiqarishi va yutishini tushuntirib bera olmadi. Bu qobiliyatlarni kvant mexanikasi asosida tushuntirish uchun Bor ikkita postulat yaratdi:

**Borning 1-postulati: Statsionar holatlar postulati.** Atomda shunday holatlar mavjudki, bu holatda elektronlar ma'lum bir orbitalar bo'ylab aylanadi. Bu holatlar **statsionar holatlar** deyiladi. Statsionar holatda atom nur chiqarmaydi.

**Borning 2-postulati: Chastotalar qoidasi.** Atom bir statsionar holatdan ikkinchisiga o'tganda, ya'ni undagi elektron yuqori sathdan pastki sathga o'tsa, bu atom bitta nur chiqaradi. Bu fotonning energiyasi:

$$h\nu = E_m - E_n \quad (38.7)$$

Bu yerda,

$$E_m > E_n$$

bo'lsa, nur chiqadi, aks holda nur yutiladi.

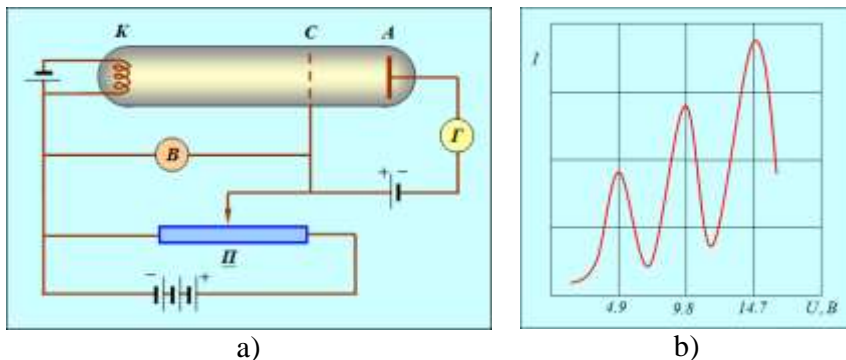
1913-yilda nemis fiziklari D.Frank va G.Gers atomda statsionar holatlar mavjudligini tajribada aniqladi. Bu tajribada uchta elektrod katod, anod va to'r bo'lgan va taxminan 1 mm.si.ust. bosimda simob bug'lari bilan to'ldirilgan shisha nay ishlatilgan (38.3-rasm, a). *K* katod elektr toki bilan qizdiriladi, undan uchib chiqqan elektronlar katod va to'r orasidagi elektr maydonda tezlashadi. Ularning to'rga yetganda kinetik energiyasi elektr maydoning ishiga teng bo'ladi:

$$\frac{m\theta^2}{2} = eU$$

bunda: *e* – elektron zaryadi, *U* – katod bilan to'r orasidagi kuchlanish. To'rning potentsiali anod potentsialidan 0.5 V yuqori, shuning uchun to'rga yetib kelgan elektronlar to'r bilan anod orasida tormozlashadi.

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.

38.3, b-rasmda anod zanjiridagi  $I$  tok kuchining  $U$  kuchlanishga bogʻlanish grafigi tasvirlangan. Katod qizdirilganda undan elektronlar uchib chiqadi. Katod, anod orasiga kuchlanish berilganda kuchlanish oshib borishi sari anoddagi tok ham oshib boradi (38.3-rasm, b). Kuchlanishning qiymati 4.86 V boʻlganda tok keskin kamayadi.



38.3-rasm. Frank-Gers tajribasi

a) – Qurilmaning sxematik koʻrinishi; b) – tok kuchining kuchlanishga bogʻlanishi

Yana kuchlanish oshib borganda 4.86 ga karrali qiymatlarda tokning kamayishi kuzatiladi. Bu tajriba koʻrsatadiki, simobni energiyasi 4.86 ga teng boʻlgan sath mavjud, kuchlanishni qiymati 4.86 V boʻlganda, u sathda bitta elektron boshqa sathga oʻtadi. Kuchlanishni qiymati 9.7 V boʻlganda ikkita elektron hayajonlanadi.

### 38.3. Vodorod atomining nurlanish spektri

Rezerford atomning planetar modelini yaratganidan keyin koʻplab tajribalar oʻtkazila boshladi. Boshlanish tajribalar eng oddiy atom vodorodda koʻproq oʻtkazildi. Vodorod atomi bitta proton va bitta elektrondan tuzilgan. Tajribalar koʻrsatadiki, bitta elektron diskret boʻlgan har xil orbitalarga oʻtishi mumkin ekan.

Yadroga eng yaqin joylashgan orbita **asosiy orbita** deyiladi. Boshqa orbitalar esa, **uygʻongan** yoki **hayajonlangan orbitalar** deyiladi.



Elektron pastki orbitadan yuqori orbitaga o'tishda energiya yutar ekan. Birinchi orbita **Bor orbitasi** deyiladi. Bu yerda, elektron absolyut qiymati jihatdan eng katta energiyaga ega bo'ladi:

$$E_B = -13.56 \text{ eV}$$

Bor orbitasi radiusi:

$$r_B = 0.53 \text{ \AA}$$

Keyingi orbitalarning radiuslari kattalashib boradi, ammo energiyasi kamayib boradi.

Elektron yuqori orbitadan pastki orbitaga o'tsa, u bitta foton chiqaradi. Bundan keyingi orbitalarni energetik sathlar orqali belgilaymiz.

Energiyalari aynan bir xil bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rni **energetik sath** deyiladi.

Vodorodning nur chiqarish qobiliyatini birinchi bo'lib Balmer o'rgangan. U ko'zga ko'ringan nurlarning chiqishi ro'y beradigan formulani yaratgan:

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (38.8)$$

Bu yerda,  $m = 3, 4, 5, \dots$  bo'lishi mumkin.

Bu formulaga asosan elektron uchinchi, to'rtinchi, beshinchi sathlardan ikkinchi sathga o'tganda ko'zga ko'rinadigan (qizil, yashil, binafsha) nurlar chiqarar ekan.

Ultrabinafsha nurlar hosil bo'lishini Layman tekshirgan:

$$\nu = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (38.9)$$

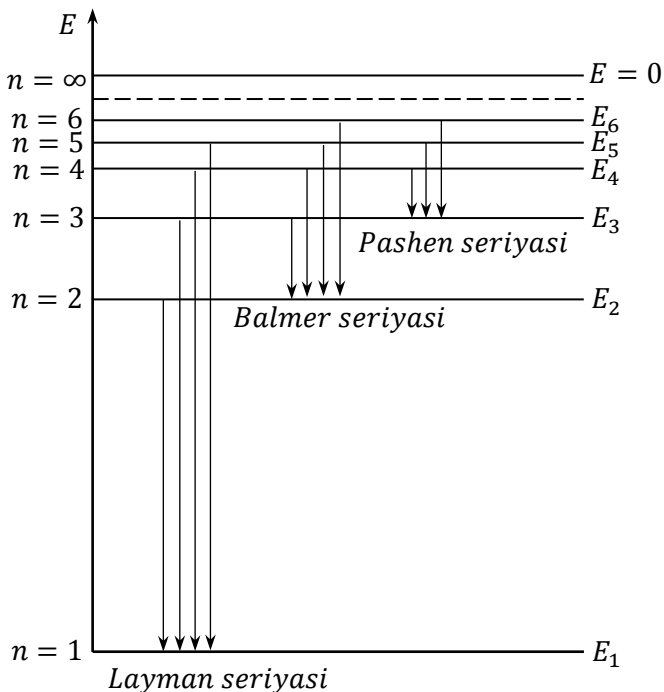
Bu yerda,  $m = 2, 3, 4, \dots$

Infraqizil nurlar chiqarishini esa Pashen tekshirgan:

$$\nu = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (38.10)$$

Bu yerda,  $m = 4, 5, 6, \dots$

Bu formulani umumlashtirib Balmer quyidagi umumiy formulani yaratdi.



38.4-rasm

Balmerning umumlashtirgan formulasi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (38.11)$$

Bu yerda,  $m > n$ ,  $R$  – Ridberg doimiysi bo‘lib, uning qiymati:

$$R = 3.29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

## 39–MAVZU: SHREDINGER TENGLAMALARI

### 39.1. Shredingerning statsionar tenglamasi

Norelyativistik kvant mexanikasining asosiy tenglamasini 1926-yilda Shredinger yaratgan. Bu formula ham Nyuton, Kulon formulalari kabi pastulat holda berilgan. Pastulat holda berilgan

nazariy formula bo‘lib, keyinchalik tajribalar orqali qisman yoki to‘laligicha isbotlanishi mumkin.

Shredingerning umumiy tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi + U(x, y, z, t)\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} \quad (39.1)$$

Bu yerda,  $\hbar = h/2\pi$  – Plank doimiysi;  $m$  – zarraning massasi;  $\Psi$  – to‘lqin funksiyasi;  $U$  – tashqi maydonning potentsiali (ya’ni zarraning potentsial energiyasi);  $i = \sqrt{-1}$  kompleks sonning minimal qiymati;  $\Delta$  – Laplas operatori.

$$\Delta\Psi = \frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2} \quad (39.2)$$

Lekin bu tenglamani bu ko‘rinishda hech qachon yechib bo‘lmaydi. Shuning uchun unga juda ko‘p shartlar kiritilib faqatgina, xususiy hollar uchun yechish mumkin bo‘ladi.

Zarraning holati vaqtga bog‘liq emas, deb qabul qilinsa, ya’ni statsionar holatlar uchun bu tenglamani quyidagi ko‘rinishda o‘zgartirish mumkin.

Shredingerning statsionar tenglamasi:

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0 \quad (39.3)$$

Bu yerda,  $E$  – zarraning to‘liq energiyasi.

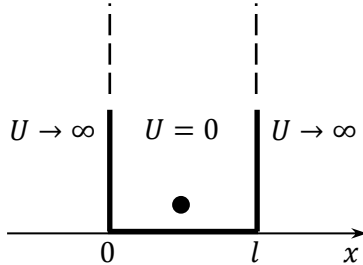
Bu tenglama  $E$  ning ma’lum bir qiymatlaridagina yechimga ega bo‘ladi.

### **39.2. Bir o‘lchamli to‘g‘ri burchakli cheksiz baland to‘siq ichidagi zarra**

Bizga ma’lumki, Shredinger tenglamasi faqat xususiy hollar uchun o‘z yechimiga ega bo‘ladi. Bizga cheksiz baland ikkita to‘siq orasiga joylashgan zarra berilgan bo‘lsin, ya’ni zarra to‘siq ichidagina mavjud, tashqarida mavjud emas.

$$U(x) = \begin{cases} x \geq l, U(x) \rightarrow \infty \\ x \in [0, l], U(x) = 0 \\ x \leq 0, U(x) \rightarrow \infty \end{cases} \quad (39.4)$$

$[0, l]$  oraliq uchun Shredinger tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:



39.1-rasm. To‘g‘ri burchakli cheksiz uzun o‘ra ichida zarra

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \Psi = 0 \quad (39.5)$$

$$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} \quad (39.6)$$

deb belgilasak, ( $k$  – to‘lqin soni) u holda (39.5) – formula:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + k^2 \Psi = 0 \quad (39.7)$$

Bu tenglamaning yechimi:

$$\Psi(x) = A \sin kx + B \cos kx \quad (39.8)$$

Bu yerda,  $A$  – to‘siqlar orasida to‘lqin amplitudasi;  $B$  – to‘siqdan qaytayotgan to‘lqin amplitudasi.

Ammo shartga ko‘ra

$$\Psi(0) = \Psi(l) = 0$$

bo‘lganligi uchun

$$B = 0$$

bo‘ladi.

U holda (39.8) – formulani quyidagicha yozamiz:

$$\Psi(x) = A \sin kx$$

yoki

$$\Psi(l) = A \sin kl = 0 \quad (39.9)$$

Bundan ko‘rinadiki,

$$kl = \pi, 2\pi, \dots, n\pi$$

Umuman olganda,

$$k = \frac{n\pi}{l} \quad (39.10)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$

(39.6) va (39.10) ifodalarni birgalikda ishlab elektronning energiyasini topamiz:

$$E_n = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2ml^2} \quad (39.11)$$

(39.11) ifodadan ko‘rinadiki, sathlardagi elektronning energiyasi diskret qiymatlarga ega bo‘ladi.  $E_1, E_2, \dots, E_n$  - energetik sathlar deyiladi.

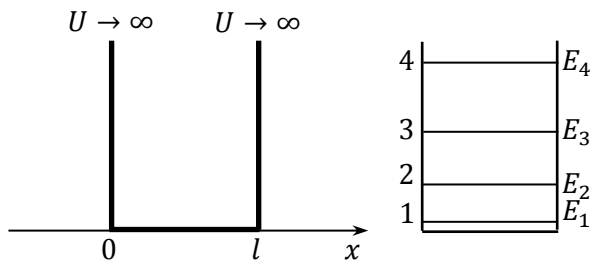
(39.10) ifodani (39.9) ifodaga qo‘yamiz va xususiy difraksiyani topamiz:

$$\Psi(x) = A \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (39.12)$$

Agar biror kattalikning qiymati uzluksiz emas, ma’lum bir qonuniyat bilan o‘zgaradigan diskret qiymatlarga ega bo‘lsa, bu kattalik **kvantlangan** deyiladi.

(39.11) ifodada,  $n = 1$  – birinchi sath;  $n = 2$  – ikkinchi sath va hokazo.

Bu funksiyasining qiymatlarini hisoblab grafik holda chizsak, u quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi.



39.2-rasm

Bu grafiklardan zarraning holati ehtimolligini aniqlash mumkin. Masalan, to‘siqning o‘rtasida ikkinchi sathda joylashgan ehtimollik 0 ga teng.

Sathlar orasidagi energetik masofa quyidagi formuladan topiladi:

$$\Delta E_n = E_{n+1} - E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} (2n + 1)$$

Agar to‘siqning kengligi  $l = 10^{-1} m$  bo‘lsa,

$$\Delta E_n = 0.74 \cdot 10^{-16} n \text{ eV}$$

Bu juda kichik qiymat, ya’ni sathlar deyarli tegib turadi. Bu yerda diskretlik qonuni bajarilmaydi. Zarraning holati klassik mexanika qonunlariga mos keladi.

Agar  $l = 10^{-10} m$  bo‘lsa,

$$\Delta E_n = 0.74 \cdot 10^{2} n \text{ eV}$$

Elektron holat uchun umuman zarra uchun bu energiya katta qiymat hisoblanadi. Bu holda zarra kvant mexanika qonunlariga bo‘ysunadi.

To‘siq juda kichik bo‘lsa va to‘siqlar orasidagi masofa ham juda kichik bo‘lsa, zarra to‘siqni aylanib o‘tmasdan sizib o‘tib ketishi mumkin. Bunday o‘tish **tunnel o‘tish** deyiladi.

**Klassik va kvant garmonik ossilyatorlar.** Ossilyator – tebranishlar hosil qiluvchi manba. Kvant mexanikasida oxirigacha va aniq yechimga ega bo‘lmagan muammolar mavjud. Bunday masalalar sodda masala ko‘rinishiga keltiriladi va turli qo‘shimcha shartlar (jumladan, “uyg‘otish” nazariyasi) yordamida masala yechimi topiladi. Shunday fundamental masalalardan biri garmonik ossilyator (molekulalardagi atomlarning, qattiq jism atomlarining tebranishlari) to‘g‘risidagi masaladir.

Zamonaviy elektronika elektronning turli potensial maydonda harakatini o‘rganishga va bohsqarishga asoslangan.

Muvozanat holati atrofida kvazielastik kuch ta’sirida ma’lum chastota bilan tebranuvchi zarra garmonik ossilyator deyiladi, bunday manba tabiatda ko‘p uchraydi (molekuladagi atomlar, qattiq jism atomlari va h.k.) Muhit xususiyati (elektr o‘tkazuvchanlik,

issiqlik o'tkazuvchanlik, solishtirma issiqlik sig'imi, nurlanish va h.k.) zarra harakat turlariga bog'liq. Garmonik tebranma harakat esa harakatlar ichida (ilgarilanma, aylanma, tebranma) eng ko'p uchraydi. Garmonik harakat mikroolam zarralarining barchasiga xos. Sof garmonik tebranishlar ideallashtirilgan hisoblanadi, sabab, bunday tebranishlarda ishqalanish kuchlari e'tiborga olinmaydi. Biz bir o'lchamda kechadigan garmonik tebranishlarni ko'rib chiqamiz.

Klassik nuqtai nazardan garmonik ossilyator quydagi tenglamalarni yechib o'rganiladi;

$F = -kx$ ,  $ma = -kx$  yoki  $m\ddot{x} = -kx$  tenglamaning yechimi  $x = a \cos(\omega_0 t)$ , bunda  $\omega_0$  xususiy chastota,  $x_0$  amplituda agar  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  belgilasak, u holda  $k = m\omega_0^2$  bo'ladi, ossilyatorning potensial energiyasi

$$U(x) = \frac{kx^2}{2} = \frac{m\omega_0^2}{2} x^2 \quad (39.13)$$

u holda ossilyatorning to'liq energiyasi:

$$E = \frac{m\omega_0^2 x_0^2}{2} \quad (39.14)$$

Muvozanat holatidan  $x = \pm a$  masofada ossilyatorning bo'lish ehtimolligi maksimal qiymatga,  $x = 0$  da minimal qiymatga ega. Shunday qilib, klassik ossilyatorga xos xususiyatlar:

- energiya istalgan qiymatlarni qabul qiladi;
- tebranayotgan nuqta  $x > a$ ,  $x < -a$  sohada bo'lishi mumkin emas;

Tebranishlar amplitudasi boshlang'ich energiya bilan ifodalanadi:

$$x_0 = \sqrt{\frac{2E}{k}}$$

**Garmonik ossilyator** – ideal tebranishlar manbai. Real holda, muvozanat holatdan chetlashgan sari kuch orta boradi va garmonik qonuniyat buzila bosh-laydi, chunki:

$$U = \frac{m\omega_0^2}{2} x^2; \quad F = -\frac{dU}{dx}$$

Biroq, uncha katta bo‘lmagan amplitudalar uchun garmonik qonuniyat saqlanadi. Kichik tebranma harakat qilayotgan istalgan zarralar sistemasi uchun bir o‘lchamli garmonik ossillyator nazariyasi katta ahamiyat kasb etadi.

Kvant mexanikasida “bir o‘lchamli ossillyator” deganda Gamilton operatori bilan ifodalanuvchi sistemani nazarda tutamiz.

$$\hat{H}\Psi = E\Psi \quad (39.15)$$

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2}{2\mu} + U(x); \quad \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \cdot \frac{d^2}{dx^2} + \frac{\mu\omega_0^2}{2}x^2$$

ifodalarni (39.15) ga qo‘ysak,

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \cdot \frac{d^2}{dx^2} + \frac{\mu\omega_0^2}{2}x^2\Psi = E\Psi \quad (39.16)$$

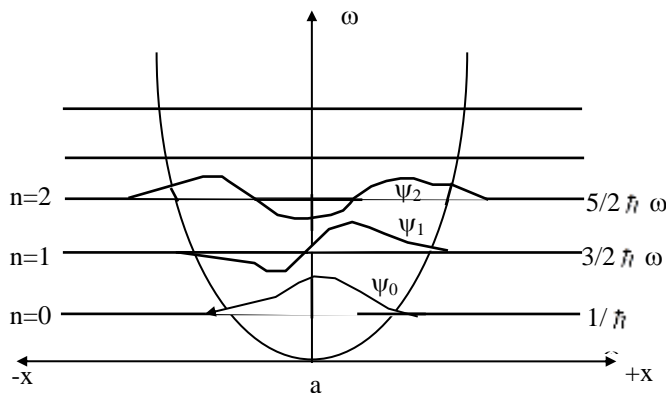
(39.16) tenglamani yechish uchun quyidagi o‘lchamsiz kattaliklarni kiritamiz:

$$\xi = \frac{x}{x_0} \text{ bunda } x_0 = \sqrt{\frac{\hbar}{\mu\omega_0}}, \quad \lambda = \frac{2E}{\hbar\omega_0} \quad (39.17)$$

U holda (2) tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi

$$\Psi''' + (\lambda - \xi^2)\Psi = 0 \quad (39.18)$$

(39.18) ifoda Chebishev Ermit tenglamasi.



39.4-rasm. Kvant ossillyatorning o‘ra kengligi intervalida bo‘lish ehtimolligi



Tadqiqotlarga ko'ra, bu tenglama to'liq uzunligining ma'lum qiymatidagina bir qiymatli, cheklangan yechimga ega bo'ladi, ya'ni  $\lambda = 2n + 1$  ( $n$  – bosh kvant soni).

(39.17) ifodaga ko'ra,

$$\lambda = 2 \frac{E}{\hbar \omega_0} \quad (39.19)$$

kvant ossilyator energiyasi diskret qiymatlarnigina olishi mumkin:

$$E = \frac{\hbar \omega_0}{2} (2n + 1) \quad (39.20)$$

## 40–MAVZU: VODOROD ATOMINING KVANT NAZARIYASI

### 40.1. Kvant mexanikasida vodorod atomi

Vodorod atomida yadroda bitta proton va uning atrofida aylanuvchi bitta elektron mavjud. Elektron hayajonlangan holda har xil orbitalarda aylanishi mumkin. Bu orbitalarning radiusini quyidagi formuladan topiladi:

$$r_n = n^2 \frac{\varepsilon_0 \hbar^2}{\pi m e^2} \quad (40.1)$$

Bu yerda,  $r$  – orbita radiusi;  $n$  – orbitaning nomeri;  $\varepsilon_0$  – elektrik doimiysi;  $\hbar$  – Plank doimiysi;  $m$  – elektron massasi;  $e$  – elektron zaryadi.

$n = 1$	$r_1 = 0.53 \text{ \AA}$	<i>Bor radiusi</i>
$n = 2$	$r_2 = 4 \cdot 0.53 \text{ \AA}$	
$n = 3$	$r_3 = 9 \cdot 0.53 \text{ \AA}$	

Har bir orbitadagi elektronning kinetik energiyasi quyidagi formuladan topiladi.

Bor orbitasidagi elektronning kinetik energiyasi:

$$W_k = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \quad (40.2)$$

Potensial energiyasi:

$$W_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (40.3)$$

U holda elektronning to'liq energiyasi:

$$W_t = W_k + W_p = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (40.4)$$

Elektronning to'liq energiyasi qiymat jihatidan uning kinetik energiyasiga teng ishorasi esa, manfiy bo'ladi.

Avvalgi usul bilan har bir sathdagi energiyani hisoblashimiz mumkin. Uning uchun (40.4) formulani  $n$  ga bog'liqligini yozamiz:

$$W_T = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (40.5)$$

$n = 1$  bo'lsa,

$$W_T = -13.56 \text{ eV}$$

$n = 2$  bo'lsa,

$$W_T = -\frac{13.56}{4} \text{ eV}$$

$n = 3$  bo'lsa,

$$W_T = -\frac{13.56}{9} \text{ eV}$$

va hokazo.

## 40.2. Kvant sonlari. Pauli prinsipi. Mendeleyev davriy sistemasi to'ldirilishining fizik tushuntirilishi

Kvant mexanikasida asosan atomda elektronning harakati to'rtta kvant soni bilan xarakterlanadi.

**Bosh kvant soni**  $n$  atomning stasionar holat energiyasini xarakterlaydi va  $n = 1, 2, 3 \dots$  butun sonlarni qabul qiladi. Vodorod atomining stasionar holatlari energiyalarning qiymati

$$W_n = -\frac{m_0 e^4}{8\epsilon_0 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

formula bilan 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.

