



IV BOB

ATOM VA ATOM YADROSI

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

26-§. Atomning modellari. Atom tuzilishiga oid Rezerford tajribasi

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

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

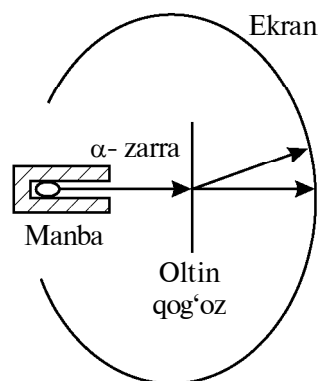
tarkibiga kiruvchi zarra – elektronni yo‘qotganda yoki uni qo‘shib olganda ionga aylanadi. Agar atom tarkibida manfiy zaryadlangan zarra – elektronning mavjudligi ma‘lum bo‘lsa, u holda atomda yana nima bo‘lishi mumkin, degan savol tug‘iladi. Tabiiyki, elektronlarning zaryadiga teng bo‘lgan musbat zaryad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



J. J. TOMSON
(1856–1940)

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

Rezerford tajribasi. Rezerfordning o‘z oldiga qo‘ygan maqsadini tushunish uchun atomning Tomson modelini oddiy tarvuz sifatida tasavvur qilaylik: tarvuzning go‘шти musbat zaryadlari bo‘lsa, danaklari elektronlar bo‘lsin. Bunga ishonch hosil qilish uchun qanday yo‘l tutish kerak? Bunday tarvuzni parchalab bo‘lmaydi, chunki u juda kichkina, kattaligi 10^{-10} m. Yagona yo‘l tarvuzga undan ham kichikroq jismlarni yo‘naltirish, ya‘ni uni nishonga olib otish. Tarvuzni teshib o‘tgan o‘q uning ichki tuzilishi haqida ma‘lumot beradi. Bordi-yu, tarvuzning markazi tomon yo‘nalgan o‘qlar uni teshib o‘tmasdan orqaga qaytsa-chi? Bundan qanday xulosa chiqariladi? Demak, uning markazida o‘q teshib o‘ta olmaydigan, og‘ir o‘zak bo‘lmog‘i kerak. Aks holda o‘q orqaga qaytmas edi. Endi Rezerford tajribasining sxemasi bilan tanishaylik (43- rasm). Rezerford tajribasida



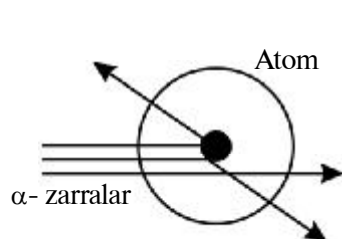
43- rasm.

atomga α -zarralar oqimi yo'naltiriladi. α -zarraning zaryadi $+2e$ ga, massasi esa $6,64 \cdot 10^{-27}$ kg ga teng. Manba tor tirqishli qo'rg'oshin idishda joylashtirilgan bo'lib, zarralar ma'lum yo'nalishdagina chiqariladi va boshqa yo'nalishdagilarini qo'rg'oshin devorlar yutib qoladi. α -zarralarning yo'liga perpendikular qilib $1 \mu\text{m}$ qalinlikdagi oltin qog'oz qo'yilgan. Oltin qog'ozdan o'tgan α -zarralarning yo'nalishi ekran yordamida qayd qilingan. Rezerford o'z tajribasida α -zarralarning bir qismi dastlabki yo'nalishidan ma'lum burchaklarga og'ishini va hatto oltin qog'ozdan qaytuvchi zarralar ham bo'lishini qayd etgan. Garchi bunday hol 10 000 ta zarradan bittasida kuzatilsa-da, Tomson modeli nuqtayi nazaridan mutlaqo tushunarsiz edi.

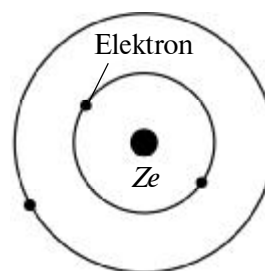
Rezerford tajribasidan xulosa. «Tavvuz»ning markaziga yo'naltirilgan o'q uni teshib o'tmay orqaga qaytganda biz qanday xulosa chiqargan bo'lsak, Rezerford ham o'z tajribasi natijasidan shunday xulosa chiqargan. Ushbu xulosaga muvofiq, atomning markazida undan 10 000 marta kichik, ya'ni kattaligi 10^{-14} m bo'lgan o'zak (yadro) mavjud bo'lmog'i kerak. Yadroda atomning musbat zaryadi va massasining asosiy qismi (qariyb 95 foizi) mujassamlashgan. Agar α -zarra oltin qog'ozdagi atom yadrosidan uzoqdan o'tsa, o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi (44- rasm). Agar yadroga duch kelib qolsa, orqaga qaytishi kuzatiladi. Yadro atomdan 10 000 marta kichik bo'lgani uchun α -zarralarning 10 000 tadan bittasi u bilan to'qnashishi va orqaga qaytishi kuzatilgan.

Xo'sh, unda atom qanday tuzilgan?

Atomning yadroviy (planetar) modeli. Tajriba natijalari asosida Rezerford 1911- yilda atomning yadroviy (planetar) modelini taklif qildi. Ushbu modelga ko'ra atom jajjigina quyosh siste-



44- rasm.



45- rasm.

masidek tasavvur qilinadi. Elektronlar yadro atrofida (yopiq) orbitalar – atomning elektron qobig‘i bo‘ylab harakatlanadi va ularning zaryadi yadrodagi musbat zaryadga teng (45- rasm).

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

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



Sinov savollari

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

27-§. Vodorod atomining spektri

M a z m u n i : atomning tuzilishi va uning nurlanish spektri; Balmer seriyasi; Pashen va Layman seriyalari; Balmerning umumlashgan formulasi; kombinatsion prinsip; atomlar spektri va Rezerford modeli.

Atomning tuzilishi va uning nurlanish spektri. Yuqorida qayd etilganidek, atomning o‘lchamlari juda kichik bo‘lgani uchun

($\approx 10^{-10}$ m) uning tuzilishini bevosita o'rganish juda qiyin. Shuning uchun uning tuzilishini bilvosita, ya'ni ichki tuzilishi akslanuvchi xarakteristikalar yordamida o'rganish maqsadga muvofiqdir. Shunday xarakteristikalaridan biri — atomning nurlanish spektri. Atomning nurlanish spektri, ya'ni atom elektromagnit nurlar chiqarishida (yoki yutishida) hosil bo'ladigan optik spektrlar ancha batafsil o'rganilgan. Tajriba natijalariga asoslanib, ularni tushuntirib beruvchi ba'zi qonunlar ham yaratilgan. Masalan, barcha elementlarning spektral chiziqlarini bir qancha seriyalarga (dastalarga) bo'lish mumkin. Turli kimyoviy elementlar mos seriyalarining tuzilishlari esa bir-birlariga juda ham o'xshashdir. Aytganlarimizni eng sodda atom — vodorod atomi misolida ko'raylik.

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

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (27.1)$$

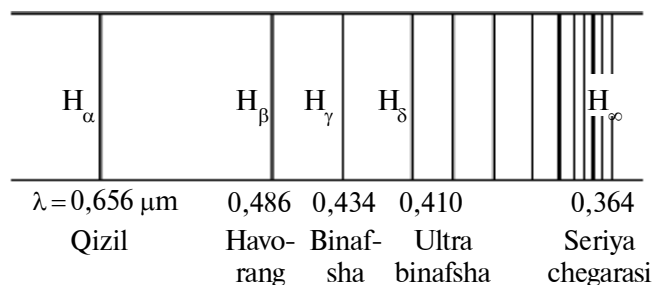
formulani topdi. Bu yerda $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ — Ridberg doimiysi (shu kattalikni fanga kiritgan shvetsiyalik fizik I. Ridberg (1854–1919) sharafiga shunday nomlangan). Agar $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ekanligini nazarda tutsak, Balmer formulasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R' \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (27.2)$$

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

n ning turli qiymatlariga qarab chiziqlar guruhi hosil bo'ladi va ularga *Balmer seriyasi* deyiladi. 46- rasmda Balmer seriyasi ko'rsatilgan bo'lib, H_α , H_β , H_γ , H_δ lar bilan ko'zga ko'rinuvchi chiziqlar belgilangan bo'lsa, H_∞ ga Balmer seriyasining eng so'nggi chizig'i mos keladi.

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



46- rasm.

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 2, 3, 4, \dots) \quad (27.3)$$

va infraqizil sohasida Pashen seriyasi

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 4, 5, 6, \dots) \quad (27.4)$$

joylashgan.

Balmerning umumlashgan formulasi. (27.1), (27.3) va (27.4) formulalarni solishtirish ularning o'xshashligini ko'rsatib turibdi. Modomiki shunday ekan, ularni yagona formulaga birlashtirish mumkin emasmi, degan savol tug'iladi. Bunday formula:

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (27.5)$$

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

4-jadval

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

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

Kombinatsion prinsip. Tajribalarning ko'rsatishicha, yuqoridagiga o'xshash spektrlar nafaqat vodorodda, balki ishqorli metallarda (Li, Na, K) ham kuzatiladi. Ularda ham spektral chiziqlarning joylashuvi Balmer formulasiga o'xshash formula bilan aniqlanadi. Ushbu spektrlarni o'rgangan shveysariyalik fizik V.Rits, biror spektral chiziqning chastotasi, ikkita boshqa chiziqlar chastotalarining yig'indisiga teng bo'lib qolishiga e'tibor berdi. Bu holni tushuntirish maqsadida u *kombinatsion prinsip* deb ataluvchi quyidagi Ridberg–Rits prinsipini olg'a surdi: *har bir atom uchun **spektral termlar** deb ataluvchi shunday sonlar ketma-ketligi mavjudki, shu atomning barcha spektral chiziqlarining chastotasini ikkita shunday spektral termlarning ayirmasi ko'rinishida ifodalash mumkin, ya'ni*

$$\nu = T(m) - T(n). \quad (27.6)$$

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

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

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

Amalda esa atomlar juda mustahkam sistema hisoblanadi.

Ikkinchidan, elektron atomga yaqinlashgan sari orbitasi-ning radiusi kichraya boradi ($R \rightarrow 0$), tezligi esa o'zgarmaydi

($v = \text{const}$). Natijada tezlanishi $\left(\frac{mv^2}{R}\right)$ ortishi bilan elektronning

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

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

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

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



Sinov savollari

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

27. Nima uchun elektronning nurlanish chastotasi uzluksiz bo'lishi kerak? 28. Tajribalar atomning nurlanish chastotasi qandayligini ko'rsatadi? 29. Rezerford modeli nimalarni tushuntirib bera olmadi? 30. Yana qanday asoslar yangi nazariya tug'ilishidan dalolat berardi?

28-§. Borning kvant postulatları



N. BOR
(1885–1962)

Mazmuni: Bor postulatları; birinchi Bor radiusi; atomdagi energetik sathlar; chiziqli spektrlar; Ridberg doimiysi; Frank–Gers tajribalari; Bor nazariyasining kamchiliklari.

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

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

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

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

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

$$m_e v_n r_n = n\hbar, \quad (28.1)$$

bu yerda m_e – elektronning massasi; r_n – n - orbitaning radiusi; v_n – elektronning shu orbitadagi tezligi; $m_e v_n r_n$ – elektronning shu orbitadagi impuls momenti; n – nolga teng bo'lmagan ($n \neq 0$)

butun son, unga *bosh kvant soni* deyiladi; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (h – Plank doimiysi).

