

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

Fizika-matematika fakulteti
“Fizika” kafedrası

Qo'lyozma huquqida

Nabiyev Zokirjon Zohidjon o'g'li

**ELEMENTAR ZARRALAR FIZIKASIDA SAQLANISH
QONUNLARI**

5140200 – Fizika ta'lim yo'nalishi bo'yicha bakalavr akademik
darajasini olish uchun yozilgan

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Ilmiy rahbar:

dots. Abdurahimov A.

Andijon – 2016

Mundarija

Kirish. Xozirgi zamon fizikasi va undagi muammolar	3
1 BOB. YADRO FIZIKASI	
1.1–§. Atom yadrosi haqida.....	6
1.2–§. Yadroning spini.....	12
1.3–§. Nuklonlarning tuzilishi va asosiy parametri.....	15
2 BOB. ELEMENTAR ZARALARNING ASOSIY MANBAI	
2.1–§. Kosmik nurlar va uning turlari.....	25
2.2–§. Myu mezonlar haqida.....	28
2.3–§. Ikkilamchi kosmik nurlarni kelib chiqishi.....	34
3 BOB. ELEMENTAR ZARRALAR	
3.1–§. Elementar zarralarning yer sharoitida olinishi.....	39
3.2–§. Elementar zarralarning asosiy parametri.....	43
3.3–§. Elementar zarralarning sinflari.....	49
3.4–§. Elementar zarralar va ta'sir turlari.....	57
3.5–§. Elementar zarralar va saqlanish qonunlari.....	60
Xulosa.....	63
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.....	65

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi. Uzluksiz ta'lim tizimi bosqichlarida fizikaning o'qitishdan maqsad, birinchidan, tabiatning fundamental qonunlarini ilmiy asosda tushuntirishi tinglovchilarning ilmiy dunyoqarashi va falsafiy mushohada yuritish qobiliyatlarini rivojlantirish, texnikada va turmushda foydalanilayotgan uskuna va vositalarning ishlash prinsipi tushuntiruvchi fizik jarayonlar haqidagi tasavvurlarni shakllantirish, shuningdek, fizik ta'lim olishning davom ettirish, olgan bilimlarini chuqurlashtirishi va ilmiy izlanuvchilar uchun mustahkam zamin yaratishdan iborat.

BMI ni maqsadi. Oily ta'lim bakalavriat bosqichida fizika kursining "Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi" bo'limi strukturasi va mazmunini takomillashtirish, Elementar zarrachlardagi saqlanish qonunlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqot obekti. Oily ta'lim bakalavriat bosqichida fizika kursining "Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi" bo'limini "Elementar zarrachlarning saqlanish qonunini" o'qitilish jarayoni.

Mavzuning predmeti. BMI ni bajarishda "Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi" bo'limining o'qitilishi, mazmuni, zamonaviy ahamiyati va ped.texnologiyalardan unumli foydalanishdan iborat.

Tadqiqot metodi. Tadqiqot ishining bajarilishida muammoga oid ilmiy, ilmiy – uslubiy ishlar va adabiyotlarni taxlili, hamda tadqiqot natijalarini umumlashtirish va matematik – statistik ishlov berish metodlaridan foydalanildi.

Ishning ilmiy va amaliy ahamiyati. Oily ta'lim bakalavriat bosqichida fizika kursining "Atom yadrosi va elementar zarralar fizikasi" o'qitish jarayoni zamonaviy uslubda mashg'ulot o'tish ko'rsatiladi.

Ushbu bitiruv malakaviy ishi 3 bobdan tuzilgan bo'lib, 1 bobda atom yadrosi, yadro spini, yadro tuzilishi va ularning asosiy parametrlari haqida va 2 bobda elementar zarrachalarning asosiy manbai, kosmik nurlar va ularning turlari, Myu mezonlar haqida, ikkilamchi kosmik nurlarni kelib chiqishi to'g'risiga aytib o'tilgan. Ishning 3 bobi Elementar zarrachlarning yer sharoitida olinishi, elementar

zarrachalarning asosiy parametrlari, elementar zarrachlarning sinflari, elementar zarrachalar va ulardagi saqlanish qonunlari yoritilgan.

