

53

p 63

**S. POLVONOV, E. BOZOROV,
Z. KANOKOV,**

ATOM YADROSI VA ELEMENTAR ZARRALAR FIZIKASI



TOSHKENT

S. POLVONOV, E. BOZOROV, Z. KANOKOV, ATOM YADROSI VA ELEMENTAR ZARRALAR FIZIKASI

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

**MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI O'ZBEKISTON
MILLIY UNIVERSITETI**

S. POLVONOV, E. BOZOROV, Z. KANOKOV,

ATOM YADROSI VA ELEMENTAR ZARRALAR FIZIKASI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2019

UO'K: 539.1(075)

KBK 22.383ya7

P 63

P 63

S. Polvonov, E. Bozorov, Z. Kanokov. Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi. –T.: «Fan va texnologiya», 2019, 168 bet.

ISBN 978-9943-6154-0-3

O'quv qo'llanmada atom yadrosining asosiy xususiyatlari, yadro kuchlari, yadro modellari, radioaktiv parchalanishning asosiy qonunlari, yadro reaksiyalari, yadro nurlanishlarning modda bilan o'zaro ta'siri, elementar zarralar klassifikatsiyasi, elementar zarralar va saqlanish qonunlari bayon etilgan.

Ushbu o'quv qo'llanma atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi sohasidagi mutaxassislar, doktorantlar hamda oliy o'quv yurtlari bakalavrlari va magistrantlari uchun mo'ljallangan.

«Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi» fanidan ma'ruza va amaliy mashg'ulotlarni o'tkazish, mazkur mashg'ulotlarda topshiriqlarni bajarishga doir o'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim Vazirligi tomonidan tasdiqlangan o'quv rejasiga binoan tayyorlangan.

UO'K: 539.1(075)

KBK 22.383ya7

Taqrizchilar:

T.M. Muminov – O'zRFA akademigi, O'zMU fizika fakulteti “Yadro fizikasi” kafedrası professori, fizika-matematika fanlari doktori;

S.L. Lutpullayev – O'zRFA akad. “Fizika-Quyosh” ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi “Yuqori energiyalar fizikasi” laboratoriyasi bosh ilmiy xodimi, fizika-matematika fanlari doktori, professor;

D.A. Qarshiyev – Tosh PTI “Tibbiy va biologik fizikasi, informatika va informatsion texnologiyalar” kafedrası mudiri, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent.

ISBN 978-9943-6154-0-3

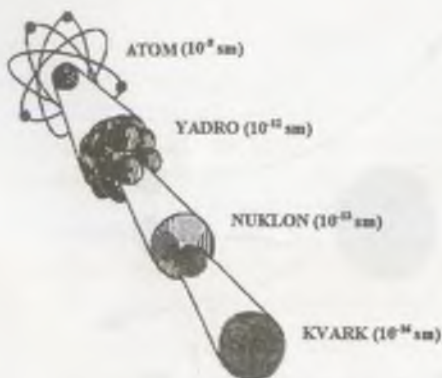
REESTH

84002

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2019.

KIRISH

Yadro fizikasi, bu zamonaviy fizikaning eng yirik bo'limlaridan biri bo'lib, u atom yadrosining tuzilishi va xususiyatlarini, zarralar xususiyatlari va o'zaro aylanishlarini o'rganuvchi fandir. Yadro fizikasi, zamonaviy yadro energetikasi va yadro texnologiyalarining ilmiy negizi hisoblanadi. Yadro fizikasi, fan va texnikaning ko'pgina tarmoqlarida keng qo'llanilmoqda. Keyingi vaqtlarda yadro fizikasi, meditsinaning turli sohalarida qo'llanishi juda jadallashib ketdi desak mubolag'a bo'lmaydi. Buning natijasida yadro meditsinasi deb nomlangan yangi yo'nalish va fan vujudga keldi. Ionlovchi nurlanishlar manbai va radioaktiv indikatorlar metodlari qo'llanilmagan ilmiy izlanishlar yoki ishlab chiqarishlar sohalarini topish qiyindir. Bu metodlar qo'llanilib amalga oshirish uchun mo'ljallangan muammolar soni doimo oshib bormoqda. Bundan tashqari, yadro fizikasi arxeologiya, geologiya va boshqa sohalarida ham qo'llanilib kelmoqda.



Yadro fizikasi o'rganadigan obyektlar

Yadro fizikasida juda ham kichik masofadagi va bitta zarraga to'g'ri keluvchi juda katta energiyalardagi hodisa va jarayonlar o'rganiladi. Yadro fizikasi o'rganadigan obyektlar va o'lchamlar rasmda keltirilgan. Bu atom yadrosi va elementar zarralar, ya'ni atomga nisbatan ham kichik obyektlar. Yadro fizikasi o'rganadigan hodisalar yuz beradigan masofaning eng yuqori chegarasi bu atom o'lchami, ya'ni 10^{-8} sm.

Alohida mikrozarralar energiyasining eng pastki chegarasi bu atomdagi elektronning bog'lanish energiyasidir. Bu ma'noda yadro fizikasi subatom hodisalar fizikasi hisoblanadi.

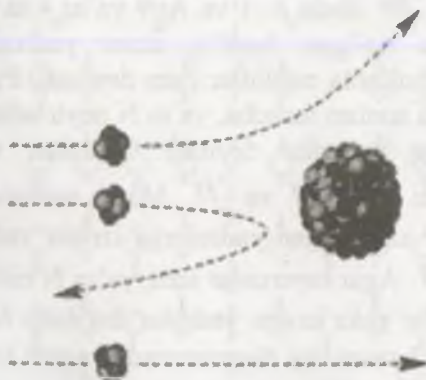
Mazkur uslubiy qo'llanmada atom yadrosi va elementar zarralar fizikasining quyidagi bo'limlari bayon qilinadi: Atom yadrosining asosiy xususiyatlari, yadro kuchlari, yadro modellari, radioaktivlik, yadro reaksiyalari, yadro nurlanishlarining modda bilan o'zaro ta'siri, elementar zarralar. Ushbu bo'limlar orqali atom yadrosining xususiyatlari, tuzilishi, yadro reaksiyalari, alfa va beta - parchalanishlar, gamma-nurlanishlar, atom yadrolarning o'zaro aylanishlari yoritilgan.

I BOB

ATOM YADROLARINING ASOSIY XUSUSIYATLARI

1.1-§. Yadro tarkibi. Elektr va barion zaryad

Ingliz fizigi Ernest Rezerford va uning shogirdlari atom tuzilishni o'rganish maqsadida turli element atomlarini o'sha vaqtda eng kuchli va eng tez uchar atom snaryadlari bo'lgan alfa-zarralar bilan bombardimon qildilar. Alfa zarralarning oltin folgada sochilishiga qarab, E. Rezerford atom markazida massasi katta bo'lgan yadro borligini aniqlaydi, ya'ni u ayrim zarralarning katta burchaklarga sochilishini kuzatadi. Demak, zarralar o'z yo'lida o'z massasidan ham katta bo'lgan zarra bilan to'qnashadi va o'z harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Ushbu zarrani E. Rezerford atom yadrosi deb nom berdi va tajriba natijalarini E. Rezerford 1911-yilda e'lon qildi.



1.1-rasm. Alfa-zarralarning yadrolarda sochilishi.

1932-yili rus fiziklari D.D. Ivanenko va YE.D. Gapon birinchi bo'lib barcha elementlarning atom yadrolari neytron va protonlardan iborat degan fikrni aytganlar. Nemis fizigi V. Geyzenberg bu gipotezani nazariy jihatdan isbotlab berdi. Proton va neytronning massalari bir-biriga yaqin bo'lib, elektron massasidan taxminan 2000 marta katta, ya'ni $M_p=1836,15m_e$, $M_n=1838,68m_e$. Proton musbat zaryadlangan zarracha va uning absolyut qiymati elektron zaryadiga teng. Neytron esa elektr zaryadi yo'q zarrachadir. Atom yadrosining tarkibiga kirgan bu zarralarni nuklonlar degan umumiy nomda ham yuritiladi. Nuklon so'zi lotincha bo'lib, u yadro degan ma'noni bildiradi.

Proton va neytronlarni atom yadrosida ushlab turadigan kuchga yadro kuchi deyiladi.

Yadrodagi protonlar soni Z elementning tartib nomeriga, proton va neytronlarning umumiy soni esa massa soniga teng:

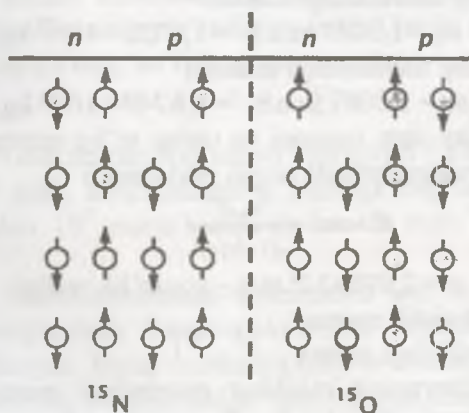
$$A=Z+N \quad (1.1)$$

bunda, A – massa soni, Z – protonlar soni, N – neytronlar soni. Turli yadrolarni belgilashda odatda ${}_Z^AX$ ko'rinishdagi belgilashlardan foydalaniladi. Bunda tartib nomeri Z bo'lgan kimyoviy elementning simvoli. Masalan ${}_4^9Be$ ifoda $Z=4$ va $A=9$ ya'ni 4 ta proton va 5 ta neytrondan iborat bo'lgan berilliy atom yadrosini belgisidir. Yadrolarni ayrim hollarda nuklidlar ham deyiladi. Protonlar soni Z bir xil, biroq massa sonlari turlicha, ya'ni N neytronlari soni turlicha bo'lgan yadrolarga izotoplar deyiladi. Masalan, vodorod uchta izotopga ega, ya'ni ${}_1^1H$, ${}_1^2H$ va ${}_1^3H$. Massa sonlari bir xil bo'lib, protonlar soni har xil bo'lgan yadrolarga izobar yadrolar deyiladi. Masalan ${}_6^{11}C$ va ${}_3^{11}B$. Agar neytronlar soni, ya'ni N bir bo'lsa, bunday yadrolarga izotonlar yoki izoton yadrolar deyiladi. Masalan ${}_{16}^{32}S$, va ${}_{14}^{32}Si$. Bu yadrolar 1.2-rasmdagi diagrammada yaqqol ko'rinadi.

z	¹ N - стабильн(тург'un) nuklidpar							¹⁵ Ne	¹⁶ Ne	¹⁷ Ne	¹⁸ Ne	¹⁹ Ne	²⁰ Ne	²¹ Ne	²² Ne			
9								¹⁵ F	¹⁶ F	¹⁷ F	¹⁸ F	¹⁹ F	²⁰ F	²¹ F				
8	Izobarlar (A = const)							¹⁶O	¹⁷O	¹⁸O	¹⁹O							
7								¹⁴N	¹⁵N	¹⁶N	¹⁷N	¹⁸N						
6				¹² C	¹³ C	¹⁴ C	¹⁵ C	¹⁶C	¹⁷C	¹⁸C	¹⁹C							
5				¹⁰ B	¹¹ B	¹² B	¹³ B	¹⁴ B	¹⁵ B				Izotoni (N = const)					
4				⁸ Be	⁹ Be	¹⁰ Be	¹¹ Be	¹² Be	¹³ Be									
3				⁶ Li	⁷ Li	⁸ Li	⁹ Li			Izotoni			Z = const)			.		
2		³ He	⁴ He															
1	¹ H	² H	³ H					¹ C - nostabil nuklidlar										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			

1.2-rasm. Yengil yadrolar nuklidlari misolida tuzilgan proton-neutron diagrammasi.

Agar yadrodagi hamma neytronlarni protonlarga almashtirilsa, va hamma protonlarni neytronlarga almashtirilsa, u holda “ko‘zgu” yadrolar hosil bo‘ladi. Masalan ^{15}N yadro ^{15}O yadrosiga nisbatan “ko‘zgu” yadro bo‘lib qoladi (1.3-rasm). Asosiy holatdagi “ko‘zgu” yadrolarning energiyalari Kulon o‘zaro ta’sir energiyasi bilan farq qiladi.



1.3-rasm. Kuzgu yadrolar.

“Ko‘zgu” yadrolarga quyidagi yadrolarni misol qilib keltirish mumkin: ${}^2_1\text{H}$ - ${}^3_2\text{He}$, ${}^7_4\text{Be}$ - ${}^7_3\text{Li}$ va h.k. Hamma vaqt “ko‘zgu” yadrolardan biri radioaktiv bo‘ladi.

Bir xil massa sonlariga va bir xilga ega bo‘lib, bir-biridan radioaktivlik xususiyatlari bilan farq qiluvchi yadrolarga izomer yadrolar deyiladi. Izomerlar bu bir turdagi, ammo turli energetik holatlarda bo‘lgan yadrolardir. Ayrim hollarda yadroning uzoq yashovchi uyg‘ongan holatiga izomer holat deb ham ta’rif beriladi.

1.2-§. Yadroning massasi va bog‘lanish energiyasi

Yadro massasi uning eng muhim xarakteristikalaridan biridir. Tarkibi (A, Z) bo‘lgan yadro massasi $M(A, Z)$ bilan, unga mos kelgan atom massasi esa M_{at} bilan belgilanadi. Yadro fizikasida, atom fizikasidagi kabi massa o‘lchash uchun massa atom birligi (m.a.b.) keng qo‘llaniladi:

$$1 \text{ m.a.b.} = \frac{1}{12} M({}^{12}_6\text{C})$$

$$1 \text{ m.a.b.} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}, \quad (1.2)$$

Bu birlik shuning uchun ham qullayki, uning kattaligi nuklon massasiga yaqindir:

protonning tinchlikdagi massasi

$$m_p = 1,0073 \text{ m.a.b.} = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

neytronning tinchlikdagi massasi

$$m_n = 1,0087 \text{ m.a.b.} = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

Har qanday jism massasi va uning to‘liq energiyasi orasidagi bog‘lanish quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$W = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (1.3)$$

Bu yerda, $s = 2,998 \times 10^8$ m/s – yorug‘lik tezligi,

m – relyativistik massa,

m_0 – tinchlikdagi massa.

Bu Eynshteynning mashhur munosibati massa va energiya orasidagi aloqani ifodalaydi. Bunga asosan yadro fizikasida energiyani o‘lchagan kabi, massani o‘lchashda ham elektronvolt (eV) energiya o‘lchov birligidan foydalaniladi :

$$1 \text{ keV (kiloelektronvolt)} = 10^3 \text{ eV}$$

1 MeV (megaelektronvolt) = 10^6 eV

1 GeV (gigaelektronvolt) = 10^9 eV.

Esatib o'tamiz, 1eV deb zaryadi *ye* elementar zaryadga teng bo'lgan zarra 1 V potentsiallar farqini o'tganda ega bo'ladigan energiyaga aytiladi.

1 m.a.b. va 1 eV lar orasidagi aloqani tiklaymiz. (1.4) formuladan:

1 m.a.b. = $1,6605 \times 10^{-27} \times (2,998 \times 10^8)^2 = 1,492 \times 10^{-10}$ J,
ta'rifdan elektronvolt:

$$1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{J}.$$

Shunday qilib, oxirgi munosibatdan

$$1\text{ m.a.b.} = \frac{1,492 \times 10^{-10}}{1,602 \times 10^{-19}} = 931,5 \times 10^6 \text{ eV} = 931,5 \text{ MeV},$$

Bunga asosan

$$m_p = 1,0073 \text{ m.a.b.} = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938,2 \text{ MeV},$$

$$m_n = 1,0087 \text{ m.a.b.} = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg} = 939,5 \text{ MeV},$$

Yadro fizikasida odatda yadro massasidan emas, balki atom massasidan foydalaniladi. Bunga sabab, yengil elementlarni hisobga olmaganda, yadro massasini u bilan bog'liq bo'lgan elektronlarsiz bevosita o'lchab bo'lmasligidir. Neytral atom massasi, massani zamonaviy o'lchash metodlarining anqlik chegarasida, yadro va elektronlar massalarining yig'indisiga teng. Garchi tamoyilda atom massasi quyidagiga teng bo'lishiga qaramasdan:

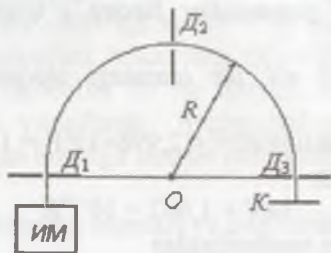
$$M_{\text{am}}(A, Z) = M(A, Z) + Z \cdot m_e + \sum_i w_i \quad (1.4)$$

bu yerda, $\sum w_i$ - elektronlar bog'lanish energiyasi, $\sum w_i \approx 13,6 \times Z$ eV.

Shunday qilib, elektronlarning yadroga bog'lanish energiyasi atom massasidan 10^7 marta kichik va amalda atom massasiga ta'sir qilmaydi.

Atomlar massalarini mass-spektrometr deb nomlangan asbob yordamida aniqlaniladi. Mass-spektrometr tuzilish sxemasi 1.4-rasmda tasvirlangan. Ionlar manbaida (IM) m massasi o'lchash zarur bo'lgan atomlarning musbat ionlari hosil bo'ladi. Zaryadi q_i bo'lgan ionlar tirqish orqali IM va D_i orasida qo'yilgan U potentsiallar farqi natijasida hosil bo'lgan elektr maydonga kelib tushadi. Ushbu elektr maydondan o'tgandan keyin quyidagi kinetik energiyaga ega bo'ladi:

$$\frac{mV^2}{2} = qU \quad (1.5)$$



1.4-rasm. Mass-spektrometr tuzilish sxemasi.

Zarracha induksiyasi B bo'lgan bir jinsli magnit maydonga V tezlik bilan kirib keladi. Magnit maydon induksiya vektori chizma tekisligiga perpendikular bo'lib, biz tomonga yo'nalgan. Magnit maydonda ionga Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$F = qVB \quad (1.6)$$

Ushbu kuch O nuqtaga yo'nalgan markazga intilma tezlanish hosil qiladi, natijada ion radiusi R bo'lgan aylana bo'lab harakat qiladi. Shunday qilib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{mV^2}{R} = qVB \quad (1.7)$$

(1.6) va (1.7) munosibatlardan V tezlikni yo'qotib, ion massasining absolyut qiymati quyidagiga teng ekanligini topamiz: tezlik

$$m = \frac{qR^2B^2}{2U} \quad (1.8)$$

D_1 , D_2 va D_3 diafragmalar vaziyati (o'rni) bo'yicha zarur bo'lgan aylana radiusi beriladi. U va B kattaliklarni tanlab olish orqali ionlar dastasini K kollektorga tushishiga erishiladi. Kollektorda ionlar maksimal toki bo'yicha qayd qilinadi. Shunday qilib, ion radiusi R bo'lgan aylana harakatlanayotganligi aniqlaniladi va ion massasi hisoblab topiladi. Agar ionizatsiyalanish zarrasi, ma'lum bo'lsa, ion massasidan elektron qobiqlardagi elektronlarning yig'indi massasini ayirish orqali yadro massasini aniqlash mumkin.

Yadro bog'lanish energiyasi. Yadro bu nuklonlarning bir-biri bilan o'zaro bog'langan tizimi. Bog'langan holatlar faqat nuklonlar tizimini cheklangan hajmda ushlab turuvchi tortishiuvchi yadro kuchlari ta'siri ostida paydo bo'lishi mumkin. Bog'langan holatlarning turg'unligini, nuklonlarning bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashuvchi tizimi sifatidagi yadroning minimum to'liq energiyaga ega bo'lishi ta'minlaydi. Massa soni A bo'lgan nuklonlar tizimining yadroga birlashishigacha, ya'ni bir biri bilan yadro tortishish kuchlarni hisobga olmaydigan masofada joylashgan tizimning to'liq energiyasi W_1 quyidagiga teng bo'ladi:

$$W_1 = \sum_i m_i c^2 \quad (1.9)$$

bu yerda, m_i – yadro hosil bo'ladigan nuklonlar massasi.

Nuklonlarni yadroga birlashtirgandan keyin uning massasi M va to'liq energisi quyidagiga teng bo'lib qoladi:

$$W_2 = M c^2 \quad (1.10)$$

Tizimning energiya o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = M c^2 - \sum_{i=1}^A m_i c^2 \quad (1.11)$$

Tortishish kuchining ishi, tizimini energiyasi kichik bo'lgan holatga o'tishiga sabab bo'ladi, shuning uchun $\Delta W < 0$ kattalik yadro hosil bo'lganda ajralib chiqadigan va yadroni o'rab turgan fazoga tarqaluvchi energiyaga teng bo'ladi. Aksincha, yadroni parchalash va nuklonlarni erkin holatda deb hisoblab bo'ladigan masofagacha uzoqlashtirish uchun $|\Delta W|$ energiya zarur bo'ladi. Quyidagi kattalikka bog'lanish energiyasi deyiladi:

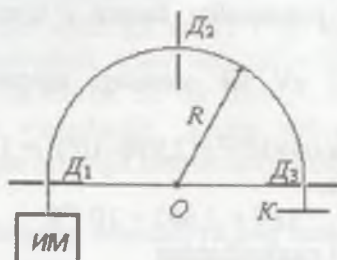
$$\Delta W_{\text{da}} = W_1 - W_2 = \sum_{i=1}^A m_i c^2 - M c^2 \quad (1.12)$$

Ushbu munosibat har qanday inersial sanoq sistemada o'rinlidir. Turg'un yadro uchun bog'lanish energiyasi musbat va u yadroni, uni tashkil qilgan hamma nuklonlarga ajratish uchun sarf bo'ladigan energiyaga teng bo'ladi. Boshqacha aytganda, yadroni proton va neytronlarga batamom parchalash uchun zarur bo'lgan energiyaga bog'lanish energiyasi deyiladi. Yuqoridagi (1.4) munosibat massa soni A va zaryadi Z bo'lgan yadro uchun yozamiz:

$$W_{\text{da}}(A, Z) = [Z m_p + (A - Z) m_n - M(A, Z)] c^2 \quad (1.13)$$

Bu ifodadagi quyidagi kattalik massa defekti deyiladi :

$$\frac{mV^2}{2} = qU \quad (1.5)$$



1.4-rasm. Mass-spektrometr tuzilish sxemasi.

Zarracha induksiyasi B bo'lgan bir jinsli magnit maydonga V tezlik bilan kirib keladi. Magnit maydon induksiya vektori chizma tekisligiga perpendikular bo'lib, biz tomonga yo'nalgan. Magnit maydonda ionga Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$F = qVB \quad (1.6)$$

Ushbu kuch O nuqtaga yo'nalgan markazga intilma tezlanish hosil qiladi, natijada ion radiusi R bo'lgan aylana bo'lab harakat qiladi. Shunday qilib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{mV^2}{R} = qVB \quad (1.7)$$

(1.6) va (1.7) munosibatlardan V tezlikni yo'qotib, ion massasining absolyut qiymati quyidagiga teng ekanligini topamiz: tezlik

$$m = \frac{qR^2B^2}{2U} \quad (1.8)$$

D_1 , D_2 va D_3 diafragmalar vaziyati (o'qi) bo'yicha zarur bo'lgan aylana radiusi beriladi. U va B kattaliklarni tanlab olish orqali ionlar dastasini K kollektorga tushishiga erishiladi. Kollektorda ionlar maksimal toki bo'yicha qayd qilinadi. Shunday qilib, ion radiusi R bo'lgan aylana harakatlanayotganligi aniqlaniladi va ion massasi hisoblab topiladi. Agar ionizatsiyalanish zarrasi, ma'lum bo'lsa, ion massasidan elektron qobiqlardagi elektronlarning yig'indi massasini ayirish orqali yadro massasini aniqlash mumkin.

Yadro bog'lanish energiyasi. Yadro bu nuklonlarning bir-biri bilan o'zaro bog'langan tizimi. Bog'langan holatlar faqat nuklonlar tizimini cheklangan hajmda ushlab turuvchi tortishiuvchi yadro kuchlari ta'siri ostida paydo bo'lishi mumkin. Bog'langan holatlarning turg'unligini, nuklonlarning bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashuvchi tizimi sifatidagi yadroning minimum to'liq energiyaga ega bo'lishi ta'minlaydi. Massa soni A bo'lgan nuklonlar tizimining yadroga birlashishigacha, ya'ni bir biri bilan yadro tortishish kuchlarni hisobga olmaydigan masofada joylashgan tizimning to'liq energiyasi W_1 quyidagiga teng bo'ladi:

$$W_1 = \sum_i m_i c^2 \quad (1.9)$$

bu yerda, m_i – yadro hosil bo'ladigan nuklonlar massasi.

Nuklonlarni yadroga birlashtirgandan keyin uning massasi M va to'liq energisi quyidagiga teng bo'lib qoladi:

$$W_2 = M c^2 \quad (1.10)$$

Tizimning energiya o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = M c^2 - \sum_{i=1}^A m_i c^2 \quad (1.11)$$

Tortishish kuchining ishi, tizimini energiyasi kichik bo'lgan holatga o'tishiga sabab bo'ladi, shuning uchun $\Delta W < 0$ kattalik yadro hosil bo'lganda ajralib chiqadigan va yadroni o'rab turgan fazoga tarqaluvchi energiyaga teng bo'ladi. Aksincha, yadroni parchalash va nuklonlarni erkin holatda deb hisoblab bo'ladigan masofagacha uzoqlashtirish uchun $|\Delta W|$ energiya zarur bo'ladi. Quyidagi kattalikka bog'lanish energiyasi deyiladi:

$$\Delta W_{da} = W_1 - W_2 = \sum_{i=1}^A m_i c^2 - M c^2 \quad (1.12)$$

Ushbu munosibat har qanday inersial sanoq sistemada o'rinalidir. Turg'un yadro uchun bog'lanish energiyasi musbat va u yadroni, uni tashkil qilgan hamma nuklonlarga ajratish uchun sarf bo'ladigan energiyaga teng bo'ladi. Boshqacha aytganda, yadroni proton va neytronlarga batamom parchalash uchun zarur bo'lgan energiyaga bog'lanish energiyasi deyiladi. Yuqoridagi (1.4) munosibat massa soni A va zaryadi Z bo'lgan yadro uchun yozamiz:

$$W_{da}(A, Z) = [Z m_p + (A - Z) m_n - M(A, Z)] c^2 \quad (1.13)$$

Bu ifodadagi quyidagi kattalik massa defekti deyiladi :

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - M(A, Z)$$

Massa defekti m.a.b. larda o'lanadi.

Amaliy hisoblashlarda yuqorida keltirilgan (1.13) formula noqulaylik to'g'iradi. Chunki tajribada yadro massasi emas, balki atom $M_{at}(A, Z)$ massasi aniqlaniladi. Shu sababli, jadvallarda atom masalalari keltiriladi. Elektronlar soni Zm_e tengligni hisobga olib, yuqorida bog'lanish energiyasi uchun keltirilgan formulani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$W_{\alpha\alpha}(A, Z) = [Z m_H + (A - Z) m_n - M_{\alpha\alpha}(A, Z)] c^2$$

Massa atom birligidan energiya birligiga o'tsak quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$W_{\alpha\alpha}(A, Z) = [Z M_u(^1H) + (A - Z) M_u(n) - M_u(A, Z)] \cdot 931,5$$

Ushbu holda bog'lanish energiyasi MeV larda aniqlaniladi. Hozirgi kunda bu kattalik ma'lum bo'lgan hamma nuklidlar uchun yuqori aniqlikka ega bo'lgan mass-spektrometrik usuli bilan aniqlangan. Quyidagi jadvalda ayrim yadrolarning bog'lanish energiyalari keltirilgan:

1.1-jadval

Yadro	$W_{bog'}$, MeV	Yadro	$W_{bog'}$, MeV
2H	2,2	^{131}Xe	1103,5
^{12}C	92,2	^{208}Pb	1636,5
^{16}O	127,6	^{238}U	1801,7

Hisoblashlar uchun quyidagi formuladan ham foydalaniladi:

$$E_{\alpha\alpha} = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - \Delta$$

bu yerda, Δ_H , Δ_n , Δ - vodorod atomi, neytron va ushbu yadroga mos keluvchi atom massa defektlari. Massa defekti, atom massasi (m.a.b. lardagi) bilan massa soni A orasidagi ayrimadir, ya'ni $\Delta = M - A$.

Solishtirma bog'lanish energiyasi. Yadrodagi nuklonlarning bog'lanish intensivligini xarakterlovchi kattalik sifatida bog'lanish energiyasi noqulay kattalik hisoblanadi. Bunga sabab, ushbu kattalik nuklonlar sonining oshishi bilan oshib boradi. Bu maqsad uchun ko'proq solishtirma bog'lanish energiyasi $\epsilon(A, Z)$ deb nomlangan

kattalik mos keladi. Solishtirma bog'lanish energiyasi, bog'lanish energiyasining massa soniga nisbatiga teng, ya'ni:

$$\varepsilon(A, Z) = \frac{W_{\text{bog}}}{A} \quad (1.14)$$

Bu kattalik yadroning turg'unligini to'liq ifodalaydi va uning mustakamlik o'lchovi bo'lib xizmat qiladi. Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanishi 1.5-rasmda keltirilgan. Bu rasmdan ko'rinadiki, ko'pchilik drolar uchun solishtirma bog'lanish energiyasi 8 MeV atrofida.

Massa defektining massa soniga nisbatiga solishtirma massa defekti deb ataladi, ya'ni:

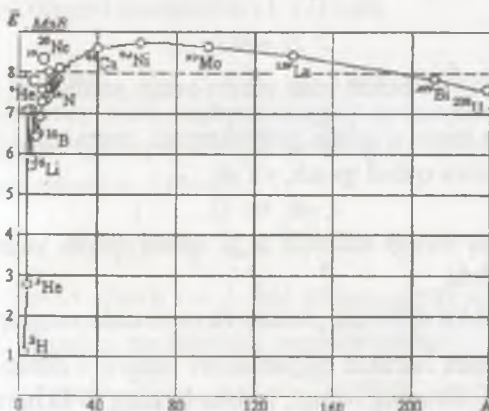
$$f = \frac{\Delta}{A}$$

${}_Z^{X^A}$ yadrodan neytronni ajratib olish uchun zarur energiya bu, ${}_Z^{X^A}$ va ${}_Z^{X^{A-1}}$ yadrolarning bog'lanish energiyalari ayirmalariga teng, ya'ni:

$$W_n = W_{\text{bog}}(Z, A) - W_{\text{bog}}(Z, A-1)$$

${}_Z^{X^A}$ yadrodan protonni ajratib olish uchun zarur energiya bu, ${}_Z^{X^A}$ va ${}_{Z-1}^{X^{A-1}}$ yadrolarning bog'lanish energiyalari ayirmalariga teng, ya'ni:

$$W_p = W_{\text{bog}}(Z, A) - W_{\text{bog}}(Z-1, A-1) \quad (1.15)$$



1.5-rasm. Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanishi.

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - M(A, Z)$$

Massa defekti m.a.b. larda o'lchanadi.

Amaliy hisoblashlarda yuqorida keltirilgan (1.13) formula noqulaylik to'g'diradi. Chunki tajribada yadro massasi emas, balki atom $M_{at}(A, Z)$ massasi aniqlaniladi. Shu sababli, jadvallarda atom masalalari keltiriladi. Elektronlar soni Zm_e tengligni hisobga olib, yuqorida bog'lanish energiyasi uchun keltirilgan formulani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$W_{ad}(A, Z) = [Z m_H + (A - Z) m_n - M_{ad}(A, Z)] c^2$$

Massa atom birligidan energiya birligiga o'tsak quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$W_{ad}(A, Z) = [Z M_u(^1H) + (A - Z) M_u(n) - M_u(A, Z)] \cdot 931,5$$

Ushbu holda bog'lanish energiyasi MeV larda aniqlaniladi. Hozirgi kunda bu kattalik ma'lum bo'lgan hamma nuklidlar uchun yuqori aniqlikka ega bo'lgan mass-spektrometrik usuli bilan aniqlangan. Quyidagi jadvalda ayrim yadrolarning bog'lanish energiyalari keltirilgan:

1.1-jadval

Yadro	$W_{bog'}$, MeV	Yadro	$W_{bog'}$, MeV
2H	2,2	^{131}Xe	1103,5
^{12}C	92,2	^{208}Pb	1636,5
^{16}O	127,6	^{238}U	1801,7

Hisoblashlar uchun quyidagi formuladan ham foydalaniladi:

$$E_{bog} = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - \Delta$$

bu yerda, $\Delta_H, \Delta_n, \Delta$ - vodorod atomi, neytron va ushbu yadroga mos keluvchi atom massa defektlari. Massa defekti, atom massasi (m.a.b. lardagi) bilan massa soni A orasidagi ayrimadir, ya'ni $\Delta = M - A$.

Solishtirma bog'lanish energiyasi. Yadrodagi nuklonlarning bog'lanish intensivligini xarakterlovchi kattalik sifatida bog'lanish energiyasi noqulay kattalik hisoblanadi. Bunga sabab, ushbu kattalik nuklonlar sonining oshishi bilan oshib boradi. Bu maqsad uchun ko'proq solishtirma bog'lanish energiyasi $\varepsilon(A, Z)$ deb nomlangan

kattalik mos keladi. Solishtirma bog'lanish energiyasi, bog'lanish energiyasining massa soniga nisbatiga teng, ya'ni:

$$\varepsilon(A, Z) = \frac{W_{\text{bog}}}{A} \quad (1.14)$$

Bu kattalik yadroning turg'unligini to'liq ifodalaydi va uning mustakamlik o'lchovi bo'lib xizmat qiladi. Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanishi 1.5-rasmda keltirilgan. Bu rasmdan ko'rinadiki, ko'pchilik drolar uchun solishtirma bog'lanish energiyasi 8 MeV atrofida.

Massa defektining massa soniga nisbatiga solishtirma massa defekti deb ataladi, ya'ni:

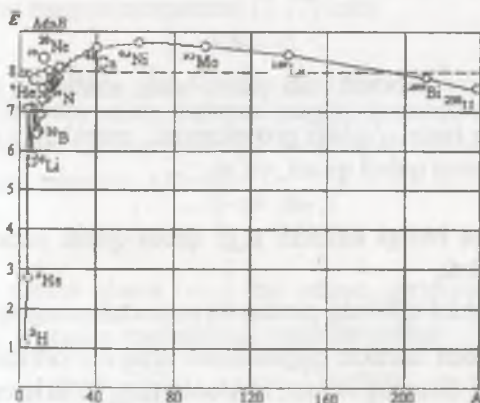
$$f = \frac{\Delta}{A}$$

${}_Z X^A$ yadrodan neytronni ajratib olish uchun zarur energiya bu, ${}_Z X^A$ va ${}_Z X^{A-1}$ yadrolarning bog'lanish energiyalari ayirmalariga teng, ya'ni:

$$W_n = W_{\text{bog}}(Z, A) - W_{\text{bog}}(Z, A-1)$$

${}_Z X^A$ yadrodan protonni ajratib olish uchun zarur energiya bu, ${}_Z X^A$ va ${}_{Z-1} X^{A-1}$ yadrolarning bog'lanish energiyalari ayirmalariga teng, ya'ni:

$$W_p = W_{\text{bog}}(Z, A) - W_{\text{bog}}(Z-1, A-1) \quad (1.15)$$



1.5-rasm. Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanishi.

Yadro bog'lanish energiyasini aniqlash uchun quyidagi yarim empirik formula yoki Veyszekker formulasidan foydalanamiz:

$$E_{\text{bog}} = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/2}} - \xi \frac{(\frac{A}{2} - Z)^2}{A} + \delta \frac{\lambda}{A^{3/4}} \quad (1.16)$$

bu yerda

$$\delta = \begin{cases} \text{juft} - \text{juft} \text{ yadrolar uchun} & +1 \\ \text{tok} - \text{juft} \text{ yadrolar uchun} & 0 \\ \text{tok} - \text{tok} \text{ yadrolar uchun} & -1 \end{cases}$$

Ushbu (1.16) formuladagi koeffitsiyentlar qiymati quyidagiga teng:

$$\alpha = 15,75 \text{ MeV}, \quad \beta = 17,8 \text{ MeV}, \quad \gamma = 0,71 \text{ MeV}, \\ \xi = 94,8 \text{ MeV}, \quad \lambda = 34 \text{ MeV}$$

1.3-§. Yadro spini va magnit dipol momenti

Ma'lumki mikrozaralar o'zlarining ichki harakat miqdori momentlariga ega. Bu ichki moment mikrozaraning spini deyiladi. Spinning asosiy xususiyatlaridan biri uning diskret qiymatlarni qabul qilishidir.

$$J^2 = \hbar^2 j(j+1)$$

bu yerda $j = 0; \frac{1}{2}; 1; \frac{3}{2}; \dots$ butun yoki yarim butun sonlardan iborat. To'la moment J ning biror o'qdagi proyeksiyasi, masalan J_z , berilgan J ning $2j+1$ qiymatini qabul qiladi, ya'ni:

$$J_z = \hbar j, \hbar(j-1), \dots$$

Bunday moment birligi sifatida $\hbar$ ni qabul qilish yadro fizikasida qulaylik tug'diradi.

Yadroni tashkil qiluvchi proton va neytronlarning spinlari $\frac{1}{2}\hbar$ ga teng. Ular yadroda harakat qilganliklari tufayli l orbital momentga ham ega bo'ladi. Shuning uchun, nuklonlarning to'la harakat miqdori momenti, j spini va orbital momentlarining parallel yoki antiparallel bo'lishiga qarab $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$ yoki $\vec{j} = \vec{l} - \vec{s}$ bo'lishi mumkin. Demak,

yadroning to'la momenti alohida nuklonlar harakat miqdori momentlarining yig'indisiga teng bo'lishi kerak.

$$\vec{I} = \sum_A \vec{I}_A$$

Mavjud yadrolarning spinlari uchun quyidagi qonuniyatlar kuzatilgan;

- Massa soni A juft bo'lgan yadrolarning spin har doim butun. A – toq bo'lganda esa, spin yarim butun son bo'ladi.
- Juft-juft yadrolarning asosiy holatdagi spini nolga teng bo'ladi.
- Ma'lum bo'lgan hamma stabil yadrolarning asosiy holatdagi spini 9/2 dan katta bo'lmaydi.

Har biri noldan farqli spinga ega bo'lgan yadrolar magnit dipol momenti $\vec{\mu}$ - ga ega bo'ladi. Bu magnit momentining yo'nalishi spini yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi, ya'ni $\vec{\mu} = g \vec{I}$. Nuklonning magnit momenti uni xususiy va orbital magnit momentlaridan iborat bo'ladi

$$\vec{\mu} = g_s \vec{I} + g_l \vec{s} = \vec{\mu}_s + \vec{\mu}_l \quad (1.17)$$

Bu yerda g_s va g_l – nuklonlar orbital va spin giromagnit ko'paytmasi.

Proton uchun $g_s^p=1$, neytron uchun $g_s^n=0$; proton uchun $\mu_p^p = 2,79276\mu_N$, neytron uchun $\mu_n^n = -1,91314\mu_N$, $g_s^n=3,8263$. Bu yerda $\mu_N = \frac{e\hbar}{2M_p c} \approx 5 \cdot 10^{-24} \text{ ydga} / \text{A} \cdot \text{A}$

Yadroning magnit momentini (1.17) kabi

$$\vec{\mu} = g_l \vec{I}$$

deb yozish mumkin. Bu yerda g_l -yadro uchun gidromagnit ko'paytma. Shunday qilib, yadroni magnit momentini topish uchun g_l ni bilish kerak. Qobiq modeliga asoslangan holda g_l ni g_s va g , orqali ifodalash mumkin. U holda

$$\mu_{\alpha} = \left(g_s \pm \frac{g_s - g_l}{2I + 1} \right) I \quad (1.18)$$

Bu ifodadagi minus ishora $I=l-\frac{1}{2}$ hol uchun, plus ishora esa $I=l+\frac{1}{2}$ ga tegishlidir. Masalan toq protonli yadrolar uchun

$$\begin{aligned} \mu_{\alpha} &= \left(1 - \frac{2,92}{I+1} \right), & I=l-\frac{1}{2} \text{ uchun} \\ \mu_{\alpha} &= \left(1 + \frac{2,92}{I} \right), & I=l+\frac{1}{2} \text{ uchun} \end{aligned} \quad (1.19)$$

Toq neytronli yadrolar uchun esa

$$\mu_m = \frac{191}{I+1} I, \quad I = l - \frac{1}{2} \quad \text{uchun} \quad (1.20)$$

$$\mu_m = \frac{191}{I} I, \quad I = l + \frac{1}{2} \quad \text{uchun}$$

Bu formulalardan ko'rinib turibdiki, toq protonli va toq neytronli yadrolarning magnit momentlari l bilan s ning o'zaro yaqinlashishlariga qarab ikki xil qiymatga ega bo'lishi mumkin. Haqiqatdan tajribada toq A li yadrolarning magnit momentlari (1.16) va (1.17) ifodalar bilan aniqlanuvchi egri chiziqlar orasida yotishini Shmidt ko'rsatib berdi.

1.4-§. Yadro o'lchami va zichligi

Yadroni o'lchami deganda biz uni qandaydir R radiusli sfera sifatida tasavvur qilishimiz kerak. Lekin yadro murakkab kvantomexanik sistema bo'lganligi uchun u aniq biror chegaraga ega emas. Shuning uchun yadroning radiusini aniqlash bo'yicha o'tkazilgan tajribalarda yadroda sochilayotgan zarraning turiga qarab yadro radiusi uchun olingan natija ham har xil kattalikka ega bo'ladi.

Yadro musbat zaryadlangan sfera deb tasavvur qilinganligi sababli, uni elektr zaryadi taqsimoti radiusini o'rtacha kvadrati R_{el} ni o'lchash ko'proq ma'noga egadir. Chunki, elektr zaryadiga ega zarra yadro bilan elektromagnit ta'sir orqali ta'sirlashadi va bu nazariy hisoblash uchun har tomonlama qulaydir. R_{el} ni o'lchashning eng qulay usullaridan biri bu yuqori energiyali elektronlarning yadroda sochilish jarayonini o'rganishdir. Bu elementlarning energiyasi 100 MeV dan katta bo'lgandagina, ular yadroning ichidagi elektr va magnit maydonning taqsimotini, ya'ni form – faktorini o'lchashga imkon beradi.

Ko'pchilik usullar bilan o'tkazilgan o'lchashlarning natijalarga ko'ra, yadroning radiusini quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$R = r_0 \cdot A^{1/3} \delta i$$

bu yerda $r = (1,25-1,6)$; $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} = 10^{-13} \text{ sm}$.

Yuqori energiyali elektronlarning proton va neytronlarda sochilishi, ulardagi elektromagnit zaryadlarning taqsimlanish radiusi $0,8 \cdot 10^{-13}$ sm ekanligini ko'rsatadi.

Agarda yadroni sferik shakilda deb olsak, uning hajmini quyidagi ifoda yordamida aniqlaniladi:

$$V = \frac{4}{3} \pi r_0^3 A \bar{m}^3$$

Yadrodagi hajm birligidagi nuklonlar soni bir xil desak, u holda nuklonlar konsentratsiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$n = \frac{A}{V} = \frac{A}{\frac{4}{3} \pi r_0^3 A} = \frac{3}{4 \pi r_0^3} \approx 10^{38} \text{ t o'nta } / \bar{m}^3$$

Bundan foydalanib yadroning o'rtacha zichligini aniqlashimiz mumkin, ya'ni:

$$\rho = n \cdot 1.67 \cdot 10^{-24} = 10^{38} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} \approx 10^{14} \frac{\bar{g}}{\bar{m}^3}$$

Energiyasi $Te > 500$ MeV bo'lgan tez elektronlarning sochilishini o'rganishga asoslangan yadro strukturasini tadqiq qiluvchi zamonaviy usulni qo'llash, yadro ichidagi yadro materiyasining taqsimotini baholashga imkon beradi.

Yadro strukturasini tavsiflashning ikkita modeli taklif etilgan:

– Gauss modeli:

$$\rho(r) = \left(\frac{3}{2\pi a^2} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{3r^2}{2a^2}\right) \quad (1.21)$$

Bu yerda, a – o'rtacha kvadratik radius.

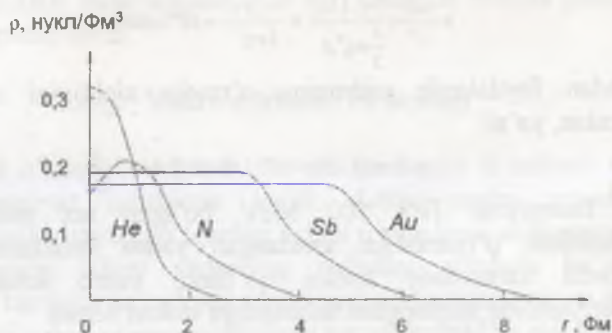
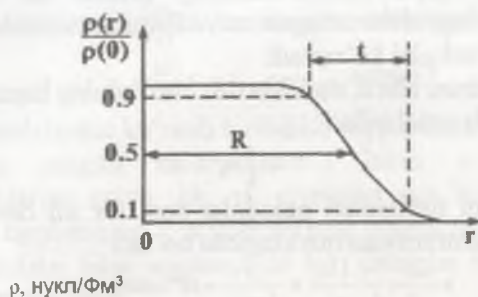
– Fermi modeli:

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r - R_{1/2}}{\delta}\right)} \quad (1.22)$$

Bu yerda: $R_{1/2}$ – yadro markazidan yadro zichligi ikki marta kamayadigan nuqtagacha bo'lgan masofa;

δ – yadro moddasi zichligining kamayish tezligini tavsiflovchi parametr;

ρ_0 – yadro markaziy qismidagi yadro moddasining zichligi. 84002



1.6-rasm. Atom yadrosida zaryad taqsimoti.

1.5-§. Yadro shakli

Yadro kvant mexanik sistema bo'lganligidan yadroning shakli degan atama ma'noga ega emas. Yadroning nazariy hisoblariga to'g'ri keladigan va tajribalarda tasdiqlanadigan eng oddiy shakli aylanma ellipsoid shakliga o'xshaydi. Yadro shakli deformatsiya parametri β - bilan tavsiflanadi

$$\beta = \frac{\Delta R}{R}$$

bunda $2R$ simmetriya o'qining uzunligi, $R(R - \Delta R)$ - unga tik o'qning uzunligi yoki ΔR - ellipsoidning katta a va kichik b o'qlarining $(a - b)$ farqi.

1.6-§. Statistika va juftlik

Yarim butun spinga ega bo'lgan barcha zarralar Fermi – Dirak statistikasiga bo'ysunadi va ular uchun Pauli prinsipi o'rinlidir. Bunday zarralarga fermionlar deb ataladi.

Butun spinli barcha zarralar uchun Boze – Eynshteyn statistikasi o'rinli bo'ladi va bunday zarralarni bozonlar deb ataladi.

Kvant mexanikasida mikrozzaralarning holati, holat funksiyasi $\Psi(\vec{r}, t)$ bilan beriladi. Bu funksiyaning kvadrati fazoning $\vec{r}$ nuqtasida t - vaqtda zarraning bo'lish ehtimolligini bildiradi.

$$W(\vec{r}, t) = \int I \Psi(\vec{r}, t) I^2 dV$$

Bu ehtimollik zarra koordinatalarining o'ng yoki chap koordinatalar sistemasida o'lchashiga bog'liq emas. O'ng koordinatalar sistemasidan chap koordinatalar sistemasiga o'tganda $\vec{r}$ vektorning ishorasi teskariga o'zgaradi, ya'ni $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$. Shunday qilib

$$I \Psi(\vec{r}, t) I = I \Psi(-\vec{r}, t) I$$

Bu ikki kompleks funksiya bir - biridan e ko'paytma bilangina farqlanadi

$$\Psi(-\vec{r}, t) = e \Psi(\vec{r}, t)$$

yoki

$$\Psi(-\vec{r}, t) = \pm \Psi(\vec{r}, t)$$

chunki $e^2 = \pm 1$.