Yadro atrofidagi biror orbita bo‘ylab harakat qilayotgan elekttron ma’lum bir impuls momentiga ega bo‘ladi. Bu moment elektronning orbita bo‘ylab harakati bilan bog‘liq bo‘lganligi uchun ushbu momentni orbital moment deb ataladi va u  $\vec{l}$  harfi bilan belgilanadi. U holda ushbu moment modulini quyidagicha yozish mumkin:

$$|\vec{l}| = \hbar\sqrt{l(l+1)} \quad (40.6)$$

Bu yerdagi  $l$  kattalik **orbital kvant soni** deyiladi. Elektronning orbital kvant soni uning orbital momentini xarakterlovchi kattalik ekan. Orbital kvant soni  $l = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$  ( $n$  – bosh kvant soni) qiymatlarni qabul qilar ekan. Elektron orbital momentining  $Z$  o‘qidagi proyeksiyasi uchun quyidagi

$$l_z = m \cdot \hbar \quad (40.7)$$

tenglik o‘rinli bo‘ladi. Bu yerdagi  $m$  kattalik elektronning **magnit kvant soni** deyiladi. U elektron orbital momentining  $Z$  o‘qidagi proyeksiyasini xarakterlovchi kattalik ekan. Biror-bir vektorning proyeksiyasi uning modulidan hech qachon katta bo‘lmaganligi uchun elektronning orbital momenti vektori uchun

$$|m \cdot \hbar| = \hbar\sqrt{l(l+1)} \quad (40.8)$$

shart o‘rinlidir. Bundan  $m$  ning maksimal qiymati  $l$  ga teng ekanligi va magnit kvant soni  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$  qiymatlarni qabul qilishi kelib chiqadi. Magnit kvant sonining qabul qilishi mumkin bo‘lgan qiymatlari soni  $2l + 1$  ga teng. Orbital kvant sonlari har xil bo‘lgan elektronlarning holatlari bir-biridan orbital moment kattaligi bilan farq qiladi. Atom fizikasida bu holatlar uchun shartli belgilar ishlatiladi. Masalan,  $l = 0$  kvant soniga ega bo‘lgan elektronni  $s$  – elektron, u turgan holatni esa sholat deyiladi.  $l = 1$  bo‘lgan  $p$  – elektron, u turgan holat  $p$  – holat,  $l = 2$  bo‘lgan elekttron

$d$  – elekttron, u turgan holat  $d$  – holat,  $l = 3$  bo‘lgan elekttron  
 $f$  – elekttron, holat esa  $f$  – holat deyiladi. Bu ketma-ketlikni lotin  
alifbosi harflari tartibida davom ettirish mumkin. Bu shartli  
belgilash oldida keltirilgan son shu holatning bosh kvant sonini  
ko‘rsatadi. Masalan,  $n = 3$  va  $l = 1$  holatdagi elektron  $3p$  belgisi  
bilan ko‘rsatilar ekan. Bir necha komponentlardan tashkil topgan  
murakkab spektr chiziqlariga **multipletlar** deyiladi. Agar shu  
spektral chiziqlar soni bitta bo‘lsa, ularni – **singlet**, ikkita bo‘lsa –  
**doublet**, uchta bo‘lsa – **triplet**, to‘rtta bo‘lsa – **kvartet**, beshta bo‘lsa  
– **kvintet** va hokazo deyiladi. Ular spektral chiziqlarning  
komponentlarga ajralishi tufayli hosil bo‘ladi. Bu ajralish o‘z  
navbatida energetik sathlarning ajralishi tufaylidir. Energetik  
sathlarning bunday ajralishini tushuntirish uchun Gaudsmit va  
Ulenbek 1925-yilda elekttronning fazodagi aylanishi bilan bog‘liq  
bo‘lmagan xususiy orbital momentga ega bo‘lishi to‘g‘risidagi  
gipotezani ilgari surdilar. Elektronning o‘z o‘qi atrofidagi aylanishi  
natijasida hosil bo‘ladigan xususiy orbital moment elektronning  
**spini** deyiladi. Spin inglizchasiga „aylanish“ degan ma’noni  
anglatadi. Lekin elektron hech qachon o‘z o‘qi atrofida aylanmaydi.  
U holda spin elektronga xuddi zaryad va massa kabi xos bo‘lgan  
ichki xossadir. Ko‘pchilik tajribalar elekttronning spini mavjudligini  
isbot qiladi. Spinning mavjudligi va uning xossalari Dirak  
tenglamasidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri kelib chiqadi. Shu tufayli  
elektronning spini bir vaqtning o‘zida ham kvant, ham relyativistik  
xossa bo‘lib hisoblanar ekan. Spinga protonlar, neytronlar, fotonlar  
va boshqa elementar zarralar ega bo‘ladi. Elektronning xususiy  
orbital momenti kvant mexanikasi qonunlari asosida quyidagicha  
aniqlanadi:

$$|\vec{S}| = \hbar\sqrt{S(S+1)} \quad (40.9)$$

bunda  $S$  – spin kvant soni bo‘lib, elektron uchun  $1/2$  ga teng.  
Spinning berilgan  $Z$  yo‘nalishdagi proyeksiyasini esa

$$S_z = m_s \hbar; \quad \left( m_s = \pm S = \pm \frac{1}{2} \right) \quad (40.10)$$

deb yozish mumkin. Demak, atomdagi elektronlarni yoki atom  
sistemalarini to‘rtta kvant soni xarakterlar ekan:

bosh kvant soni –  $n$  ( $n = 1, 2, 3 \dots N$ ),  
 orbital kvant soni –  $l$  ( $l = 0, 1, 2, \dots n-1$ ),  
 magnit kvant soni –  $m$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm l$ ),  
 spin kvant soni –  $S$  ( $m_s = \pm 1/2$ )

$n, l, m$  kvant sonlari bir xil bo‘lgan, faqatgina spin kvant soni bilan farq qiluvchi atomdagi elektronlar soni 2 ga teng, chunki  $m_s = \pm 1/2$ .  $n$  va  $l$  kvant sonlari bir xil bo‘lgan,  $m$  va  $s$  kvant soni har xil bo‘lgan atomdagi elektronlar soni  $2(2l + 1)$  ga teng, chunki  $m$  ning qabul qilishi mumkin bo‘lgan qiymatlar soni  $(2l + 1)$ ; bosh kvant soni bir xil bo‘lgan,  $l, m, s(m_s)$  kvant sonlari har xil bo‘lgan atomdagi elektronlar soni

$$\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 2n^2$$

ifoda yordamida hisoblanadi.

Demak,  $n = 1$  da 2 ta,  $n = 2$  da 8 ta,  $n = 3$  da 18 ta,  $n = 4$  da 32 ta,  $n = 5$  da 50 ta va hokazo elektronlar bor.

Bir xil bosh kvant soniga ega bo‘lgan elektronlar majmuasi elektron qobiq deyiladi. Qobiqlar 1 kvant soni bilan farqlanuvchi qobiqchalarga bo‘linadi. Bosh kvant sonining qiymatlariga mos ravishda qobiqlar quyidagicha belgilanadi:

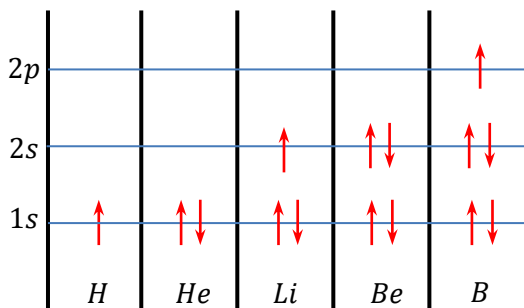
$n$  ning qiymatlari 1 2 3 4 5 6 7

Qobiqlarning belgisi  $K L M N O P Q$

Kvant mexanikasining qonunlaridan yana bittasi **Pauli prinsipi** deb yuritiladi. Bu prinsip quyidagicha ta’riflanadi. Atomda yoki biror-bir kvant sistemasida to’rtta  $n, l, m, s$  bir xil kvant sonlariga ega bo‘lgan ikkita elektron bitta kvant holatida bo‘lishi mumkin emas. Ushbu prinsip faqat elektronlar uchun emas, balki yarim spin kvant soniga ega bo‘lgan barcha zarralar uchun o‘rinlidir.

Mendeleyev davriy jadvalini to‘ldirishda Pauli prinsipi asosiy rol o‘ynaydi. Bu sistemani to‘ldirish bilan qisqacha tanishib o‘taylik. Shu narsani ta’kidlab o‘tish kerakki, sistema elementlarining barchasida elektronlar minimal energiyali holatlarni egallashga harakat qiladi.  $K$  – qobiq  $1s$  – qobiqchadan tashkil topganligi uchun vodorod atomidagi bitta elektron ushbu qobiqchaga joylashtiriladi. Geliy atomining ikkala elektroni  $K$  – qobiqning  $1s$  – qobiqchasiga joylashtiriladi va shu bilan  $K$  – qobiq to‘ladi. Bu yerda

elektronlarning spinlari antiparalleldir (40.1-rasm). Vodorod atomining elektron konfiguratsiyasi  $1s$  bo'lsa, geleyniki esa  $1s^2$  (2 ta  $1s$ -elektron) bo'ladi. Litiy atomining uchinchi elektroni  $L$  – qobiqning  $1s$  – qobiqchasiga joylashadi (40.1-rasm). Litiyning elektron konfiguratsiyasi  $1s^2 2s$ . Uning uchinchi elektroni qolgan ikkitasiga nisbatan yuqori energetik holatlarda joylashganligi uchun yadro bilan kuchsiz bog'lanadi va u atomning kimyoviy va optik xossalarini belgilaydi. Berilliy atomida  $2s$  – qobiqcha to'ldiriladi. Navbatdagi olti ( $B, C, N, O, F$  va  $Ne$ ) elementlarda  $2p$  – qobiqcha to'ldiriladi. Neon atomida  $K$  – va  $L$  – qobiqlar to'ldiriladi. Geliy sistemasiga o'xshash sistemani takrorlagani uchun u ham inert gaz bo'ladi. Natriy atomida  $K$  – va  $L$  – qobiqlar to'lgan bo'lib, bitta elektron  $3s$  qobiqchaga joylashadi.



40.1-rasm

Natriyning elektron konfiguratsiyasi  $1s^2 2s^2 2p^6 3s$  bo'ladi. Natriyning  $3s$  elektroni yadrosi bilan kuchsiz bog'langan bo'lib, u valent va optik elektron bo'ladi. Shu tufayli natriy xossalari litiyga o'xshashdir. Natriydan keyin  $3s$ - va  $3p$  qobiqchalar normal to'ldiriladi. Berilgan umumiy konfiguratsiyada  $3d$ - qobiqcha  $4s$ - qobiqchaga qaraganda energetik jihatdan yuqorida joylashganligi uchun  $M$  – qobiq to'lib ulgurmasdan  $N$  – qobiqning to'ldirilishi boshlanadi.  $4p$  – qobiqcha  $3d$  – qobiqchaga nisbatan energetik jihatdan yuqorida joylashganligi uchun,  $4s$  – qobiqchadan so'ng  $3d$  – qobiqcha to'ldiriladi. Qolgan barcha element atomlarining energetik sathlari ham ana shunday ketma-ketlikda elektronlar bilan to'ldiriladi.

## 41–MAVZU: KVANT STATISTIKASI ELEMENTLARI

### 41.1. Kvant statistikasi haqida tushuncha

Moddalar tartibsiz, issiqlik harakat qiluvchi atom va molekulalardan tashkil topgan. Moddalarning atom va molekulari haqida ma'lumotlarga asoslanib, ularning makroskopik tizim xossalarini o'rganuvchi fizikaning bo'limiga **statistik fizika** deyiladi. Statistik usullar ehtimollar nazariyasi va statistik matematika qonunlariga asoslanadi. Kvant mexanikasiga qonunlariga bo'ysunuvchi ko'p sonli mikro zarrachalardan tashkil topgan tizimlarning xossalari (masalan, kristall panjaraning ishqlik sig'imi, qattiq jismlarning issiqlik va elektr o'tkazuvchanligi, issiqlik nurlanish energiyasi va h.k.)ni kvant statistikasi o'rganadi.

Statistik qonuniyatlarni miqdoriy jihatdan tavsiflash uchun ko'p o'lchovli cheksiz fazoda foydalanamiz. Cheksiz fazoni statistikada **fazoviy fazo** deb yuritiladi.

Zarraning fazoviy fazosi deganda olti o'lchovli fazo tushuniladi, unda uch o'q yordamida zarra koordinatalari va qolgan uch o'q yordamida impuls komponentlari ifodalanadi. Berilgan sistema  $N$  zarradan iborat bo'lsa, fazoviy fazo  $6N$  o'lchovli bo'ladi.

Agar zarralar koordinatalari  $q_i (i = 1, 2, \dots, 3N)$ , impulslarining proyeksiyalari  $p_i (i = 1, 2, \dots, 3N)$  bilan belgilasak,  $6N$  o'lchamli fazoviy fazodagi hajm elementi barcha  $6N$  koordinatalar differensiallarining ko'paytmasi ko'rinishida quyidagicha ifodalanadi:

$$dV = dq_1 \cdot dq_2 \cdot \dots \cdot dq_{3N} \cdot dp_1 \cdot dp_2 \cdot \dots \cdot dp_{3N} = dq \cdot dp \quad (41.1)$$

Bu hajm qancha kata bo'lsa, sistema holatini ifodalovchi fazoviy nuqtani shu hajm ichida bo'lish ehtimolligi ham shuncha kata bo'ladi, ya'ni:

$$dW(q, p) = f(q, p) dq \cdot dp \quad (41.2)$$

bu ifodadagi  $f(q, p)$  – taqsimot funksiyasi, u sistema holatining ehtimollik zichligi vazifasini bajaradi. Shuning uchun sistemaning

amalga oshishi mumkin bo'lgan barcha holatlar ehtimolliklarining yig'indisi 1 ga teng bo'lishi kerak:

$$\int dW(q, p) = \int f(q, p) dq \cdot dp = 1 \quad (41.3)$$

(41.3) ifodani ehtimollikning **normalash sharti** deb ataladi. Uning ma'nosi shundan iboratki, agar zarra mavjud bo'lsa, fazoviy fazoning qayerdadir topilishi muqarrar hodisadir. Taqsimot funksiya ma'lum bo'lgan holda sistemaning biror xossasini ifodalovchi  $x$  kattalikning o'rtacha qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\langle x \rangle = \int x(q, p) dW(q, p) = \int x(q, p) f(q, p) dq \cdot dp \quad (41.4)$$

Taqsimot funksiyasini topishga erishish muhim ahamiyatga ega, chunki u makro sistema xossasi  $x$  ning hisoblangan va tajribada aniqlangan qiymatlari bir xil bo'lishini ta'minlashga xizmat qiladi.

Yuqoridagi fikrlar ham klassik, ham kvant mexanikasining qonunlariga bo'ysunuvchi ko'p sonli zarralardan tashkil topgan sistemalarning xossalarini o'rganish uchun umumiydir. Ular orasidagi farq esa klassik va kvant zarralar holatlarining xossalari bilan belgilanadi:

a) kvant zarralarining holatlari diskret o'zgaradi, klassik zarralarniki esa uzluksiz o'zgaradi.

b) berilgan holatdagi bir xil kvant zarralari (elektron, proton) mutlaqo bir-birlaridan farq qilmaydilar, klassik atistikada bir-biridan farqlanadi deb hisoblanadi.

c) kvant zarralari o'zining xususiy mexanik momentiga, ya'ni spiniga ega.

d) kvant zarralari korpuskular – to'liqin xususiyatga ega bo'lganligi tufayli, noaniqlilar prinsipiga asosan, fazoviy fazodafi hajm elementi  $dq \cdot dp \geq h^3$  dan kichik bo'la olmaydi. Binobarin, olti o'lchamli fazoviy fazo elementar bo'lakchasi hajmning qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$(\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta P_x \cdot \Delta P_y \cdot \Delta P_z)_{min} = h^3 \quad (41.5)$$

e) klassik statistikaga asosan bir vaqtda bitta holatda ixtiyoriy sonli zarralar bo'lishi mumkin. Kvant statistikasi esa mazkur savolga quyidagicha javob beradi: spinlari 0 va  $\pm \hbar/2$  ga juft son



marta karrali bo‘lgan zarralar, ya’ni **bozonlar** uchun taqsimot funksiyasi quyidagi ko‘rinishga ega va uni  $W_i$  energiyali holatdagi zarralarning o‘rtacha soni **Boze-Eynshteyn taqsimoti** deb ataladigan

$$\langle N_i \rangle = \frac{1}{e^{(W_i - \mu)/kT} - 1} \quad (41.6)$$

ifodasi yordamida aniqlanadi. Bu ifodadagi  $\mu$  – kimyoviy potensial bo‘lib, uning qiymati barcha  $\langle N_i \rangle$  lar yig‘indisi sistemadagi zarralar soni  $N$  ga teng ( $\sum_i \langle N_i \rangle = N$ ) bo‘lishi shartidan aniqlanadi.

Spinlari  $\pm \hbar/2$  ga toq son marta karrali bo‘lgan zarralar, ya’ni **fermionlar** uchun esa taqsimot funksiyasi **Fermi-Dirak taqsimoti** deyiladi.

$$\langle N_i \rangle = \frac{1}{e^{(W_i - \mu)/kT} + 1} \quad (41.7)$$

munosabat bilan ifodalanadi. Fermionlar uchun Pauli prinsipi o‘rinli bo‘ladi, ya’ni bir vaqtning o‘zida aynan bir kvant holatda bittadan ortiq fermion bo‘lishi mumkin emas. Bozonlar uchun esa Pauli prinsipi bajarilmaydi, ya’ni bir vaqtning o‘zida aynan bir kvant holatda bitta emas, balki ixtiyoriy sondagi bozonlar bo‘lishi mumkin. Fermionlardan tashkil topgan sistema (Fermi gazi) va bozonlardan tashkil topgan sistema (Boze gazi) xossalari klassik statistikaga bo‘ysunuvchi sistema (ideal gaz) xossalaridan keskin farq qiladi.

## 41.2. Metallarda elektronlarning kvant statistikasi

Metallarda elektronlarni ikki xilga ajratib o‘rganamiz:

1) bog‘langan elektronlar kristall panjara tugunlaridagi ion tarkibiga kiradi;

2) erkin elektronlar metalldagi barcha ionlarga tegishli. Erkin elektronlar metal parchasining sirti bilan chegaralangan hajmda harakatlanadi.

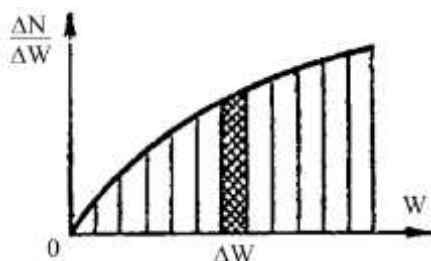
Metallarning aksariyat xossalari, asosan, erkin elektronlarning holati bilan aniqlanadi. Metallardagi erkin elektronlarni ideal gaz deb tasavvur qilish mumkin. 41.1-rasmda elektron gazi uchun kvant holatlari zichligi  $\Delta N/\Delta W$  ni energiya  $W$  ga bog‘liqlik grafigi

tasvirlangan. Shtrixlangan yuza energiyalari  $W$  dan  $W + \Delta W$  sohagacha bo'lgan kvant holatlari sonini fiodalaydi. Rasmdan ko'rinadiki,  $W$  ortishi bilan birday  $\Delta W$  sohaga mos keluvchi kvant holatlari soni ham ortib boradi.

Elektron spini  $\pm \hbar/2$  ga teng bo'lgani uchun ularni energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi Fermi-Dirak taqsimotiga bo'ysunadi. Agar elektron gazining  $T = 0 K$  haroratdagi kimyviy potensialini  $\mu_0$  bilan belgilasak,  $W$  energiyali kvant holatidagi elektronlarning o'rtacha soni

$$\langle N_i \rangle = \frac{1}{e^{(W-\mu_0)/kT} + 1} \quad (41.8)$$

munosabat bilan aniqlanadi.



41.1-rasm

41.1-rasmda bu funksiyasining  $T = 0 K$  haroratdagi grafigi tasvirlangan: energiyasi 0 dan  $\mu_0$  gacha bo'lgan holatlar uchun  $\langle N(W) \rangle = 1$  energiyasi  $\mu_0$  dan kata bo'lgan holatlar uchun  $\langle N(W) \rangle = 0$ . Boshqacha aytganda, 0 K haaroratda  $\mu_0$  dan pastroq energiyali barcha ruxsat etilgan holatlarni elektronlar ishg'ol etgan,  $\mu_0$  dan yuqori energiyasi holatlar esa batamom bo'sh bo'ladi. Demak,  $\mu_0$  – absolut nol haroratdagi metallda erkin elektronlar ega bo'lishi mumkin bo'lgan maksimal energiyadir. Energiyaning bu qiymatini **Fermi energiyasi** deb ataladi va bilan belgilanadi.

Shuning uchun Fermi-Dirak taqsimoti quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\langle N(W) \rangle = \frac{1}{e^{(W-W_F)/kT} + 1} \quad (41.9)$$

$W_F$  energiyali sathni **Fermi sathi** deb ataladi.

Metallning harorati ortishi bilan elektronlar yuqoriroq energetik sathlarga o'ta boshlaydi, natijada ularning holatlar bo'yicha taqsimlanishi ham o'zgaradi. (41.9) ifodaga asosan,  $T \neq 0 K$  haroratlar uchun

$W = W_F$  bo'lganda  $\langle N(W) \rangle$  yarmiga teng;

$W > W_F$  bo'lganda  $\langle N(W) \rangle$  yarmidan kichik;

$W < W_F$  bo'lganda  $\langle N(W) \rangle$  yarmidan katta.

### 41.3. Metallarda elektr o'tkazuvchanligining kvant statistikasi. O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi

Zommerfeld Fermi-Dirak statistikasiga asoslangan metallar elektr o'tkazuvchanligi ( $\sigma$ ) ga iod nazariy hisoblashlarni amalga oshirib quyidagi munosabatni hosil qildi:

$$\sigma = \frac{e^2 n l_F}{m \vartheta_F} \quad \text{yoki} \quad \sigma = \frac{e^2 n \tau}{m} \quad (41.10)$$

Bu ifodada  $e$  – elektron zaryadi,  $n$  – erkin elektronlar konsentrat-siyasi,  $l_f$  – Fermi energiyasiga ega bo'lgan elektronning erkin yugurish o'rtacha masofasi,  $\vartheta_F$  – Fermi energetik sathidagi elektronning issiqlik harakat o'rtacha tezligi,  $\tau$  – **relaksatsiya vaqti** deyiladi, bu muvozanat vujudga kelgan vaqtni ifodalaydi. Zommerfeld formulasidagi  $\vartheta_F$  – haroratga bog'liq emas, chunki  $W_F$  ning qiymatiga harorat o'zgarishi ta'sir qilmaydi.

Klassik va kvant nazariyalarida erkin yugurish masofasi turlicha talqin qilinadi. Ma'lumki, klassik nazariyada erkin elektronlar to'plamini elektron gaz deb hisoblanar edi. Bu gazning zarralari – elektronlar o'z uchratgan kristall panjara tugunidagi ionlarga urilib turadi. Metallarning qarshiligi ana shu to'qnashishlar tufayli paydo bo'ladi.

Kvant mexanikasi nuqtai nazaridan qaraganimizda ideal kristall panjardagi elektronlar xech qanday to'siqqa uchramasdan harakat qiladi. Buning natijasida metallardagi elektr o'tkazuvchanlik cheksiz katta bo'lishi mumkin. Lekin kristall panjara xech vaqt ideal sof bo'lmaydi, chunki panjarada doimo ma'lum darajada nuqsonlar (aralashma va vakansiya) bo'ladi. Bu nuqsonlar elektronlarning

sochilishiga olib keladi, ya'ni ularning tartibli harakatiga to'g'inlik ko'rsatadi. Bundan tashqari panjaraning atomlari doimo muvozanat vaziyati atrofida tebranib turadi va erkin elektronlar bilan to'qnashadi. Bu sabablar metallarda elektr qarshiligini vujudga keltiradi.

Agar metal qancha toza va harorati qancha past bo'lsa, elektr qarshilik shuncha kam o'ladi. Metallarning solishtirma elektr qarshiligi ikki had yig'indisi tarzida ifodalanadi:

$$\rho = \rho_{teb} + \rho_{aralash} \quad (41.11)$$

bundagi  $\rho_{teb}$  – panjaraning issiqlik tebranishlari tufayli vujudga keladigan qarshilik,  $\rho_{aralash}$  – aralashma atomlarida elektron to'liqlarining sochilishi tufayli vujudga keladigan qarshilik.

Harorat ortgani sari elektron to'liqlarning panjara issiqlik tebranishlarida sochilishi ortadi, ya'ni elektronlarning erkin o'rtacha yugurish masofasi kamayadi, o'tkazuvchanlik ham kamayadi,  $\rho_{teb}$  ortadi. Harorat  $T \rightarrow 0$  da  $\rho_{teb} \rightarrow 0$  bo'ladi, ammo  $\rho \rightarrow \rho_{aralash}$ . Odatda,  $\rho_{aralash}$  ni qoldiq qarshilik deb ham yuritiladi, chunki u deyarli haroratga bog'liq bo'lmaganligi uchun 0 K da ham uning qiymati o'zgarmay qoladi.

Past haroratlarda ba'zi metallar elektr qarshiligi birdaniga ( $\rho = 0$ ) nolga teng bo'lib qoladi. Bu holni **o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi** deb yuritiladi. Bu hodisani birinchi bo'lib 1911 yilda golland fizigi Kamerling – Onnes tomonidan kashf qilingan. U toza simobning elektr qarshiligini juda past haroratlarda o'lchash chog'ida 4,2 °C haroratda simob qarshiligi birdaniga nolgacha kamayib ketganligini aniqladi. Keyinchalik, ba'zi boshqa metallarda ham o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi kuzatildi.

## 42–MAVZU: QATTIQ JISMLAR FIZIKASI ELEMENTLARI

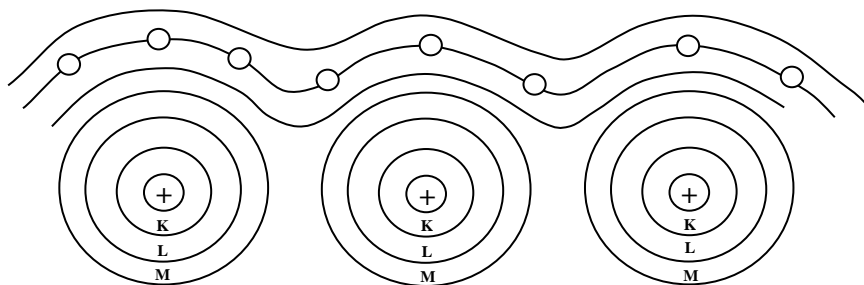
### 42.1. Qattiq jismdagi energetik zonalar. Metall, yarimo'tkazgich, dielektriklar

Atomda elektronlar diskret sathlarda joylashar ekan. Sathlarning eng yuqorisida joylashgan elektronlar **valent**

**elektronlar** deyiladi. Ularning tepasidagi sathlar esa **bo'sh sathlar** deyiladi. Atomlar bir-biriga juda yaqin joylashtirilganda atom o'lchamiga teng bo'lib qoladi ( $1-5 \text{ \AA}$ ) va bu atomlar bir-biriga bog'lanib qoladi. Bu bog'lanish faqatgina valent elektronlari orqali amalga oshadi. 4 xil bog'lanish mavjud:

- Kovalent
- Ionli
- Metall
- Van-der-Valls

Metall bog'lanishda barcha valent elektronlar umumlashib ketadi (42.1-rasm). Pastroq sathlardagi elektronlar esa **negiz elektronlari** deb atalib, faqatgina o'zining yadrosi atrofida aylanadi.



42.1-rasm. Metall bog'lanish

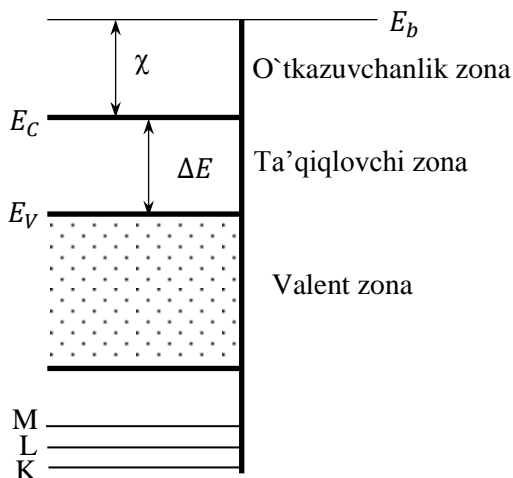
Bu yerda valent elektronlar shunchalik ko'pki, ular bir-biriga tegib turgan sathlarda joylashadi. Masalan,  $1 \text{ sm}^3$  qattiq jismda  $\sim 10^{23}$  ta atom bor. Bu atomlarda bittadagina valent elektron bo'lsa ham  $10^{23}$  valent elektroni bo'ladi. Bu elektronlar  $10^{23}/2$  ta sathga teng. Bunda qo'shni sathlar orasidagi energetik masofa  $\sim 10^{-22}-10^{-23}$  elektron voltga teng.