Atom kabi yadro ham murakkab tuzilishga ega, chunki, undagi nuklonlar murakkab tuzilgan. Atom yadrosi musbat zaryadga ega ekanligi Ernest Rezerford tadqiqotlaridan bizga ma'lum. Keyinchalik atomning planetar yadro modelini Nils Bor ishlab chiqdi.

Atom yadrosining elektr zaryadi musbat va elektron zaryad miqdori ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kulon}$)ga karralidir. Uni $Z \cdot e$ ko'paytma ko'rinishida yoziladi (Z – atom raqami).

Yadroning asosiy parametrlari 2 ta:

1. Elektr zaryadi atom yadrosining asosiy xarakteristikalaridan biridir.
2. Atom yadrosining ikkinchi muhim xarakteristikasi – uning massasidir.

Massa birligi qilib, massaning atom birligi ($m.a.b$) qabul qilingan. U uglerod $^{12}_6C$ atomi massasining $1/12$ qismiga teng, ya'ni $1m.a.b. = \frac{1}{12} ^{12}C$ massasi yoki massaning 1 atom birligi $1m.a.b. = 1,66 \cdot 10^{-24} g$ ga teng, Si – sistemada esa $1m.a.b. = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$.

1932 yilda ingliz fizigi Chedvik neytronni kashf qildi. Bu kashfiyot yadro fizikasi fanining rivojlanishga turtki bo'ldi. Shu yilning o'zidayoq rus fizigi Ivanenko va nemis fizigi Geyzenberg deyarli bir vaqtda va bir-biridan mustaqil ravishda yadroni hozirgi paytda umumiy qabul qilingan p – proton n – neytron (pn) – modelini taklif qildilar. Bu modelga binoan, yadro Z dona proton va $(A-Z)$ dona neytrondan tashkil topgan. Proton va neytronlar birgalikda nuklonlar deyiladi, yadroda faqat nuklonlar mavjud bo'ladi. Nuklonlar o'z navbatida murakkab tuzilishga ega bo'lishi mumkin. Nuklonlarning harakati turli yo'nalishlar bo'yicha kuzatilishi mumkin. Shuning uchun ular spin (aylanish)ga ega bo'ladi. Neytronlarning spini yarim sonly ($\pm \hbar/2$) qiymatga va harakat miqdorining orbital moment hamisha butun sonly qiymatga ega bo'lganligidan A nuklondan tuzilgan yadrolar tajribaga to'la mos keladigan spinlarga ega bo'lishi kerak.

$$\text{Spin soni } I = \begin{cases} 0, 1, 2, \dots - A \text{ juft bo'lsa,} \\ 1/2, 2/2, 3/2, \dots - A \text{ toq bo'lsa,} \end{cases}$$

Shunday qilib, zamonaviy tasavvurlarga ko'ra, atom yadrosi tarkibiga p – proton va n – neytronlar kiradi. Shuning uchun bu zarralar nuklonlar degan nomda yuritiladi. “Nuklon” lotincha so'z bo'lib, yadro – mag'iz degan ma'nolarni anglatadi.

Atomlarning massalari butun sondan biroz farq qiladi. Yadroning m.a.b. dagi massasiga eng yaqin bo'lgan butun son yadroning massa soni A deb qabul qilingan. Massa soni atom yadrosidagi nuklon (p – proton va n – neytron)lar sonini bildiradi. Berilgan element atomining yadrosi shu elementning kimyoviy simvoli (belgisi) bilan belgilanadi va bu simvolning chap tomoniga – yuqorisiga massa soni pastiga esa yadroning zaryadi – Z, o'ng tomonining pastiga esa – N, neytronlar soni yoziladi. Agar simvolni X bilan belgilasak, u holda ${}_Z^AX_N$ ko'rinishda yoziladi.

1 BOB. YADRO FIZIKASI

1.1–§. Atom yadrosi haqida.

Atom kabi yadro ham murakkab tuzilishga ega, chunki, undagi nuklonlar murakkab tuzilgan. Atom yadrosi musbat zaryadga ega ekanligi Ernest Rezerford tadqiqotlaridan bizga ma'lum. Keyinchalik atomning planetar yadro modelini Nils Bor ishlab chiqdi.