Demak, koordinatalarning ishorasini o'zgartirganda funksiyaning ishorasi o'zgarsa toq funksiya, o'zgarmasa juft funksiya deyiladi. Juftlik P bilan belgilanadi va juft sistema uchun $P=1$, toq sistema uchun $P=-1$ bo'ladi. Mikrozzaralar uchun bu kvant soni katta ahamiyatga egadir.

Har bir zarra ikki juftlikka ham ega bo'ladi. Masalan, proton uchun $P=1$ ga π - mezon uchun esa $P=-1$ ga teng.

Orbital momentga ega zarra uchun to'la juftlik

$$P = P_{\text{tot}} (-1)^J$$

bu yerda P_{tot} - zarraning ichki juftli.

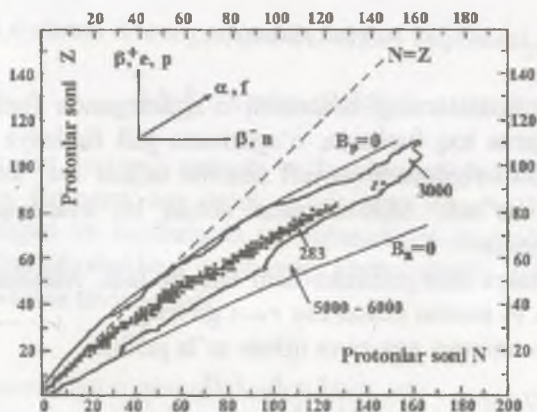
1.7-§. Turg'un va uzoq yashovchi yadrolarning NZ – diagrammasi

Hozirgi kunda 3000 nuklid (yoki yadro) mavjud. Shartli ravishda ma'lum bo'lgan yadrolarni ikkiga bo'lish mumkin:

1. Turg'un (stabil) va uzoq yashovchi ($T_{1/2} > 2 \cdot 10^5$ let) yadrolar. Bularning soni 283 ga teng.

2. Radioaktiv yadrolar. Bularning soni 2500 dan ortiq.

1.7-rasmda turg'un (stabil) va uzoq yashovchi yadrolarning NZ-diagrammasi keltirilgan. Bu diagramma Segre diagrammasi ham deb ataladi. Ushbu diagrammada absissa o'qi bo'ylab neytronlar soni va ordinata o'qi bo'yicha protonlar soni bilan farq qiluvchi yadrolar joylashtirilgan. Yengil yadrolar sohasida izotoplar $N=Z$ chiziq bo'ylab joylashadi. Og'ir yadrolar uchun $N > Z$. Bunga Kulon o'zaro ta'siri sababchi bo'ladi. Kulon o'zaro ta'siri hisobga olinmasa hamma stabil yadrolar uchun $N \approx Z$ bajarilgan bo'lar edi. Diagrammadagi B_n va B_p – neytron va protonni ajratib olishi uchun zarur bo'lgan energiya (nuklonni yadrodan uzib olish uchun zarur bo'lgan minimal energiya).



1.7-rasm. Turg'un va uzoq yashovchi yadrolarning NZ-diagrammasi.

$B_n=B_p=0$ holat, yadroga biriktirayotgan nuklon yadro tomonidan qamrab olinmaydigan vaziyatni anglatadi. Ya'ni yadro $B_n=0$ va $B_p=0$ chiziqdan tashqarida uzoq mavjud bo'la olmaydi. $B_n=0$ va $B_p=0$ chiziqlar orasida nuklonlar ajratib olish energiyasi >0 bo'lgan nuklidlar sohasi joylashgan bo'lib, ularning soni 5000 - 6000 ta yadro bo'lishi mumkin. Bu son sun'iy yo'l bilan olinishi mumkin bo'lgan yadrolar sonini qo'rsatadi. Diagramma ichida yadrolarning radioaktivligiga oid ham grafik keltirilgan bo'lib, bunda yadrodagi protonlar yoki neytronlar soni o'zgarganda qanday radioaktiv yadrolar hosil bo'lishi ko'rsatilgan.

Masalan, protonlar soni oshganda yadro neytron "defitsit" yadro bo'ladi va unda β^+ -parchalanish sodir bo'ladi. Aksincha yadroda neytronlar soni oshganda yadro proton "defitsit" yadro bo'ladi va unda β^- -parchalanish sodir bo'ladi. Og'ir yadrolar sohasida α -parchalanish va bo'linish jarayonlari sodir bo'ladi. O'ta og'ir yadrolarda bo'linish jarayoni α -parchalanish jarayoniga nisbatan ustunlik qiladi.

II BOB

YADRO KUHLARI

2.1-§. Yadro kuchlari xususiyatlari

Yadrolar katta bog'lanish energiyasiga ega bo'lganliklari uchun ularda katta intensivlikka ega bo'lgan o'zaro ta'sir mavjudligini ko'rsatadi. Yadro ichidagi nuklonlar orasidagi o'zaro ta'sir tortishish xususiyatiga ega bo'lib, u kulon o'zaro ta'sirdan ancha katta bo'ladi. Nuklonlar orasidagi ushbu o'zaro ta'sirni kuchli o'zaro ta'sir deb ataladi. Kuchli o'zaro ta'sir maydonini yadro kuchlari xarakterlaydi.

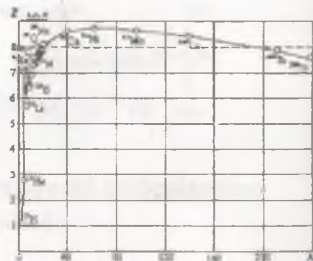
Yadro kuchlari quyidagi xususiyatlarga ega:

1. Tortishish xususiyati. Bu xususiyat neytron va protonlardan tashkil topgan stabil yadrolarning mavjudligidan kelib chiqadi.

2. Yadro kuchlari qisqa masofada ta'sir qilishadi. Ularning ta'sir masofasi 10^{-15} m yoki 1 fm (femtometr).

3. Yadro kuchlari tabiatda eng katta intensivlikka ega bo'lgan kuchdir. U elektromagnit o'zaro ta'sirga nisbatan 100-1000 marta katta bo'ladi.

4. Yadro kuchlari to'yinish xususiyatiga egadir. Yadro bog'lanish energiyasi W yadrodagi nuklonlar soniga A proporsional bo'lib, u A^2 proporsional emasligidan ushbu kuchning to'yinish xususiyati kelib chiqadi. Nuklonlar faqat yondash nuklonlarga ta'sir qiladi. To'yinish xususiyati yadro kuchlarining qisqa masofada ta'sir qilishidan kelib chiqadi.



5. Yadro kuchlari nuklonlarning spin yo'nalishiga ham bog'liq bo'ladi. Buni deytron misolida ham ko'rish mumkin. Spinlari antiparallel bo'lgan bunday tizim mavjud emas.



$$\vec{s}_p + \vec{s}_n = \vec{1}.$$

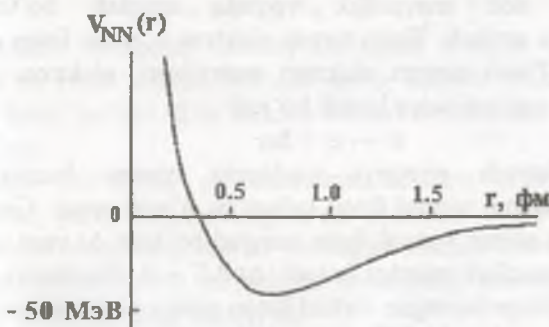
6. Yadro kuchlari nomarkaziy kuch hisoblanadi (kulon kuchi markaziy kuchdir).

7. Yadro kuchlari nuklonlar zaryadiga bog'liq emas. Neytron bilan neytron, neytron bilan proton va proton bilan proton orasidagi o'zaro ta'sir bir xil bo'ladi.

$$n - n \equiv n - p \equiv (p - p)_{\text{yadro}}$$

2. Nuklon-nuklon o'zaro ta'sir potentsiali.

Ko'p sonli eksperimentlar natijalari shuni ko'rsatdiki, nuklon-nuklon o'zaro ta'sir potentsiali radial bog'lanishga ega bo'lib uning ko'rinishi 2.1-rasmda keltirilgan.



2.1-rasm. Nuklon-nuklon o'zaro ta'sir potentsiali radial bog'lanishi.

Rasmdan ko'rinadiki, $r_{NN} > 0.3$ fm masofada potensial manfiy (ya'ni nuklonlar orasida tortishish kuchi ta'sir qiladi). $r_{NN} < 0.3$ fm masofada tortishish kuchi itarish kuchiga almashadi. Bu grafikdan ko'rinadiki nuklonlar orasidagi masofa 1,5 fm ga yaqinlashsa yadro kuchlari paydo bo'ladi va u tortishish xususiyatiga ega bo'lganligi uchun ular orasidagi masofa kamayib boradi. Nuklonlar orasidagi masofa 0.5 fm dan kichik bo'lsa, ular orasida itarish kuchlari vujudga keadi.

2.2-§. Yadro kuchlarining mezon nazariyasi

Zamonaviy tasavvurga asosan kuchli o'zaro ta'sirni mezon deb nomlangan zarrachalar amalga oshirar ekan. Ushbu jarayonni tushunishdan oldin elektromagnit o'zaro ta'sir qanday amalga oshishini ko'rib chiqamiz. Bizga ma'lumki zaryadlangan zarrachalar o'zaro elektromagnit maydon orqali o'zaro ta'sirlashadi.

Kvant elektrodinamikasiga asosan, elektromagnit maydon fotonlar to'plamidan iborat. Masalan, 2 ta elektronning elektromagnit o'zaro ta'sirini ko'rib chiqamiz. Elektron doimiy ravishda o'zidan foton chiqaradi va yutadi. Natijada elektron atrofida foton shubasi(buluti) hosil bo'ladi. 2 ta elektron o'zaro ta'sir qilganda ular orasida fotonlar almashishi yuz beradi. Bu fotonlar bizga ma'lum bo'lgan real fotonlardan farq qiladi va virtual fotonlar deb ataladi. Virtual zarrachalar deb mavjudlik vaqtida aniqlab bo'lmaydigan zarrachalarga aytiladi. Tinch turgan elektron o'zidan foton chiqaradi va yutadi. Tinch turgan elektron energiyasi, elektron va foton energiyalari yig'indisidan kichik bo'ladi:

$$e^- \leftrightarrow e^- + \hbar\omega \quad (2.1)$$

(2.1) tenglamada energiya saqlanish qonuni buzilayotganga o'xshaydi. Ammo virtual foton uchun bu o'rinli emas. Geyzenberg noaniqligiga asosan virtual foton mavjud bo'lgan Δt vaqt ichida ΔE energiya noaniqligi vujudga keladi: $\Delta t \Delta E \sim \hbar$. Binobarin, elektron tomonidan chiqarilayotgan virtual foton ushbu elektron yoki boshqa elektron tomonidan $\Delta t = \hbar/E$ vaqt ichida yutilsa, energiya saqlanish qonunini buzilishini kuzatib bo'lmaydi. Agarda elektronga qo'shimcha energiya uzatilsa, virtual foton haqiqiy fotonga aylanib qolishi mumkin.

Virtual fotonning qanday masofagacha ta'sir qilishini ko'rib chiqamiz.

$$\ell = c \Delta t = c\hbar/E = c\hbar/\hbar\omega = c/\omega$$

$\omega = 0$ dan cheksizlikkacha o'zgarishi mumkin. Bu yerdan elektromagnit o'zaro ta'sir masofasi 0 dan cheksizlikkacha davom etishi mumkin.

1935-yilda yapon olimi Xideki Yukava (1907-1981) nuklonlar orasidagi kuchli o'zaro ta'sirni tashuvchi zarralar mavjud bo'lib, ularga og'ir fotonlar deb nom bergan. Ushbu zarrachalarning massasi elektron va nuklonlar massasining o'rtasida joylashgani uchun mezon deb nom berilgan. "Mezon" so'zi yunoncha bo'lib, "oraliq, o'rta" degan ma'noni bildiradi. 1947-yilda ingliz olimi Pael va italyan olimi Okkialini kosmik nurlar tarkibida yangi zarracha, ya'ni π -mezonlarni kashf etildi. Ushbu zarracha Yukava tomonidan 12 yil oldin aytilgan zarracha bo'lib chiqdi.

π -mezonlar 3 xil bo'ladi: π^+ , π^- , π^0

$$q_{\pi^\pm} = |e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

$$q_{\pi^0} = 0$$

$$m_{\pi^\pm} = 273 m_e (140 \text{ MeV})$$

$$m_{\pi^0} = 264 m_e (135 \text{ MeV})$$

$$\pi - \text{mezonlar spini: } S = 0$$

$$\text{Yashash vaqti: } \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$$

$$\tau_{\pi^\pm} = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ s} \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$$

$$\tau_{\pi^0} = 0,8 \cdot 10^{-16} \text{ s} \quad \pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Demak, nuklonlar doimiy ravishda o'zidan π -mezonlarni chiqarib va yutib turadi. Natijada uning atrifida mezonlar shubasi (buluti) hosil bo'ladi. 2 ta nuklon virtual π -mezonlar orqali o'zaro ta'sir qiladi.

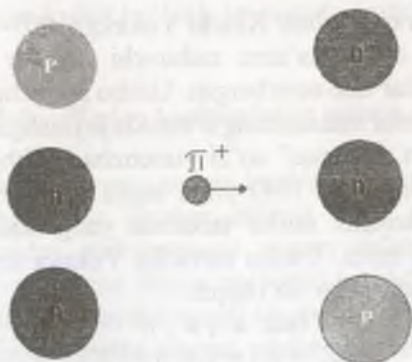
Bizga ma'lumki, elektrodinamik o'zaro ta'sirni tashuvchi zarrachalar, ya'ni fotonlarning ta'sir masofasi 0 dan ∞ gachadir. Ya'ni elektromagnit kuchlar to'yinmagan kuchlar hisoblanadi. Agar o'zaro ta'sirni tashuvchi zarrachalar tinchlikdagi massaga ega bo'lsa, ularning ta'sir masofasi kamayadi:

$$r = c \Delta t_{\max} = c\hbar/E_{\min} = c\hbar/mc^2 = \hbar/mc = \lambda_c$$

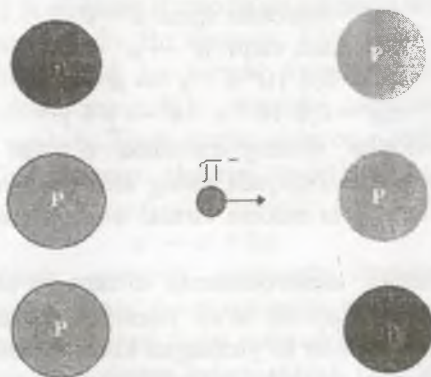
bu yerda, r - ta'sir masofasi, λ_c - zarraning kompton to'liq uzunligi. Agar zarracha π -mezon bo'lsa, $r \sim 10^{-15} \text{ m}$ atrofida bo'ladi.

Nuklonlar orasida kuchli o'zaro ta'sirning amalga oshish jarayoni bilan tanishib chiqamiz. Bu jarayon quyidagi 3 ta jarayon orqali amalga oshadi:

$$1. p + n \leftrightarrow n + \pi^+ + n \leftrightarrow n + p$$



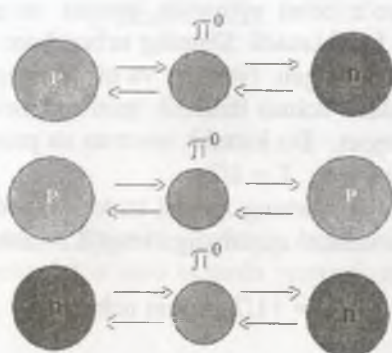
$$2. n + p \leftrightarrow p + \pi^+ + p \leftrightarrow p + n$$



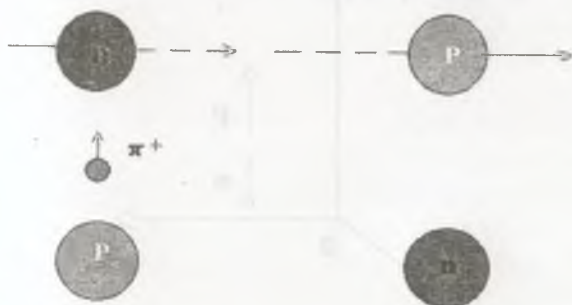
$$3. p + n \leftrightarrow p + \pi^0 + n \leftrightarrow p + n$$

$$p + p \leftrightarrow p + \pi^0 + p \leftrightarrow p + p$$

$$n + n \leftrightarrow n + \pi^0 + n \leftrightarrow n + n$$



Ushbu 3 ta jarayondan birinchisi tajribada kuzatilgan, ya'ni:



Neytronni – p nuklon va uning atrofida aylanuvchi π^- mezon ko'rinishida tasavvur qilish mumkin.

$$\mu_n = -1,91 \mu_B \quad \mu_p = +2,71 \mu_B \quad \mu_B = e\hbar/2M_p c$$

2.3-§. Izotopik spin

Yadro kuchlari elektr zaryadga bog'liq emas. Ya'ni ular zaryad mustaqilligiga ega:

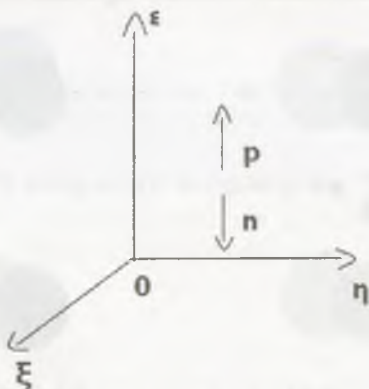
$$(n - n) \equiv (p - p)_{\text{yadro}} \equiv (n - p)$$

Boshqacha soʻz bilan aytganda, proton va neytronlar aynan oʻxshash zarrachalar hisoblanadi. Shuning uchun ham bu zarrachalarga nuklonlar deb nom berilgan. Neytron va protonning aynan oʻxshash xususiyatini ifodalash uchun izotopik spin vektori deb nomlangan kattalik qabul qilingan. Bu kattalik neytron va proton uchun bir xil boʻlib, u quyidagiga teng: $T = 1/2$

Izotopik spin vektorining formal izotopik fazodagi proyeksiyasi (proton va neytron uchun) quyidagiga teng (2.2-rasm):

$$T_z = +1/2 \text{ proton uchun,}$$

$$T_z = -1/2 \text{ neytron uchun.}$$



2.2-rasm. Izotopik spin.

Izotopik spinning oʻzgarish chegarasi:

$$|(N - Z) / 2| < T < A / 2.$$

Asosiy holatda yadroning izotopik spini uni tashkil qilgan nuklonlarning izotopik spinlarining algebrik yigʻindisiga teng boʻladi. Yadroning izospini quyidagicha aniqlanadi:

$$T_{\xi} = \frac{Z - N}{2} = \frac{2Z - A}{2}$$

va

$$\bar{T} \geq \left| \frac{2Z - A}{2} \right|$$

bu yerda $\bar{T}_{\max} = A/2$.

Kuchli o'zaro ta'sirlarda izotopik spin saqlanish qonuni bajariladi. Elektromagnit o'zaro ta'sirda izotopik spin proyeksiyasi saqlanadi.

III BOB

YADRO MODELLARI

3.1-§. Yadro modellari

Yadrodagi nuklonlarning o'zaro ta'sir kuchlarining aniq ko'rinishini aniq emasligi, yadrodagi nuklonlarning harakat tenglamalarining murakkabligi va hozirgi kvant mexanikasi apparatining murakkabligi, yadro xususiyatlarini yetarli darajada tahlil qilish imkoniyatini bermaydi. Yadro xarakteristikalarini hisoblash uchun zamonaviy hisoblash mashinalarining quvvati hatto $A \approx 10$ bo'lgan yengil yadrolarga ham yetmaydi. Shuning uchun real yadrolarning xarakteristikalarini emas, balki matematik va fizik jihatdan soddalashtirilgan yadro modellari deb ataladigan har xil sistemalarni hisoblashga to'g'ri keladi.

Yadro xususiyatlari haqidagi masalani ma'lum darajadagi yaqinlashuv bilan matematik talqin qilishga va soddalashtirishga olib keladigan shu kabi har qanday fizik tasavvurlar, farazlar to'plami "model" deb ataladi. Har qanday model yadro xususiyatlari haqidagi fizikada mavjud bo'lgan bilimlarning xulosasi va umumlashtiruvidan iboratdir. Mutlaqo ravshanki, har qanday oddiy model murakkab kvant mexanik sistema bo'lmish yadro xususiyatlarining hammasini aks ettira olmaydi. Shuning uchun yagona model mavjud emas. Har bir modelning qo'llanish chegarasi mavjud.

Yadro modellari ikki xil boshqa - boshqa yo'nalish asosida yaratilgan. Birinchi yo'nalish kuchli o'zaro ta'sir modellarining yaratilishi bilan xarakterlanadi. Bu modelga ko'ra yadro o'zaro kuchli ta'sir etuvchi va kuchli bog'lanishda bo'lgan zarralar majmui sifatida tasavvur qilinadi. Bu guruhga Fermi - gaz modeli, potentsial o'ra modeli, qobiqlar modeli, umumlashtirilgan yoki modellarini kiritish mumkin.

3.2-§. Tomchi modeli

Eng dastlabki yadro modellaridan biri Nils Bor tomonidan taklif qilingan tomchi modelidir. Bu modelda yadro zichligi juda katta ($\approx 10^{14} \text{ g/sm}^3$) bo'lgan siqilmaydigan suyuqlik tomchi deb qaraladi. Yadro hajmining undagi nuklonlar soniga proporsionalligi va turli yadrolarda nuklonlar bog'lanish energiyasining taxminan doimiyligi yadro moddasi bilan suyuqlik tomchisining o'xshashligidan darak beradi. Suyuqlikning tashqi ta'sirlarga uchramagan tomchisi sirt tarangligi tufayli sfera shaklida bo'ladi.

Istalgan yadroning va bog'lanish energiyasining yarim emperik formulasini chiqarishda, yadrolarning zarralarini nurlash va bog'lasnisha turg'unligini oldindan aytib berishda, shuningdek bu jarayonlarda ajraladigan energiyalarini hisoblashda tomchi modeli juda foydalidir. Bu model asosida yadrolarning bog'lanishini tushuntirish oson. Agar protonlarning kulon parchalanish energiyasi sirt taranglik energiyasidan katta bo'lsa $E_t \geq 2E_\pi$ shartini qanoatlantiradigan yadro sirt deformatsiyasiga nisbatan barqaror bo'lmay qoladi va o'z - o'zidan ikki bo'lakka parchalanib ketadi. Yadroning bo'linishga nisbatan barqarorlik sharti

$$\frac{Z^2}{A} < 46,52 \quad (3.1)$$

Bu tajriba natijalariga mos keladi. Tomchi modelini yadroning qo'zg'algan holati xossalarini tushuntirishda foydalanish yaxshi natijalar beradi.

3.3-§. Fermi – gaz modeli

Yadroni tashkil qiluvchi nuklonlar $\hbar/2$ spinga ega bo'lib, ular Fermi - Dirak statistikasiga bo'ysunadi. Fermionlar uchun Pauli prinsipi o'rinli bo'lib, bu prinsipga ko'ra fermionlar bir vaqtning o'zida bir xil holatlarga ega bo'la olmaydi, ya'ni aynan bir xil holatda, bir energetik sathda spin yo'nalishlari bilan farq qiladigan faqat ikkita proton yoki ikkita neytron bo'lishi mumkin. Mikrozarralarning Pauli prinsipiga amal qiluvchi bunday sistemasi aynigan Fermi – gaz deb ataladi. Aynigan Fermi – gazida nuklonlar qariyb bir - biri bilan to'qnashmaydi va o'zaro ta'siri ham juda kuchsiz deb qaraladi.

Shuning uchun yadroning barcha nuklonlari Pauli prinsipiga ko'ra yadroning o'rtacha maydoni hosil qilgan potensial o'rada eng pastgi sathdan tortib Fermi energiya sathi deb ataladigan E_f sathgacha bo'lgan hamma sathlarni ketma - ket egallaydi. Nuklonning maksimal kinetik energiyasi quyidagiga teng

$$E_f = \frac{P_f^2}{2M} \quad (3.2)$$

maksimal impuls

$$P_f = \hbar (9\pi)^{1/3} \frac{1}{2r_0} \quad (3.3)$$

bu yerda $r_0 = (1,2-1,4) 10^{-15} \text{ m}$.

Shunday qilib, Fermi - gaz modelida asosiy holatda yadroning nuklonlari noldan boshlab Fermi energiyasigacha bo'lgan barcha energiya sathlarini egallaydi. (3.2) foydalanib bir nuklonga to'g'ri keladigan o'rtacha energiyani hisoblab chiqish mumkin

$$\langle E \rangle = \frac{1}{A} \int_0^{P_f} \frac{P}{2m} dp = \frac{3}{5} E_f^* \quad (3.4)$$

$$E_f^* = \frac{\hbar^2}{2M r_0^2} \left(\frac{n}{A} \right)^{2/3} \approx 54 \left(\frac{n}{A} \right)^{2/3} \text{ MeV} \quad (3.5)$$

bu yerda (3.5) formula $n=Z$ bo'lsa protonlar, $n=A-Z$ bo'lsa neytronlar uchun o'rinli bo'ladi.

Shunday qilib, $\langle E \rangle = 20,4 \text{ MeV}$ ekanligini topamiz. Nuklonlarning tinch holatdagi energiyasi 1000 MeV bo'lganligi uchun $\langle \frac{\sigma}{c} \rangle \approx \frac{20,4}{1000} \approx 0,2$, ya'ni Fermi - gaz modeli bo'yicha qilingan hisob - kitoblar nuklonlarning norelyativistik talqinini tasdiqlaydi.

Nuklonlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchining murakkabligi hamda hatto eng sodda ko'rinishdagi kuch uchun ham ko'p sonli kuchli ta'sirlashuvchi zarralar sistemasini xususiyatlarini hisoblash ancha qiyinligi yadroning to'la nazariyasini yaratishda to'sqinlik qiladi. Yana shuni alohida ta'kidlash kerakki, ko'rilayotgan zarralar sistemasida g'alayonlanish nazariyasini qo'llab ko'p zarrali yadro muammosini yechish mumkin bo'lgan kichik parametrlar mavjud emas. Shu sababli, yadro nazariyasini yaratishda real yadrolarning xarakteristikalarini emas, balki matematik va fizik jihatdan soddalashtirilgan yadro modellari deb ataladigan har xil sistemalarning xususiyatlarini hisobga olishga to'g'ri keladi.

Ko'pincha yadro modeli tajriba natijalariga asoslangan holda tanlab olinadi, so'ngra bu modelga mos keluvchi turli taxminlar ishlab chiqariladi. Yadro xususiyatlari haqidagi masalani ma'lum darajadagi yaqinlashuv bilan matematik talqin qilishga va soddalashtirishga olib keladigan har qanday fizik tasavvurlar, farazlar to'plami "model" deb ataladi. Har qanday model yadro xususiyatlari haqidagi fizikada mavjud bo'lgan bilimlarning xulosasi va umumlashuvidan iboratdir. Mutlaqo ravshanki har qanday oddiy model murakkab kvantmexanik sistema bo'lish yadro xususiyatlarining hammasini aks ettira olmaydi. Har bir modelning qo'llanish chegarasi mavjud bo'lib, u yoki bu modelni tatbiq etish mumkinligi haqida uning xossalarini tajribadan aniqlangan yadro xususiyatlarini tushuntirishdagi yutuqlari va kamchiliklari solishtirilgandan keyingina hukm chiqarish mumkin. **Yadro strukturasining modellari** asosan ikki yo'nalishda rivojlangan. Birinchi yo'nalish – kuchli o'zaro ta'sir modellari, bu modelga ko'ra yadro o'zaro kuchli ta'sir etuvchi va o'zaro kuchli bog'lanishda bo'lgan zarralar majmuasi sifatida tasavvur qilinadi. Bu guruhdagi modellarga – suyuq tomchi modeli, alfa zarra modeli, birikma yadro modeli kiradi. Ikkinchi yo'nalish – erkin zarralar modelidir. Bu modellarda qabul qilinishiga har bir nuklon yadroning boshqa nuklonlarining o'rtachalashtirilgan maydonida deyarli bog'liqsiz erkin ravishda harakatlanadi. Bu guruhga Fermi – gaz modeli, potensial o'ra modeli, umumlashtirilgan yoki jamoa modeli va optik modellarni kiritish mumkin.

3.4-§. Qobiq modeli

Bir zarrali modelda o'zaro ta'sirlashmaydigan nuklonni yadrodagi hamma nuklonlar tomonidan hosil qilgan potensial maydonidagi harakati ko'riladi. Bunday potensial o'rada harakat qilyotgan nuklonlarning energetik orbitasi sezilarli energetik oraliq bilan ajralib to'plangan holda qobiqlar hosil qiladi. Bunday modelga qobiq model deb ataladi.

Yadro xususiyatlarini ifodalashda nima uchun bunday model, ya'ni mustaqil zarralar modeli qo'llaniladi?

Qator eksperimental ishlarda yadroning eng pastgi qo'zg'algan holati energiyasining massa soniga davriy bog'liqligi aniqlangan.

Yadro spinlari, magnit va kvadrupol momentlarini o'lchash ularning yadroni tashkil etuvchi nuklonlar soniga ham bog'liqligini ko'rsatadi. Protonlar yoki neytronlar soni 2, 8, 20, 50, 82, 126 ga teng bo'lgan yadrolar barqaror bo'lib, tabiatda ko'proq tarqalganligi ma'lum bo'ldi. N va Z lar 2, 8, 20, 50, 82, 126 ga teng bo'lganda, yadroning qator xossalari o'zgarishi shunchalik kuchli bo'ladiki, fiziklar bu sonlarga "sehrli sonlar" deb atadilar. Sehrli sonlarning mohiyati yadroning qobiq modeli asosida tushuntiriladi.

Yadro massasining zichligi katta ($2 \cdot 10^{14} \text{ g/sm}^3$) bo'lishiga qaramasdan, nuklonlar yadro ichida bir - biri bilan to'qnashmay, o'zaro moslashgan holda harakat qiladi deb faraz qilinadi.

Mayer va Yensinning keyingi nazariy ishlar bilan tasdiqlangan gipotezasiga ko'ra yadrodagi har bir nuklon bir - biridan mustasno boshqa nuklonlar tomonidan hosil qilingan o'rtacha effektiv kuch maydonida harakat qiladi. Bu potensial maydonning harakati, xususan uning simmetriyasi nuklonlarning yadro ichidagi fazoviy taqsimotiga esa o'z navbatida, nuklonlarning soniga va ular o'rtasidagi ta'sirlashuv qonuniyatiga bog'liqdir. Tajribalarning ko'rsatishicha, yadroning o'rtacha maydon potentsiali yadrodagi modda taqsimotiga mos kelar ekan. Nuklon uchun potentsial o'raning chuqurligi yadro ichida deyarli doimiy va chegarada keskin ravishda nolga tushadi. Potensialning shakli taxminan quyidagi taqsimot bilan beriladi:

$$U(r) = U_0 \left[1 + \exp \left(-\frac{r-R}{a} \right) \right]^{-1}$$

Bu yerda, a – diffuziya masofasi ($a \approx 0,510 \cdot 10^{-13} \text{ sm}$), $R = 1,33 \cdot A^{\frac{1}{3}} \cdot 10^{-13} \text{ sm}$, $U_0 \approx 50 \text{ MeV}$. Lekin bu potentsial bilan qilinadigan hisoblar juda ko'p mehnat talab qiladi. Shuning uchun ba'zan soddarok potentsiallardan foydalaniladi. Ko'p hollarda, sferik – simmetrik to'g'ri burchakli potentsial o'ra va garmonik ossillyator potentsiallaridan foydalaniladi. Nuklonlarni yadroda sochilishini tajribada o'rganilishi shuni ko'rsatadiki, ossillyator potentsiali ko'proq yengil yadrolar uchun qo'l kelsa, to'g'ri burchakli potentsial o'ta og'ir yadrolarni xossalari o'rganish uchun ko'proq qo'l kelar ekan. Real yadro potentsiali esa bu potentsiallar orasida yotgan potentsial bo'lishi mumkin. O'rtacha yadro potentsiali tezlikka bog'liq

bo'lishi kerak. Odatda potentsialning tezlikka bog'liq qismi nuklonni massasini effektiv massa bilan almashtirish yo'li bilan kinetik energiyaga kiritilib yuboriladi. Bu holda o'rtacha yadro potentsiali statik potentsialligicha qoladi. Cheksiz chuqur sferik ossillyator potentsial o'rasi uchun sathlarning ketma – ketligini ko'rib chiqaylik

$$V(r) = \frac{m\omega_0^2 r^2}{2} - V \quad (3.6)$$

bu yerda, m – nuklon massasi, ω_0 – klassik ossillyatorning tebranish chastotasi.

Shredinger tenglamasi

$$\left(-\frac{\Delta}{2m} + V(r) - E \right) \Psi = 0 \quad (3.7)$$

Yuqoridagi (3.6) uchun quyidagi yechimga egamiz

$$\Psi_{nlm} = \frac{U_n(r)}{r} Y_l^m(\vartheta, \varphi) \quad (3.8)$$

Sferik funksiya $Y_l^m(\vartheta, \varphi)$ orbital moment l^2 va uning Z o'qidagi proyeksiyasi l_z ning xususiy funksiyasidir. (3.4) ning radial kesimi $U_n(r)$ quyidagi tenglamani qanoatlantiradi

$$\left\{ -\frac{1}{2m} \frac{d^2}{dr^2} + V(r) + \frac{1}{2m} \frac{l(l+1)}{r^2} - E \right\} U_n = 0. \quad (3.9)$$

Bu tenglamaning xususiy qiymati quyidagiga teng

$$E_n = \left(N + \frac{3}{2} \right) \hbar \omega_0 - V, \quad (3.10)$$

bu yerda $N=0,1,2,\dots$ ya'ni $N=2n+l-2$, n – radial funksiyasi $U_n(r)$ ning tugunlar soni. Har bir xususiy qiymat E_n ga l ning har xil qiymatlariga to'g'ri keluchi xususiy funksiya to'g'ri kelganligi sababli E_n – ayniganidir. Agarda N juft son bo'lsa, l ham juft, ya'ni $0, 2, 4, \dots, N$. Agarda N toq son bo'lsa, l ham toq, ya'ni $1, 3, 5, \dots, N$ bo'ladi.

Berilgan N da aynigan holatigacha zarralarning maksimal soni

$$n_N = \sum_l 2(2l+1) = (N+1)(N+2) \quad (3.11)$$

$N=0$ dan $N=N_0$ gacha qobiqlarini to'ldiruvchi zarralarning to'la soni

$$\sum_N n_N = \frac{1}{3} (N_0 + 1)(N_0 + 2)(N_0 + 3) \quad (3.12)$$

Garmonik ossillyatorning sathlari holatini quyidagi to'rtta kvant sonlar tavsiflaydi: orbital moment $l(0, 1, \dots)$, to'la moment $j(l + \frac{1}{2} \text{ va } l - \frac{1}{2})$ qiymatlarni qabul qiladi. To'la moment proyeksiyasi $m, -j$ dan

$+j$ gacha bo'lgan $2j+1$ qiymatga ega. n berilgan son l da sathlar $1, 2, 3, \dots$ tartibini ko'rsatadi. l ning berilgan qiymati uchun quyidagicha belgilash qabul qilingan

$$l = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$$

$$s, p, d, f, g, h, i, k, l, m, n$$

Sathlarni belgilashda oldin n , so'ng orbital moment qo'yiladi. Pastki indeks to'la moment j ni qiymatini ko'rsatadi. Masalan, $2d_{\frac{5}{2}}$ yozuv

berilgan sath uchun $n=2$, $l=2$, $j=\frac{5}{2}$ ekanligini ko'rsatadi. Jumladan bu sath 6 karra turlangan, chunki bu holda $2j+1=6$.

Quyidagi jadvalda ossillyatorning $N=0$ dan $N=6$ gacha bo'lgan qobiqlar sathlar energiyasi, har bir aynigan holatga to'g'ri keladigan zarralarning maksimal soni n_N va ularning to'la soni $\sum_N n_N$ keltirilgan.

Jadvaldan ko'rinishicha garmonik ossillyator uchun yadrolarda nuklonlar soni 2, 8, 20, 70, 112, 168 bo'lgandagina turg'un qobiqlar vujudga keladi.

Dastlabki uchta 2, 8, 20 sonlar "sehrli sonlar" ga to'g'ri keladi. Bundan "sehrli sonlar" ni hammasini bera oladigan yangi potentsial shaklini topishimiz zarurligi aniqlanadi.

Garmonik ossilloiyator cheksiz chuqur o'rasidagi bitta zarrali holatlari

3.1-jadval

N	E_n/W_0	(n, l) -holatlar	n_N	$\sum_N n_N$
0	3/2	1s	2	2
1	5/2	1p	6	8
2	7/2	2s 1d	12	20
3	9/2	2p 1f	20	40
4	11/2	3s 2d 1g	30	70
5	13/2	3p 2f 1h	42	112
6	15/2	4s 2d 2g 1i	56	168

Bu sohada ko'p urinishlardan so'ng nuklonni spinini hisobga olish zarurligi topildi va kuchli spin - orbital ta'sir quyidagi potentsial orqali hisobga olinadi:

$$V_{ss} = -V_{ss}(r) \vec{l} \vec{s} \quad (3.13)$$

bu yerda $\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p}$, $\vec{s}$ – nuklon spini.

$$V_{es}(r) \approx \frac{1}{2} \frac{dV(r)}{dr}$$

Spin - orbital kuchlar sathlarining to'la momenti j bo'yicha aynishini bekor qiladi. Endi

$$\vec{j}^2 = (\vec{l} + \vec{s})^2 = l^2 + s^2 + 2(\vec{l}, \vec{s}) \quad (3.14)$$

tenglikdan foydalanamiz va (3.13) potentsialning takroriy qismlari uchun quyidagi holatlarga ega bo'lamiz

$$(\vec{l}, \vec{s}) = \frac{1}{2}(j^2 - l^2 - s^2) = \begin{cases} \frac{1}{2}l, & j = l + \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2}(l+1), & j = l - \frac{1}{2} \end{cases} \quad (3.15)$$

Shunday qilib, energiya sathlarining $l + \frac{1}{2}$ va $l - \frac{1}{2}$ sathlargacha ajralishi nuklon spini va uning orbital momentining o'zaro ta'siridan ekan. Spin orbital ta'sirini hisobga olganda hamma "sehrli sonlar" ni osongina olish mumkin.

Spin - orbital ta'sir hisobga olinganda to'liq funktsiya quyidagicha bo'ladi

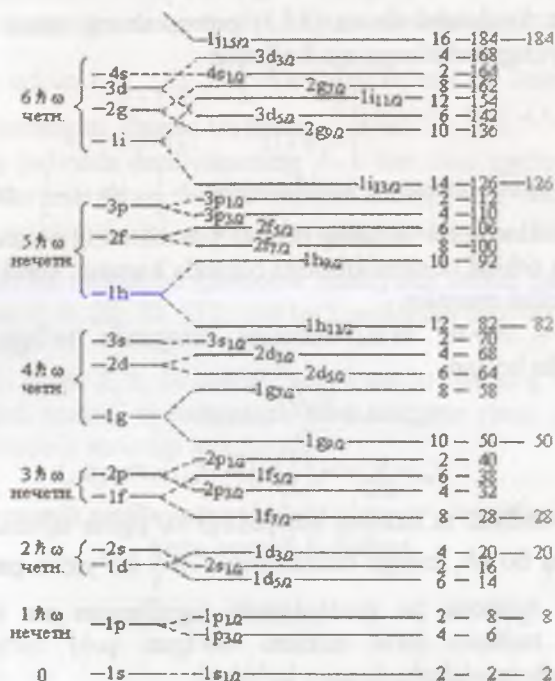
$$\Psi_{qm}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{U_{qm}(r)}{r} Y_{qm}(\vartheta, \varphi)$$

$$Y_{qm} = \sum_{m_1, m_2} \left\langle \frac{1}{2} m_1 \right| m_2 \Big| j m \rangle Y_{m_1}(\varphi, \vartheta) \chi_{\frac{1}{2}}(m_2)$$

Spin - orbital ta'sirining mavjudligi ko'pgina tajribalar oraqali isbotlangan bo'lib, bunga sathlarning $j = l = \frac{1}{2}$ bo'yicha parchalanish misolidir. Ayniqsa bu parchalanish tugallangan va to'ldirilgan qobiqdan tashqari bitta nukloni bo'lgan yoki bitta nukloni yetishmaydigan yadrolarda aniq ko'riladi.

Spin - orbital parchalanish (tilinish) orbital harakat miqdori l ning ortishi bilan ortib boradi. Shuning uchun sathlarning tilinishi l lari katta bo'lgan og'ir yadrolarda muhimroq ahamyat kasb etadi. Ya'ni berilgan l ning qiymatida $j = l + \frac{1}{2}$ li sath $j = l - \frac{1}{2}$ li sathdan pastda yotadi. U sath uchun aynish darajasi $2j + 1 = 2l + 2$ bo'ladi. Momenti $j = l - \frac{1}{2}$ bo'lgan yuqoridagi sath karrali aynigan bo'ladi. (3.8) formulaga ko'ra $N = 3$ qobiqni to'la to'ldiruvchi nuklonlar soni 40 ta, bunga yaqinroq "sehrli son" esa 3.1-rasmda 1g_{9/2} holatning xillanishi 10 ekanligi ko'rsatilgan. 1g_{9/2} sathli energiyasi spin orbital kuchlar

ta'sirida kamayadi va ossilyatorming $N=3$ qobig'iga kirib qoladi. Shuning uchun unda nuklonlarning to'la soni 50 ga yetib, to'g'ri "sehrli" qobiqni to'ldiruvchi sonni olamiz. Xuddi shunday mulohazalarni $1h_{11/2}$ sath ustida ham yuritish mumkin. Bu sath uchun zarra soni 12 ga teng.



3.1-rasm. Qobiq potensialida bitta zarrali sathlar.

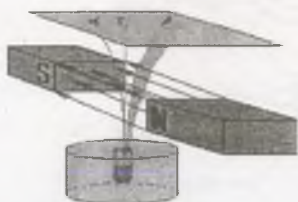
Vuds-Sakson potensialida sathlarni tasvirlash sxemasi keltirilgan bo'lib, bunda chapda spin-orbital o'zaro ta'sirni hisobga olmagan holda, o'ngda esa hisobga olgan holda. Shakl qavslar bitta qobiqqa kirgan sathlarni birlashtiradi. Qora rangda bir sondagi nuklonlar uchun vakant o'rinlar soni berilgan, ko'k rang bilan zarralar to'liq soni berilgan, qizil rang bilan esa "sehrli" sonlar ko'rsatilgan.

Energiyasi bo'yicha ozgina pastga siljib $N=4$ bo'lgan ossillyator qobig'iga kirib qoladi va bu sath 82 "sehrli" songa olib keladi. $1i_{13/2}$ energiya sathi pasayib $N=5$ qobiqqa kirib qoladi va unga 14 nuklon qo'shilib 126 "sehrli" nuklonlar sonini hosil qiladi. Ushbu mulohazalar 3.2 - rasmda, ya'ni proton va neytronlar uchun spin-orbital o'zaro ta'sir hisobga olingan holdagi yadro sathlarining diagrammasida o'z aksini topgan.

IV BOB

RADIOAKTIVLIK

4.1-§. Radioaktivlik hodisasining umumiy tavsifi



4.1-rasm. Nurlarning
og'ishi.

Radioaktivlikning kashf etilishi atom tuzilishi haqidagi ta'limot taraqqiyotida katta ahamiyatga ega bo'ldi. Radioaktivlikni (lotinchadan radio — nurlanish, radius — nur va activus — ta'sirchan) 1896-yilda fransuz olimi Anri Bekkerel kashf etdi. A. Bekkerel uran metali birikmalari bo'lgan ruda ko'zga ko'rinmaydigan, ammo fotoplastinkaga ta'sir

qiladigan maxsus nurlar chiqarishini payqadi. Agar qorong'i uyda bir parcha uran rudasi fotoplastinka ustiga bir necha kun qo'yib qo'yilib, so'ngra plastinka ochiltirilsa, unda ruda parchasining tasviri tushib qoladi. Radioaktivlik hodisasini Bekkerel ana shu yo'l bilan topgan. Bekkerel kashfiyotidan ko'p o'tmasdanoq bunday ko'zga ko'rinmas nurlarni boshqa moddalar ham chiqarishi aniqlangan. Barcha bunday moddalar radioaktiv moddalar deb, moddalarning bunday nurlar chiqarish xususiyati esa radioaktivlik deb atala boshlangan. Radioaktivlik hodisasini o'rganish sohasida fransuz olimlari Mariya Sklodovskaya-Kyuri va Pyer Kyurilar katta xizmat ko'rsatdilar. Ular bir necha tonna uran rudasini qayta ishlab, u choqqacha ma'lum bo'lmagan metallardan bir grammga yaqin miqdorda topishgan. Bu metallning radioaktivligi uranning radioaktivligidan bir necha million marta ortiq bo'lgan. Olimlar bu metallni radiy deb atashgan (radiy — nurli demakdir, lotincha radius — nur so'zidan olingan). Olimlar radioaktivlik parchalanishiga tabiatdagi qanday kuchlar ta'sir eta oladi, uni tezlashtiradi yoki sekinlashtiradi? Degan savolga javob izlay boshladilar. Diqqat bilan

o'tkazilgan tekshirishlar juda yuqori yoki juda past temperaturalar ham, kuchli elektr va magnit maydonlari ham, yuqori bosim va tezlanishlar ham, kuchli kimyoviy reaktivlar ham radiyning energiya sochish xususiyatiga ta'sir eta olmasligini ko'rsatdi. Shuning uchun Pyer va Mariya Kyurilarning quyidagi tajribasi zo'r qiziqish uyg'otdi. Ular radiy donachasini magnit maydoniga qo'yib, dastavval bir jinsli bo'lgan radioaktiv nurlar dastasi maydon ta'sirida ikki dastaga ajralishini payqadilar. Bu dastalardan birida radioaktiv zarrachalar oldingi yo'nalishda to'g'ri chiziqli bo'ylab harakatlanadi, ikkinchisida esa bir tomonga og'ib, o'z yo'lini o'zgartiradi. Nurlarning og'ish yo'nalishi va burchagiga qarab, og'uvchi nurlar manfiy zarralar oqimi ekanligi ishonch hosil qilish mumkin. Juda sinchiklab tekshirishlar bu nurlarning elektronlar ekanligini ko'rsatdi. Uchib chiqayotgan elektronlarning tezliklari xilma-xil bo'lib chiqdi. Magnit maydon ta'sirida og'uvchi dastada tezliklari yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan harakatlanuvchi elektronlar ham uchraydi. Radioaktiv nurlarning magnit maydonida og'maydigan qismi qanday tabiatga ega ekanligini aniqlashgina qoldi. Ingliz fizigi Ernest Rezerford bu masalani hal qilishga kirishdi. Avvalo, Rezerford ancha kuchli magnit maydonni olib, er-xotin Kyurilar tajribasini takrorlab ko'rishga ahd qiladi. Bunda u diqqatga sazovor bo'lgan quyidagi fakti payqadi. Radioaktiv nurlarning Pyer va Mariya Kyurilar tajribasida magnit maydoni ta'sirida og'maydigan qismi kuchli magnit maydonda ikkita dastaga ajralishi ma'lum bo'ldi. Bu dastalardan biri magnit maydon ta'sirida mutlaqo og'may, to'g'ri chiziqli bo'ylab boradi, ikkinchisi esa elektronlarning og'ish yo'nalishiga qarama-qarshi tomonga bir oz og'di. Rezerford o'z tajribasi natijalarini tahlil qilib, radioaktiv nurlarning bu qismi musbat zaryadlangan zarrachalar oqimidan iborat degan xulosaga keladi. Ushbu tajribadagi nurlar dastalariga yunon alifbosining dastlabki uchta harfining nomi berilgan: alfa (α)-nurlar, beta (β)-nurlar va gamma (γ)-nurlar. Tajriba natijalarini tahlili shuni ko'rsatdiki, alfa-nurlar geliy atomining yadrolari oqimi, beta-nurlar tez harakatlanayotgan elektronlar oqimi, elektr va magnit maydonida hech yoqqa og'maydigan gamma-nurlar esa elektromagnit nurlanish bo'lib, elektromagnit to'lqinlar shkalasida rentgen nurlardan keyin joylashgan.