Bir-biriga deyarli tegib turgan sathlarning yig'indisi **energetik zonalar** deyiladi.

Shunday qilib, qattiq jismda valent elektronlar valent zonani tashkil qiladi. Bo'sh sathlar esa o'tkazuvchanlik zonasini tashkil qiladi. Valent zona va o'tkazuvchanlik zonasi bir-biriga tegib turgan

bo'lsa, yoki qisman qoplanib turgan bo'lsa, bunday materiallar **o'tkazgichlar** deyiladi.

Valent zona va o'tkazuvchanlik zonasida energetik masofa mavjud bo'lsa, bunday materiallar yarim o'tkazgich yoki dielektrik bo'ladi. Bunda energetik masofa **taqiqlangan zona** deb ataladi. Uning qiymati 2,5-3 elektron voltidan kichik bo'lsa **yarimo'tkazgich**, katta bo'lsa **dielektrik** deyiladi.



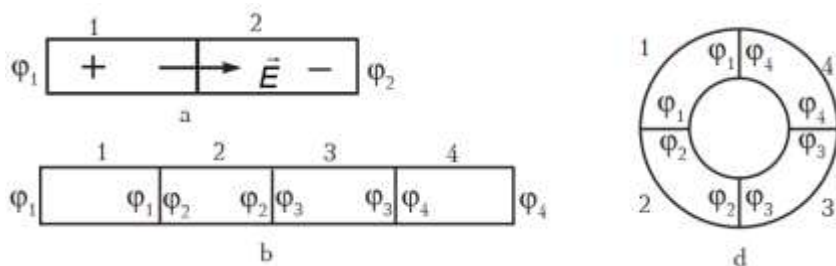
42.2-rasm. Qattiq jismlarda zonalar nazariyasi

42.2-rasmda  $\Delta E$  – taqiqlangan zonaning kengligi;  $E_b$  – vakuum sathi;  $E_c$  – o'tkazuvchalik zonasining eng pastki sathi;  $E_v$  – valent zonaning eng yuqori sathi.

### 42.1.1. Kontakt potentsiallar farqi

Ma'lumki, turli metallarda epkin elektronlarning konsentratsiyasi va xuddi shu kabi, metallardan chiqish ishi turlicha bo'ladi. Shuning uchun ikki xil metall bir-biri bilan kontaktga keltirilganda, kontakt sohasida erkin elektronlarning to'xtovsiz tartibsiz harakati tufayli ularning bir metallardan ikkinchi metallga „ko'chishi“ (o'tishi) sodir bo'ladi. Albatta, bunda elektronlarning chiqish ishi kichikroq, konsentratsiyasi ko'proq bo'lgan metallardan

chiqish ishi kattaroq, konsentratsiyasi kamroq bo‘lgan qo‘shni metallga ko‘proq elektronlar o‘tadi. Shuning natijasida bir metallda erkin elektronlar to‘planib qoladi, binobarin, metall manfiy zaryadlanadi, ikkinchi metallda esa erkin elektronlar yetishmaydi, binobarin, bu metall musbat zaryadlanib qoladi (42.3, a-rasm). Bunda hosil bo‘lgan  $\varphi_1 - \varphi_2$  potenciallar farqi  $\vec{E}$  kuchlanganlikli elektr maydon vujudga keltiradi, bu elektr maydon elektronlarning yanada „ko‘chishi“ni qiyinlashtiradi va potenciallar farqi erkin elektronlar konsentratsiyasi, chiqish ishlari va harorat bilan aniqlanadigan tayinli bir qiymatga erishganda elektronlarning ortiqcha o‘tishi to‘xtaydi.



42.3-rasm

Shunday qilib, turli tabiatli ikki metallni bir-biri bilan kontaktga keltirilganda ular orasida faqat shu metallarning kimyoviy tarkibi va haroratiga bog‘liq bo‘lgan potenciallar farqi vujudga kelar ekan.

Bu ta’rif Voltaning birinchi qonuni deb ataladi. Uni 1797- yilda Volta tajribalar yo‘li bilan aniqlagan.  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  potenciallar ayirmasi **kontakt potenciallar farqi** deb ataladi. Haroratlari birday bo‘lgan bir necha (masalan, to‘rtta) turli metall o‘tkazgichlarni o‘zaro kontaktga keltiraylik (42.3, b-rasm). Bir-biriga tegib turgan metall juftlari potenciallari farqining yig‘indisi  $(\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_3 - \varphi_4) = \varphi_1 - \varphi_4$  bo‘lishini ko‘ramiz.

Demak, bir necha ketma-ket ulangan o‘tkazgichlardan tuzilgan ochiq zanjir uchlaridagi potenciallar farqi ikki chekkadagi o‘tkazgichlar hosil qilgan kontakt potenciallari farqiga teng va oradagi o‘tkazgichlarning soniga ham, tabiatiga ham bog‘liq emas.

Volta tajribada aniqlagan bu ta'rif **Voltning ikkinchi qonuni** deyiladi.

Endi chekka o'tkazgichlarni bevosita o'zaro ulaylik (42.3-d, rasm). U holda hosil bo'lgan berk zanjirdagi potentsiallar farqining yig'indisi yoki vujudga kelgan 1 elektr yurituvchi kuch

$$\varepsilon = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_3 - \varphi_4) + (\varphi_4 - \varphi_1) = 0$$

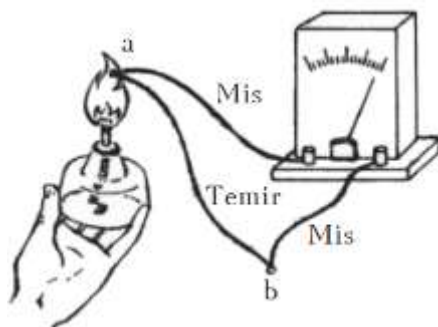
ekanligiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Shunday qilib bir xil haroratli metall o'tkazgichlardan tuzilgan berk zanjirda EYK nolga teng bo'ladi, zanjirda tok hosil bo'lmaydi.

## 42.2. Termoelektir hodisasi. Termoelektir yurituvchi kuch. Termopara

42.1.1 da qayd etilganidek, birinchi jins o'tkazgichlardan tuzilgan berk zanjirda elektr yurituvchi kuch vujudga kelmaydi. Biroq, turli o'tkazgichlar orasidagi kontaktlarning haroratlari bir xil bo'lgandagina shunday bo'ladi. Kontaktlar haroratlari har xil bo'lganda zanjirda noldan farqli elektr yurituvchi kuch yuzaga keladi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin.

Agar ikkita metallardan, masalan, mis va temirdan berk zanjir tuzib, kontaktlardan birini, masalan, b ni sovuq qoldirgan holda ikkinchisi a ni goretka bilan qizdirilsa (42.4-rasm), zanjirda tok oqa boshlaganini galvanometr strelkasining og'ishidan sezish mumkin.



42.4-rasm



Agar, aksincha, b kontakti qizdirib, a kontakt sovuq qoldirilsa, bu holda ham zanjirda tok hosil bo'lganini galvanometr ko'rsatadi, lekin uning yo'nalishi birinchi holdagi tok yo'nalishiga qaramaqarshi bo'ladi. Bu tajribalar ikki metallning bir-biriga yondoshgan chegarasida hosil bo'lgan EYKning o'zi haroratga bog'liq ekanligini ko'rsatadi. O'tkazgichlarning yuqori haroratli kontaktida potentsiallar farqi ko'proq, past haroratli kontaktida potentsiallar farqi kamroq bo'ladi. Shuning uchun kontakt joylari turlicha haroratli bo'lgan metallardan tuzilgan berk zanjirda barcha kontaktlarda hosil bo'lgan potentsiallar farqining yig'indisi nolga teng bo'lmaydi va zanjirda oqayotgan tokni ta'minlab turuvchi EYK vujudga keladi.

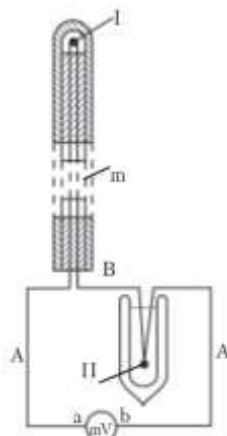
Bir-biri bilan kontaktga keltirilgan uchlarining haroratlari turlicha bo'lgan turli metallardan tuzilgan berk zanjirda vujudga keladigan EYK ni termoelektr yurituvchi kuch (TEYK) deb, hodisani esa termoelektr hodisasi yoki termoelektr effekt deb ataladi. Bu effektini 1821-yilda nemis fizigi T.Zeebek kashf qilgan Tajribalarning ko'rsatishicha, TEYK ning kattaligi kontaktga keltirilgan uchlar haroratlarining ayirmasiga yetarli darajada aniqlik bilan to'g'ri proporsional ravishda o'sib boradi. Agar kontaktlardan birining harorati  $T_1$ , ikkinchisidiki  $T_2$  va  $T_2 > T_1$  bo'lsa, u holda TEYK ni

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1) \quad (42.1)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin, bunda  $\alpha$  – differensial TEYK deb ataladigan kattalik bo'lib, issiq va sovuq kontaktlar haroratlari ayirmasi bir gradus bo'lganda hosil bo'ladigan TEYK ga teng bo'ladi. Uning son qiymati kontaktga keltirilgan metallarning tabiatiga hamda haroratga bog'liq bo'ladi.

Termoelektr hodisasidan haroratni o'lchashda foydalaniladi. Bunday maqsadda ishlatiladigan qurilma **termopara** yoki **termoelement** deb ataladi. 42.3-rasmda termopara tuzilishining sxematik ko'rinishi tasvirlangan. U ikkita turli  $A$  va  $B$  metall simlardan iborat bo'lib, simlarning uchlari o'zaro kavsharlanadi yoki payvandlanadi (I va II payvandlar).

Payvandlarni kimyoviy ta'sirlardan saqlash uchun ikkala sim m chinni nay ichiga joylashtiriladi (I payvand). I payvand  $T$  harorati o'lgan sohaga joylashtiriladi, II payvand esa o'zgarmas  $T_0$  haroratda (masalan, eriyotgan muz harorati  $0^\circ\text{C}$  da) ushlab turiladi. Metall termoparalarda kontakt uchlarining haroratlari farqi  $100^\circ$  ga teng bo'lganda bir necha millivolt oshmaydigan kichik TEYK hosil bo'ladi. Shuning uchun zanjirning  $a$  va  $b$  uchlariga millivoltmetr ulanadi va uning yordamida zanjirda vujudga kelgan 1 termoelektr yurituvchi kuch o'lchanadi.



42.3-rasm

Ayni shu termoparaning  $\alpha$  koeffitsiyentini bilgan holda aniqlanishi lozim bo'lgan  $T$  harorat (42.1) munosabatdan chiqarilgan quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$T = \frac{1 + \alpha T_0}{\alpha} \quad (42.2)$$

Odatda millivoltmetr shkalasini bevosita harorat graduslarida darajalaniladi.

Termoparalarning suyuqlikli (xususan, simobli) termometrlardan bir qator afzalliklari bor. Jumladan: 1) u juda sezgir; 2) harorat inersiyasi kam; 3) haroratlarning juda keng diapazonida ishlatilishi mumkin; 4) past haroratlarni ham, yuqori haroratlarni ham gradusning yuzdan bir ulushigacha aniqlik bilan o'lchash mumkin; 5) muhitning kichik hajmlarining (amaliy jihatdan muhit nuqtalarining) haroratini o'lchashga imkon beradi va, nihoyat, 6) u bilan masofada turib o'lchash, ya'ni o'lchash joyidan uzoq masofalarda joylashgan yoki bevosita o'lchab bo'lmaydigan obyektlarning haroratini o'lchash mumkin.

Metall termoparalarning foydali ish koeffitsiyenti juda kam (0,5 % dan oshmaydi). Foydali ish koeffitsiyentining bunday kamligi  $\alpha$  differensial TEYK ning kichikligi hamda metallar issiqlikni yaxshi o'tkazishi sababli issiq payvanddan sovuq payvandga tomon kuchli

Issiqlik oqimining vujudga kelishi bilan aniqlanadi. Shuning uchun metall va ularning qotishmalaridan ishlangan termoparalardan tok manbai sifatida foydalanilmaydi. Bu jihatdan yarimo'tkazgichli termoparalardan foydalanish imkoniyati katta, ularning amalda ishlatilishi bilan keyinroq tanishamiz

### **42.3. Termoelektron energetik o'zgartgichlar**

Tabiatda turli ko'rinishdagi energiyalar mavjudligi hammamizga ma'lum. Mexanik, issiqlik, elektr, yorug'lik, kimyoviy, atom energiyalar shular jumlasidandir. Ammo hozirgi zamonda insoniyatning hayotini va faoliyatini elektr energiyasiz tasavvur qilib bo'lmaydi.

Haqiqatan ham, yoritish, radio, televideniye, rentgen apparaturasi, turli-tuman aloqa apparatlarining, sanoatda foydalaniladigan uskunalar va qurilmalarning harakatlantiruvchi qismining asosi elektromotrlarning, tramvay, trolleybus, elektropoyezd kabi transport vositalarining ishlashi va shu kabi boshqa ko'pgina iste'molchilar uchun elektr energiya kerak. Bundan tashqari elektr energiyaning boshqa turdagi energiyalardan afzallik tomonlari mavjud. Jumladan, elektr energiyani mexanik ishga aylantirish ancha qulay, uni uzoq masofalarga uzatish mumkin, turli ko'rinishdagi, turli o'lchamli, turli quvvatli, foydali ish ko'effitsiyenti yuqori bo'lgan dvigatellarni yaratish imkoniyatlari mavjud. Shuning uchun har turdagi energiyani bevosita, energiyaning ortiqcha oraliq o'zgarishlarisiz, iloji boricha tejimli va oddiy konstruktiv tuzilishga ega qurilmalar vositasida elektr energiyaga aylantirish masalasi hamma vaqt dolzarb masala bo'lib kelgan. Bu masalani yechish borasida olimlar shu vaqtgacha ishlab kelmoqdalar.

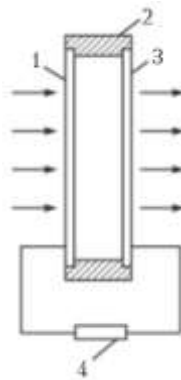
Tajribalar, ilmiy izlanishlarning ko'rsatishicha, texnikaning turli sohalari uchun elektr energiyani to'g'ridan-to'g'ri olishning termoelektron (yoki termoion), termoelektr, magnitodidrodinamik (yoki magnitogazodinamik) va elektrokimyoviy usullari amaliy ahamiyatga ega ekan. Bularning birinchi uchtasidan issiqlik mashinalari hisoblanadigan tuzilmalar yordamida issiqlik energiyasini bevosita elektr energiyaga aylantirishda foydalanilsa,

elektrokimyoviy usul yordamida oddiy yonilg'ining kimyoviy energiyasi elektr energiyaga aylantiriladi.

Issqlik energiyasini elektr energiyaga bevosita aylantirib beradigan asboblarni energetik o'zgartgichlar deyiladi. Yuqorida qayd etilgan usullarning qaysi biridan foydalanib ishlashiga qarab energetik o'zgartgichlar mos ravishda termoelektron generatorlar, termoelektr generatorlar, magnito gidrodinamik generatorlar va yoqilgi elementlar deb ataladi.

Termoelektr generatorning ishlashi termoelektr hodisaga asoslangan. 42.3 mavzuda qayd etilganidek, metallar va ularning qotishmalaridan ishlangan termoparalardan tok manbai sifatida foydalanilmaydi, chunki bunday tok manbayining foydali ish koeffitsiyenti juda kichik. Lekin yarimo'tkazgichlardan ishlangan termoparalar termoelektr generatori sifatida ishlatilishi mumkin.

Endi termoelektron usuldan foydalanib, issqlik energiyasini elektr energiyaga qanday aylantirish mumkinligi bilan tanishib chiqaylik. Issqlik energiyasini elektr energiyaga o'zgartirishning termoelektron usuli termoelektron emissiya hodisasiga asoslangan. 42.4-rasmda termoelektron generatorning prinsipial sxemasi keltirilgan. Sxemada 1-katod, 2-izolatorlar, 3-anod, 4-nagruzka (iste'molchi). Katodga tashqaridan issqlik keltirib, uni elektronlar emissiyasi jarayonini ta'minlovchi haroratgacha qizdiriladi. Elektronlar emissiyasi boshlanadi.



42.4-rasm

Elektronlarning katoddan anodga o'tishini osonlashtirish uchun anod bilan katod orasidagi fazoda vakuum hosil qilinadi. Katod sirtidan elektronlar otilib chiqadi va vakuum orqali anodga yetib borib, unga uriladi. Buning natijasida anod isiy boshlaydi. Anoddan issiqlikni tashqariga uzatib, uni sovutib turiladi, aks holda anodning harorati ko'tarilib, tezda katodning harorati bilan tenglashib qolishi mumkin. U holda termoelektronlarning katoddan anodga o'tish jarayoni to'xtaydi. Demak, termoelektron energetik o'zgartgichning ishlashi uchun katodni qizdirib, anodni sovutib turish lozim ekan.

Shunday qilib, termoelektronlarning katoddan anodga o'tishi natijasida elektrodlar orasida potentsiallar farqi vujudga keladi va

berk tashqi zanjir bo'yicha  $R$  nagurzka orqali tok oqa boshlaydi (42.4-rasmga qarang).

Termoelektron generatorlardan turli maqsadlar uchun mo'ljallangan kichik quvvatli elektr energiya manbai sifatida foydalaniladi.

#### 42.4. Yarimo'tkazgichning xususiy va aralashmali o'tkazuvchanligi

O'tkazgichlarda solishtirma qarshilik juda kichik bo'ladi.

$$\rho = 10^{-6} \div 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{sm}$$

Dielektriklarda esa,

$$\rho = 10^5 \div 10^{15} \text{ Om} \cdot \text{sm}$$

Yarimo'tkazgichlarda esa,

$$\rho = 10^{-2} \div 10^{-5} \text{ Om} \cdot \text{sm}$$

Bir qator moddalarning solishtirma qarshiligi kattalik jihatdan metallar bilan dielektriklar solishtirma qarshiliklari orasida yotadi. Shuning uchun bu moddalarning elektr o'tkazuvchanliklari metallar bilan izolatorlarning elektr o'tkazuvchanliklari orasidagi oraliq holatni egallaydi. Bunday moddalar **yarimo'tkazgichlar** deb ataladi. Mendeleyev davriy sistemasida III, IV, V va VI gruppalardan o'rin olgan ko'pchilik elementlar, bir qator birikmalar va qotishmalar yarimo'tkazgichlar qatoriga kiradi.

Yarimo'tkazgichlarda ham metallardagi kabi elektr o'tkazuvchanlik elektronlarning harakati bilan yuzaga keladi. Biroq elektronlarning harakatlanish sharoitlari metallarda va yarimo'tkazgichlarda turlicha bo'ladi. Yarimo'tkazgichlar metallardan farqli holda quyidagi asosiy xususiyatlarga ega:

a) yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi harorat ko'tarilishi bilan ortib boradi. Masalan, harorat 1 K ortganda yarimo'tkazgichning solishtirma o'tkazuvchanligi o'rtacha 16-17 marta ortadi. Metallarda esa, aksincha, harorat ortishi bilan o'tkazuvchanlik kamayib boradi;

b) yarimo'tkazgichlardagi elektr o'tkazuvchanlikda erkin elektronlardan tashqari atom bilan bog'langan elektronlar ham ishtirok etadi. Ba'zi hollarda ularning elektr o'tkazuvchanligida

bogʻlangan elektronlar asosiy rol oʻynaydi; metallarda esa faqat erkin elektronlar ishtirok yetadi;

d) sof yarimoʻtkazgichga ozgina miqdorda aralashma kiritib, uning oʻtkazuvchanligini keskin oʻzgartirish mumkin. Masalan, taxminan 0,01 % aralashma kiritilganda yarimoʻtkazgichning oʻtkazuvchanligi oʻn minglab marta ortib ketadi.

Tajribalarning koʻrsatishicha, metallarda erkin elektronlarning konsentratsiyasi haroratga bogʻliq emas. Metallarda hatto eng past haroratlarda ham koʻp sonli erkin elektronlar boʻladi. Bu shuni bildiradiki, metallarda oʻtkazuvchanlik elektronlarining hosil boʻlishida issiqlik harakati deyarli ishtirok etmaydi. Shu sababli metall haroratining koʻtarilishi unda erkin elektronlar konsentratsiyasini amalda oʻzgartirmaydi, faqat metall zarralarining xaotik harakatining zoʻrayishiga olib keladi. Shuning uchun temperature koʻtarilganda metallarning qarshiligi ortadi.

Yarimoʻtkazgichlarning elektr oʻtkazuvchanligi ham metallardagi kabi elektronlar harakati bilan bogʻliq. Yarimoʻtkazgichlar ham birinchi jins oʻtkazgichlariga kiradi va ulardan tok oʻtganda hech qanday kimyoviy oʻzgarishlar sodir boʻlmaydi.

Past haroratlarda bunday oʻtkazgichlarning solishtirma qarshiligi juda katta boʻladi va amalda izolator hisoblanadi. Lekin ularda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi harorat ortishi bilan keskin ortadi, solishtirma qarshiligi keskin kamayadi va yetarlicha yuqori haroratlarda juda kam boʻladi. Masalan, tajribalarning koʻrsatishicha, sof kremniyda uy haroratida elektronlar konsentratsiyasi  $10^{17} \text{ m}^{-3}$  dan kichik (solishtirma qarshiligi  $10^3 \Omega \cdot \text{m}$  dan katta) boʻlsa,  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  haroratda elektronlar konsentratsiyasi  $10^{24} \text{ m}^{-3} \Omega \cdot \text{m}$  gacha koʻtariladi (solishtirma qarshiligi esa  $10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$  gacha kamayadi), yaʼni million martadan koʻproq ortadi.

Yarimoʻtkazgichlarda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining haroratga bunday keskin bogʻliqligi shuni koʻrsatadiki, bunda oʻtkazuvchanlik elektronlari issiqlik harakati taʼsirida hosil boʻladi. Yarimoʻtkazgichlarda atomlararo taʼsirning oʻzi atomlardan elektronlarni uzib olish va ularni oʻtkazuvchanlik elektronlariga aylantirish uchun yetarli emas. Buning uchun hatto ancha sust bogʻlangan elektronlarga ham tashqaridan biror qoʻshimcha

energiya - **ionlanish energiyasi** berish lozim. Bu energiyani, masalan, yarimo‘tkazgichni qizdirish yoki yoritish yo‘li bilan berish mumkin. Temperatura qancha yuqori bo‘lsa, shuncha ko‘p elektronlar ionlanish energiyasiga teng yoki undan katta issiqlik energiyaga ega bo‘ladilar, binobarin, shuncha ko‘p elektronlar atomlar bilan bog‘lanishdan ozod qilinadi va o‘tkazuvchanlik elektronlari safiga qo‘shiladi.

Yarimo‘tkazgichlar xususiy va aralashmali o‘tkazuvchanlikli yarimo‘tkazgichlarga bo‘linadi.

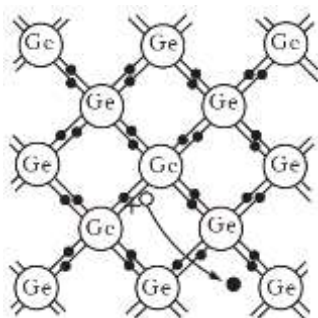
Kristall yarimo‘tkazgichning qo‘shni atomlari o‘zaro valent (tashqi) elektronlar bilan bog‘langan. Ikki elektronli bog‘lanish (bunday bog‘lanishni **kovalent bog‘lanish** deyiladi) eng mustahkam bog‘lanish hisoblanadi. Bunda har ikki atom tashqi elektron qatlamlarida ikkitadan umumiy elektron bo‘ladi. Masalan, yarimo‘tkazgichlar texnikasida katta ahamiyatga ega bo‘lgan Ge germaniyini olaylik. U to‘rt valentli bo‘lib, atomi to‘rtta tashqi elektronga ega. Har bir atom o‘ziga qo‘shni bo‘lgan to‘rtta atom bilan shu valent elektronlar orqali bog‘langan: valent elektronlarning har biri ayni vaqtda to‘rtta qo‘shni atomlardan biriga tegishlidir. 42.5-rasmda germaniy atomlari orasidagi elektron bog‘lanishlarning tekislikdagi sxemasi ko‘rsatilgan. Rasmda nuqtalar bilan valent elektronlar tasvirlangan. Absolut nol temperaturada va hech qanday tashqi ta’sir (isitish, yoritish va hokazo) bo‘lmaganda bunday tuzilishga ega bo‘lgan kristall dielektrik hisoblanadi, chunki unda hech qanday tok tashuvchilar mavjud emas. Lekin tashqi energiya berish orqali valent elektronlarni atomdan uzib, erkin elektronlarga aylantirish mumkin.

Elektr maydon bo‘lmaganda ular metallardagi erkin elektronlar kabi xaotik harakat qiladi. Elektr maydon ta’sirida esa elektronlar maydonga qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlanib, yarimo‘tkazgichda tok hosil bo‘ladi. Erkin elektronlarning harakatidan yuzaga keladigan o‘tkazuvchanlik **elektron o‘tkazuvchanlik** yoki  $n$  - tip o‘tkazuvchanlik deyiladi.

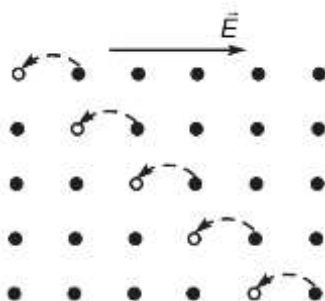
Biroq yarimo‘tkazgichlarda o‘tkazuvchanlik elektronlari yordamida zaryad ko‘chirish jarayonidan tashqari elektr o‘tkazuvchanlikning boshqa mexanizmi ham mavjud. Gap shundaki, uzib olingan elektronning sobiq bog‘lanish sohasidan ketishi shu

sohada elektron zaryadiga kattalik jihatidan teng bo‘lgan musbat zaryad - „teshik“ning paydo bo‘lishiga olib keladi (42.5-rasmga qarang, doiracha bilan „teshik“ tasvirlangan). Shunday qilib, elektron ozod bo‘lishi bilan bir vaqtda teshik hosil bo‘ladi. Uzilgan bog‘lanish qo‘shni bog‘lanishning ixtiyoriy bog‘langan elektroni hisobiga tiklanishi mumkin.