Atom yadrosining elektr zaryadi musbat va electron zaryad miqdori ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kulon)ga karralidir. Uni $Z \cdot e$ ko'paytma ko'rinishida yoziladi (Z – atom raqami).

Yadroning asosiy parametrlari 2 ta:

1. Elektr zaryadi atom yadrosining asosiy xarakteristikalaridan biridir.
2. Atom yadrosining ikkinchi muhim xarakteristikasi – uning massasidir.

Massa birligi qilib, massaning atom birligi ($m.a.b$) qabul qilingan. U uglerod $^{12}_6C$ atomi massasining $1/12$ qismiga teng, ya'ni $1m.a.b. = \frac{1}{12} ^{12}C$ massasi yoki massaning 1 atom birligi $1m.a.b. = 1,66 \cdot 10^{-24} g$ ga teng, Si – sistemada esa $1m.a.b. = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$.

Hozirgi zamon massa – spektral texnika vodoroddan tortib to vismutgacha bo'lgan elementlarning massalarini yuqori aniqlikda o'lchash imkonini beradi. Uglerodli shkalada vodorod atomining massasi 1,0086654 va elektron massasi esa 0,0005486 massa birligiga teng. Massaning bir atom birligiga mos keluvchi energiya (agar $m = 1,66 \cdot 10^{-24} g$ va $c = 3 \cdot 10^{10} sm/sek$ deb olsak) $E = mc^2 = 1,5 \cdot 10^{-3} erg$ bo'ladi.

$1eV = 1,6 \cdot 10^{-12} erg$; $1MeV = 1,6 \cdot 10^{-6} erg$; $1m.a.b. = 931,5MeV$; 1 elektron massasi esa $= 0,511MeV$ gat eng.

1932 yilda ingliz fizigi Chedvik neytronni kashf qildi. Bu kashfiyot yadro fizikasi fanining rivojlanishga turtki bo'ldi. Shu yilning o'zidayoq rus fizigi Ivanenko va nemis fizigi Geyzenberg deyarli bir vaqtda va bir-biridan mustaqil ravishda yadroni hozirgi paytda umumiy qabul qilingan p – proton n – neytron (pn) – modelini taklif qildilar. Bu modelga binoan, yadro Z dona proton va $(A-Z)$ dona

neytrondan tashkil topgan. Proton va neytronlar birgalikda nuklonlar deyiladi, yadroda faqat nuklonlar mavjud bo'ladi. Nuklonlar o'z navbatida murakkab tuzilishga ega bo'lishi mumkin. Nuklonlarning harakati turli yo'nalishlar bo'yicha kuzatilishi mumkin. Shuning uchun ular spin (aylanish)ga ega bo'ladi. Neytronlarning spini yarim sonly ($\pm \hbar/2$) qiymatga va harakat miqdorining orbital moment hamisha butun sonly qiymatga ega bo'lganligidan A nuklondan tuzilgan yadrolar tajribaga to'la mos keladigan spinlarga ega bo'lishi kerak.

$$\text{Spin soni } I = \begin{cases} 0, 1, 2, \dots - A \text{ juft bo'lsa,} \\ 1/2, 2/2, 3/2, \dots - A \text{ toq bo'lsa,} \end{cases}$$

Shunday qilib, zamonaviy tasavvurlarga ko'ra, atom yadrosi tarkibiga p – proton va n – neytronlar kiradi. Shuning uchun bu zarralar nuklonlar degan nomda yuritiladi. “Nuklon” lotincha so'z bo'lib, yadro – mag'iz degan ma'nolarni anglatadi.

Atomlarning massalari butun sondan biroz farq qiladi. Yadroning m.a.b. dagi massasiga eng yaqin bo'lgan butun son yadroning massa soni A deb qabul qilingan. Massa soni atom yadrosidagi nuklon (p – proton va n – neytron)lar sonini bildiradi. Berilgan element atomining yadrosi shu elementning kimyoviy simvoli (belgisi) bilan belgilanadi va bu simvolning chap tomoniga – yuqorisiga massa soni pastiga esa yadroning zaryadi – Z, o'ng tomonining pastiga esa – N, neytronlar soni yoziladi. Agar simvolni X bilan belgilasak, u holda A_ZX_N ko'rinishda yoziladi.