Demak, Borning birinchi postulatiga ko'ra, atomdagi elektron istalgan orbita bo'ylab emas, balki statsionar orbita deb ataluvchi ma'lum orbitalar bo'ylab harakatlanishi mumkin. Bu harakat davomida u o'zidan nurlanish chiqarmaydi, ya'ni energiyasi kamaymaydi. Energiyasi kamaymasa, yadroga tushmaydi va atom yo'qolmaydi. Shunday qilib, ushbu postulat Rezerford modelining birinchi kamchiligini bartaraf qiladi.

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

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (28.2)$$

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

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

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

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

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}. \quad (28.3)$$

Demak, Borning ikkinchi postulatiga ko'ra, elektron istalgan chastotali nurlanish chiqarmay, chastotasi (28.3) shartni qanoatlantiruvchi nurlanishnigina chiqarishi mumkin. Va aynan

shuning uchun ham, atomning nurlanish spektri uzluksiz bo'lmay, uzlukli (chiziqli) ko'rinishga egadir. Demak, Borning ikkinchi postulati Rezerford modelining ikkinchi kamchiligini bartaraf qiladi.

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

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e \cdot e}{r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}. \quad (28.4)$$

Bu yerda e — elektronning va protonning zaryadi, ϵ_0 — elektr doimiysi. Endi (28.1) ifodadan v_n ni aniqlab olamiz va natijani (28.4) ga qo'yib, undan r_n uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m_e e^2}, \quad (28.5)$$

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

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

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

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

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

$$E = E_k + E_p. \quad (28.6)$$

Agar

$$E_k = \frac{m_e v_n^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} \quad (28.7)$$

va

$$E_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (28.8)$$

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

$$E = E_k + E_p = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}. \quad (28.9)$$

(28.7) ifodani hosil qilishda (28.4) dan va (28.8) ni hosil qilishda ikki zaryad orasidagi o'zaro ta'sir potensial energiyasini aniqlash qoidasidan foydalandik.

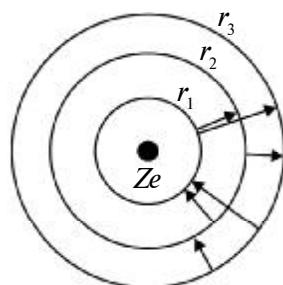
Endi r_n uchun topilgan (28.5) ifodani (28.9) ga qo'yib, atomning istalgan energetik sathdagi energiyasi E_n ni topamiz:

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (28.10)$$

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

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

$$h\nu = E_2 - E_1 = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (28.11)$$



47- rasm.

energiyali foton chiqariladi yoki yutiladi. Agar elektron ikkinchi orbitadan ($n_2 = 2$) birinchisiga o'tsa ($n_1 = 1$), foton chiqariladi (47- rasm). Teskari holda — yutiladi. Elektronni $n_1 = 1$ orbitadan $n_2 \rightarrow \infty$ ga o'tkazish uchun, boshqacha aytganda, elektronni atom yadrosidan ajratib olish (atomni ionlashtirish) uchun eng katta energiya sarflanadi. Bu

energiyaning qiymati 13,53 eV ga teng bo'lib, vodorod atomini ionlashtirish energiyasidir.

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

(28.11) ifoda yordamida chiqariladigan yoki yutiladigan fotonning chastotasini yoki to'lqin uzunligini aniqlash mumkin:

$$\nu = \frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (28.12)$$

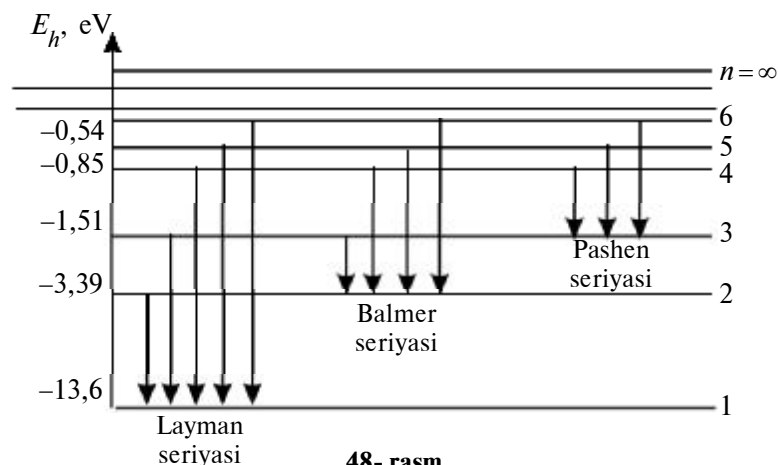
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2 c} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (28.13)$$

Ushbu formulalar *seriyalar formulasi* deyiladi. Ular yordamida vodorod atomi spektrining barcha seriyalarini hosil qilish mumkin (48- rasm).

Ridberg doimiysi. (28.12) ifodani Balmerning umumlashgan (27.5) formulasi bilan solishtirib, ularning juda o'xshashligiga ishonch hosil qilamiz. Faqat (28.12) dagi Ridberg doimiysi

$$R = \frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2} \quad (28.14)$$

ga tengligini ko'ramiz. (28.14) asosida topilgan Ridberg doimiysining qiymati tajribada topilgan natijalar bilan to'la mos



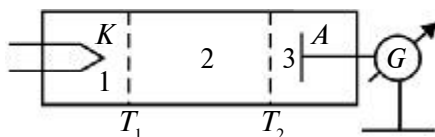
48- rasm.

keldi. Bu esa vodorod atomi uchun Bor nazariyasi to'g'riligi-ning yaqqol isbotidir.

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

Frank–Gers tajribasi. Nemis fiziklari D. Frank va G. Gers elektronlarning gaz atomlari bilan to'qnashuvini tutuvchi potentsiallar usulida o'rganib (1913- yil), atom energiyasi qiymatlarining diskretligini tajribada isbotladilar. Tajribaning sxemasi 49- rasmda keltirilgan.

Simob bug'lari bilan to'ldirilgan, havosi so'rib olingan nayda katod (K), anod (A) va to'rlar (T_1 va T_2) bo'lgan. Katoddan chiqqan va 1- sohada tezlashtirilgan elektronlar 2- sohada simob atomlari bilan to'qnashadi. Bunda ular simob atomlarini g'alayonlantirishi mumkin. Bor nazariyasiga muvofiq, agar chindan ham simob atomlarining energetik sathlari diskret bo'lsa, ular faqat ma'lum energiyani olib, birorta g'alayonlangan holatga



49- rasm.

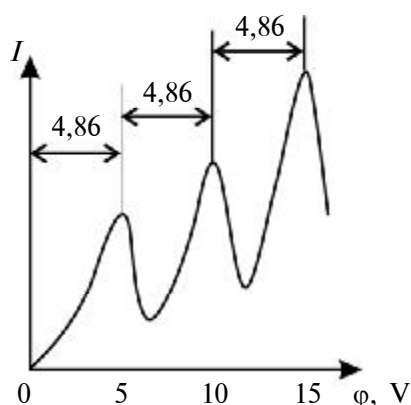
o'tishlari mumkin. Shuning uchun elektron simob atomlari bilan to'qnashganda atomning statsionar holatlari orasidagi energiya farqiga teng energiyagina yo'qotadi.

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

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

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

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



50- rasm.

kerak. Agar $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$ ekanligini nazarda tutsak, $\lambda \approx 0,255 \text{ } \mu\text{m}$ va bu ultrabinafsha nurlanishga to'g'ri kelishini topamiz. Tajriba haqiqatan ham $\lambda \approx 0,254 \text{ } \mu\text{m}$ to'liq uzunlikli ultrabinafsha nur chiqishini aniqladi. Bu esa Borning ikkinchi postulati ham to'g'ri ekanligining isbotidir.

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



Sinov savollari

1. N.Bor qanday nazariya yaratdi? 2. Uning asosiy maqsadi nimadan iborat edi? 3. Bor o'z nazariyasini qanday g'oyaga asoslanib yaratdi? 4. Kvantlanish deb nimaga aytiladi? 5. Kvant nazariyasi deb-chi? 6. Bor nazariyasining asosini nima tashkil qiladi? 7. Bor postulatlaridan nima maqsad ko'zlangan? 8. Statsionar holatlar haqidagi postulat nimadan iborat? 9. Elektron harakat miqdorining kvantlanishini tushuntiring. 10. Bosh kvant soni qanday qiymatlarni qabul qiladi? 11. Borning birinchi postulati Rezerford modelining qanday kamchiligini bartaraf qiladi? 12. Chastotalar haqidagi postulat nimadan iborat? 13. Qachon foton chiqariladi? 14. Foton chiqarilganda elektron qaysi orbitaga o'tadi? 15. Qachon foton yutiladi va bunda elektron qaysi orbitaga o'tadi? 16. Nurlanish ro'y beradigan chastota qanday aniqlanadi? 17. Borning ikkinchi postulati Rezerford modelining qanday kamchiligini bartaraf qilgan? 18. Vodorod atomidagi elektron qanday kuchlar ta'sirida bo'ladi? 19. Vodorod atomidagi elektron orbitalarining radiusi qanday aniqlanadi? 20. Birinchi Bor radiusi nimaga tengligini hisoblab toping. 21. Energetik sath deb nimaga aytiladi? 22. Bor nazariyasiga muvofiq atom yadrosi

qanday holatda deb hisoblanadi? 23. Atomning to'la energiyasi nimaga teng? 24. Elektronning aylanma harakat kinetik energiyasi nimaga teng? 25. Elektron va yadroning o'zaro ta'sir potensial energiyasi nimaga teng? 26. Atomning istalgan energetik sathdagi energiyasi qanday aniqlanadi? 27. Vodorod atomi energiyasining manfiyligini qanday tushuntirasiz? 28. $n = 1$ holat qanday holat? 29. $n > 1$ holatlar-chi? 30. Bunday holatdagi vodorod atomini ionlashtirish uchun qancha energiya sarflanadi? 31. Elektron bir energetik sathdan ikkinchisiga o'tganida chiqaradigan fotonning energiyasi qanday aniqlanadi? 32. Qachon foton chiqariladi, qachon yutiladi? 33. Atomni ionlashtirish uchun qanday energiya sarflanadi? 34. Vodorod atomi uchun bu energiyaning qiymati nimaga teng? 35. Vodorod atomining asosiy holatidagi elektronning energiyasi nimaga teng? 36. Bu energiyaning manfiyligi nimaga ishora? 37. Qanday elektronning energiyasi nolga teng deb olinadi? 38. Seriyalar formulasini yozing. 39. 48- rasmdagi manzarani tushuntiring. 40. Ridberg doimiysi nimaga teng? 41. Ridberg doimiysining nazariy qiymati va tajribada topilgan natijalar mos keladimi? 42. Frank—Gers tajribalaridan maqsad nima? 43. 50- rasmdagi holatni tushuntirib bering. 44. Anod tokining bunday o'zgarishiga sabab nima? 45. 4,86 eV qanday energiya? 46. Frank—Gers tajribalari simob atomlarining statsionar orbitalari mavjudligini isbotladimi? 47. Simob atomi g'alayonlangan holatdan asosiy holatga o'tganida qanday nurlanish chiqarishi kerak? 48. Tajriba qanday natijani ko'rsatdi? 49. Bu natijadan qanday xulosa chiqarish mumkin? 50. Bor nazariyasining ahamiyati nimada? 51. Bor nazariyasining kamchiliklari nimadan iborat? 52. Bu kamchiliklarning mavjudligiga sabab nima?

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

M a z m u n i: Lui de Broyl gipotezasi; Devisson va Jermer tajribasi; ta'sir kvanti.