Radioaktivlik parchalanish hodisasining tarixini umumlashtirib quyidagi ketma-ketlikda keltirish mumkin:

- 1896-yilda A. Bekkerel uran radioaktivligini kashf qilgan.
- 1898-yilda Mariya Sklodovskaya-Kyuri va Shmidtlar toriyning radioaktivligini kashf etadi.
- 1898-yilda Pyer va Mariya Kyurilar poloniy va radiyalarni kashf etganlar.
- 1899-yilda Rezerford tamonidan alfa- va beta-nurlanishlar identifikatsiya qilingan.
- 1900-yilda Villard tomonidan gamma-nurlanishning tabiatini aniqlaydi.
- 1902-yilda Rezerforda va Soddilar tomonidan radioaktiv parchalanish qonuni kashf etilgan.
- 1917-yil Gan tomonidan izomeriyaga birinchi qadam qo'yilgan.
- 1928-yilda Gamov, Gerni, Kondonalar tomonidan alfa-radioaktivlik nazariyasi yaratilgan.
- 1930-yilda alfa-spektrning strukturasi o'rganilgan.
- 1933-yilda Frederik va Iren Jolio-Kyurilar sun'iy radioaktivlikni kashf etganlar.
- 1934-yilda E. Fermi tomonidan beta-parchalanish nazariyasi yaratilgan.
- 1935-yilda I. Kurchatov va boshqalar tomonidan sun'iy radioaktiv yadrolarning izomeriyasi kashf etildi.
- 1935-yilda Alvarets K-qamrash hodisasini kashf etgan.

Yadroning o'z - o'zidan bir yoki bir nechta zarralar chiqarib parchalanishi (yemirilish) hodisasiga radioaktivlik deb ataladi. Radioaktivlik hodisasi yuz beradigan yadrolarga radioaktiv yadrolar deyiladi. Radioaktiv bo'lmagan yadrolarni esa turg'un (stabil) yadrolar deyiladi. Radioaktiv parchalanish jarayonida yadroning massa soni A va zaryadi Z o'zgaradi.

Radioaktiv parchalanish yuz berishi uchun energetik shart bajarilishi zarur, ya'ni radioaktiv parchalanayotgan yadroning massasi parchalanishda hosil bo'lgan zarralar va bo'laklarning massalari yig'indisidan katta bo'lish sharti. Radioaktivlikning zaruriy, lekin yetarli bo'lmagan shartidir.

Radioaktiv parchalanish uning sodir bo'lish vaqti, nurlanayotgan zarralar turi, ularning energiyasi, agar bir nechta zarralar chiqayotgan bo'lsa, ularning o'zaro uchib chiqish burchaklari, boshlang'ich va oxirgi holatdagi yadrolarning spinlarining yo'nalishi hamda uchib chiquvchi zarralarning spinlarini yo'nalishlari bilan tavsiflanadi.

Radioaktiv yadrolarning yashash vaqtlari sekunddan yil oralig'ida yotadi. Odatda sekunddan yilgacha bo'lgan vaqt radiotexnik usulda, sekunddan kichigi esa yadroning energetik sathi kengligini o'lchagan holda munosabatdan foydalanib topiladi. Radioaktiv yadrolarning yashash vaqti yemirilishda ajralgan energiyaga bog'liqdir. Agarda bu energiya kichik bo'lsa, yashash vaqti keskin ortadi, lekin bu holda yashash vaqti boshlang'ich va oxirgi holatdagi yadrolarning spinlari farqiga kuchli bog'liq bo'ladi.

Biz faqat α , β va γ -parchalanishlarni ko'rib chiqamiz.

Radioaktiv parchalanish har doim ekzotemik, ya'ni energiya ajralishi bilan yuz beradigan jarayondir. Radioaktiv parchalanishda ajralgan YE energiya quyidagi munosibat bilan aniqlaniladi:

$$M_i c^2 = M_f c^2 + \sum_j m_j c^2 + E \quad (1.1)$$

Bu yerda M_i , M_f , M_s – mos ravishda boshlang'ich yadro, oxirgi yadro va uchib chiqayotgan zarralar massalaridir.

4.2-§. Radioaktiv parchalanish jarayonlarini sinflarga bo'lish

Hozirgi kunda quyidagi ko'rinishdagi parchalanishlar ma'lum:

- α -parchalanish (${}^4_2\text{He}$ yadrolarning chiqishi);
- β -parchalanish (e^+ , ν_e , $\bar{\nu}_e$);
- γ -parchalanish;
- spontan (o'z-o'zidan) bo'linish;
- nuklonlar chiqishi (bitta proton yoki neytron, ikkita proton);
- klasterlar chiqishi (${}^{12}\text{C}$ dan ${}^{32}\text{S}$ gacha bo'lgan yadrolar).

Hozirgi kunda ma'lum bo'lgan hamma radioaktiv parchalanishlar jarayonlarini sinflarga bo'lib chiqildi. Ushbu ma'lumotlar 1.4-jadvalda keltirilgan.

Radioaktiv parchalanishlar turlari

1.4-jadval

Parchalanish turi	Parchalanishda ishtirok etuvchi zarralar	Ikkilamchi nuklid
Yadro chiqishi bilan sodir bo'ladigan		
α -parchalanish	Yadrodan chiqqan α -zarra	(A-4, Z-2)
Protonlar chiqishi	Yadrodan chiqqan proton	(A-1, Z-1)
Neytronlar chiqishi	Yadrodan chiqqan neytron	(A-1, Z)
Qo'sh neytron emissiyasi	Yadrodan bir vaqtda chiqqan qo'sh neytron	
Spontan bo'linish	Yadro ikki yoki bir necha kichik yadrolarga parchalanadi	
Klaster parchalanishlar	Yadrodan α -zarradan katta ammo birlamchi yadrodan kichik bo'lgan yadro	(A-A1, Z-Z1) + (A1,Z1)
Beta parchalanish turlari		
β^- - parchalanish	Yadro elektron va antineytrino chiqaradi	(A, Z+1)
β^+ - parchalanish	Yadro pozitron va neytrino chiqaradi	(A, Z-1)
Elektron qamrash	Yadro orbital elektronni qamrab oladi va neytrino chiqaradi. Ikkilamchi yadro (yoki nuklid) uyg'ongan va nostabil holatda bo'ladi	(A, Z-1)
Qo'shaloq β^- - parchalanish	Yadro ikkita elektron va ikkita antineytrino chiqaradi	(A, Z+2)
Qo'shaloq elektron qamrash	Yadro ikkita orbital elektronni qamrab oladi va ikkita neytrino chiqaradi. Ikkilamchi yadro (yoki nuklid) uyg'ongan va nostabil holatda bo'ladi.	(A, Z-2)

1.4-jadvalning davomi

Pozitrona emissiyasi bilan sodir bo'ladigan elektron qamrash	Yadro orbital elektronni qamrab oladi va bitta pozitron va ikkita neytrino chiqaradi.	(A, Z-2)
Qo'shaloq pozitron chiqadigan parchalanish	Yadro ikkita pozitron va ikkita neytrino chiqaradi.	(A, Z-2)
Gamma-nurlanishlar (yadro holatlari orasidagi o'tish)		
Gamma-parchalanishlar	Uyg'ongan yadro yuqori energiyali foton (gamma-nurlar) chiqaradi.	(A, Z)
Ichki konversiya	Uyg'ongan yadro o'z energiyasini orbital elektronga beradi va uni atomdan chiqarib yuboradi.	(A, Z)

4.3-§. Radioaktiv parchalanishning asosiy qonunlari

Radioaktiv parchalanishlar statistik hodisa hisoblanadi. Muayyan radioaktiv moddada barcha atomlar ayni bir vaqtda parchalanmaydi. Ularning ba'zilarida bu jarayon juda qisqa vaqtda bo'lsa, boshqalarida esa juda uzoq vaqt davomida sodir bo'ladi. Bundan radioaktiv parchalanish hodisasi statistik hodisa ekanligi, ya'ni noturg'un yadroni qachon parchalanishni oldindan aytish mumkin emasligi va bu jarayon ehtimollik qonunlari asosida o'tishi kelib chiqadi. Ushbu jarayonni tavsiflovchi kattaliklarda eng muhimi bu vaqt biriligi ichida parchalanish ehtimolligi, ya'ni parchalanish doimiysi λ hisoblaniladi. Agarda N ta bir xil turg'un bo'lmagan yadrolarni olsak, u holda birlik vaqt ichida o'rtacha λN ta parchalaniladi. Bu kattalik aktivlik deyiladi. Aktivlik shu radioaktiv yadrolardan iborat priparatning nurlanish intensivligini ko'rsatadi. Aktivlik bu radioaktiv yadrolarning parchalanish tezligi.

Xalqaro SI sistemasida aktivlik biriligi qilib, 1 sekunddagi parchalanishlar soni qabul qilingan, ya'ni 1 parchalanish/c. Bu birlik Bekkerel (Bk) deb ham aytiladi. 1 Bk=1 parch./c. Bundan tashqari quyidagi sistemadan tashqari birliklar qo'llaniladi:

1 Rezerforddir=1 Rd = 10^6 Bk;

1 Kyuri=1 Ku= $3,7 \cdot 10^{10}$ Bk;

1 mKu= 10^{-3} Ku;

1 mkKu= 10^{-6} Ku.

Radioaktiv parchalanish doimiysi λ vaqtga bog'liq emas. Buning ma'nosi shuki, atom yadrosi uchun o'rtacha yashash vaqti mavjud bo'lib, yadroning yoshi tushunchasi mavjud emas.

Agarda t vaqtda ko'p sonli N ta radioaktiv yadro mavjud bo'lsa va dt vaqt ichida o'rtacha dN ta yadro parchalansa, ya'ni:

$$dN = -\lambda N(t) dt \quad (4.2)$$

bu yerda manfiy ishora radioaktiv yadrolarning umumiy sonini kamayishini ko'rsatadi. $t = t_0 = 0$ da $N(t_0) = N_0$ ekanligini hisobga olib (4.2) ifodani integrallaymiz va quyidagi formulani olamiz:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4.3)$$

Bu radioaktiv parchalanishning asosiy qonunini ifodalovchi formuladir. Bu yerdan yeo'rinadiki, radioaktiv yadrolar soni vaqt o'tishi bilan eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi. (4.2) ga ko'ra aktivlik $A = \lambda N$ yoki

$$A = - \frac{dN}{dt} \quad (4.4)$$

bo'ladi. Bu yerdan yaqqol ko'rinadiki, aktivlik bu parchalanish tezligi ekan.

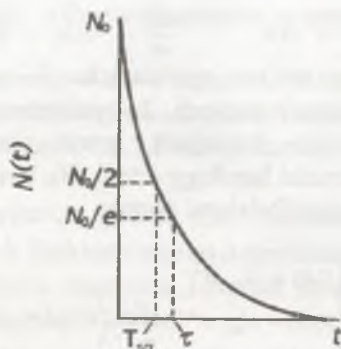
Radioaktiv parchalanishlar hodisasida muhim bo'lgan yana bir kattaliuk bu yarim yemirilish yoki parchalanish davridir. Yarim parchalanish davri deb, radioaktiv yadrolarning yarimi parchalanishi uchun ketgan vaqtga aytiladi va $T_{1/2}$ belgilanadi. Yarim parchalanish davridan so'ng radioaktiv yadrolar soni ikki baravar kamayganligidan, λ va $T_{1/2}$ orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} \frac{N_0}{2} &= N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \\ T_{1/2} &= \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Yadrolarning o'rtacha yashash vaqti:

$$\tau = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.6)$$

Radioaktiv yadrolarning o'rtacha yashash vaqti parchalanish doimiysiga teskariy pro



4.2-rasm. Radioaktiv parchalanishning eksponensial qonuni.
Parchalanmagan yadrolar soni vaqt o'tishi bilan eksponenta bo'yicha kamayadi. Bu yerda yarim parchalanish davri $T_{1/2}$ va o'rtacha yashash vaqti $\tau=1/\lambda$ keltirilgan.

Yuqorida keltirilgan (4.3) ifodaga (4.6) ifodani qo'yamiz va quyidagi formulani olamiz:

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

Agar $t=\tau$ bo'lsa, u holda

$$N = N_0 / e$$

Demak, yadroning bir o'rtacha yashash vaqti davomida yadrolar soni e marta kamayadi.

4.4-§. Ketma - ket parchalanish

Ko'pchilik hollarda radioaktiv yadroning parchalanish natijasida hosil bo'lgan ikkinchi yadro ham radioaktiv bo'lib qoladi, ya'ni 1 radioaktiv yadro parchalanishi natijasida 2 chi yadro va bu parchalanishi natijasida 3 yadro va h.k. radioaktiv yadrolar hosil bo'ladi:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$$

Bu holda birinchi yadroning sonining o'zgarishi N_1 , ikkinchi yadrolarning sonini o'zgarishini esa N_2 deb belgilab olamiz va ushbu o'zgarishlarni ifodalovchi quyidagi deferensial tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1, \quad \frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1 \quad (4.7)$$

Bu tenglamalar ma'nosi quyidagicha: 1 – yadroning soni uning parchalanishi hisobiga kamayadi, 2 – yadroning soni ham o'zining parchalanishi hisobiga kamayadi, ammo shu bilan birga 1 – yadroning parchalanishi hisobiga ortadi. Bu tenglamalar sistemasini yechamiz va quyidagi ifodalarni olamiz:

$$\begin{cases} N_1(t) = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \\ N_2(t) = N_{20} e^{-\lambda_2 t} + \frac{N_{10} \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \end{cases} \quad (4.8)$$

$t=0$ da birinchi yadroning soni N_{10} ta, ikkinchi yadroning soni esa $N_{20}=0$ bo'lsin, u holda (4.8) tenglamalar sistemasini quyidagi ko'rinishga keladi, ya'ni:

$$\begin{cases} N_1(t) = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \\ N_2(t) = \frac{N_{10} \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \end{cases} \quad (4.9)$$

Agar esa $N_{20}=0$ va $T_1 \gg T_2$ ($\lambda_1 \ll \lambda_2$) bo'lsa, $t \ll T_1$ vaqt uchun (4.9) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$N_2(t) \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_{10} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (4.10)$$

Demak, $T_1 \gg T_2$ ($\lambda_1 \ll \lambda_2$) bo'lgan holda radioaktiv yadrolarning parchalanish qonuni ikkilamchi yadroning parchalanish doimiysi bilan xarakterlanar ekan. Agar $t \gg T_2$ ya'ni $\lambda_2 t \gg 1$ bo'lganda (4.10) ifoda o'zining chegaraviy qiymatiga yaqinlashadi:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} N_2(t) = \frac{\lambda_1 N_{10}}{\lambda_2} = \text{const} \quad (4.11)$$

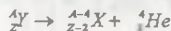
Agar $t > 10T$ bo'lsa, (4.11) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (4.12)$$

Bu ifoda asriy muvozanat tenglamasi deb ataladi. Bunda vaqt birligi ichida hosil bo'layotgan ikkilamchi yadrolar soni parchalanayotgan birlamchi yadrolar soniga teng degan ma'noni beradi. Bunga misol qilib, radiy parchalanishi natijasida radon hosil bo'lgan jarayonini keltirish mumkin.

4.5-§. Alfa-parchalanish va uning nazariyasi

Og'ir yadrolarning o'z - o'zidan α -zarralar chiqarib parchalanishiga α -parchalanish hodisasi deyiladi. Bu holda yadroning massa soni 4 birlikka, atom soni esa 2 birlikka kamayadi, ya'ni:



bu yerda, A_ZY - birlamchi yadro, ${}^{A-4}_{Z-2}X$ - ikkilamchi yoki hosilaviy yadro. 1896-yilda A. Bekkerel aynan α -parchalanishni aniqlagan.

Alfa-parchalanish energetik jihatdan mumkin bo'lishi uchun ushbu tengsizlik bajarilishi kerak:

$$M(A, Z) \geq M(A-4, Z-2) + M({}^4_2He) \quad (4.13)$$

ya'ni birlamchi yadroning massasi (energiyasi) ${}^{A-4}_{Z-2}X$ hosilaviy yadroning va α -zarra massalari yig'indisidan katta bo'lishi kerak. Uning yadosining energiyasi α -parchalanishda bo'laklarning kinetik energiyalari sifatida ajralib chiqadi.

$$E_\alpha = [M(A, Z) - M(A-4, Z-2) - M({}^4_2He)] c^2 = T_\alpha + T_{\text{ya}}, \quad (4.14)$$

bu yerda, T_{ya} - tepki yadroning kinetik energiyasi. Agar parchalanuvchi yadro nisbatan tinch holda bo'lsa, $|\vec{p}_\alpha|$ va $|\vec{p}_{\text{ya}}|$ impulsdar tengligidan hosilaviy tepki yadro kinetik energiyasi

$$\frac{T_{\text{ya}}}{T_\alpha} = \frac{M_\alpha}{M_{\text{ya}}} \quad (4.15)$$

ga yoki (4.14) ga ko'ra

$$E_\alpha = T_\alpha \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_{\text{ya}}} \right) \quad (4.16)$$

bundan

$$T_\alpha = E_\alpha \frac{M_{\text{ya}}}{M_{\text{ya}} + M_\alpha} \quad (4.17)$$

bu yerda, M_{ya} - tepki yadro massasi. Shunday qilib, α -parchalanish natijasida ajraladigan kinetik energiyaning asosiy qismini α -zarra olib ketadi, juda kam qismni ($\sim 2\%$ ga yaqin) qisminigina hosilaviy yadro olib ketadi.

Alfa-parchalanishning o'ziga xos empirik xususiyatlari mavjud, ya'ni:

• α -parchalanish faqat og'ir yadrolarda yuz beradi ($Z > 83$). Noyob elementlar sohasida ($Z > 60$) ham uncha katta bo'lmagan α -aktiv yadrolar guruhi ham mavjud.

• α -zarralar energiyasi asosan 2-9 MeV interval ichida, yarim parchalanish davri esa $3 \cdot 10^{-7}$ sek (^{212}Po) - $2.4 \cdot 10^{15}$ yil (^{144}Nd) interval ichida joylashgan.

Geyger-Nettol qonuni

1911-yilda Jon Mitchel NETTOL va Gans Geygerlar alfa-aktiv yadrolarning yarim parchalanish davri bilan alfa-zarralar energiyasi orasidaga, bog'lanishni, ya'ni Geygera - Nettola qonunini kashf qildilar.

$$\lg T = C + \frac{D}{\sqrt{E}}, \quad (4.18)$$

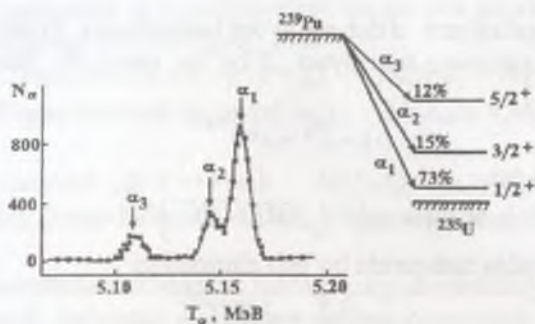
bu yerda, S, D – doimiy kattaliklar bo'lib, A massa soniga va Z ga esa kuchsiz bog'liq. Agar logarifim o'nli va energiya MeV larda ifodalansa, u holda yuqoridagi ifodadan o'lchansa, S va D doimiy kattaliklar quyidagiga teng bo'ladi:

Z = 84 uchun S = -50,15; D = 128,8 bo'ladi;

Z = 90 uchun S = -51,94; D = 139,4 bo'ladi.

Geygera - Nettola qonuni juft-juft yadrolar uchun yaxshi bajariladi.

Ma'lum bir navbatdagi yadrolardan chiqayotgan α -zarralar energiyalari bir xil bo'ladi. Aniq o'lchashlar shuni ko'rsatdiki, yadrodan chiqayotgan α -zarralar spektri nozik strukturaga, ya'ni bir biriga juda yaqin bo'lgan energiyalardan iborat ekan. Alfa-zarralar spektri oxirgi yadroning nafaqat asosiy holatda, balki uyg'ongan holatlarda ham hosil bo'lishi bilan bog'liq. Ya'ni α -spektr yadro sathlar haqida axborot beradi. 4.3-rasmda plutoniy ^{239}Pu yadrosining α -parchalanish sxemasi keltirilgan.



4.3 - rasm. Plutoniy ^{239}Pu yadrosining α -parchalanish sxemasi.

Yadro ichidan musbat zaryadlangan protonlarning qolgan protonlar o'rtasidagi kulon ta'sir kuchlari itariluvchi bo'lib, u musbat potensial energiyaga mos keladi.

Potensial to'siq balandligi yadro zaryadi va radiusga bog'liq. Bu og'ir yadrolarda 9,5 MeV ga yaqin.

Yadrodan uchib chiqadigan α -zarra qariyb 6 MeV energiyaga ega bo'lishi kerak. Demak, zarra yadro doirasidan tashqariga chiqa olmaydi. Bu masalaga klassik fizika qonunlari nuqtayi nazaridan qaralganda shunday bo'ladi. Alfa-nurlanish hodisasini kvant mexanikasi nuqtayi nazaridan turib tushuntirish mumkin. Mazkur mexanikaga ko'ra to'liqin zarra, zarra esa to'liqin xususiyatga ega bo'ladi. Agar biz α -zarralarni potensial to'siqdan o'tayotganda to'qin xususiyatini namoyon qiladi deb qarasak, u holda potensial to'siqni shaffof bo'lmagan muhit sifatida qarashimiz mumkin. To'liqinning bunday muhitdan o'tish ehtimolligi mavjud bo'lib, ammo u juda kichik. Ushbu ehtimollik o'tish uchun zarur bo'lgan energiya va zarraning nisbiy kinetik energiyasi orasidagi farqning kamayishi bilan juda tez, ya'ni eksponensial ravishda ortib boradi. Energiyasi potensial to'siqdan kam bo'lgan zarra, garchi to'siqda hech qanday teshik yoki tunnel bo'lmasa ham, go'yo tuneldan o'tayotgandek bo'ladi. Haqiqatda zarra qalin to'siq orqali o'tadi. Bu effest tunnel effekti deyiladi va bu faqat mikrodunyo hodisalariga xosdir. Klassik fizikada bunday hodisalar yo'q.

To'siq qalinligini d deb va to'siq balandligini U deb belgilaymiz. Agarda zarraning energiyasi E bo'lsa, uning de - Broyl to'liqin funksiyasi

$$\Psi_0(r) = e^{ikr} = e^{i\sqrt{2M(U-E)}r} \quad (4.19)$$

To'siq ichida esa

$$\Psi_{12}(k) = \exp\left(-\frac{i}{\hbar}\sqrt{2M(U-E)}r\right) \quad (4.20)$$

Zarrani to'siqdan tashqarida bo'lish ehtimolligi

$$\left| \frac{\Psi_1(r_1)}{\Psi_0(r_2)} \right|^2 = e^{\frac{i}{\hbar}\sqrt{2M(U-E)}d} \quad (4.21)$$

bu nisbat

$$D = \exp\left[-\frac{i}{\hbar}\sqrt{2M(U-E)}d\right] \quad (4.22)$$

Istalgan shakldagi to'siq uchun esa

$$D = \exp\left[-\frac{i}{\hbar}\int\sqrt{2M(U(r)-E)}dr\right] \quad (4.23)$$

bo'ladi va α -zarraning to'siqdan o'tish koeffitsiyenti yemirilish doimiysi bilan bog'lanishi quyidagicha

$$\lambda = \frac{\nu}{R} \exp\left[-\frac{i}{\hbar}\int\sqrt{2M(U(r)-E)}dr\right] \quad (4.24)$$

bu yerda, α - zarraning tezligi, R - yadro radiusi.

Agarda α -zarra yadrodan l - burchak momentiga ega bo'lsa, u holda α -zarra markazdan qochma energiyaga ham ega bo'ladi, ya'ni

$$U_{n,l} = \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2 M_a r^2} \quad (4.25)$$

Bu energiya qolgan energiya bilan qo'shilib potentsial to'siq balandligini orttiradi. Lekin markazdan qochma energiyaning ta'siri unchalik katta bo'lmaydi.

4.6-§. Beta- parchalanish

Yadroning o'z - o'zidan elektron (pozitron) va antineytrino (neytrino) chiqarib, parchalanish hodisasiga beta-parchalanish deyiladi. Beta-parchalanishda yadro massa soni o'zgarmaydi, ya'ni parchalanish natijasida izobar yadro hosil bo'ladi. Beta-parchalanishning uch xil turi mavjud. Ushbu holda yadro ichidagi

nuklonlar aylanishi va β -parchalanish turiga mos keluvchi energetik shartlar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

1. β^- -parchalanish ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$), $M(A, Z) > M(A, Z+1) + m_e$,
2. β^+ -parchalanish ($p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$), $M(A, Z) > M(A, Z-1) + m_e$,

(4.26)

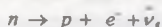
3. e-qamrash ($p + e^- \rightarrow n + \nu_e$), $M(A, Z) + m_e > M(A, Z-1)$.

Ushbu β -parchalanish turlari bilan alohida-alohida tanishib o'tamiz.

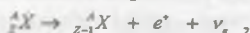
β^- -parchalanish. Mazkur turdagi parchalanishda yadro zaryadi bittaga ortadi, yadrodan elektron va antineytrino chiqib ketadi, ya'ni:



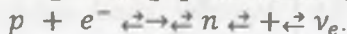
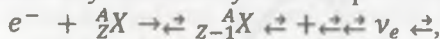
β^- -parchalanishda yadrodagi neytronlardan biri protonga aylanadi:



β^+ -parchalanish. Bu holda yadrodagi protonlardan biri neytronga aylanadi va yadro zaryadi bittaga kamayadi. Bunda yadrodan pozitron va neytrino chiqadi:



e-qamrash. Beta-parchalanishga e-qamrash hodisasi ham kiradi. Ko'pchilik hollarda K-qamrash ham deyiladi. Bunda yadro K-qobiqdagi bitta elektronni o'ziga yutib (qamrab) oladi va uning zaryadi bittaga kamayadi. Ushbu hodisada yadrodagi bitta proton neytronga aylanadi va yadrodan neytrino chiqib ketadi, ya'ni:



Beta-parchalanish vaqti $T_{1/2}(\beta) = 0.1 \text{ s} - 10^{17} \text{ yil}$ intervalida bo'ladi. α -parchalanish yadro kuchlari ta'sirida yuz berib, nisbatan qisqa vaqt yuz beradi ($3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ gacha). Beta-parchalanishlar kuchsiz o'zaro ta'sir natijasida yuz berganligi sababli. Ushbu ta'sirning kichik intensivlikka ega bo'lganligi sababli, neytronning yashash vaqti katta bo'ladi ($\approx 15 \text{ min}$). Beta-parchalanishda ajralib chiqadigan energiya mos kelgan energiyali (0.78 MeV) γ -parchalanishning yuz berish vaqti esa o'rtacha 10^{-12} s ni tashkil qiladi.

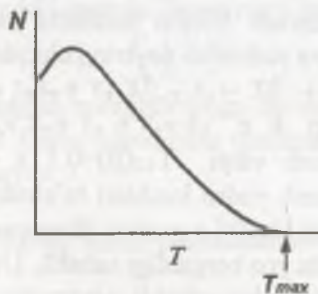
Beta-parchalanish energiyasi:

$$Q_{\beta^+} = [M(A, Z) - M(A, Z+1) - m_e]c^2, \quad (4.27)$$

$$Q_e = [M(A, Z) - M(A, Z-1) + m_e]c^2.$$

Ushbu ajralib chiqadigan energiyasi 18.61 keV (${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$) dan 13.4 MeV (${}^{12}_5\text{B} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + e^- + \bar{\nu}_e$) gacha bo'lgan intervalda yotadi.

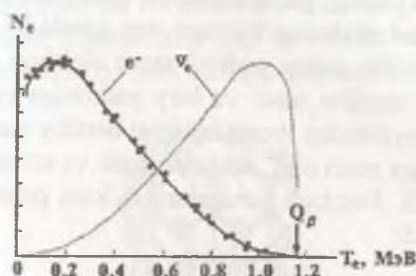
Beta-parchalanishda Kulon to'siqini muhokama qilib o'tirmasa ham bo'ladi. U faqat yadro ichida hosil bo'ladigan pozitron uchun mavjud. Bu yerda eng muhimi, noaniqlik munosibati yadro ichida $e^\pm$ uzoq qolib ketishini taqiqlashidir. $\beta^\pm$ -parchalanishlarda uchta mahsulotlar hosil bo'lib, ular orasida energiya bo'yicha taqsimot extiyoriy bo'ladi. Bunda har bir mahsulotning energetik spektri uzluksiz bo'ladi. 4.4-rasmda beta-parchalanishning spektri keltirilgan. Beta-zarralarning kinetik energiyasi $T_{\max}$ beta-parchalanish energiyasiga yaqin bo'ladi, ya'ni $T_{\max} = E_\beta$. 4.5-rasmda ${}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + e^- + \bar{\nu}_e$ parchalanishda hosil bo'ladigan elektron va neytrinolarning energetik spektrlari keltirilgan. Elektron-qamrashda ikkita mahsulot hosil bo'lib, spektri uzluksizdir. $\beta^\pm$ -spektrlarning uzluksizligi 1930-yilda Paulini noma'lum massasi juda ham kichik va yarim butun spinga ega bo'lgan neytral zarra mavjudligi g'oyasiga turtki berdi. Ushbu g'oyaga aosan $\beta^\pm$ -parchalanishda energiyaning bir qismini mazkur zarra olib ketadi. Bu zarraga, 1932-yilda neytron kashf etilgandan keyin E.Fermi "neytrino" ("neytroncha") deb nom beradi.



4.4-rasm. Beta-parchalanish spektri.

Neytrino modda bilan juda kuchsiz ta'sirlashadi va uni kuzatish juda qiyin. Uning qattiq muhitda yugurish yo'li $\approx 10^{15}$ km. Faqat

1956-yildagina Raynes va Kouenlar tomonidan neytrino mavjudligi eksperimental tasdiqlangan va uning modda bilan o'zaro ta'sir kesimi (10^{-43} sm^2) baholandi.

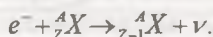


4.5-rasm. $^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{210}_{84}\text{Po} + e^- + \bar{\nu}_e$ parchalanishda hosil bo'ladigan elektron va neytrinolarning energetik spektrlari.

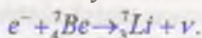
2004-yilda «Physical Review Letters» («Fizika obzori xatlari») jurnalida yapon fizik olimlarining birinchi marta radioaktiv elementlar yadrolarining tabiiy parchalanish tezligini hech qanday ekstremal ta'sirga duchor qilmasdan sezilarli oshirishga erishilganligi haqida maqola bosilib chiqdi. Yuzaki o'qilgan na faqat ommabop kitob, balki yadro fizikasi bo'yicha darslik Sutomo Otsuki va uning kasibdoshlarining ushbu ishi sog'lom fikrga zid degan tasavvur hosil qilishi mumkin. Haqiqatan ham radioaktivlik hodisasi asosida ham atom yadrosi ichida kechadigan dinamik jarayon yotadi va unga insonning ta'sir qilishga kuchi yetmaydi. Albatta stabil(turg'un) izotopni (masalan uni neytronlar bilan nurlantirish orqali) radioaktiv izotopga aylantirish mumkin, ammo hosil bo'lgan mahsulotning parchalanish tezligini eksperimentatorning xohishi emas, balki uning xususiy xossalari belgilaydi. Nihoyat qanday qilib olimlar tog' jinslari va organik qoldiqlar sanasini aniqlashda radioaktiv usuldan foydalanishlari mumkin edi, agarda ular har qanday radioaktiv izotopning yarim parchalanish davri doimiy va har yerda hamda doimo o'zgarmasligiga qat'iy ishonch hosil qilmaganda?

Ayrim atom yadrolari o'zining xususiy ichki qobig'idagi elektronlarini o'g'irlab olar ekan. Bu jarayon nazariy 1936 yilda yapon olimlari Xiderik Yukava va Shoichi Sakata tomonidan

oldindan aytilgan va ikki yildan keyin tajribada amerikalik olim Luis Alvares tomonidan topilgan. U fizikaviy adabiyotlarda elektron qamrash degan nomni oldi. Qisman bunday turdagi radioaktiv parchalanishga (bu turdagi parchalanishlar beta parchalanishga kiradi va uni beta parchalanishning bir turi deb qaraladi) berilliy-7 ham duchor bo'lgan bo'lib, uning yadrosi atom elektron qobig'idagi bir elektronni o'ziga «tortib» oladi va litiy yadrosiga aylanadi. To'rtta proton va uchta neytrondan iborat bo'lgan berilliy yadrosi qobiqdagi bitta elektorn o'ziga yutib olib, uchta protonli va to'rtta neytronli litiy yadrosiga aylanadi. Pozitron parchalanishi kabi protonlardan bittasi neytronga aylanadi:



Bu ifodani berilliy-7 uchun yozamiz:



Elektron qamrash ehtimolligi, yadro yaqinidagi elektronlar zichligiga bog'liq bo'lib, u oshishi bilan elektron qamrash ehtimolligi oshadi. Bundan elektron qamrashni amalga oshirish imkoniyatiga ega bo'lgan radioaktiv elementlar yadrosining o'rtacha yashash vaqti, ular ushbu elementning sof namunasi tarkibiga kirishi yoki uning kimyoviy birikmalar tarkibiga kirishiga qarab o'zgarishi mumkin. Bu xulosa tajribada tekshirilgan va tasdiqlangan, shu bilan birga yashash vaqtining siljishi (yoki ta'bir joyiz bo'lsa yarim parchalanish davri) bunday hollarda foiz ulishlarini tashkil etadi. Binobarin, bu guruh radioaktiv elementlar shak-shubhasiz sanalarni radioizotop usulida aniqlash uchun atom saoti sifatida qo'llash mumkin emas. Shuncha uzoq, ammo zarur kirishdan keyin Toxoku universiteti Yadro fizika laboratoriyasi va Iokogamedagi Milliy universiteti fizika fakulteti xodimlarining ishlari haqida hikoya qilish qiyin emas. Ular berilliy-7 atomlarini fullerenov deb nomlangan deyarli sferik oltmish atomdan iborat molekula ichki qismiga haydab kirgizishga muvofiq bo'lishdi. Natijada berilliy yadrosi atrofidagi elektron zichligi oshgan va bu esa o'z navbatida radioaktiv parchalanish sur'atini oshishiga olib keldi. Sof metall berilliy namunasining 1275 soatni tashkil qilsa, asirga tushgan atomlar yarim parchalanish davri esa 1264 soatga teng. Farqi taxminan 0,85% ni tashkil etadi. Bir qarashda bu miqdor kam bo'lib ko'rinishi mumkin. Ammo bu hali boshlanishi bo'lib, yangi

molekulalarning topilishi bu jarayonlarni yanada tezlashtiradi. Fulleren haqida qisqacha ma'lumot: Fullerenlar bu deyarli sferik bo'lgan, o'nlab atomlardan iborat uglerod molekulalari (4.6-rasm). Birinchi 60-atomli fulleren molekulalari 1985-yilda yaratilgan. 60-atomli fulleren qirralari bu 20 ta deyarli ideal to'g'ri oltiburchak va 12 ta besh burchak. Keyinchalik 76, 78, 84, 90 va hatto bir necha yuzlab atomli fullerenlarni ham olishga muvassar bo'lishdi.



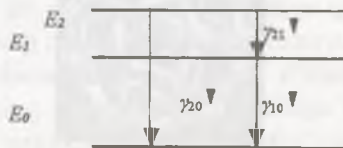
4.6-rasm. O'nlab atomlardan iborat uglerod molekulalari.

Yadro parchalanish tezligini o'zgartirish nima uchun kerak? degan tabiiy savol to'g'ilishi mumkin. Yadro qurollarini sinash va radiatsion karxonalarda (yadro reaktorlarida) yuz bergan avariylar natijasida atrof-mhitda radioaktiv ifloslanishlar yuz bermoqda. Bunda asosan ikkita texnogen radionuklidlar, ya'ni seziy-137 va stronsiy-89 biosferaga katta xavf solishi mumkin. Ushbu radionuklidlarning yarim yemirilish davri juda katta bo'lib, ular inson uchun xavfsiz holga tushushi uchun 300 yil kerak bo'ladi. Masalan, Ukrainaning Chernobil shahriga insonlar qaytadan kirishadi va hayot kechirishi uchun ham shuncha yil zarur (bu yerda avariya 1986 yilda yuz bergan). Biz yuqorida bayon qilgan tajriba ushbu muammoni hal qilishga qo'yilgan birinchi qadam desak mubolag'a bo'lmaydi. Agar olimlar texnogen radionuklidlarning yarim parchalanish davrini

kamaytirishga erishsalar, insoniyat oldida turgan radioekologiya muammolari hal qilgan bo'lar edilar.

4.7-§. Yadro gamma-nurlanishi

Gamma nurlanishlar (γ - nurlanishlar), bu yadroning o'z-o'zidan yuqori energetik sathdan istalgan bir pastki energetik sathga o'tganda elektromagnit nurlanishlar kvantini chiqarish hodisasidir. Ravshanki, bunda yadroning A va Z kattaliklari o'zgarmaydi. Atom elektronlarning o'tishi natijasida hosil bo'ladigan rentgen va yorug'lik nurlari kvantlaridan farqli ravishda, yadro chiqarayotgan fotonlarning nomi γ - *kvantlar* deyiladi. Gamma-kvantlarning nurlanishi, yadro ortiqcha energiyasini chiqarishining asosiy jarayoni hisoblanadi. Bunda shunday shart bajarilishi kerakki, ushbu energiya nuklonlarning bog'lanish energiyasidan oshmasligi lozim.



4.7-rasm. γ - o'tishlar sxemasi.

Gamma-kvantlar chiqishi bilan sodir bo'ladigan o'tishlarga radiatsion o'tishlar deyiladi. Radiatsion o'tishlar bir karrali, ya'ni yadro birdaniga asosiy holatga o'tadi (4.7-rasmda γ_{20} o'tish) yoki kaskad o'tish, ya'ni bunda ketma-ket o'tishlar sodir bo'ladi, natijada yadrodan bir nechta γ - kvantlar chiqib ketadi (4.7-rasmda γ_{21} va γ_{10} o'tishlar).

Gamma-kvant energiyasi, radiatsion o'tish bo'layotgan energetik sathlar energiyalar farqi orqali aniqlaniladi:

$$E = h\nu = E_i - E_j$$

Energiya va impuls saqlanish qonunlariga asosan:

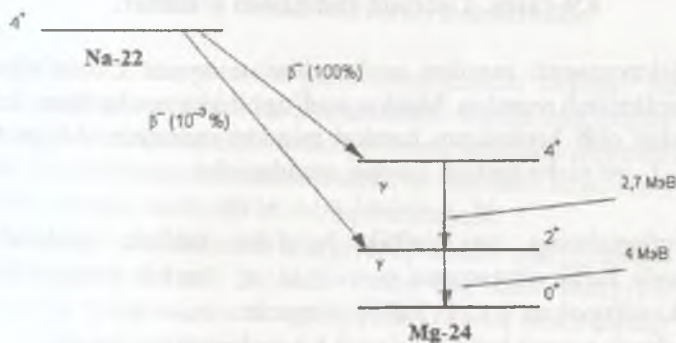
$$E = E_\gamma + T_{\text{яд}} \quad 0 = \vec{P}_\gamma + \vec{P}_{\text{яд}} \quad (4.28)$$

bu yerda, T_{yad} va R_{yad} – mos holda tepki yadroning kinetik energiyasi va impulsi, R_γ – γ -kvant impulsi. Yuqoridagi (4.28) tenglamalardan quyidagini olamiz:

$$T_{yad} = \frac{E_\gamma^2}{2M_{yad}c^2} \approx \frac{E_\gamma^2}{2M_{yad}c^2}$$

Shunday qilib, $T_{yad} = (10^{-6} \div 10^{-5}) YE$, ya'ni γ - kvant yadro o'yg'ongan holat energiyasining juda katta qismini olib ketadi. Gamma-kvantlarning spektri diskret bo'ladi.

Gamma-nurlar radioaktiv parchalanishning ikkinchi darajali maxsuli hisoblanadi. Alfa yoki beta-zparchalanishlar natijasida radioaktiv element o'zgaradi. Ko'picha bunday o'zgarishdan vujudga keladiga yadrolar qo'zg'algan holatda bo'ladi. Bu uning energiyasi normal holdagisiga nisbatan ko'proq ekanligidan dalolat beradi. Mazkur ortiqcha energiya gamma - nurlar shaklida chiqib ketadi. Bunga misol qilib $^{24}_{11}\text{Na}$ yadrosining parchalanishi keltirilgan. Natriy-24 beta parchalanishi natijasida $^{24}_{12}\text{Mg}$ yadrosi hosil bo'ladi (4.8-rasm).



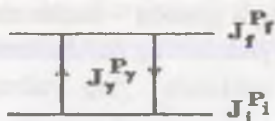
4.8-rasm. $^{24}_{11}\text{Na}$ yadroning β^- parchalanishda hosil bo'ladigan γ -nurlanish.

Gamma-kvantlarining massasi nolga teng bo'lganligidan ular l orbital momentga ega bo'lmaydi. Shuning uchun fotonlarning holatini belgilashda mul'tipol tushunchasidan foydalaniladi. Bu

holat, elektromagnit maydonning mul'tipoli $L\hbar$ va juftligi π -bo'lgan holatdir. Mul'tipollar $L=1$ bo'lganda dipolm, $L=2$ bo'lganda kvadrupolm, $L=3$ bo'lganda oktopol va h.k. nomlar bilan ataladi.

Yadrolardan chiqayotgan γ -kvantlarning energiyalari keV dan bir necha MeV gacha bo'ladi. Shunga mos ravishda keltirilgan uzunligi $2 \cdot 10^{-10} \div 5 \cdot 10^{-14} \text{m}$ atrofida bo'ladi.

Yadrolarning radiatsion o'tishlarida mos keladiga elektromagnit maydon nurlanishlarining ba'zi bir xususiyatlarini eslatib o'tamiz. Yadro, spini I_i va juftligi π_i (ayrim hollarda P_i ko'rinishda ham belgilaniladi) bo'lgan holatdan, spini I_f va juftligi π_f bo'lgan holatga o'tishida energiyasi $h\nu$ bo'lgan gamma-kvant nurlangan bo'lsin (4.9-rasm).



4.9-rasm. Yadroda radiatsion o'tishlar.

Elektromagnit maydon nurlanishini muayyan L mul'tipollik bilan harakatlash mumkin. Mazkur mul'tipollikka ega bo'lgan kvant tomonidan olib ketiladigan harakat miqdori momenti $L\hbar$ ga teng bo'ladi. L bo'yicha tanlash qoidasi quyidagicha:

$$|I_i - I_f| \leq L \leq |I_i + I_f|$$

Nurlanishning turi juftlik bo'yicha tanlash qoidalaridan aniqlanadi. Juftlik o'zgarmasa ($\Delta\pi=+1$), M_1 , E_2 va h.k. (magnit dipol, elektr kvadrupol va h.k.). Juftlik o'zgarsa ($\Delta\pi=-1$), E_1 , M_2 va h.k. (elektr dipol, magnit kvadrupol va h.k.) nurlanish yuz beradi

Atomlardagi kabi yadroda ham rezonans yutilish sodir bo'ladi. Yadroning energetik sathi bilan γ -nurlar energiyasi qanday aniqlikda mos kelganda rezonans yutilishi kuzatilishini hisoblaymiz. Ma'lumki, yadroning energetik sathlari, sathning tabiiy kengligi deb ataluvchi Γ – kattalikka ega va u yadroning shu holatda yashash vaqtiga quyidagicha bog'langan:

$$\Gamma \Delta t \approx \hbar$$

Masalan, ^{57}Fe yadrosining 14 keV uygʻongan holati 10^{-17} s yashash vaqtiga ega. U 14 keV gamma-kvant chiqarib oʻzining asosiy holatiga qaytadi. Bunday holatda sath kengligi quyidagiga teng boʻladi:

$$\Gamma = \Delta E = \frac{h}{t} \approx 6 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$$

Temir yadrosida rezonans yutilishi kuzatilishi uchun γ -kvant energiyasi 3/2 sath energiyasi bilan yuqorida hisoblangan ΔE energiya aniqligida mos kelishi shart.

1958 - yilda nemis fizigi R. Myossbauer tomonidan tajribada bitta yadro kvant chiqarsa boshqa xuddi shunday yadro bu kvantini rezonans yutilishini koʻrsatadi. Bu effekt "Myossbauer effekti" deb nomlanadi.

Hozirgi zamon fizikasining koʻp sohalarida chastotalarni Myossbauer effektidan foydalanib oʻlchash usuli keng qoʻllanilmoqda. Bu effektdan foydalanib, qator yadrolardagi γ -nurlanishlarning oʻta nozik tuzulishini tekshiriladi.

4.8-§. Ichki konversiya elektronlar

Yadro oʻz energiyasini gamma-nurlashdan tashqari yana bir yoʻli, konversion elektronlar chiqarishidir. Bunda uygʻongan yadro oʻz energiyasini qobiq elektronlariga beradi, natijada elektron chiqib ketadi, bu elektronga konversion elektron deyiladi. Ichki konversiya jarayoni gamma-nurlanish bilan raqobatlashadi.

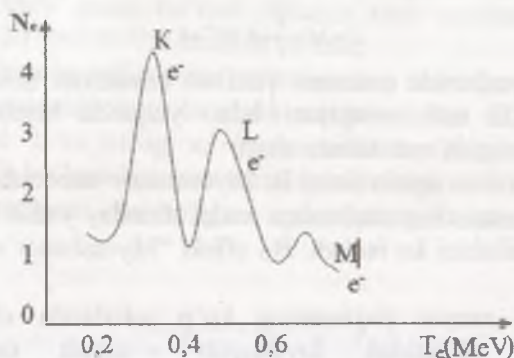
Konversion elektronlar energiyasi β -spektr energiyasidan farqli ravishda monoxromatik boʻladi. Yadro uygʻonish energiyasi (E_u) konversion elektron kinetik energiyasi (T_e) va elektronning atom qobigʻi ionizatsiya energiyasiga (I) sarf boʻladi.

$$E_u = T_e + I$$

Konversiya virtual fotonlar bilan amalga oshadi. Konversiya hodisasini kuzatish uchun toʻla ionlashgan atom boʻlishi kerak, bu xil tajribalar oʻtkazilgan emas.

Konversiya elektronlari yadrodan γ -chiqishi yoki chiqmasa ham kuzatila beradi. Ichki konversiya jarayoni albatta, xarakteristik rentgen nurlanishi yoki Oje elektronlarining chiqishi bilan kuzatiladi. Rentgen nurlanish chiqishi ichki konversiyaga koʻra atom qobigʻidan

elektron chiqib ketsa chiqqan elektronning o'rniga keyingi qobiqda joylashgan elektron o'tadi, natijada xarakteristik rentgen nurlanishi hosil bo'ladi.



4.10 - rasm. Konversiya spektri atom qobiq energiyalari farqiga ko'ra to'g'ri keluvchi bir necha monoxromatik spektrlar.

Ichki konversiya tufayli uyg'ongan holatga o'tib qolgan atomning uyg'onish energiyasi atom qobig'idagi tashqi elektronlarning birortasiga berilishi, bu bilan elektron chiqib ketishi mumkin, bu elektronga *Oje elektron* deb ataladi.