Uzilgan bog‘lanishlar (teshiklar) mavjud bo‘lganda yarimo‘tkazgichda bog‘langan elektronlarning bir qo‘shni bog‘lanishdan ikkinchisiga va, ayni vaqtda, teshiklarning elektronlar harakatiga qarama-qarshi yo‘nalishda o‘tishlari (sakarashlari) boshlanadi. Tashqi elektr maydon bo‘lmaganda bunday o‘tishlar xaotik tarzda ro‘y beradi. Agar yarimo‘tkazgichni elektr maydonga kiritsak, xaotik harakat tartiblashib, bog‘langan elektronlar maydonga qarshi, teshiklar esa maydon bo‘ylab ko‘chadi (42.6-rasm, bu yerda nuqtalar bilan elektronlar, doirachalar bilan bo‘sh o‘rinlar – teshiklar tasvirlangan).



42.5-rasm



42.6-rasm

Teshiklarning tartiblashgan harakati yarimo‘tkazgichda tok hosil qiladi. Teshiklarning ko‘chishi bilan bog‘liq bo‘lgan o‘tkazuvchanlik **teshikli o‘tkazuvchanlik** yoki  $p$  - tip o‘tkazuvchanlik deyiladi. Teshiklar elektronning ozod bo‘lishida hosil bo‘lgani uchun yarimo‘tkazgichdagi teshiklar soni erkin elektronlar soniga teng bo‘ladi. Tajriba va hisoblashlar erkin elektronlar va teshiklarning taxminan bir xil tezlik bilan harakatlanishini ko‘rsatadi. Shuning uchun yarimo‘tkazgichdagi tok ayni vaqtda ham elektron, ham teshikli o‘tkazuvchanlikdan vujudga



keladi. Bunday elektron-teshikli o'tkazuvchanlik **yarimo'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligi** deyiladi. Sof yarimo'tkazgichda xususiy o'tkazuvchanlik bo'ladi. Sof yarimo'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi quyidagiga teng:

$$\gamma = e(n_e b_e + n_p b_p) \quad (42.3)$$

bu yerda:  $n_e, n_p$  – mos ravishda, erkin elektronlar va teshiklar konsentratsiyasi,  $b_e, b_p$  – elektron va teshiklarning harakatchanligi,  $e$  – elektron zaryadi.

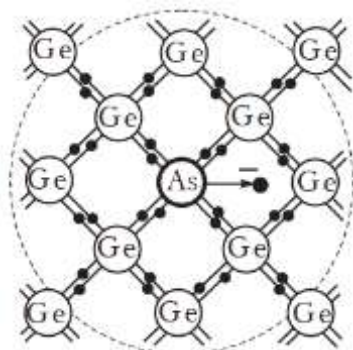
### **Yarimo'tkazgichlarda aralashmali elektr o'tkazuvchanlik.**

Juda sof yarimo'tkazgichlar tabiatda yo'q, ularda hamma vaqt ozmi-ko'pmi aralashmalar mavjud. Holbuki, yarimo'tkazgichda ozgina aralashmaning bo'lishi uning elektr o'tkazuvchanligiga juda katta ta'sir ko'rsatadi. Ba'zi aralashmalar yarimo'tkazgichni erkin elektronlar bilan boyitadi va unda elektron o'tkazuvchanlikni oshiradi. Ba'zi aralashmalar esa yarimo'tkazgichni teshiklar bilan boyitadi va unda teshikli o'tkazuvchanlikni oshiradi.

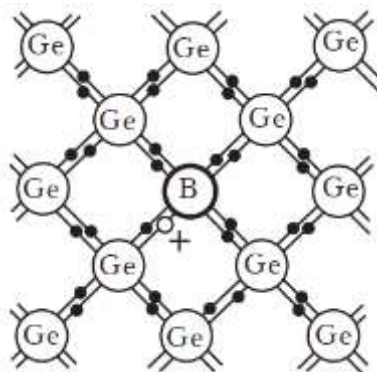
Aralashma yuzaga keltiradigan o'tkazuvchanlikning tabiatini yaxshiroq tushunish uchun tipik yarimo'tkazgich - germaniyaning kristall panjarasida aralashma qanday ta'sir ko'rsatishini mufassalroq ko'rib chiqaylik. Germaniyga juda oz miqdorda margimush (As) kiritaylik. Margimush beshinchi gruppada elementi bo'lib, besh valentlidir.

Margimush atomi kristall panjaradagi germaniy atomlaridan birining o'rnini egallab, o'zining to'rtta elektroni orqali qo'shni to'rtta germaniy atomi bilan bog'lanadi, beshinchi elektron ortiqcha bo'lib, atomlararo bog'lanishda qatnashmaydi va panjaralar orasida erkin elektron bo'lib qoladi (42.7-rasm), natijada germaniy erkin elektronlar bilan boyiydi. Bu holda teshiklar soni o'zgarmaydi, chunki erkin elektronlarning hosil bo'lishi atomlararo bog'lanishni uzmaydi. Bunda zaryad tashuvchi zarralar, asosan, elektronlardan iborat bo'ladi. Shuning uchun aralashmali yarimo'tkazgichlarda elektron o'tkazuvchanlik asosiy o'tkazuvchanlik bo'lib qoladi. Elektronlar konsentratsiyasini orttiruvchi aralashma **donor (beruvchi) aralashma**, bunday aralashmali yarimo'tkazgich esa  $n$  - tip (elektron) yarimo'tkazgich deyiladi. Endi germaniyga bor ( $B$ )dan

juda oz miqdorda kiritaylik. Bor uch valentli element bo'lgani sababli uning biror atomi germaniyning kristall panjara tugunlaridan biriga joylashganda o'zidagi uchta valent elektron orqali qo'shni uchta germaniy atomi bilan bog'lanadi, to'rtinchi qo'shni germaniy atomi bilan bog'lanish mustahkam bo'lmaydi, chunki borda to'rtinchi tashqi electron yo'q. Shuning uchun, borning kiritilgan har bir atomi yarimo'tkazgichda bittadan „teshik“ hosil qiladi (42.8-rasm), germaniy teshiklar bilan boyiydi, lekin erkin elektronlarning soni ortmaydi. Shuning uchun, bunday aralashmali yarimo'tkazgichda teshikli o'tkazuvchanlik asosiy o'tkazuvchanlik bo'ladi.



42.7-rasm

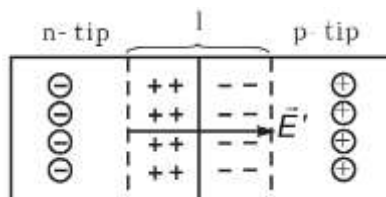


42.8-rasm

Teshiklar sonini orttiruvchi aralashma **aksetrop (qabul qiluvchi) aralashma**, bunday aralashmali yarimo'tkazgich esa *p*-tip (teshikli) yarimo'tkazgich deyiladi. Shunday qilib, yarimo'tkazgichga oz miqdorda tegishli aralashmalarni kiritish yo'li bilan yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligini keng chegaralarda kattaligini, hatto turini ham o'zgartirish mumkin ekan. Yuqorida aytilganlardan ko'rinadiki, yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi xususiy va aralashmali o'tkazuvchanliklar yig'indisidan iborat bo'ladi, ammo yuqori temperaturalarda xususiy o'tkazuvchanlik, past temperaturalarda esa aralashmali o'tkazuvchanlik asosiy rol o'ynaydi.

## 42.5. Yarimoʻtkazgichli diod

Turli tipdagi ikki yarimoʻtkazgichni bir-biriga zich tekizilganda kontakt sohasida muhim hodisa roʻy beradi.  $n$  – tip yarimoʻtkazgichda erkin elektronlar konsentratsiyasi,  $p$  – tip yarimoʻtkazgichda teshiklar konsentratsiyasi yuqori boʻlgani uchun ularning oʻzaro tegishish sirtlari orqali elektronlarning  $n$  – tip yarimoʻtkazgichdan  $p$  – tip yarimoʻtkazgichga diffuziyasi ( $n \rightarrow p$  oʻtish) va teshiklarning qarama-qarshi yoʻnalishda diffuziyalanishi ( $p \rightarrow n$  oʻtish) vujudga keladi. Natijada chegara qatlam  $p$  - tip yarimoʻtkazgich tomonidan manfiy,  $n$  - tip yarimoʻtkazgich tomonidan musbat zaryadlanib qoladi va kontakt zonada „qoʻsh elektr qatlami“ hosil boʻladi (42.9- rasm).



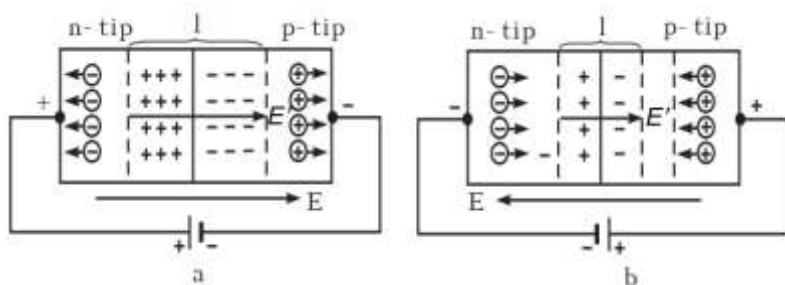
42.9-rasm

Bu qatlamda hosil boʻlgan  $E'$  kuchlanganlikli maydon elektronlarning  $n \rightarrow p$  oʻtish yoʻnalishida boʻlib, teshiklarning  $p \rightarrow n$  oʻtish yoʻnalishidagi endigi oʻtishlariga toʻsquinlik qiladi. Natijada  $E'$  ning maʼlum bir qiymatida muvozanat yuzaga keladi va elektronlar hamda teshiklarning oʻtishi toʻxtaydi.

Qatlamning qalinligi taxminan  $l = 10^{-5}$  sm tartibida boʻlib, 0,1 V ga yaqin potentsiallar ayirmasi hosil boʻladi. Bunday potentsiallar ayirmasini kinetik energiyalari bir necha ming kelvin temperaturaga mos keladigan darajada katta boʻlgan elektronlar va teshiklar yengib oʻta olishlari mumkin. Normal temperaturada  $l$  qatlamda elektronlarning  $n \rightarrow p$  yoʻnalishda, teshiklarning  $p \rightarrow n$  yoʻnalishda oʻtishlariga juda katta qarshilik koʻrsatiladi. Shuning uchun  $l$  qatlam **berkituvchi qatlam** deb ataladi.

Berkituvchi qatlamning qalinligini tashqi elektr maydon taʼsirida oʻzgartirish – kengaytirish yoki toraytirish mumkin.

1.  $n$  - tip yarimoʻtkazgichga tok manbayining musbat qutbini,  $p$  - tip yarimoʻtkazgichga esa uning manfiy qutbini ulaylik (42.10, a-rasm). U holda tashqi  $E$  maydonning yoʻnalishi  $E'$  maydon yoʻnalishi bilan mos tushib, erkin elektronlar va teshiklarni yarimoʻtkazgichlarning kontakt sohaslaridan yanada nariga surib yuboradi, yaʼni berkituvchi qatlam kengayadi, uning qarshiligi ortadi. Kontakt orqali tok oʻtmaydi (faqat xususiy oʻtkazuvchanlikka oid zaif tok oʻtadi, xolos). Amalda tok oʻtkazmaydigan  $n \rightarrow p$  yoʻnalishni **berkituvchi yoʻnalish**,  $n \rightarrow p$  oʻtishni esa **teskari oʻtish** deyiladi.

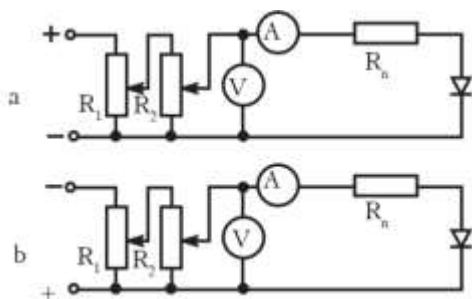


42.10-rasm

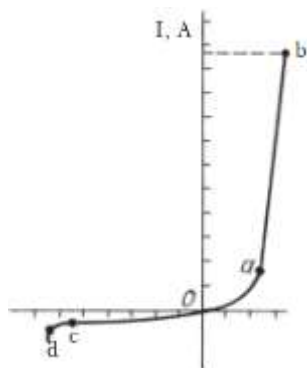
2. Endi tok manbayining musbat qutbini  $p$  - tip yarimoʻtkazgichga, manfiy qutbini esa  $n$  - tip yarimoʻtkazgichga ulaylik (42.10, b-rasm). Bu holda  $E$  maydon kuchlanganligi  $E'$  kuchlanganlikka qarama-qarshi yoʻnalgan boʻlib, erkin elektronlar va teshiklarni bir-biri bilan uchrashuvchi yoʻnalishda koʻchiradi. Berkituvchi qatlam torayib, uning qarshiligi ham kamayadi va  $E$  ning biror aniq qiymatida yarimoʻtkazgichlarning xususiy qarshiligiga teng boʻlib qoladi. Goʻyo berkituvchi qatlam yoʻqoladi, yarimoʻtkazgich orqali kuchli tok oʻta boshlaydi. Shuning uchun  $p \rightarrow n$  yoʻnalish oʻtkazuvchi yoʻnalish,  $p \rightarrow n$  oʻtish esa **toʻgʻri oʻtish** deb ataladi.

Yuqoridagilardan koʻrinadiki, berkituvchi qatlam ventilli (bir tomonlama) oʻtkazuvchanlik xossasiga ega boʻladi. Berkituvchi qatlamning bu xossalardan yarimoʻtkazgichli lampalar – diod va triodlarda foydalaniladi. Yarimoʻtkazgichli diodning volt-amper xarakteristikasini olish uchun diodning 42.11-rasmda koʻrsatilgan

schema bo'yicha elektr zanjiri yig'iladi.  $R_1$  va  $R_2$  reostatlar yordamida diodga beriladigan kuchlanish kattaligini o'zgartira borib,  $V$  voltmetr va  $A$  ampermetr yordamida kuchlanishning va unga mos kelgan tok kuchining qiymatlari aniqlanadi. Yarimo'tkazgichli diod orqali o'tgan tok kuchining kuchlanishga bog'lanishi 42.12-rasmda berilgan. Egri chiziqning  $Oab$  tarmog'i o'tish tokiga (uni zanjirni 42.11, a-rasmdagidek ulash bilan hosil qilinadi).  $Ocd$  tarmoq esa yarimo'tkazgichlarning xususiy o'tkazuvchanligi bilan bog'liq bo'lgan zaif teskari tokka (uni zanjirni 42.11-b, rasmdagidek ulash bilan hosil qilinadi) mos keladi.

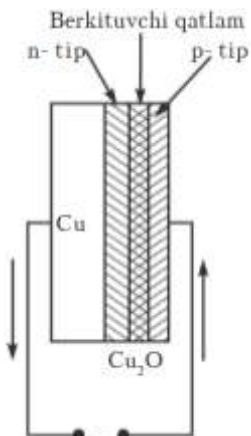


42.11-rasm



42.12-rasm

Shunday qilib, berkituvchi qatlarning ventilli o'tkazuvchanlik xossasi o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun foydalanishga imkon beradi. Elektrotexnika va radiotexnikada mis (II) oksidli, selenli, germaniyli va kremniyli diodlar eng ko'p qo'llaniladi. 42.13-rasmda mis (II) oksidli (kuporosli) to'g'rilagichning prinsipial sxemasi berilgan. Cu mis plastinkaga mis (II) oksidning qatlami surtilgan. Mis (II) oksid qatlamining mis plastinkaga tegib turgan qismi mis aralashmasi bilan boyiydi va  $n$  - tip yarimo'tkazgich bo'lib qoladi. Mis (II) oksidning tashqi qismi yarimo'tkazgichli



42.13-rasm

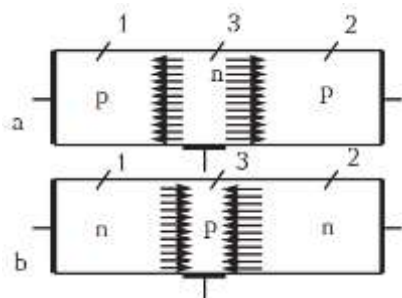
to'g'rilagichni tayyorlash jarayonida kislorod bilan boyitiladi va u  $p$  – tip yarimo'tkazgich bo'lib qoladi. Shuning uchun mis (II) oksidning qatlami qalinligida tokni mis (II) oksiddan mis tomonga yo'nalishda o'tkazuvchi ( $p \rightarrow n$ ) berkituvchi qatlam hosil bo'ladi. Agar shunday tayyorlangan plastinkani tok manbayi zanjiriga ulansa, mis (II) oksiddan mis plastinka tomon kuchli tok o'tadi, teskariyo'nalishda juda zaif tok o'tadi. Boshqa yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlar ham shunday prinsipda ishlaydi.

## 42.6. Yarimo'tkazgichli tranzistor

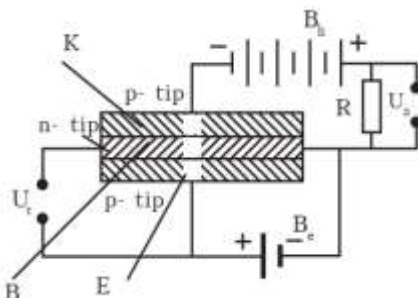
Yarimo'tkazgichlardan triodlar ham tayyorlanadi, ularni **tranzistorlar** deb ataladi.

Tranzistor ikkita  $p$  - tip va bitta  $n$  - tip yoki ikkita  $n$  – tip va bitta  $p$  - tip yarimo'tkazgich plastinkalardan iborat bo'lib (42.14-rasm), ular bir-biri bilan kontaktga keltiriladi. Bunda ikkita berkituvchi qatlam (o'zaro qarama-qarshi yo'nalishlarda) hosil bo'ladi. Chekkadagi, mos ravishda, **emitter** va **kollektor** deb ataladigan 1- va 2- plastinkalar teshikli (yoki elektronli) o'tkazuvchanlikka, o'rtadagi **baza** (asos) deb ataladigan 3- plastinka elektronli (yoki teshikli) o'tkazuvchanlikka ega. Bazaning tuzilishiga qarab tranzistorlar  $p - n - p$  yoki  $n - p - n$  tipda bo'lishi mumkin, ammo ishlash prinsipi bir xil.  $p - n - p$  tip tranzistorning ishlash prinsipi bilan tanishib chiqaylik. Bunday tranzistorni tayyorlash uchun elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan germaniydan ishlangan plastinka olinadi va uning har ikki tomoniga indiy eritib quyiladi. 42.15-rasmda zaif kuchlanish tebranishlarni kuchaytiruvchi tranzistorli kuchaytirgichning eng soddaxemas berilgan. Bunda  $B_k$  batareya  $B$  baza va  $K$  kollektor orasida berkituvchi yo'nalishda ( $p$  – tip yarimo'tkazgich batareyaning manfiy qutbiga) ulangan, shuning uchun kollektor tok hosil qilmaydi.  $B_e$  batareya  $E$  emitter va  $B$  baza orasida o'tkazuvchi yo'nalishda ( $p$  - tip yarimo'tkazgich batareyaning musbat qutbiga) ulangan, uning ta'sirida teshiklar emitterdan baza tomon siljiydi. So'ngra bu teshiklar baza va kollektor orasidagi berkituvchi qatlamdan oson o'tib (chunki  $n$  - tip yarimo'tkazgichdagi teshiklar uchun  $n \rightarrow p$  o'tish o'tkazuvchan yo'nalish bo'ladi), kollektor

zanjirida tok hosil qiladi. Shuni qayd etish kerakki, tranzistorning bazasi juda yupqa (taxminan  $10^{-3}$  sm tartibida) bo‘ladi.



42.14-rasm



42.15-rasm

Bu esa deyarli barcha teshiklarning bazadagi elektronlar bilan rekombinatsiyalanishga ulgurmasdan kollektorga yetib borishini ta'minlaydi.

Shunday qilib, emitter bazaga teshiklarni injeksiyalaydi (purkaydi) (xuddi elektron lampaning katodi elektronlarni katod bilan anod orasidagi fazoga emissiyalagandek), kollektor esa bu teshiklarni bazadan so‘rib oladi (xuddi elektron lampaning anodi elektronlarni so‘rib olgani kabi). Emitter bilan bazaga berilgan  $U_t$  kuchlanish elektron lampadagi to‘r kuchlanishi rolini o‘ynaydi. Bu kuchlanish emitterdan bazaga teshiklar oqimini kuchaytirishi yoki kamaytirishi mumkin.  $B_e$  batareyaning kuchlanishi hamma vaqt  $U_t$  kuchlanishdan katta bo‘ladi, shunda tranzistor zanjirida teshik toki hech uzilmaydi. Shuning uchun  $U_t$  kuchlanish tebranuvchan bo‘lgan holda uning har qanday  $\Delta U_t$  o‘zgarishi kollektorga o‘tib boruvchi teshiklar miqdorining o‘zgarishiga olib keladi. Bu esa, o‘z navbatida, kollektor zanjirida tokning mos o‘zgarishiga va  $R$  qarshilikda  $U_a$  kuchlanishning  $\Delta U_a$  o‘zgarishiga sabab bo‘ladi.  $U_a \gg U_t$  bo‘lgani uchun (chunki  $R$  qarshilik juda katta qilib olinadi)  $\Delta U_a \gg \Delta U_t$  bo‘ladi. Shunday qilib, emitter zanjirida kuchlanishning zaif tebranishlari kollektor zanjirining chiqish qarshiligida kuchlanishning tebranishlarini kuchaytiradi.

Yarimo‘tkazgichli diodlar bilan triodlarning lampali diod va triodlarga qaraganda qator afzallik tomonlari bor. Ular mexanik

jihatdan mustahkam, o'lchamlari juda kichik (bir sm va undan kichik), ularni qizitish (cho'g'lantirish) zarur emas, tuzilishi sodda, ishlash muddati ko'proq, to'g'rilash koeffitsiyenti katta va hokazo.

## 43–MAVZU: KVANT ELEKTRONIKASI ELEMENTLARI

### 43.1. Majburiy va spontan nurlanishlar. Lazerlar va ularning ishlash prinsipi.

Yorug'lik atomlar, molekular va ionlar tomonidan nurlanadi. Atom (molekula, ion) asosiy holatda bo'lganda, u nur sochmaydi va bu holatda u cheksiz uzoq vaqt bo'lishi mumkin. Ammo atom unga tashqi elektromagnit maydon yoki zarralar (masalan, boshqa atomlar yoki elektronlar) ta'sir etishi natijasida uyg'ongan holatga o'tishi mumkin. Atomning uyg'ongan holatda bo'lish vaqti juda kichik.

Atom uyg'ongan holatdan asosiy holatga o'tganda o'zidan foton chiqaradi. Atomning nur sochish vaqti  $10^{-8}$  s tartibidadir. Atomlarning uyg'ongan holatdan uyg'onmagan holatga o'tishi o'z-o'zidan yuz berganligi uchun, nurlar har xil qutblanish tekisligiga ega bo'lgan va har xil fazali fotonlardan iborat bo'ladi. Har xil atomlar nurlanishining fazalari va qutblanishi orasida hech qanday moslik yo'q. Har xil atomlar nurlanishining chastotalari ham har xil. Bunday nurlanish kogerent bo'lmasdan, uning to'lqinlari fazoda interferensiyalar hosil qilmaydi.

Atomlarning o'z-o'zidan yuqori energetik holatlardan pastki energetik holatlarga o'tishi natijasida hosil bo'lgan nurlanish **spontan nurlanish** deyiladi. A. Eynshteyn 1918-yili nazariy tekshirishlar asosida atomlarning uyg'ongan (yuqori energetik) holatdan uyg'onmagan (pastki energetik) holatga o'tishi nafaqat o'z-o'zidan, balki **majburiy (induksiyalangan)** bo'lishi ham mumkin, degan xulosaga keldi. Bunday o'tish uyg'ongan atom yonidan o'tuvchi boshqa foton ta'sirida sodir bo'lishi mumkin. Bunda uyg'ongan atom (molekula, ion) o'zini uyg'ongan holatdan uyg'onmagan holatga o'tishini yuzaga keltirgan fotondan mutlaqo farqlanmaydigan foton chiqaradi. Bunda induksiyalangan nurlanishni yuzaga keltiruvchi foton ham o'zgarmaydi (43.1-rasm).



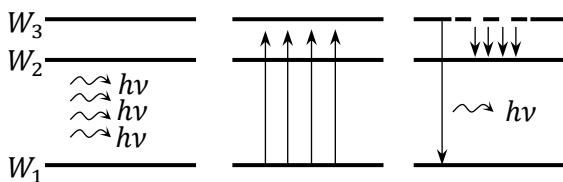
Foton o'z yo'lida uyg'ongan atomga to'qnashib, undan foton urib chiqargandek bo'ladi. Har ikkala fotonlar bir xil chastota, harakat yo'nalishi, faza va qutblanish tekisligiga ega bo'ladi.

1939-yili mashhur fizik V.A. Fabrikant yorug'likni kuchaytirishning majburiy nurlanish hodisasidan foydalanishga asoslangan usulini taklif etdi. Bu usulning mohiyati quyidagicha. Ayrim moddalarning atomlarida shunday uyg'ongan holatlar borki, atomlar bu holatlarda uzoq vaqt davomida (bir sekund) bo'la oladi. Bunday holatlar **metastabil holatlar** deyiladi. Atomlarida metastabil holatlari bo'lgan moddalarga rubinyuminiy oksidi  $Al_2O_3$  misol bo'la oladi, ularda aluminiy atomlarining bir qismi o'rni metastabil holatlari bo'lgan xrom ionlari egallagan.