Lui de Broyl gipotezasi. Bor nazariyasidan ham takomillashgan nazariyani yaratish olimlarni to'liq mexanikasi bilan bog'liq g'oyalarga murojaat qilishga undadi. Buning asosiy sababi, *nurlanishning korpuskular-to'liq dualizmidir*. Bizga ma'lumki, foton tushunchasi kiritilgandayoq uning energiyasi va chastotasi orasidagi $E = h\nu$ munosabat yozilib, foton mavjudligining o'zi bevosita dualizm bilan bog'liqligiga asos solingan edi. Agar foton shunday xususiyatga ega ekan, unda boshqa zarralar, jumladan, elektron ham shunday korpuskular-to'liq dualizmi xususiyatiga ega emasmi, degan savol tug'iladi. Bu savolga ijobiy javob bergan fransuz fizigi Lui de Broyl 1923- yilda *korpuskular-*

to‘lqin dualizmining universalligi haqidagi quyidagi gipotezani ilgari surdi. Uning fikricha, nafaqat foton, balki elektron va boshqa zarralar ham korpuskular xossalari bilan bir qatorda, to‘lqin xossalari ham egadirlar.

Boshqacha aytganda, har bir zarra, bir tomondan, energiya (E) va impuls (P) kabi korpuskular kattaliklari bilan xarakterlansa, ikkinchi tomondan, chastota (ν) va to‘lqin uzunligi (λ) kabi to‘lqin kattaliklari bilan ham xarakterlanadi.

Zarralarning ham korpuskular va to‘lqin xarakteristikalarini orasidagi munosabatlar fotonnikabi kabi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$E = h\nu, \quad P = \frac{h}{\lambda}. \quad (29.1)$$

Lui de Broylning fikricha, (29.1) ifoda tinchlikdagi massasi noldan farq qiluvchi har qanday zarra uchun ham o‘rinlidir. Demak, impulsiga ega bo‘lgan har qanday zarraga to‘lqin uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (29.2)$$

Lui de Broyl formulasi bilan aniqlanuvchi to‘lqin mos keladi.

Demak, zarralar to‘lqin xususiyatiga ega ekan, ular ham to‘lqinlarga xos bo‘lgan interferensiya va difraksiyaga kirishishdimi, degan savol tug‘iladi. Ayni shu savolga javob topish maqsadida o‘tkazilgan tajribalar bilan tanishamiz.

K. Devisson va L. Jermer tajribasi. 1927- yilda amerikalik fiziklar K.Devisson va L.Jermer elektronlarning nikel monokristalida sochilishini o‘rgandilar. Tajribaning ko‘rsatishicha, garchi elektronlarning tushish burchaklari bir xil bo‘lsa-da, ular kristall sirtidan turli burchaklar ostida qaytadi. Natijada bir yo‘nalishda qaytgan elektronlar soni ko‘p bo‘lsa, boshqa yo‘nalishdagisining soni kam bo‘lib, ularni qayd etgan foto-plastinkada difraksion manzara kuzatildi. Devisson va Jermer tajribasining ko‘rsatishicha, sochilish jarayonida elektronlar o‘zlarini xuddi to‘lqinlardek tutishgan va ularning to‘lqin uzunligi Lui de Broyl to‘lqin uzunligi bilan mos kelgan.



Lui de BROYL
(1892–1987)

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

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

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

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

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

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

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

bo'lishi chiqadi. Demak, bu kattalik nafaqat energiyaning, balki impulsning ham o'zgarish kattaligini xarakterlaydi, shuning uchun unga *ta'sir kvanti* deyiladi. Shunday qilib, *Plank doimiysi kvant xarakteristikalarining o'zgarish kattaligini, ya'ni diskretlik darajasini ko'rsatuvchi kattalikdir.*

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

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



Sinov savollari

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

30-§. Kvant mexanikasi elementlari



V. GEYZENBERG
(1901–1976)



E. SHREDINGER
(1887–1961)

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

Kvant mexanikasi haqida tushuncha.

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

Shu bilan birga, quyidagicha savol tug'iladi. Kvant mexanikasining qo'llanilish chegarasi qayerdan boshlanadi? Qachon zarralarning ham korpuskular, ham to'liq xususiyati birgalikda namoyon bo'la boshlaydi? Qachongacha zarrani faqat zarra sifatida qarash yetarli bo'ladi? Shunday mezon mavjudmi? Ha, mavjud. Bu mezon Plank doimiysidir. Biz bu masalaga oldingi mavzuda qisman to'xtalganmiz. Va keyinroq ham to'xtalamiz. Hozir esa lo'nda qilib qo'yilgan savolga shunday javob beramiz. Qaralayotgan holda Plank doimiysining qiymatini hisobga olish zarur bo'lgan chegaradan boshlab kvant mexanikasi qonunlari ishlay boshlaydi. Demak, Plank doimiysini e'tiborga olmaslik mumkin bo'lgan chegaragacha, klassik fizika qonunlaridan foydalanish mumkin. Bundan tashqari, biz uchun odatiy holga aylangan ba'zi tushunchalarga yangicha yondashishimizga to'g'ri keladi. Buni oydinlashtirib olish maqsadida noaniqlik munosabatlari bilan tanishaylik.

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

Harakatlanayotgan zarra korpuskular-to‘lqin dualizmiga ega bo‘lganligi uchun bir paytning o‘zida uning koordinatasi x va impulsi P_x larni aniqlashning imkoni yo‘q.

V.Geyzenbergning ko‘rsatishicha, yuqoridagi kattaliklarni aniq topishning ma‘lum chegarasi mavjud. Agar Δx bilan koordinatani aniqlashdagi noaniqlikni, ΔP_x bilan impulsni aniqlashdagi noaniqlikni belgilasak, bu kattaliklar o‘zaro quyidagicha bog‘langan:

$$\begin{aligned}\Delta x \cdot \Delta P_x &\geq \hbar, \\ \Delta y \cdot \Delta P_y &\geq \hbar, \\ \Delta z \cdot \Delta P_z &\geq \hbar.\end{aligned}\tag{30.1}$$

Keyingi ikkita tengsizlik ham birinchisiga o‘xshatib yozilgan.

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

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

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar.\tag{30.2}$$

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

Elektron buluti. Noaniqlik munosabatlari — kvant mexanikasida zarraning o‘rnini aniq topish o‘z ma‘nosini yo‘qotganini ko‘rsatdi. Boshqacha aytganda, zarraning ma‘lum joyda aniq bo‘lishi emas, balki shu joyda bo‘lish ehtimoli bilan ish ko‘rishga to‘g‘ri keladi. Zarraning u yoki bu joyda bo‘lish ehtimoli esa uning holat funksiyasi Ψ ning kvadrati $|\Psi|^2$ bilan aniqlanadi. Ψ



V. PAULI
(1900–1958)

funksiya zarraning kvant mexanikasidagi harakat tenglamasi, ya'ni Shredinger tenglamasining yechimi. Demak, zarraning ma'lum joyda bo'lishi o'z ma'nosini yo'qotsa, elektronning ma'lum orbita bo'ylab harakatlanishi haqidagi fikr va atomning planetar modeli ham o'z ma'nosini yo'qotadi. Endi elektronning atomda bo'lish ehtimolligining zichligi — «elektron buluti» bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Elektron bulutining zichligi uning ma'lum joyda bo'lishining o'lchovidir. Elektron zichlik noldan farqli bo'lgan istalgan

joyda bo'lishi mumkin. Zichlik eng katta bo'lgan joyda uning bo'lish ehtimoli ham eng kattadir.

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

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

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

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

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

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

Shunday qilib, *elektronning atomdagi holati to'rtta: n, ℓ, m, S kvant sonlari bilan xarakterlanadi.*

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

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

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

$n = 1, K$ qobiq,

$n = 2, L$ qobiq,

$n = 3, M$ qobiq,

$n = 4, N$ qobiq.

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

5-jadval

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

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



Sinov savollari

1. Kvant mexanikasining yaratilishiga asosiy turtki nima bo‘lgan?
2. Bu nazariyaning asosiy qismini kimlar yaratgan?
3. Kvant mexanikasida nima mujassamlashgan?
4. Kvant mexanikasining qo‘llanilish chegarasi qanday aniqlanadi?
5. Qachon kvant mexanikasi, qachon klassik fizika qonunlaridan foydalaniladi?
6. Zarraning holatini bilish deganda nimani tushunasiz?
7. Kvant mexanikasida zarraning holatini bilish mumkinmi?
8. Nima uchun kvant mexanikasida zarraning koordinatasi va impulsini bir paytning o‘zida aniqlashning imkoni yo‘q?
9. Geyzenbergning koordinata va impuls uchun noaniqlik munosabatlarini yozing.
10. Geyzenbergning koordinata va impuls uchun noaniqlik munosabatlarini tushuntiring.
11. Geyzenbergning energiya va vaqt uchun noaniqlik munosabatlarini tushuntiring.
12. Noaniqlik munosabatlariga muvofiq, kvant mexanikasining qo‘llanilish chegarasi qanday aniqlanadi?
13. Kvant mexanikasida «zarraning o‘rni» tushunchasi ma’noga egami?
14. Zarraning biror joyda bo‘lish ehtimoli qanday aniqlanadi?
15. Kvant mexanikasida «elektronning orbita bo‘ylab harakati» tushunchasi ma’noga egami?
16. Atomning planetar modeli-chi?
17. «Elektron buluti» nima?
18. Elektronning qayerda bo‘lish ehtimoli katta?
19. Elektron bulutining shakli, kattaligi va fazodagi o‘rni qanday aniqlanadi?
20. Atomdagi elektronning o‘rni qanday kvant sonlari bilan aniqlanadi?
21. Bosh kvant soni nima?
22. Orbital kvant soni-chi?
23. Magnit kvant soni-chi?
24. Spin kvant soni-chi?
25. Pauli prinsipini tushuntiring.
26. Bosh kvant soni n bo‘lgan holatda nechta elektron bo‘lishi mumkin?
27. Elektron qobiqlar qanday belgilanadi?
28. Pauli prinsipiga asosan Mendeleyev elementlar davriy sistemasini tushuntirish mumkinmi?
29. Elektron qobiqlar va davriy sistemadagi davrlar o‘zaro bog‘liqmi?
30. 5-jadvalni va Mendeleyev elementlar davriy sistemasini tahlil qiling.

31-§. Yorug‘likning kvant generatorlari va ularning qo‘llanilishi

M a z m u n i: lazer haqida tushuncha; atomning majburiy nurlanishi; yoqut lazeri; lazerning xossalari; lazerning qo‘llanilishi.

Lazer nima? Lazer deb ataluvchi optik kvant generatorlarining paydo bo‘lishi fizika fanining yangi sohasi — kvant elektronikasining ulkan yutug‘idir. *Lazer deganda, juda aniq*



N. G. BASOV
(1922–2001)



A. PROXOROV
(1916–2002)



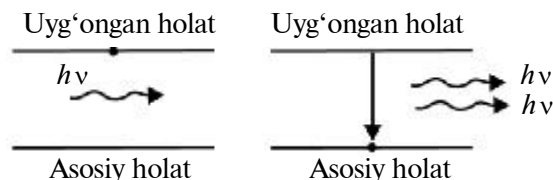
CH. TAUNS
(1915-y. t.)

yoʻnaltirilgan kogerent yorugʻlik nurining manbayi tushuniladi. Lazer soʻzining oʻzi inglizcha «majburiy tebranish natijasida yorugʻlikning kuchaytirilishi» soʻzlaridagi birinchi harflaridan olingan («Light amplification by stimulated emission of radiation»).