Masalan, uglerod ${}^{12}_6C$ yadrosi 12 ta nuklonga (Z=6 ta proton va N=6 ta neytrondan tashkil topgan), ${}^{23}_{11}Na$ - natriy yadrosi esa 23 ta nuklonga ega bo'ladi (Z=11 ta proton va N=11 ta neytrondan tuzilgan) va hokazo.

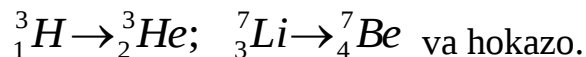
Atom yadrolari turli xil bo'lishi mumkin: izotop, izobar, izoton va “ko'zgu” yadrolari. Bularni mos ravishda quyidagicha ta'riflash mumkin.

Bir xil elektr zaryadiga ($Z \cdot e$), ya'ni bir xil sonli protonlarga, ammo har xil massa soni (A)ga ega bo'lgan atom yadrolari izotoplar deb ataladi.

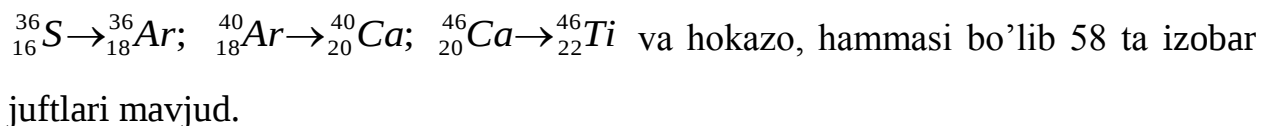
Masalan, tabiatda kislorodning 3 ta $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$ turg'un izotoplari, kremniyning ham 3 ta $^{28}_{14}\text{Si}$, $^{29}_{14}\text{Si}$, $^{30}_{14}\text{Si}$ turg'un izotoplari uchraydi va hokazo. Umuman Z ning har bir qiymatiga, ulardan keying elementlardan tashqari, o'rtacha uchta turg'un izotop to'g'ri keladi. Izotoplar bir xil kimyoviy va optik xususiyatlarga ega. Tabiatda uchraydigan ko'pchilik kimyoviy elementlar bir necha izotoplarining aralashmasidan iborat bo'ladi.

Eng muhimi shuki, atomning fizik – kimyoviy xususiyatlari nuqtai nazaridan asosiy xarakteristikasi uning massasi emas, balki yadroning zaryadidir. Haqiqatdan ham $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$ lar massalarining har xilligiga qaramay bir elementning atomlaridir, $^{15}_7\text{N}$ va $^{15}_8\text{O}$ lar esa o'zlarining massa sonlari bir xil bo'lishiga qaramay har xil kimyoviy elementlarning atomlaridir.

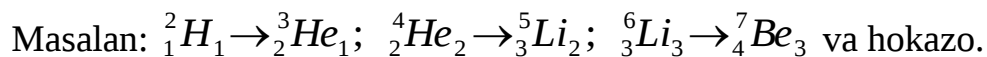
Massa soni bir xil bo'lgan, ya'ni bir xil sonli nuklonlardan iborat, ammo har xil Z ga ega bo'lgan atom yadrolari izobar yadrolar deyiladi. Lekin bir xil A bo'lganda ham izobar yadrolar massa bo'yicha birmuncha farq qiladi, masalan;



Massa soni A=36 dan boshlab juft A ga ega bo'lgan yadrolar uchun izobarlar odatda juft – juft bo'lib uchraydi, masalan;

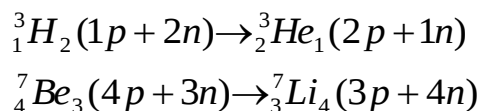


Bir xil sonli neytronlarga, lekin har xil sonli protonlarga ega bo'lgan atom yadrolari izotonlar deb ataladi.