43.1-rasm

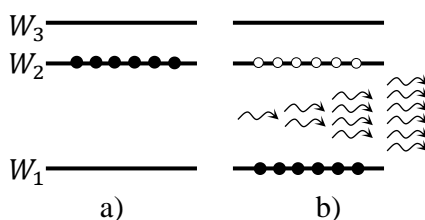
Rubin (yoqut) yorug'lik bilan yoritilganda xrom ionlari uyg'onadi va  $W_3$  energetik sathga mos keluvchi holatga o'tadi (43.2-rasm). Juda qisqa vaqt oralig'i ( $10^{-8}$  s) o'tgandan so'ng uyg'ongan xrom atomlarining ko'pchiligi  $W_2$  metastabil holatga o'tadi.



43.2-rasm

$W_3$  sathdan  $W_2$  ga o'tishda nurlanish bo'lmaydi; bu o'tishda ajralgan energiya kristall panjaraga beriladi, natijada kristallning harorati ko'tariladi. Agar rubin kristali uzoq vaqt davomida yoritilsa, xrom ionlarining  $W_2$  metastabil sathiga elektronlarning juda zich „joylashuvi“ yuz beradi (43.3, a-rasm).

Agar rubin sterjenga uning uchlaridan biri orqali sterjen o‘qi yo‘nalishida kuchsiz yorug‘lik dastasi tushsa,  $W = h\nu$  energiyasi xrom ionining metastabil va asosiy holatlari energiyalari ayirmasi  $W_2 - W_1$  ga teng bo‘lgan fotonlar bu ionlarning  $W_2$  holatidan  $W_1$  ga o‘tishlarini va ana shunday  $h\nu = W_2 - W_1$  energiyali fotonlarning nurlanishini yuzaga keltiradi. Fotonlar soni ikki marta ortadi. Majburiy tebranishlarning fotonlari xrom ionlarining yuzaga keltiruvchi fotonlaridan faqat energiya va chastotalari bo‘yicha emas, balki fazalari, tarqalish yo‘nalishlari va qutblanishi bo‘yicha ham farq qilmaydi.



43.3-rasm

Soni ikki marta ortgan bir xildagi fotonlar rubin sterjen ichida harakatlanib, xromning yangi ionlari nurlanishini yuzaga keltiradi. Bunda fotonlar soni kuchaytiriluvchi yorug‘lik dastasidagi boshlang‘ich sonidan 4 marta ortadi. Rubin sterjenda metastabil holatdagi xrom ionlari yetarli miqdorda bo‘lar ekan, bu jarayon davom etadi va sterjenning ikkinchi uchiga tomon harakatlanuvchi fotonlar soni shiddat bilan ko‘chkisimon ortadi (43.3, b-rasm). Buning natijasida rubin sterjendan unga kirgan yorug‘likka kogerent bo‘lgan yorug‘lik dastasi chiqadi, ya’ni yorug‘lik dastasining kuchayishi yuz beradi.

Ammo faqat yorug‘lik dastasi energiyasining ortishigina muhim emas. Undan ham muhimi, shunday yo‘l bilan chastotasi, fazasi va harakat yo‘nalishi bir xil bo‘lgan fotonlar oqimidan iborat kogerent to‘lqinlar (nurlanish) dastasining olinishidir. Bu prinsipdan foydalangan holda 1953-yilda N.G. Basov va A.M. Proxorov va ulardan bexabar holda amerikalik fiziklar Ch. Tauns va Sh. Veber birinchi kogerent nurlanish generatori haqidagi g‘oyani ilgari surdilar.

Santimetr to‘lqinlar diapazonida ishlovchi bu kvant generatori **mazer** deb ataladi („Mazer“ inglizcha „Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ degan so‘zlardan olingan bo‘lib, u majburiy nurlanish yordamida mikroto‘lqinlarni kuchaytirish, degan ma‘noni anglatadi). Majburiy kogerent nurlanish manbalari esa **lazerlar** deb yuritiladi. („Lazer“ so‘zi inglizcha quyidagi so‘zlarning birinchi harflaridan tuzilgan. „Light amplification by stimulated emission of radiation“ - tarjimai „Yorug‘likni majburiy nurlanish bilan kuchaytirish“). Optik diapazonda ishlovchi birinchi lazer 1960-yilda amerikalik fizik T.Meymon tomonidan yaratilgan.

Lazerlar yorug‘likning boshqa manbalariga qaraganda qator afzalliklarga ega:

1. Lazerlar tarqalish burchagi juda kichik ( $10^{-5}$  rad atrofida) yorug‘lik dastasi hosil qila oladi. Yerdan yuborilgan bunday dasta Oyda diametri 3 km bo‘lgan dog‘ hosil qilishi mumkin.

2. Lazer yorug‘ligi nihoyatda monoxromatikdir. Atomlari bir-biridan mustaqil holda yorug‘lik chiqaruvchi oddiy manbalardan farqli o‘laroq, lazerlarda atomlar bir-biriga muvofiq holda yorug‘lik chiqaradi. Shuning uchun to‘lqinning fazasi noregulyar o‘zgarishlarga duch kelmaydi.

3. Lazerlar eng kuchli yorug‘lik manbalaridir. Spekrtning tor intervalida lazerlarning ba‘zi turlari qisqa muddat ichida (taxminan  $10^{-11}$  s davomida)  $10^{14}$  W/sm<sup>2</sup> nurlanish quvvatiga ega bo‘ladi, vaholanki, quyoshning nurlanish quvvati butun spektr bo‘yicha jami faqat  $7 \cdot 10^3$  W/sm<sup>2</sup> ga tengdir.  $\Delta\lambda = 10^{-6}$  sm tor intervalga (lazer spektral chizig‘ining kengligiga) esa quyosh nurlanishidan atigi 0,2 W/sm<sup>2</sup> quvvat to‘g‘ri keladi. Lazer nurlanib chiqaradigan elektromagnit to‘lqindagi elektr maydonning kuchlanganligi atom ichidagi maydon kuchlanganligidan kattadir.

Lazerlar zamonaviy texnikada keng qo‘llaniladi. Lazerlarning amaliy qo‘llanilishidagi yo‘nalishlardan biri lazer nuri dastasida juda katta quvvat (o‘nlab megavatt) to‘planishi bilan bog‘liq. Lazerlar qiyin eriydigan materiallarni payvandlash va kesish uchun, teshiklar teshish (masalan, olmoslarda) uchun, tibbiyotda nozik va murakkab operatsiyalar (masalan, ko‘zning oq tushgan to‘r pardasini eritib yopishtirish) o‘tkazish uchun ishlatiladi. Yarimo‘tkazgich asboblari

ishlab chiqarishda lazerlar yordamida nuqtaviy payvand amalga oshiriladi.

Lazerlarning qo'llanilishidagi boshqa yo'nalish lazerlardan chiqarilgan yorug'likning tarqalishda deyarli sochilmasligi bilan bog'liq. Lazer nurining bu xususiyatidan, masalan, metropoliten liniyalarini qurishda, geodeziyada, masofa va burchaklarni o'lchashda, kema, samolyot va raketalarning tezligi va harakat yo'nalishini aniqlashda, sayyoralarni lokatsiyalashda foydalaniladi.

Lazerlardan foydalanishdagi uchinchi yo'nalish lazerlardan nurlanuvchi yorug'likning kogerentligi bilan bog'liq: lazer nuri nihoyatda ingichka spektrga ega, uni modulatsiyalash va uning yordamida turli ma'lumotlarni uzoq masofalarga uzatish mumkin.

Hozirgi kunda lazer aloqa liniyalari ishga tushirilgan. Lazerlardan tovush va televizion tasvirlarni yozib olish va qayta ko'rsatishda va zamonaviy texnikaning boshqa sohalarida foydalaniladi.

Lazer nuri ta'sirida atom va molekullarni uyg'otib, ular orasida o'zaro odatdagi sharoitlarda amalga oshmaydigan kimyoviy reaksiyalarni yuzaga keltirish mumkin. Lazer nurlaridan boshqariladigan termoyadro reaksiyalarni amalga oshirishda foydalanish mumkin.

### **43.2. Metallarda elektr o'tkazuvchanlikning kvant nazariyasi. Jozefson effekti**

Moddalarning o'zidan elektr tokini o'tkaza olish qobiliyatini baholash uchun solishtirma elektr o'tkazuvchanlik degan kattalik kiritiladi. Metallarda elektr tokini o'tkazishda faqatgina, erkin elektronlar ishtirok etadi. Erkin elektronlar o'tkazgich zonasidagi elektronlardir. Erkin elektronlar tashqi maydon ta'sirida tartibli harakat qilish imkoniga ega. Elektronlarning tartibli harakatiga tugunlarning tebranma harakati va har xil nuqsonlar xalaqit beradi. Shuning uchun, ham solishtirma o'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan solishtirma qarshilik degan tushuncha kiritiladi. Klassik nazariyada elektron zarra deb qaraladi va uning harakatiga har bitta tugun xalaqit beradi, deb hisoblanadi. Kvant nazariyada esa, harakatdagi elektron to'lqin deb qaraladi. Uning harakatiga tugunlar

yig'indisining hosil qilgan to'liqlari halaqit beradi, deyiladi. Metallning harorati kamaytirilganda tugunlar tebranma harakatining amplitudasi kamayadi va natijada qarshilik kamayadi. Ayrim metallarda harorat kamaytirilib 0 ga yaqinlashganda qarshilikning birdaniga 0 ga tushishi kuzatilgan. Bu hodisa **o'ta o'tkazuvchanlik** deyiladi.

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi birinchi marta simob uchun aniqlangan. Uning harorati 4,2 Kelvinga tushirilganda, uning solishtirma qarshiligi 0 ga aylangan. O'ta o'tkazuvchanlik hodisasini tushuntirish uchun juda ko'p nazariyalar ishlab chiqilgan. Shulardan eng asosiysi Kuperning nazariyasidir. Bu nazariyaga asosan elektron juftliklari vujudga keladi. Ularning umumiy spini 0 ga teng bo'ladi. Ma'lum bir past haroratda bu juft elektronlar hech qanday qarshilikka uchramasdan harakat qiladi.

**Jozefson effekti.** Nihoyatda yupqa ( $\sim 10^{-9}$ ) dielektrik qatlam birdan bir birdan ajratilgan ikki o'ta o'tkazgich **tunnel kontakti** deb ataladi. Bunday qurilmadagi bitta o'ta o'tkazgichdan ikkinchisiga elektron o'ta oladimi? Avval metall plastinkalar  $T > T_K$  haroratda, ya'ni o'ta o'tkazuvchan emas, balki normal holatda bo'lsin. Ikki metall orasidagi dielektrik qatlam elektronlar uchun potensial to'siq vazifasini bajaradi. Lekin elektron to'liqin xususiyatiga ega bo'lganligi uchun tunnel effekt tufayli elektronlarning dielektrik qatlamdan o'tish ehtimolligi noldan farqli bo'ladi. Lekin, umumiy tok nolga teng, chunki dielektrik orqali chapdan o'ngga o'tgan elektronlarning o'rtacha soni o'ngdan chapga o'tgan elektronlarning o'rtacha soniga teng.

Agar tunnel kontakda metallar haroratini  $T < T_K$  gacha sovitdik, (bu hol tunnel kontakt Jozefson elementi deb ataladi), metallar o'ta o'tkazuvchan holatda bo'ladi. Bu holatda o'ta o'tkazgichlarda mavjud bo'ladigan juft elektronlar ham dielektrik qatlam orqali tunnel effekt tufayli chapdan o'ngga va o'ngdan chapga o'tadi. Har bir o'ta o'tkazgichdagi juft elektronlar birday fazaga ega. Dielektrik qatlamda ikkala o'ta o'tkazgichdan chiqarilayotgan juft elektronlarning kogerent to'liqlari o'zaro interferensiyalashadi. Natijada umumiy tok qiymati:

$$I = I_0 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Bunda  $\varphi_2$  va  $\varphi_1$  – mos ravishda birinchi va ikkinchi o‘ta o‘tkazgichlar chiqarayotgan kogerent juft elektronlar to‘lqin funksiyalarining fazalari,  $I_0$  esa tunnel kontak orqali o‘tadigan tokning maksimal qiymati.

Yuqorida bayon qilingan hodisa, bir biridan yupka dielektrik qatlam bilan ajratilgan ikki o‘ta o‘tkazuvchan holatdagi metallardan iborat tunnel orqali elektr toki oqishi Jozefsonning **statsionar effekti** deb nom oladi. Shuni alohida qayd qilish kerakki, tunnel kontakga kuchlanish beraganda ham o‘tkazuvchanlik toki okadai. Metall plastinkalari o‘ta o‘tkazuvchan holatda bo‘lgan tunnel kontaktni Jozefson elementi deb atalishining boisi ham hunda.

Endi, tunnel kontakni tashqi tok manbaiga ulab dielektrik maydon vujudga keltiraylik, metall plastinkalar normal holatda bo‘lsa, tunnel kontakt orqali normal tunnel tok oqadi, uning qiymati qo‘yilgan kuchlanishga proporsional bo‘ladi.

Metall plastinkalar o‘ta o‘tkazuvchan holatda bo‘lsa tunnel kontakt orqali o‘zgaruvchan o‘ta o‘tkazgichlik tok o‘tadi. Xuddi tebranish konturidagi tok kabi tunnel kontakdan o‘tayotgan o‘zgaruvchan tok elektromagnit to‘lqinlar nurlantiradi. Jozefson nostatsionar effekti deb nom olgan mazkur hodisani quyidagicha tavsif etiladi. O‘ta o‘tkazgichda  $T < T_k$  haroratlarda vujudga kelgan juft elektronlar dielektrik qatlamdan o‘tganda  $2 eU$  energiyaga ega bo‘ladi. Ikkinchi plastinkaga o‘tgach, juft elektronlar o‘z energiyalarini kamaytirib muvozanat holatga o‘tishi kerak. Metall plastinka normal holatda bo‘lganda kristal panjara bilan bir necha to‘qnashuvda ortiqcha energiya issiqlikga aylangan bo‘lardi. Lekin, metal plastinka o‘ta o‘tkazuvchan holatda bo‘lgani uchun elektr qarshiligi nolga teng. Binobaran, kristal panjara bilan to‘qnashuvlar ham bo‘lmaydi. Juft elektronlarning dielektrik qatlamdan o‘tish chog‘ida erishgan  $2 eU$  miqdordagi energiya ulushi esa elektromagnit to‘lqini kvanti tarzida nurlantiradi.

Tajribalarda

$$\omega = \frac{2eU}{\hbar}$$

chastotali nurlanish xarkovlik olimlar I.K. Yason, V.M. Dmitriyenko tomonidan 1965-yilda kuzatildi.

Jozefson effekti o'ta yuqori chastotali qurilmalarda, kvant interferometrlarida, kriogen elektron hisoblash mashinalarining elementlarida keng qo'llaniladi.

## 44–MAVZU: ATOM YADROSINING TUZILISHI VA XOSSALARI. RADIOAKTIVLIK

### 44.1. 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 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:

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

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  ${}^A_ZX$  simvol bilan belgilash qabul qilingan, bunda:  $X$  – elementning kimyoviy simvoli,  $A$  – massa soni;  $Z$  – atomning tartib nomeri. Masalan,  ${}^4_2\text{He}$  – geliy atomi yadrosini,  ${}^{16}_8\text{O}$  – 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. Izotoplarining Mendeleyev 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.

#### 44.1.1. 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

$\Delta N/N$  nisbiy sonini ifodalovchi Rezerford formulasi quyidagicha edi:

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

Agar bu formulada  $\alpha$  – zarraning tezligi  $v = \text{const}$  va sochilish burchagi  $\theta = \text{const}$  bo'lsa, u holda  $\Delta N/N$  nisbat yadroning Ze zaryadi funksiyasi bo'lib qoladi. Demak, tajriba yo'li bilan  $\Delta N/N$  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  $\Delta N/N$  nisbiy sonini eksperimental aniqladi va Ze zaryadni hisobladi. Tajriba natijalari aniqlangan yadroning zaryad soni Z tajriba xatoliklari chegarasida elementning Mendelejev 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'liq 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

$$R = R_0 \sqrt[3]{A} \quad (44.1)$$

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

(44.1) 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

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_0^2 \cdot A$$

munosabat hosil bo'ladi. Ko'rinib turibdiki, bu munosabatdan (44.1) formula bevosita kelib chiqadi. Eng og'ir yadro, masalan uran yadrosining radiusi  $10^{-14}$  m tartibida ekan.

(44.1) 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:

$$\rho = \frac{m_n \cdot A}{\frac{4}{3}\pi (R_0 \sqrt[3]{A})^3} \approx 1,3 \cdot 10^{17} \frac{kg}{m^3}$$

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.

## 44.2. Yadro massasining bog'lanish energiyasi.

### Massa defekti. Yadroviy kuchlar

Yadro massasi proton va neytronlar massasidan iborat bo'lar ekan. Lekin juda aniq o'lchamlar ko'rsatadiki, yadroning haqiqiy massasi proton va neytronlar massasi yig'indisidan kichik ekanligi aniqlandi. Bu hodisa **massa defekti** deyiladi.

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

$\Delta m$  – massa defekti

Bunday farq bo‘lishining sababi quyidagicha tushuntiriladi. Nuklonlar yig‘ilib yadroni hosil qilishida juda katta energiya ajralib chiqadi Energiyaning ajralib chiqishi massa yo‘qolishiga teng bo‘ladi. Demak, yadro hosil bo‘lishida qancha energiya ajralib chiqsa, yadroni parchalash uchun shuncha energiya sarf bo‘ladi. Yadroni parchalash uchun kerak bo‘ladigan energiya **yadroning bog‘lanish energiyasi** deyiladi.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Bog‘lanish energiyasini xarakterlash uchun atom energiya birligi (a.e.b) degan kattalik kiritilgan.

$$1 \text{ a. e. b} = 1 \text{ a. m. b} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 931,5 \text{ MeV}$$

Hisoblar ko‘rsatadiki, atomning tartib nomeri  $Z > 30$  bo‘lsa, yadroning bog‘lanish energiyasi (7-9) MeV bo‘lar ekan.

Hozirgi paytda deyarli barcha elementlarning atomlarining bog‘lanish energiyalari tajriba yo‘li bilan aniqlangan. Keyingi paytda atomlarning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda har xil nanoo‘lchamlarning xususiyatlari o‘rganilmoqda.

Bitta nuklonga to‘g‘ri keluvchi yadroning bog‘lanish energiyasiga **yadroning solishtirma bog‘lanish energiyasi** deyiladi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A} = \frac{(Z \cdot m_p + (A - Z)m_n)c^2}{A}$$

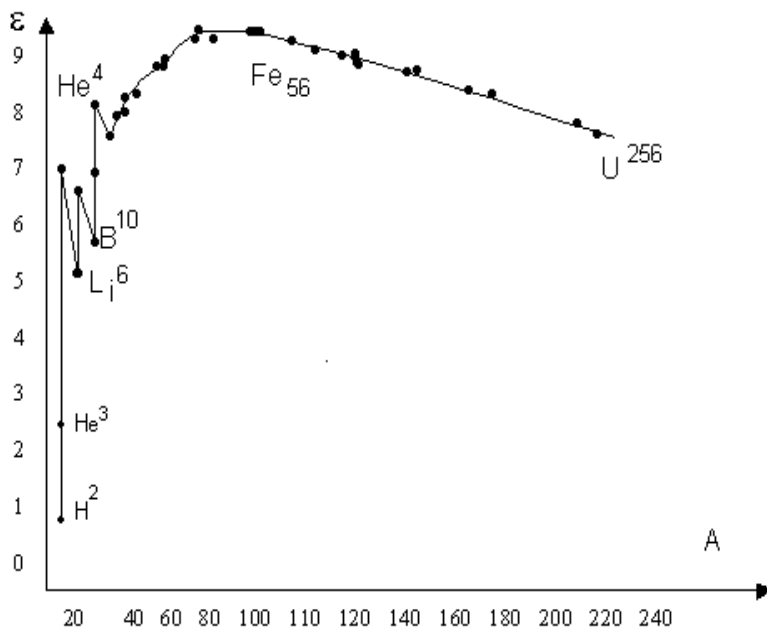
44.1-rasmda solishtirma bog‘lanish energiyasining massa soniga bog‘liqlik grafigi keltirilgan. Uni tahlil qilib quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1) solishtirma bog‘lanish energiyasi har xil elementlarning yadrolari uchun har xil bo‘ladi;

2) eng katta solishtirma bogʻlanish energiyasi massa sonlari 28 dan 138 gacha boʻlgan yadrolarga toʻgʻri keladi, ularda solishtirma bogʻlanish energiyasi taxminan 8,7 MeV gacha boradi.

3) yengil yadrolarda solishtirma bogʻlanish energiyasi yadrodagi nuklonlar sonining kamayishi bilan kamayadi, ogʻir yadrolarda esa u yadroning massasi soni ortishi bilan kamayadi;

4) massa soni uncha katta boʻlmagan yadrolarda xarakterli maksimum va minimumlar kuzatiladi, maksimumlar asosan proton va neytronlar soni juft son boʻlgan  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$  yadrolarida kuzatilsa, minimumlar esa proton va neytronlar soni toq boʻlgan  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^6_3\text{Li}$ ,  ${}^{10}_5\text{B}$  yadrolarida kuzatiladi.



44.1-rasm. Solishtirma bogʻlanish energiyasining massa soniga bogʻliqlik grafigi

Nuklonlar oʻrtasida taʼsir etuvchi va yadroning turgʻunligini taʼminlovchi kuchlarga **yadro kuchlari** deyiladi. Yadro kuchlari gravitatsion va elektromagnit taʼsirlashuv kuchlaridan farqli oʻlaroq,

o'ziga xos kuchlar bo'lib hisoblanadi. Ilmiy tekshirishlardan ma'lum bo'lishicha, yadro kuchlari quyidagi xossalarga ega ekan:

a) yadro kuchlari qisqa masofada ta'sir etuvchi kuchlardir.

Ular nuklonlarning chiziqli o'lchamlari bilan taqqoslanishi mumkin bo'lgan nuklonlar o'rtasidagi eng qisqa masofalarda namoyon bo'ladi. Yadro kuchlari ta'sir etadigan  $r$  masofaga yadro kuchlarining ta'sir radiusi ( $r \approx \cdot 2 \cdot 10^{-15}$  m) deyiladi;

b) yadro kuchlari nuklonlarning zaryadiga bog'liq bo'lmagan kuchlardir, ya'ni ular proton – proton, proton – neytron, neytron – neytronlar o'rtasida bir xilda ta'sir etadi. Bundan yadro kuchlarining elektromagnit tabiatga ega emasligi kelib chiqadi;

d) yadro kuchlari to'yinish xarakteriga ega, ya'ni har bir nuklon yadroning barcha nuklonlari bilan emas, balki o'ziga yaqin turgan chegaralangan sondagi nuklonlar bilan ta'sirlashadi. Bu esa yadro bog'lanish energiyasining massa soniga chiziqli bog'lanishdan kelib chiqadi. Agar har bir  $A$  nuklon qolgan barcha  $(A - 1)$  nuklonlar bilan o'zaro ta'sirlashganda edi, yadroning bog'lanish energiyasi nuklonlar juftliklari soniga  $A(A - 1)/2$  proporsional bo'lardi. U holda  $\Delta E$  energiya  $A$  ga chiziqli bog'langan emas, balki kvadratik bog'langan bo'lar edi. Lekin amalda unday emas;

e) yadro kuchlari markaziy bo'lmagan kuchlardir, ular gravitatsion va kulon kuchlaridan farqli o'laroq, nuklonlar orasidagi masofasga bog'liq bo'lmaydi. Bu xossa ularning nuklonlar spinlar yo'nalishiga bog'liqligida, ya'ni parallel yoki antiparallel ekanligida namoyon bo'ladi. Neytronlar oqimining paravodorod (ikkala protonlarining spinlari antiparallel bo'lgan vodorod molekulasini) va ortovodorod (ikkala protonlarining spinlari parallel bo'lgan vodorod molekulasini)da turlicha sochilishlari tajriba yo'li bilan isbotlangan. Agar nuklonlarning spinlari yo'nalishiga yadro kuchlari bog'liq bo'lmaganda edi, bu ikkala molekulada neytronlar oqimi bir xilda sochilgan bo'lardi;

f) yadro kuchlari almashinish xarakteriga ega. Bu xossa nuklonlar yoki yadroviy zarralar orasidagi yadro kuchlarida, ularning bir-birlari bilan qandaydir oraliq zarralar bilan almashuvlari natijalarida namoyon bo'ladi.

Yadro kuchlarining shu vaqtgacha tugallangan nazariyasi mavjud emasligi va ko'p zarrali sistemaning kvant holati haddan

tashqari murakkabligi tufayli atom yadrosining turli xossalari yadro modellari yordamida o'rganiladi. Bu modellarning hech qaysi biri yadroning barcha xossalarini to'la yoritib bera olmaydi. Shuning uchun bir necha yadro modellaridan foydalaniladi. Bu modellarning har biri yadroning ba'zi bir xossalarinigina tushuntirib beradi va boshqa xossalarni esa tushuntira olmaydi. Har bir modelda ixtiyoriy kattaliklar mavjud bo'lib, ularning son qiymatini tajriba natijalari bilan taqqoslash asosidagina tanlanadi

Barcha mavjud bo'lgan yadro modellari bilan tanishish qiyin, shu tufayli biz faqatgina yadroning suyuqlik tomchi va qobiq modellari bilangina qisqacha tanishib o'tamiz.

Yadroning suyuqlik tomchi modeli 1939-yilda Ya.I. Frenkel tomonidan taklif qilingan bo'lib, uning fikrini N. Bor va boshqa olimlar rivojlantirgan. Bu modelda musbat zaryadlangan suyuqlik tomchisining yadroning quyidagi oltita xossalariga o'xshashligi asos qilib olingan:

1) suyuqlik tomchisidagi molekulyar kuchlarning ta'siri kabi yadro kuchlari ta'sir radiusining kichikligi;

2) suyuqlik molekularining o'zaro ta'sir kuchlari kabi yadro kuchlarining to'yinish xarakteriga ega ekanligi;

3) suyuqlik tomchisi tarkibidagi modda zichligi va yadroning o'rtacha zichligining doimiyliigi, uning suyuqlik tomchisidagi zarralar soni kabi yadrodagi nuklonlar soniga bog'liq emasligi;

4) suyuqlik tomchisi va yadrodagi zarralarning ma'lum bir harakatchanlikka egaligi;

5) yadrodagi nuklonlar orasidagi tortishish energiyasi bilan suyuqlik molekulari orasidagi tortishish energiyasining o'zaro mosligi, yadrodagi protonlarning kulon kuchi hisobiga bir-biridan itarilishlari tufayli yadroning bog'lanish energiyasi kamayadi, prtonlarning soni ortib borishi bilan bu effekt kuchayadi. Suyuqlik tomchisi esa bu effektga tomchi molekularlarining soni ortishi bilan uning turg'unligining susayish effekti mos keladi;

6) suyuqlik sirtidagi molekularlar sirt taranglik hodisasi hisobiga suyuqlik ichiga tomon tortiladilar. „Yadro sirtida turgan nuklonlar“ esa yadro kuchlari tufayli yadroning ichiga tomon tortiladilar. Suyuqlik molekulasining suyuqlik ichiga tortilishini uning sirt tarangligi xarakterlasa, nuklonlarning tortilishini esa yadro

tomchining qandaydir sirt taranglik koeffitsiyenti xarakterlaydi. Yadro suyuqlik erkin sirti energiyasiga o'xshash sirt energiyasi bilan ham xarakterlanishi mumkin.