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

Atomning majburiy nurlanishi. Oldingi mavzularda qayd etilganidek, atom asosiy holatda boʻlganida nurlanmaydi va unda cheksiz uzoq vaqt davomida turadi. Ammo atom boshqa taʼsirlar (elektromagnit maydon, boshqa zaryadlar) natijasida uygʻongan holatga oʻtishi mumkin. Odatda, atom uygʻongan holatda uzoq boʻlmay yana qaytib asosiy holatga oʻtadi va bunda energetik sathlarning farqiga teng energiyali foton chiqaradi. Bunday oʻtish oʻz-oʻzidan roʻy bergani uchun chiqariladigan nurlanish *spontan nurlanish* deyiladi va chiqarilgan nurlar kogerent boʻlmaydi. Ammo A. Eynshteynning taʼkidlashicha, bunday oʻtishlar nafaqat oʻz-oʻzidan, balki majburiy ham boʻlishi mumkin. Bunday majburiy oʻtish uygʻongan atom yonidan oʻtayotgan foton taʼsirida roʻy berishi mumkin (51- rasm).

Natijada atom uygʻongan holatdan asosiy holatga oʻtishida chiqariladigan foton, bu oʻtishni vujudga keltiradigan foton bilan bir xil boʻladi. Boshqacha aytganda, har ikkala foton ham bir xil chastotaga, harakat yoʻnalishiga, fazaga va qutblanish yoʻnalishiga ega boʻladi. Rus fizigi V. Fabrikant majburiy nurlanish yordamida yorugʻlikni kuchaytirish usulini taklif qildi. Bu

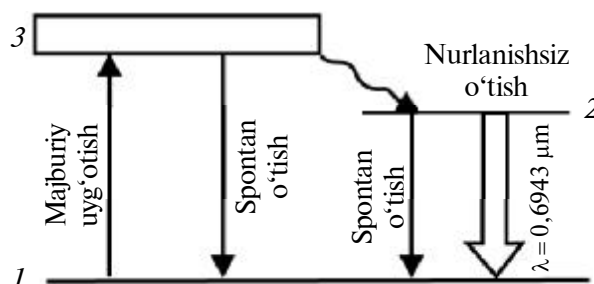


51- rasm.

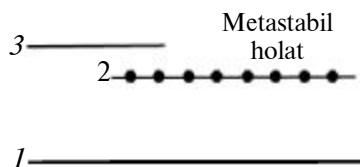
usulning mohiyatini tushunish uchun quyidagi misolni ko'raylik. Ayrim moddalarning atomlarida shunday uyg'ongan holatlar mavjudki, atomlar bu holatlarda uzoq vaqt davomida bo'lishlari mumkin. Bunday holatlar *metastabil holatlar* deyiladi. Metastabil holatlar bilan yoqut kristali misolida batafsil tanishaylik.

Yoqut lazeri. Yoqut kristali aluminiy oksid Al_2O_3 dan iborat bo'lib, Al ning ba'zi atomlari o'rnini xromning uch valentli Cr^{3+} ionlari egallagan bo'ladi. Kuchli yoritilish natijasida xrom atomlari 1 asosiy holatdan 3 uyg'ongan holatga majburiy ravishda o'tkaziladi (52- rasm).

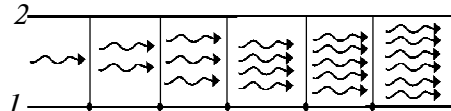
Xrom atomining uyg'ongan holatda yashash davri juda kichik (10^{-7} s) bo'lganligi uchun u yoki spontan ravishda (o'z-o'zidan) 1 asosiy holatga o'tishi, yoki nurlanishsiz 2 holatga o'tishi (metastabil holat) mumkin. Bunda energiyaning ortiqcha qismi yoqut kristalining panjarasiga beriladi. 2 holatdan 1 holatga o'tishning tanlov qoidalariga muvofiq man qilinganligi xrom atomlarining 2 holatda to'planishiga olib keladi. Agar majburiy uyg'otish juda katta bo'lsa, 2 holatdagi atomlarning konsentratsiyasi 1 holatdagidan juda katta bo'lib, 2 holatda elektronlarning juda zich joylashuvi ro'y beradi (53- rasm). Agar yoqutga



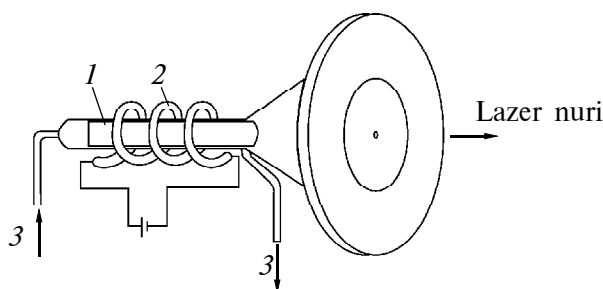
52- rasm.



53- rasm.



54- rasm.



55- rasm.

xrom atomining metastabil holati (E_2) va asosiy holati (E_1) energiyalarining ayirmasiga teng, $E_2 - E_1 = h\nu$ energiyali birorta foton tushsa, unda ionlarning 2 holatdan 1 holatga majburiy o'tishlari ro'y berib, energiyasi dastlabki fotonning energiyasiga teng bo'lgan fotonlar chiqariladi. Bu jarayon ko'chkisimon rivojlanib, fotonlarning soni keskin ortib boradi (54- rasm). Bu fotonlarning nafaqat chastotalari, balki fazalari, tarqalish yo'nalishlari va qutblanish tekisliklari ham bir xil bo'ladi. Natijada yoqutdan kuchaygan kogerent yorug'lik dastasi, ya'ni *lazer nuri* chiqadi.

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

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

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

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

3. *Nurlanish quvvati juda katta.* Lazer nurida nurlanish quvvati 10^{16} – 10^{20} W/m² gacha bo'lishi mumkin. Bu juda katta qiymat hisoblanadi. Vaholanki, Quyoshning to'la nurlanish spektri bo'yicha nurlanish quvvati $7 \cdot 10^7$ W/m² ni tashkil qiladi.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Sinov savollari

1. Lazer nima? 2. Lazer so'zi qayerdan olingan? 3. Lazerning mualliflari kim? 4. Spontan nurlanish deb qanday nurlanishga aytiladi? 5. Spontan nurlanish kogerent bo'ladimi? 6. Majburiy o'tish qanday hosil qilinadi? 7. 51- rasmdagi holatlarni tahlil qiling. 8. Majburiy o'tishda chiqarilgan foton dastlabki fotonga o'xshaydimi? 9. V.Fabrikant nimani taklif qilgan? 10. Metastabil holat deb qanday holatga aytiladi? 11. Yoqut qanday tuzilishga ega? 12. Xrom atomlari qanday qilib uyg'ongan holatga o'tadi? 13. Uyg'ongan holatdagi xrom atomi qanday holatlarga o'tishi mumkin? 14. Xrom atomi 2- holatga o'tganda ortiqcha energiya nimaga sarflanadi? 15. Nima uchun xrom atomlari 2- holatda to'planadi? 16. 53- rasmdagi holatni tahlil qiling. 17. Ionlarning 2- holatdan 1- holatga majburiy o'tishlariga nima sabab bo'ladi? 18. 54- rasmdagi holatni tushuntirib bering. 19. Fotonlarning nimalari bir xil? 20. Lazer nuri qanday hosil bo'ladi? 21. 52- rasmni tushuntiring. 22. 55- rasmdagi sxemani tushuntiring. 23. Lazerning qanday xossalari bilasiz? 24. Lazerning kogerentligi nima? 25. Monoxromatikligi-chi? 26. Nurlanish quvvati nima? 27. Yoyilish burchagi nima? 28. Lazerning sanoatda qo'llanilishiga misollar keltiring. 29. Lazerning o'lchov ishlarida qo'llanilishiga misollar keltiring. 30. Lazerning fanda qo'llanilishiga misollar keltiring. 31. Lazerning tibbiyotda qo'llanilishiga misollar keltiring.

32-§. Golografiya haqida tushuncha

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



D. GABOR
(1900–1979)

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

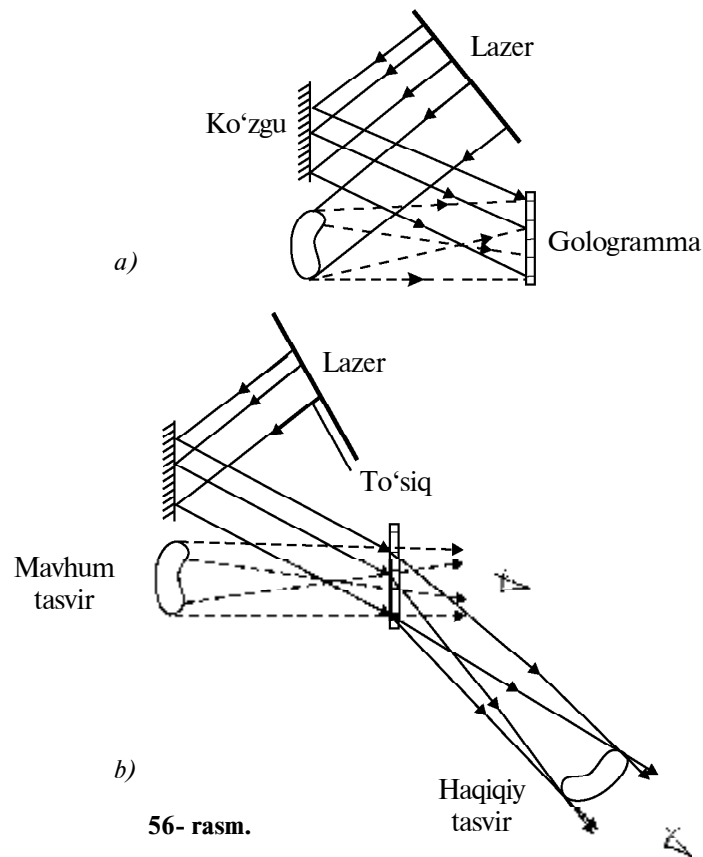
Jismlarning fazoviy tasvirini qayd qilishning va qayta tiklashning bu yangi usuli 1947- yilda ingliz fizigi D.Gabor (1900–1979) tomonidan kashf qilingan. Bu kashfiyoti uchun D.Gabor 1971- yilda Nobel mukofotiga sazovor bo‘ldi. Golografiya ixtiro qilingan dastlabki yillarda unga yetarlicha e‘tibor berilmadi. Buning asosiy sababi qizigan manbalar chiqaradigan yorug‘lik to‘lqinlari yordamida keskin interferensiya manzarasi hosil qilishning imkoni bo‘lmaganligidadir. Ammo yuqori darajadagi monoxromatik nurlar – lazer nurlari paydo bo‘lganidan so‘ng bu usulning amalda qo‘llanishida keskin burilish ro‘y berdi.

Golografiyaning asosi. Endi golografiyaning asosi bilan tanishishga o‘taylik. Xo‘sh, jism to‘g‘risidagi ma‘lumot (uning tasviri) qanday qilib qayd etiladi va qanday qilib tiklanadi? Buning uchun jismdan chiqayotgan to‘lqin amplitudasi va fazasini qayd qilish va qayta tiklash zarur. Bu esa amalda mumkin. Chunki interferensiyada, intensivlikning taqsimoti interferensiyaga kiruvchi to‘lqinlarning ham amplitudalariga, ham fazalariga bog‘liq bo‘ladi (7- § ga qarang).

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

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

Gologramma hosil qilish. *Gologramma deb, fotoplastinkada qayd qilingan tayanch va jism to‘lqinlari hosil qilgan interferension manzaraga aytiladi.* Buning qanday amalga oshirilishi 56- a rasmdagi sxemada ko‘rsatilgan.



56- rasm.