Ichki konversiya intensivligi ichki konversiya koeffitsiyenti α bilan xarakterlanadi. Ichki konversiya koeffitsiyenti deb konversion elektronlar sonining (N_e) γ -kvantlar soniga nisbatiga aytiladi:

$$\alpha = \frac{N_e}{N_\gamma}$$

Alohida qobiqlardan chiquvchi konversion elektronlar sonining N_K , N_L , γ -kvantlar soniga nisbati parsial (qism) ichki konversiya koeffitsientlari deb ataladi:

$$\alpha_K = \frac{N_K}{N_\gamma}, \quad \alpha_L = \frac{N_L}{N_\gamma}, \quad \alpha_M = \frac{N_M}{N_\gamma} \dots$$

To'la ichki konversiya koeffitsienti, parsial ichki konversiya koeffitsiyentlari yig'indisidan iborat:

$$\alpha_T = \alpha_K + \alpha_L + \alpha_M + \dots$$

Ichki konversiya koeffitsiyenti $10^{-4} < \alpha < 10^2$ chegarasida o'zgaradi.

Ichki konversiya koeffitsiyenti:

1. O'tish energiyasi oshishi bilan kamayadi, chunki gamma chiqish ehtimolligi oshadi.

2. Yadro zaryadi Z ohsa ichki konversiya koeffitsiyenti oshadi, chunki Z o'sishi bilan yadro o'lchami oshadi (kattalashadi), K -qobiq yadroga yaqinlashadi (kichiklashadi), natijada K -elektronlarning va yadro to'liq funksiyalarining qoplanishi oshadi.

3. Qobiq tartibi oshishi bilan ichki konversiya koeffitsiyenti kamayadi, chunki yadro yaqinida elektronni topish ehtimolligi kamayadi.

4. Multipol o'tishlar tartibi oshishi bilan koeffitsiyenti oshadi, chunki gamma-nurlanishlar ehtimolligi kamayadi.

Agar o'tish energiyalari kichik multipol o'tishlar L katta bo'lsa, gamma-o'tishlarni payqash juda qiyin bo'lib qoladi, bunday hollarda kerakli ma'lumot qobiq ichki konversiya koeffitsientlarini solishtirish yo'li bilan olinadi. $\frac{K}{L} = \frac{N_K}{N_L}$, bunda $N_L = N_{L_1} + N_{L_2} + N_{L_3}$; yoki

$\frac{\alpha_{L_1}}{\alpha_{L_2}}; \frac{\alpha_{L_2}}{\alpha_{L_3}}; \frac{\alpha_{L_3}}{\alpha_{L_4}}$ nisbatlaridan foydalaniladi.

Ichki konversiya koeffitsiyentiga ko'ra yadroning energiya holatlari, harakat miqdori momenti, nurlanish multipolliklarini o'rganish mumkin.

Yadro gamma-kvant va ichki konversiya elektronlari chiqarishdan tashqari, agar o'tish energiyasi $E > 1,02$ MeV dan yuqori bo'lganda, elektron-pozitron jufti (ye^-, ye^+) hosil qilishlik bilan ham uyg'onish energiyasini yo'qotadi. Bunda yadro dastlab virtual foton chiqaradi, bu foton elektron-pozitron juftiga aylanadi va yadrodan konversion elektronlar kabi chiqib ketadi. Lekin shuni alohida ta'kidlash lozimki, hosil bo'lgan elektron atom qobig'idagi elektron emas.

Juft konversiya koeffitsiyenti $\alpha_j = N_j / N$, ehtimoliyati ichki konversiya koeffitsientidan farqli ravishda yadro zaryadi, o'tish multipolligi ortishi bilan kamayadi.

Yuqoridagi o'tishlardan tashqari dastlabki va oxirgi holat spinlari $I_b = I_0 = 0$ bo'lganda bu holatlar orasida bitta kvant chiqishi ta'qiqlangan ikkita kvant chiqish ehtimoliyati juda kichik bo'ladi.

Umuman olganda bunday, holatlarda harakat miqdori momentisiz ichki konversiya elektronlari, elektron-pozitron jufti va harakat miqdori momentiga ega bo'lgan ikki fotonli o'tishlar bo'lishi mumkin.

Ikki fotonli o'tishlar ehtimoliyati juda kichik hisoblanadi.

4.9-§. Klaster radioaktivlik

Radioaktiv yadro tomonidan α -zarra chiqarish hodisasi bizga yaxshi ma'lum. Radioaktiv yadro o'z-o'zidan geliy atom yadrosidan farqli qandaydir boshqa atom yadrosini chiqarishi mumkinmi? Bu savolga ijobiy javob 1984-yilda berildi. Bir-biridan mustaqil holda ilmiy tadqiqot olib borayotgan Angilyadagi va Rossiyadagi ikki guruh olimlar tomonidan ^{223}Ra radioaktiv parchalanishda ^{14}C yadrosi uchib chiqishini kuzatishgan, ya'ni:



Bu turdagi parchalanishlarga klaster parchalanishlar yoki klaster radioaktivlik deb nom berildi [1-4]*

(1. *Rose, H. J. and Jones, G. A. (1984-01-19). A new kind of natural radioactivity». *Nature* **307**:

245–247. DOI:10.1038/307245a0;

2. Baum, E. M. et al. (2002). Nuclides and Isotopes: Chart of the nuclides 16th ed. Knolls Atomic Power Laboratory Lockheed Martin;

3. Aleksandrov D.V. i dr. Pisma v JETP. 1984 t.40. s152-154;

4. Kuklin S.N., Adamian G.G., Antonenko N.V. Spectroscopic factors and cluster decay half-lives of heavy nuclei.//Phys.Rev. C.71, 014301(2005);

5. Kuklin S.N., Shneidman T.M., Adamian G.G., Antonenko N.V. Alpha-decay fine structures of U isotopes and systematics for isotopes chains of Po and Rn.//Eur. Phys. J. 2012, A**48**, p.112-120).

Klaster radioktivlik, klaster parchalanish – yadrolarning o‘z-o‘zidan α -zarraga nisbatan og‘irroq bo‘lgan yadro fragmentlari (klasterlar) chiqarish hodisasidir. Hozirgi vaqtda asosiy holatdan ^{14}S , ^{20}O , ^{24}Ne , ^{26}Ne , ^{28}Mg , ^{30}Mg , ^{32}Si va ^{34}Si turdagi klasterlar chiqaradigan ^{114}Ba dan ^{241}Am gacha bo‘lgan 25 ta yadro eksperimental aniqlandi.

Klaster parchalanishlar juda katta sonlardagi og‘ir izotoplar uchun kinematik ruxsat etilgan. Ammo ko‘upchilik hollarda bunday jarayonlarning ehtimolliklari juda ham kichik bo‘lib, hozirgi kunda mavjud bo‘lgan eksperimental qurilmalarining imkoniyatlar chegarasida bu hodisalarni kuzatish imkoniyati mavjud emas. Bu potensial to‘siqlarning kengligi yoki balandligi oshishi bilan shaffoflik eksponensial kamayishi bilan bog‘liqdir. Uchib chiqayotgan klaster va ikkilamchi yadro nisbiy harakatining Q energiyasi 28 dan 94 MeV gacha o‘zgaradi va u hamma holda V_B potensial to‘siqning balandligidan sezirali darajada kichik bo‘ladi. Shunday qilib, klaster parchalanish ham alfa-parchalanish kabi klassik fizikadagi potensial to‘siq orqali zarraning o‘tishi taqiqlangan, tunel effekti sababli sodir bo‘lar ekan. Klaster parchalanishni, ba’zi bir ma’nodan yadroning alfa-parchalanish va spontan bo‘linishi orasidagi oraliq jarayon sifatida ham qarash mumkin. Klaster radioaktivlik, 1984-yilda Oksford universiteti taqiqotchilari tomonidan kashf etilgan. Ular milliard (10^9) alfa-parchalanishga o‘rtacha bir marta to‘g‘ri keladigan radiy ^{223}Ra yadrosidan uglerod ^{14}C yadrosi chiqishini qayd qilganlar[1].

Klaster parchalanishlar va ularning birlamchi yadro asosiy parchalanish modiga (turiga) nisbatan parchalanish ehtimolliklari 1.1-jadvalda keltirilgan [1-4]. Og‘ir yadrolar sohasida asosiy parchalanish modi (yoki turi) bu alfa-parchalanish hisoblanadi. Shu sababli, bu jadvalda tajribada kuzatiladigan klaster parchalanishlar alfa-parchalanishga nisbat keltirilgan. Bu jadvalda birlamchi yadro, uchib chiqayotgan klasterlar, parchalanish energiyasi Q , klaster chiqish ehtimolligining alfa-zarra chiqish ehtimolligiga nisbati λ_s/λ_α , klaster nisbiy chiqishning yarim parchalanish davrlari keltirilgan. Bu jadvalni tahlili shuni ko‘rsatadiki, ba’zi bir yadrolarda neytronlarning katta miqdorda oshiqcha bo‘lishi neytronga boy bo‘lgan yengil nuklidlarning emissiyasiga (chiqishiga) imkon beradi

Tajribalardan ^{14}C yadro uchib chiqish ehtimolligi, α -zarra chiqish ehtimolligiga nisbatan deyarlik 10 tartibga kichik ekanligi aniqlandi. Atom yadrsidan uchib chiqqan ^{14}C yadrosi, yarim o'tkazgichli detektorlarning ΔE -E teleskopida qayd qilingan. ^{14}C yadro uchib chiqish ehtimolligi, α -zarra chiqish ehtimolligiga nisbatan quyidagiga teng ekanligi aniqlanildi: $\lambda_C/\lambda_\alpha = (8.5 \pm 2.5) \cdot 10^{-10}$.

Klaster parchalanishlar va ularning birlamchi yadro asosiy parchalanishga nisbatan ehtimolligi [1-4].

4.1-jadval

Birlamchi yadro	Uchib chiqayotgan klasterlar	Q, MeV	λ_C/λ_α	$T_{1/2}$, yil
^{114}Ba	^{12}C	-	$\sim 3,0 \cdot 10^{-5}$	-
^{221}Fr	^{14}C	31.28	$8,14 \cdot 10^{-13}$	$> 2 \cdot 10^8$
^{221}Ra	^{14}C	32.39	$< 1,2 \cdot 10^{-13}$	$> 7,4 \cdot 10^6$
^{222}Ra	^{14}C	33.05	$(3.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-10}$ $(3.1 \pm 1.0) \cdot 10^{-10}$ $3,07 \cdot 10^{-10}$	
^{223}Ra	^{14}C	31.85	$8,5 \cdot 10^{-10}$ $(8.5 \pm 2.5) \cdot 10^{-10}$ $(7.6 \pm 3.0) \cdot 10^{-10}$ $(5.5 \pm 2.0) \cdot 10^{-10}$ $(4.7 \pm 1.3) \cdot 10^{-10}$ $(6.1 \pm 1.0) \cdot 10^{-10}$	
^{224}Ra	^{14}C	30.54	$6,1 \cdot 10^{-10}$ $(4.3 \pm 1.2) \cdot 10^{-11}$	$(2.3 \pm 0.6) \cdot 10^8$
^{226}Ra	^{14}C	28.21	$2,9 \cdot 10^{-11}$ $(3.2 \pm 1.6) \cdot 10^{-11}$ $(2.9 \pm 1.0) \cdot 10^{-11}$	
^{225}Ac	^{14}C	30,47	$6 \cdot 10^{-12}$ $< 4 \cdot 10^{-13}$	$> 7 \cdot 10^{10}$
^{228}Th	^{20}O Ne	-	$1 \cdot 10^{-13}$?	-
^{230}Th	^{24}Ne	57.78	$5,6 \cdot 10^{-13}$ $(5.6 \pm 1.0) \cdot 10^{-13}$	$(1.3 \pm 0.3) \cdot 10^{17}$

4.1-jadvalning davomi

^{231}Pa	^{23}F	51,84	$<4 \cdot 10^{-14}$ $9,97 \cdot 10^{-15}$ $1,34 \cdot 10^{-11}$	$>8 \cdot 10^{17}$
	^{24}Ne	-		
^{232}U	^{24}Ne	62.31	$(2.0 \pm 0.5) \cdot 10^{-12}$ $2 \cdot 10^{-12}$ $1,18 \cdot 10^{-13}$	$(3.4 \pm 0.8) \cdot 10^{13}$
	^{28}Mg			
^{233}U	^{24}Ne	60.50	$(7.5 \pm 2.5) \cdot 10^{-13}$	
	^{25}Ne	60.85	$(5.3 \pm 2.3) \cdot 10^{-13}$	
	^{28}Mg		$1,3 \cdot 10^{-15}$	
^{234}U	^{28}Mg	74.13	$1 \cdot 10^{-13}$ $(1.4 \pm 0.2) \cdot 10^{-13}$	
	^{24}Ne	58.84	$9 \cdot 10^{-14}$	
	^{26}Ne	59.47	$<4 \cdot 10^{-12}$	
^{235}U	^{24}Ne			
	^{25}Ne	55.96	$8 \cdot 10^{-12}$	$>9 \cdot 10^{20}$
	^{28}Mg	56.75	$<5 \cdot 10^{-12}$	
	^{29}Mg	72.20	$1,8 \cdot 10^{-12}$	
^{236}U	^{24}Ne		$9 \cdot 10^{-12}$	$>1.4 \cdot 10^{20}$
	^{26}Ne	57.36		
	^{28}Mg	58.11	$2 \cdot 10^{-13}$	
	^{30}Mg	72.20		
^{236}Pu	^{28}Mg	79.67	$2 \cdot 10^{-14}$	$\sim 1.5 \cdot 10^{14}$
^{238}Pu	^{32}Si	91.21	$1,38 \cdot 10^{-16}$	$\sim 6.5 \cdot 10^{17}$
	^{28}Mg	75.93	$5,62 \cdot 10^{-17}$	$\sim 1.5 \cdot 10^{18}$
	^{30}Mg	77.03		
^{240}Pu	^{34}Si	90.95	$<1.3 \cdot 10^{-13}$ $6 \cdot 10^{-15}$	$>5 \cdot 10^{16}$
^{237}Np	^{30}Mg	75.02	$1,8 \cdot 10^{-14}$	$>5 \cdot 10^{19}$
^{241}Am	^{34}Si	93.84	$2,6 \cdot 10^{-13}$	$>9 \cdot 10^{16}$
^{242}Cm	^{34}Si	-	$1 \cdot 10^{-16}$	-

Klaster radioaktivlik kashf etilishiga olib keluvchi hal qiluvchi omil bu radioaktiv parchalanuvchi izotopni tanlash bo'ldi. Energiya bo'yicha maksimal ustunlikka ega bo'ladi, agar klaster parchalanish

natijasida ikki marta sehli ^{208}Pb izotopiga yaqin izotop hosil bo'lsa. Bunda klasterning potensial to'siqdan o'tish ehtimolligi oshadi, bu esa ma'lum bir klasterning hosil bo'lishi bilan bog'liq bo'lgan parchalanish ehtimolligini oshiradi. Tez orada ^{14}C yadroning spontan uchib chiqishi ^{221}Fr , ^{221}Ra , ^{222}Ra izotoplarda ayon bo'ldi. Hozirgi vaqtda klaster radioaktivlik aniqlangan 10 dan ortiq izotoplar ma'lumdir. ^{14}C yadro chiqishi bilan bir qatorda ^{24}Ne , ^{26}Ne , ^{28}Mg , ^{32}Si izotoplar chiqishilari ham kuzatiladi.

Og'ir klasterning chiqish ehtimolligining α -zarra chiqish ehtimolligiga nisbati $\sim 10^{-10}$ – 10^{-13} intervalda joylashgan. Ammo ayrim hollarda, masalan $^{28,30}\text{Mg}$ izotoplarning chiqish ehtimolliklari 10^{-17} gacha yetib borishi mumkin.

V BOB

YADRO REAKSIYALARI

5.1-§. Yadro reaksiyalarining asosiy tushunchalari va ta'riflari

Yuqori energiyali mikrozarralar yoki yengil yadrolarning yadro bilan o'zaro ta'sirlashishi natijasida yadro ichki holatining o'zgarishi yoki yangi yadro hosil bo'lish jarayoniga yadro reaksiyasi deyiladi. Yadro bilan o'zaro ta'sirlashayotgan mikrozarralar turiga qarab yadro reaksiyalari bir qancha turlarga bo'linadi: (n,γ) , (n,p) (γ,n) (p,n) , (α,n) h.k.

Yadro reaksiyalarining eng ko'p tarqargani bu yengil a zarra bilan B yadro orasidagi o'zaro ta'sirlashishi natijasida zarra va yadro hosil bo'lishidir, ya'ni

$$a + A \rightarrow B + b, \quad (5.1)$$

yoki qisqacha

$$A(a,b)B \quad (5.2)$$

Zarralar sifatida neytron (n), proton (p), α -zarra, deytон (d) va γ -kvant olish mumkin.

Yadro reaksiyalarini xarakterlash uchun quyidagi kattaliklar qo'llaniladi: yadro reaksiya chiqishi (Y) va kesimi (σ), reaksiya energiyasi (Q), ostonaga energiyasi (E_{th}) va reaksiya natijasida hosil bo'lgan zarralarning energetik va burchak taqsimotlari.

Reaksiya energiyasi Q harfi bilan belgilanadi va $YE_{01}-YE_{02}$ ayirmaga son jihatdan teng, ya'ni:

$$Q = E_{01} - E_{02} = T_2 - T_1 \quad (5.3)$$

Bu yerda $YE_{01}-YE_{02}$ - zarralar tinchlikdagi energiyasi, T_1 va T_2 esa kinetik energiyasi. Bu kattaliklarni $A(a,v)$ V reaksiya uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$E_{01} = M_a c^2 + m_a c^2 \quad (5.4)$$

$$E_{02} = M_b c^2 + m_b c^2 \quad (5.5)$$

$$T_1 = T_A + T_a \quad (5.6)$$

$$T_2 = T_B + T_b \quad (5.7)$$

Agar $Q > 0$ bo'lsa, yadro reaksiyasida energiya ajraladi va ekzoenergetik reaksiya deyiladi. Agar $Q < 0$ bo'lsa, yadro reaksiyasida energiya yutiladi va endoenergetik reaksiya deyiladi.

5.2-§. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari

Yadro reaksiyalarida quyidagi saqlanish qonunlari bajariladi:

1. Elektr zaryadi saqlanish qonuni.
2. Massa soni yoki barion zaryadinig saqlanish qonuni.
3. Energiya saqlanish qonuni.
4. Impuls saqlanish qonuni.

Barion va elektr zaryadlarining saqlanish qonunlari.

Yadro reaksiyasiga kiruvchilarning to'la elektr zaryadi, reaksiya mahsulotlarining to'la elektr zaryadiga teng. Bu elektr zaryadining saqlanish qonuni deyiladi. Xuddi shunday reaksiyasiga kiruvchi nuklonlarning to'la soni (massa soni), reaksiya mahsulotlarining to'la soniga (massa soniga) teng bo'ladi. Bu massa sonining (barion zaryadning) saqlanish qonuni deyiladi.

Yadro reaksiyalarida harakat miqdor momenti (impuls momenti) saqlanish qonuni

Yadro reaksiyalarida to'liq harakat miqdori momenti (impuls momenti) saqlanadi. $a + A \rightarrow b + B$ yadro reaksiyasi uchun uni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\vec{J}_i = \vec{J}_f$$

Bu yerda, $\vec{J}_i, \vec{J}_f$ – boshlang'ich va oxirgi holatlardagi to'liq harakat miqdor momenti bo'lib, u quyidagiga teng:

$$\vec{J}_i = \vec{J}_A + \vec{J}_a + \vec{L}_a \quad \text{va} \quad \vec{J}_f = \vec{J}_B + \vec{J}_b + \vec{L}_b$$

bu yerda, $\vec{J}_A, \vec{J}_a, \vec{J}_B, \vec{J}_b$ – a, A, b, B zarralar (yadrolar) spini, $\vec{L}_a$ – a zarraning A ga nisbatan orbital momenti, $\vec{L}_b$ – b zarraning B ga nisbatan orbital momenti. Yadro spini $\vec{J}$ – bu spin va orbital momentlarning vektor yig'indisi bo'lgani uchun:

$$\vec{J} = \vec{s}_1 + \vec{l}_1 + \vec{s}_2 + \vec{l}_2 + \dots + \vec{s}_A + \vec{l}_A$$

bu yerda, s_i – yadroni tashkil etgan nuklonlar spinlari, $\bar{l}$ – ularning orbitalmomentlari.

Orbital momentlar faqat butun qiymatlar qabul qiladilar. $l = 0$ uchun zarra nisbiy harakatini ifodalovchi to'liq funksiyasi sferik-simmetrik, $l \neq 0$ uchun bu funksiya sochilish burchagiga bog'liq bo'ladi.

$\bar{j}$ vektor uchun bir vaqtda $|\bar{j}|^2 = J(J + 1)$ modulining kvadrati va ixtiyoriy o'qdag J_z proyeksiyasi aniq bo'ladi. J_z proyeksiya J dan $-J$ gacha bo'lgan diapozondagi har xil qiymatlarni qabul qiladi. Ikki kvant vetorning $\bar{j}_1 + \bar{j}_2$ yig'indisi quyidagi qiymatlarni qabul qiladi:

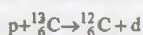
$$|J_1 - J_2|, |J_1 - J_2 + 1|, \dots, J_1 + J_2 - 1, J_1 + J_2.$$

Harakat miqdori momentining saqlanish qonunining yadro reaksiyalarga qo'llanilishi yadro reaksiyasining yuz berish ma'lum bir tanlash qoidalarini bo'ysunishini ko'rsatadi. Masalan, yadro momentlari nolga teng bo'lgan holatlar orasida o'tish yuz berganda gamma-nurlanishlar chiqarish jarayoni mumkin emas. Sababi – gamma-kvant butun qiymatli moment olib ketadi. Yadro reaksiyalarda harakat miqdori momentining saqlanish qonuni o'zini qanday namoyon qiladi.

1-masala. Agar protonning orbital momenti nolga teng bo'lsa, (p,d) uzib olish reaksiyasidagi deytronning orbital momentini qabul qiladigan qiymatlari aniqlansin.

Yechish:

Uzib olish reaksiyasi



Ushbu reaksiya uchun harakat miqdorining saqlanish qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

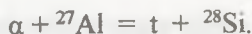
$$\frac{\bar{l}}{2} + \frac{\bar{l}}{2} = 0 + \bar{l} + \bar{l}_d \Rightarrow \bar{l}_d = 0, 1, 2$$

Shunday qilib, deytronning orbital momentining qabul qiladigan qiymatlari mos holda qo'yidagilar: 0, 1 va 2.

2-masala. Agar uchib kelayotgan α -zarraning orbital momentil₀ = 0 ga teng bo'lsa, ${}^{27}_{13}\text{Al}(\alpha, t){}^{28}_{14}\text{Si}$ reaksiyada hosil bo'ladigan tritiyning l_t orbital momenti aniqlansin.

Yechish:

Mazkur reaksiya quyidagi ko'rinishga ega:



Yadro spinlarining qiymatlari:

$$J_{\text{Al}}=5/2, \quad s_t=1/2, \quad J_{\text{Si}}=0.$$

Kirish kanali uchun harakat miqdor momentini yozamiz:

$$\bar{J}_i = \bar{s}_\alpha + \bar{J}_{\text{Al}} + \bar{l}_\alpha = 5/2$$

Harakat miqdori saqlanish qonunidan quyidagi kelib chiqadi:

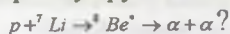
$$\bar{J}_i = \bar{J}_f = \bar{s}_t + \bar{J}_{\text{Si}} + \bar{l}_t$$

Bu yerdan, momentlar qo'shish qoidasiga asosan tritiiy orbital momentining qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarini olamiz:

$$l_t = \frac{5}{2} + \frac{\bar{l}}{2} = 3, 2.$$

Shunday qilib, mazkur reaksiyada tritiiy orbital momenti qabul qilishi mumkin qiymatlar mos holda quyidagiga teng: 3 i 2.

3-masala. Protonning orbital harakat miqdori momentlarini qanday qiymatlari uchun quyidagi reaksiya yuz berishi mumkin?



Yechish: $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha$ reaksiyada qatnashayotgan zarralarning spinlarini yozib chiqamiz: $J^p: 1/2^+ \quad 3/2^- \quad 0^+ \quad 0^+$

Reaksiyadan keyingi, ya'ni oxirgi holatdagi juftlik:

$$P_f = P_p P_\alpha (-1)^{l_p} = (-1)^{l_p}$$

Ikkita bir xil bozonni (α -zarra) to'liq funksiyasi fazoviy aks ettirilganda o'zgarmaydi, ya'ni to'liq funksiya bozonlarni o'rni almashtirishga nisbatan simmetrik bo'lishi kerak. Shunga ko'ra, l_α -juft son. Oxirgi holatda sistemaning to'la momenti $J_f = l_\alpha$ va mos ravishda faqat juft sonlarni qabul qiladi. Demak, oraliq yadro ${}^8\text{Be}$ ikkita alfa zarraga parchalanishi uchun uning holati musbat juftlikka va spini juft qiymatga ega bo'lishi kerak. Boshlang'ich holatdagi juftlik ham musbat bo'lishi kerak.

$$P_{\text{Be}} = (+1) = P_p = P_\alpha (-1)^{l_p} = (+1)(-1)(-1)^{l_p}$$

Shunday qilib, juftlikni saqlanish qonuni bajarilishi uchun, uchib kelayotgan protonning orbital momenti toq qiymatlarni qabul qilishi kerak $l_p = 1, 3, \dots$

4-masala. Agar neytronning orbital momenti $l_n = 0$ bo'lsa, ${}^{15}\text{N}(n, d){}^{14}\text{C}$ reaksiya natijasida hosil bo'lgan deytronning l_d orbital momenti aniqlansin.

Yechish:

Boshlang'ich holatda

$$J_i = J_N + \bar{\epsilon}_n + \bar{l}_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 0 = 0,1$$

$$P_i = P_n P_n (-1)^{l_n} = (+1)(-1)(-1)^0 = -1$$

Oxirgi holatda

$$J_f = J_C + \bar{\epsilon}_d + \bar{l}_d = 0 + 1 + 1,1$$

$$P_f = -1 = P_C P_d (-1)^{l_d} = (+1)(+1)(-1)^1 = (-1)^1$$

Momentlar saqlanish qonunidan deytron orbital momentining qabul qiladigan qiymatlari $l_d = 0, 1, 2$ ekanligi kelib chiqadi.

5.3-§. Yadroviy reaksiyalarining kesimi va chiqishi

Yadro reaksiya kesimi – ikkita o'zaro ta'sirlashauchi zarralar tizimining ma'lum bir oxirgi holatga o'tish ehtimolligini bildiruvchi kattalik hisoblanadi. Oddiy holda bu kattalik reaksiya yuz berish ehtimolligidir.

Yadro o'zaro ta'sir ehtimolligini, zarralar oqimining dastasi yo'lida joylashgan yadroning effektiv yuzasi orqali aniqlash qabul qilingan. Dasta o'qiga perpendikular joylashgan nishonning birlik yuzasiga kelib tushayotgan zarralar sonini N_0 orqali belgilaymiz. Ushbu yuzada n ta yadro bo'lsin. U holda o'zaro ta'sirlar soni quyidagi munosiba bilan aniqlaniladi:

$$N = N_0 \sigma n$$

bu yerda, σ – reaksiya to'liq kesimi. Kesim kattaligi, yadro geometrik yuzasidan bir necha tartibga farq qiladi.

$$n = \frac{\rho d N_A}{A} \quad (5.8)$$

bu yerda, ρ – nishon moddasining zichligi, d – nishon qalindligi, N_A – Avogadro soni, A – massa soni.

Turli chiqish kanallardagi reaksiyalar (masalan (p,n), (p,d) va h.k.) kesimlari parsial kesimlar deyiladi. To'liq kesim, ma'lum bir energiyada yuz berishi mumkin bo'lgan parsial reaksiyalar kesimlarining yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\sigma = \sum \sigma_i$$

bu yerda, σ_i – parsial kesim.

Kesim o'lchov birligi qilib barn qabul qilingan bo'lib, $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ sm}^2$ ga teng.

Qo'yilgan masalaga va tajriba sharoitlariga qarab, integral, deferensial va ikki marta differensial kesimlar tushunchalari qo'llaniladi.

$a + A \rightarrow b + B$ reaksiya integral kesimi deb quyidagi kattalikka aytiladi:

$$\sigma_{ab} = \frac{dN_b}{nN_0}$$

bu yerda, n – birlik yuzadagi nishon zarralar soni, N_0 – nishonga kelib tushgan a zarralar soni, dN_b – reaksiya mahsuli bo'lgan b zarralar soni.

$a + A \rightarrow b + B$ reaksiya differensial kesimi deb quyidagi kattalikka aytiladi:

$$\frac{d\sigma_{ab}}{d\varepsilon_b} = \frac{1}{nN_0} \frac{dN_b}{d\varepsilon_b},$$

bu yerda, n – birlik yuzadagi nishon zarralar soni, N_0 – nishonga kelib tushgan a zarralar soni, $dN_b/d\varepsilon_b$ – energiyasi ε_b – $(\varepsilon_b + d\varepsilon_b)$ diapazondagi, reaksiya mahsuli bo'lgan b zarralar soni.

$a + A \rightarrow b + B$ reaksiya ikki marta diferensial kesimi deb quyidagi kattalikka aytiladi:

$$\frac{d^2\sigma_{ab}}{d\Omega d\varepsilon_b} = \frac{1}{nN_0} \frac{dN_b}{d\Omega d\varepsilon_b},$$

bu yerda, n – birlik yuzadagi nishon zarralar soni, N_0 – nishonga kelib tushgan a zarralar soni, $dN_b/d\Omega d\varepsilon_b$ – energiyasi ε_b – $(\varepsilon_b + d\varepsilon_b)$ diapazondagi va θ qutb va φ azimutal burchaklar bilan xarakterlanuvchi $d\Omega$ fazoviy burchak ichiga uchib kirgan reaksiya mahsuli bo'lgan b zarralar soni.

5.4-§. Yadro reaksiyalarning yuz berish mexanizm

Yadro reaksiyalarning yuz berish jarayoni asosan ikki xil mexanizm orqali tushuntiriladi ya'ni oraliq (kompaund) yadro mexanizimi va bevosta o'zaro ta'sir mexanizmlari.

Oraliq yadro mexanizmi. 1936-yilda Nils Bor tomonidan taklif etilgan oraliq yadro mexanizmiga binoan yadro reaksiyalari ikki bosqichda yuz beradi.

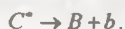


V. Geyzenberg va N. Bor.

Birinchi bosqichda yuqori energiyali gamma-kvantlar yadroga yutiladi va uyg'ongan holatdagi oraliq S^* yadro hosil bo'ladi:

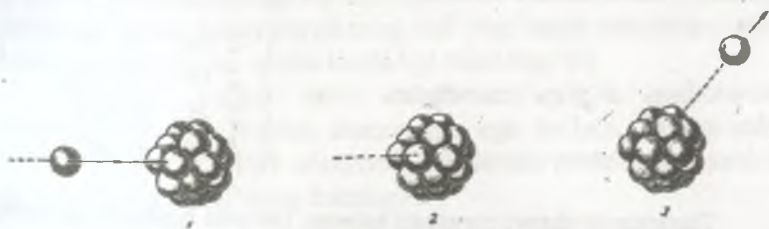
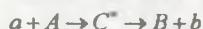


Ikkinchi bosqichda oraliq yadro quyidagi sxema bo'yicha parchalanadi:



b zarracha neytron, proton, deytron va boshqa zarralar bo'lishi mumkin.

Yadro reaksiyasining yuz berish jarayonini quyidagi ko'rinishda yozish:



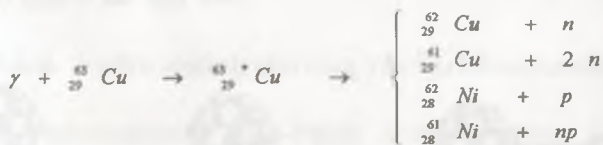
5.1-rasm. Oraliq yadro mexanizmining yuz berish bosqichlari.

Yadroga yutilgan α -zarra energiyasi nuklonlar orasida juda tez taqsimlaniladi. Natijada α -zarra olib kirgan energiyaning qiymati yadrodagi nuklonlarning bog'lanish energiyasidan katta bo'lishiga qaramasdan, nuklonlardan bittasi ham yadrodan chiqib ketish uchun zarur bo'lgan energiyaga ega bo'lmaydi. Shu sababli o'yg'ongan C^* oraliq yadro kvazistatsionar sistema kabi yadro vaqtiga ($\sim 10^{-22}$ s) nisbatan uzoq vaqt ($\sim 10^{-14}$ s) yashaydi. Yadro vaqti deb tez neytronning (~ 10 MeV) yadro radiusiga teng bo'lgan masofani bosib o'tish uchun kerak bo'lgan vaqtga aytiladi, ya'ni

$$\Delta t = \frac{R_M}{v_n} \approx \frac{1,4 \cdot 10^{-12} \text{ cm}}{4 \cdot 10^9 \text{ cm/c}} \approx 10^{-22} \text{ c.}$$

Oraliq yadro yashash vaqti davomida ($\sim 10^{-14}$ s) yadro juda ko'p marta energiya taqsimoti yuz beradi. Binobarin, oraliq yadro hosil bo'lishi va uning parchalanishi bir-biriga bog'liq bo'lmagan yadro reaksiyasining ikkita bosqichidan iborat. Bunda yadro qanday hosil bo'lganini "esdan" chiqaradi va uning parchalanishi hosil bo'lish usuliga bog'liq emas.

Oraliq yadroning u yoki bu parchalanish turi uyg'onish energiyasiga, harakat miqdori momentiga va boshqa oraliq yadroni tavsiflovchi parametrlarga bog'liq bo'lib, oraliq yadro qanday yo'llar bilan vujudga kelganiga bog'liq emas. Shuning uchun yadro reaksiyasining ikkinchi bosqichi oraliq yadro har xil ko'rinishda parchalanishi mumkin. Masalan:



Zamonaviy dunyoqarashga asosan, jarayon boshida yadrodagi nuklonlar orasida taqsimlangan oraliq yadroning uyg'onish energiyasi, ko'p sonli qayta taqsimlanishlardan keyin statistik qonunga asosan birorta zarraga yig'ilib qolishi mumkin. Ortiqcha energiya olgan ushbu zarracha oraliq yadrodan chiqib ketishi

mumkin. Reaksiyaning ikkinchi bosqich (etap) $C^* \rightarrow B + b$, α -parchalanishni eslatadi. Farqi, ushbu holda kuchli uyg'ongan S^* yadro parchalanadi.

Bevosita reaksiya mexanizmi. Fotoprotonlar, ya'ni (γ, p) fotoyadro reaksiyasi natijasida hosil bo'ladigan protonlarning energetik va burchak taqsimotlarini o'rganish, ushbu reaksiyalar ikkita mexanizm bo'yicha yuz berishi, ya'ni oraliq yadro mexanizmi va bevosita yadro reaksiyasi mexanizmlari mavjudligini ko'rsatdi.. Ayrim hollarda birinchisini bug'lanish mexanizmi, ikkinchisi esa fotoeffek mexanizmi ham deyiladi. Bevosita reaksiya(fotoeffekt) mexanizmida γ -kvantlar energiyasining asosiy qismini "sirtida" joylashgan protonga beradi va ushbu proton, γ -kvantlar olib kelgan energiya nuklonlar orasida taqsimlanmasdan oldin yadrodan uchib chiqib ketadi. Mazkur protonning maksimal energiyasi quyidagiga teng.

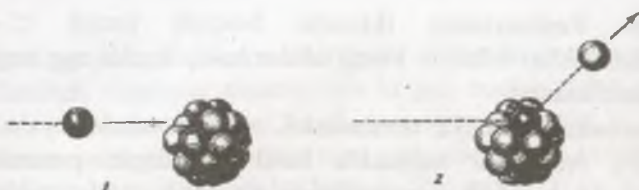
$$(T_p)_{\max} = E_\gamma - \varepsilon_p,$$

Bu yerda ε_p — protonning bog'lanish energiyasi.

Shunday bevosita ajralib chiqqan protonlar yordamida (γ, p) fotoyadro reaksiyasi chiqishining oraliq yadro mexanizmida kutilayotgan chiqishiga nisbatan oshishini va uchib chiqayotgan protonlarning burchak taqsimotidagi anizotropiyani ham tushuntirish mumkin.

Protonlarni bevosita "uzib" olish γ -kvantlar yutilish kesimining faqat ma'lum bir qismiga javob beradi. Ammo (γ, p) reaksiya uchun u muhim ahamiyatga ega bo'lishi mumkin. Bunda sirtida joylashgan protonlar uchun kulon baryerining roli bug'lanish protonlari uchun kulon baryeri roldan ancha kichikligi bilan bog'liq.

Bevosita o'zaro ta'sir mexanizmi og'ir yadrolardagi reaksiyalarda o'ta muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Bunga sabab ushbu yadrolarda kichik energiyali bug'lanish protonlarga qarshilik qiluchi Kulon to'sig'ining kattaligidir.



5.2-rasm. Bevosita o'zaro ta'sir mexanizmi yuz berish bosqichlari.

5.5-§. Fotoyadro reaksiyalar

Fotoyadro reaksiyasi deb yuqori energiyali gamma-kvantlarning yadro bilan o'zaro ta'sirlashuvi natijasida yadrodan proton, neytron, deytron va boshqa zarralarning chiqib ketish jarayonlariga aytiladi. Fotoyadro reaksiyasini yadro fotoeffekti deb ham aytiladi. Fotoyadro reaksiyasini umumiy ko'rinishda quyidagi yozish mumkin

$$\gamma + A \rightarrow B + b \quad (5.9)$$

yoki qisqacha

$$A(\gamma, b)B \quad (5.10)$$

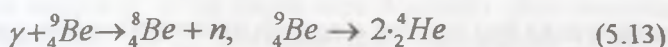
Yadrodan chiqayotgan zarralar naviga qarab fotoyadro reaksiyalari quyidagi turlarga bo'linadi: (γ, n) , (γ, p) , (γ, np) , $(\gamma, 2n)$, (γ, d) , (γ, α) va h.k. Hozirgi kunda eng yaxshi o'rganilgan reaksiyalar: (γ, n) va (γ, p) . Bu reaksiyalar endotermik bo'lgani uchun ushbu reaksiya yuz berish uchun, γ -kvantlarning energiyasi ushbu zarrani yadrodan ajratish uchun zarur bo'lgan energiyadan katta bo'lishi kerak, ya'ni

$$E_\gamma > \varepsilon_n(\varepsilon_p, \varepsilon_\alpha) \quad (5.11)$$

Yadro fotoeffekti birinchi marta 1934-yilda Chadvik va Goldxaberlar tomonidan deytronni fotoparchalanish misolida kuzatilgan:

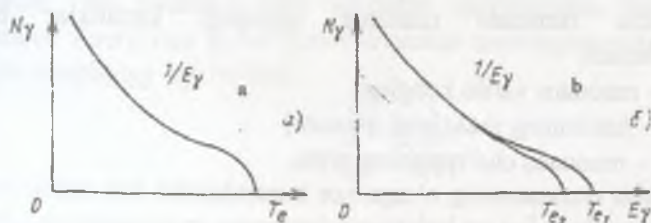
$$\gamma + {}^2_1H \rightarrow n + p, \quad E_\gamma({}^2_1H) = 2,22 \text{ MeV} \quad (5.12)$$

Tajribada ${}^{208}_{81}Tl$ radionuklididan chiqayotgan energiyasi $E_\gamma = 2,62$ MeV ga teng bo'lgan gamma-kvantlardan foydalanilgan. Keyinchalik tabiiy radioaktiv elementlar gamma-kvantlari ta'sirida bo'ladigan yana bir fotoyadro reaksiyasi kuzatildi.



Ushbu reaksiya bilan tabiiy radioaktiv elementlarning gamma-kvantlari ta'sirida yuz beradigan fotoyadro reaksiyalarning ro'y-xati cheklanadi. Boshqa hamma yadrolarda nuklonning ajralish energiyasi radioaktiv yadrolar chiqarayotgan gamma-kvantlarining energiyasidan katta bo'lganligi sababli fotoyadro reaksiyasi yuz bermaydi.

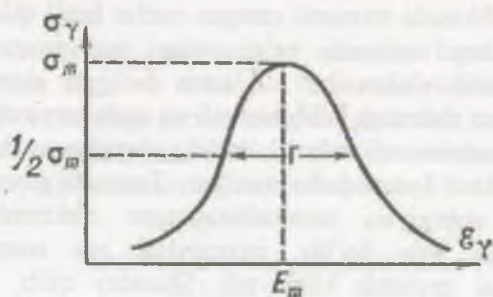
Yuqori energiyali gamma-kvantlarni olish imkoniyati faqat yuqori energiyali elektron tezlatgichlarni yaratgandan keyingina paydo bo'ldi. Elektron tezlatgichlarda (betatron, mikrotron va chiziqli elektron tezlatgich) yuqori energiyali gamma-kvantlarni rentgen trubkasida tormozli rentgen nurlar hosil qilishiga o'xshash vaziyatda hosil qilinadi, ya'ni yuqori energiyagacha tezlatilgan monoxromatik elektronlar Z katta bo'lgan elemendan (W, Pb) tayyorlangan nishonga kelib tushadi va unda tormozlanadi. Natijada tormozli gamma-nurlar hosil bo'lib, ularning spektri uzluksizdir. Ushbu spektr 5.3-rasmda ko'rsatilgan. Tormozli gamma-nurlanishlar maksimal energiyasi tormozlanayotgan elektronlarning kinetik energiyasiga teng bo'lib, intensivligi esa energiyaga teskari proporsional ravishda kamayadi. Shunday qilib, elektronlarning tormozlanishi natijasida berilgan maksimal energiyali uzluksiz gamma-kvantlar spektrini olish mumkin ekan.



5.3-rasm. Tormozli nurlar spektri: a-energiyasi T_e bo'lgan elektronlar hosil qilgan spektr; b-energiyalari T_{e1} va T_{e2} bo'lgan elektronlar hosil qilgan spektrlar.

Gamma nurlanishlar energiyasini o'zgartirish imkoniyati paydo bo'lgandan keyin (γ, n) va (γ, p) reaksiyalar kesimlarining γ -kvantlar

energiyasiga bog'lanishni o'rganish imkoniyatlari ham paydo bo'ldi. Ko'pchilik hollarda reaksiya kesimining zarralar energiyasiga bog'lanish grafigini $\sigma=f(E)$ uyg'onish funksiyasi ham deyiladi. Ushbu bog'lanishlarni o'rganishlar natijasida juda qiziq hodisa aniqlandi, ya'ni $\sigma(\gamma, n)$ va $\sigma(\gamma, p)$ kattaliklar ostona energiyasidan boshlab sekin osha boshlaydi va $E_\gamma=10$ MeV energiyalarda bor-yo'g'i 1 mb qiymatga erishadi, ammo $E_\gamma \approx 15 \div 25$ MeV energiyalarda ko'pchilik o'rganilayotgan yadrolar uchun umumiy, o'ziga xos bo'lgan rezonans manzara kuzatiladi (5.4-rasm).



5.4-rasm. Gigant rezonansi.

Ushbu rezonans manzara quyidagi kattaliklar bilan xarakterlanadi:

G – rezonans yarim kengligi;

σ_m – kesimning maksimal qiymati;

E_m – rezonans cho'qqisining o'qi.

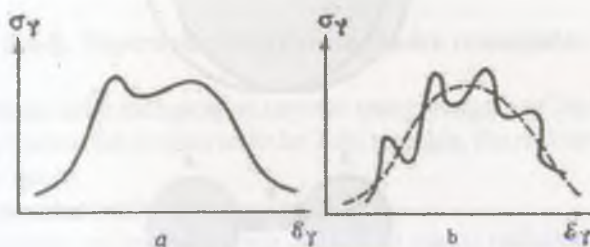
Ushbu rezonansning o'ziga xos tomonlaridan biri uning yarim kengligining kattaligi va holatining (rezonans energiyasining) massa soniga A ga quyidagicha bog'liqligidir:

$$E_m = k \cdot A^{-1/2} \text{ MeV}$$

Ko'pchilik yadrolar uchun rezonans kengligi 4–10 MeV ni tashkil qiladi. Katta qiymat qabul qilgan uchun “gigant” rezonansi deyiladi. Ushbu rezonansning to'liq nomi – gigant dipol rezonansi deyiladi.

Gigant rezonansi o'z mi massa soni A oshishi bilan monoton ravishda kamayadi. 20–25 MeVdan(yengil yadrolarda) 13 MeV gacha (og'ir yadrolarda).

Keyingi kuzatishlar shuni ko'rsatdiki, gigant rezonanslar sohasida yutilish egri chiziqi monoton bo'lmasdan, balki ma'lum bir strukturaga ega ekan. Gigant dipol rezonansining nozik strukturasi 5.5-rasmda keltirilgan



5-rasm. Gigant dipol rezonansining nozik strukturasi:

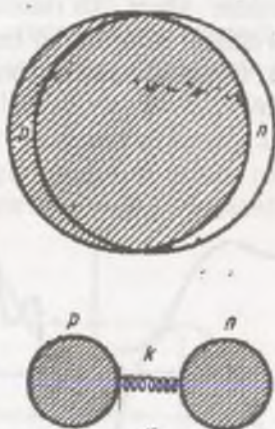
a–deformatsiyalangan yadrolar uchun; b–sferik yadrolar uchun

Gigant dipol rezonansini tushuntirish uchun rus olimi A.B.Migdal va amerikalik olimi Goldxaberlar γ -kvantlar elektromagnit maydoni ta'sirida yadro tebranishlari modelini taklif etganlar. Bu hodisani sifat jihatidan quyidagicha tushuntirish mumkin: Energiyasi E_γ bo'lgan γ -kvantlar quyidagiga teng bo'lgan to'qin uzunligiga ega bo'ladi:

$$\lambda = \frac{hc}{E_\gamma} = \frac{1.2 \cdot 10^{-10}}{E_\gamma},$$

bu yerda λ – sm larda, E_γ – MeV larda, ya'ni $E_\gamma = 10 \div 20$ MeV energiyalar sohasida $\lambda \gg R_Y$. Yadro bilan ta'sirlashayotgan bu elektromagnit to'lqin elektr maydon kuchlanganligi tomonidan barcha protonlarga elektrostatik kuch bilan ta'sir etadi va ularni neytronlarga nisbatan siljishga olib keladi. Proton va neytron orasida tortishuv kuchlari mavjudligi tufayli neytronlarga nisbatan siljigan protonlar muvozanat holatiga tomon qaytadi va yadro mexanik

sistemaning davriy harakatini eslatadigan tebranma harakatga keladi (dipol tebranishlar).



5.6-rasm.

Ishqalanish mavjudligi tufayli tebranishlar asta-sekin so'nadi va tartibli tebranishlar tartibsiz issiqlik harakatiga aylanadi, natijada qo'zg'algan kompaund yadro hosil bo'ladi. Agar tashqi davriy kuchlar chastotasi sistemaning xususiy tebranishlar chastotasiga mos kelsa, tebranishlar amplitudasi keskin oshishi bilan bog'liq bo'lgan rezonans hodisasi kuzatiladi. Bu gigant dipol rezonansdagi kesimning oshishiga mos keladi. Yadro prujina o'rmini proton va neytronlar yadro tortishi kuchlari bajaradi.

Fotoyadro reaksiyalarni o'rganish ham fundamental ham amaliy ahamiyatga egadir.

Fotoyadro reaksiyalari asosan quyidagi yo'nalishlarda qo'llaniladi:

- Yadro strukturasi va xususiyatlarini o'rganishda;
- Radioaktiv izotoplarni olishda;
- Gamma-aktivatsion analizda;
- Tez neytronlar olishda.

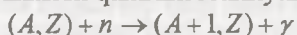
Keyingi uchta yo'nalish fotoyadro reaksiyalarini amaliy (tatbiqiy) qo'llanilishi hisoblanadi. Gamma-aktivatsion analiz, yangi radioaktiv izotoplar olish va ularning fan va texnikada qo'llanilishlarini yadro texnologiyalari deb nomlangan fan o'rganadi. Biz misol sifatida fotoyadro reaksiyalari yordamida olinadigan, miditsina hamda fan va texnikada keng qo'llanilib keayotgan kobalt-57 radioizotopini olish sxemasini keltiramiz:

5.6-§. Neytronlar ishtrokidagi yadro reaksiyalar

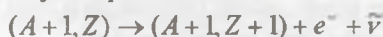
Yadroga kelib tushayotgan neytron energiyasiga bog'liq holda har xil turdagi yadro reaksiyalari sodir bo'lishi mumkin. Bu reaksiyalar bilan tanishib o'tamiz.