Bu model asosida yadrodagi nuklonlarning bog'lanish energiyasi uchun yarim empirik formulani olish mumkin. Og'ir yadrolarning bo'linish jarayoni nazariyasini shu model asosida tuzish mumkin. Undan shuningdek,  $\beta$ -yemirilish energiyasini hisoblashda ham foydalanish mumkin. Turg'un yadrodagi protonlar soni bilan massa soni orasidagi bog'lanish ham shu model yordamida olingan va u quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$$Z = \frac{A}{1.98 + 0.015 \cdot A^{\frac{2}{3}}}$$

Bu modelning kamchiligi, u yadroning uyg'ongan holatlari va ularni xarakterlovchi kattaliklarni to'g'ri talqin etib, tushuntirib bera olmaydi.

Yadroning qobiq modeli Mariya Geppert-Mayyer va boshqa olimlar tarafidan taklif qilingan. Bu modelda nuklonlar o'rtacha markaziy-simmetrik maydonda bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda harakatlanadilar, deb qaraladi. Bunga mos ravishda xuddi atomdagidek, yadrolarda ham diskret energetik sathlar mavjud bo'lib, ular Pauli prinsipini hisobga olgan holda nuklonlar bilan to'ldiriladi. Bu energetik sathlar qobiqlarga birlashadi, har bir qobiqda esa ma'lum bir miqdorda nuklonlar bo'ladi. Qo'liq to'ldirilgan qobiq turg'un sistemani tashkil qiladi.

#### 44.3. 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)  $\beta$  – yemirirish 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 prinsipial farq yo'q. Ikkala holda ham yuz beradigan radioaktiv yemirilish jarayoni bir xil qonunlarga bo'ysunadi.

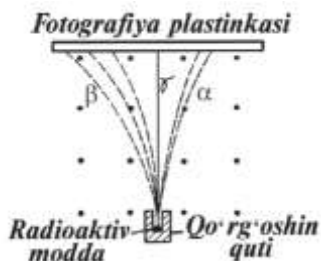
Tabiiy radioaktivlikni birinchi marta 1896-yilda fransuz fizigi Bekkerel kashf qilgan. U uran tuzi lyuminessensiyalanishni vujudga keltiradigan, noshaffof moddalar qatlamidan o'ta oladigan, gazlarni ionlashtira oladigan, fotografiya plastinkasini qoraytiradigan ko'rinmas nurlar chiqarishini payqagan. 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 (44.2-rasm). Radioaktiv modda qo'rg'oshin qutining tubiga joylashtirilgan. Tor tirqishdan chiqayotgan radioaktiv nurlanishga kuchli magnit maydon ta'sir qiladi (44.2-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,

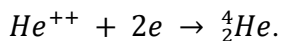
ular  $\alpha$  – **nurlar**,  $\beta$  – **nurlar** va  $\gamma$  – **nurlar** deb ataladi. Bu nurlarning tabiati va asosiy xossalari bilan tanishib chiqaylik.



44.2-rasm

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 a-zarra massasidan 7350 marta kichik, uning o'rtacha tezligi 160000 km/s ga yaqin. 44.2-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 (44.2-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 qatlami-dan 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.

### 44.3.1. Siljish qoidalari. Neytrino

Radioaktiv nurlanish atomlarning elektron qobiqlaridan emas, balki atom yadrolaridan chiqadi.  $\alpha$  – nurlar uchun bu ravshan,

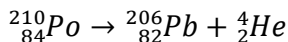
chunki elektron qobiqda  $\alpha$  – zarrani tashkil qiladigan protonlar va neytronlar yo‘q.  $\beta$  – nurlanishning ko‘rsatilgan har qanday ta’sirga bog‘liq ekanligidan,  $\beta$  – zarralar yadro tarkibiga kirmasa ham, ularni yadro yemirilishi jarayonida hosil bo‘ladi, deb hisoblash o‘rinlidir. Rav-shanki, radioaktiv nurlanish nurlanayotgan element atomlarining boshqa element atomlariga aylanishiga olib keladi.

$\alpha$  – **yemirilishda** yadrodan a-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:



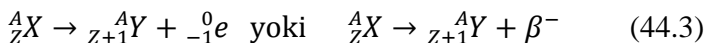
Poloniy elementi  $\alpha({}^4_2He)$  yemirilish natijasida qo‘rg‘oshin elementiga aylanadi.

Yadrolarning o‘z-o‘zidan  $\beta$  – zarralarni (ya’ni, elektronlar va pozitronlarni) chiqarish jarayoni  $\beta$  – **yemirilish** deyiladi. Elektronlarni simvolik  ${}_{-1}^0e$  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.

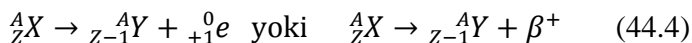
Pozitron elektronning antizarrasidan iborat. Uning massasi, spini elektron massasi va spiniga teng, lekin zaryadi musbat. Pozitronni simvolik  ${}_{+1}^0e$  yoki  $\beta^+$  ko‘rinishda belgilanadi.

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‘zgarmay 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:



$\beta^+$  – yemirilishda yadrodan pozitron uchib chiqadi. Natijada yadro zaryadi bir birlik kamayadi, massasi deyarli o‘zgar olmaydi. 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:



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-neutron 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.

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.

$\gamma$  – **nurlanishda** yadroning zaryadi o‘zgarmaydi; yadroning massasi esa juda kam o‘zgaradi. Radioaktiv elementlarning davriy sistemadagi siljishini aniqlaydigan (44.2)+(44.4) qoidalarni **siljish qoidalari** deb ataladi. Bu qoidalarni 1913-yilda nemis fizik-kimyodagi Fayans va undan mustaqil ravishda ingliz radiokimyogari F. Soddi ta’riflab bergan.

### 44.3.2. 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  $/2$  ga teng bo‘lib qoladi. Yana bitta shunday davr o‘tgandan keyin bu son:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4}$$

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  $n = t/T$  bo‘lganligi uchun:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \quad (44.5)$$

Bu (44.5) ifoda radioaktiv yemirilishning asosiy qonunidir. Bu qonunni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\frac{N}{N_0} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

So'ngra munosabatning ikki tomonini logariflaymiz:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{t}{T} \ln 2 \quad (44.6)$$

bu ifodaga kiruvchi

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T} \quad (44.7)$$

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. (44.7) ifodani e'tiborga olib, (44.6) munosabatni quyidagicha yozamiz:

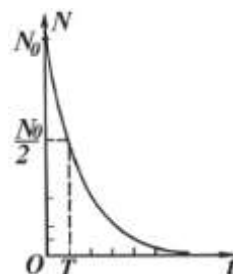
$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

Bu ifodani potensirlab, **radioaktiv yemirilish qonuni** uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (44.8)$$

Radioaktiv yemirilish qonuni grafik ravishda 44.3-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.



44.3-rasm

Yarim yemirilish davri moddaning massasiga bogʻliq 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 bogʻliq boʻlmasligi tajribada aniqlangan.

Ayni radioaktiv moddaning yarim yemirilish davri oʻzgarmas kattalik ekanligini va uning qiymatini hech qanday tashqi taʼsir (past va yuqori temperatura, bosim, magnit maydoni va hokazo) oʻzragtira olmasligini koʻpgina tajribalar koʻrsatadi. Yarim yemirilish davrining tashqi sharoitga bogʻliq emasligi radioaktiv yemirilish atom yadrolarining xossalari ekanligini bildiradi, odatdagi Yer sharoitidagi taʼsirlarning energiyasi esa atom yadrolarini oʻzgartirish uchun yetarli emas.

Radioaktiv yemirilish doimiysiga teskari boʻlgan

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (44.9)$$

kattalikni radioaktiv izotopning **oʻrtacha yashash vaqti** deb ataladi. Radioaktiv yemirilish qonuniga koʻra  $t = \tau$  vaqt oʻtgandan soʻng quyidagicha boʻladi:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\lambda \tau} = N_0 e^{-\lambda \frac{1}{\lambda}} = \frac{N_0}{e}$$

Demak, radioaktiv yemirilish tufayli boshlangʻich radioaktiv yadrolar soni  $N_0$  ning  $e$  marta kamayishi uchun ketgan vaqt radioaktiv izotopning oʻrtacha yashash vaqtiga teng ekan. (44.7) va (44.9) formulalardan

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1,44T \quad (44.10)$$

ekanligi kelib chiqadi, yaʼni oʻrtacha yashash vaqti  $\tau$  yarim yemirilish davri  $T$  dan taxminan 1,5 marta katta ekan.

Radioaktiv yemirilishda paydo boʻladigan yangi yadrolar, oʻz navbatida, radioaktiv boʻlishi mumkin. Shuning uchun radioaktiv



yemirilish jarayoni radioaktiv aylanishlar zanjirini hosil qiladi, bu zanjir bilan bogʻlangan yadrolar **radioaktiv qator** yoki **radioaktiv oila** deb ataladi.

Hozirgi vaqtda tabiiy radioaktiv yadrolar uchta, sunʼiy radioaktiv yadrolar esa bitta oilani tashkil qiladi? Ularning har biri stabil yadro bilan tugallanadi:

1. Uran-radiy oilasi uran  ${}_{92}^{238}U$  izotopidan boshlanadi va qoʻrgʻoshinning stabil  ${}_{82}^{206}Pb$  izotopi bilan tugallanadi.

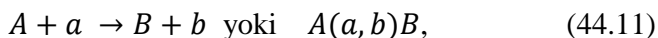
2. Aktiniy oilasi aktinouran  ${}_{92}^{235}U$  izotopidan boshlanadi va qoʻrgʻoshinning stabil  ${}_{82}^{208}Pb$  izotopi bilan tugallanadi.

3. Toriy oilasi toriy  ${}_{90}^{222}Th$  izotopidan boshlanadi va qoʻrgʻoshinning stabil  ${}_{82}^{208}Pb$  izotopi bilan tugallanadi.

Neptuniy oilasi (sunʼiy radioaktiv oila) neptuniy  ${}_{93}^{237}Np$  izotopidan boshlanadi va vismutning  ${}_{83}^{209}Bi$  stabil izotopi bilan yakunlanadi

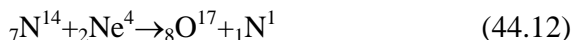
#### 44.4. Yadroviy reaksiyalar. Yadroviy reaksiyalarning asosiy qonuniyatlari

Ikki zarra (ikki yadro yoki yadro va zarra) bir-biri bilan  $10^{-15}$  m lar chamasiga yaqinlashganda yadroviy kuchlarning taʼsiri tufayli oʻzaro intensiv taʼsirlashadi, natijada yadroviy oʻzgarishlar vujudga keladi. Bu jarayon **yadroviy reaksiyalar** deb ataladi. Yadroviy reaksiyani quyidagicha yozish odat boʻlgan:

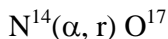


Bunda,  $A$  – boshlangʻich yadro,  $a$  – reaksiyaga kirishuvchi zarra,  $b$  – yadroviy reaksiyadan ajralib chiquvchi zarra,  $B$  – yadroviy reaksiyada vujudga kelgan yadro,  $a$  va  $b$  zarralar – neytron, proton, alfa-zarra, gamma-kvant, yengil yadrolar yoki boshqa elementar zarralar boʻlishi mumkin.

Birinchi yadroviy reaksiyani 1919-yilda Rezerford amalga oshirgan. Bunda azotni  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilish natijasida kislorod va proton hosil boʻlgan. Yuqorida bayon etilgan yadroviy reaksiyalarni yozish usuliga asoslanib mazkur reaksiyani



yoki ixchamroq

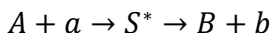


ko‘rinishlarda ifodalash mumkin.

Reaksiyalarning turlari ko‘p. Lekin reaksiyaga kirishuvchi zarralarning tabiatiga asoslanib uch sinfga: 1) zaryadli zarralar; 2) neytronlar; 3)  $\gamma$  – kvantlar ta’sirida amalga oshadigan reaksiyalarga ajratish mumkin.

Reaksiyalarni amalga oshish mexanizmi bo‘yicha ikki sinfga shartli ravishda ajratsa bo‘ladi:

1. Yadroviy reaksiyalarni oraliq yadro orqali amalga oshishi. Bunda reaksiya ikki bosqichda o‘tadi. Birinchi bosqichda zarra yadro tomonidan yutiladi. Vujudga kelgan sistema oraliq yadro yoki **kompaund yadro** deb ataladi. Ikkinchi bosqichda oraliq yadro yemiriladi. Demak,



sxema bo‘yicha amalga oshadi.  $S^*$  yadroning (bundagi yulduzcha yadroning uyg‘ongan holatini ifodalaydi) yashash davomiyligi ancha katta – taxminan ( $10^{-14} \div 10^{-15}$ ) s bo‘ladi. Yadro fizikasi da yadroviy vaqt tushunchasidan foydalanish odat bo‘lgan. Yadroviy vaqt deganda energiyasi 1 MeV bo‘lgan nuklon ( $\vartheta \sim 10^7$  m/s ga mos keladi) yadroning diametriga ( $\sim 10^{-14}$  m) teng masofani bosib o‘tish uchun ketgan vaqt

$$\tau_{ya} = \frac{10^{-14} m}{10^7 \frac{m}{s}} = 10^{-21} s$$

tushuniladi. Demak, oraliq yadroning yashash davomiyligi yadroviy vaqtdan  $10^6 \div 10^7$  marta katta.

2. Zarraning yadro bilan bevosita o‘zaro ta’sirlashuvi tufayli amalga oshadigan reaksiyalar. Misol tariqasida deytton ( $N^2$ ) ni yadro bilan o‘zaro ta’sirlashuvini bayon qilaylik. Yadroga yaqinlashgan deyttonning protonini yadro itarib yuboradi (ikklasining ham zaryadi musbat bo‘lganligi uchun). Deyttonning neytroni esa yadroga kirishi mumkin. Natijada deytton bo‘linib ketadi, ya’ni uning neytronini yadro yutadi, protoni esa yadroga kirmasdan o‘tib ketadi. Bu ba’zan «**uzib olish**» reaksiyasi deb ham ataladi.

Yadroviy reaksiyalarni tajribalarda o‘rganish tufayli reaksiyalarda saqlanish qonunlarining bajarilishi aniqlandi:

1. Yadroviy zarralarga kirishuvchi zarralarning umumiy zaryadi reaksiyada vujudga kelgan zarralarning umumiy zaryadiga teng.

2. Yadroviy reaksiyaga kirishayotgan zarralardagi nuklonlarning to‘liq soni reaksiyadan keyin ham saqlanadi, ya’ni reaksiyada hosil bo‘lgan zarralar nuklonlarining to‘liq soniga teng bo‘ladi. Bu ikki qonunning bajarilishini quyidagi jadvalda keltirilgan yadroviy reaksiyalar misolida tekshirib ko‘rsa bo‘ladi:

Yadroviy reaksiya	Elektr zaryadi	Nuklonlar soni
$N^{14} + \alpha \rightarrow O^{17} + p$	$7 + 2 = 8 + 1$	$14 + 4 = 17 + 1$
$H^2 + H^2 \rightarrow He^3 + n$	$1 + 1 = 2 + 0$	$2 + 2 = 3 + 1$
$Li^7 + p \rightarrow Be^7 + n$	$3 + 1 = 4 + 0$	$7 + 1 = 7 + 1$
$S^{32} + n \rightarrow P^{32} + p$	$16 + 0 = 15 + 1$	$32 + 1 = 32 + 1$
$Be^9 + \gamma \rightarrow 2He^4 + n$	$4 + 0 = 2 \cdot 2 + 0$	$9 + 0 = 2 \cdot 4 + 1$

Yadroviy reaksiyalarda massaning saqlanish qonuni (va energiyaning saqlanish qonuni ham) bajariladi. Bu ikki qonunni birgalikda bayon qilmoqchiligimizning sababi massa va energiya o‘zaro  $W = mc^2$  munosabat bilan bog‘langanligidadir. Yadroviy reaksiyaga kirishayotgan zarralarning tinchlikdagi massalarini  $m_A$  va  $m_a$  deb, reaksiyada vujudga kelgan zarralarnikini esa  $m_B$  va  $m_b$  deb belgilaymiz. Ularning kinetik energiyalarini mos ravishda  $T_A$ ,  $T_a$ ,  $T_B$ ,  $T_b$  deb belgilaylik. Natijada reaksiyaga kirishayotgan zarralar to‘liq energiyalarining yig‘indisi reaksiyada vujudga kelgan zarralar to‘liq energiyalarining yig‘indisiga tengligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$m_A c^2 + T_A + m_a c^2 + T_a = m_B c^2 + T_B + m_b c^2 + T_b$$

Mos hadlarni gruppallasak, bu ifoda quyidagi

$$[(m_A + m_a) - (m_B + m_b)]c^2 = (T_B + T_b) - (T_A + T_a)$$

ko‘rinishga keladi. Bu tenglikning o‘ng tomoni reaksiya natijasida vujudga keladigan energiya o‘zgarishini ifodalaydi. Yadroviy

reaksiyada ajralib chiqadigan yoki yutiladigan energiya **reaksiya energiyasi** deyiladi va odatda, Q harfi bilan belgilanadi. U holda

$$Q=[(m_A+m_a)-(m_B+m_b)]c^2=(T_B+T_b)-(T_A+T_a) \quad (44.13)$$

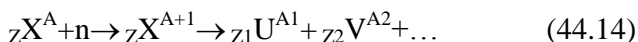
Agar  $Q>0$  bo'lsa, zarralar tinchlikdagi massasining kamayuvi hisobiga zarralar kinetik energiyasining ortishi kuzatiladi. Bu holda ekzoenergetik reaksiya amalga oshayotgan bo'ladi. Ekzoenergetik reaksiya  $(T_A+T_a)$  ning har qanday qiymatida ham amalga oshadi. Faqat zarra zaryadli bo'lgan holda uning energiyasi yadro elektr maydonining qarshiligini (odatda, u **kulon to'sig'i** deyiladi) yengishga yetarli bo'lishi kerak, albatta.

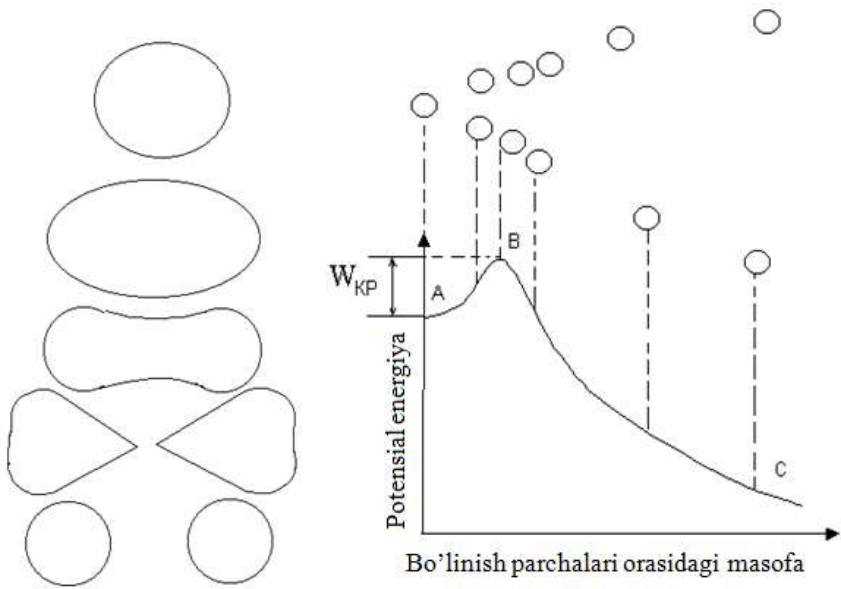
Agar  $Q<0$  bo'lsa, endoenergetik reaksiya sodir bo'ladi. Bunda zarralar kinetik energiyasining kamayuvi hisobiga ularning tinchlikdagi massalari ortadi. Shuning uchun reaksiyaga kirishayotgan zarralar kinetik energiyalari yetarlicha katta bo'lishi, ya'ni  $(T_A+T_a)=|Q|+(T_B+T_b)$  shart bajarilishi kerak.

#### 44.5. Yadrolarning bo'linishi

E.Fermi (Italiya), I.Jolio-Kyuri va P.Savich (Fransiya), O.Gan va F.Shtrassman (Germaniya), O.Frishi va L.Maytner (Avstriya) larning tajribaviy va nazariy izlanishlari tufayli neytronlar bilan bombardimon qilingan og'ir yadrolar (masalan, uran) ni ikki qismga bo'linishi aniqlandi. Bundan tashqari, neytronlar, elektronlar va  $\gamma$ -narlarnishlarning ham vujudga kelishi kuzatildi. Bu hodisa yadro bo'linishi deb nom oldi. Bo'linishi jarayonida vujudga kelgan (Mendeleyev davriy jadvalining o'rtarog'idagi elementlarga taalluqli) yadrolar esa bo'linish parchalari deb ataldi.

Bu hodisani yadro fizikasiga oid bilimlarimiz asosida talqin qilib ko'raylik. Neytron  ${}_0^1X^A$  yadroga kirgach, uning nuklonlari orasida o'ralashib qoladi. Natijada yangi  ${}_Z^AX^{A+1}$  yadro hosil bo'ladi, u esa ikki yadroga, ya'ni  ${}_{Z_1}U^{A_1}$  va  ${}_{Z_2}V^{A_2}$  yadrolarga bo'linadi. Bo'linish natijasida vujudga kelishi mumkin bo'lgan boshqa zarralar bilan qiziqmasak, mazkur reaksiyani quyidagicha yoza olamiz:





44.4-rasm. Yadrolarning bo‘linishi

X yadroni U va V yadrolarga ajralish imkoniyati energetik nuqtai nazardan

$$Q = (\varepsilon_1 A_1 + \varepsilon_2 A_2) - \varepsilon A \tag{44.15}$$

Ifodaning ishorasiga bog‘liq. (44.15) da  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  va  $\varepsilon$  lar mos ravishda bo‘linish parchalari – U va V hamda X yadrolardagi bitta nuklonga to‘g‘ri keluvchi bog‘lanish energiyalarining qiymatlari. Davriy jadvalning o‘rta qismidagi elementlar yadrolari uchun nuklonning yadroga bog‘lanish energiyasi (ya’ni  $\varepsilon_1$  va  $\varepsilon_2$  lar) ning qiymatlari jadval oxiridagi og‘ir yadrolarniki (ya’ni  $\varepsilon$ ) ga nisbatan  $\sim 0,8$  MeV katta. Shuning uchun Q ning ishorasi musbat bo‘ladi. Bundan tashqari X yadroning nuklonlari U va V yadrolar orasida taqsimlangaligi uchun

$$Z_1 + Z_2 = Z \text{ va } A_1 + A_2 = A + 1 \approx A \tag{44.16}$$

deb hisoblash mumkin. Natijada og‘ir yadro (masalan,  $U^{235}$ ) ikki o‘rtacharoq yadroga ajralganda  $Q \approx A \cdot 0,8$  MeV energiya ajralishi

lozim, degan xulosaga kelamiz. Qizig'i shundaki, (44.15) ifoda asosida hisoblashlar massa soni 100 dan katta bo'lgan barcha yadrolar uchun  $Q$  ning ishorasi musbat ekanligini ko'rsatdi. Demak, nazariy jixatdan  $A > 100$  bo'lgan yadrolar o'z-o'zidan, ya'ni spontan bo'linishi mumkin.