Shuningdek “ko'zgu” yadrolar ham mavjud. Masalan, Z – protonlar va N – neytronlardan iborat $^{N+Z}_Z\text{X}$ atom yadrosi bor deb faraz qilamiz. Protonlari soni bu yadroning neytronlari soniga teng ($Z_1=N$), neytronlari soni esa protonlar soniga teng ($N_1=Z$) bo'lgan ikkinchi $^{N_1+Z_1}_{Z_1}\text{Y}$ yadro birinchi yadroga nisbatan “ko'zgu” yadro deb ataladi. Boshqacha qilib aytsak, birinchi yadroning hamma protonlari

neytronlar bilan, neytronlari protonlari bilan almashtirilsa, birinchi yadro bilan birgalikda “ko’zgu” yadrolar juftini tashkil qiluvchi ikkinchi yadro hosil bo’ladi. Bunday “ko’zgu” yadrolar juftining birinchisi neytron va proton hisoblanadi. Engil yadrolar sohasida “ko’zgu” yadrolar juftiga misol qilib



larni ko’rsatish mumkin. “Ko’zgu” yadrolardan ikkalasining xususiyatlari bir-biriga ancha yaqin, lekin, ulardan biri, ko’pincha radioaktiv bo’ladi.

Atom yadrosining tarkibini ifodalash uchun A, Z, N sonlarining istalgan bir juftidan foydalanish mumkin. Ko’pincha, massa soni A va tartib raqami Z dan yoki neytronlar soni N va tartib raqami Z dan foydalaniladi.

Rezerford o’tkazgan tajribadan shu narsa ko’rindiki, alfa – zarraning atomning musbat zaryad sohasida kirolmasdan orqasiga qaytarib tashlanganiligi α - zarra bilan atom yadrosi orasidagi o’zaro Kulon kuchi ta’siridan kelib chiqar ekan. Atom yadrosi tomon to’g’ri, aniq yo’nalishda uchib kelayotgan α - zarra unga shunday $R_{\min}$ masofada yaqinlashadiki, uni α - zarraning orqaga qaytishidan oldin butunlay to’xtagan vaqtdagi potensial energiyasini kinetik energiyasiga tenglashtirib topishimiz mumkin:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{2Ze^2}{R_{\min}} \quad (1.1.1)$$

Bundan yadro zaryadining taqsimlangan sohasi radiusini oson topish mumkin:

$$R_{\min} = \frac{4Ze^2}{mv^2} \quad (1.1.2)$$

$R_{\min}$ ni yadrodan sachrab, orqaga qaytayotgan α - zarra harakat miqdorining o’zgarishini hisobga olish yo’li bilan ham topish mumkin. Yadro R – radiusi taxminan $(2 \div 6) \cdot 10^{-12} \text{ sm}$ ekanligi aniqlangan. Demak yadroning o’lchami taxminan 10^{-12} sm ni tashkil etadi. Yadroda atomning hamma massasi to’plangan (atomning o’lchami $\approx 10^{-8} \text{ sm}$). Shuning uchun yadro materiyasining zichligi oddiy

moddaning zichligidan juda ham katta. Yadro moddasining zichligi 10^{14} g/sm^3 ga teng.

Yadro o'lchamlarini topishda ko'pgina usullardan foydalanish mumkin. Yadro kuchlari mavjud bo'lgan soha radiusini, yadro "kesimining yuzasi"ni tez neytronlarning yutilishi va sochilishiga oid tajribalarda ham topish mumkin. Energiyasi 10 MeV dan katta bo'lgan neytronlar uchun mos keluvchi de-Broyl to'lqin uzunligi yadro radiusiga nisbatan kichik bo'ladi. Agar yadroni R radiusli butunlay noshaffof shar deb olinsa, bu holda tez neytronlarni yutib oladigan yadro kesimining yuzasi (πR^2) aniqlanib, R topiladi. Shu kabi qator elementlar yadrolarining radiuslari aniqlangan. Ularning kattaliklari $3,8 \cdot 10^{-13}$ (C – uglerod uchun) sm dan to $8 \cdot 10^{-13}$ (Vi – vismut uchun) sm gacha bo'lgan oraliqda yotadi. Bu yadro kuchlari ta'siri doirasi uchun yadro markazidan hisoblangan R masofani aniqlash imkonini beradi. Natijalarni quyidagi empirik formula yordamida taxminiy olish mumkin:

$$R = r_0 \sqrt[3]{A} \quad (1.1.3)$$

bu yerda r_0 - yadro uchun doimiy kattalik bo'lib, u yadro radiusini aniqlash usuliga bog'liq bo'ladi. Tez neytronlarning sochilishiga oid tajribalardan $r_0 = 1,4F$ ($1F = 1\text{Fermi} = 10^{-13} \text{ sm}$), α - yemirilish natijalaridan $r_0 = 1,3F$, zaryadli zarralar ta'siri ostida bo'ladigan yadro reaksiyalari natijalaridan $r_0 = 1,6F$. (1.1.3) munosabatdan yadroning massasi uning hajmiga proporsional va hamma yadrolar taxminan bir xil zichlikka ega ekanligi kelib chiqadi. Yadroning hajmi (1.1.3) formulaga asosan

$$V = \frac{4}{3} \pi r_0^3 A \text{ sm}^3 \quad (1.1.4)$$

ya'ni hamma yadrolarda hajm birligidagi nuklonlar soni bir xil:

$$n = \frac{A}{V} = \frac{3A}{4\pi r_0^3 A} = \frac{3}{4\pi r_0^3} = 10^{38} \frac{\text{nuklon}}{\text{sm}^3}$$

Sunday qilib, yadrolarning o'rtacha zichligi

$$\rho = nm.ab. = 10^{38} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \approx 10^{14} \text{ g/sm}^3$$

Yadroning zichligi uning asosiy belgisi hisoblanadi. Uning zichligi nuklonlar soniga bog'liq emas. Bu zichlik shu qadar kattaki, yadroviy modda zichligidek zichlikka ega bo'lgan jismdan yasalgan, radiusi 200 m chamasidagi sharning massasi Yerning massasiga teng bo'lar edi.

Yadro radiusini elektronlarning sochilishiga asoslangan tajribalarda ham aniqlash mumkin. Elektronlarga yadro kuchlari ta'sir etmaydi. Shuning uchun ularning yadro tomonidan sochilishi yadroda elector zaryadlar qanday taqsimlanganligi va qancha sohani egallaganligi bilan aniqlanadi. Kichik energiyali ($E_e < 100 \text{ MeV}$) elektronlarning sochilishiga oid natijalar yadro zaryadi tekis taqsimlangan sferik ko'rinishga ega deb qarashni taqozo etadi. Lekin, shu yo'l bilan aniqlangan yadro radiuslari boshqa usullar yordamida aniqlanganiga nisbatan sezilarli darajada kichikligi bilinadi. Elektronlarning sochilishiga oid tajriba natijalari (1.1.3) ifodaga mos kelmaydi, chunki, engil yadrolar uchun $r_0 \approx 1,4F$ bo'lib, og'ir yadrolar uchun $r_0 \approx 2,2F$ gacha o'zgaradi.

Elektronlarning energiyasi 500 MeV dan katta bo'lgan holda, yadro protonlari sohasining o'lchaminigina emas, balki, yadro bo'yicha zaryad taqsimotini ham aniqlash mumkin. Ma'lum bo'lishicha zaryad zichligi yadro markazidan uning chetrog'iga borgan sari kamayib borar ekan. Qandaydir markaziy sohada zaryad zichligi taxminan o'zgarmay qoladi, keyin esa yadro cheti tomon kamayishi kuzatiladi.

Massaning yadrodag taqsimotini aniqlash zaryad taqsimotini aniqlashga nisbatan qiyinroqdir. Tajribaviy dalillar neytron va protonlar yadroda taxminan bir xil taqsimlangan degan fikrni olg'a suradi. Agar shunday bo'lsa, zaryad taqsimoti, umuman olganda, yadro ichidagi yuadro moddasi taqsimotini ham aks ettiradi.