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

Golografik tasvirni tiklash. Tasvirni tiklash uchun gologramma dastlabki joyiga qo'yiladi (56- b rasm). U tayanch to'lqini bilan yoritilib, lazerning jism orqali tushadigan qismi to'siladi. Fotoplastinkaga tushayotgan nurning interferensiyali manzaradagi difraksiyasi natijasida jism to'lqinining nusxasi, ya'ni jismning mavhum hajmiy tasviri tiklanadi. Tasvirda jismning barcha

xususiyatlari akslangan bo'lib, golografiyagacha qayerda turgan bo'lsa, o'sha joyda turadi. U shunchalik real tuyuladiki, ushlab ko'rish mumkindek bo'ladi. Bundan tashqari, kuzatish gologrammaning o'ng tomonidan o'tkir burchak ostida olib borilsa, narsaning haqiqiy tasviri ham tiklanadi. Lekin bu holda narsaning joylashuvi teskarisiga o'zgaradi. Masalan, botiq joy qavariq va aksincha bo'ladi. Ammo, odatda, jism real mavjuddek tuyuladigan mavhum tasvirdan foydalaniladi.

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

Golografiyaning qo'llanilishi. Golografiya usulidan hozir juda ko'p sohalarda foydalaniladi. Lekin ularning eng muhimi — ma'lumotlarni yozish va saqlash. Golografiya oddiy mikrofoto-grafiya usuliga qaraganda, bir xil hajmga yuzlab marta ko'p ma'lumotni yozishga imkon beradi. Masalan, o'lchamlari 32×32 mm bo'lgan fotoplastinkaga, har birining yuzasi 1 mm² dan bo'lgan 1024 ta gologrammani, ya'ni 1024 betli kitobni joylashtirish mumkin. Golografik xotirali EHM, golografik elektron mikroskop, golografik kino va televideniye, golografik interferometrlar kabi istiqbolli sohalar endigina rivojlana boshlamoqda.



Sinov savollari

1. Golografiya so'zi qanday ma'noga ega va u qanday usul?
2. Golografiyani kim va qachon kashf etgan?
3. Golografiyadan foydalanishga qachon jiddiy e'tibor berila boshlandi va nima uchun?
4. Jism to'liqini deb qanday to'liqiga aytiladi?
5. Tayanch to'liqini deb-chi?
6. Bu to'liqlar interferensiyaga kirishishadimi?
7. Golografiyaning asosiy g'oyasi nimadan iborat?
8. Gologramma deb nimaga aytiladi?
9. 56- a rasmdagi sxemani tushuntiring.
10. Qanday nurlar fotoplastinkada interferension manzarani vujudga keltiradi?
11. Gologramma qanday hosil qilinadi?
12. Tasvirni tiklash uchun gologramma nima qilinadi?
13. 56- b rasmdagi holatni tushuntiring.
14. Qanday nurlar difraksion manzarani vujudga keltiradi?
15. Difraksion panjara vazifasini nima o'taydi?
16. Difraksiya natijasida nima hosil bo'ladi?
17. Jismning qanday tasviri va qayerda tiklanadi?
18. Jismning haqiqiy tasviri qanday tiklanadi?
19. Gologrammaning bir bo'lagi tasvirni tiklay oladimi?
20. Golografiyadan qanday maqsadlarda foydalaniladi va uning afzalligi nimada?
21. Bitta fotoplastinkaga qancha hajmli kitobni joylashtirish mumkin?
22. Golografiyadan kelgusida qanday sohalarda foydalanish mumkin?

33-§. Atom yadrosining tuzilishi. Izotoplar

Mazmuni: atom yadrosi; atom yadrosining tuzilishi; yadroning belgilanishi; izotoplar; izobarlar; yadroning kattaligi.

Atom yadrosi. Rezerford o'z tajribalari natijasida (26-§ ga qarang) atomning musbat zaryadlangan yadrosi (o'zagi) bor degan xulosaga keladi. Atomning kattaligi 10^{-10} m bo'lgan bir paytda yadroning kattaligi 10^{-14} – 10^{-15} m ni tashkil qiladi. Boshqacha aytganda, yadro atomdan 10 000–100 000 marta kichikdir. Shu bilan birga, atom massasining qariyb 95 foizi yadroda mujassamlashgan. Agar biror jism massasining 95 foizi u egallab turgan hajmdan 100 000 marta kichik hajmda mujassamlashganini e'tiborga olsak, barcha moddalar, asosan, bo'shliqdan iborat ekanligiga hayratlanishdan boshqa ilojimiz qolmaydi. Endi yadroning o'zi qanday tuzilishga ega, degan masalani qaraylik.

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

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

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

Proton va neytronlarni birgalikda *nuklonlar* deyishadi (lotincha „*nucleus*“ – *yadro* so'zidan olingan). Atom yadrosidagi nuklonlarning umumiy soni *massa soni* (*A*) deyiladi.

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

Yadro neytral atom qanday belgilansa, xuddi shunday belgilanadi: ${}_Z^AX$, bu yerda *X* – kimyoviy elementning belgisi, *Z* – atomning tartib raqami (yadroda protonlar soni); *A* – massa soni (yadroda nuklonlar soni). Atom elektr neytral bo'lgani

uchun ham yadrodagi protonlar soni atomdagi elektronlar soni bilan teng bo'ladi.

Izotoplar. Tartib raqami (Z) bir xil, lekin massa soni (A) turlicha bo'lgan elementlar *izotoplar* deyiladi.

Izotoplar yadrosidagi neytronlar soni ($N = A - Z$) bilan farq qiladi. Masalan, vodorodning ($Z = 1$) uchta izotopi mavjud:

${}^1_1\text{H}$ – protiy ($Z = 1, N = 0$), ${}^2_1\text{H}$ – deyteriy ($Z = 1, N = 1$), ${}^3_1\text{H}$ – tritiy ($Z = 1, N = 2$). Qalayning o'nta izotopi mavjud. Aksariyat hollarda izotoplar bir xil kimyoviy va qariyb bir xil fizikaviy xususiyatlarga ega bo'ladi (bundan faqat vodorod izotoplarigina mustasno). Chunki bu xossalar, asosan, elektron qobiqqa bog'liq bo'lib, izotoplar uchun bir xildir.

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

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

Yadroning kattaligi. Yadroning radiusi tajriba natijasi asosida yozilgan

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (33.1)$$

formula bilan aniqlanadi. Bu yerda $R_0 = (1,2-1,7) \cdot 10^{-15}$ m. Shuni ta'kidlash zarurki, atom yadrosining radiusi deganda, yadro kuchlarining ta'siri namoyon bo'ladigan sohaning chiziqli kattaligi tushuniladi. Yadroning hajmi unga kiruvchi nuklonlar soni A ga bog'liq bo'lsa-da, barcha yadrolarda nuklonlarning zichligi bir xil. Yadroning zichligi juda katta bo'lib, $\rho = 2 \cdot 10^{11}$ kg/m³ atrofida. Boshqacha aytganda, *1 m³ yadro materialining massasi 200 million tonna bo'ladi.* Bu qadar katta massa qanday qilib bog'lanib turar ekan?



Sinov savollari

1. Atom yadrosi tushunchasini kim kiritgan? 2. Nimaga asoslanib bunday tushuncha kiritilgan? 3. Yadro atomdan qancha kichik? 4. Atom massasining qancha qismi yadroda mujassamlashgan? 5. Materiyaning

qancha qismini bo'shliq tashkil qiladi? 6. Yadroning proton-neytron modulini kimlar taklif qilgan? 7. Proton qanday zarra va u qanday xarakteristikalarga ega? 8. Neytron qanday zarra va u qanday xarakteristikalarga ega? 9. Nuklon qanday zarra? 10. Atom yadrosining massa soni nimani ko'rsatadi? 11. Yadroning zaryad soni-chi? 12. Yadro qanday belgilanadi? 13. Yadrodagi proton soni atomdagi elektronlar soniga tengmi? 14. Izotoplar deb qanday elementlarga aytiladi? 15. Izotoplar nimasi bilan farq qiladi? 16. Vodorodning nechta izotopi bor? 17. Izotoplarga misol keltiring. 18. Izotoplarning kimyoviy va fizikaviy xossalari bir xilmi? 19. Izotoplarning elektron qobiqlari farq qiladimi? 20. Izobarlar deb qanday elementlarga aytiladi? 21. Izobarlar nimasi bilan farq qiladi? 22. Yadroning radiusi qanday aniqlanadi? 23. Yadroning radiusi deganda qanday kattalik tushuniladi? 24. Yadroning zichligi nimaga teng?

34- §. Yadroning bog'lanish energiyasi

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

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

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

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

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n] - m_{ya} \quad (34.1)$$

ga teng massa yetishmovchiligi vujudga keladi. Bu yerda m_p , m_n , m_{ya} — mos ravishda protonning, neytronning va yadroning massalari. Massaning yetishmagan bu qismi *massa defekti* deyiladi. Bizga ma'lumki (19- § ga qarang), massaning har qanday Δm

o'zgarishiga energiyaning Δmc^2 o'zgarishi mos keladi. Aynan shu energiya yadroni bir butun tutib turadi va bog'lanish energiyasiga teng:

$$E_{\text{bog'}} = \Delta mc^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_{\text{ya}}]c^2. \quad (34.2)$$

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

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

$$E_{\text{sol}} = \frac{E_{\text{bog'}}}{A}, \quad (34.3)$$

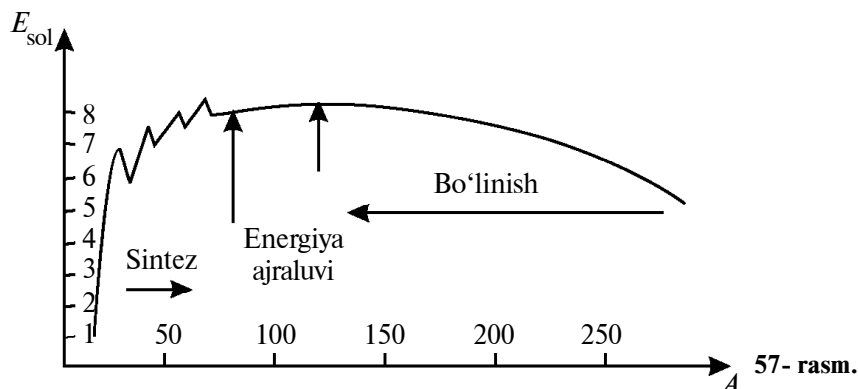
bu yerda A — yadrodagi nuklonlar soni.

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

Elektronning atomga bog'lanish energiyasi 10 eV atrofida bo'ladi. Demak, nuklonning yadroga bog'lanish energiyasi, elektronning atomga bog'lanish energiyasidan million marta katta ekan.

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

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



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

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

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

$$= 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 931,1 \text{ MeV.}$$

1 atom massa birligi (a.m.b.) esa uglerod ${}^{12}_6\text{C}$ nuklidi massasining 1/12 qismiga teng: $1 \text{ a.m.b.} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

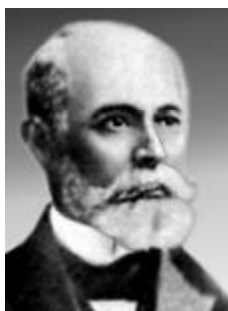


Sinov savollari

1. Yadroning bog'lanish energiyasi deb qanday energiyaga aytiladi?
2. U nimaning o'lchovi va siz uni qanday tushunasiz?
3. Yadroni parchalash uchun qancha energiya sarflanadi?
4. Yadroning massasi undagi nuklonlar massalarining yig'indisiga tengmi?
5. Massa defekti nima?
6. Bog'lanish energiyasi nimaga teng?
7. Bog'lanish energiyasi

hamma yadrolar uchun bir xilmi? 8. Nima uchun solishtirma bog‘lanish energiyasi tushunchasi kiritiladi? 9. Solishtirma bog‘lanish energiyasi nimaga teng? 10. 57- rasmdagi bog‘lanishni tushuntiring. 11. Qanday yadrolar uchun solishtirma bog‘lanish energiyasining qiymati eng katta? 12. Qanday yadrolar uchun u kichik? 13. Yadro energetikasining nechta yo‘nalishi mavjud? 14. Elektronning atomga bog‘lanish energiyasi kattami yoki nuklonning yadroga bog‘lanish energiyasimi? 15. Qanday yadrolarga sehrli yadrolar deyiladi? 16. Ikki karra sehrli yadrolar deb-chi?