#### 44.6. Zanjir reaksiya. Reaktorlar

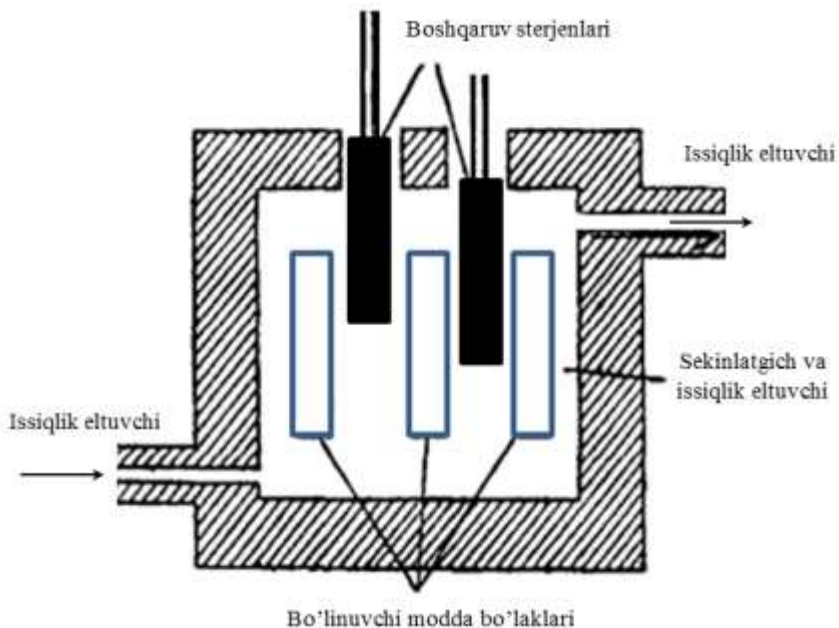
$U^{235}$  yadrosi bo'linishi tufayli ajraladigan energiyaning taxminan  $82 \div 84$  % i bo'linish parchalarining energiyasi tarzida, qolgan qismi esa neytronlar ( $2 \div 3$  %),  $\gamma$  - nurlanish ( $5 \div 6$  %), elektronlar ( $3 \div 4$  %) va neytrinolar ( $5 \div 6$  %) ning energiyasi sifatida namoyon bo'ladi. Har bir yadro bo'linganda taxminan 200 MeV energiya ajraladi. Solishtirish maqsadida oddiy kimyoviy reaksiyalarda (masalan, yonish prosessida) ajraladigan energiyaning har bir atomga to'g'ri keladigan ulushi atigi bir necha eV ekanligini eslaylik. Demak, yadro bo'linishida kimyoviy reaksiyadagidan million marta ko'p energiya ajraladi. Shuning uchun og'ir yadrolarning bo'linish hodisasi kashf qilinishi bilanoq, bu reaksiyada ajraladigan energiyadan foydalanish yo'llari izlana boshlandi. Bo'linish energiyasidan foydalanish imkoniyati amalga oshishi uchun shunday sharoit yaratish kerakki, bu sharoitda reaksiya bir boshlangandan sung o'z-o'zidan davom eta olsin, ya'ni reaksiya zanjir xarakterga ega bo'lsin. Bunday reaksiyani amalga oshirishga og'ir yadroning bo'linishida vujudga keladigan 2-3 dona neytron yordam beradi. Masalan, birinchi yadro bo'linganda ajralib chiqqan 2-3 neytronning har biri o'z navbatida yangi yadrolarning bo'linishiga sababchi bo'ladi. Natijada 6-9 yangi netronlar vujudga keladi. Bu neytronlar yana boshqa yadrolarning bo'linishiga imkoniyat yaratadi va hokazo. Shu tariqa bo'linayotgan yadrolar va buning natijasida vujudga keladigan neytronlar soni nihoyatta tez ortib boradi. Bayon etilgan tarzda rivojlanadigan jarayon – **zanjir reaksiya**dir. Hisoblarning ko'rsatishicha, birinchi yadro bo'lingandan keyin  $7,5 \cdot 10^{-7}$  s vaqt o'tgach  $10^{24} \div 10^{25}$  yadro (shuncha yadro taxminan 1 kg uran tarkibida bo'ladi) reaksiyada qatnashgan bo'ladi. Reaksiyaning bunday o'ta shiddatli tusda o'tishi – portlash demakdir. Lekin bu mulohazalarda barcha neytronlar yangi

yadrolarning bo‘linishiga sabab bo‘ladi, degan farazdan foydalaniladi. Aslida neytronlar boshqa yadrolar tomonidan yutilishi, lekin bu yadro bo‘linmasligi mumkin. Yohud neytronlar bo‘linuvchi yadrolar bilan to‘qnashmasdan reaksiya sodir bo‘ladigan hajm (ya’ni aktiv zona) dan chiqib ketishi mumkin. Natijada zanjir reaksiya rivojlanmaydi. Demak, zanjir reaksiya rivojlanishi uchun yadroning bo‘linishi tufayli hosil bo‘lgan neytronlarning o‘rta hisobda bittadan ortig‘i yangi bo‘linishni vujudga keltirishi shart.

#### 44.7. Yadroviy reaktorlar

Boshqariladigan bo‘linish zanjir reaksiyalarini amalga oshirish uchun qo‘llaniladigan qurilma **yadroviy reaktor** deb ataladi. Bunday qurilmalarda neytronlar ko‘payish koeffitsiyenti  $K$  ning 1 dan kata qiymatlarida zanjir reaksiyani boshlash imkoniyati mavjud bo‘lishi kerak. U holda aktiv zonadagi neytronlar konsentratsiyasi va reaktorning quvvati orta boshlaydi. Kerak quvvatga erishilganda  $K$  ning qiymatini aynan 1 ga teng qilib turish imkoniyati bo‘lishi kerak. Bu holda zanjir reaksiya o‘zgarmas tezlik bilan davom etadi, natijada reaktor **statsionar rejim**da ishlay boshlaydi.

Endi biz hozirgi zamon energetikasida keng foydalaniladigan issiqlik neytronlar ta’sirida ishlaydigan reaktorlar bilan tanishamiz. Reaktorning asosiy elementi – bo‘linuvchi moddadir. Zamonaviy reaktorlarda bo‘linuvchi modda sifatida  $U^{235}$  izotop bilan boyitilgan urandan foydalaniladi. Issiqlik neytronlari  $U^{235}$  ni effektiv ravishda bo‘linishida saabchi bo‘ladi. Shuning uchun bo‘linish reaksiyasida vujudga kelgan tez neytronlarni sekinlantirish yo‘li bilan issiqlik neytronlariga aylantiriladi. Sekinlatgichlar sifatida grafit yoki og‘ir suvdan, ba’zan esa oddiy suvdan ham foydalaniladi. 44.3-rasmda reaktor aktiv zonasining soddalashtirilgan sxemasi sekinlatgich modda bilan to‘ldirilgan. Sekinlatgich ichiga sterjen yoki plastinka shaklida bo‘linuvchi modda bo‘laklari joylashtiriladi. Zanjir reaksiya tezligini boshqaruvchi sterjenlar yordamida o‘zgartirish mumkin. Bu sterjenlar neytronlarni intensiv ravishda yutadigan materiallar (masalan, bor yoki kadmiy)dan tayyorlanadi. Boshqaruvchi sterjenlarning ko‘proq yki kamroq qismini aktiv zona ichiga kiritish yo‘li bilan  $K$  ning qiymatini o‘zgartirishga erishiladi.



44.3-rasm. Yadro reaktorining tuzilishi

#### 44.8. Termoyadroviy reaksiyalar

Yadro bog‘lanish energiyasining bir nuklonga mos keluvchi qiymati  $\epsilon$  ning massa son  $A$  ga bog‘liqligini xarakterlovchi grafik (rasm) ga nazar tashlasak, faqat og‘ir yadrolarning bo‘linishi tufayligina emas, balki juda yengil yadrolarni birlashtirish (yadrolar sintezi) usuli bilan ham yadroviy energiyadan foydalanish mumkin, degan fikrga kelamiz. Masalan, deyteriy va tritiyning sintezida  $\alpha$ -zarra va neytron hosil bo‘ladi, ya’ni



Mazkur reaksiyaning energiyasini hisoblaylik:

$$Q = [(m_{\text{N}_2} + m_{\text{N}_3}) - (m_{\text{Ne}_4} + m_n)]c^2 \approx 17,6 \text{ MeV} \quad (44.18)$$



Demak, reaksiya ekzotermik va unda qatnashayotgan har bir nuklonga to‘g‘ri keluvchi energiya  $\sim 3,5$  MeV ga teng. Taqqoslash maqsadida  $U^{235}$  ning bo‘linishida ajraladigan energiyaning bitta nuklonga mos keluvchi ulushi  $\sim 0,85$  MeV ligini eslaylik.

Yadrolar sintezi amalga oshishi uchun ular bir-biri bilan yadroviy kuchlarning ta‘siri seziladigan masofa ( $r \sim 10^{-15}$  m) gacha yaqinlashishi kerak. Lekin yadrolarning bu darajada yaqinlashishiga kulon itarish kuchlari tufayli ular orasida vujudga keladigan potensial to‘siq qarshilik ko‘rsatadi. Bu to‘siqni engish uchun  $N^2$  va  $N^3$  ning sintez reaksiyasida yadrolar

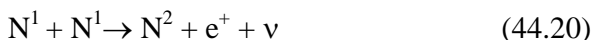
$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-15}} J \approx 0,7 \text{ MeV} \quad (44.19)$$

energiyaga ega bo‘lishi kerak. Demak, to‘qnashayotgan yadrolarning har birini kinetik energiyasi  $\sim 0,35$  MeV bo‘lsa, yadroviy sintez reaksiyasi amalga oshadi. U holda yadrolar sintezi issiqlik harakatining energiyasi (ya‘ni  $3kT/2$ ) tufayli sodir bo‘lishi uchun yadrolarni qanday haroratgacha qizdirish lozim? – degan savolga javob topaylik. Hisoblardan ko‘rinishicha, bu harorat  $2 \cdot 10^9$  K bo‘lishi kerak. Mazkur haroratni amalda hosil qilib bo‘lmaydi. Lekin bunchalik yuqori haroratga hojat ham bo‘lmasa kerak. Bu fikr quyidagi ikki sababga asoslanadi:

1) ixtiyoriy  $T$  haroratdagi gaz molekulari tezliklarining qiymati Maksvell taqsimotiga buysunadi. Shu sababli Maksvell taqsimotini xarakterlovchi grafikning “dumi” ga mos keluvchi tezliklar bilan harakatlanadigan yadrolar issiqlik harakat energiyasining qiymati  $3kT/2$  dan ancha katta bo‘ladi;

2) tunnel effekt tufayli yadrolar birikishi uchun lozim bo‘ladigan kinetik energiyaning qiymati kulon to‘siq‘i balandligidan kichik ham bo‘lishi mumkin. Shuning uchun  $N^2$  va  $N^3$  yadrolarining  $\sim 10^7$  K haroratda yana ham yetarlicha intensiv birikishi kuzatiladi. Yadrolar sintezi yuqori haroratlarda sodir bo‘lganligi uchun u **termoyadroviy reaksiya** deb ataladi. Bu kadar yuqori harorat yulduzlarda, jumladan, Quyoshda mavjud. Quyosh nurlanishining spektrini o‘rganish asosida yulduzlar tarkibi, asosan, vodorod va

geliydan hamda ozgina miqdordagi (~1% cha) uglerod, azot va kisloroddan iborat, degan xulosaga kelingan. Quyosh energiyasi uning tarkibidagi yadrolarning sintezi, ya'ni termoyadroviy reaksiyalar tufayli ajraladi. Bu reaksiyalarning variantlaridan biri proton – proton (rr) siklidir. Mazkur sikldagi birinchi reaksiyada ikki proton birikib, deyttonni hosil qiladi:



Ikkinchi bosqichda



reaksiya amalga oshadi. Shundan so'ng



reaksiyada geliy yadrosi va ikkinchi proton hosil bo'ladi. Bundan tashqari siklning birinchi bosqichidagi  $S^{12}$  yadrosi ham vujudga keladi. U yana yangi siklni boshlaydi. Boshqacha qilib aytganda,  $S^{12}$  yadrosi uglerod siklida “yadroviy katalizator” vazifasini o'taydi. Shuni ham qayd qilmoq lozimki, uglerod sikli *rr* – siklga nisbatan yuqoriroq haroratlarda o'tadi. Zamonaviy tasavvurlarga asosan, Quyosh energiyasining manbai asosan *rr*–sikldir.

I.E.Tamm va uning xodimlari 1950-yilda plazmani magnit maydon yordamida izolyatsiyalash mumkin, degan fikrni ilgari surdilar. Bu fikrga asoslanib bir talay qurilmalar yasalgan. Ular ichida sovet olimlari yasagan va “Tokamak” nomi bilan yurgiziladigan qurilmalar e'tiborga loyiq. “Tokamak” lar yordamida xalqaro hamkorlik asosida boshqariladigan termoyadroviy reaksiyani amalga oshirish bo'yicha izlanishlar ham olib borilmoqda.

## 45–MAVZU: ELEMENTAR ZARRALAR HAQIDA MA'LUMOT

### 45.1. 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  $e/m$  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 turgʻundir. Erkin atom yadrosidan tashqarida neytron barqaror emas, uning oʻrtacha yashash vaqti 15 minutga yaqin.

**Neytrino**  $\nu$ . Neytrinoning 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 oʻtdi va, nihoyat, 1953-yilda F. Reynis va K. Kouen tomonidan atom reaktorida oʻtkazilgan tajribalarda qayd etildi. Hozirgi vaqtda uning  $\nu_e$  – **elektron neytrino**,  $\nu_\mu$  – **myuon neytrino**,  $\nu_t$  – **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 yoʻl 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 oʻrtalariga 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,  $\Xi^+$ ,  $\Xi^-$ ,  $\Xi^0$  – ksi-giperon,  $\Omega^-$  – omega giperon kiradi. Barcha kaon va giperonlar kuchli oʻzaro taʼsir natijasida paydo boʻlib, kuchsiz oʻzaro taʼsir natijasida yemiriladi. Bundan tashqari ular juft-juft holda paydo boʻladi. Shuningdek, tajribada kaonlarning hosil boʻlishi sharoitlarida va oʻzaro taʼsir reaksiyalarida boshqa zarralardan farq qilishi aniqlandi. Masalan,  $K^+$  – kaon  $K^-$  – kaon bilan ham, giperonlar bilan ham birga paydo boʻlishi mumkin boʻlsa,  $K^-$  – kaon faqat  $K^+$  – kaon bilan birga vujudga kelishi mumkin ekan. Shuning uchun kaonlar va giperonlarning boshqa elementar zarralardan farqlanuvchi bunday tabiatini hisobga olib, ularni «gʻalati» **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 uchta – elektron, proton va neytronlar asosiy zarralardir. Atomlar va umuman, bizni o‘rab olgan butun moddiy olam shu zarralardan tashkil topgan.

## 45.2. 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:

$$W^2 = c^2 p^2 + m_0^2 c^2 = m^2 c^2, \quad (45.1)$$

bunda:  $p$  – zarraning impulsi;  $m_0$  – tinch holatdagi massasi. Formuladan ko‘rinadiki, elementar zarraning harakatdagi massasi impulsi o‘zgarishi bilan o‘zgarib boradi, demak,  $m \neq const$ . Shuning uchun elementar zarralar tinchlikdagi  $m_0$  massalari bilan xarakterlanadi. Bu massa zarraning  $W_0$  ichki energiyasi bilan bog‘liq:

$$W_0 = m_0 c^2. \quad (45.2)$$

Tinchlikdagi massasi  $m_0 = 0$  bo‘lgan zarra (masalan, foton, neytrino)larning energiyasi ularning impulsi bilan bog‘liq

$$W = cp. \quad (45.3)$$

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'zgarishligini saqlashi mumkin edi.

4. Barcha elementar zarralar spini bilan ham xarakterlanadi. Ko'pchilik elementar zarralarning spini  $\hbar$  birligida ( $\hbar = h/2\pi$ ,  $h$  – Plank doimiysi)  $1/2$ ga teng. Masalan, proton va neytronning spini  $1/2$ . Spini 1 bo'lgan zarra (foton) bilan birga spini 0 bo'lgan zarralar ( $K$  – mezon,  $\pi$  – mezon,  $\mu$  – 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  $\bar{p}$ , elektron  $e^-$  va pozitron  $e^+$ , neytron  $n$  va antineytron  $\bar{n}$  zarra hamda antizarralarga misol bo'la oladi.

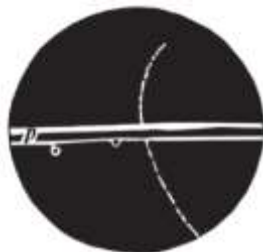
To'rtta zarra –  $\gamma$ -foton,  $\pi^0$ -mezon,  $K_1^0$ -mezon va  $K_2^0$ -mezonning antizarrasi mavjud emas. Bu zarralar **absolyut neytral zarralar** deb ataladi. Absolyut neytral tushunchasini zarraning elektr neytralligi bilan chalkashtirish kerak emas, chunki elektr jihatdan neytral zarraning 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.

45.1-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 egrilanishi yo'nalishiga qarab zaryadining ishorasi musbat ekanligi, egrilik radiusi va energiyasiga ko'ra  $e/m$  solishtirma zaryadi aniqlandi. Bu nisbat kattalik jihatdan xuddi elektronniki singari bo'lib chiqdi.

Keyinchalik pozitronning sun'iy radioaktivlikda va katta energiyali y kvantlarning atom yadrolari bilan o'zaro ta'sirlashganda hosil bo'lishi aniqlandi.

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 xossalarini ham tasdiqladi. Keyinroq yuqori energiyali zarralar yadro reaksiyalarining



45.1-rasm

mahsulotlari orasida **antideytronlar** (antiproton va antineytronlardan 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 antineytronlardan 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.

### 45.3. 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-



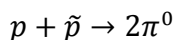
biriga aylanishi ularning o‘zaro to‘qnashishlarida ham sodir bo‘lishi mumkin.

Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi ularning xarakterli xossalardan biridir.

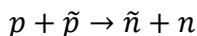
Barcha elementar zarralar bir-biriga aylanib turadi va bu o‘zaro aylanishlar ular mavjudligining asosiy dalilidir.

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 bo‘lgan zarralar to‘plami turlicha bo‘lishi mumkin.

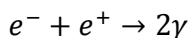
Juftlarning annigilyatsiyasiga, masalan, proton va antiprotonning pi-nol-mezonga aylanishi:



yoki proton va antiprotonning neytron hamda antineytronga aylanishi:

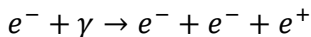


yoxud elektron va pozitronlarning fotonlarga aylanishi:

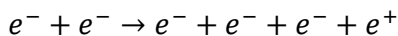


jarayonlari misol bo‘la oladi.

Annigilyatsiyaga teskari jarayonlar ham uchraydi. Bunday jarayonlar natijasida zarralar va ularga mos antizarralar paydo bo‘ladi. Bu jarayonni **juftlarning paydo bo‘lishi** deb ataladi. Juftlarning hosil bo‘lishi jarayoniga y-fotonning elektron bilan ta’sirlashganda:



ikki elektron o‘zaro to‘qnashganda:



elektron bilan pozitronning hosil bo‘lishi misol bo‘la 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.

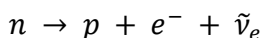
Hozirgi vaqtda elementar zarralar fizikasida eksperimental ravishda annigilyatsiya va juftlarning hosil boʻlishidan tashqari koʻpgina aylanish jarayonlari aniqlangan. Ularda biror elementar zarralar boshqalariga aylanadi.

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 boʻlib, yadroning oʻzida neytronlar va protonlardan hosil boʻladi.

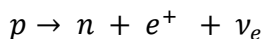
Elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar yadroda qayerdan paydo boʻlib qoladi, degan savol tugʻiladi. Yadroda ular yoʻq-ku. Demak, ular yadroning parchalanish jarayonida hosil boʻladi.

Hozirgi vaqtda yadro neytronlaridan birining protonga aylanishi natijasida elektronlar sochilishi aniqlangan:



bunda yana  $\tilde{\nu}_e$  elektron antineytrinosi hosil boʻladi.

Shuningdek, atom yadrosidagi proton pozitron va neytrino chiqarib, neytronga aylanishi mumkin:



Shunday qilib, bir-biriga aylana olish elementar zarralarning eng xarakterli belgisidir. Elementar zarralar boʻlinmaydi, ular bir-biriga aylanish xususiyatiga ega.

Elementar zarralardagi barcha oʻzgarishlar 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 mikroduyoda yuz beradigan hodisalarning nihoyat darajada ko'p va xilma-xilligiga sababdir, shu bilan birga materiyaning xossalari bepoyon ekanligidan dalolat beradi.

#### 45.4. 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 (45.1-jadvalga qarang. Rezonanslar jadvalga kiritilmagan):

1. Fotonlar ( $m_0 = 0$ ).
2. Leptonlar yoki yengil zarralar ( $0 < m_0 < m_e$ ).
3. Mezonlar yoki o'rta og'irlikdagi zarralar ( $m_e < m_0 < m_p$ ).
4. Barionlar yoki og'ir zarralar ( $m_p < m_0 < m_d$ ).

Bu yerda  $m_e$ ,  $m_p$  va  $m_d$  mos ravishda elektron, proton va deytрон (og'ir vodorod yadrosi  ${}^2_1H$ ) 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 xarakteristikallari berilgan: zarralarning massasi (elektronning tinch holatdagi massasi birligida); elementar zaryadi ( $e$  elementar zaryad birligida); spini ( $\hbar$  birligida); o'rtacha yashash vaqti (sekundlarda) ifodalangan.

Shuni qayd etib o'tish kerakki, elementar zarralar jadvalda keltirilgan kattaliklardan tashqari yana bir qator kattaliklar bilan ham xarakterlanadi. Masalan, barionlarga **barion zaryadi**, leptonlarga **lepton zaryadi** mansub deb hisoblanadi. G'alati zarralarning g'alati

xossalarini tavsiflash uchun **g'alatilik** kvant soni kiritilgan va hokazo.

45.1-jadval

Zarralarning nomi		zarra	antizarra	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	$\nu_e$	$\tilde{\nu}_e$	0	0	stabil	1/2	
	Myu-mezon		$\tilde{\nu}_\mu$	0	0	stabil	1/2	
	Tau-mezon	$\nu_\tau$	$\tilde{\nu}_\tau$	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	$K^+$	$K^-$	966,4	+1	$1,22 \cdot 10^{-8}$	0	
	Ka-nol-mezon	$K^0$	$\tilde{K}^0$	974,2	0	$10^{-10}$	0	
	Eta-nol-mezon	$\eta^0$	$\tilde{\eta}^0$	1074	0	$10^{-19}$	0	
Barionlar	Nuklonlar	Proton	$p$	$\tilde{p}$	1863,1	+1	stabil	1/2
		Neytron	$n$	$\tilde{n}$	1838,6	0	$1,01 \cdot 10^3$	1/2
	Giperonlar	Lambda-nol-gepiron	$\Lambda^0$	$\tilde{\Lambda}^0$	2183	0	$2,5 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Sigma-plus-gepiron	$\Sigma^+$	$\tilde{\Sigma}^+$	2327,7	+1	$8,1 \cdot 10^{-11}$	1/2
		Sigma-nol-gepiron	$\Sigma^0$	$\tilde{\Sigma}^0$	2331,8	0	$10^{-14}$	1/2
		Sigma-minus-gepiron	$\Sigma^-$	$\tilde{\Sigma}^-$	2340,6	-1	$1,65 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Ksi-nol-giperon	$\Xi^0$	$\tilde{\Xi}^0$	2572	0	$3 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Ksi-minus-giperon	$\Xi^-$	$\tilde{\Xi}^-$	2585	-1	$1,75 \cdot 10^{-10}$	1/2
Omega-minus-giperon	$\Omega^-$	$\tilde{\Omega}^-$	3273	-1	$1,5 \cdot 10^{-10}$	1/2		

Biror jarayonning taqiqlanishiga biror saqlanish qonuni asos bo'ladi. Masalan, barion zaryadining saqlanish qonuni protonning barqarorligini ta'minlaydi. Haqiqatan ham:

$$p = e^+ + \nu + \tilde{\nu}$$

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 bo'ladigan jarayonlarda lepton zaryadining saqlanish qonuni bajariladi. G'alatilikning saqlanish qonuni esa g'alati zarralarning yakka holda paydo bo'lishini taqiqlaydi

### 45.5. 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 deyteriy 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 ipsilon-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 h birligida <sup>1</sup> 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 aromarli 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 – 1/3 ga teng, qolgan *u* –, *c* – va *t* – kvarklarning zaryadi + 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 maydonining kvantlari – **vektor** (yoki **oraliq**) **bozonlarni** qo'shimcha qilish kerak.

#### **45.6. 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 ( $r = \infty$ ), 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 ( $r = \infty$ ).

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 birlashtirib turadi. Bunday ta'sirning vaqti  $10^{-23} \div 10^{-22}$  s, ta'sir doirasining radiusi  $r = 10^{-15}$  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 ( $r = 10^{-18}$  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 yoʻsinda birlashgan nazariya – **elektr kuchsiz kuchlar nazariyasi** yaratildi. Bu nazariyani batamom isbot qilingan deb boʻlmaydi, biroq uning asosiy gʻoyasi koʻp tajribalar bilan tekshirilgan. Bu gʻoyaning mazmuniga koʻra elektromagnit maydon yanada umumiyroq boʻlgan elektr kuchsiz maydonning bir qismidir.

Elektr kuchsiz maydon esa bir necha shakllar yoki komponentlardan iborat. Bu maydondagi barcha komponentlar elektromagnit maydondagidan toʻrt 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 oʻzaro taʼsirlarning birligi toʻgʻrisidagi yangi ishonarli dalil hisoblanadi. Kuchsiz kuchlarning taʼsir doirasi radiusi  $10^{-18}$  m. Bu masshtabda ular elektromagnit kuchlar bilan qoʻshilib ketadi.

1972-yilda Sh. Gleshou G. Jorji bilan birga, 1973–1974-yillarda A. Salam kuchli, elektromagnit va kuchsiz oʻzaro taʼsirlarni oʻz ichiga olgan **buyuk birlashish nazariyasini** tavsiya etdilar. Hozir olimlar bu masala ustida jadal ishlamoqdalar. Koʻp gipotezalar ilgari surilgan. Koʻpchilik gipotezalarga koʻra elektr kuchsiz taʼsirlar kuchli oʻzaro taʼsirlar bilan taxminan  $10^{-32}$  m masofalarda qoʻshilib ketadi. Bunday kichik masshtablarda eksperiment oʻtkazish juda katta energiyani talab etadi. Hozircha tezlatkichlarda bunday energiyaga erishilganicha yoʻq.

A. Eynshteyn va V. Geyzenberglar oʻz vaqtida maydonning yagona birlashgan nazariyasi ustida ish olib borganlar. Eynshteyn elektromagnit oʻzaro taʼsir bilan gravitatsion oʻzaro taʼsiri birlashtirish mumkin ekanligini aytgan edi.

Endi elektromagnit, kuchli va kuchsiz oʻzaro taʼsirlarni va, ehtimol, gravitatsion oʻzaro taʼsirlarning ham birlashishini nazarda tutsak, bu endi **superbirlashish** boʻladi, deb aytish mumkin. Tabiatning toʻrt 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.

### **45.7. 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.

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  $10^9$ - $10^{20}$  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 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.

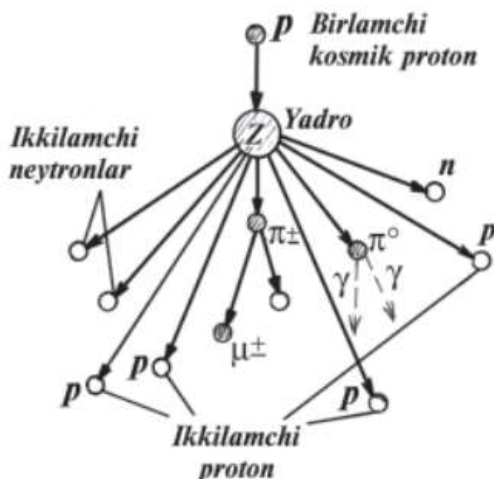
Birlamchi kosmik nurlanishning har qanday energiyali zarralari uchun Yer atmosferasi bartaraf qilib bo'lmaydigan to'siq hisoblanadi.