Neytronlar radiatsion qamrashi

Neytronlar ta'siri ostida yuz beradigan yadro reaksiyalari ichida eng ko'p tarqalgani bu radiatsion qamrash reaksiyasi, ya'ni (n, γ)



Bu reaksiya natijasida β -radioaktiv $(A+1, Z)$ yadro hosil bo'ladi va u quyidagi sxema bo'yicha parchalanadi:



(n, γ) ko'rinishdagi yadro reaksiyalarida neytron yutilish va undan keyin γ -kvant chiqishi bilan yuz bergani uchun bu reaksiyalarini radiatsion qamrash reaksiyasi deyiladi.

Radiatsion qamrash reaksiyasi katta ehtimollik bilan energiyasi 0 dan 500 keV gacha bo'lgan sekin neytronlar ta'siri ostida yuz beradi. Shuning uchun ham ushbu reaksiya neytronlarni detektirlash uchun keng qo'llaniladi.

(n, γ) -reaksiyaga misol qilib energiyasi 1,46 eV bo'lgan neytronlarning indiy yadrosi tomonidan qamrab olishi jarayonini keltirish mumkin:



Bu jarayon natijasida hosil bo'lgan $^{116}_{49}\text{In}$ radioaktiv izotopi $T_{1/2}=54$ min yarim parchalanish davri bilan parchalanadi:



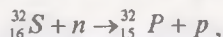
Protonlar hosil bo'lishi bilan yuz beradigan reaksiyalar

Energiyasi $T_n \approx 0,5 \div 10$ MeV bo'lgan neytronlar ta'siri ostida ko'pincha (n, p) turdagi raksiya yuz beradi:



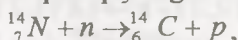
Odatda (n, p) turdagi raksiya energiya yutilishi bilan yuz beradi, ya'ni $Q > 0$ mabodo $Q < 0$ bo'lsa, u holda $|Q| \approx 1$ MeV. Ammo reaksiya natijasida hosil bo'ladigan protonlar Kulon to'siqini yengib yadrodan chiqib ketishi uchun neytronlar yetarlicha katta energiyaga ega bo'lishi lozim.

(n, p) turdagi raksiyaga misol qilib ostonaga ega bo'lgan quyidagi reaksiyani keltirish mumkin:



bu reaksiya energiyasi $Q \approx -0,92$ MeV ga teng.

Hatto issiqlik neytronlari ta'siri ostida yuz beradigan reaksiyalar mavjud bo'lib, bunga misol qilib quyidagini keltirish mumkin:



bu reaksiya energiyasi $Q \approx 0,6$ MeV ga teng bo'lib, u yengil yadrolarda yuz beradi. Bunga sabab, ushbu yadrolarda Kulon to'siqi hosil bo'lgan protonlar uchun uncha katta bo'lmaganidadir.

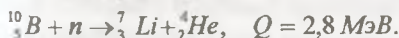
Alfa-zarralar hosil bo'lishi bilan yuz beradigan reaksiyalar

Yadro fizikasida (n, α) turdagi reaksiyalar keng qo'llaniladi:

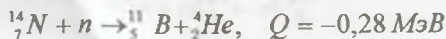


(n, α) turdagi reaksiyalar samarali kechishi uchun energiyalari 0,5 dan 10 MeV energiyali neytronlar zarur bo'ladi. Ammo ayrim hollarda ushbu reaksiya katta ehtimollik bilan sekin neytronlarda ham yuz beradi.

Bunday reaksiyaga misollar:



(n, α) turdagi endoenergetik reaksiyalar misol qilib quyidagi reaksiyani keltirish mumkin:



Bo'linish reaksiyasi

Og'ir yadrolarni (${}_{90}\text{Th}$, ${}_{91}\text{Pa}$, ${}_{92}\text{U}$, transuran elementlar) energisi $T_n > 1$ MeV bo'lgan neytronlar bilan (uranning ayrim izotoplarida va transuran elementlarda hatto issiqlik neytronlarida sodir bo'ladi) og'ir yadrolarni nurlantirilganda o'rtacha massalar nisbati $2/3$ nisbatni qanoatlantiruvchi ikkita yadro bo'lagi hosil bo'ladi:



bu yerda

$$A_1 + A_2 = A + 1; \quad Z_1 + Z_2 = Z,$$

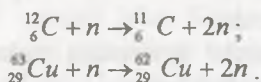
$$\bar{A}_1 : \bar{A}_2 \approx 2 : 3.$$

Bunday turdagi reaksiyalarni bo'linish reaksiyasi deyiladi va (n, f) belgilaniladi.

Bo'linish reaksiyalari yadro energiyasini olishda keng qo'llaniladi.

Ikki va undan ortiq nuklonlar hosil bo'luvchi reaksiyalar

Energiyasi $T_n > 10$ MeV bo'lgan neytronlar ta'siri ostida detektirlash sifatida keng qo'llaniladigan $(n, 2n)$, (n, pn) , $(n, 3n)$ va boshqa turdagi reaksiyalar sodir bo'ladi. Bunday reaksiyalarga quyidagi misollarni keltirish mumkin:



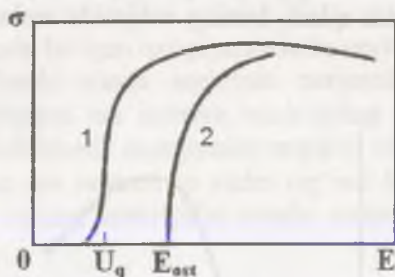
Bu reaksiyalarining ostona energiyalari mos holda 20 va 10 MeV.

$(n, 2n)$ turdagi reaksiyalarning ostona enregiyalari kattaligi, bitta neytronga nisbatan ikkita neytronni yadrodan chiqarish uchun katta energiya sarflashidir. Mazkur turdagi yadro reaksiyalari neytron aktivatsion analizda ham keng qo'llaniladi.

Neytronlarning noelastik sochilishi

Energiyasi bir necha yuz kiloelektronvolt bo'lgan neytronlar yadroga tushgandan keyin uni uyg'ongan holatga o'tkazishi va keyin

kimyoviy element atomlaridagi elektronlar bilan o'zaro ta'siri. Buning natijasida zaryadlangan zarralar o'z energiyasini muhit atomlarini uyg'otishga va ionizatsiya qilishga sarflaydi va energiyasini tez yo'qotadi. Zaryadlangan zarralar manbai sifatida asosan siklotron va chiziqli tezlatgichlar qo'llaniladi. Ushbu qurilmalar yordamida katta energiyali va yuqori intensivlikka ega bo'lgan zarralar oqimini olish mumkin.



5.8-rasm. Ekzotermik va endotermik yadro reaksiyalarining uyg'onish funksiyalari.

Siklotron bu norelyativistik og'ir zaryadlangan zarralarni (protonlar, ionlar) tezlatuvchi siklik tezlatgich bo'lib, bunda zarralar doimiy va bir jinsli magnit maydonda harakatlanadi. Ushbu zarralarni tezlatish uchun esa yuqori chastotali elektr maydon qo'llaniladi. Elektr maydon chastotasi o'zgarmas bo'ladi. Siklotronda protonlar 25 MeV gacha, α -zarralar 50 MeV gacha tezlatiladi.

Hozirgi kunda O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining Yadro fizikasi institutida U-150-II tipdagi siklotron mavjud bo'lib, bu tezlatgichda fundamental yadro fizikasi, radiatsion materialshunoslik, yadroviy radiokimyo, radiobiologiya va tibbiyot sohalarida ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu tezlatgichda protonlar - 8 - 22 MeV, deytronlar 10 - 20 MeV, ionlar - 20 - 40 MeV va alfa-zarralar - 25 - 50 MeV energiya diapazonlarida tezlatiladi. Mazkur tezlatgichda ko'p yillar davomida zaryadlangan zarralar ishtirokidagi aktivatsion analiz ham amalga oshirib kelingan.

VI BOB

YADRO NURLANISHLARNING MODDA BILAN O'ZARO TA'SIRI

Ushbu mavzuning asosiy maqsadi: Zaryadlangan mikrozar-ralar yoki γ -kvantlar oqimi modda orqali o'tganda qanday jarayonlar yuz berishini o'rganishdan iborat.

Mikrozarralarning modda orqali o'tish mexanizimiga qarab, quyidagi uchta guruhga bo'linadi:

- 1) Zaryadlangan og'ir zarralarning modda orqali o'tishi;
- 2) Zaryadlangan yengil zarralarning modda orqali o'tishi;
- 3) γ -kvantlarning modda orqali o'tishi.

Yadro nurlanishlari modda orqali o'tganda asosan elektromagnit o'zaro ta'sir yuz beradi.

Zaryadlangan yengil zarralarga elektron va pozitron kiradi. Zaryadlangan og'ir zarralar guruhiga esa qolgan hamma mikro-zarralar (ion, α -zarra, deytрон, proton va h.k.) kiradi.

6.1-§. Zaryadlangan og'ir zarralarning modda orqali o'tishi

Zaryadlangan og'ir zarralarning modda bilan o'zaro ta'siri quyidagicha:

Zarra modda ichidan o'tganda, u o'z Kulon maydoni bilan atom elektronlarini "turtadi" ("turtki" beradi) yoki "surib" o'tadi. Bu hisobiga zarra o'z energiyasini asta-sekin yo'qotadi. Modda atomlari esa yo ionizatsiyalanadi yo bo'lmasa uyg'ongan holatlarga o'tadilar. Demak, zarra energiyasini modda atomlarini uyg'otishga va ionlashga sarflar ekan. Kulon kuchlarining uzoqdan ta'sir qilish xususiyati hisobiga modda orqali uchib o'tayotgan zarra, juda ko'p miqdordagi elektronlar bilan o'zaro ta'sirlashadi (turtib o'tishga ulguradi). Modda orqali o'tayotgan zarraning massasi elektron massasiga nisbatan katta bo'lganligi sababli, u elektron bilan

to'qnashganda o'z yo'lidan juda kichik miqdorda chetlashadi. Harakat davomida bunday to'qnashishlar juda ko'p bo'lib, bunday xaotik yo'nalishdagi to'qnashishlar bir-birini kompensatsiyalaydi. Shu sababli zaryadlangan og'ir zarralarning moddagi trayektoriyasi deyarlik to'g'ri chiziq bo'ladi.

Zaryadlangan og'ir zarralarning modda orqali o'tishini quyidagi fizik kattaliklar orqali tavsiflaniladi:

- yo'l birligida energiya yo'qotishi yoki solishtirma ionizatsion yo'qotish - $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{ion}$.

- zarraning moddadagi to'liq yugurish yshli - R .

Bizga ma'lumki, zaryadlangan og'ir zarralar modda orqali o'tganda, energiyasini asosan modda atomlarini uyg'otishga va ionlashga sarflaydi. Bu energiya yo'qotish jarayonlarini umumlashtirib, ionizatsion yo'qotish deyiladi. Solishtirma ionizatsion yo'qotishni quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin ($v \ll c$ hol uchun):

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \frac{4\pi n_e Z^2 z^2 e^4}{m_e v^2} \ln \frac{2m_e v^2}{I(Z)} \quad (6.1)$$

bu yerda, n - muhitning 1 sm^3 hajmidagi elektronlar soni yoki konsentratsiyasi;

Z - zarralar o'tayotgan modda (yoki muhit) ning atom nomeri;

$I(Z)$ - muhit atomlarining o'rtacha ionizatsiya potentsiali, ya'ni $13,5 \cdot Z \text{ eV}$

m_e - elektronning tinchlikdagi massasi;

v - zarra tezligi;

ze - zarra zaryadi.

(6.1) formuladagi logarifm ostidagi kasr surati, ya'ni $2m_e c^2$, tezligi $v \ll c$ bo'lgan og'ir zarra tomonidan qo'zg'almas elektronga yuzma-yuz to'qnashganda beriladigan maksimal kinetik energiya, ya'ni

$$\Delta T_{max} = 2m_e c^2 \quad (6.2)$$

(6.1) formula o'rinli bo'ladi, faqat $E \sim I(Z)$ shart bajarilganda. Endi ushbu formuladan kelib chiqadigan xulosalarga to'xtalib o'tamiz. (6.1) formuladan ko'rinadiki, ionizatsion yo'qotish asosan quyidagi kattaliklarga bog'liq bo'ladi:

- zarra tezligiga;

- zarra massasiga;
- hajmidagi elektronlar soni yoki konsentratsiyasiga;
- o'rtacha ionizatsion potensialga.

Buni ifoda ko'rinishda yozsak:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{m}} \sim Z^2 n_e \varphi(v). \quad (6.3)$$

Bunda o'rtacha ionizatsion potensialga bog'lanish logarifmik ravishda, ya'ni kuchsiz bog'langan. Hajm birligidagi elektronlar soni n modda zichligiga ρ proporsionaldir:

$$n = \frac{Z \rho N_A}{A}, \quad (6.4)$$

bu yerda, N_A – Avogadro soni;

A – massa soni;

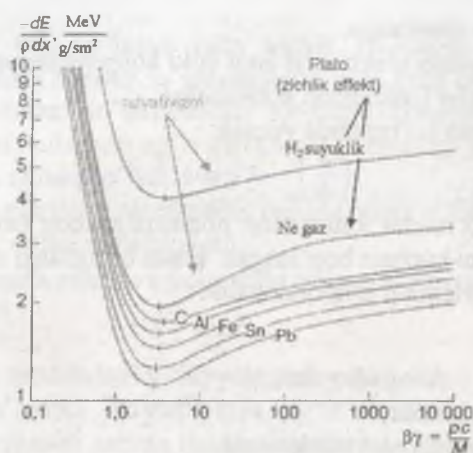
Z – atomdagi elektronlar soni.

Demak, ionizatsion yo'qotish modda zichligiga to'g'ri proporsional ekan. (6.1) formuladan kelib chiqadiki, zarralarning katta energiyalarida ($v \rightarrow s$ bo'lganda), ionizatsion yo'qotish monoton ravishda kamaya borishi kerak. Ammo amalda bu hol kuzatilmaydi yoki (6.1) formula aniq bo'lmay qoladi. Bu yerdan kelib chiqadiki, yuqori energiyalarda bu formula aniq bajarilmas ekan. Ushbu holni hisobga olib relyativistik hollar uchun quyidagi formula o'rinli bo'lar ekan:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{m}} = \frac{4\pi n_e Z^2 e^4}{m_e v^3} \left[\ln \frac{2m_e v^2}{I(Z)} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]. \quad (6.5)$$

bu yerda $\beta = \frac{v}{c}$.

(5) formuladan ko'rinadiki, zarra energiyasi oshishi bilan ionizatsion yo'qotish oldin juda tez kamayadi (energiryaga teskari proporsional ravishda), ammo yorug'lik tezligiga yaqinlashgan sayin bu kamayish sekinlashib, sekinlashib boradi. Bu (6.5) formulaning maxrajida deyarlik o'zgarmas kattalik, ya'ni $\beta^2 \approx c^2$. Ammo kavs ichidagi hadlarda ko'rinadiki, zarraning ba'zi bir yuqori energiyalaridan boshlab, dE/dx kattalik zina sekin (logarifmik ravishda) o'sadi, undan keyin to'yinishga chiqadi (6.1-rasmga qarang).



6.1-rasm Ionizatsion yo'qotish.

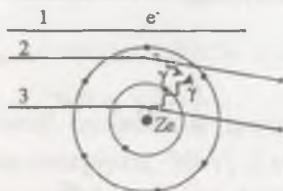
6.2-§. Zaryadlangan yengil zarralarning modda orqali o'tishi

Zaryadlangan yengil zarralar, ya'ni elektron va pozitronlarning modda orqali o'tishi barcha zaryadlangan zarralarning modda orqali o'tishida keskin farq qiladi. Bunga asosiy sabab, elektron va pozitronlarning massalarining kichikligidir. Moddaga uchib kelayotgan elektronlarning massasi kichikligidan, modda ichidagi har to'qnashishda impulsleri katta o'zgaradi. Buning oqibatida berilgan yo'nalishga nisbatan yo'nalishlari ancha o'zgaradi. Elektronlar trayektoriyalari to'g'ri chiziqli bo'lmaydi.

Elektronlar ham modda orqali o'tganda boshqa zaryadlangan zarralar kabi, o'z energiyasini atomilarni uyg'otishga va ionizatsiyaga sarflaydi. Bundan tashqari elektron energiyasini radiatsion effektga sarflaydi. Radiatsion effekt yoki radiatsion yo'qotishda elektron, atom qobiqidagi elektronning yoki yadroning Kulon maydonida tormozlanishi natijasida uzluksiz spektrga ega bo'lgan tormozli nurlar hosil qiladi. Bu holda moddaga uchib kirgan elektron o'z energiyasining bir qismini mazkur jarayon natijasida yo'qotadi.

Demak, elektronlar modda orqali o'tganda energiyasini quyidagi effektlarga sarflaydi:

1. Ionizatsiyaga yo'qotishga.
2. Radiatsion yo'qotishga.



6.2-rasm.

1-elektron atomni uyg'ongan holatga o'tkazadi yoki ionizatsiyalaydi.

2 va 3 lar hollarda radiatsion yo'qotish, ya'ni:

2 - elektron atom elektronlarining Kulon maydonida tormozlanadi va tormozli nurlar chiqaradi.

3 - elektron atom yadrosining Kulon maydonida tormozlanadi va tormozli nurlar chiqaradi.

Zaryadlangan zarralar atom yadrosining va atom elektronlarining elektr maydonida tez tormozlanishi natijasida radiatsion (yoki tormozli) nurlanishlar chiqaradi. Energiyani nurlanishga yo'qotishi $(dE/dx)_{\text{te}} \sim$ tezlanish kvadratiga proporsionaldir, ya'ni x^2 . Zaryadlar qiymati teng bo'lgan zarralarning yadro bilan Kulon o'zaro ta'siri kuchi bilan bir xil bo'lgani uchun,

$$\left(a = \frac{F}{m} \approx \frac{1}{m^2} \right)_{\text{konst}},$$

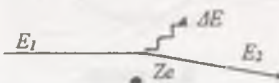
va

$$\left[\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\text{te}} \right]_{\text{konst}} \sim \frac{1}{m^2}.$$

Demak, zaryadlari bir xil bo'lgan zarralar uchun energiyaning nurlanishga sarflanishi, zarra massasining kvadratiga teskari proporsional bo'lar ekan. Ayniqsa, bu jarayon zaryadlangan yengil zarralar,

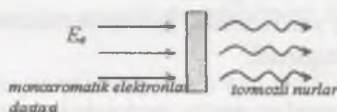
ya'ni elektronlar uchun juda sezirali yo'qotish bo'ladi. Zaryadlangan og'ir zarralar uchun bu effektni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Elektronlar uchun radiatsion yo'qotish moddagi atomlar konsentratsiyasiga, yadro zaryadiga va elektronlar kinetik energiyalariga bog'liq bo'ladi:

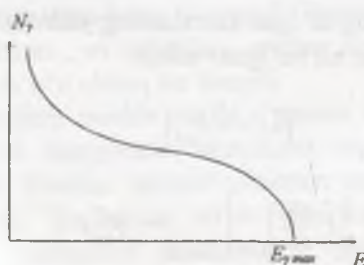
$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{\text{iso}} = Z^2 n T_e,$$


$E_1 - E_2 = \Delta E$

6.3-rasm. Yadro maydonida elektron tormozlanishi.



6.4-rasm. Tormozli nurlar hosil bo'lish sxemasi.



6.5-rasm. Tormozli nurlar spektri.

Monoxromatik elektronlar dastasi yupqa nishonga kelib tushsin. Nishon qalinligi shunchalik kichikki, unda ionizatsion yo'qotish va

atom elektronlar bilan ko'p marta to'qnashishlarini hisobga olmasak ham bo'ladi. Bunda energiyaning spektri uzluksiz bo'ladi.

Tormozli nurlanishlar quvvati (V_t) quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$W_{\text{торм}} = 1,9 \cdot 10^3 (E_e - 0,511) Z^2 \rho \, d \, i / A \quad (6.6)$$

bu yerda, $W_{\text{торм}}$ – tormozli nurlanishlar quvvati, V_t ; E_e – nishonga tushayotgan elektronlar energiyasi, MeV; Z va A – mos holda atom zaryadi va massa soni; ρ – modda zichligi, kg/m^3 ; d – nishon qalinligi, m; i – elektronlar toki, A.



6.6-rasm. Tormozli nurlar burchak taqsimoti.

Konus uchining burchagi:

$$\theta \approx \frac{m_e c^2}{E_e} \approx \frac{0,511}{E_e}. \quad (6.7)$$

Bu yerdan ko'rinadiki, elektronning energiyasi oshishi bilan tormozli nurlar dastasi siqiladi.

Elektronlarning kichik energiyalarida energiyani ionizatsion yo'qotishi ustun bo'ladi. Yuuqori energiyalarda esa radiatsion yo'qotishi ustunlikka erishadi. Radiatsion yo'qotishning roli Z ning qiymati katta bo'lgan moddalarda katta bo'ladi. Ionizatsion yo'qotish, radiatsion yo'qotish bilan tenglashadigan energiyasi kritik energiya deyiladi E_{kr} va bu kattalik quyidagi munosabat bilan aniqlaniladi:

$$E_{\text{kr}} = \frac{800}{Z}, \quad (6.8)$$

bu yerda, E_{κ} – MeV larda o'lchanadi.

Oxirgi formulada Pb uchun $E_{\kappa} \approx 10 \text{ jvÅ}$, Al uchun $E_{\kappa} \approx 62 \text{ jvÅ}$. $E_e \gg E_{\kappa}$ bo'lganda ionizatsion yo'qotishni hisobga olinsa ham bo'ladi va elektron o'z energiyasini faqat tormozli nurlanishga sarflaydi. Bunda elektronlar energiyasi eksponensial qonun bo'yicha kamayadi. Elektron energiyasi radiatsion yo'qotish natijasida e marta kamayadigan masofadagi radiatsion uzunlik x_0 deyiladi:

$$E_e = E_0 \exp \frac{-x}{x_0} \quad (6.9)$$

x_0 ning qiymati Pb uchun $58 \frac{\partial \bar{a}}{\partial}$ dan, He uchun $850 \frac{\partial \bar{a}}{\partial}$ gacha o'zgaradi.

Kritik energiyani baholashda quyidagi taxminiy munosabatdan foydalanish qulaydir:

$$\frac{(-dE/dx)_{\text{rad}}}{(-dE/dx)_{\text{ion}}} \approx \frac{ZE(M\partial B)}{800} \quad (6.10)$$

Nurlanish sarf bo'ladigan energiya yoki radiatsion yo'qotish muhit atom yadrolarining zaryadiga Z ga, atomlar konsentratsiyasi n ga va elektronlar kinetik energiyalariga proporsional ekan:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion, M, MEB}} \approx Z^2 n T_e \quad (6.11)$$

Agar elektron egri trayektoriya bo'yicha harakatlanaytgan bo'lsa, ya'ni tezlanish bilan harakatlansa, u nurlanadi (nurlanish chiqaradi). Haqiqatan ham tajribalar ko'rsatadiki, aylanma orbita bo'ylab harakatlanaytgan elektronlar dastasining katta diapazoni elektromagnit nurlanishlar chiqaradi (radiodiapazondan yumshoq γ – nurlanishlarga bo'lgan oraliqda). Birinchi marta bu nurlanishlar astronomik kuzatishlarda, keyin esa elektronlarning halqali tezlatkichlari – sinxrotronlarda kuzatilgan va to'liq o'rganilgan. Shuning uchun ham bu nurlanishni sinxrotron nurlanishlar deyiladi. Ushbu nurlanishlar fan va texnikada keng qo'llanilmoqda.

6.3-§. Gamma-nurlarning modda bilan o'zaro ta'siri

Gamma-kvant zaryadga ega bo'lmagani uchun muhit atomlarini bevosita ionizatsiya qila olmaydi.

Gamma-kvantlar dastasi modda orqali o'tganda ularning soni yoki intensivligi eksponensial qonun bo'yicha kamayadi, ya'ni:

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (6.12)$$

yoki

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (6.13)$$

bu yerda, N_0 , I_0 – qalindligi x bo'lgan modda qatlamiga kelib tushayotgan γ – kvantlar soni yoki intensivligi;

N , I – ushbu qatlamdan o'tgan γ – kvantlar soni yoki intensivligi;
 μ – yutilish koeffitsiyenti, m^{-1} .

Yutilish koeffitsiyentidan tashqari, μ/ρ ga teng bo'lgan massaviy yutilish koeffitsiyenti tushuncha ham qo'llaniladi. Bu yerda ρ – modda zichligi.

Agar γ -kvantlar yutilish bir necha har xil jarayonlar hisobiga bo'lsa, u holda har bir jarayonning mos holda o'z μ_i yutilish koeffitsiyentlari bo'ladi. Yuqorida keltirilgan yutilish koeffitsiyenti hamma μ_i koeffitsiyentlar yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\mu = \sum_i \mu_i. \quad (6.14)$$

Bu yerdagi μ va μ_i kattaliklar o'lchami m^{-1} (sm^{-1}).

Fotoyadro reaksiyalarini hisobga olmaganda γ -kvantlarning modda orqali o'tganda quyidagi jarayonlar yuz beradi:

1. Fotoeffekt.
2. Kompton effekti.
3. Elektron-pozitron juftining hosil bo'lishi.

1. Fotoeffekt.

Bu jarayonda γ -kvant butun energiyasini uchragan atom elektronlaridan biriga beradi. Ushbu holda γ -kvant butunlay yo'q bo'ladi, elektron esa atomdan quyidagi energiyaga ega bo'lib chiqib ketadi:

$$E_e = E_\gamma - I, \quad (6.15)$$

bu yerda, I – atomning ionizatsiya potentsiali,

E_e – fotoeffekt natijasida chiqqan elektron kinetik energiyasi,

E_γ – γ -kvant energiyasi.

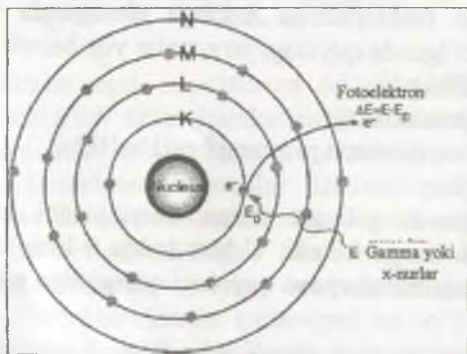
Fotoeffekt $E_\gamma > I$ shart bajarilganja yuz beradi, ifodani umumiy holda yozamiz:

$$E_e = E_\gamma - I, \quad (6.16)$$

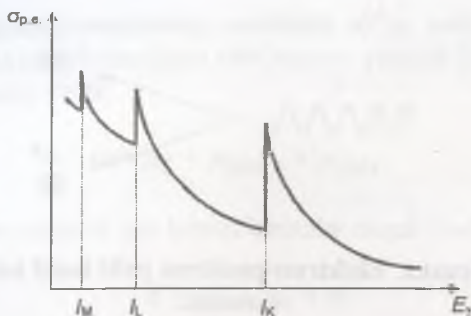
bu yerda I – atomning i -qobiqdagi ionizatsiya potentsiali.

$E_\gamma < I_k$ shart bajarilgan fotoeffekt faqat L -, M - va h.k. qobiqlarda yuz beradi. K – qobiqda esa yuz bermaydi. $E_\gamma < I_M$ shart bajarilgan fotoeffekt faqat M -, N - va h.k. qobiqlarda yuz beradi. K - va M – qobiqlarda esa yuz bermaydi. Shuni ham ta’kidlab o’tish kerakki, fotoeffekt faqat bog’langan elektronlarda yuz beradi. Erkin elektronlarda esa yuz bermaydi. Buni energiya va impuls saqlanish qonunlari yordamida isbotlash mumkin.

Atomdagi fotoeffekt hodisasi, xarakteristik rentgen nurlar yoki Oje elektronlarning hosil bo’lishi bilan birgalikda yuz beradi. Rasmda fotoeffekt kesimining γ -kvantlar energiyasiga bog’lanishi keltirilgan. Rasmdan ko’rinadiki, γ -kvantlarning katta energiyalarida kesim juda kichik bo’ladi. Bu energiyalarga nisbatan elektronlar bog’lanish energiyalari kichik bo’ladi va elektron deyarlik erkin bo’ladi. Gamma-kvantlar energiyasi E_γ kamayishi bilan kesim oldin $1/E_\gamma$ qonun bo’yicha, keyin $1/E_\gamma^{1/2}$ qonun bo’yicha oshib boradi.



6.7-rasm. Fotoelektronlar hosil bo’lishi.



6.8-rasm. Fotoeffekt kesimining γ -kvantlar energiyasiga bog'lanishi. Atomning elektron qobiqlaridagi ionizatsiya energiyalariga teng bo'lgan energiyalarda keskin sakrash kuzatiladi.

2. Kompton effekti

Gamma-kvantlar, erkin yoki kuchsiz bog'langan elektrolar bilan o'zaro ta'sirlashganda, energiyasining faqat bir qismini elektronga berish jarayoni yuz beradi. Bunda sochilish burchagiga qarab, elektron noldan maksimal qiymati quyidagiga teng bo'lgan sohadagi turli energiyalarni qabul qiladi:

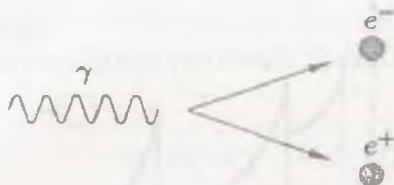
$$E_{\text{max}} = \frac{E_\gamma}{1 - \frac{m_0 c^2}{2E_\gamma}} \quad (6.17)$$

bu yerda, m_0 – elektronning tinchlikdagi massasi, s – yorug'lik tezligi ($m_0 s^2 = 0,511 \text{ MeV}$).

3. Elektron-pozitron juftining hosil bo'lishi

Gamma-kvantlarning yetarlicha yuqori energiyalarida ($E_\gamma > E_0$) fotoeffekt va Kompton effektlari bir qatorda uchinchi bir jarayon, ya'ni γ -kvantlarning modda bilan o'zaro ta'sirlashi natijasida elektron-pozitron juftining hosil bo'lishi yuz beradi.

Elektron-pozitron jufti hosil bo'lishi bo'shliqda yuz bermaydi, ushbu jarayon yuz berishi uchun u yadro yoki elektron yaqinida yoki maydonidagina yuz beradi.



6.9-rasm. Elektron-pozitron jufti hosil bo'lish sxemasi.

Yadro Kulon maydonida juft hosil bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilish lozim:

$$E_{\gamma} > 2mc^2 = 1,02 \text{ MeB}$$

Atom qobiqidagi elektronlarning Kulon maydonida elektron-pozitron juftining hosil bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$E_{\gamma} = 4mc^2 = 2,04 \text{ MeB}.$$

Elektron-pozitron jufti hosil bo'lishi keimi γ -kvantlar energiyasiga murakkab bog'langan. Agar elektronlarning ekranlovchi ta'sirini hisobga olmaganda, $m_e c^2 \ll E_{\gamma} \ll 137 m_e c^2 Z^{-1/3}$ energiya intervalida kesim quyidagiga teng bo'ladi:

$$\sigma_{\text{pair}} = \frac{Z^2}{137} r_e^2 \left(\frac{28}{9} \ln \frac{2E_{\gamma}}{m_e c^2} - \frac{218}{27} \right). \quad (6.18)$$

Kichik energiya va katta Z larda elektron-pozitron juftining yadro maydonida hosil bo'lish kesim, uning elektron maydonida hosil bo'lish kesimidan taxminan ming marta katta bo'ladi.

Gamma-kvantlar modda orqali o'tganda fotoeffekt, kompton effekt va elektron-pozitron jufti hosil bo'lish effektlariga energiyasini

sarflaydi. Gamma-kvantlarning moddada to'liq yutilish koeffitsiyenti, yuqorida ko'rib chiqilgan uch jarayon yutilish koeffitsiyentlar yig'indisiga teng, ya'ni:

$$\mu = \mu_f + \mu_{komp} + \mu_{juft}$$

yoki ushbu jarayonlarni yuz berish kesimlar orqali ifodalasak:

$$\sigma = \sigma_f + \sigma_k + \sigma_j.$$

Kichik energiyalar sohasida fotoeffekt jarayoni ustunlik qiladi, o'rta va yuqori energiyalar sohasida esa Kompton effekti yuz berish kesimi osha boradi, fotoeffekt kesimi kamaya boradi, $E_\gamma > 2mc^2 = 1,02 \text{ MeB}$ energiyalardan boshlab elektron-pozitron jufti hosil bo'lishi jarayoni boshlanadi. Yuqori energiyalar sohasida asosan Kompton va juft hosil bo'lish jarayonlari yuz beradi.

VII BOB

ELEMENTAR ZARRALAR

Qadim zamonlardan inson o'zini o'rab turgan olamni o'rganish va bilishga intilib kelgan. Shu o'rinda barcha mavjud narsalarning asosi bo'lgan elementar tashkil etuvchilar va ularning o'zaro bir-birlari bilan bo'ladigan munosabatlari - o'zaro ta'sirlari to'g'risidagi qarashlar doimo inson aqlini band qilib kelgan.

Fizikaning elementar zarralar fizikasi bo'limi mikrodunyoda, ya'ni elementar zarralar fizikasida ro'y beradigan barcha jarayonlarni, ularning xarakteristikalarini, o'zaro bir-biriga aylanishlarini, ular orasidagi o'zaro ta'sir turlarni o'rganadi.

Mazkur ma'ruza matni yuqorida qayd qilib o'tilgan masalalarni o'zida mujassamlashtirgan bo'lib, bakalavrlar dasturi asosida yozilgan va ayni paytda mukammal qo'llanma bo'lib xizmat qila olmaydi. Shu bilan birga, ushbu qo'llanma talabalarning o'z ustida mustaqil ishlashi, adabiyotlardan foydalana bilishi va shu tariqa yetarli bilimga ega bo'la olishi uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

7.1-§. O'zaro ta'sir turlari va elementar zarralar klassifikatiyasi

Elementar zarra deb hozirgi vaqtda ma'lum bo'lgan materiyaning eng mayda zarrachasiga aytiladi. Elementar zarra boshqa hech qanday mayda zarradan tashkil topmagan bo'lishi kerak. Elementar so'zi lotincha "boshlang'ich, oddiy, asosiy" degan ma'noni anglatadi. Elementar zarralarning o'ziga xos xossalaridan biri ularning o'zaro aylanishidir.

Hozirgi kunda antizarralar bilan birgalikda 350 lar atrofida elementar zarralar mavjud. Elementar zarralar orasida 4 ta o'zaro ta'sir ko'rinishi mavjud: kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion (bu yerda ularning intensivligi kamayib borish tartibida sanab o'tilgan). O'zaro ta'sir intensivligini, o'zaro ta'sir konstantasi (doimiysi) orqali

xarakterlash (ifodalash) qabul qilingan. U o'lcamsiz kattalik bo'lib, berilgan turdagi o'zaro ta'sir natijasida yuz beradigan jarayon ehtimolligini ifodalaydi. Konstantar qiymatlar nisbati, nisbiy ehtimollikni beradi.

Kuchli o'zaro ta'sir. Bu turdagi o'zaro ta'sir yadrodagi nuklonlar aloqasini ta'minlaydi. Kuchli o'zaro ta'sir konstantasi qiymati 10 ga teng. Ushbu o'zaro ta'sir paydo bo'ladigan masofa taxminan 10^{-15} m.

Elektromagnit o'zaro ta'sir. O'zaro ta'sir konstantasi $1/137 \approx 10^{-2}$. Ta'sir radiusi cheklanmagan, ya'ni $r = \infty$.

Kuchsiz o'zaro ta'sir. Bu o'zaro ta'sir hamma turdagi β -parchalanishlar, (ye-qamrash), ko'p elementar zarralar parchalanishlarini, shuningdek neytrinoning modda bilan bo'ladigan o'zaro ta'sirlashuvlarni o'z ichiga oladi. O'zaro ta'sir konstantasi 10^{-14} kattalik tartibida. Kuchsiz o'zaro ta'sir qisqa ta'sir qiluvchidir, ya'ni ta'sir masofasi cheklangan.

Gravitatsion o'zaro ta'sir. O'zaro ta'sir konstantasi 10^{-39} tartibdagi qiymatga egadir. Ta'sir masofasi cheklanmagan, ya'ni $r = \infty$. Ushbu o'zaro ta'sir ostida hamma elementar zarralar bo'ladi. Lekin mikroduyo jarayonlarida, ushbu o'zaro ta'sir sezilarli rol o'ynamaydi.

Ushbu jadvalda o'zaro ta'sir konstantalari va ta'sirlar hisobiga parchalanadigan zarralar yashash vaqti keltirilgan.

O'zaro ta'sir turlari	O'zaro ta'sir konstantasi	Yashash vaqti, t
Kuchli	1	10^{-23}
elektromagnit	10^{-2}	10^{-23}
kuchsiz	10^{-14}	10^{-8}
gravitatsion	10^{-39}	-

Elementar zarralar odatda 4 ta sinfga bo'linadi. Ulardan birinchisiga faqat bitta zarra, foton kiradi. Ikkinchi sinfni liptonlar, uchinchi sinfni mezonlar va nihoyat to'rtinchi sinfni esa barionlar hosil qiladi. Mezonlar va barionlar ko'pincha birgalikda kuchli o'zaro ta'sir qiluvchi zarralar sinfi bo'lgan adronlar deb nomlanuvchi zarralar sinfini hosil qiladi.

Sanab o'tilgan zarralar sinfining qisqa xarakteristikasini keltiramiz:

1. Fotonlar γ (elektromagnit maydon kvanti) elektromagnit o'zaro ta'sirda ishtirok etadi. Lekin kuchli va kuchsiz o'zaro ta'sirda qatnashmaydi. Fotonlar massa va zaryadi nolga teng. Spini 1 ga teng, ya'ni bozondir.

2. Leptonlar, lotincha "leptos" so'zidan olingan bo'lib, "yengil" degan ma'noni anglatadi. Bular qatoriga kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydigan zarralar, ya'ni elektronlar (e^- , e^+), myuonlar (μ^- , μ^+), og'ir tau-lipton (τ^- , τ^+), shuningdek elektron neytrino (ν_e , $\bar{\nu}_e$), myuon neytrino (ν_μ , $\bar{\nu}_\mu$) va tau-neytrino (ν_τ , $\bar{\nu}_\tau$) lar kiradi. Hamma leptonlar $1/2$ spinga ega bo'lib, fermion hisoblanadi va kuchsiz o'zaro ta'sirga ega. Ulardan elektr zaryadga egalari esa elektromagnit o'zaro ta'sirga ham egadir. Bularga elektronlar va myuonlar kiradi. Leptonlarning barion zaryadi nolga teng bo'lib, lepton zaryadga egadir.

3. Mezonlar bu kuchli o'zaro ta'sir qiluvchi nostabil (noturg'un) zarralar bo'lib, barion zaryadi nolga teng. Bular qatoriga mezonlar yoki pionlar (π^+ , π^- , π^0), K-mezonlar yoki kaonlar (K^+ , K^- , K^0 , $\bar{K}^0$) va eta-mezon (η) kiradi. Mezonlarning lepton zaryadi nolga teng. Hamma mezonlarning spini nolga teng, ya'ni ular bozonlar hisoblanadi.

Mezonlarning leptonlardan farqi kuchli va elektromagnit (agar zaryadlangan bo'lsa) o'zaro ta'sirda ham qatnashadilar.

4. Barionlar sinfi o'ziga nuklonlar (p,n) va massasi nuklonlar massasidan katta bo'lgan nostabil zarralar – giperonlar (Λ , Σ^+ , Σ^0 , Σ^- , Ξ^0 , Ξ^- , Ω^-) ni birlashtiradi. Hamma barionlar kuchli o'zaro ta'sirga egadir. Hamma barionlar spini $1/2$ ga teng bo'lib, ular fermion hisoblanadi. Protondan tashqari hamma barionlar nostabil zarralar hisoblanadi. Barion parchalanganda boshqa zarralar qatori albatta barion hosil bo'ladi, ya'ni barion zaryad saqlanish qonuni bajariladi.

Yuqorida sanab o'tilgan zarralardan tashqari, ko'p sonli kuchli o'zaro ta'sir qiluvchi qisqa yashovchi zarralar topilgan bo'lib, ularni rezonanslar deyiladi. Bu zarralar ikki yoki undan ortiq elementar zarralardan hosil bo'lgan rezonans holatlardir. Rezonanslar yashash vaqti taxminan 10^{-23} – 10^{-22} sekundga teng.

Mezon va barionlar kuchli o'zaro ta'sirda qatnashuchi zarralar bo'lgani uchun ularni bitta sinfga birlashtirib, adronlar deb ham nomlanadi. Adron so'zi yunoncha "adros", ya'ni yirik, katta degan ma'noni anglatadi.

Olamning asosi nimadan iborat, ya'ni atrofimizni o'rab turgan barcha mavjudotlar qanday tuzilgan degan savol qadim zamonlardan odamlar ongini band qilib kelgan. Bu savolga birinchi bo'lib, yunon faylasuflari javob berishga harakat qilishgan. Ulardan birlari olam 4ta unsur-havo, suv, tuproq, va olovdan tashkil topgan (Anaksimen) deyishsa, boshqalari esa olam strukturaga ega bo'lmagan va eng kichik bo'linmas atomlardan (Demokrit) tuzilgan degan G'oyalarni ilgari surishgan. XIX asrda Mendeleyev tomonidan elementlar davriy jadvalining tuzilishi, ma'lum ma'noda faylasuflar G'oyalarni tasdiqladi. Lekin olamni Mendeleyev jadvali elementlari orqali tushuntiradigan bo'lsak, uning juda murakkabligini sezamiz. Bu kimyoviy elementlar xossalarning takrorlanishi ham ularning asosida yanada fundamental tuzilmalar borligini bildiradi.

XIX asr oxirida aniqrog'i 1896-yili A.Bekkerel tomonidan radioaktivlik hodisasining ochilishi va bu hodisaning keyinchalik keng ko'lamda o'rganilishi elementar zarralar fizikasida katta yutuq bo'ldi. Shu yildan boshlab, to 1932-yilgacha atom tuzilishi to'laligicha o'rganib bo'lindi va 1932-yildan keyingi davr yadro fizikasi erasi deb ataladigan bo'ldi. Endi to 1932-yilgacha bo'lgan muhim yutuqlarni sanab o'tamiz.

1. Barcha moddalar 10^{-10} m o'lchamli neytral zarralar-atomlardan tuzilgan. Bu fakt XIX asrdayoq to'la tasdiqlangan edi.

2. Lekin atom qadimgi faylasuflar faraz qilgandek bo'linmas, strukturasiz tuzilma bo'lmay, balkim murakkab kvant-mexanik obyektidir.

3. Atomning tarkibiy qismi uning elektron qobig'i bo'lib, uning umumiy zaryadi - Ze ga teng (1913 y. N.Bor, 1915-1916y. Zommerfeld) va shu bilan birga u atomning barcha kimyoviy va fizikaviy xususiyatlarni belgilaydi.

4. Atom markazida o'lchami $\approx 10^{-15}$ m ga teng yadro mavjud bo'lib, uning zaryadi +Ze ga teng (1911-1914 y. Rezerford).

5. Atom yadrosi Z protonlar A-Z-neutronlardan iborat, ya'ni $Zp + (A-Z)n = A$ ta zarralardan iborat.

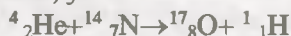
Bu tasdiq yadroning proton-neytron modelining mazmunini tashkil qiladi (1932-yili D.Ivanenko va YE.Gapon tomonidan taklif qilingan). Bungacha esa yadroning proton -elektron modeli mavjud bo'lib, unga ko'ra yadro

$Ap + (A-Z)e^- = (2A-Z)$ zarradan iborat deb qaralgan.

Elektronlarning qobiqlardagi bog'lanish energiyasi eV larda, proton va neytronlarning bog'lanish energiyasi MeV larda o'lchanadi. Shu sababli atom yadrolari turg'un tuzilmadir.

Atom tuzilishi va uning xususiyatlarini o'rganish natijasida atomni tashkil qilgan tarkibiy qismlar ham o'rganila borildi. Elektronning ochilishi 1897-yil bilan belgilanib, uni J. Tomsonning katod nurlarining q/m-solishtirma zaryadini o'lchash tajribasi bilan bog'lashadi. Lekin elektronning mavjudligi 1911-yili R.Millikenning uning zaryadini o'lchashi bilan to'la tasdiqlandi.

1919-yili E.Rezerford $^{14}_7\text{N}$ -azot atomining $^4_2\text{He}-\alpha$ zarralar bilan to'qnashishidan hosil bo'lgan ^1_1H -vodorod atomi azot atomiga tegishli degan fikrga keldi, ya'ni



U hosil bo'lgan vodorod atomi yadrosini proton (yunoncha protos-birinchi) deb atadi.

1920-yili Rezerford massasi protonga teng va zaryadi nolga teng bo'lgan zarracha mavjud bo'lishini bashorat qildi. Bu zarracha neytron deb ataldi va ancha izlanishlardan so'ng 1932-yili J. Chedvik tomonidan tajribada kuzatildi. U 1930-yili V. Bote va G. Beker tomonidan o'tkazilgan berilliy elementini α -zarralar bilan bombardimon qilganda qattiq neytral nurlanish hosil bo'lishi tajribasini takrorladi. Hosil bo'lgan neytral nurlanishining γ -nurlanish emas, balkim neytral massiv zarralar oqimi ekanligini tasdiqladi.

Foton atom tarkibiga kirmaydi va atomdagi elektron o'tishlarda hosil bo'ladi yoki yutiladi. Foton M. Plank tomonidan fanga kiritilgan va A. Kompton tajribalaridan keyingina elementar zarracha sifatida qabul qilindi. M. Plank jismlarning issiqlik nurlatish xususiyatini o'rganish natijasida ularning yorug'likni uzluksiz emas, balkim diskret, ya'ni porsiyalar- $E=h\nu$ - energiyali kvantlar ko'rinishida yutishi va chiqarishi to'g'risidagi tasavvurni shakllantirdi. Bu tasavvurga asoslanib, A. Eynshteyn fotoeffekt hodisasini tushuntirdi.

1922-yili A. Kompton rentgen nurlarning erkin elektronlarda sochilishida ular chastotasining o'zgarishini kuzatdi va uning nazariyasini yaratdi. Foton to'liqin xususiyatga egaligi, tug'ilish va yutilish xossalari ularni dastlabki davrlarda zarracha deb qabul qilishga imkon bermadi. Lekin tez orada bunday xususiyatlar boshqa zarralar uchun ham xosligi ayon bo'ldi.

Graviton G-gravitatsion ta'sir tashuvchisi, Elementar zarralar olamida gravitatsion ta'sirining o'ta kuchsizligi sababli, bu zarracha tajribada haligacha kuzatilmagan.

1930-yili P. Dirak tomonidan antizarralar, ya'ni har qanday zarrachaning qarama-qarshi ishorali zaryadga ega bo'lgan jufti mavjudligi aytili. 1932-yili esa K. Anderson tomonidan birinchi antizarracha $-e^+$ tajribada kuzatildi.

1935-yili yapon fizigi X. Yukava tomonidan yadro kuchlari tabiatini tushuntirish uchun pi-mezonlar $-\pi^+$, π^0 , π^- kiritildi. Zaryadlangan pionlar 1947- yili, neytral pion esa 1950-yili tajribada topildi. 1930-yili K. Anderson va S. Nedermayer tomonidan myuon (myu-mezon) tajribada kuzatildi. 1930-yili V. Pauli tomonidan β -parchalanishni tushuntirish maqsadida ν -neytrino tushunchasi fanga kiritildi. Va 1950-yili o'rtalardagina bu zarracha tajribalarda kuzatildi.