35-§. Tabiiy radioaktivlik. Radioaktiv yemirilish qonuni



A. A. BEKKEREL
(1852–1908)

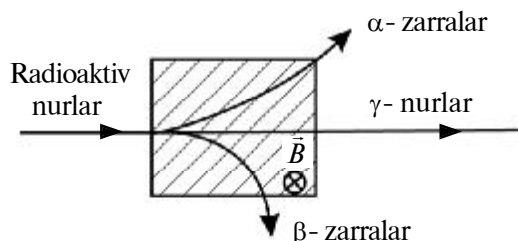
M a z m u n i : radioaktivlikning kashf qilinishi; radioaktiv nurlar; tabiiy radioaktivlik; radioaktiv yemirilish qonuni; yarim-yemirilish davri; o‘rtacha yashash vaqti; aktivlik; radioaktiv elementlar oilasi.

Radioaktivlikning kashf qilinishi. Fransuz fizigi A. Bekkerel 1896- yilda uran tuzlarida luminessensiya hodisasini o‘rganayotib, g‘aroyib hodisaga duch keldi. Uran tuzini fotoplastinka ustida qoldirgan Bekkerel plastinkani ochganida plastinkaga tuzning surati o‘tib qolganini ko‘rdi. Shunday tajribani har xil uran tuzlari bilan bir necha bor takrorlagan Bekkerel, bunday tuzlar qog‘ozdan, yupqa metallardan oson o‘tuvchi, havoni ionlashtiruvchi, luminessensiya hodisasini vujudga keltiruvchi noma‘lum nur chiqaradi, degan xulosaga keldi.

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

Radioaktiv nurlar. Rezerford tajribalar yordamida radioaktiv nurlar bir jinsli emas, balki bir necha nurlardan iborat ekanligini aniqladi. Rasm tekisligiga perpendikular yo‘nalgan magnit maydonidan o‘tkazilgan nur (58- rasm) uchta: α , β , γ - nurlarga ajralib ketdi.

Ularning birinchisi – geliy yadrosining oqimi, ikkinchisi – elektronlar oqimi, uchinchisi esa γ - kvantlar (fotonlar) oqimidir. Kelgusi mavzuda bu nurlarga batafsil to‘xtalamiz.



58- rasm.

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

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

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

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

Radioaktiv yemirilish qonuni. Yadroning radioaktiv nur chiqarish bilan boshqa yadroga aylanishi *radioaktiv yemirilish* yoki soddagina *yemirilish* deyiladi. Radioaktiv yemirilgan yadro *ona yadro*, hosil bo'lgan yadro esa *bola yadro* deyiladi. Xo'sh, bu yemirilish biror qonunga bo'ysunadimi? Ko'plab tajribalarning ko'rsatishicha, qarayotgan hajmdagi radioaktiv atomlar soni vaqt o'tishi bilan kamaya boradi. Ba'zi elementlarda bu kamayish minutlar, hatto sekundlar davomida ro'y bersa, ba'zilarida

milliardlab yil davom etadi. Umuman olganda, yadroning yemirilishi tasodifiy hodisadir. Shuning uchun, u yoki bu yadroning berilgan vaqt oralig'ida yemirilishi statistika qonunlariga bo'ysunadi. Radioaktiv elementning asosiy xarakteristikalaridan bittasi har bir atomning bir sekund davomida yemirilish ehtimoli bilan aniqlanadigan kattalikdir. U λ harfi bilan belgilanadi va *radioaktiv yemirilish doimiysi* deyiladi.

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

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (35.1)$$

qonunga muvofiq aniqlanadi. Bu yerda $e \approx 2,72$ — natural logarifmning asosi. (35.1) ifoda *radioaktiv yemirilish qonuni* deyiladi.

Yarimyemirilish davri. Radioaktiv yemirilish intensivligini xarakterlovchi kattaliklardan biri yarimyemirilish davridir. *Yarim-*

yemirilish davri $\left(T_{\frac{1}{2}}\right)$ deb, boshlang'ich yadrolarning soni o'rtacha ikki marta kamayishi uchun zarur bo'ladigan vaqtga aytiladi.

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

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

Ushbu formulani potensirlab quyidagini olamiz:

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

yoki

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (35.2)$$

ni hosil qilamiz.

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

Aktivlik. Vaqt birligida parchalanadigan yadrolarning sonini bilish muhim ahamiyatga ega. Aynan shunday xarakteristikadan

foydalanganda *nuklid* iborasi ishlatiladi. Nuklid deb, protonlari soni Z va neytronlari soni N bilan farq qiladigan atom yadrolariga aytiladi. Radioaktiv manbadagi *nuklidning aktivligi* (A) deb, *namunadagi shu yadroning 1 s dagi parchalanishlar soniga aytiladi*:

$$A = \lambda N . \quad (35.3)$$

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

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

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



Sinov savollari

1. Radioaktivlikni kim kashf qilgan?
2. Radioaktivlik qanday qilib kashf qilingan?
3. Radioaktiv so'zi qanday ma'noni anglatadi?
4. Qanday nurlar radioaktiv nurlar deyiladi?
5. Radioaktivlik deb nimaga aytiladi?
6. Radioaktiv nurlar qanday nurlardan tashkil topgan?
7. 58- rasmdagi manzarani tushuntirib bering.
8. Urandan boshqa ham radioaktiv elementlar mavjudmi?
9. Tabiatda radioaktiv elementlar qayerlarda uchraydi?
10. Havoda, suvda, tuproqda radioaktiv elementlar mavjudmi?
11. Jonli organizmlar hujayrasida-chi?
12. Oziq-ovqatlar tarkibida-chi?
13. Qanday izotoplar tabiatda eng ko'p tarqalgan?
14. Radioaktivlik izotoplarining qanday holatda bo'lishiga bog'liqmi?
15. Ularning agregat holatiga-chi?
16. Ularning qanday bosim ostida yoki temperaturada

ekanligiga-chi? 17. Elektr yoki magnit maydonda bo'lishiga-chi? 18. Radioaktivlik yadro ichidagi jarayonlarning natijasimi? 19. Tabiiy radioaktivlik deb nimaga aytiladi? 20. Radioaktivlik yadroda ro'y beradigan jarayonlar haqida ma'lumot bera oladimi? 21. Radioaktiv yemirilish deb nimaga aytiladi? 22. Yemirilgan yadro qanday yadro deyiladi? 23. Hosil bo'lgani-chi? 24. Yadroning yemirilishi qanday qonunlarga bo'ysunadi? 25. Yadroning yemirilishi qancha vaqtgacha cho'zilishi mumkin? 26. Radioaktiv yemirilish doimiysi qanday kattalik? 27. Radioaktiv yemirilish qonunini ta'riflang. 28. Yarimyemirilish davri qanday aniqlanadi? 29. Yarimyemirilish davri turli izotoplar uchun nimaga teng? 30. Nuklid deb nimaga aytiladi? 31. Nuklidning aktivligi deb-chi? 32. Aktivlikning SI dagi va sistemadan tashqari birliklari. 33. Radioaktiv elementlar oilasi.

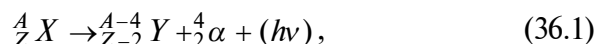
36-§. Alfa, beta va gamma-nurlanishlar

M a z m u n i : alfa-nurlanish; beta-nurlanish; neytrino; gamma-nurlanish; fotoeffekt; kompton sochilishi; elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi.

Alfa-nurlanish. Atom yadrosidagi nuklonlar doimo harakatda va o'zaro aylanishda bo'ladi. Yadro ichida hosil bo'ladigan eng barqaror mahsulot ikkita proton va ikkita neytrondan iborat bo'lgan mahsulotdir. Yadro ichidagi energiya taqsimotida aynan shu zarra yadroning asosiy energiyasini o'ziga olishi va ma'lum sharoitlarda α -zarra sifatida uni tark etishi mumkin.

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

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



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

(36.1) dan ko'rinib turibdiki, α -nurlanish natijasida yadroning massa soni 4 ga, zaryadi esa 2 ta elementar musbat zaryadga kamayadi. Boshqacha aytganda, α -nurlanish natijasida kimyoviy elementning Mendeleyev elementlar davriy sistemasidagi o'rnini

ikki katak chapga siljiydi. Bu hol *siljish qoidasi* deyiladi. U elektr zaryadi va massa soni saqlanish qonunlarining natijasidir.

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

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

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

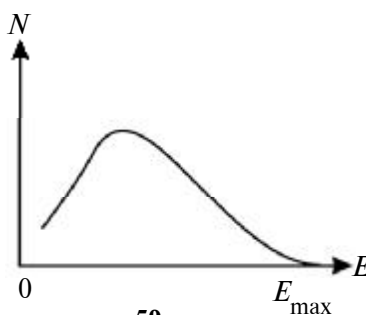
Siljish qoidasiga muvofiq, β-nurlanishda yadroning massa soni o'zgarmaydi:



Ushbu ifodadan ko'rinib turibdiki, β-nurlanish natijasida kimyoviy element Mendeleyev davriy sistemasida bir katakcha o'ngga siljiydi. Bunda yadroning massa soni o'zgarmagani ($A = \text{const}$) uchun undagi nuklonlar spinlarining yig'indisi ham o'zgarmay qolishi kerak. Lekin yadrodan o'tilib chiqayotgan elektron $+\frac{1}{2}$ yoki $-\frac{1}{2}$ spinga ega bo'ladi. Unda yadroning spini nega o'zgarmay qoladi, degan savol tug'iladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, mazkur element yadrosidan uchib chiqayotgan elektron har xil, jumladan, E_{max} gacha energiyaga ega bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, uchib chiqayotgan elektronning energiyasi, doimo yadroning β-yemirilishgacha va β-yemirilishdan keyingi energiyalarining farqidan kichik bo'ladi. Boshqacha aytganda, β-yemirilishda go'yoki yadro energiyasining bir qismi izsiz yo'qolgandek tuyuladi. Bu hol β-yemirilishdagi elektronlar energetik spektrining uzluksizligidan ham ko'rinib turibdi (59-rasm).

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

Tajriba natijalarini chuqur tahlil qilgan V. Pauli, energiyaning shu yetishmagan qismini o'zi bilan olib ketadigan va yadro spinining



59- rasm.

o'zgarmay qolishiga sabab bo'ladigan yana bitta zarra bo'lishi kerak, degan xulosaga keldi.

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

$$E_{\beta} + E_{\nu} = E_{\max} \quad (36.3)$$

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

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

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

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

Umuman olganda, yadro radioaktiv yemirilish yoki sun'iy ravishda yadrolarning bir-biriga aylanishi natijasida g'alayonlangan holatga o'tadi. U g'alayonlangan holatdan asosiy holatga o'tganida γ - nurlanish chiqaradi. Uning energiyasi bir necha kiloelektron-volt dan, bir necha million elektron-voltgacha bo'lishi

mumkin. γ - nurlanish moddadan o'tganda uning dastlabki intensivligi ancha kamayadi. Bunga sabab — fotoeffekt, kompton effekti va elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi.

Fotoeffekt. Biz fotoeffekt hodisasi bilan 22- § da batafsil tanishganmiz. Shuni ta'kidlash lozimki, u faqat 1 MeV dan kichik energiyali γ - kvantlar uchun kamayishning asosiy qismini tashkil qiladi.