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.

#### 45.8. Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar

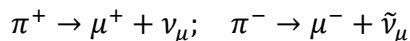
Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer atmosferasidagi havo atomlari yadrolari bilan o‘zaro to‘qnashishi tufayli sodir bo‘ladigan yadro reaksiyalari natijasida **ikkilamchi kosmik nurlar** deb ataladigan zarralar oqimi vujudga keladi. Zarralarning bu oqimi tez protonlar, neytronlar,  $\alpha$  – 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.

Ikkilamchi kosmik nurlarning paydo bo‘lish sxemasini 45.2-rasmdagidek tasvirlash mumkin.

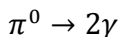


45.2-rasm

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:



$\pi^0$  – mezonlar yemirilib, ikkita yuqori energiyali  $\gamma$  – fotonga ajraladi:

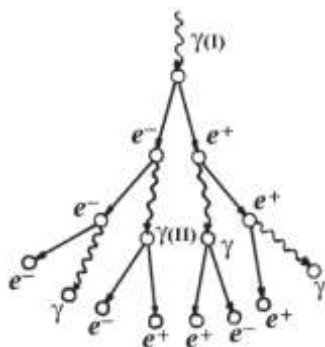


Ikkilamchi kosmik nurlarning ko‘payishidagi eng muhim hodisalardan biri kaskadli **elektron-pozitron-foton quyuni**ning hosil bo‘lishidir (45.3-rasm). Yuqori energiyali  $\gamma$  – foton (I) biror atmosfera yadrosi bilan o‘zaro ta’sirlashib, elektron-pozitron juftini yuzaga keltiradi. Hosil bo‘lgan 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.

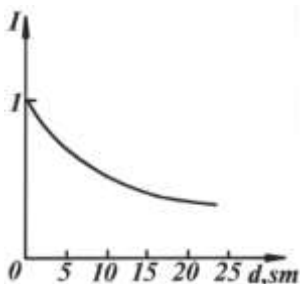
Boshlang‘ich fotonning energiyasi juda katta ( $10^8 \div 10^{10}$  eV) bo‘lgani uchun ikkilamchi zarralarning bir necha avlodi paydo bo‘ladi, natijada ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli elektron-foton quyuni (elektromagnit kaskad) yuzaga keladi.

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. 45.4-rasmda shunday o‘lchashlar natijasi tasvirlangan, bunda  $d = 0$  da kosmik nurlarning intensivligi 1 ga teng qilib olingan.  $d$  qatlamning 0 dan  $10 \div 13$  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.



45.3-rasm



45.4-rasm

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 difraksiyalanish jarayonlarini muntazam o‘rganib bordilar va 1966-yilda ular tomonidan kashf etilgan protonlarning difraksion dissotsiatsiyasi jarayoni jahon olimlari tomonidan tan olindi.

## **46–MAVZU: OLAMNING HOZIRGI ZAMON FIZIK TASAVVURI. YANGI TEXNOLOGIYALAR FIZIKASI**

### **46.1. 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

## **46.2. 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 nazariya-dan 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.

### **46.3. 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. Bu o'zaro ta'sirlar ishtirokchisiga fundamental zarralar – leptonlar va kvarklar kiradi. Leptonlar soni 6 ta edi. Har bir leptonga uning antileptoni mos keladi. Xuddi shu kabi ma'lum aromatlil har bir kvark rangi bo'yicha farqlanuvchi uch holatda bo'lishi mumkinligini inobatga olsak, har xil rangli va aromatlil 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 molekularlar egallaydi. Turli molekularlarning soni 10 mln dan ortiqni tashkil qiladi. Molekularlar

soni olimlarning yangi molekullarni sintezlashi hisobiga doimo ortib boradi.

Undan keyingi qavatni moddaning turli agregat holati – gazsimon, suyuq va qattiq holatdagi moddalar egallaydi. Bu yerda biz gazni, bugʻni, amorf jismlarni, suyuqlik va kristallarni, metallarni, yarimoʻtkazgich va dielektrlarni, kvazikristall va suyuq kristallarni, ferrit va elektretlarni va hokazo, shuningdek, hozirgi sivilizatsiya ularsiz mavjud boʻla olmaydigan koʻp boshqa narsalarni koʻrishimiz mumkin.

Undan keyingi qavatda oʻlchamlari molekullar oʻlchamlaridan ancha katta, astronomik obyektlardan kichik boʻlgan turli fizik jismlar joylashadi. Ularning qatoriga toshlarni, meteoritlarni, kometalarning yadrolarini va boshqalarni kiritsa boʻladi.

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 oʻrganish uchun **kvant xromodinamikasi** qoʻllaniladi. Kvant zarralarning elektromagnit taʼsirlashuvlarini **kvant elektrodinamikasi** tushuntirib beradi. Yadrolarning xossalarini **yadro fizikasi**, atomlarning xossalarini esa **atom fizikasi** oʻrganadi. **Molekulyar fizika** sohasi – bu molekullar va moddaning turli agregat holatlaridir. Elektromagnit maydonlarning xossalarini oʻrganish bilan **elektrodinamika**, makroskopik jismlarning oʻzaro taʼsirlashuvini oʻrganish bilan **mexanika**, **maxsus nisbiylik nazariyasi** shugʻullanadi. **Umumiy nisbiylik nazariyasi** va **astrofizika** astronomik obyektlarni va bir butun Koinot xossalarini oʻrganadi.

#### 46.4. Fizika va ilmiy-texnika inqilobi

Fizika hozirgi zamon tabiyatshunosligining yetakchi fanlaridan biridir. Fizika fanining olamni bilishdagi erishgan yutuqlari hamda ochilgan qonuniyatlari tufayli XX asrning oʻrtalaridan 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'lsalar-da, 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 kunlarga 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 tufayliga 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.

#### **46.5. Nanotexnologiya to'g'risida tushuncha. Nanoo'lchamlar**

Ma'lumki, klassik mexanika moddiy zarralarning aniq chiziqlar, ya'ni traektoriyalar bo'ylab harakat qilishini miqdoriy qonuniyatlar yordamida o'rganadi. Bunda zarraning boshlang'ich holatini ifodalovchi shartlar ma'lum bo'lsa, kelgusida uning qanday bo'lishi ham aniqlanadi. Oqibat, fanda chuqur iz qoldiradigan va olamning mexanik manzarasini yaratish (barcha hodisalarni mexanik qonunlari asosida tushuntirish) ga intilish paydo bo'ldi. Afsuski, olamni faqat mexanika qonunlari asosida desak, xato bo'lmaydi. XIX asr oxiri XX asr boshlarida matematika sohasida erishilgan yutuqlar tufayli mexanik qonunlarning yangi ko'rinishlari paydo bo'ldi. To'liq tenglamalarning otasi Ervin Shredinger tomonidan yaratilgan mikrozzarralarning harakat (Shredinger) tenglamalari klassik tasavvurlarga sig'maydigan natijalarga olib keldi. Masalan, energiyaning kvantlanishi (klassik mexanikada esa enerjiya uzluksiz bo'ladi). O'sha davrda bu tenglamalar to'g'risida fikr yuritishga jazm qiladigan inson yo'q edi. Sababi, bunga ma'lum ma'noda "fandagi shakkoklik" deb ham qaralgan.

Kvant fizikasining asoschilaridan biri M.Plank 1879-yili Myunxenda dissertatsiyasini himoya qilgandan keyin ustози Filip fon-Jolliga nazariy fizika bilan shug'ullanish niyati borligini aytadi. Ustoz esa o'z navbatida nazariy fizika poyoniga etgani, faqat ba'zi xususiy hollar, boshlang'ich va chegaraviy shartlarni o'zgartirib differentsial tenglamalarning yechimini topish qolgani, umuman, bu "istiqbolsiz ish" bilan shug'ullanish befoydaligini uqtiradi. Shunga

qaramay Plank nazariy fizika bilan shug‘ullanishni davom ettirib, 1900-yili elektromagnit nurlanishning diskret ekanligini kashf qildi. 1905-yilda Eynshteyn tomonidan elektromagnit maydonning energiyasi diskret strukturaga egaligi, undagi eng kichik zarra fotonni aniqlaydi, keyinchalik atomning kvant nazariyasi va kvant mexanikaga asos soladi. U davrda kvant mexanikasi tushunchalarining ilm aqli tomonidan qabul qilinishi qiyin kechdi. Boisi, birinchidan, kichik zarralarning kichik o‘lchamlarda harakat trayektoriyasi degan tushunchaning yo‘qligi, ikkinchidan, Veyner Geyzenberg tomonidan kiritilgan noaniqlik prinsipi edi. Unga ko‘ra, kichik o‘lchamlarda zarrachaning impulsi va koordinatasi (energiya yoki vaqt)ni bir vaqtda katta aniqlikda o‘lchab bo‘lmaydi.

Fizikadan bilamizki “nano” o‘lchov birliklarning old qo‘shimchasi bo‘lib, milliarddan birini ifodalaydi. Masalan, 1 nanometr – metrnng milliarddan biri degani. Inson soch tolasi o‘rtacha 100 000 nanaometr ekanini hisobga olsak uning qanchalik kichik o‘lchamligi haqida tasavvurga ega. Nano asli yunoncha “nanos” degan ma’noni anglatadi. Atomlar va ular orasidagi masofa ham nanometr ulushlarida o‘lchanadi.

Moddalarning fizik va kimyoviy xususiyatlari ham atomlarning turiga, tuzilishiga va o‘zaro munosabatlariga bog‘liq. Bugungi ilmiy tadqiqotlar atom o‘lchamidagi nanotuzilmalar hajmiy modda xususiyatlaridan anchagina farqlanishini ko‘rsatmoqda. Nanotuzilmalardagi fizik va kimyoviy jarayonlarning izohlash esa yangi qonuniyatlarni keltirib chiqarmoqda. Sodda qilib aytganda, bir necha atom o‘lchamlardagi obyektlarning noan’anaviy xususiyatlarni o‘rganadi.

Nanotexnologiya atamasini birinchi bo‘lib, 1974-yilda yapon olimi Norio Taniguchi (NARIO TANIGUCHI) alohida atomlarni boshqarib, yangi obyekt va materiallar tuzish jarayonini izoqlash uchun ishlatgan edi. Ushbu sohada ilk texnik vositalar Shveysariyaning IBM laboratoriyalarida ixtiro qilingan. 1982-yili skanirlovchi zondli mikroskopni ixtiro qilgan Gard Binnig (GERD BINNIG) va Genri Rorerlar (HENRI ROHRER) to‘rt yildan so‘ng ushbu ixtiro uchun Nobel mukofotiga sazovor bo‘lishgan. 1986-yilga kelib, atom-kuch mikroskopi qilindi. Bu uskunalar nafaqat nanodunyoni tomosha qilishga, balki yangi nanoobyektlarni

qurishga ham imkon bermoqda. Shu bois, bugun dunyo nanotexnologik inqilob ostonasida turibdi desak adashmagan bo‘lamiz.

**Nanotexnologiya nima uchun kerak?** Yigirma-o‘ttiz yil ilgari bitta kompyuter bir xonaga sig‘mas edi. Ko‘p o‘tmay stolimiz ustida turadigan darajaga keldi. Hozir esa cho‘ntagimizga sig‘adiganlari bor. Taraqqiyot shu sur‘atda davom etadigan bo‘lsa, ertaga soatimizga yoki uzugimizga taqiladigan kompyuterlar ishlab chiqarilsa ham ajablanmasak bo‘ladi. Zero, nanotexnologiya yana shunday imkoniyatlarga yo‘l ochmoqda. Xato tushunmaylik, nanotexnologiyaning maqsadi, faqat “mitti”lashtirishdan iborat emas. Texnikada biror vazifani bajarish uchun material, energiya va vaqt sarfi katta ahamiyatga ega. Nanotarmoqdagi miniatyuralashtirishga intilish ham qulaylikdan tashqari ana shu unurni tejash maqsadida yuzaga kelmoqda.

So‘nggi yillardagi tadqiqotlar natijasida mikroelektron asbob yasash uchun moddaning nafaqat sirt qatlami, hatto bir necha atom qatlamining o‘zi yetarli bo‘lib, qolgan hajm esa ortiqcha material sarfi ekanligi ma‘lum bo‘ldi. Bundan tashqari jism sirtidagi jarayonlar yanada tezroq bo‘lishi uchun, yupqa va o‘ta yupqa qatlamli qurilmalar vaqt tejashda ham tejamkorlik imkoniyatini beradi. Shuningdek bitta yoki bir necha atom qatlamlaridan tashkil topgan nanotuzilmalarda fizik va kimyoviy jarayonlarning o‘zgacha tus olishni ilm sohasida yangi nanofanlarni keltirib chiqaryapti. Kvant nazariyasi, sirt fizikasi va kimyosi, kristallografiya, molekulyar biologiya, biokimyo nanofanlarning asosini tashkil qiladi.

#### **46.6. Nanotexnologiya qo‘llanilayotgan sohalarning istiqbollari**

Fullerenlar deb ataluvchi futbol va gerbi to‘pi shaklidagi kristall strukturalarga ega uglerod klasterlaridan (ko‘p atomli molekularlar) o‘stirilayotgan bir va ko‘p qatlamli nanonaychalar nanoelektronika tarmoqiga yo‘l ochishi natijasida yaqin o‘n yil ichida an‘anaviy kremniy chiplarining o‘rnini egallashi mumkin. Chunki 50 nanometrdan kichik o‘lchamdagi elementlardan tashkil topgan mikrosxemalarda kvant-mexanik effektlar qisqa tutashuvlarga olib



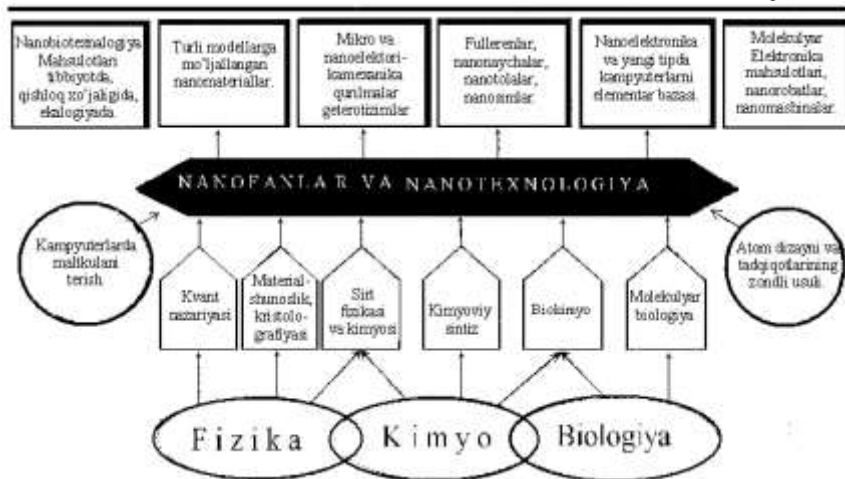
keladi. Uglerodli nanonaychalar esa bunday kamchiliklardan xoli. Ularning kristall panjarasiga ozgina ta'sir qilish bilan elektrofizik xususiyatlarini o'zgartirish mumkin. Natijada bir nanometr diametrli metall va yarim o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega uglerodli nanonaychanning bog'lanishidan diod, dielektrik ustidagi nanonaychadan esa maydon tranzistori kanali yasaladi. Bunday nanoasboblarning laboratoriya sharoitida allaqachon sinab ko'rilgan. Nanonaychalarning qalinligi soch tolasidan o'n ming marta kichik ammo mustahkamligi po'latdan o'n marta katta. Kelajakda bir necha metr uzunlikdagi nanonaychalar sintez qilinishga erishilsa sanoat va texnikada katta o'zgarishlar ro'y berishi mumkin. Chunki, yuzlab kilogram yukni ko'taradigan soch tolasidek ingichka material ko'plab sohalarda asqotishi turgan gap.

Yaqinda Kornel (CORNELL) universitetida o'ta kichik og'irlikni ya'ni 10 grammni o'lchay oladigan nanoelektromexanik tarozi ishlab chiqildi. Nanotexnologiyalar yordamida o'ta sof materiallar olish mumkinligi ham isbotlangan. Ma'lumki materialning bardoshliligi uning kristall nuqsonlardan va begona modda atomlaridan holi ekaniga bog'liq. Oxirgi izlanishlar tekis terilgan, begona atom yoki molekulalardan xoli nanokukunchalar bilan qoplangan sirtlarning arzon hamda tashqi ta'sirlarga (emirilish, issiqlik, namlik, nurlanish va hokazo ) chidamli ekanligini ko'rsatgan. Athlon va Intel Pentium elektromexanik chiplariga ishlov berilayotganda oltingugurt yodidan iborat nanokukun bilan silliqanishi ushbu firmalarning mashhur bo'lib ketishida juda muhim rol o'ynaydi.

Fanning nanokimyosida noan'anaviy xususiyatlarga ega materiallarni sintez qilishga erishilmoqda. Masalan, 3-5 nanometrli oltin nanokukunlari ajoyib katalizator ekani ma'lum bo'lgach, Yaponiyadagi bir shirkat uni hojatxonadagi yoqimsiz hidlar tashuvchi molekulalarni parchalaydigan hid yutgich sifatida ishlab chiqarishni yo'lga qo'ydi. Hozirgi tozalash texnologiyalarida neftning deyarli 20 foizi qayta ishlash imkoni yo'q. So'nggi yillarda begona molekulani umuman o'tkazib yubormaydigan nanokatalizatorlar ustida ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bunday uskunada neftning 100 foizini qayta ishlash imkoni tug'ilishi mumkin

Ko'pchilik tadqiqotchi va ekspertlarning fikricha, XXI-asr nanofanlar va nanotexnologiyalar asri bo'ladir (45.2-jadval). 2015 yili nanotexnologiyalar tarmoqining ulushi jahon iqtisodida 1,1 trilliard dollarni tashkil qildi.

45.2 – jadval



Molekula va hujayra o'lehamlaridagi bioobyektlar va biojarayonlar bilan shug'ullanuvchi soha – nanotexnologiya yo'nalishida erishilayotgan natijalar ham kishini hayratga soladi. Nyu-York universitetining xodimlari Nadrian Sekmen (Nadrian Seeman) va Uilyam Shermen (William Sherman) "ikki oyoqda" harakatlanuvchi biologik nanoqurilmani ishlab chiqishda muvaffaq bo'lishgan. DNK molekularidan yasalgan va mitti konteyner vazifasini bajara oladigan bu nanorobotni murakkab nanotuzilmalarni yig'ishda ishlatish mumkin. "Nature" jurnalining yozishicha, AQSh ning Perdu (Purdue Institute) va Rossiyaning Bioorganik kimyo institutlari tadqiqotchilari hamkorlikda virusni biokimyoviy igna sifatida ishlatib, hujayra ichiga implantatsiya qilishga erishganlar. Tirik hujayra ichiga kira oladigan "bioigna"dan sog'lom DNK ni xavfli o'smaga aylanayotgan hujayralar ichiga joylashtirishda foydalanish mumkin. Bu esa kelajakda nanotibbiyotdagi gen-terapiya qurilmalarini xavfli o'smalarni davolashda ishlatish imkonini beradi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

### Asosiy adabiyotlar

1. D. Giancoli. PHYSICS (PRINCIPLES WITH APPLICATIONS) – Published by Pearson Education, Inc. All rights reserved. Manufactured in the United States of America, 2014
2. Hugh d. Young, Roger A. Freedman. UNIVERSITY PHYSICS with modern physics (13<sup>th</sup> Edition) Copyright ©2012, 2008, 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison-Wesley. Manufactured in the United States of America, 2012
3. Abduraxmonov Q., Egamov O‘. Fizika, Darslik. – T.: O‘quv-ta’lim metodikasi DUK., 2015.
4. Трофимова Т.И. Курс физики – М.: Высшая школа, 2007.
5. Sultonov N.A. Fizika kursi. Darslik. – T.: Fan va texnologiya, 2007. 304 b.

### Qo‘shimcha adabiyotlar

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007.
2. Зайнабидинов С.З., Тешабоев А. Ярим ўтказгичлар физикаси. – Т.: Ўқитувчи., 1999.
3. O‘lmasova M.H. Fizika. Optika, atom va yadro fizikasi. 3-kitob. – T: Cho‘lpon. 2010. 384 b.

## MUNDARIJA

<b>KIRISH</b> .....	3
<b>4 BOB. KVANT FIZIKA</b> .....	4
<b>35-MAVZU: YORUG‘LIKNING KVANT XUSUSIYATLARI</b> .....	4
35.1. Issiqlik nurlanishi. Absolyut qora jism .....	4
35.2. Kirxgof qonunlari .....	5
35.3. Absolyut qora jismning nurlanish qonunlari .....	6
<b>36-MAVZU: KVANT OPTIKASI ELEMENTLARI</b> .....	9
36.1. Fotoeffekt hodisasi. Fotoeffekt qonunlari. Eynshteyn formulasi .....	9
36.2. Fotoeffektning nazariyasi .....	12
36.3. Fotoeffekt nazariyasi .....	16
36.4. Yorug‘likning bosimi. Lebedev tajribasi .....	18
36.5. Kompton effekti .....	22
<b>37-MAVZU: KVANT MEXANIKASI ELEMENTLARI</b> .....	23
37.1. Mikrozarralarning to‘lqin tabiati. Zarra – to‘lqin dualizmi. Elektronlar difraksiyasi .....	23
37.2. Geyzenberg noaniqliklar tushunchasi .....	25
37.3. To‘lqin funksiya va uning statistik ma’nosi .....	26
<b>38-MAVZU: VODOROD ATOMI UCHUN BOR NAZARIYASI</b> .....	27
38.1. Rezerford tajribasi. Atomning yadroviy momenti .....	27
38.2. Bor postulatları. Frank-Gers tajribasi .....	31
38.3. Vodorod atomining nurlanish spektri .....	32
<b>39-MAVZU: SHREDINGER TENGLAMALARI</b> .....	34
39.1. Shredingerning statsionar tenglamasi .....	34
39.2. Bir o‘lchamli to‘g‘ri burchakli cheksiz baland to‘siq ichidagi zarra .....	35
<b>40-MAVZU: VODOROD ATOMINING KVANT NAZARIYASI</b> .....	41
40.1. Kvant mexanikasida vodorod atomi .....	41
40.2. Kvant sonlari. Pauli prinsipi. Mendeleyev davriy sistemasi to‘ldirilishining fizika tushuntirilishi .....	42
<b>41-MAVZU: KVANT STATISTIKASI ELEMENTLARI</b> .....	47
41.1. Kvant statistikasi haqida tushuncha .....	47
41.2. Metallarda elektronlarning kvant statistikasi .....	49

41.3. Metallarda elektr o'tkazuvchanligining kvant statistikasi. O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi .....	52
<b>42-MAVZU: QATTIQ JISMLAR FIZIKASI ELEMENTLARI</b>	52
42.1. Qattiq jismdagi energetik zonalar. Metall, yarimo'tkazgich, dielektriklar .....	52
42.1.1. Kontakt potentsiallar farqi .....	54
42.2. Termoelektr hodisasi. Termoelektr yurituvchi kuch. Termopara .....	56
42.3. Termoelektron energetik o'zgartgichlar .....	59
42.4. Yarimo'tkazgichning xususiy va aralashmali o'tkazuvchanligi .....	61
42.5. Yarimo'tkazgichli diod .....	67
42.6. Yarimo'tkazgichli tranzistor .....	70
<b>43-MAVZU: KVANT ELEKTRONIKASI ELEMENTLARI ....</b>	72
43.1. Majburiy va spontan nurlanishlar. Lazerlar va ularning ishlash prinsipi .....	72
43.2. Metallarda elektr o'tkazuvchanlikning kvant nazariyasi. Jozefson effekti .....	76
<b>44-MAVZU: ATOM YADROSINING TUZILISHI VA XOSSALARI. RADIOAKTIVLIK</b> .....	78
44.1. Atom yadrosining tuzilishi. Yadroviy kuchlar .....	78
44.1.1. Yadroning zaryadi, massasi va radiusini aniqlash usullari	81
44.2. Yadro massasining bog'lanish energiyasi. Massa defekti ....	83
44.3. Radioaktivlik. Alfa-, beta- va gamma-nurlar .....	88
44.3.1. Siljish qoidalari. Neytrino .....	91
44.3.2. Radioaktiv yemirilish qonuni. Radioaktiv oila .....	94
44.4. Yadroviy reaksiyalar. Yadroviy reaksiyalarning asosiy qonuniyatlari .....	97
44.5. Yadrolarning bo'linishi .....	100
44.6. Zanjir reaksiya. Reaktorlar .....	102
44.7. Yadroviy reaktorlar .....	103
44.8. Termoyadroviy reaksiyalar .....	104
<b>45-MAVZU: ELEMENTAR ZARRALAR HAQIDA MA'LUMOT</b> .....	107
45.1. Elementar zarralar tarkibi .....	107
45.2. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi .....	110
45.3. Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari. Annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishi .....	112

45.4.	Elementar zarralar sinflari .....	115
45.5.	Elementar zarralarning kvark modeli. Glyuonlar .....	117
45.6.	Elementar zarralarning o‘zaro ta’sir turlari. Fizikaviy ta’sir turlarining birlashgan nazariyasi haqida tushuncha .....	119
45.7.	Kosmik nurlar haqida tushuncha. Birlamchi kosmik nurlar .	122
45.8.	Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar .....	124
<b>46-MAVZU: OLAMNING HOZIRGI ZAMON FIZIK TASAVVURI. YANGI TEXNOLOGIYALAR FIZIKASI .....</b>		127
46.1.	Olamning mexanik manzarasi .....	127
46.2.	Olamning elektromagnit manzarasi .....	128
46.3.	Olamning hozirgi zamon fizik manzarasi .....	129
46.4.	Fizika va ilmiy-texnika inqilobi .....	131
46.5.	Nanotexnologiya to‘g‘risida tushuncha. NANO‘LCHAMLAR ....	134
46.6.	Nanotexnologiya qo‘llanilayotgan sohalarning istiqbollari ..	136
<b>FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI .....</b>		139

**Muharrir:**

**Sidikova K.A.**