Shunday qilib, 1940-yillar oxiriga kelib elementar zarralar soni 15 tagacha yetdi. Lekin koinot nurlari bilan bo'ladigan jarayonlarni o'rganish va elementar zarralarni tezlashtiruvchi texnikaning taraqqiyoti yanada yangi elementar zarlarning ochilishiga olib keldi. 1950-yillarning o'zida 15 taga yaqin yangi zarralar kashf qilindi. 1960-yillarning o'rtalariga kelib, elementar zarralar soni Mendeleyev davriy sistemasi elementlari sonidan ham oshib ketdi. Bu holat yanada soni oshib borayotgan elementar zarralarning «elementar» ligini, ya'ni haqiqatda ham strukturaga ega emasligini shubha ostiga qo'ydi. Elementar zarra deganda strukturaga ega bo'lmagan va boshqa mayda zarraga bo'linmaydigan zarra tushuniladi. Shu sababli, fiziklar hozirgacha elementar zarra deb e'tirof etilgan zarralar aslida elementar bo'lmasdan yanada fundamental, bo'linmas zarralardan tashkil topgan bo'lishi mumkin degan fikrga kelishdi. Shu o'rinda elementar zarralarning hozirgi paytdagi kvarklar nuqtayi nazardan ixcham sistematikasiga kelishidan oldingi holdagi klassifikatsiyasi va

o'zaro ta'sir turlariga to'xtalib o'tamiz. Umuman, zarralar fizikasida 4 xil o'zaro ta'sir turi mavjud.

1. Kuchli o'zaro ta'sir. Bu ta'sirda qatnashuvchi zarralar adronlar deb ataladi. Bu o'zaro ta'sir proton va neytronlarni yadroda ushlab tura-di. Yoki kvarklar shu kuch orqali bog'lanib adronlarni tashkil qiladi.

2. Elektromagnit o'zaro ta'sir. Bu ta'sirda asosan zaryadlangan zarralar qatnashadi. Lekin neytral zarralar ham o'z strukturasi-ga egaligi sababli bu ta'sirda qatnashishi mumkin. Masalan, neytron murakkab strukturaga egaligi, ya'ni shu sababli magnit momentiga egaligi sababli. Bu ta'sir hozirgi paytda eng yaxshi o'rganilgan ta'sir turi hisoblanadi.

3. Kuchsiz o'zaro ta'sir. Bu ta'sir deyarli barcha zarrachalarga xosdir. Bu ta'sir ostida sodir bo'ladigan jarayonlar ancha sekin yuz beradi. Atom yadrolarining β - parchalanishi kuchsiz o'zaro ta'sirga misol bo'ladi.

4. Gravitatsion o'zaro ta'sir universaldir. Bu ta'sirda barcha zarralar qatnashadi.

Har qanday o'zaro ta'sir uchta kattalik bilan xarakterlanadi. Bu kattaliklar – ta'sir intensivligi, ta'sir radiusi, ya'ni ta'sirlashish masofasi va o'zaro ta'sirlashish vaqtidir. O'zaro ta'sir mexanizmini ham hisobga olgan holda bu kattaliklar jadvalda keltirilgan.

№	O'zaro ta'sir	Mezanizm	Intensivlik	Ta'sir radiusi, M	Ta'sirla-shish vaqti, S
1.	Kuchli	Glyuonlar bilan (g)	$10^{-1} \div 10^1$	$\sim 10^{-15}$	$\sim 10^{-23}$
2.	Elektromag nit	Fotonlar bilan (γ)	$1/137$	∞	$\sim 10^{-20}$
3.	Kuchsiz	$W^{\pm}, Z^0$ -bozonlar bilan	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-17}$	$\sim 10^{-13}$
4.	Gravitatsion	Gravitonlar (G) bilan	$\sim 10^{-38}$	∞	?

Endi shu jadvaldagi kattaliklar va o'zaro ta'sir mexanizmini izohlab o'tamiz. Kuchli ta'sir proton va neytronni yadroda, hamda

kvarklarni adronlarda ushlab turadi. Bu mexanizmga keyinchalik alohida ham to'xtalib o'tamiz. Hozirgi zamon fizikasi nuqtayi nazaridan yadroda proton va neytronlar o'zaro π -mezonlar bilan almashish hisobidan ushlab turiladi. Proton va neytron esa kvarklardan tuzilgan bo'lib (shu jumladan barcha adronlar) ular, ya'ni kvarklar shu zarralar ichida glyuonlar (inglizchadan glue-yelim, kley) orqali bog'lanib turadi. Endi proton va neytronlar orasidagi π -mezon almashish kuchlariga kelsak, bu mezonlar glyuon kuchlarining katta masofa 10^{-15} m dan katta bo'lgan masofadagi «qoldiq» kuchlari deb qaraladi. Endi kuchli ta'sirning intensivligiga kelsak, α_S -«yuguruvchi» o'zaro ta'sir doimiysi deb ataladi va boshqa o'zaro ta'sir doimiyligidan qiymatning masofa o'zgarishiga qarab o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Shu sababli α_S -«yuguruvchi» o'zaro ta'sir doimiysi deyiladi va 0,1 dan 10 gacha bo'lgan oraliqda o'zgaradi.

$$\alpha_S = 10^{-1} \div 10^1$$

Bu yerda S-«strong» - kuchli degani. Bu ta'sir aytib o'tganimizday $\approx 10^{-15}$ m masofada namoyon bo'ladi va o'zaro ta'sir vaqti $\approx 10^{-23}$ s ga teng.

Elektromagnit ta'sir zaryadlangan va ma'lum strukturali (mas, neytron-elektro neytral zarra bo'lishiga qaramasdan magnit momentiga ega) zarralar orasida sodir bo'lib, bu ta'sir fotonlar orqali amalga oshadi. Ta'sir intensivligi $\alpha = \frac{1}{137}$ - nozik struktura doimiysi bilan xarakterlanadi. Bu ta'sir masofasi ∞ bo'lib, o'zaro ta'sirlashish vaqti $\approx 10^{-20}$ c ga teng.

Kuchsiz ta'sirda deyarli barcha zarralar qatnashadi va bu ta'sir W^+ va Z^0 -bezonlar orqali amalga oshadi. Ta'sir intensivligi $G_F \approx \frac{10^{-5}}{m_p^2}$ - Fermi doimiysi orqali xarakterlanadi, bu yerda m_p -proton massasi. Bu o'zaro ta'sir masofasi $\approx 10^{-17}$ m bo'lib, juda sust, ya'ni $\approx 10^{-13}$ s vaqt oralig'ida sodir bo'ladi.

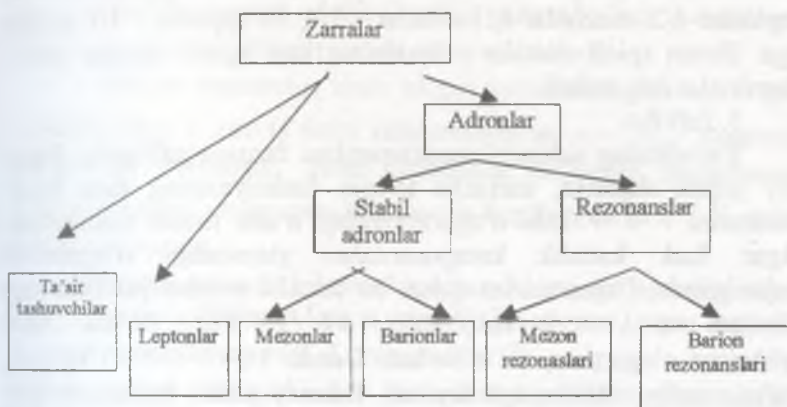
Elementar zarralar olamida gravitatsion ta'sir juda ham sust bo'lib, o'zini namoyon qilmaydi, uning ta'sir vaqti aniqlanmagan, intensivligi $\approx 10^{-38}$ ga teng, ta'sir masofasi esa ∞ dir. Massasi Plank massasidan, ya'ni $m_p \sim 10^{19}$ GeV dan katta jismlar uchungina gravitatsion ta'sir sezilarli bo'ladi.

Endi bevosita elementar zarralar klassifikatsiyasini qaraymiz. Kuchli ta'sirda qatnashuvchi (aniqrog'i elektromagnit va kuchsiz ta'sirda ham) elementar zarralarga adronlar deyiladi. Adronlar o'z navbatida barionlar va mezonlarga bo'linadi. Barionlar o'z navbatida nuklon (proton va neytronning umumiy nomi) lar, giperonlar va rezonanslarga bo'linadi. Giperonlar massasi protondan og'ir bo'lgan zarralardir. Ularga $\Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0$, lyambda giperon-L, sigma giperonlar- $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$ ksi-giperonlar $-\Xi^0, \Xi^-$ kiradi. Giperonlarning o'rtacha yashash davri $\tau \sim 10^{-10}$ s ga teng. Rezonanslarning o'rtacha yashash davri juda kichik bo'lib, $\tau \sim 10^{-24} \div 10^{-22}$ s ga teng. Ular o'tgan asrning 60-yillarida ochilgan bo'lib, hozirda ular soni 300 dan ortiq. Nuklonlar va giperonlar yashash davri rezonanslarnikiga qaraganda ancha kattaligi uchun ular stabil zarra deb ataladi. Proton haqiqiy stabil zarra hisoblanib, hozirgi vaqtda uning yashash vaqti $\tau > 10^{34}$ yildan katta hisoblanadi. Neytron esa erkin holatda ~ 15 min atrofida yashaydi. Mezonlar ham o'z navbatida stabil va rezonans mezonlarga bo'linadi. Stabil mezonlarga $\pi^+, \pi^0, \pi^-, \eta^0, k^+, k^0, D^+, D^0, D^0_s$ -mezonlar taalluqlidir. Ularning yashash davri $10^{-8} \div 10^{-13}$ s vaqt intervalida yotadi. Rezonans mezonlarga esa $\eta', \rho, \omega, \phi, k^*, D^* J/\psi$ kabi mezonlar misol bo'ladi. Umuman, barion va mezon rezonanslarining yashash vaqti $\tau \sim 10^{-23} - 10^{-24}$ s oralig'ida yotadi. Ular juda qisqa vaqt mabaynida yashashiga qaramasdan ma'lum spin va juftlikka ega bo'lib, ma'lum ichki kvant sonlariga ham ega va shu sababli ham ularni elementar zarralar deb qaraladi. Rezonanslar aniq massaga ega emas va uzluksiz massa spektriga ega. Shu spektrning maksimumiga to'g'ri keluvchi qiymat rezonans massasi deb qabul qilinadi. $\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$ ifodaga ko'ra, odatda jadvallarda rezonanslarning yashash vaqti τ o'rniga ularning parchalanish ehtimolligi-G keltiriladi. Kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydigan zarralarga leptonlar deyiladi. Hozirgi paytda 3 guruh leptonlar mavjud:

$$\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix} \text{ va ularning antizarralari.}$$

Elektron (y_e^-) va $\nu_{ye}, \nu_{\mu}, \nu_{\tau}$ neytrinolar stabil, μ^- -mezon va τ^- -leptonlar stabil emas. Barcha nostabil zarralarning yashash vaqti odatda jadvallarda keltiriladi. Leptonlar strukturaga ega emas. Shu

ma'noda ular haqiqiy elementar-fundamental zarralardir. Masalan $\sim 10^{-18}$ m masshtabda (zamonaviy tezlatgichlarda erishish mumkin bo'lgan energiyalarda) ham elektron strukturaga ega emasligini namoyon qilgan. Elektron, μ -mezon va τ -lepton elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirda, neytrinolar esa faqat kuchsiz ta'sirda qatnashadilar. Shunday qilib, hozircha zarralar klassifikatsiyasini ko'z oldimizga keltirish uchun quyidagi jadvalni ilova qilishimiz mumkin.



Adronlar va leptonlar o'zlarining anti zarrachalariga ega. Agar zarra va antizarra ustma-ust tushsa, haqiqiy neytral zarra deyiladi. Masalan, π^0 -mezon haqiqiy neytral zarradir, ya'ni $\pi^0 = \bar{\pi}^0$, lekin neytron haqiqiy neytral zarra emas $n \neq \bar{n}$. Zarralarning bu xususiyatiga keyinroq to'xtalib o'tamiz. Hozirda foton, elektron, uch turdagi neytrino va proton haqiqiy stabil zarra deb qaraladi. Endi zarralarni bir-biridan farq qiluvchi xususiyati – ularning xarakteristikalariga to'xtalib o'tamiz. Zarralarni xarakterlovchi kattaliklar-kvant sonlari saqlanish qonunlari asosida yuzaga keladi. Bu saqlanish qonunlari fazo-vaqt simmetriyasi yoki ichki fazo simmetriyalari natijasida yuzaga keladi. Ichki simmetriya o'zaro ta'sir simmetriyasini ifodalaydi va ichki kvant sonlariga olib keladi.

1. Massa

Zarraning o'ziga xos individualligini belgilovchi kattalik uning massasidir. Eynshteyn tenglamasi $E_0 = mc^2$ ga ko'ra massa

megaelektronvoltlarda ifodalanadi. Har qanday o'zaro ta'sirda massa saqlanishi kerak. Massa dinamik tabiatga ega va zarralarning asosiy klassifikatsiya belgisi hisoblanmaydi. D.I.Mendeleyev ham elementar davriy jadvalini dastlab atomlar massasiga qarab tuzgan va bu urinish noto'g'ri bo'lib chiqdi.

2. Spin

Zarraning ikkinchi xarakteristik belgisi uning spinidir. J-spin $\hbar$ birliklarida o'lchanadi va zarraning xususiy harakat miqdori momentini belgilaydi. Masalan, fotonning spini-1, gravitonni-2, leptonlar-1/2, mezonlar-0, barionlar - 1/2, Ω - giperon - 3/2 spinga ega. Butun spinli zarralar – bozonlar, kasr spinli zarralar esa – fermionlar deb ataladi.

3. Juftlik

Zarralarning uchinchi xarakteristikasi fazoviy juftligidir. Fazoviy juftlik deganda, zarracha to'liq funksiyasining fazo koordinatasini $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ kabi o'zgartirgandagi o'zini tutishi tushuniladi. Agar fizik kattalik komponentalari yuqoridagi o'zgartirish bajarilganda o'zgarmasdan qolsa, bu kattalik musbat juftlikka ega deyiladi va $\eta = +1$ bo'ladi, ya'ni $\psi(-\vec{r}) = \Psi(\vec{r})$ bo'lsa. Agar ishorasini o'zgartirsa, $\eta = -1$ bo'ladi. Bunda $\Psi(-\vec{r}) = -\Psi(\vec{r})$ bo'ladi, ya'ni manfiy juftlikka ega deyiladi. Fazoviy juftlik tushunchasidan tashqari, ichki fazo juftligi tushunchasi ham mavjud. Fazoviy juftlik zarracha holatini xarakterlaydi. Ichki fazoviy juftlik esa bevosita zarrachani xarakterlaydi. Zarrachani xarakterlovchi kvant sonlari ichki fazoviy juftlik bilan bog'liqdir. Zarralar sistemasi juftligi shu sistemaga kirgan zarrachalar juftliklari ko'paytmasiga teng.

$$\eta = \eta_0(-1)^e \text{ dan}$$

$$\eta = \eta_0^{(1)} \dots \eta_0^{(N)} (1)^{e_1 + \dots + e_N}$$

Bu yerda, η_0 – zarracha ichki juftligi.

$(-1)^e = \eta_e$ – uning orbital juftligi.

Gravitondan boshqa barcha bozonlar juftligi manfiy. Mezon rezonanslari esa manfiy va musbat juftliklarga ega bo'ladi. Barcha barionlar fazoviy juftligi musbat, antibarionlar esa manfiy fazoviy juftlikka ega. Jadvallarda spin va juftlik J^π kabi birgalikda beriladi.

Bu xarakteristika foton uchun 1^- , graviton uchun 2^+ , pion uchun 0^- , va protonniki $\frac{1}{2}$ va hokazo bo'ladi.

Zarralarning biz qarab o'tgan uch xususiyati ularning «geometrik», ya'ni fazo-vaqt simmetriyasiga asoslangan xarakteristikalaridir. Zarralarning boshqa xususiyatlari ichki fazo «yashirin» simmetriyasiga asoslangan bo'lib, ichki kvant sonlariga, ya'ni saqlanuvchi kattaliklarga olib keladi.

4. Zarralarning elektr zaryadi q elektron elektr zaryadiga karrali bo'ladi. Zarralar zaryadi odatda 0 yoki 1 ga teng bo'ladi. Δ -zarralarda esa $q = +2$, ularning antizarralarida esa $q = -2$ bo'ladi.

5. Magnit moment- μ tinch turgan zarrachaning tashqi magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirini xarakterlaydi va $\mu_0 = \frac{eh}{2m}$ - magneton birliklarida o'lchanadi. Atom fizikasidan ma'lumki, zarrachaning magnit momenti uning spini bilan uzviy bog'langan va $J \geq \frac{1}{2}$ spinli zarralarga xosdir.

6. Lepton zaryadi -L leptonlar uchun +1 ga, antileptonlar uchun esa -1 ga teng. Elektron lepton zaryadi $-L_e$, myuon lepton zaryadi $-L_\mu$ va taon lepton zaryadi $-L_\tau$ mavjud bo'lib $L_e + L_\mu + L_\tau = L$ bo'ladi va lepton zaryadi saqlanishi har bir avlod leptonlar uchun alohida bajariladi.

7. Barion zaryadi- V barionlar uchun +1 ga, antibarionlar uchun esa -1 ga teng. Barion va lepton zaryadlari additiv kvant sonlari hisoblanadi. Atom yadrolari uchun barion kvant soni yadroning massa soni A ga teng bo'ladi.

8. Izospin -T izomultipletni xarakterlaydi. Bu izomultipletdagi zarralar soni -N $N=2T+1$ kabi aniqlanadi.

J spinli zarrachaning spin holatlari ham $2J+1$ kabi aniqlangan. Izospin 0 dan $3/2$ gacha qiymatlar qabul qilishi mumkin. Masalan, η, Λ, Ω , va Λ_c zarralar uchun $T=0$, K, D, N va Ξ zarralar uchun $T=1/2$ va π hamda Σ zarralar uchun $T=1$ ga teng. Δ izobar uchun $T=3/2$ ga teng.

9. Izospin proyeksiyasi $-T_3$ -T dan T gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi va zarralarning elektr zaryadini aniqlaydi. Neytron uchun $T_3 = -1/2$, proton uchun $T_3 = +1/2$, pi-mezonlarga mos ravishda +1, 0, -1

mos keladi, $\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}$ - izobarlarga esa $-\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$ va $+\frac{3}{2}$ mos keladi. Zarrachalarning elektr zaryadi $q = T_3 + \frac{1}{2}B$ formula bilan hisoblanishi mumkin.

10. Qiziqlik kvant soni $-S$ shunday kiritilganki, qiziq zarralarning elektr zaryadi Gell-Mann-Nishidjima munosabatini qanoatlantiradi, ya'ni

$$q = T_3 + \frac{1}{2}(B + S).$$

Shu o'rinda qiziq zarralarga to'xtalib o'tamiz, tajribalarda shu narsa ayon bo'ladiki, ayrim zarralar qisqa vaqt maboynida, ya'ni $\sim 10^{-23} - 10^{-24}$ s davomida juft-juft hosil bo'ladi va juda sekin $\sim 10^{-10}$ s davomida boshqa zarralarga parchalanadi. Demak, bu zarralar kuchli ta'sir natijasida hosil bo'lib, kuchsiz ta'sir ostida parchalanadi. Bu hodisani tushuntirish uchun yangi kvant soni-qiziqlik va qiziq kvark-s fanga kiritildi. Demak, agar $\pi^- + p \rightarrow \kappa^- + \kappa^+ + n$ jarayonni qarasak, κ^- va κ^+ mezonlar $S=-1$ va $S=+1$ qiziq kvant sonli zarralar bo'lib, π^- va p uchun $S=0$. Qiziq zarralar kuchli ta'sir ostida faqat juft, kuchsiz ta'sirda esa toq holda ham hosil bo'ladi. Bunday jarayonlarga keyinchalik yana qaytamiz.

11. Giperzaryad $-Y$ oddiy va qiziq zarralar uchun $Y=B+S$ kabi aniqlanadi. U holda yuqoridagi Gell-Mann-Nishidjima munosabati $q = T_3 + \frac{1}{2}Y$ kabi yoziladi.

S -qiziqlik kvant soniga qaraganda giperzaryad hisoblashlarda ancha qulaydir.

12. Maftunkorlik kvant soni- S qiziqlik kvant soni kabi fanga kiritilgan va u, d, s kvarklardan tuzilgan adronlar kabi, to'rtinchi kvark- c qatnashgan adronlarni xarakterlaydi. D -mezon va L_c -giperonlar uchun $S=+1$, ularning antizarralari uchun esa $S=-1$ ga teng. Adronlarning kvark strukturasi qaraganimizda bu hol yanada tushunarli bo'ladi. Bu holda Gell-Mann-Nishidjima munosabati

$$q = T_3 + \frac{1}{2}(B + S + C)$$
 ko'rinishga keladi.

Giperzaryad esa $Y = B + S + C$ kabi ifodalanadi.

13. Zaryad juftligi $-\eta_c$ fazo juftligi η_p - ga o'xshash bo'lib, bu kvant soni zaryad qo'shma operatori $\hat{C}$ - ta'sirida zarracha to'liqin

funksiyasi o'zgarishini aniqlaydi. $\hat{C}$ -zaryad qo'shma operatori zarracha to'liqin funksiyasini unga mos antizarracha to'liqin funksiyasiga almashtiradi.

$$\hat{C}X = \bar{X}$$

Bu yerda X-zarrachani (yoki uning to'liqin funksiyasini) belgilaydi. $\hat{C}$ - operatori ermit operatoridir, ya'ni unga qo'shma operator - $\hat{C}^*$ $\hat{C}$ operatorga teng

$$\hat{C} = \hat{C}^*$$

Ma'lumki, fizikada ermit operatori biror fizik kattalikni ifodalaydi. Shu sababli, o'lchashda $\hat{C}$ operatorining xususiy qiymatlaridan biri η_c ga ega bo'lishimiz mumkin.

Ya'ni

$$\hat{C}X = \eta_c X,$$

bu yerda

η_c -kvant soni zarrachaning zaryad juftligi deb ataladi.

$\hat{C}^2 = 1$ bo'lgani uchun $\eta_c^2 = 1$ bo'ladi.

Shu sababli, fazoviy juftlik- η_p kabi $\eta_c = +1$ yoki $\eta_c = -1$ bo'ladi. Barcha zarralar ham aniq zaryad juftligiga ega emas. Haqiqiy neytral zarralar, ya'ni o'zining antizarrasi bilan mos tushadigan zarralar aniq zaryad juftligiga egadir. Bunday zarralarga γ -foton, π^0 -mezon, η^0 -mezon, ρ^0 va ω^0 -rezonanslar va hali tajribada tasdiqlanmagan G- graviton kiradi. Bu zarrachalarning barcha "«zaryad»" kvant sonlari (L,B,T₃,S,C,Y) q 0 ga teng. Masalan,

$$\eta_c(\gamma) = -1$$

chunki $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ dan

$$\eta_c(\pi^0) = +1, \quad \eta_c(\pi^0) = \eta_c(\gamma)\eta_c(\gamma) = (-1)(-1) = +1$$

Shu bilan birga pozitroniy, ya'ni ye^+ va ye^- dan tuzilgan neytral «atom» ma'lum zaryad juftligiga ega.

14. Har bir zarracha o'rtacha yashash vaqti τ bilan ham xarakterlanadi. Zarrachaning yashash vaqti seknudlarda ifodalanadi. Odatda rezonanslar yashash vaqti energetik birliklarda o'lchanuvchi G- parchalanish kengliklarida ham ifodalanadi. Nostabil zarracha

parchalanish kanallari, odatda % larda ifodalanadi va jadvallarda keltiriladi.

Biz zarrachani xarakterlovchi kattaliklarni qarab chiqdik. Endi zarrachalar olamidagi saqlanish qonunlariga to'xtalib o'tamiz. Chunki yuqorida biz qarab chiqqan kattaliklar shu saqlanish qonunlari asosida yuzaga keladi. Birinchi qarashdayoq bu kattaliklarning ayrimlari sun'iy ravishda kiritilgan va zarrachalarga berilgan ayrim qiymatlari ixtiyoriy bo'lib ko'rinadi. Lekin qarab chiqilgan kattaliklar-kvant sonlari chuqur fizik ma'noga ega va ular barcha yoki ayrim jarayonlarda saqlanadilar. Saqlanish qonunlari boshlang'ich va oxirgi holatlarni harakterlovchi kattaliklar orasidagi tenglikni ifodalaydi. Neter teoremasiga ko'ra saqlanish qonunlari invariantlik prinsiplari bilan bog'liqdir. Invariantlik prinsiplari o'zida simmetriyalarni mujassamlashtirgan bo'ladi. Simmetriya geometrik (fazo-vaqt xususiyatlarini izohlovchi) va ichki (o'zaro ta'sirlarning umumiy xususiyatlarini izohlovchi) simmetriyaga bo'linadi. Klassik fizikada saqlanish qonunlari fazo-vaqtning aniq simmetriya xususiyatlaridan kelib chiqadi. Harakatni ifodalovchi dinamik tenglamalar ma'lum ko'rinishga ega bo'ladi va shu tenglamalardan saqlanish qonunlari bevosita kelib chiqadi. Saqlanish qonunlari vaqt va fazodagi uzluksiz siljishlarga va fazodagi uzluksiz burilishlarga nisbatan simmetriya mavjudligidan kelib chiqadi. Shu bilan birga bu saqlanish qonunlari klassik fizikada cheklangan, ya'ni energiya, impuls va impuls momentlari saqlanish qonunlari mavjud. Endi kvant fizikasiga kelsak quyidagi farqni ko'rishimiz mumkin. birinchidan, kvant fizikasida saqlanish qonunlari klassik fizikaga qaraganda ko'proqdir. Chunki kvant fizikasida fazo-vaqtning uzluksiz almashtirishlari bilan birga, ularning diskret almashtirishlarga nisbatan simmetriya xususiyatlari hamda klassik fizikaga xos bo'lmagan ichki fazodagi simmetriyalar ham kuchga kiradi (masalan, kuchli ta'sirning elektr zaryadiga bog'liq bo'lmashligi izospin simmetriyani yuzaga keltiradi). Ikkinchidan klassik fizikaga o'xshamagan holat yuzaga keladi, ya'ni saqlanish qonunlari ma'lum o'zaro ta'sir turida saqlanib boshqalarida saqlanmaydi, ya'ni taxminiy xarakteriga ega bo'ladi. Masalan, izopin saqlanish qonuni kuchli o'zaro ta'sirda saqlanadi, elektromagnit o'zaro ta'sirda esa buziladi. O'zaro ta'sir qanchalik intensiv sodir bo'lsa, unga shuncha ko'p saqlanish qonuni mos keladi. Yana bir

holat mavjudki, kvant fizikasida ko'pincha tenglamalar noma'lum ko'rinishga ega, shu sababli ham saqlanish qonunlari muhim ahamiyat kasb etadi va faqat saqlanish qonunlarigina zarrachalar xususiyatlari to'g'risidagi ma'lumotlarni o'zida mujassamlashtirgan bo'ladi. Endi shu saqlanish qonunlarini qarab chiqamiz.

1. Universal saqlanish qonunlari. Bu saqlanish qonunlari barcha o'zaro ta'sirlarda ham o'rinli bo'lib, ularga 4- impuls $P(E_0, \vec{p})$ – saqlanish qonuni, $\vec{J}$ -impuls momenti saqlanish qonuni, q- elektr zaryadi saqlanish qonuni, L-lepton va B-barion zaryadlari saqlanish qonunlari kiradi.

a) P-4-impuls saqlanish qonuni 4- o'lchamli Minkovskiy fazosining bir jinsligi bilan bog'liq. Ya'ni oddiy 3- o'lchovli fazo nuqtalari hamda barcha vaqt momentlarining tenglik xususiyati bilan bog'liq. Boshqacha aytganda, bu qonun dinamik tenglamalarning sanoq sistemasini fazoda va vaqt bo'yicha siljitganda kovariantligi (o'z ko'rinishini o'zgartirmasligi) dan kelib chiqadi.

$P^2 = M^2$ tenglikdan, bu saqlanish qonuni zarracha xarakteristikasi bo'lgan M-uning massasini aniqlashga olib keladi.

b) $\vec{J}$ -impuls momenti saqlanish qonuni fazo izotropiyasi, ya'ni fazo barcha yo'nalishlarining teng kuchligidan kelib chiqadi. Ya'ni sanoq sistemasining fazodagi burilishlarga nisbatan kovariantligi natijasida yuzaga keladi. Spin-to'la impuls momenti komponentasi bunga misol bo'ladi. Atom fizikasidan ma'lumki, $\vec{J} = \vec{l} + \vec{s}$ lekin zarralar fizikasida $S=J$, ya'ni spin J harfi bilan belgilanadi. Impuls momenti saqlanish qonuni quyidagi qoidaga olib keladi: boshlang'ich va oxirgi holatlardagi spinlar yig'indisi teng bo'lishi kerak. Shu sababli, $n \rightarrow p + e^-$ parchalanish sodir bo'lmaydi va neytrino kashf qilingan. Neytron spini $\frac{1}{2}$ ga teng, $p + e^-$ esa 1 spinga ega.

d) q-elektr zaryadi saqlanish qonuni geometrik tabiatga ega emas va dinamik tenglamalarning kalibrovkali almashtirishlarga nisbatan kovariantligi natijasida yuzaga keladi, ya'ni

$$\Psi_\alpha(x) \rightarrow \Psi'_\alpha(x) = e^{iq_\alpha \alpha} \Psi_\alpha(X),$$

$$\Psi^*_\alpha(x) \rightarrow \Psi'^*_\alpha(x) = e^{-iq_\alpha \alpha} \Psi^*_\alpha(X),$$

bu yerda $\Psi_a(x)$ -a- zarracha to'liq funksiyasi, $x=(\vec{r},t)$, α -haqiqiy parametr, q_a - butun son bo'lib, a-zarracha zaryadini anglatadi. Kalibrovkali almashtirish koordinataga aloqasi bo'lmasdan, faqat to'liq funksiyani o'zgartiradi. Bu kalibrovkali almashtirish ichki simmetriya almashtirishlariga misol bo'la oladi. Elektr zaryadi saqlanish qonuni juda aniq bajariladi. Parchalanish sharti $m_a \geq \sum_{\alpha} m_{\alpha}$ elektronning absolyut stabilligini bildiradi, chunki undan yengil va zaryadga ega bo'lgan zarracha yo'q. Hozirgi tajribalar elektron yashash vaqti $\tau_e > 2 \cdot 10^{22}$ yil ekanligini ko'rsatmoqda.

e) L-lepton zaryadi saqlanish qonuni elektr zaryadi saqlanish qonuniga o'xshashdir.

$$L = L_e + L_{\mu} + L_{\tau}$$

ya'ni har bir juft lepton zaryadi alohida saqlanishi kerak. Lepton zaryadi saqlanish qonuni juda aniq bajarilmasligi ham mumkin. Va shu sababli neytrino massasining 0 ga teng emasligi $m_{\nu} \neq 0$ bilan birgalikda neytrino ossilyatsiyasiga ham olib kelishi mumkin.

f) V-barion zaryadining saqlanish qonuni ham kalibrovkali invariantlik bilan bog'liqdir. Bu qonunning natijasi sifatida protonning absolyut stabilligi kelib chiqadi. Lekin zamonaviy nazariy usullar bu saqlanish qonuni ham aniq bajarilmasligini ko'rsatmoqda va shu sababli protonning yashash vaqti $\tau_p > 10^{32}$ yil deb belgilanadi. Bu qarab chiqqan saqlanish qonunlari barcha o'zaro ta'sirlarda bajariladi. Endi har bir o'zaro ta'sirda bajariladigan spetsifik saqlanish qonunlariga to'xtalamiz.

2. Kuchli o'zaro ta'sir eng simmetrik o'zaro ta'sirdir. Bu o'zaro ta'sirda S- qiziqlik kvant soni va $\vec{T}$ - izospin saqlanish qonunlari o'rinalidir.

A) S-qiziqlik kvant soni saqlanish qonuni qiziq zarrachalarning ochilishi bilan bog'liq. Bu zarrachalar kuchli o'zaro ta'sirda hosil bo'lib, kuchsiz o'zaro ta'sir ostida parchalanadi. Ikkita oddiy ($S=0$) zarracha to'qnashganda bitta ($S \neq 0$) qiziq zarracha hosil bo'lsa, unga qarama-qarshi qiziqlik ishorali zarra ham hosil bo'lishi kerak. Masalan,

$$\pi^+ + p \rightarrow K^+ + \sum^+, \text{ ya'ni } 0 + 0 = +1 - 1$$

bo'ladi. Lekin $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^+ + \pi^-$ sodir bo'lmaydi.

Chunki $0 + 0 \nrightarrow -1 + 0$ sababli, barcha boshqa saqlanish qonunlari bajarilishiga qaramasdan bu jarayon kuzatilmaydi.

B) $\bar{T}$ -izospin saqlanish qonuni izospin simmetriya, ya'ni kuchli o'zaro ta'sirning izospin almashtirishlariga nisbatan invariantligi bilan bog'liqdir. Bu saqlanish qonuni yadro kuchlarining elektr zaryadiga bog'liqmaslik xususiyatini belgilaydi. Kuchli o'zaro ta'sirda izospin saqlanish qonuni $\Delta T = 0$ va $\Delta T_3 = 0$ qoidasiga olib keladi.

3. Elektromagnit o'zaro ta'sirda T-izospin saqlanmaydi. Boshqa barcha saqlanish qonunlari, shu bilan birga T_3 - izospin proyeksiyasi saqlanishi bajariladi. Chunki T_3 saqlanish qonuni zaryad saqlanish qonunini ta'minlaydi. Masalan, $\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$, $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ jarayonlarda $\Delta T = 1$ ga teng, ya'ni $\Delta T = 0$ qonun buziladi.

4. O'zaro kuchsiz ta'sirda 1 punktdagi barcha univer saqlanish qonunlari bajariladi. S- qiziqlik kvant soni saqlanmaydi, aks holda eng yengil qiziq zarralar - K-mezonlar stabil zarralar bo'lardi. Bunda $\Delta S = 0$ yoki $\Delta S = \pm 1$ bo'ladi. Birinchi holga neytronning β -parchalanishi misol bo'ladi. Shu sababli ham Ξ -giperon birdaniga oddiy zarrachalarga parchalanmaydi, chunki bu holda $S = -2$ bo'lib, faqat kaskad ko'rinishda oddiy zarrachalarga o'tishi mumkin. S-maftunlik kvant soni uchun ham shu qoidalar o'rinlidir. T-Izospin va uning T_3 -proyeksiyasi ham saqlanmaydi. Masalan,

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-, \quad \Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0, \quad \Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$$

O'zaro kuchsiz ta'sirda fazoviy va zaryad juftliklari ham saqlanmaydi. Bu xususiyatlarga alohida to'xtalib o'tamiz. Biz qarab chiqqan saqlanish qonunlarini ixcham ko'rinishda quyidagicha ifodalash mumkin.

1. Barcha jarayonlarda energiya va impuls momenti saqlanishi hamda

$$\Delta q = 0, \quad \Delta L_a = 0, \quad \Delta B = 0$$

bo'lishi kerak.

2. Kuchli o'zaro ta'sir jarayonlarida

$$\Delta T = 0, \quad \Delta S = 0, \quad \Delta C = 0$$

Lekin qatnashuvchi barcha zarralar adron bo'lishi kerak.

3. Elektromagnit jarayonlarda

$$\Delta T \neq 0, \quad \Delta T_3 = 0, \quad \Delta S = 0, \quad \Delta C = 0$$

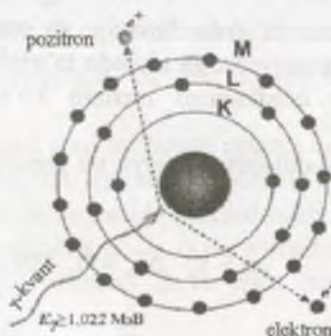
adronlar, zaryadlangan leptonlar, fotonlar qatnashgan holda.

4. Kuchsiz o'zaro ta'sirlarda 2 va 3 punktdagi qoidalar bajarilmaydi. Agar bu qoidalar bajarilgan bo'lib, jarayonda neytrino qatnashsa ham kuchsiz jarayon hisoblanadi. Shu o'rinda saqlanish qonunlariga bog'liq bo'lmagan umumiy qoidani ham aytib o'tish o'rinli: agar ma'lum jarayonda oxirgi zarralar soni qancha kam va ular umumiy massasi qancha kichik bo'lsa, bu jarayonning sodir bo'lish ehtimolligi shuncha katta bo'ladi.

7.2-§. Zarralar va antizarralar

Ko'pchilik elementar zarralarga ularning antizarralar mos keladi. Tinchlikdagi massalari, spinlari, izotopik spinlari va yashash vaqti zarra va antizarralarda bir xil bo'ladi.

Agar foton energiyasi $2m_e c^2$ dan kam bo'lmasa, u yadro maydonidan o'tayotganda elektron va pozitron juftini hosil qiladi (7.1-rasm).



7.1-rasm. Elektron-pozitron jufti hosil bo'lish sxemasi.

Elektron va pozitron uchrashganda annigilatsiyaga uchraydi va 2 ta yoki 3 ta fonlar hosil bo'ladi:

$e^+ + e^- \rightarrow 2 \gamma$ spinlari antiparallel oriyentatsiyada;

$e^+ + e^- \rightarrow 3 \gamma$ spinlari parallel oriyentatsiyada.

Har qanday zarraning antizarrasi mavjud. Quyidagi jadvalda zarra va antizarralar keltirilgan.

1965-yilda AQSH da birinchi antiyadro – antideytron qayd qilindi:

$$Z = -1, \quad B = -2, \quad M({}_1^2\bar{H}) = M({}_1^2\text{He})$$

1970-yilda Rossiyada ilk bor antiyadro - ${}_2^3\bar{\text{He}}$ (antigeliy – 3) aniqlandi. Bu antiyadro 2 ta antiproton va bitta antineytrondan tashkil topgan:

$$Z = -2, \quad B = -3, \quad M({}_2^3\bar{\text{He}}) = M({}_2^3\text{He})$$

1973-yilda Rossiyada yana bir antiyadro – antitritiy kashf etildi:

$$Z = -1, \quad B = -3, \quad M({}_1^3\bar{\text{H}}) = M({}_1^3\text{H})$$

Zarra	Antizarra
Elektron e^-	Pozitron e^+
elektron neytrinosi ν_e	elektron anti neytrinosi $\bar{\nu}_e$
myuon neytrinosi ν_μ	myuon antineytrinosi $\bar{\nu}_\mu$
myuon yoki myu-mezon μ^-	myuon yoki myu-mezon μ^+
pion yoki pi-mezon π^+	pion yoki pi-mezon π^-
proton va neytron p, n	antiproton va antineytron $\bar{p}, \bar{n}$

Yakunida shuni ham ta'kidlash kerakki, hozirgi kunda Yerda (planetamizda) bitta ham antiatom aniqlanmagan. Bu uni tashkil qilgan zarralar kashf etilishiga qaramasdan ($\bar{p}, \bar{n}$ va e^+).

7.3-§. Elementar zarralar va saqlanish qonunlari

Elementar zarralar o'zaro ta'sirlashganda, bir-biriga aylanishi, tug'ilishi, yutilishi va parchalanishi mumkin. Ammo bu jarayonlar faqat ma'lum sharoitda, qat'iy saqlanish qonunlariga mos holda amalga oshadi.

Saqlanish qonunlarining fizikaviy mazmuniga to'xtalib o'tamiz.

1. Elektr zaryadi saqlanish qonuni.

Bu tabiatning fundamental qonunlaridan biri bo'lib, bunga asosan istalgan berilgan sistemada elektr zaryadlarning algebraik yig'indisi o'zgarmasdan qoladi. Ya'ni elementar zarralar ishtirokida yuz beradigan har bir reaksiyalarda, reaksiyaga kirishayotgan zarralarning elektr zaryadlari yig'indisi, hosilaviy zarralar elektr zaryadlarining yig'indisiga teng bo'ladi. Misollar:

$$\gamma + d \rightarrow p + n$$

$$0 + 1 = 1 + 0$$

$$p + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + n$$

$$1 + 1 = 2 + 0$$

$$\gamma + {}_Z^AX \rightarrow {}_Z^AX + e^- + e^+$$

$$0 + Z = Z - 1 + 1$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$0 = +1 + (-1) + 0$$

2. Barion zaryadning saqlanish qonuni.

Misollar:

$$1) n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$1 = 1 + 0 + 0$$

$$2) \gamma + d \rightarrow p + n$$

$$0 + 2 = 1 + 1$$

$$3) p + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + \gamma$$

$$1 + 2 = 3 + 0$$

$$4) \alpha + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + p$$

$$4 + 14 = 17 + 1$$

3. Lepton zaryadining saqlanish qonuni.

Lepton zaryadi 3 xil bo'ladi, ya'ni L_e , L_μ va L_τ

Elektron va elektron neytrinosi uchun:

$$L_e = +1 \quad (e^-, \nu_e)$$

Pozitron va antineytrinosi uchun:

$$L_e = -1 \quad (e^+, \bar{\nu}_e)$$

Myuon lepton zaryadi: L_μ

$$\mu^-, \nu_\mu \text{ uchun}$$

$$L_\mu = +1$$

$$\mu^+, \bar{\nu}_\mu \text{ uchun}$$

$$L_\mu = -1$$

Tau lepton zaryadi: L_τ

$$\tau^-, \nu_\tau \text{ uchun}$$

$$L_\tau = +1$$

$$\tau^+, \bar{\nu}_\tau \text{ uchun}$$

$$L_\tau = -1$$

Misollar: $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$

$$+1_\mu = 1_e + 1_\mu + (-1_e)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu$$

$$-1_\mu = -1_e + 1_e + (-1_\mu)$$

Elementar zarralar o'zaro ta'sirida energiya va impuls saqlanish qonuni bajariladi. Shuningdek, izotopik spin saqlanish qonuni ham bajariladi.

G'alatilik. G'alatilik saqlanish qonuni

k-mezonlar va giperonlarning xususiyatlarida g'alatilik kuzatilgan. Shuning uchun ham mazkur zarralarni "g'alati zarralar" deb nom berilgan. Bularning boshqa zarralardan farqi, g'alatiligi nimada?

1-o'ziga xosligi (fazilati). G'alati zarralar energetik qulay bo'lgan holda ham bittadan tug'ilmaydi (paydo bo'lmaydi). Masalan, giperonlar faqat k-mezonlar bilan juftlikda tug'iladi (paydo bo'ladilar), k-mezonlar esa bir-biri bilan juftlikda yoki giperonlar bilan juftlikda paydo bo'ladi. Quyidagi reaksiyalar energetik yuz berish imkoniyatiga ega, lekin haqiqatda bular kuzatilmaydi:

$$\begin{array}{ll} n + n \rightarrow \lambda^0 + n & 0 + 0 \neq -1 + 0 \\ n + n \rightarrow \lambda^0 + n & 0 + 0 \neq -1 + (-1) \\ p + p \rightarrow n + p + k^+ & 0 + 0 \neq 0 + 0 + 1 \text{ va h.k.} \end{array}$$

Reaksiya yonida ushbu zarrachalar uchun g'alatilik yozilgan. Lekin quyidagi reaksiyalar imkoniyatga ega va kuzatiladi.

$$\begin{array}{ll} p + p \rightarrow n + k^+ + \epsilon^+ & 0 + 0 = 0 + 1 + (-1) \\ \pi^- + p \rightarrow \lambda^0 + k^+ & 0 + 0 = -1 + 1 \\ \pi^- + p \rightarrow \epsilon^0 + k^0 & 0 + 0 = -1 + 1 \\ \pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + k^+ + k^+ & 0 + 0 = -2 + 1 + 1 \end{array}$$

G'alati zarralarning bu farq qiluvchi fazilatlarini miqdor jihatdan ifodalash uchun g'alatilik S degan kvant son kiritilgan.

Har turdagi elementar zarraga aniq bir g'alatilik soni mos keladi:

S=-3	S=-2	S=-1	S=0	S=+1	S=+2	S=+3
Ω^-	Σ^-, Σ^0	λ^0, ϵ^+ ϵ^0, ϵ^- k^-, k^0	p, n π^+, π^0, π^- η	$\lambda^{\sim 0}, \epsilon^{\sim +}$ $\epsilon^{\sim 0}, \epsilon^{\sim -}$ k^+, k^0	$\Sigma^{\sim -}, \Sigma^{\sim 0}$	$\Omega^{\sim -}$

Bu tabiatning fundamental qonunlaridan biri bo'lib, bunga asosan istalgan berilgan sistemada elektr zaryadlarning algebraik yig'indisi o'zgarmasdan qoladi. Ya'ni elementar zarralar ishtirokida yuz beradigan har bir reaksiyalarda, reaksiyaga kirishayotgan zarralarning elektr zaryadlari yig'indisi, hosilaviy zarralar elektr zaryadlarining yig'indisiga teng bo'ladi. Misollar:

$$\gamma + d \rightarrow p + n$$

$$0 + 1 = 1 + 0$$

$$p + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + n$$

$$1 + 1 = 2 + 0$$

$$\gamma + {}_Z^AX \rightarrow {}_Z^AX + e^- + e^+$$

$$0 + Z = Z - 1 + 1$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$0 = +1 + (-1) + 0$$

2. Barion zaryadning saqlanish qonuni.

Misollar:

$$1) n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$1 = 1 + 0 + 0$$

$$2) \gamma + d \rightarrow p + n$$

$$0 + 2 = 1 + 1$$

$$3) p + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + \gamma$$

$$1 + 2 = 3 + 0$$

$$4) \alpha + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + p$$

$$4 + 14 = 17 + 1$$

3. Lepton zaryadining saqlanish qonuni.

Lepton zaryadi 3 xil bo'ladi, ya'ni L_e , L_μ va L_τ

Elektron va elektron neytrinosi uchun:

$$L_e = +1 \quad (e^-, \nu_e)$$

Pozitron va antineytrinosi uchun:

$$L_e = -1 \quad (e^+, \bar{\nu}_e)$$

Myuon lepton zaryadi: L_μ

$$\mu^-, \nu_\mu \text{ uchun}$$

$$L_\mu = +1$$

$$\mu^+, \bar{\nu}_\mu \text{ uchun}$$

$$L_\mu = -1$$

Tau lepton zaryadi: L_τ

$$\tau^-, \nu_\tau \text{ uchun}$$

$$L_\tau = +1$$

$$\tau^+, \bar{\nu}_\tau \text{ uchun}$$

$$L_\tau = -1$$

Misollar: $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$

$$+1_\mu = 1_e + 1_\mu + (-1_e)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu$$

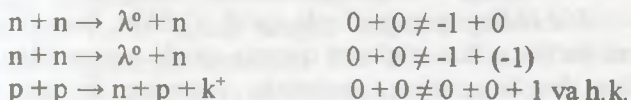
$$-1_\mu = -1_e + 1_e + (-1_\mu)$$

Elementar zarralar o'zaro ta'sirida energiya va impuls saqlanish qonuni bajariladi. Shuningdek, izotopik spin saqlanish qonuni ham bajariladi.

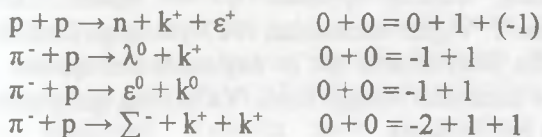
G'alatilik. G'alatilik saqlanish qonuni

k-mezonlar va giperonlarning xususiyatlarida g'alatilik kuzatilgan. Shuning uchun ham mazkur zarralarni "g'alati zarralar" deb nom berilgan. Bularning boshqa zarralardan farqi, g'alatiligi nimada?