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

Elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi. γ - kvantning ancha katta energiyalarida elektron-pozitron juftligining hosil bo'lishi kuzatiladi. Bunda γ - kvant kulon maydonida to'la yutilib, elektron

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



E. FERMI
(1901–1954)



Sinov savollari

1. Yadro ichida hosil bo'ladigan eng barqaror mahsulot nima?
2. α - nurlanish deb nimaga aytiladi?
3. α - nurlanishning sxemasini tushuntiring.
4. Ona yadro qanday belgilanadi?
5. α - nurlanish natijasida yadroning massa soni qanchaga kamayadi? Zaryadi-chi?
6. Siljish qoidasi nima?
7. α - nurlanish uchun zaryadning saqlanish qonunini tushuntiring.
8. Shu nurlanish uchun massa sonining saqlanish qonunini tushuntiring.
9. β - nurlanish deb nimaga aytiladi?
10. β - nurlanishda yadroning massa soni o'zgaradimi?
11. β - nurlanishning sxemasini

tushuntiring. 12. β - nurlanish natijasida kimyoviy elementning o'zgaradimi? 13. Yadrodagi nuklonlar spinlarining yig'indisi o'zgaradimi? 14. Elektronning spinini hisobga olganda-chi? 15. Elektronning energiyasi yadroning nurlanishdan oldingi va keyingi energiyalarining farqiga tengmi? 16. β - nurlanish haqidagi tajribalarni tahlil qilgan Pauli qanday xulosaga kelgan? 17. Neytrino qanday zarracha? 18. β - nurlanishda energiyaning saqlanish qonuni qanday? 19. Yadroda elektronlar qanday paydo bo'ladi? 20. Fermi gipotezasini aytib bering. 21. γ - nurlanishni kim kashf qilgan? 22. γ - nurlar qanday nurlar? U rentgen nurlaridan nimasi bilan farq qiladi? 23. γ - nurlar qanday vujudga keladi? 24. Yadro qanday qilib g'alayonlangan holatga o'tadi? 25. γ - kvant moddadan o'tganda qanday hodisalar ro'y berishi mumkin? 26. Fotoeffekt nima? 27. Kompton effektini tushuntirib bering. 28. Kompton effektida elektron qanday energiya oladi? 29. Elektron-pozitron juftligi qanday hosil bo'ladi? 30. Juftlik hosil bo'lishi uchun γ - kvantning energiyasi qanday bo'lmog'i kerak?

37-§. Yadro reaksiyalari. Radioaktiv aylanishlar

M a z m u n i : yadro reaksiyalari; yadro reaksiyalarining turlari; Bor nazariyasi; proton va neytronning kashf qilinishi; radioaktiv aylanishlar; β - radioaktivlik; yadro kuchlari; yadro kuchlarining xossalari; yadroning tomchi modeli; yadroning qobiq modeli.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Shunday bo'lsa-da, yadroning qandayligini tasavvur qilishga intilgan fiziklar uning turli modellarini yaratishgan. Bu modellarining har biri yadroning u yoki bu xususiyatlarinigina tushuntirib bera olishi mumkin.

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

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

yutilishi bilan ro'y beradigan reaksiyalarga esa *endotermik reaksiyalar* deyiladi.

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

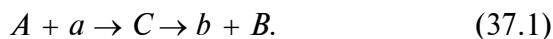
1. *Unda ishtirok etadigan zarralarning turlariga qarab*, neytronlar, γ -kvantlar, zaryadlangan zarralar (proton, deytрон, α -zarra va h.k.) ta'sirida ro'y beradigan reaksiyalar.

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

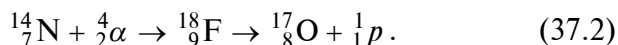
3. *Ishtirok etuvchi yadrolarning turiga qarab*, yengil yadrolarda ($A < 50$); o'rta yadrolarda ($50 < A < 100$); og'ir yadrolarda ($A > 100$) o'tadigan reaksiyalar.

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

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

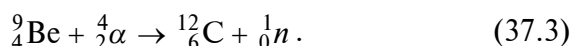


Proton va neytronning kashf qilinishi. Dastlabki reaksiyalardan biri azot yadrosining geliy yadrosi (α -zarra) bilan birikishi bo'lgan. Bu reaksiya 1919-yili Rezerford tomonidan amalga oshirilgan. Azotni α -zarralar bilan bombardimon qilish natijasida proton hosil bo'lgan. α -zarrani yutgan azot yadrosi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



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

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



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

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

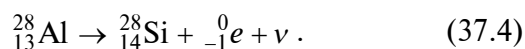
Radioaktiv aylanishlar. Yuqoridagi reaksiyalardan ko'rinib turibdiki, ular yordamida bir kimoviy elementlarni boshqasiga aylantirish va shu yo'l bilan sun'iy ravishda radioaktiv elementlarni hosil qilish mumkin. Bunday reaksiyalarga *radioaktiv aylanishlar* deyiladi.

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

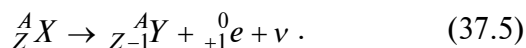
Shuni ta'kidlash lozimki, radioaktivlik atom yadrosining barqarorligi bilan bog'liq. Protonlari va neytronlari soni teng bo'lgan yadrolar *barqaror* hisoblanadi.

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

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



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



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



Sinov savollari

1. Yadro reaksiyalari nima? 2. Yadro reaksiyalarida qanday saqlanish qonunlari bajariladi? 3. Qanday reaksiyalarga ekzotermik reaksiyalar deyiladi? Qanday reaksiyalarga endotermik reaksiyalar deyiladi? 4. Yadro reaksiyalari nechta turga bo'linadi? 5. Birinchi tur reaksiyalar qanday reaksiyalar? 6. Ikkinchi tur reaksiyalar-chi? 7. Uchinchi tur reaksiyalar-chi? 8. To'rtinchi tur reaksiyalar-chi? 9. Yadro reaksiyasi haqidagi Bor nazariyasini aytib bering. 10. Bor nazariyasining sxemasini tushuntiring. 11. Rezerford qanday reaksiyani amalga oshirgan? 12. Proton kashf qilingan reaksiyaning sxemasi qanday? 13. Neytronning kashf qilinish reaksiyasining sxemasi qanday? 14. Neytronning yarimyemirilish davri nimaga teng? 15. Radioaktiv aylanishlar deb nimaga aytiladi? 16. Sun'iy va tabiiy radioaktivlik o'rtasida qanday farq bor? 17. Qanday yadrolar barqaror hisoblanadi? 18. β^- -radioaktivlik qanday vujudga keladi? 19. β^+ -radioaktivlik-chi? 20. β^- -radioaktivlikda elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi o'rni o'zgaradimi?

38-§. Elementar zarralar. Elementar zarralarning asosiy xossalari va ularni klassifikatsiyalash

Mazmuni: elementar zarralar; modda va maydonning bir-biriga aylanishi; antimodda; elementar zarralar ta'sirlashuvining turlari; „Buyuk birlashuv“ nazariyasi.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

K-mezonlar. 1950- yillardan boshlab kashf qilinadigan zarralarning soni keskin ortib bordi. Bular qatoriga *K*-mezonlar ham



P. DIRAK
(1902–1961)

kiradi. Ularning zaryadi musbat, manfiy, nol bo'lishi mumkin. Massalari esa $966-974m_e$ atrofida.

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

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

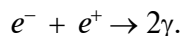
Umuman olganda, dastlabki paytlarda bor-yo'g'i bir nechtagina va materiyaning eng jazzi g'ishtchalari deb hisoblangan elementar zarralar, keyinchalik shu qadar xilma-xil va shu qadar murakkab bo'lib chiqdi.

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

Elektron va protonlarning antizarralari zaryadining ishorasi bilan farq qilsa, neytron va antineutron xususiy magnit momentlarining ishorasi bilan farq qiladi. Zaryadsiz zarralar foton, π^0 -mezonlarning o'zlari va antizarralarining fizik xossalari bir xil.

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

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



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

Ushbu holda annigilatsiya soʻzi uncha qulay tanlanmagan. Chunki u lotincha «yoʻqolish» degan maʼnoni anglatadi. Aslida esa zarra va antizarra uchrashganda hech qanday yoʻqolish roʻy bermaydi. Barcha saqlanish qonunlari toʻla bajariladi. Materiya modda koʻrinishidan elektromagnit maydon kvantlari koʻrinishiga oʻtadi, xolos.

Agar moddaning elektromagnit maydon kvantlariga aylanish jarayoni roʻy bersa, unda teskarisi, maydon kvantlarining moddaga aylanish jarayoni ham roʻy bermaydimi, degan savol tugʻiladi. Albatta, roʻy beradi. Umuman olganda, biz bu jarayon bilan tanishmiz (36- § ga qarang). Energiyasi elektron va pozitronning tinchlikdagi energiyalari yigindisidan katta boʻlgan γ -kvant $E_\gamma > 2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV}$ yadroning yonidan oʻtganida elektron-pozitron juftligiga aylanishi mumkin:

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+.$$

Elektron-pozitron juftligining paydo boʻlishi va ularning annigilatsiyasi materiyaning ikki shakli (modda va maydon) oʻzaro bir-biriga aylanishlarini koʻrsatadi.

Antimodda. Agar barcha zarralarning antizarralari mavjud boʻlsa, unda antiyadro, aniqrogʻi antizarralardan tashkil topgan antimodda yoʻqmikan? Antiya-drolarning mavjudligi qayd qilingan. Birinchi antiyadro – antideytron ($\bar{p}$ va $\bar{n}$ larning bogʻlangan holati) 1965- yilda amerikalik fiziklar tomonidan topilgan. Keyinchalik esa Serpuxovadagi tezlatgichda antigeliy (1970) va antitritiy (1973) yadrolari hosil qilindi.

Zarralar bilan toʻqnashganda annigilatsiyaga uchrashi antizarralarning uzoq vaqt zarralar orasida boʻlishiga imkon bermaydi. Shuni alohida taʼkidlash kerakki, annigilatsiya jarayonida juda katta miqdorda energiya ajralib chiqadi. Solishtirish uchun aytish mumkinki, ajralib chiqadigan energiya yadro reaksiyalarida ajraladigan energiyadan millionlab marta kattadir. Shunday qilib, annigilatsiyada oʻzaro taʼsirlashadigan zarralarning barcha energiyasi boshqa turdagi energiyaga aylanadi, yaʼni annigilatsiya mavjud energiya manbalari orasida eng katta energiya ajraladigan jarayondir. Agar olamning bizga yaqin biror joyida antimodda mavjud boʻlganda edi, kuchli annigilatsiya jarayoni roʻy berishi va ulkan portlash boʻlib, katta miqdorda energiya ajralishi kerak edi. Lekin astrofiziklar hanuzgacha bunday holni

qayd etmaganlar. Shuning uchun ham antimoddani o'rganish, hozircha, faqat modda tuzilishini o'rganish yo'nalishidagi fundamental izlanishlardan iborat bo'lib qolmoqda.

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

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

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

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

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

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

«Buyuk birlashuv» nazariyasi. Yuqorida ta'kidlanganidek, har bir ta'sirlashuvning o'z qonunlari mavjud. Ammo olimlarning fikricha, bu ta'sirlashuvlarning barchasi yagona qonunga bo'ysunishi va sodda qilib tushuntirilishi zarur. Boshqacha

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

Xuddi shuningdek, elementar zarralarni ham ma'lum qonuniyatlar asosida jadvalga joylashtirish, ya'ni klassifikatsiyalash fiziklarning azaliy orzusidir. Shu maqsadda ularni to'rt guruhga bo'lishga kelishilgan (6- jadvalga qarang).