1-o'ziga xosligi (fazilati). G'alati zarralar energetik qulay bo'lgan holda ham bittadan tug'ilmaydi (paydo bo'lmaydi). Masalan, giperonlar faqat k-mezonlar bilan juftlikda tug'iladi (paydo bo'ladilar), k-mezonlar esa bir-biri bilan juftlikda yoki giperonlar bilan juftlikda paydo bo'ladi. Quyidagi reaksiyalar energetik yuz berish imkoniyatiga ega, lekin haqiqatda bular kuzatilmaydi:



Reaksiya yonida ushbu zarrachalar uchun g'alatilik yozilgan. Lekin quyidagi reaksiyalar imkoniyatga ega va kuzatiladi.



G'alati zarralarning bu farq qiluvchi fazilatlarini miqdor jihatdan ifodalash uchun g'alatilik S degan kvant son kiritilgan.

Har turdagi elementar zarraga aniq bir g'alatilik soni mos keladi:

S=-3	S=-2	S=-1	S=0	S=+1	S=+2	S=+3
Ω^-	Σ^-, Σ^0	λ^0, ϵ^+ ϵ^0, ϵ^- k^-, k^0	p, n π^+, π^0, π^- η	$\lambda^{\sim 0}, \epsilon^{\sim +}$ $\epsilon^{\sim 0}, \epsilon^{\sim -}$ k^+, k^0	$\Sigma^{\sim -}, \Sigma^{\sim 0}$	$\Omega^{\sim -}$

Kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydigan zarralar uchun $S=0$ ga teng. "g'alati" kvant soni S , barion zaryad B va $Q/e = Z$ orasida quyidagi sodda bog'lanish mavjud:

$$S = 2 (Q/e - T_3) - B$$

bu yerda, T_3 – izotopik spin proyeksiyasi

G'alatilikning saqlanish qonuniga misollar:

$$\pi^- + p \rightarrow \lambda^0 + K^0$$

$$\pi^+ + p \rightarrow \Sigma^+ + K^0$$

$$p + p \rightarrow \lambda^0 + K^+ + p$$

$$\pi^+ + n \rightarrow \Sigma^- + K^+ + K^+$$

$$\pi^- + p \rightarrow K^+ + K^- + n$$

$$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$$

Fazoviy juftlikning saqlanmaslik xususiyati

Biz oldingi paragraflarda qarab o'tdikki, fazoviy juftlik -kvant soni bo'lib, u fazo o'qlarini qarama-qarshi tomon bilan almashtirish bilan bog'liq, uning saqlanishi fazoning ko'zgu simmetriyasi sabablidir. Boshqacha qilib aytganda, juftlikning saqlanishi jarayonlarning real dunyoda hamda ko'zgudagi aks dunyoda bir xilda sodir bo'lishini bildiradi, ya'ni $\Psi' = \hat{P}\Psi$ bo'lganda $\hat{P}$ ermit operatorining xususiy qiymati $\eta = +1$ buladi. Dastlab juftlik tushunchasi Y. Vigner tomonidan 1927-yili fanga kiritildi va bu kvant soni barcha jarayonlarda qat'iy saqlanadi deb qaraldi. 1954-1956-yillari Θ - τ muammo yuzaga keldi. Ya'ni bitta qiziq zarracha ikki xil yo'l bilan parchalanadi.

$$Q^+ = \pi^+ + \pi^0, \quad \tau^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

Shu ikki xil yo'l bilan parchalanishni e'tiborga olmasa bu zarrachalar K^+ mezonga mos keladi. $\eta_p(K) = -1$ bo'lgani uchun va tekshirishlar $\eta_p(Q) = +1$, $\eta_p(\tau) = -1$ ekanligini tasdiqlagani uchun 1956-yili T. Li va Ch. Yang kuchsiz o'zaro ta'sirlarda juftlik saqlanmasligi to'g'risidagi gipotezani ilgari surishdi. Yuqoridagi misolda K^+ mezon juftlik buzilishi sababli $\pi^+ + \pi^0$ ga, saqlanishi sababli esa $\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ ga parchalanishi sodir bo'ladi. Keyinchalik juftlik saqlanmasligi nafaqat K^+ mezonga, balkim barcha kuchsiz o'zaro ta'sirga xos xususiyat ekanligi ayon bo'ldi. Shu sababli,

kuchsiz o'zaro ta'sir lagranjini kuchsiz toklarning ko'paytmasi ko'rinishida ifodalanib, kuchsiz toklarning o'zi esa vektor va aksialvektor kattaliklarning ayirmasi ko'rinishida ifodalanadi.

$$L_w = \frac{G_F}{\sqrt{2}} J_\mu J_\mu^* = \frac{G_F}{\sqrt{2}} (V - A)_\mu (V - A)_\mu^*$$

Ikkita V-A tokning ko'paytmasi esa skalyar va psevdoskalyarning yig'indisini beradi. Skalyar qo'shiluvchi sababli K^+ -mezon juftlikni saqlagan holda 3 ta pionga, psevdoskalyar qo'shiluvchi hisobidan esa K^+ -mezon juftlikni saqlamagan holda 2 ta pionga parchalanadi.

Kuchsiz o'zaro ta'sirda juftlik saqlanmasligi 1957-yili S. Vu tomonidan tajribadan tasdiqlandi. Tajribada ^{60}Co yadrolarining β^- parchalanishdagi elektronlar burchak taqsimoti o'rganildi. ^{60}Co yadrolari spini $I=5$ bo'lib tashqi magnit maydoni ta'sirida oson oriyentatsiyasini o'zgartirish mumkin. Shu bilan birga yadrolar issiqlik harakati ta'sirini kamaytirish maqsadida namuna juda past temperaturalargacha sovitildi. R-juftlik buzilishi uchun elektronlar burchak taqsimotida assimetriya kuzatilishi kerak, ya'ni yadrolar spini yo'nalishida va uning qarama-qarshi yo'nalishda chiqqan elektronlar soni bir-biriga mos kelmasligi kerak. Yadro spini aksialvektor kattalik bo'lgani uchun ko'zgudagi aksida uning yo'nalishi o'zgarmaydi, elektron impulsi vektor kattalik bo'lgani uchun esa aksida o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Tajriba elektronlarning burchak assimetriasini tasdiqladi. Yadrolar spini yo'nalishida chiqqan elektronlar soni unga qarama-qarshi yo'nalishdagidan 40 % ga ko'pligi aniqlandi. Vu tajribasi kuchsiz o'zaro ta'sirda juftlik saqlanmasligini isbotladi va 1957-yili T. Li va Ch. Yang Nobel mukofotiga sazovar bo'ldi.

7.4-§. Kombinatsiyalangan juftlik va neytral K-mezonlar xossalari

Tabiatda ikki xil almashtirishlar mavjud: uzluksiz va diskret almashtirishlar va shu bilan birga ularga mos simmetriyalar ham. Uzluksiz almashtirishlarga fazo-vaqtdagi siljishlar va sanoq sistemasi burilishlari misol bo'ladi. Uzluksiz almashtirishlarga nisbatan simmetriyalar natijasida energiya, impuls va impuls momenti saqlanish qonunlari yuzaga keladi. Bu simmetriyalar fazo-vaqtning bir jinsligi va izotropikligidan yuzaga keladi. Diskret almashtirishlar shunday almashtirishki, bunda agar almashtirish ketma-ket ikki marta bajarilsa, sistema oldingi holatiga qaytadi. Diskret almashtirishlarga R-, S- va T- almashtirishlar kiradi. Oldingi paragrafda biz R- almashtirishni ko'rib o'tdik. Agar bu almashtirish operatorini bir marta qo'llasak, jarayonning ko'zgudagi aksini hosil qilamiz. Ikkinchi marta qo'llasak esa dastlabki jarayonga qaytib kelamiz. Demak, diskret almashtirish operatorlari uchun $\hat{P}^2 = \hat{C}^2 = \hat{F}^2 = 1$ deb yozishimiz mumkin.

Shu xususiyati bilan diskret almashtirishlar uzluksiz almashtirishlardan farq qiladi. R-almashtirishga nisbatan invariantlik (simmetriya real jarayon va uning ko'zgudagi aksi bir xil ehtimollik bilan yuz berishini bildiradi). Shunga o'xshash T-invariantlik biror jarayon va unga teskari jarayon bir xil ehtimollik bilan, S-invariantlik esa biror jarayon va undagi zarralar antizarralarga aylantirilgandagi jarayon bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Endi oldingi paragrafdagi R-juftlikning buzilishini qarasak, bu hodisa fazoning xossasi bo'lmasdan, balkim zarrachaning xossasidir. Chunki fazo bir jinsli va izotropdir. Bunga misol qilib neytrinoni qarashimiz mumkin. Ma'lumki, neytrino chap spirallik xususiyatiga ega. Ya'ni spinning impuls yo'nalishiga proyeksiyasi doimo manfiydir. Shu sababli, bu zarrachaning ko'zgudagi aksi (R- almashtirishdan keyin) o'ng spiral neytrinoga o'tadi. Lekin tabiatda bunday neytrino mavjud emas. Shu sababli S-almashtirishni qo'llasak neytrino antineytrinoga o'tadi va u o'ng spirallikka egadir. Va bunday zarracha bizning real dunyomizda mavjuddir. Shunday qilib, fazoning ko'zgu simmetriyasi tiklandi. Bu g'oya 1957-yili L. Landau, A. Salam, T. Li va Ch. Yang tomonidan ilgari surilgan kuchsiz, o'zaro ta'sirda kombinatsiyalangan, ya'ni SR-

juftlikning saqlanish qonunini tashkil qiladi. Kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sir $\hat{P}$ va $\hat{C}$ -almashtirishlarga, hamda $\hat{P}\hat{C}$ -kombinatsiyalangan almashtirishlarga nisbatan invariantdir. Kuchsiz o'zaro ta'sir $\hat{P}$ -invariant emasligi uchun $\hat{C}$ -almashtirish bu simmetriyani tiklaydi deb qaraldi. Ya'ni SR-juftlik kuchsiz o'zaro ta'sirda saqlanishi kerak. Kombinatsiyalangan juftlik kvant soni - η_{PC}

$$\eta_{PC} = \eta_P \eta_C \text{ kabi aniqlanadi.}$$

$$\text{Masalan, } \eta_{PC}(\pi^0) = \eta_P(\pi^0)\eta_C(\pi^0) = (-1) \cdot (+1) = -1$$

Shu kabi elektr neytral sistemalar uchun

$$\eta_{PC}(\pi\pi) = +1$$

$$\eta_{PC}(\pi\pi\pi) = \begin{cases} -1 & l - \text{Juft son} \\ +1 & l - \text{Toq son} \end{cases}$$

Dastlab kuchsiz ta'sir SR- invariant deb qaraldi. Lekin 1964-yili uzoq yashovchi K mezonning 2 ta pionga parchalanishi kuzatildi.

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

Chunki SR- toq holatdagi K_L^0 mezon asosan $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ga parchalanardi. $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ jarayonda esa $\pi^+ \pi^-$ holat SR- juft holatdir. Shunday qilib, kuchsiz ta'sirda SR- invariantlik ham buzilar ekan.

K_L^0 -mezonning $\pi^0 \pi^0$, $e^+ \nu \pi^+$, $\mu^+ \nu \pi^+$ kanallarga parchalanishi ham SR-invariantlikning (shu bilan birga T-invariantlikning ham) buzilishini tasdiqladi. Lekin SR-invariantlikning buzilishi juda kichik (amplitudaning 10^{-3} qismini tashkil qiladi) bo'lib, faqat K_L^0 -mezon parchalanish kanallarida kuzatilmoqda. SR-invariantlik buzilishning tabiati haligacha noma'lum.

Endi neytral kaonlar xususiyatlariga to'xtalib o'tamiz. K^0 - va $\bar{K}^0$ - mezonlar mos holda $S = +1$ va $S = -1$ qiziq kvant soniga ega. Shu sababli, neytral K mezonlar haqiqiy neytral zarra emas va kombinatsiyalangan juftlik ularni bir-biriga aylantiradi.

$$\hat{P}\hat{C}K^0 = \bar{K}^0, \quad \hat{P}\hat{C}\bar{K}^0 = K^0$$

Kuchli o'zaro ta'sirda S-kvant soni saqlanishi sababli K^0 va $\bar{K}^0$ o'zlarini alohida tutishadi.

Masalan,

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0 \text{ sodir bo'ladi,}$$

$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \bar{K}^0$ sodir bo'lmaydi.

Kuchsiz o'zaro ta'sirni qarasak, K^0 va $\bar{K}^0$ orasida farq yo'qoladi. Masalan, $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (a) parchalanish sodir bo'ladi. Unga qo'shma jarayon $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (b) ham SR-invariantlik sababli, undan oldingi jarayon bilan bir xil ehtimollikda sodir bo'lishi kerak. Ya'ni K^0 va $\bar{K}^0$ orasidagi farq yo'qoladi. Oxirgi ikki jarayonning o'ng tomoni $\eta_{CP}(\pi\pi) = +1$ kombinatsiyalangan juftlikka ega, chap tomoni esa aniq η_{CP} juftlikka ega emas, chunki K^0 va $\bar{K}^0$ -mezonlar haqiqiy neytral zarralar emas. Bu muammoni tushuntirish uchun quyidagi almashtirishlarni bajaramiz.

$$\kappa^0 = \frac{\kappa^0 + \bar{\kappa}^0}{2} + \frac{\kappa^0 - \bar{\kappa}^0}{2}, \quad \bar{\kappa}^0 = \frac{\kappa^0 + \bar{\kappa}^0}{2} - \frac{\kappa^0 - \bar{\kappa}^0}{2}$$

Bu yerda $\kappa_1^0 = \frac{\kappa^0 + \bar{\kappa}^0}{\sqrt{2}}$ va $\kappa_2^0 = \frac{\kappa^0 - \bar{\kappa}^0}{\sqrt{2}}$ (v) deb belgilash kiritsak,

yuqoridagi ifodalar $\kappa^0 = \frac{\kappa_1^0 + \kappa_2^0}{\sqrt{2}}$, $\bar{\kappa}^0 = \frac{\kappa_1^0 - \kappa_2^0}{\sqrt{2}}$ ko'rinishga keladi. Endi

κ_1^0 va κ_2^0 ga $\hat{P}\hat{C}$ -operatorini ta'sir ettirsak,

$$\hat{P}\hat{C}\kappa_{1,2}^0 = \hat{P}\hat{C}\frac{\kappa^0 \pm \bar{\kappa}^0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}(\hat{P}\hat{C}\kappa^0 \pm \hat{P}\hat{C}\bar{\kappa}^0) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{\kappa}^0 \pm \kappa^0) = \pm \kappa_{1,2}^0$$

bo'ladi, ya'ni $\eta_{CP}(\kappa_1^0) = +1$ va $\eta_{CP}(\kappa_2^0) = -1$. Demak, κ^0 - va $\bar{\kappa}^0$ -mezonlar aniq RS-juftlikka ega bo'lmaganda, ularning superpozitsiyasi κ_1^0 - va κ_2^0 - aniq RS-juftlikka ega. Shu sababli, (a) va (b) jarayonlar realdir va bunda RS-juft bo'lgan κ_1^0 komponenta ishtirok etadi. (v) ifodani r va $\bar{p}$, n va $\bar{n}$ zarralar uchun yozib bo'lmaydi chunki V-va q-zaryadi saqlanish qonunlari bu zarrachalar uchun aniq bajariladi. κ^0 - va $\bar{\kappa}^0$ -mezonlar faqat S-kvant soni bilan farqlanadi va o'zaro kuchsiz ta'sirda bu kvant soni saqlanmaydi. Shu ma'noda superpozitsiya D^0 -va $\bar{D}^0$ -mezonlar uchun ham o'rinli bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, agar lepton zaryadi saqlanmasa, $\nu_e \leftrightarrow \bar{\nu}_e$ va $\nu_\mu \leftrightarrow \bar{\nu}_\mu$ neytrino ossilatsiyalari har sodir bo'lishi mumkin. Bu hodisaga alohida to'xtalib o'tamiz. Demak, kuchli o'zaro ta'sirda neytral kaonlar κ^0 - va $\bar{\kappa}^0$ ko'rinishida, kuchsiz o'zaro ta'sirda esa κ_1^0 va κ_2^0 -holatlarda ishtirok etadi va bu ta'sirlarda kombinatsiyalangan juftlik saqlanadi.

$$\kappa_1^0 \rightarrow 2\pi(\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-, \pi^+\pi^-\pi^0), \kappa_2^0 \rightarrow 3\pi(\pi^0\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0)$$

parchalanishlar sodir bo'ladi. Lekin $\kappa_2^0 \rightarrow 2\pi$ parchalanish umuman sodir bo'lmaydi. Tajribadan 2π va 3π ga parchalanishlarda neytral K-mezonlarning yashash davri mos ravishda $\tau_{2\pi} \approx 0,9 \cdot 10^{-19} \text{ c}$ va $\tau_{3\pi} \approx 5,2 \cdot 10^{-8} \text{ c}$ ekanligi aniqlandi. Shu sababli κ_1^0 va κ_2^0 holatlar mos ravishda qisqa va uzoq yashovchi mezonlar deyiladi.

$$\kappa_S^0 = k_1^0, \quad k_L^0 = k_2^0$$

κ_1^0 va κ_2^0 holatlar mavjudligi 1955-yili M. Gell-Mann va A. Pays tomonidan aytilgan, κ_L^0 -holat 1957-yili L. Lederman guruhi tomonidan topilgan. Demak, κ_S^0 va κ_L^0 -holatlar nuqtayi nazaridan kombinatsiyalangan juftlik saqlanadi, ya'ni $\kappa_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, $k_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0, \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ va $k_L^0 \rightarrow 2\pi$. Lekin 1964-yili $k_L^0 \rightarrow 2\pi$ jarayon J. Kronin, V. Fitch va boshqalar tomonidan tajribada kuzatildi. Bu $k_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ parchalanish kombinatsiyalangan juftlik saqlanish qonunga ko'ra taqiqlangan edi. Keyinroq esa $k_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ parchalanish kuzatildi. Bu kanallar k_L^0 barcha parchalanishlarining mos ravishda 0,22% va 0,09 % tashkil qildi. Demak, $\kappa_S^0 = k_1^0$ va $k_L^0 = k_2^0$ tengliklar o'rinli emas va

$$k_S^0 = \frac{k_1^0 + \varepsilon k_2^0}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}, \quad k_L^0 = \frac{k_2^0 + \varepsilon k_1^0}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}$$

superpozitsiya o'rinli. Tajribalar $\varepsilon \approx 2,3 \cdot 10^{-3}$ ekanligini ko'rsatdi. Shu sababli yuqorgi superpozitsiyani

$$k_S^0 = k_1^0 + \varepsilon k_2^0, \quad k_L^0 = k_2^0 + \varepsilon k_1^0 \text{ deb yozish mumkin.}$$

SR- invariantlik buzilgan

$$k_L^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e, \quad k_L^0 \rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu$$

parchalanishlar va ularga qo'shma

$$k_L^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e, \quad k_L^0 \rightarrow \pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

jarayonlar ham tajribada kuzatildi. Bunda yuqorigi (Ga) va pastki (Gb) parchalanishlar ehtimolliklari bir-biriga teng emasligi

kuzatildi. $\frac{\Gamma_s - \Gamma_a}{\Gamma_s + \Gamma_a} = 3.30 \pm 0.12 \cdot 10^{-3}$, ya'ni asimmetriya darajasi ϵ bilan bir xil tajribada va juda kichik.

Kombinatsiyalangan juftlik boshqa hodisalarda ham kuzatilish mumkin. Faqat neytral k-mezonlarda bu hodisa yetarli darajada sezilarli. Neytron dipol momenti ($-P_n = el$, $l \leq 6 \cdot 10^{-27}$ m agar mavjud bo'lsa), koinotdagi barion assimetriya (r va p lar $\bar{p}$ va $\bar{n}$ ga qaraganda ko'p tarqalganligi)si ham SR-neinvariantlik bilan bog'lanmoqda. SR-neinvariantlik mikroduyoda vaqt uqi mavjudligiga ham ishora qilmoqda. SR-invariantlikning buzilishi kvark modeli doirasida olingan Kabibbo-Kabayashi-Maskva aralashishi matritsasi bilan bog'lashmoqda va uning tabiati haligacha noma'lum.

7.5-§. T-almashtirish va SRT-teorema

Biz R-va S-almashtirishlarni qarab o'tgandik. R-juftlik buzilishi κ^+ -mezonning 2π va 3π larga parchalanishida kuzatilgan edi. R-juftlik biror fizik kattalikning koordinatalar uqlarini ko'zguga akslantirgandagi o'zgarishini bildiradi.

$$x \rightarrow -x, \quad y \rightarrow -y, \quad z \rightarrow -z$$

Agar biror jarayon R-invariantlik desak, shu real jarayon va ko'zgudagi uning aksi bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Lekin ^{60}Co yadrosi β^- -parchalanish misolida R-invariantlik buzilishini ko'rib chiqdik.

S-almashtirish esa zarrachani antizarrachaga almashtiriladi. S-invariantlik biror jarayon va undagi barcha zarrachalarni antizarralarga aylantirilgan jarayon bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Lekin neytral k-mezonlar misolida kuchsiz o'zaro ta'sirlarda R-va RS-kombinatsiyalangan invariantlik buzilishini ko'rib chiqdik.

Diskret almashtirishlarning yana biri, bu T-almashtirishlardir. T-almashtirishda vaqt uqi $t \rightarrow -t$ ga almashtiriladi.

T-almashtirishga nisbatan invariantlik biror jarayon va unga teskari jarayon ehtimolligi bir-biriga tengligini bildiradi.

O'tgan paragrafda qarab chiqqan $k_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ jarayon SR-kombinatsiyalangan invarinatlikning buzilishini bildiradi. Shu bilan birga, bu jarayon T-invariantlikning ham buzilishini anglatadi. Chunki κ_L^0 asosan 3π holatga parchalanadi va juda oz ehtimollik bilan 2π holatga parchalanadi. Agar endi teskari jarayonni qarasak, $\pi^0 - \pi^0 - \pi^0$ holat κ_L^0 -mezon holatining to'la yashash vaqtini ifodalay olmaydi.

Ya'ni T-invariantlik buziladi. $\hat{C}$ va $\hat{P}$ - operatorlari ma'lum harakatni ifodalagani kabi, $\hat{T}$ -operator t-argumentga -t ni mos qo'yadi. Ya'ni sistema boshlang'ich va oxirgi holatlarini o'zaro almashtiradi, zarrachalar impulslari va spin proyeksiyalari ishorasini o'zgartiradi.

Kattalik	Operatsiya	
	$\hat{P}$	$\hat{T}$
Koordinatalar	$\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$	$\vec{r} \rightarrow \vec{r}$
Vaqt	$t \rightarrow t$	$t \rightarrow -t$
massa	$m \rightarrow m$	$m \rightarrow m$
impuls	$\vec{p} \rightarrow -\vec{p}$	$\vec{p} \rightarrow -\vec{p}$
impuls momenti	$\vec{L} \rightarrow \vec{L}$	$\vec{L} \rightarrow -\vec{L}$
kuch	$\vec{F} = -\vec{F}$	$\vec{F} \rightarrow \vec{F}$
Energiya	$E \rightarrow E$	$E \rightarrow E$
Zaryad	$e \rightarrow e$	$e \rightarrow e$
Elektr maydoni	$\vec{\varepsilon} \rightarrow -\vec{\varepsilon}$	$\vec{\varepsilon} \rightarrow \vec{\varepsilon}$
Magnit maydoni	$\vec{\beta} = \vec{\beta}$	$\vec{\beta} \rightarrow -\vec{\beta}$

Bu jadvalni to'ldirishda quyidagi ifodalardan foydalaniladi.

$$\vec{P} = m \frac{d\vec{r}}{dt}; \quad \vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]; \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}; \quad E = \frac{m \cdot g^2}{2}; \quad \vec{F}_e = e\vec{\varepsilon} + e[\vec{\beta}, \vec{B}]$$

Shredinger tenglamasida t-vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosila qatnashadi va $\hat{T}$ almashtirish uning ishorasini o'zgartiradi. Shu sababli, bu tenglamaning kovariantligini saqlash uchun to'liq

funksiyaning vaqt argumenti ishorasini o'zgartirishi bilan birga, to'liq funksiyaning o'zi ham kompleks qo'shmasiga almashtiriladi.

$$\hat{T}\Psi(\vec{r}, t) = \Psi^*(\vec{r}, -t)$$

Shu sababli, $\hat{T}$ -operator ermit operatori emas, ya'ni bu operatorga fizik kattalikni mos qo'yib bo'lmaydi (vaqt juftlik tushunchasi mavjud emas). Shu sababli T invariantlik qandaydir saqlanish qonunlariga olib kelmaydi.

Shunday bo'lsada, to'g'ri va teskari yo'nalishda sodir bo'luvchi jarayonlar ehtimolliklari orasidagi ma'lum munosabatga olib keladi. Mikroduyodagi barcha jarayonlar (ayrim jarayonlardan tashqari) vaqt bo'yicha qaytariluvchandir. Endi SRT-teoremaga kelsak, uni quyidagicha ta'riflashimiz mumkin: Agar biror jarayonga birdaniga

$\hat{C}$ -, $\hat{P}$ - va $\hat{T}$ - operatorlarni qo'llasak, hosil bo'lgan jarayon boshlang'ich jarayon bilan bir xil ehtimollikda sodir bo'ladi. Bunda alohida $\hat{C}$ -, $\hat{P}$ - va $\hat{T}$ -almashtirishlarda invariantlik buzilishi mumkin, lekin bir invariantlikning buzilishi, boshqasining buzilishi hisobidan kompensatsiyalanadi, lekin uchala almashtirishdan keyin simmetriya yana tiklanadi. Haligacha SRT- invariantlik buzilgan jarayon kuzatilgan emas. Bu tasdiq 1951-55-yillarda G. Lyuders va V. Pauli isbotlagan SRT- teoremaning mazmunidir.

7.6-§. Kvarklar

Elementar zarralar deb nomlangan zarralar shu qadar ko'payib ketdiki, natijada ularning elementarligiga jiddiy shubha tug'ildi. 1964-yil Gell-Man (amerikalik olim) va undan mustaqil holda Sveyg (amerikalik olim) shunday bir gipotezani ilgari surdilar, bunga asosan hamma adronlar (mezonlar va barionlar) kvarklar deb nomlangan 3 ta zarralardan tashkil topgan. Bu zarralarga kasr kvant sonlar yoziladi, xususan elektr zaryad mos holda 3 ta kvark uchun $+2/3$, $-1/3$, $1/3$ ga teng. Bu kvarklar odatda u (ingilizcha so'z "up" ya'ni yuqoriga), d (down – pastga) va s (strange – g'alati) harflar bilan belgilanadi. Kvarklardan tashqari 3 ta antikvar, ya'ni $\bar{u}$, $\bar{d}$, $\bar{s}$ ham mavjud. Quyidagi jadvalda kvarklarga to'g'ri

keladigan xususiyatlar yozilgan (c , b , t – kvarklarni keyinroq muhokama qilamiz).

Kvarklar turi (aromat)	Elektr zaryadi, q	Barion zaryadi, B	Spini	Jozibasi, G	Rangi
u	+2/3	+1/3	1/2	0	sariq, ko'k,
d	-1/3	+1/3	1/2	0	qizil
s	-1/3	+1/3	1/2	0	»
c	+2/3	+1/3	1/2	+1	»
b	-1/3	+1/3	1/2	0	»
t	+2/3	+1/3	1/2	0	»

Neytron uchta kvarkdan tashkil topgan, ya'ni $n \rightarrow udd$

elektr zaryad bo'yicha: $u = +2/3$, $d = -1/3$.
 $+2/3 - 1/3 - 1/3 = (+2 - 2) / 3 = 0/3 = 0$



barion zaryad bo'yicha: $+1/3 + 1/3 + 1/3 = 3/3 = 1$

spinlar oriyentatsiyasi bo'yicha: $\uparrow \downarrow \uparrow +1/2 - 1/2 + 1/2 = 1/2$

Keyinchalik kvarklar sistemasini kengaytirishga to'g'ri keldi.

Qator fikrlashlar bo'yicha qisman Pauli prinsipi bilan bo'ladigan qarama-qarshiliklarni bartaraf qilish uchun kvark rangi tushunchasi kiritildi. Har bir kvark 3 xil rangda bo'lishi mumkin ekan. Ya'ni: sariq, ko'k va qizil. Shuni ham aytib o'tish kerakki, ushbu ranglar aralashmasi "nol" rangni, ya'ni oq rangni berishi kerak.

Adronlarda kvarklar ranglarining qo'shilishi shunday bilishi kerakki, bunda o'rtacha rang nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni rangsiz bo'lishi kerak. Masalan, proton tarkibiga quyidagi ranglar kiradi: u (sariq), u (ko'k) va d (qizil). Yig'indisi esa oq rang bo'ladi, ya'ni nolavoy rang.

Antikvarklar qo'shimcha ranglar (antiranglar)ga bo'yalgan bo'ladi. Ranglar yig'indisi esa "nol" rangga teng bo'ladi. Mos holda kvarklar va antikvarklardan iborat bo'lgan mezonlar ham nol rangga ega bo'ladilar.

Kvarklar turi (aromat)	Elektr zaryadi, q	Barion zaryadi, B	Spini	Jozibasi, G	Rang
u	-2/3	-1/3	1/2	0	binafsha,
d	+1/3	-1/3	1/2	0	to'q sariq
s	+1/3	-1/3	1/2	0	(apelsin
c	-2/3	-1/3	1/2	-1	rangi),
b	+1/3	-1/3	1/2	0	yashil
t	-2/3	-1/3	1/2	0	(ko'k)

“Rang” va “maftunkorlik” — bu kvant sonlar nomlanishi.

Mezonlar kvark-antikvark juftligidan, barionlar esa 3 ta kvarklardan hosil bo'ladi. Quyidagi jadvalda ushbu tuzulmalardan ba'zi birlari keltirilgan:

Zarra	Tarkibi	Elektr zaryadi, q	Barion zaryadi, B	Kvark spinlarining o'zaro oriyentatsiyasi	Zarralar spini
π^+	ud	+1	0	$\uparrow\downarrow$	0
π^-	$u\bar{d}$	-1	0	$\uparrow\downarrow$	0
p	uud	+1	+1	$\uparrow\downarrow\uparrow$	1/2
n	udd	0	+1	$\uparrow\downarrow\uparrow$	1/2

Sariq rang uchun antirang bo'lib binafsha rang, ko'k rang uchun to'q sariq (apelsin), qizil rang uchun esa yashil rang hisoblanadi.

Kvark ranglari asosan (elektr zaryadiga o'xshab) kvarklarning o'zaro tortishish va itarishish xossalari ifodalaydi.

Rang	Atirang
sariq	binafsha
ko'k	To'q sariq
qizil	yashil

Har xil o'zaro ta'sirlar kvantlariga (elektromagnit o'zaro ta'sirlarda fotonlar, kuchli o'zaro ta'sirlarda π -mezonlar kabi) o'xshash holda kvarklar orasidagi o'zaro ta'sirni tashuvchi zarralar

kiritilgan. Bu zarralar glyuonlar (inglizcha glue - kley) deb nomlangan. Glyuonlar spini 1 ga teng, tinchlikdagi massasi nolga teng. Glyuonlar bir kvarkdan ikkinchisiga rang tashiydi, natijada kvarklar birgalikda ushlab turiladi.

1974-yili, bir vaqtning o'zida AQSH ning ikki laboratoriyasida massasi juda katta bo'lgan, ya'ni 3,10 GeV bo'lgan zarra kashf etildi. Laboratoriyalardan birida yangi zarracha J bilan, boshqasida esa Ψ bilan belgilanganligi uchun, bu zarraga J/Ψ – zarra (Jey-psi-zarra) deb nom berildi. Ushbu zarraning kashf qilinishi, oldindan taklif etilgan 4 ta kvarkdan tashkil topgan zarra modelini tasdiqladi. Ushbu modelda u, d, s kvarklardan tashqari 4chi kvark ishtirok etgan bo'lib, uni s—"maftunkor" kvark deyiladi (charmed – maftunkor). Mazkur kvark uchun yangi kvant son kiritilgan bo'lib, u "maftunkorlik" S hisoblanadi. Bu son s-kvark uchun 1 ga, boshqa zarralar uchun esa nolga teng.

1976-yilda kashf etilgan ψ (ipsilon) – zarra xususiyatlarini tushuntirish uchun "b" -belgini olgan 5-kvarkni kiritilishiga olib keldi. "b" belgisi "botton"- "pastki, tub" degan ma'noni bildiradi. Tez orada yana bir kvark, ya'ni 6chi kvark mavjudligi aniqlandi. Bu kvark t harfi bilan belgilangan bo'lib, t – top (yuqori) so'zidan kelib chiqqan. Shunday qilib, hozirgi kunda kvarklar sistemasiga 6 ta navdagi (aromatdagi) kvark kirgan bo'lib, ular uch xil rangda mavjud bo'ladi. Kvarklar erkin holda uchramaydi.

7.7-§. Elementar zarralarning kvant xarakteri

Atom fizikasi kursidan biz bilamizki, mikroduyo $r \leq 10^{-8}$ m masofalarda o'zini namoyon qiladi $10^{-10} < r < 10^{-8}$ m intervalda atom va molekular fizika, $\approx 10^{-15}$ m masofa yadro va elementar zarralar fizikasi, $10^{-18} < r < 10^{-15}$ m oraliq esa yuqori energiyalar fizikasi o'rganadigan jarayonlarga xosdir. Shu sababli, elementar zarralar fizikasi jarayonlari yuqori energiyalarda sodir bo'lishini inobatga olib hozirgi zamon elementar zarralar fizikasi o'rganadigan soha $10^{-18} < r < 10^{-15}$ m intervalda yotadi deyishimiz mumkin. Bunday masofalardagi jarayonlar o'zining kvant xarakterini namoyon qiladi. Ya'ni zarralar o'zining to'liq xususiyatini namoyon qiladi. Bu

o'rindagi mulohazalarni qoldirgan holda (Atom fizikasi ma'ruza matnida to'la keltirilgan) to'g'ridan-to'g'ri Shredinger tenglamasini mos holda erkin va potensial maydondagi zarra uchun yozamiz

$$\Delta\Psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E \psi = 0,$$

$$\Delta\Psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - U) \psi = 0.$$

Eslatib o'tamiz, bu tenglamalar norelyativistik $E = \frac{p^2}{2m}$ (1) tenglamadan keltirib chiqariladi.

Lekin zarrachalar bilan bo'ladigan jarayonlar yuqori tezliklarda bo'lishini inobatga olib bu norelyativistik Shredinger tenglamasini relyativistik ko'rinishda ifodalashimiz kerak. U holda (1) tenglama $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$ kabi ifodalanadi, ya'ni relyativistik ko'rinishda.

Agar (2) dan $E \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$, $\vec{p} = -i\hbar \vec{\nabla}$ kabi klassik kattaliklarni

operatorlar orqali ifodalab $\nabla^2 \varphi(\vec{r}, t) - \frac{\partial^2 \varphi(\vec{r}, t)}{\partial t^2} - m^2 \varphi(\vec{r}, t) = 0$ yoki $\square$

$\varphi(\vec{r}, t) - m^2 \varphi(\vec{r}, t) = \square - m^2) \varphi(\vec{r}, t) = 0$ tenglamaga kelimiz. Bu tenglama Shredingerning relyativistik tenglamasi yoki Kleyn-Gordon tenglamasi deyiladi. Bu tenglama 1926-yili V.Fok, O.Kleyn, V.Gordon va E.Shredinger tomonidan topilgan. Bu yerda $\square$ -Dalamber operatori bo'lib

$$\square = \nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

kabi aniqlanadi.

Kleyn-Gordon tenglamasidan, ya'ni

$$\square - m^2 = (i\hbar^n \frac{\partial}{\partial x^n} + m)(i\hbar^n \frac{\partial}{\partial x^n} - m) \text{ orqali}$$

$$(i\hbar^n \frac{\partial}{\partial x^n} + m)\Psi(x) = 0 \text{ yoki } (i\hbar^n \frac{\partial}{\partial x^n} - m)\Psi(x) = 0 \quad (3)$$

Dirak tenglamalariga kelimiz. Kleyn-Gordon tenglamasi har qanday jarayon uchun o'rinli, chunki u energiya saqlanish qonunini aks ettiradi. Dirak tenglamasi esa γ^n Dirak matritsalarini kiritilishi

sababli spinor maydonlarni-spini $\frac{1}{2}$ bo'lgan zarralarni ifodalaydi. Bu uchala tenglamaning yechimi zarracha to'liqin funksiyasining topilishiga olib keladi. To'liqin funksiya esa zarracha to'g'risidagi barcha ma'lumotni o'zida mujassamlashtirgan bo'ladi. Lekin to'liqin funksiyaning kvadrati fizik ma'noga ega bo'lib, u zarrachani ma'lum sharoitda topish ehtimoligini beradi.

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \text{ ifoda ikkita } E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

yechimga ega bo'ladi. Va manfiy energiyali holat antizarralar G'oyasiga olib kelgan. Bunga binoan, (3) ga ko'ra 1-tenglama pozitronni bayon qilgan va $-\sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$ -yechimini qanoatlantirgan. Pozitron shu tariqa birinchi marta 1930-yilda P. Dirak tomonidan nazariy yo'l bilan bashorat qilingan va 1932-yili K. Anderson tomonidan koinot nurlari tarkibida Vilson kamerasi yordamida qayd qilingan. Bunda manfiy energiyali elektron musbat zaryadli elektron holati bilan teng kuchli deb olinib uning magnit maydonidagi elektronga nisbatan qarama-qarshi tomonga og'ishi kuzatilgan. Hozirda boshqa antizarralar ham tajribada kuzatilgan.

7.8-§. Adronlar strukturasi

Oldingi ma'ruzalardan ma'lumki, biz hozirgacha qarab o'tgan elementar zarralar asosan 3 sinfga bo'linadilar: leptonlar, ular kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydilar; adronlar-o'zaro kuchli ta'sirda ham qatnashadilar; o'zaro ta'sir tashuvchilar-foton, $W^\pm$, Z^0 - bazonlar va G-graviton. Leptonlar- haqiqiy elementar zarralar hisoblanadi. Hozirda $\approx 10^{-18}$ m masofagacha ular o'zlarini nuqtaviy zarracha kabi tutishadi va o'z ichki strukturasi namoyon qilishmadi. Ikkinchidan, ular bor yo'g'i 6 ta - e^- , ν_e , μ^- , ν_μ , τ^- , ν_τ (antizarralari bilan 12 ta) bo'lib, e^- va neytrinolar absolyut stabil zarralar hisoblanadi, μ^- -mezon va τ^- -leptonning yashash vaqti esa yadro vaqtiga ($\approx 10^{-22}$ s) nisbatan ancha katta. Endi adronlarga kelsak, birinchidan, ular soni ancha ko'p bir - necha yuzga teng va asosiy qismini rezonanslar tashkil qiladi. Ikkinchidan, ular elektromagnit strukturaga ega. Maslalan, R va neytron magnit momentlariga ega. Shu sababdan adronlarga xos

umumiy xossalar izlandi va adronlar boshqa elementar zarralardan tashkil topmaganmikan degan fikr paydo bo'ldi. Bu yo'nalishdagi birinchi model E.Fermi va Ch.Yang tomonidan 1949-yili taklif qilindi. Bu modelga ko'ra o'sha vaqtda ma'lum bo'lgan p, n va ularning antizarralari fundamental zarralar deb e'lon qilindi. Lekin sal vaqt o'tib qiziq zarralar ham tajribada kuzatilishi bilan bu model kengaytirildi. Natijada barcha mavjud adronlar p, n va Λ -qiziq zarra va ular antizarralarining ma'lum kombinatsiyalaridan tuzilgan deb qaraldi. Bu qarash 1956-yili S.Sakata tomonidan ilgari surildi va Sakata modeli deb ataladi. Lekin yangi adronlarning ochilishi va ularning bu model doirasida tushuntirib bulmasligi sababli Sakata modeli inqirozga yuz tutdi. Lekin shunday bo'lsada bu model adronlar strukturasi o'rganish yo'lida katta rol o'ynadi. 1964-yili M.Gell-Mann va J.Sveyg kasr zaryadli kvarklar tripletini taklif qilishdi. Hozirda bu kvarklar u-(inglizcha up-baland, chunki $T_3 = +\frac{1}{2}$),

d(down-past, $T_3 = -\frac{1}{2}$ va s (strange-qiziq $S \neq 0$) kvarklar deb ataladi.

Ularning to'la xarakteristikallari jadvalda berilgan.

Kvark	J	η_p	B	T	T_3	Y	S	q
u	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{3}$	0	$+\frac{1}{3}$
d	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{3}$	0	$-\frac{1}{3}$
s	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{3}$	0	0	$-\frac{2}{3}$	-1	$-\frac{1}{3}$

Kvarklar uchun ham Gell-Mann-Nishidjima tenglamasi $Q = T_3 + \frac{Y}{2}$, $Y = B + S$ o'rinli. Antikvarklar uchun J va T dan boshqa barcha xarakteristikallari qarama-qarshi ishoraga ega. Kvarklar barcha adronlar tuzilishini tushuntirish va shu bilan birga ularni oddiy, yanada umumiy simmetriyaga asoslangan prinsiplar asosida tushuntirish maqsadida kiritilgan. Bunga ko'ra barcha mezonlar kvark va antikvarklardan, barionlar esa uchta kvarkdan tuzilgan

$$M = q\bar{q}, \quad B = qqq$$

Agar mezonlarni kvarklar nuqtayi nazaridan ifodalasak, quyidagi okupletni keltirishimiz mumkin.

$$\pi^- = \bar{u}d, \quad \pi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{u}u - \bar{d}d), \quad \pi^+ = \bar{d}u$$

$$\kappa^0 = \bar{s}d, \quad k^+ = \bar{s}u, \quad \bar{k}^0 = \bar{d}s, \quad k^- = \bar{u}s$$

$$\eta^0 = \frac{1}{\sqrt{6}}(\bar{u}u + \bar{d}d - 2\bar{s}s)$$

Bundan tashqari unitar singlet ham mavjud

$$\eta' = \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{u}u + \bar{d}d + \bar{s}s),$$

uning massasi 958 MeV, $T_3=Y=0$. η va η' -mezonlar uchun $S=0$, lekin ular tarkibida s- kvark mavjud. Shu sababli, bu zarralar «yashirin qiziqlik» kvant soniga ega deyiladi. Biz qarab chiqqan mezonlar-psevdoskalyar mezonlar deyiladi, chunki ular $J^P = 0^-$ kvant sonlariga ega. Bu mezonlarni tashkil qilgan kvark va antikvark spinlari antiparallel yo'nalgan bo'ladi (1S_0 -holat). Agar kvark-antikvark juftliklar 3S_1 holatda bo'lsa (kvark-antikvark spinlari parallel bo'lgan holat) 9 ta vektor mezonlar hosil bo'ladi. Vektor mezonlar kvant sonlari $J^P = 1^-$

$$\rho^- = \bar{u}d, \quad \rho^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{u}u - \bar{d}d), \quad \rho^+ = \bar{d}u$$

$$k^{*0} = \bar{s}d, \quad k^{*+} = \bar{s}u, \quad \bar{k}^{*0} = \bar{d}s, \quad k^{*-} = \bar{u}s$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6}}(\bar{u}u + \bar{d}d - 2\bar{s}s) \text{ va singlet}$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{u}u + \bar{d}d + \bar{s}s) \text{ mezon.}$$

Biz qarab o'tgan psevdoskalyar 0^- va vektor- 1^- -mezonlar orbital momenti $L=0$ ga teng. Bundan tashqari kvark-antikvark juftliklarning uyg'ongan, ya'ni $L=1$ -orbital momentga teng holatlari ham mavjud. Bu mezon rezonanslar: skalyar - $J^P = 0^+$, aksial-vektor $J^P = 1^+$ va tenzor $J^P = 2^+$ -mezonlar deyiladi. Ularning kvark strukturasi yuqorigiday bo'lib, faqat massalari va kvant sonlari bilan farq qiladilar. Bu turdagi mezon rezonanslar elementar zarralar javdvallari (Particle Data Group) da keltirilgan. Aytib o'tganimizday barionlar uchta kvarkdan tuzilgan. Tarkibida 3 ta u, d va s kvarklar bo'lgan barion okuplet quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$n = udd, \quad p = uud$$

$$\Lambda^0 = uds$$

$$\Sigma^- = dds, \quad \Sigma^0 = uds, \quad \Sigma^+ = uus$$

$$\Xi^- = dss, \quad \Xi^0 = uss$$

Bu holda barionlar spini $J = \frac{1}{2}$ bo'lishi uchun kvarklardan birining spini qolgan ikkitasi spiniga antiparallel yo'nalgan bo'lishi kerak. Agar uchala kvarkning ham spinlari bir tomonga yo'nalgan bo'lsa, $J = \frac{3}{2}$ spinli barionlar deкупletі hosil bo'ladi.

$$\Delta^- = ddd, \quad \Delta^0 = udd, \quad \Delta^+ = uud, \quad \Delta^{++} = uuu;$$

$$\Sigma^{*-} = dds, \quad \Sigma^{*0} = uds, \quad \Sigma^{*+} = uus, \quad ;$$

$$\Xi^{*-} = dss, \quad \Xi^{*0} = uss$$

$$\Omega^- = sss.$$

Barionlar okтupletі va deкупletі minimal massaga va $L=0$ -orbital momentga ega bo'lib asosiy holat barionlarini hosil qiladi. Mezonlar kabi barionlar ham o'z rezonans holatlariga, ya'ni orbital uyg'ongan $L \neq 0$ holatlariga ega. Barion rezonanslari okтuplet va deкупletiga kirgan zarralar J-spini qiymati $9/2$ gacha bo'lgan qiymatlar qabul qiladi (barion rezonanslari Particle Data Group jadvallarida keltirilgan). Shu o'rinda yana bir ichki fazoga tegishli tushuncha bilan tanishib o'tamiz. Agar Λ^0 - va Σ^0 barionlarni qarasak, ular bir xil kvarklardan tuzilgan. Λ^0 -barion izospini $I=0$, Σ^0 -barionniki esa $I=1$, ga teng va ular izospinlari hisobiga farqlanadilar. Endi Ω^- —giperonni qarasak, u sss-kvarklardan iborat bo'lib, ular spinlari bir tomonga qaragan va bu kvarklar bir xil holatlarda joylashgan. Lekin kvarklar $J = \frac{1}{2}$ spinga ega bo'lganligi sababli Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunishi hamda Pauli prinsipi bajarilishi kerak. Bu holda esa Pauli prinsipi buzilib kvarklar Boze-Eynshtey statistikasiga bo'ysunishi kelib chiqadi. Bu qarama-qarshilikni bartaraf qilish uchun kvarklar uchta holatda bo'lishi zarurligi kelib chiqdi. Bu kvant songa «rang» deyilib, u uchta qiymatga ega bo'lishi, ya'ni qizil(red), yashil (green) va ko'k (blue)

holatlarda bo'lishi bashorat qilindi. Bu yerda «rang» so'zi va qizil, yashil va ko'k ranglar ko'chma ma'noda ishlatiladi hamda tabiatdagi ranglar bilan aloqasi yo'q. «Rang» va qizil, yashil va ko'k ranglar-kvant sonlari bo'lib, ichki - «rangli» fazoga tegishlidir. Tabiatda bu uch rang qo'shilib oq rang hosil bo'lishi sababli, uchta kvark uch xil rangda yoki kvark-antikvark juftligi rang-anti rang holatda bo'lishi ham rangsiz adronlarni hosil qiladi. «Rang» - kvant soni kiritilishi sababli 2 ta qoida yuzaga keldi.

1. Barionlar turli rangdagi uchta kvarkdan tashkil topgan.

2. Mezonlar 3 xil rang teng miqdorda qatnashgan kvark-antikvarklardan iborat.

Shu sababli ham tabiatda «rang»li adronlar kuzatilmaydi.

Kvarklarning uch xil rangda bo'lishi yangi simmetriyaga-rangli simmetriyaga olib keldi. Ya'ni kuchli o'zaro ta'sir ichki rangli fazodagi $SU_c(3)$ - almashtirishlar gruppasiga nisbatan invariantdir. Rangli simmetriya aniq simmetriyadir. Ya'ni turli rangdagi, lekin bir turdagi kvark bir xil massaga egadir. $SU_c(3)$ -gruppada S-color- rang, 3 esa 3 xil rangni bildiradi. Rangli simmetriya nuqtayi nazaridan yuqorida qarab chiqqan ikkita qoidamiz quyidagi yagonaga ko'rinishga keladi: barcha adronlar rangli singletlar ko'rinishida mavjud bo'lishi kerak. Ya'ni rang-kvant soni adronlar darajasida kuzatilmaydi.

Rang tushunchasi kiritilgandan keyin turli turdagi kvarklar aromat-xushbo'ylik belgilari bilan nomlandi. (flavor-aromat,

xushbo'ylik). u- kvark $T_3 = +\frac{1}{2}$ kvant soni, d-kvark $T_3 = -\frac{1}{2}$ kvant

soni, s-kvark esa $S=-1$ kvant sonlari bilan bog'liq. u, d, va s-kvarklar-xushbo'ylik belgilaridir. Bu kvarklar o'z navbatida uch xil rangli holatda mavjud bo'lishadi. Shu o'rinda $SU(n)$ -simmetriya gruppalari to'g'risida ham to'xtalib o'tsak o'rinni bo'ladi. Yuqorida $SU_c(3)$ -simmetriyaga to'xtalib o'tuvdik. Shunga o'xshash $SU(n)$ -xushbo'ylik simmetriya gruppalari ham mavjud. Masalan, $SU(2)$ -simmetriya gruppasi u va $\bar{u}$ -kvarklardan tuzilgan adronlarni o'zida

mujassamlashtiradi. Bu yerda 2 ikkita u- va d- kvarklarni yoki $\frac{1}{2}-$

izospini bildiradi. Chunki u va d-kvarklar izospini $\frac{1}{2}-$ ga teng.

SU(3)-simmetriya esa u, d va s-kvarklarni o'z ichiga olgan adronlarni birlashtiradi. Shunday qilib, Gell-Mann va Sveygning kvark modelida 3 xil rangli 3 ta kvark va ularning antirang va antixushbo'y partnerlari- jami 18 ta fundamental zarracha bo'lib, barcha adronlar shu 18 ta zarrachadan iborat deb qaraldi. Lekin bu u, d va s- kvarklar barcha adronlarni tushuntirib berishga yetarli bo'lmadi.

Dastlab 1974-yili J/ψ - mezon tajribada kuzatildi. Bu mezon massasi proton massasidan deyarli uch marta katta bo'lib, yashash vaqti $\tau \approx 10^{-20} c$ ga teng. J/ψ -mezonning parchalanish kanallari

$$J/\Psi \rightarrow \begin{cases} ad\bar{d} \text{ adronlar} & (6\%) \\ e^+ + e^- & (74\%) \\ \mu^+ + \mu^- & (7\%). \end{cases}$$

Tez orada bu mezon to'rtinchi kvark -c- maftunkor kvarkdan tuzilgani aniqlandi. $J/\Psi = \bar{c}c$, ya'ni yashirin maftunkorlik kvant soniga ega. Shundan keyin boshqa maftunkor kvant soniga ega adronlar ham kuzatildi. J/ψ -mezon-charmoniy deb ataladi. 1979 yili esa γ (ipsilon)- mezon tajribada kuzatildi. Bu mezonni $-\bar{b}b$ - kvarklardan tuzilgan sistema deb qaraldi. V- beauty-chiroyli kvark-beshinchi kvark bo'lib, ko'pincha «bottom» - tub kvark ham deyiladi. γ - mezon-bottomiy deb ham ataladi.

1975 yili τ -lepton va unga mos ν_τ -neytrino tajribada topilgandan keyin, 6 ta leptonga mos 6 ta kvark mavjud bo'lishi va shu yo'l bilan lepton-kvark simmetriya mavjudligi bashorat qilindi. Shu yo'l bilan J/Ψ va γ -mezonlarga uxshash $-\bar{t}t$ tajribada izlandi. Hozirda esa 6- kvark-t-truth - haqiqiy (yoki top-cho'qqi) dan tuzilgan zarrachalar ham topildi.

Barcha kvarklar massalari Particle Data Group jadvallarida keltirilgan:

$$\begin{aligned} m_u &= 1,5 - 5 M\text{eV}, & m_c &= 1,1 - 1,4 \Gamma\text{eV} \\ m_d &= 3 - 9 M\text{eV}, & m_s &= 4,1 - 4,4 \Gamma\text{eV} \\ m_s &= 60 - 170 M\text{eV}, & m_t &= 173,8 \pm 5,2 \Gamma\text{eV} \end{aligned}$$

Quyidagi jadvalda og'ir kvarklarning xarakteristiklarini keltiramiz.

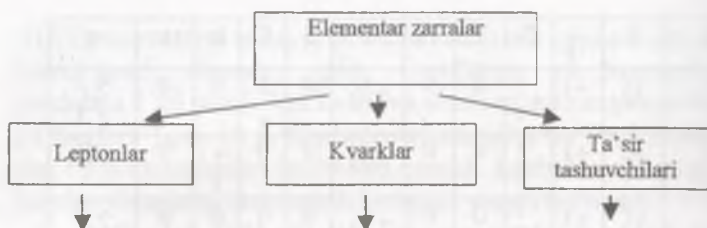
Kvark	J	η	B	T	T_3	Y	S	C	b	t	q
c	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{3}$	0	0	$+\frac{4}{3}$	0	1 +	0	0	$\frac{2}{3}$
b	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{3}$	0	0	$-\frac{2}{3}$	0	0	+	0	$-\frac{1}{3}$
t	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{3}$	0	0	$+\frac{4}{3}$	0	0	0	0	$\frac{2}{3}$

Shunday qilib, hozirda oltita kvark va ular antikvarklari orqali barcha adronlar tuzilishi tushuntiriladi. Shu sababli $SU(4)$ -, $SU(5)$ -va $SU(6)$ -simmetriya gruppalarini mavjud. Ya'ni 6 kvarklar soni yoki T_3 , s, c, b, t, -aromat (xushbo'ylik) kvant sonlari bo'lib T_3 u-va d- kvarklar uchun mos holda $+1/2$ va $-1/2$ qiymatlar qabul qiladi. Endi kvarklarning bir-biri bilan o'zaro ta'sirini qaraymiz. Ular o'zaro glyuonlar bilan bog'langan bo'lib, kvarklar esa uch xil rangli holatda bo'lishadi. Shu sababli glyuonlar KXD, - ya'ni o'zaro kuchli ta'sir tashuvchilari hisoblanib, ular 8 xil rangli kombinatsiyada mavjud bo'lishadi.

$$R\bar{G}, G\bar{R}, R\bar{B}, B\bar{R}, G\bar{B}, B\bar{G}, \sqrt{\frac{1}{2}}(R\bar{R} - G\bar{G}), \sqrt{\frac{1}{6}}(R\bar{R} + G\bar{G} - 2B\bar{B}).$$

Ya'ni glyuonlar $SU_c(3)$ - simmetriya gruppasining rangli oktetini tashkil qiladi. Lekin $\sqrt{\frac{1}{3}}(R\bar{R} + B\bar{B} + G\bar{G})$ - kombinatsiya $SU_c(3)$ -singlet bo'lib, rangli kvarklar orasidagi ta'sir tashuvchi vazifasini o'tamaydi. Shunday qilib, kuchli o'zaro ta'sirning ta'sir tashuvchilari soni 8 ta glyuondan iborat ekan. Shu o'rinda eslatib o'tamiz. Haqiqiy o'zaro kuchli kvarklar orasida sodir bo'ladi. Nuklonlarni yadroda ushlab turuvchi pion kuchlari esa glyuon kuchlarining yadro masshtabidagi «qoldig'i» hisoblanadi. Shu sababli ham o'zaro kuchli ta'sir intensivligi $-\alpha_s = 0,1 \div 10$ gacha o'zgaradi.

Endi kvarklar nuqtayi nazaridan qaraganda hozirgi zamon elementar zarralar klassifikatsiyasi juda oddiy ko'rinishga kelishini ko'ramiz.



$\nu_e, \mu^-, \tau^-, u, c, t$ g-glyuonlar

$\nu_{\mu}, \nu_{\tau}, d, s, b$ γ -foton

$W^{\pm}, Z^0$ – bozonlar

G-graviton

antizarralar

Bu jadvalga ko'ra, elementar zarralar asosan ikkiga, leptonlar va kvarklarga bo'linadi. Leptonlar va kvarklar oltita xushbo'ylikka ega va ular uch juftlikka bo'linadilar. Bu juftliklarga avlodlar deyiladi. Hozirgi paytda bu jadval elementar zarralar olamidagi barcha xilma-xillikni to'liq tushuntirib bermoqda.

7.9-§. Materiya tuzilishi to'g'risidagi zamonaviy qarashlar

Bu paragrafda biz qarab chiqqan elementar zarralar to'g'risidagi barcha ma'lumotlarni qisqacha ko'rinishda izohlab o'tamiz.

1. Barcha moddalar yadro va uning atrofini o'rovchi elektron qobidan iborat atomlardan tuzilgan. Ular o'lchami $\approx 10^{-10}$ m.

a) Elektron qobiq moddaning barcha kimyo va fizik xususiyatlarini belgilaydi.

B) Atom yadrosi har bir kimyoviy element individualligini belgilovchi mustahkam birikma. U proton va neytronlardan tuzilgan bo'lib, uch xil yadroviy jarayonlarda va ko'plab yadro reaksiyalarida qatnashadi.

2. Protonlar, neytronlar va elektronlar barcha moddalar hosil bo'lgan asosiy «G'ishtlar» hisoblanadi. Bu uchala zarra foton, neytrinolar va antineytrinolar bilan qo'shilib asosiy elementar zarralarni tashkil qiladi. Qolgan barcha elementar zarralar nostabil

hisoblanib, laboratoriyalarda yoki koinot nurlanishlarida hosil bo'ladi. Ular soni 400 dan ortiq.

3. Elementar zarralarning asosiy xususiyati ularning o'zaro bir-biriga aylanishidir. Bu o'zaro almashishlar asosan uch xil o'zaro ta'sir orqali sodir bo'ladi: kuchli, elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlar. To'rtinchi o'zaro ta'sir-gravitatsion ta'sir esa elementar zarralar dunyosida juda kuchsiz namoyon bo'ladi.

4. Barcha elementar zarralar o'zaro kuchli ta'sirda qatnashuvchilarga-adronlarga va bu ta'sirda qatnashmaydigan-foton, oraliq bozonlar va leptonlarga ajraladi.

5. Foton va leptonlar $\approx 10^{-18}$ m masofagacha o'z ichki strukturasi ega emas. Adronlar esa strukturaga ega.

6. O'zaro ta'sir tashuvchilar- γ , $W^{\pm}$, Z^0 , $8g$ va G -graviton bo'lib, ular haqiqiy elementar zarralar hisoblanadi. Ular birlik spinga va manfiy juftlikka ega: $J^n = 1^-$, faqat graviton uchun $J^n = 2^+$.

7. Elektromagnit o'zaro ta'sir tashuvchilari $-\gamma$ - foton bo'lib, uning nazariyasi kvant elektrodinamikasi hisoblanadi. Zaryadlangan yoki alohida ichki strukturaga ega bo'lgan neytral zarralar fotonlar chiqarib, yutib yoki foton almashib bu o'zaro ta'sirda qatnashadi. Foton massasi nolga tengligi sababli bu ta'sir masofasi $r = \infty$ va intensivligi $\alpha \approx 1/137$ katta bo'lganligi sababli megadunyo, makrodunyo va mikrodunyo o'lchamlarida ham bu elektromagnit ta'sir kuchli namoyon bo'ladi. Atom va molekulalar shu o'zaro ta'sir hisobidan mavjud, ya'ni yadro va elektronlar orasidagi ta'sir elektromagnit ta'sirdir. Elastiklik, ishqalanish, sirt taranglik kabi kuchlar ham elektromagnit ta'sirning ko'rinishlaridir. Moddalarning agregat holatlari, kimyoviy o'zgarishlar, elektr, magnit va optik hodisalar ham elektromagnit ta'sir sabablidir. Endi aytib o'tganimizday, elementar zarralar bilan bo'ladigan elektromagnit ta'sir mexanizmini qaraymiz. Oddiy elektromagnit ta'sirni qarasak, bu zaryadlangan zarracha tomonidan fotonning yutilishi yoki chiqarilishidir. Bir elektron tomonidan chiqarilgan foton boshqasi tomonidan yutilishi mumkin. Bunday jarayon virtual jarayon deyiladi. Ya'ni real zarra hosil bo'lmaydi. Oraliq zarrachaga esa virtual zarracha deyiladi. Zaryadlangan zarra(elektron)ning foton bilan o'zaro ta'siri

$$H_{\gamma m} = j_{\mu} \cdot A^{\mu}$$

kabi ifodalanadi. Bu yerda $j_{\mu}(p, \vec{j})$ elektron toki, A^{μ} - elektromagnit maydon 4- potentsiali.

Jarayonning grafik ko'mishda ifodalanishiga Feynman diagrammasi deyiladi. Bu usul 1949-yili amerikalik fizik R.Feynman tomonidan ishlab chiqilgan.

8. Kuchsiz o'zaro ta'sir tashuvchilari $-W^{\pm}$ - va Z^0 - oraliq bozonlardir. Bu oraliq bozonlar bilan almashinishganda zarralar o'z xushbo'yligini o'zgartiradi. Bu oraliq bozonlar faqat kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarda qatnashadi. Bu o'zaro ta'sir juda kichik $\approx 10^{-17}$ m ta'sir radiusiga ega. Shu sababli bu ta'sir faqat elementar zarralar olamida sodir bo'ladi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning gamiltoniani $H_W = \frac{g}{\sqrt{2}} j^* j$ ko'rinishida ifodalanadi. Bu yerda j-tok lepton va adron toklari yig'indisidan iborat.

$$j = j_{\text{lepton}} + j_{\text{adron}}$$

$G_F = 10^{-5} / m_p^2$ -Fermi doimiysi. G_F -universaldir, ya'ni leptonlar va adronlar uchun bir xil konstanta o'rinli. Shu sababli ham o'zaro kuchsiz ta'sir universaldir. Kuchsiz tok (V-A)- strukturaga ega. Shunda ikki tok ko'paytmasi skalyar va psevdoskalyarni beradi. Shu sababli ham o'zaro kuchsiz ta'sirda gamiltonianning skalyar qismi hisobidan juftlik saqlanadi, psevdoskalyar qismi hisobidan esa juftlik buziladi.

Kuchsiz o'zaro ta'sirning kichik masofada sodir bo'lishi bu ta'sir tashuvchilari $-W^{\pm}$ va Z^0 oraliq bozonlar massasining kattaligidan dalolat beradi

$$m_W \approx 80 \text{ GeV} \quad m_Z \approx 90 \text{ GeV}.$$

9. Kuchli o'zaro ta'sirda bevosita faqat kvarklar qatnashadi. Ta'sir tashuvchilari sifatida 8 ta massasi va elektr zaryadi nolga teng, rang va antirang tashuvchi glyuonlar ishtirok etishadi. Kvarklar

o'zaro glyuon almashib, o'z rangini o'zgartiradi, lekin xushbo'yligini o'zgartirmaydi. Glyuonlarning o'zi faqat kuchli o'zaro ta'sirda qatnashadi. Bu o'zaro ta'sirning ta'sir masofasi $\approx 10^{-15}$ m ta'sir vaqti $\approx 10^{-24} - 10^{-23}$ s. Yadro kuchlari kuchli o'zaro ta'sirning bir namoyon bo'lishlaridan biridir. O'zaro kuchli ta'sir nazariyasi - kvant xromodinamikasidir. Bu nazariyaning asoslari qurilgan, lekin haligacha tugallangan nazariya ko'rinishida shakllanmagan. Kvarklar kichik masofalarda kuchsiz ta'sirlashadilar yoki deyarli ta'sirlashmaydilar. Ularning bu xususiyatiga - assimptotik erkinlik deyiladi. Katta masofalarda esa ularning bir-biriga tortilishi oshib boradi. Bu xususiyatga-konfaynment, ya'ni kvarklar va glyuonlarni adronlar doirasida ushlab turish, ularning erkin holatda kuzatib bo'lmaslik xossasi deyiladi. Ularning mavjudligini faqat bilvosita isbotlash mumkin.

$$H_{\gamma m} = j_{\mu} \cdot A^{\mu}$$

kabi ifodalanadi. Bu yerda $j_{\mu}(p, \vec{j})$ elektron toki, A^{μ} - elektromagnit maydon 4- potensiali.

Jarayonning grafik ko'rishda ifodalanishiga Feynman diagrammasi deyiladi. Bu usul 1949-yili amerikalik fizik R.Feynman tomonidan ishlab chiqilgan.

8. Kuchsiz o'zaro ta'sir tashuvchilari $-W^{\pm}$ - va Z^0 - oraliq bozonlardir. Bu oraliq bozonlar bilan almashinishganda zarralar o'z xushbo'yligini o'zgartiradi. Bu oraliq bozonlar faqat kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarda qatnashadi. Bu o'zaro ta'sir juda kichik $\approx 10^{-17}$ m ta'sir radiusiga ega. Shu sababli bu ta'sir faqat elementar zarralar olamida sodir bo'ladi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning gamiltoniani $H_w = \frac{G_F}{\sqrt{2}} j^+ j^-$ ko'rinishida ifodalanadi. Bu yerda j-tok lepton va adron toklari yig'indisidan iborat.

$$j = j_{\text{lepton}} + j_{\text{adron}}$$

$G_F = 10^{-5} / m_p^2$ -Fermi doimiysi. G_F -universaldir, ya'ni leptonlar va adronlar uchun bir xil konstanta o'rinli. Shu sababli ham o'zaro kuchsiz ta'sir universaldir. Kuchsiz tok (V-A)- strukturaga ega. Shunda ikki tok ko'paytmasi skalyar va psevdoskalyarni beradi. Shu sababli ham o'zaro kuchsiz ta'sirda gamiltonianning skalyar qismi hisobidan juftlik saqlanadi, psevdoskalyar qismi hisobidan esa juftlik buziladi.

Kuchsiz o'zaro ta'sirning kichik masofada sodir bo'lishi bu ta'sir tashuvchilari $-W^{\pm}$ va Z^0 oraliq bozonlar massasining kattaligidan dalolat beradi

$$m_W \approx 80 \text{ GeV} \quad m_Z \approx 90 \text{ GeV}$$

9. Kuchli o'zaro ta'sirda bevosita faqat kvarklar qatnashadi. Ta'sir tashuvchilari sifatida 8 ta massasi va elektr zaryadi nolga teng, rang va antirang tashuvchi glyuonlar ishtirok etishadi. Kvarklar

o'zaro glyuon almashib, o'z rangini o'zgartiradi, lekin xushbo'yligini o'zgartirmaydi. Glyuonlarning o'zi faqat kuchli o'zaro ta'sirda qatnashadi. Bu o'zaro ta'sirning ta'sir masofasi $\approx 10^{-15}$ m ta'sir vaqti $\approx 10^{-24} - 10^{-23}$ s. Yadro kuchlari kuchli o'zaro ta'sirning bir namoyon bo'lishlaridan biridir. O'zaro kuchli ta'sir nazariyasi - kvant xromodinamikasidir. Bu nazariyaning asoslari qurilgan, lekin haligacha tugallangan nazariya ko'rinishida shakllanmagan. Kvarklar kichik masofalarda kuchsiz ta'sirlashadilar yoki deyarli ta'sirlashmaydilar. Ularning bu xususiyatiga - assimptotik erkinlik deyiladi. Katta masofalarda esa ularning bir-biriga tortilishi oshib boradi. Bu xususiyatga-konfaynment, ya'ni kvarklar va glyuonlarni adronlar doirasida ushlab turish, ularning erkin holatda kuzatib bo'lmalik xossasi deyiladi. Ularning mavjudligini faqat bilvosita isbotlash mumkin.

GLOSSARIY

Absolyut metod – modda tarkibini bevroita tahlil qilish metodi.

Aktivatsion analiz – modda atom yadrolarini aktivatsiya qilish usulida modda kimyoviy tarkibini tahlil qilish metodi.

Atom – musbat zaryadlangan og‘ir yadro va manfiy zaryadlangan elektronlar qobiqlaridan tashkil topgan mikrozarra.

Atom yadrosi – musbat zaryadlangan protonlar va zaryadsiz neytronlardan tashkil topgan mikrozarra.

Aktivlik – radioaktiv moddalarning parchalanish tezligini tavsiflovchi kattalik. Birlik vaqt ichidagi parchalanishlar soni.

Alfa-zarra – geliy atomining yadrosi bo‘lib, ikkita proton va ikkita neytronlardan tashkil topgan.

Beta-parchalanish – yadrolarning o‘z-o‘zidan elektron (prozitro), antineytrino (neytrino) chiqarib parchalanishi.

Beta-zarra – radioaktiv modda yadrolar parchalanishi natijasida chiqarayotgan uch xil nurlanishlarning biri, ya’ni elektron.

Betatron – elektronlarni yuqori energiyagacha tezlatuvchi qurilma.

Vodorod atom – bitta proton va bitta elektrondan tashkil topgan mikrozarra.

Gamma-nurlar – radioaktiv yadrolar parchalanishi natijasida chiqarayotgan uch xil nurlanishlarning biri. Gamma-nurlar bu qisqa to‘lqin uzunlikka ega bo‘lgan elektromagnit nurlanishlar.

Deyteriy – vodorodning tabiiy turg‘un izotopi bo‘lib, u bitta neytron, bitta proton va bitta elektrondan tashkil topgan. “Og‘ir vodorod” ham deyiladi.

Deytron – deyteriy atomining yadrosi bo‘lib, u bitta neytron va bitta proton tashkil topgan.

Ionizatsiya – elektr neytral atomlarni aktiv ionlarga aylanish jarayoni.

Ion – elektronini yo‘qotgan yoki elektron biriktirib olgan atom.

Izotop – protonlar soni bir xil bo‘lgan yadrolar. Masalan vodoroda uchta izotop mavjud.

Izomer yadrolar – protonlar va massa sonlari bir xil bo‘lib, radioaktivlik xususiyatlari har xil bo‘lgan yadrolar.

Kvant sonlar – kvant sistemalarning (atom, yadro, molekula va h.k.) tavsiflovchi fizik kattaliklarning qabul qiluvchi qiymatlarini aniqlovchi butun yoki kasr sonlar.

Leptonlar – kuchsiz o‘zaro ta’sirda ishtirok etuvchi zarralar bo‘lib, bularga elektron, myuon, tau-lepton va neytrinolar kiradi.

Massa soni – atom yadrosini tashkil etgan nuklonlar (proton va neytronlar) soni.

Nuklon – proton va neytronlarning umumiy nomlanishi. Yadro zarrasi degan ma’noni anglatadi.

Mikrozarralar – elementar zarralar, yadro, atom, molekular.

Mikrotron – elektronlarni yuqori energiyagacha tezlatuvchi qurilma.

Molekula – atomlardan tashkil topgan zarracha bo‘lib, u moddaning kimyoviy xususiyatlarini belgilaydi.

Pauli prinsipi – bitta atomda 4 ta kant soni bir xil bo‘lgan elektron mavjud bo‘lmashlik prinsipi.

Protiiy – yadrosi bitta protondan iborat bo‘lgan yengil vodorod atomi.

Radioaktivlik – yadroning o‘z – o‘zidan bir yoki bir nechta zarralar chiqarib parchalanishi (yemirilish) hodisasi.

Radioaktiv oilalar – bir biridan radioaktiv parchalanish natijasida hosil bo‘ladigan elementlar zanjiri. Tabiatda to‘rtta radioaktiv oila mavjud.

Tritiy – vodorodning tabiiy izotopi bo‘lib, u ikkita neytron, bitta proton va bitta elektrondan tashkil topgan “O‘ta og‘ir vodorod” ham deyiladi.

Triton – tritiy atomining yadrosi bo‘lib, ikkita neytron va bitta protondan iborat.

Rentgen nurlanishlari – juda qisqa to‘lqin uzunlikka ega bo‘lgan elektromagnit nurlanishlar ($0,06 \text{ \AA} \leq \lambda \leq 20 \text{ \AA}$).

Fermionlar – spin kvant sonlari butun yarim qiymatlar qabul qiladigan zarralar.

Foton – elementar zarra, elektromagnit nurlanishlarning kvanti.

Yadro reaksiyasi – yuqori energiyali mikrozaralar yoki yengil yadrolarning yadro bilan o‘zaro ta’sirlashishi natijasida yadro ichki holatining o‘zgarishi yoki yangi yadro hosil bo‘lish jarayoni.

Yadro reaksiya kesimi – reaksiya yuz berish ehtimolligi.

Yadro reaktori – boshqariladigan zanjir reaksiyasini amalga oshiruvchi qurilma.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Yadro reaksiyasi.
2. Yadroviy reaksiyalarining kesimi va chiqishi.
3. Yadro reaksiyalarining mexanizmi.
4. Radioaktiv yemirilish.
5. Radioaktiv yemirilishning asosiy qonunlari.
6. Ketma-ket parchalanish.
7. Alfa yemirilishi.
8. Beta yemirilishi.
9. Radioaktiv qatori va transuran elementlar.
10. Yadrolarning gamma nurlanishi.
11. Gamma-o'tishlar tavsifi. Tanlash qoidalar.
12. Aktivatsiya tenglamasi.
13. Aktivatsion analiz metodikasi
14. Ionlovchi nurlanishlarni o'lchash.
15. Miqdoriy natijalarni olish uslubiyatlari.
16. Aktivatsion analiz sezgirligi, aniqlanish va payqash chegarasi
17. Aktivatsion analiz umumiy yo'nalishi.
18. Neytron aktivatsion analiz.
19. Neytronlarning atom yadrolari bilan o'zaro ta'sirlashishi.
20. Neytronlar manbalari.
21. Issiqlik neytronlar aktivatsion analiz metodlari.
22. Neytron aktivatsion analiz aniqlash sohasi va aktivligi.
23. Monoenergetik va tormozli gamma-nurlanishlar.
24. Fotoyadro reaksiyasi.
25. Monoenergetik va tormozli nurlanishlar.
26. γ -nurlanishlar manbalari.

27. Fotoaktivatsion uslublari va qo'llanish sohalari.
28. Fotoaktivatsion (γ -aktivatsion) analiz selektivligi va aniqligi.
29. Zaryadlangan zarralar yordamida aktivatsion analiz
30. Zaryadlangan zarralarning modda bilan o'zaro ta'siri.
31. Zaryadlangan zarralar manbalari.
32. Zaryadlangan zarralardagi aktivatsion analiz uslublari va aniqligi.
33. Instrumental aktivatsion analiz metodlari.
34. γ -nurlanishlar spektrometriyasi.
35. Gamma-spektrometrda olingan spektrlarni sifat va miqdoriy analiz qilish.
36. Gamma-spektrometr metodining instrumental aktivatsion analiz uchun foydalanish.
37. Instrumental aktivatsion analizning maxsus usullari.
38. Aktivatsion analizni radiokimyoviy metodlari.

TEST SAVOLLARI

1. Yarim yemirilish davri deb nimaga aytiladi?

- A) yadrolarni yarim yemirilish uchun ketgan vaqtga aytiladi.
- B) yadrolarning 30% yemirilish uchun ketgan vaqtiga.
- C) yadrolarning 5% yemirilish uchun ketgan vaqtiga.
- D) yadrolarning 55% yemirilish uchun ketgan vaqtiga.

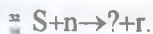
2. α -parchalanishda yadro massa soni qanchaga kamayadi?

- A) 4.
- B) 5.
- C) 10
- D) 2.

3. Beta-parchalanishda yadro massa soni qanchaga kamayadi?

- A) kamaymaydi;
- B) 2;
- C) oshadi;
- D) 3.

4. Quyidagi yadro reaksiyasi natijasida qanday yadro hosil bo'ladi?



- A) $^{32}_{15}\text{P}$;
- B) $^{32}_{18}\text{S}$;
- C) $^{18}_{17}\text{Se}$;
- D) $^{16}_8\text{O}$.

5. Qanday yadro reaksiyalari ostona energiyaga ega bo'ladi?

- A. endotermik;
- B. enzotermik;
- C. kinetik;
- D) termodinamik.

6. Detektolar tashqi radioaktiv fondan qanday himoya qilinadi?

- A) qo'rg'oshin uycha ichiga joylashtiriladi;
- B) betonli uycha ichiga joylashtiriladi;
- C) yog'ochdan yasalgan uycha ichiga joylashtiriladi;
- D) to'g'ri javob yo'q.

7. Ekspress aktivatsion analiz o'tkazish uchun qanday radionuklidlarning gamma-chiziqlaridan va qanday qurilmalardan foydalanish lozim?

- A) qisqa yashovchi radioizotoplar, pnevmopochtalardan;
- B) uzoq yashovchi radioizotoplar, ampermetrlardan;
- C) o'ta uzoq yashovchi radioizotoplar, mikroskoplardan;
- D) uzoq yashovchi radioizotoplar, teleskoplardan.

8. Neytron generatorlarda qanday zarralar tezlatiladi?

- A) ionlarni;
- B) elektronlarni;
- C) neytronlarni;
- D) mezonlarni.

9. Neytron aktivatsion analiz usulining qanday metodlari mavjud?

A) issiqlik neytronlarda aktivatsion analiz, rezonans neytronlarda aktivatsion analiz, tez neytronlarda aktivatsion analiz;

B) issiqlik neytronlarda aktivatsion analiz, energetik aktivatsion analiz, gamma-kvantlarda aktivatsion analiz;

C) o'ta uzoq yashovchi radioizotoplarda aktivatsion analiz, mikroskoplardan aktivatsion analiz, fotonlarda aktivatsion analiz;

D) uzoq yashovchi radioizotoplar aktivatsion analiz, teleskoplardan neytron aktivatsion analiz.

10. Yadro reaksiyalarning oraliq yadro modeli kim tomonida taklif etilgan?

- A) N. Bor;
- B) I. Kurchatov;
- C) E. Rezerford;

D) Maks Plank.

11. Aktivatsion analizda interferensiyalanuvchi yadro reaksiya deb nimaga aytiladi?

A) bir necha reaksiya natijasida bir xil radioizotop hosil bo'lishiga;

B) radioizotoplar hosil bo'lishiga;

C) yadro reaktorida neytronlar hosil bo'lishig;

D) neytron ta'sirida reaksiya yuz berishiga.

12. Gamma-nurlanishlar modda orqali o'tganda ularning intensivligi qanday qonuniyat bo'yicha kamayadi?

A) eksponensial;

B) kvadrat;

C) sochilish yuz beradi;

D) ionizatsiya qonuni bo'yicha.

13. Gamma-spektrdagi gamma-chiziq va fotocho'qqilar qanday jarayon hisobiga hosil bo'ladi?

A) fotoeffekt;

B) ionizatsiya;

C) kompton effekti;

D) gamma-kvantlar sochilish.

14. Yuqori energiyali gamma-nurlanishlar manbalarini ko'rating.

A) betatron, mikrotron, chiziqli elektron tezlatichlar;

B) siklotron, radioizotop manba, ionizatsiya;

C) sochilish, ionizatsiya, juftlik hosil bo'lishi;

D) ionizatsiya, gamma-kvantlar yutilishi.

15. Qanday aktivatsion analiz usulida katta massali namunalarni tezkor tahlil qilish mumkin?

A) gamma-aktivatsion usuli;

B) neytron-aktivatsion usuli;

C) spektral tahlil usuli;

D) gamma-yutilish usuli.

16. Oltini tezkor tahlil qilish uchun qo'llaniladigan fotoyadro reaksiyasini ko'rsating.

- A) $^{197}\text{Au}(\gamma, \gamma')^{197\text{m}}\text{Au}$
- B) $^{197}\text{Au}(\gamma, n')^{196}\text{Au}$
- C) $^{197}\text{Au}(\gamma, 3n')^{194}\text{Au}$
- D) $^{197}\text{Au}(\gamma, 10n')^{187\text{m}}\text{Au}$

17. Aktivatsion analiz metodlarini tavisiflovchi kattaliklarni ko'rsating.

- A) sezgirlik, aniqlanish chegarasi;
- B) reaksiya chiqishi, kesim;
- C) tezlik, massa;
- D) gamma-kvantlar chiqishi, og'irlik.

18. Aktivatsion analiz usullardan qaysi biri eng kichik aniqlanish chegarasiga ega?

- A) neytron-aktiatsion usuli (issiqlik neytronlarda);
- B) gamma-aktivatsion usuli;
- C) spektral tahlil usuli;
- D) neytron-aktiatsion usuli (tez neytronlarda).

19. Analitik gamma-chiziq deb qanday gamma-chiziqqa aytiladi?

- A) elementni aniqlash uchun qo'llaniladigan;
- B) gamma-aktivatsion usulida qo'llaniladigan;
- C) energiyani aniqlash uchun qo'llaniladigan;
- D) neytron-aktivatsion usuli qo'llaniladigan.

20. Tormoz nurlanishlar hosil qilish uchun nishon sifatida qanday modda qo'llaniladi?

- A) og'ir metallar, W, Pt, Au va h.k;
- B) yengil metallar;
- C) zichligi o'rtacha bo'lgan moddalar;
- D) Al, C, O, N elementlardan tashkil topgan moddalar.

21. Quyidagi alfa parchalanishda qanday yadro hosil bo'ladi?



- A) radon-119;
- B) fransiy-119;
- C) kurchatoviy-213;
- D) radon-213.

22. Radioaktiv yadroning o'rtacha yashash vaqti quyidagi formula bo'yicha aniqlaniladi:

A) $\tau = \frac{1}{\lambda}$;

B) $\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$;

C) $\lambda = \frac{A}{N}$;

D) $\log T_{1/2} = c + \frac{D}{\sqrt{E}}$.

23. Geyger-Nettol qonuni ifodalovchi munosabatni ko'rsating.

A) $\log T_{1/2} = C + \frac{D}{\sqrt{E}}$;

B) $\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$;

C) $\bar{n} = N\lambda$;

D) $\tau = \frac{1}{\lambda}$.

24. Stabil yadroning tinchlikdagi massasi m_{ya} va uni tashkil etgan protonlarning Zm_p hamda neytronlarning Nm_n tinchlikdagi massalari yig'indisi orasidagi munosabat qanday?

A) $m_{ya} > (Zm_p + Nm_n)$;

B) $m_{ya} < (Zm_p + Nm_n)$;

C) $m_{ya} = Zm_p + Nm_n$;

D) $m_{ya} < (Zm_p + Nm_n) \cdot 100$.

25. Beta parchalanish hodisasida Kulon to'sig'iga asosan qanday zarralarga ta'sir qiladi?

- A) pozitron;
- B) elektron;
- C) neytron;
- D) proton.

26. $a + A \rightarrow C^* \rightarrow B + b$ reaksiya qanday reaksiya mexanizimi bo'yicha yuz bermoqda?

- A) oraliq yadro mexanizimi;
- B) to'g'ri yadro reaksiya mexanizimi;
- C) termoyadro reaksiyasi mexanizimi;
- D) fotoyadro reaksiyasi mexanizimi.

27. $\alpha + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow ? + p$ reaksiya natijasida hosil bo'lgan yadroni ko'rsating.

- A) kislorod-17;
- B) azot-17;
- C) uran-27;
- D) vodorod-3.

28. $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow p + {}^7_3\text{Li}$ reaksiyada qanday jarayon yuz berdi?

- A) elastik sochilish;
- B) noelastik sochilish;
- C) yutilish;
- D) bo'linish.

29. Gamma-kvantlar modda orqali o'tganda qanday jarayonlar hisobiga energiyasini yo'qotadi?

- A) fotoeffekt, kompton effekti, elektron-pozitron jufti hosil bo'lishi;
- B) fotoeffekt, kompton effekti, ionizatsiya;
- C) tormozli gamma-nurlanishlar hosil bo'lish, kompton effekti;
- D) asosan ionizatsiya hisobiga.

30. Fotoyadero reaksiyasi deb ... yadro bilan o'zaro ta'sirlashish jarayoniga aytiladi.

- A) yuqori energiyali γ -kvantlarning;
- B) past energiyali protonlarning;
- C) yuqori energiyali elektronlarning;
- D) past energiyali neytronlarning.

31. Radioizotoplar qanday identifikatsiya qilinadi?

- A) gamma-chiziqlar va yarim yemirilish davri bo'yicha;
- B) past energiyali gamma-kvantlar bo'yicha;
- C) detektorning effektivligi va energetik ajratish qobiliyati bo'yicha;
- D) to'g'ri javob yo'q.

32. Radioaktiv fon qanday jarayonlar hisobiga vujudga keladi?

- A) kosmik nurlar va tabiiy radioizotoplar hisobiga;
- B) past energiyali protonlar va radioizotoplar hisobiga;
- C) yuqori energiyali elektronlar va mezonlar hisobiga;
- D) past energiyali neytronlar va kosmik nurlar jalsasi hisobiga.

33. Protonlar soni bir xil bo'lgan yadro ... deb nomlanadi.

- A) izotop;
- B) izobara;
- C) ion
- D) izoton;

34. Massa soni bir xil bo'lgan yadro ... deb nomlanadi.

- A) Izobara;
- B) Ion;
- C) Izotop;
- D) Izoton.

35. Neytronlar soni bir xil bo'lgan yadro...deb nomlanadi.

- A) Izoton;
- V) Izobara;
- S) Izotop;

D) Ion.

36. Z va A sonlari bir xil bo'lgan yadro...deb nomlanadi

A) Izomer.

V) Izobara;

S) Izotop;

D) Izoton;

37. Etalon metodida element miqdori qanday munosibat yordamida aniqlaniladi?

A) $\frac{m_x}{m_y} = \frac{A_x}{A_y}$

B) $m_x = \frac{A_x}{A_y} \cdot \frac{A_{yt}}{A_{xt}} m_y$

C) $\frac{m_x}{m_y} = \frac{A_x}{A_y} \cdot \frac{AE_{\text{Oo}}}{AE_{\text{Oo}}}$

D) to'g'ri javob yo'q.

38. Monitor metodida element miqdori qanday munosibat yordamida aniqlaniladi?

A) $m_x = \frac{A_x}{A_y} \cdot \frac{A_{yt}}{A_{xt}} m_y$, B) $\frac{m_x}{m_y} = \frac{A_x}{A_y}$, C) $\frac{m_x}{m_y} = \frac{A_x}{A_y} \cdot \frac{AE_{\text{Oo}}}{AE_{\text{Oo}}}$, D) to'g'ri javob yo'q.

39. Gamma spektrdagi 511 keV energiyali gamma-chiziqlar qanday jarayon hisobiga vujudga keladi?

A) pozitronlarning annigilatsiyasi hisobiga;

B) ionizatsiya hisobiga;

C) kompton effekti;

D) gamma-kvantlar sochilish.

40. Tormozli γ -nurlanish manbalarini ko'rsating.

A) betatron, mikrotron, chiziqli elektron tezlatgichlar

B) siklotron, kollayderlar, magnitron

C) radioizotoplar, siklotron, neytron generator

D) to'g'ri javob yo'q

41. Radioaktiv parchalanish yuz berayotgan radioaktiv atomlar o'rtacha soni quyidagiga teng:

- A) $dN = -\lambda N dt$;
- B) $dN = \lambda N dt$;
- C) $dN = -\lambda \ln N dt$;
- D) $dN = -\lambda / N dt$.

42. Nils Bor qanday yadro reaksiya mexanizmini taklif qilgan?

- A) kompaund yadro hosil bo'lish mexanizmi;
- B) to'g'ri reaksiya mexanizmi;
- C) uzish reaksiyasi;
- D) fotoyadro reaksiyasi.

43. Qanday reaksiyalar ostona energiyaga ega bo'ladi?

- A) endotermik reaksiyalar;
- B) ekzotermik reaksiyalar;
- C) uzish reaksiyasi;
- D) to'g'ri javob yo'q.

44. Elektronlar modda orqali o'tganda asosan qanday jarayonlar yuz beradi?

- A) ionizatsiya va radiatsion nurlanishlar;
- B) ionizatsiya va fotoeffekt;
- C) rentgen nurlanishlar va Oje elektronlari paydo bo'ladi;
- D) ionizatsiya.

45. Aktivatsion analizni amalga oshirish bosqichlari qanday?

- A) analiz uchun moddani tanlash, namunani nurlanishga tayyorlash, nurlanish, aktivlikni o'lchash, natija olish
- B) nurlantirish, nurlanish dozasini o'lchash, energiyani aniqlash
- C) nurlanish dozasini o'lchash, namunani massasini o'lchash, namunani maydalash;
- D) to'g'ri javob yo'q.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Т.М. Muminov, A.B. Xoliqov. Sh.X. Xolmurodov. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. –Т.: O‘zbekiston faylasuflar jamiyati, 2009.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: для вузов. В 5 т. Т. В. Атомная и ядерная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002, 784 с.
3. Кадилин В.В., Милосердин В.Й., Самосадный В.Т. Прикладная ядерная физика. Учебное пособие. –М.: МИФИ, 2007.
4. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник В 3-х т. Т.1. Физика атомного ядра. – СПб.: Издательство “Лан”, 2009. 384 с.
5. Bekjonov R.D. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. –Т.: O‘kituvchi, 1994, 576 b.
6. Широков Й.М., Йудин Н.П. Ядерная физика. –М.: Наука, 1980, 728 с.
7. Teshaboyev Q.T. Yadro va elementar zarralar fizikasi. –Т.: O‘kituvchi, 1992.
8. Polvonov S.R., Kanokov Z., Karaxodjayev A., Ruzimov SH.M. Yadro fizikasidan masalalar to‘plami. O‘quv qo‘llanma. –Т.: O‘zMU, 2006, 119 b.
9. Иродов И. Е. Сборник задач по атомной и ядерной физике. Уч. пос. –М.: Атомиздат, 1971, 216 с.
10. Kanokov Z., Karaxodjayev A., K.R. Nasriddinov, Polvonov S.R. Atom va yadro fizikasidan laboratoriya ishlari. O‘quv qo‘llanma. –Т.: O‘zMU, 2002, 148 b.
11. Наумов А.И. Физика атомного ядра и элементарных частиц. –М.: Просвещение, 1984.
12. Фрауэнфельдер Г., Хенли Э. Субатомная физика –М.: Мир, 1979, 736 с.
13. Жуковский Й.Г., Сергеев В.О., Антонец Н.М. Практикум по ядерной физике. –М., «Высшая школа», 1975, 197 с.
14. Валтер А.К., Залюбовский И.И. Ядерная физика. – Харьков: Основа, 1991, 479 с.

15. Михайлов В.М., Крафт О.Е. Ядерная физика. –Л.: Изд-во ЛГУ, 1988, 327с.

16. Ракоболская И.В. Ядерная физика. –М.: Изд-во МГУ, 1981, 280 с.

Internet va Ziyonet saytlari:

1. <http://www.rsl.ru/>;
2. <http://www.msu.ru/>;
3. <http://www.nlr.ru/>;
4. http://el.tfi.uz/pdf/enmcoq22_uzk.pdf.
5. http://el.tfi.uz/pdf/enmcoq22_uzl.pdf.
6. <http://www.phys.msu.ru>
7. <http://nuclphys.sinp.msu.ru>

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
-------------	---

I bob. ATOM YADROSINING ASOSIY XUSUSIYATLARI

1.1-§. Yadro tarkibi. Elektr va barion zaryad.....	5
1.2-§. Yadroning massasi va bog'lanish energiyasi.....	8
1.3-§. Yadro spini va magnit dipol momenti.....	14
1.4-§. Yadro o'lchami va zichligi	16
1.5-§. Yadro shakli.....	18
1.6-§. Statistika va juftlik.....	19
1.7-§. Turg'un va uzoq yashovchi yadrolarning NZ – diagrammasi.....	20

II bob. YADRO KUHLARI

2.1-§. Yadro kuchlari xususiyatlari.....	22
2.2-§. Yadro kuchlarining mezon nazariyasi.....	24
2.3-§. Izotopik spin	27

III bob. YADRO MODELLARI

3.1-§. Yadro modellari.....	30
3.2-§. Tomchi modeli.....	31
3.3-§. Fermi – gaz modeli.....	31
3.4-§. Qobiq modeli.....	33

IV bob. RADIOAKTIVLIK

4.1-§. Radioaktivlik hodisasining umumiy tavsifi.....	40
4.2-§. Radioaktiv parchalanish jarayonlarini sinflarga bo'lish.....	43
4.3-§. Radioaktiv parchalanishning asosiy qonunlari.....	45

4.4-§. Ketma – ket parchalanish.....	47
4.5-§. Alfa - parchalanish va uning nazariyasi.....	49
4.6-§. Beta – parchalanish.....	52
4.7-§. Yadroning gamma – nurlanishi.....	58
4.8-§. Ichki konversiya elektronlar.....	61
4.9-§. Klaster radiktivlik.....	64

V bob. YADRO REAKSIYALARI

5.1-§. Yadro reaksiyalarining asosiy tushunchalari va ta'riflari.....	69
5.2-§. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari.....	70
5.3-§. Yadroviy reaksiyalarining kesimi va chikishi.....	73
5.4-§. Yadro reaksiyalarining mexanizmi.....	74
5.5-§. Fotoyadro reaksiyalar.....	78
5.6-§. Neytronlar ishtirokidagi yadro reaksiyalar.....	83
5.7-§. Zaryadlangan zarralar ishtirokidagi yadro reaksiyalar.....	86

VI bob. YADRO NURLANISHLARNING MODDA

BILAN O'ZARO TA'SIRI

6.1-§. Zaryadlangan og'ir zarralarning modda orqali o'tishi.....	89
6.2-§. Zaryadlangan yengil zarralarning modda orqali o'tishi.....	92
6.3-§. Gamma-nurlarning modda bilan o'zaro ta'siri.....	97

VII bob. ELEMENTAR ZARRALAR

7.1-§. O'zaro ta'sir turlari va elementar zarralar klassifikatsiyasi.....	102
7.2-§. Zarralar va antizarralar.....	120
7.3-§. Elementar zarralar va saqlanish qonunlari.....	121
7.4-§. Kombinatsiyalangan juftlik va neytral K-mezonlar xossalari.....	126
7.5-§. T-almashtirish va SRT-teorema.....	130

7.6-§. Kvarklar.....	132
7.7-§. Elementar zarralarning kvant xarakteri.....	135
7.8-§. Adronlar strukturasi.....	137
7.9-§. Materiya tuzilishi to'g'risidagi zamonaviy qarashlar	144
Glossariy	148
Nazorat savollari	151
Test savollari.....	153
Foydalanilgan adabiyotlar.....	162

S. POLVONOV, E. BOZOROV, Z. KANOKOV

ATOM YADROSI VA ELEMENTAR ZARRALAR FIZIKASI

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2019

Muharrir:	M.Hayitova
Tex. muharrir:	A.Moydinov
Musavvir:	A.Shushunov
Musahhih:	Sh.Mirqosimova
Kompyuterda sahifalovchi:	N.Rahmatullayeva

E-mail: tipografiyacent@mail.ru Tel: 71-245-57-63, 71-245-61-61.

Nashr.lits. AIN^o149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi 27.12.2019.

Bichimi 60x84 1/16. «Timez Uz» garniturası. Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 10,0. Nashriyot bosma tabog'i 10,5.

Tiraji 100. Buyurtma № 295.

ATOM TAYDROSI VA ELEMENTLAR ZARRALAR FIZIKASI

Ташкент – «Fan va texnologiyalar» – 2019

М.М.Мамедов	М.М.Мамедов
А.М.Мамедов	Т.Х.Мамедов
А.М.Мамедов	М.М.Мамедов
С.М.Мамедов	М.М.Мамедов
М.М.Мамедов	М.М.Мамедов

«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.