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

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

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

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

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

Kvarklar. Materiyaning eng kichik g'ishtchalari hisoblangan elementar zarralar murakkab tuzilishga ega ekanligi ma'lum bo'lgandan so'ng, materiyaning haqiqatdan eng kichik

Elementar zarralar jadvali

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

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

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



Sinov savollari

1. «Elementar» so'zi qanday ma'noni anglatadi? 2. Elementar zarralar haqiqatan ham elementarmi? 3. Hozir nechta zarra mavjudligi aniqlangan? 4. Qaysi kun elementar zarralar kashf qilingan kun hisoblanadi? 5. Elektron qachon, kim tomondan, qanday holatda kashf qilingan? 6. Foton haqida nimalarni bilasiz? 7. Proton qachon kashf qilingan va uning xarakteristikalarini qanday? 8. Pozitron qanday kashf qilingan va uning xarakteristikalarini qanday? 9. Neytronning xarakteristikalarini qanday? 10. Neytrino haqida nimalarni bilasiz? 11. Myuonlar qanday zarrachalar? 12. π - mezonlar-chi? 13. *K*- mezonlar-chi? 14. Giperonlar-chi? 15. Rezonanslar qanday zarralar? 16. Antizarralar qanday zarralar? 17. Ular zarralardan nimasi bilan farq qiladi? 18. Nechta zarraning antizarrasi mavjud? 19. Zarra va antizarra uchrashganda qanday hodisa

ro'y beradi? 20. Annigilatsiya deb qanday jarayonga aytiladi? 21. „Annigilatsiya“ so'zi nima ma'noni anglatadi? 22. Elektron-pozitron annigilatsiyasida materiya yo'qoladimi? 23. Elektron-pozitron annigilatsiyasiga teskari jarayon ham ro'y beradimi? 24. Qachon elektron-pozitron juftligi paydo bo'ladi? 25. Modda va maydon bir-biriga aylanadimi? 26. Antiyadrolar mavjudmi? 27. Annigilatsiya natijasida qancha energiya ajraladi? 28. Koinotda antimodda mavjudligi qayd etilganmi? 29. Agar biror joyda antimodda mavjud bo'lsa, qanday hol ro'y berar edi? 30. Elementar zarralar ta'sirlashuvining nechta turi mavjud? 31. Kuchli ta'sirlashuvni tushuntiring. 32. Elektromagnit ta'sirlashuv qanday ta'sirlashuv? 33. Kuchsiz ta'sirlashuv-chi? 34. Gravitatsion ta'sirlashuv-chi? 35. «Buyuk birlashuv» dan maqsad nima? 36. «Buyuk birlashuv» nazariyasi yuqorida ko'rilgan ta'sirlashuvlarni inkor etadimi? 37. Elektr kuchsiz ta'sirlashuv qanday ta'sirlashuv? 38. 6-jadvalni tahlil qiling. 39. Fotonlar, leptonlar, mezonlar, barionlar, fermionlar va bozonlar qanday zarralar? 40. Barqaror va beqaror zarralar-chi? 41. Gell-Mann va Sveyg g'oyalariga ko'ra barcha zarralar nimalardan tashkil topgan? 42. Kvarklar qanday zarralar? 43. Ularning spinlari va zaryadlari nimaga teng? 44. c kvark nima ma'noni anglatadi? 45. b kvark-chi? 46. t kvark nima maqsadda kiritilgan? 47. t kvarkning mahsuli qayd etilganmi? 48. Kvarklarni elementar zarralar deb hisoblash mumkinmi? 49. Kvarklar erkin zarralar sifatida qayd etilganmi?

39-§. Elementar zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari

M a z m u n i: zarralarni qayd qiluvchi asboblarning turlari; sintillatsion hisoblagich; gaz razryadli sanagich; Vilson kamerasi; fotoemulsiya usuli.

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

1. Zarralarni fazoning biror qismidan o'tganligini qayd qiluvchi va ba'zi hollarda ularning ba'zi xarakteristikalarini, masalan, energiyasini aniqlashga imkon beruvchi asboblarda. Bunday asboblarga sintillatsion (chaqnovchi) hisoblagich, Cherenkov

hisoblagichi, gaz razryadli hisoblagich, yarimo'tkazgichli hisoblagich va impulsli ionlashtiruvchi kamera misol bo'la oladi.

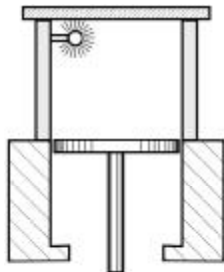
2. Zarraning moddada izini kuzatishga, masalan, suratga tushirishga imkon beruvchi asboblari. Bunday asboblarga Vilson kamerasi, diffuziyali kamera, pufakli kamera, fotoemulsiya usuli misol bo'la oladi. Biz quyida ularning ba'zilar bilan tanishib o'tamiz.

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

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

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

Vilson kamerasining sxemasi 60-rasmda tasvirlangan. Kamera-ning ishchi hajmi (1) suvning yoki spirtning to'yingan bug'i bo'lgan havo yoki gaz bilan to'ldirilgan. Porshen (2) pastga qarab tez harakatlanganda 1 hajmdagi gaz adiabatik ravishda kengayadi va soviydi. Natijada gaz o'ta to'yingan holatga keladi. Kameradan uchib o'tgan zarra o'z yo'lida ionlarni vujudga keltiradi va hajm kengayganda kondensatsiyalangan bug'lardan



60- rasm.



61- rasm.

tomchilar hosil bo'ladi. Shunday qilib, zarra orqasida ingichka tuman yo'l ko'rinishidagi iz qoladi. Bu izni kuzatish yoki rasmga tushirish mumkin.

Alfa-zarra gazni kuchli ionlashtiradi va shuning uchun Vilson kamerasida qalin iz qoldiradi (61- rasm). Beta-zarra — juda ingichka iz qoldiradi. Gamma-nurlanish esa Vilson kamerasidagi gaz molekulalaridan urib chiqargan fotoelektronlari yordamidagina qayd etilishi mumkin.

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

Fotoemulsiya usuli. 1927- yilda rus fizigi L.Misovskiy zaryadlangan zarralar izini qayd qilishning oddiy usulini taklif qildi. Zaryadlangan zarralar fotoemulsiya orqali o'tganda, unda tasvir hosil qiluvchi ionizatsiyani vujudga keltiradi. Surat ochilgandan keyin zaryadlangan zarralarning izlari ko'rinib qoladi. Emulsiya juda qalin bo'lganligi uchun ham zarraning unda qoldirgan izi juda ham qisqa bo'ladi. Shuning uchun, fotoemulsiya usuli juda katta energiyali tezlatkichlardan chiqayotgan zarralar va kosmik nurlar vujudga keltiradigan reaksiyalarni o'rganish maqsadida ishlatiladi.



Sinov savollari

1. Radioaktiv moddalarning nurlanishini o'rganishdan maqsad nima?
2. Zarralarni qayd qilishning asosiy usullari ularning qanday ta'sirlariga asoslangan?
3. Bu asboblarni nechta turga bo'linadi?
4. Bu asboblarni sanab o'ting.
5. Sintillatsion hisoblagichning ish prinsipi nimadan iborat?
6. α -

zarra birinchi bo'lib qanday asbobda qayd qilingan? 7. Gaz razryadli hisoblagichning ish prinsipi qanday? 8. Geyger—Myuller hisoblagichining ish prinsipi va unumdorligi qanday? 9. Vilson kamerasi qachon kashf qilingan? 10. Vilson kamerasining ish prinsipi qanday? 11. Vilson kamerasida zarraning izi qanday hosil bo'ladi? 12. Vilson kamerasida α , β , γ - zarralarning izlari qanday bo'ladi? 61- rasmdagi manzarani tahlil qiling. 13. D.Skobelsen Vilson kamerasining imkoniyatlarini qanday qilib kuchaytirgan? 14. Fotoemulsiya usuli nimadan iborat? 15. Fotoemulsiya usulidan qayerda foydalaniladi?



Masala yechish namunalari

1 - m a s a l a . Vodorod atomidagi elektronning uchinchi statsionar orbitadan ikkinchisiga o'tishida chiqariladigan fotonning energiyasi aniqlansin.

Berilgan:

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

$$E_f = ?$$

Yechish. Borning ikkinchi postulatiga muvofiq, vodorod atomidagi elektronning n - statsionar orbitadan m -orbitaga o'tishida chiqariladigan foton energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

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

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

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (2)$$

$$E_m = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \cdot \frac{1}{m^2}. \quad (3)$$

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

$$E_f = \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s;
 $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ F/m ekanligini va berilganlarni hisobga olib, E_f ni topamiz:

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

J a v o b : $E_f = 1,89 \text{ eV}$.

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

Berilgan:

$$m = 2m_0.$$

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

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

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

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

Elektronning tezligi v ni uning relativistik massasi ifodasi-dan aniqlaymiz:

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

yoki

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

Bundan v ni topamiz:

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

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

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

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

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

J a v o b : $\lambda = 1,4 \text{ pm}$.



Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Vodorod atomi nurlanish spektrining Balmer seriyasidagi fotonining maksimal energiyasi aniqlansin. ($E_{\max} = 3,4 \text{ eV}$.)
2. Bor nazariyasiga muvofiq, vodorod atomi ikkinchi statsionar orbitasining radiusi r_2 va undagi elektronning tezligi v_2 aniqlansin. ($r_2 = 212 \text{ pm}$; $v_2 = 1,1 \text{ Mm/s}$.)
3. Bor nazariyasiga muvofiq, ikkinchi statsionar orbitada bo'lgan elektronning aylanish davri T aniqlansin. ($T = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ s}$.)
4. Protonning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasidan ikki marta kichik. Uning de Broyl to'liqin uzunligi topilsin. ($\lambda = 1,19 \text{ fm}$.)
5. Elektronning kinetik energiyasi o'zining tinchlikdagi energiyasiga teng. Bunda elektron koordinatasining eng kichik noaniqligi nimaga teng bo'ladi? ($\Delta x = 0,27 \text{ pm}$.)
6. $^{14}_7\text{N}$ yadrosining massa defekti va bog'lanish energiyasi aniqlansin. ($\Delta m = 0,186 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $E_{\text{bog'}} = 104,3 \text{ MeV}$.)
7. Protonlar va neytronlar 5 g geliy hosil qilishida qanday energiya ajraladi? ($E = 3,42 \cdot 10^{12} \text{ J}$.)
8. $^{24}_{12}\text{Mg}$ atom yadrosining massa defekti, bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasi aniqlansin. ($\Delta m = 0,21 \text{ a.m.b}$; $E_{\text{bog'}} = 192 \text{ MeV}$; $E_{\text{sol}} = 2,6 \text{ MeV}$.)
9. Radiyning yarimyemirilish davri 1600 yilga teng. Radiy yadrosining o'rtacha yashash davri nimaga teng? ($\tau = 2240 \text{ yil}$.)
10. $^{11}_5\text{B}$ bor yadrosini protonlar bilan bombardimon qilganda berilliy ^8_4Be yadrosi hosil bo'ldi. Bu reaksiyada yana qanday yadro hosil bo'ladi? (^4_2He .)
11. Kalsiy va sirkoniyning davriy jadvaldagi tartib nomerlari, mos ravishda, 20 va 40 ga teng. 1 mol sirkoniydagi barcha yadrolar zaryadi 2 mol kalsiydagi barcha yadrolar zaryadidan necha marta katta? (1.)

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

Test savollari

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

Bobning asosiy xulosalari

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Atomdagi energetik sathlar:
$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

Ridberg doimiysi:
$$R = \frac{m_e e^4}{8h^3 \varepsilon_0^2}.$$

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

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

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

Noaniqlik munosabatlari:

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

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

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

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

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

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

Elektronning *s-spin kvant soni* ham mavjud.

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

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

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

Golografiya (yunoncha — to'la yozuv) — interferensiya manzarasi yordamida yozuvni va to'lqin maydonini qayta tiklashning maxsus usuli.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