Ko'pchilik hollarda yadro sferik shaklga ega deb taxmin qilinadi, bu haqiqatdan, ko'pchilik yadrolaruchun to'g'ri. Ammo ba'zi bir tipdagi yadrolar uchun sferik ko'rinishdan chetga chiqish qayd qilingan.

1.2–§. Yadroning spini.

Atom yadrosi massa, zaryadga ega bo'lish bilan birga harakat miqdori momenti — spinga va unga bog'liq bo'lgan magnit momentga ham ega bo'lish kerak. Yadroning spinga ega bo'lishligini 1928-yilda Pauli bashorat qilgan edi. Haqiqatan ham, yadroning spinini spektral chiziqlarning o'ta nozik strukturasi bilan tushuntirildi. Birinchi spektral chiziqlarning o'tanozik strukturasi 1891-yilda Maykelson o'zining interferometrida kuzatdi, keyinchalik Fabri va Pero, Lummer (1860-1925), Gerks (1878-1960) davom ettirdi.

Ayrim spektral chiziqlar bir-biriga yaqin bo'lgan o'nlab komponentalardan iborat, komponentalar orasidagi masofa 0,01-0,02 nm. Hatto, 0,002 nm gacha bo'lib, ajralish asosiy chiziqlarga nisbatan 10^3 marotaba kichik. Spektral chiziqlarning o'tanozik strukturasi yadro magnit momentining (μ_{ya}) elektron qobiqdagi elektronlarning harakati tufayli vujudga kelgan magnit maydoni (H_e) bilan ta'sirlashuviga ko'ra, holatlarning ajralishidir:

$$U = -\mu_{ya} \overline{H_e} \quad (1.2.1)$$

A nuklondan tuzilgan yadroning to'la momenti I yadrodagi nuklonlarning spini va orbital momentlarining vektor yig'indisiga teng:

$$I = (L + S). \quad (1.2.2)$$

Agar nuklonlarning spini va orbital harakat o'rtasidagi o'zaro ta'sir spinlararo o'zaro ta'sirdan kuchsizroq, ya'ni spin-orbital aloqa yo'q yoki deyarli yo'q bo'lsa, zarralarning orbital momentlari (l_i) sistemaning to'la orbital momenti L ni, spin momentlari (S_i) esa to'la spin momenti S ni beradi, ya'ni:

$$\overline{L} = \sum_i l_i \quad \text{va} \quad \overline{S} = \sum_i S_i \quad (1.2.3)$$

U vaqtda sistemaning to'la momenti quyidagicha bo'ladi:

$$\overline{I} = \overline{L} + \overline{S} \quad (1.2.4)$$

Bu sistemaning to'la orbital momenti L ning va to'la spin momenti S ning taxminiy saqlanishiga olib keluvchi o'zaro ta'sir **L - S bog'lanish** deb ataladi. Bunday bog'lanish nuklonlar o'rtasida markaziy kuchlar ta'sir qilgan taqdirda yuzaga kelishi mumkin.

Umuman olganda, yadro kuchlari markaziy kuchlar emas: yadrodagi o'zaro ta'sir nuklonlar spini va orbital momentning bir-biriga nisbatan yo'nalishiga, ya'ni (l, s) ckalyar ko'paytmaga bog'liq bo'ladi. Sferik maydonda har bir nuklonning to'la momenti:

$$\bar{j}_k = \bar{l}_k + \bar{S}_k \quad (1.2.5)$$

Yadroning to'la mexanik momenti I esa yadro tarkibidagi nuklonlar to'la mexanik momentlari i_k ning vektor yig'indisiga teng:

$$\bar{I} = \sum_k \bar{j}_k \quad (1.2.6)$$

Bu xildagi bog'lanish i - j bog'lanish deb ataladi. i - j bog'lanishning ustun kelishi tajribada tasdiqlandi. Faqat eng yengil yadrolardagina L - S bog'lanish o'rinlidir. Yadrodagi maydon va yadro nuklonlarining o'zaro ta'sir xarakterini bilmay turib, I vektorlar yig'indisi qanday qonunga bo'ysunishini oldindan aytish qiyin. Bunday qonuniyatlar tajriba natijalaridan olinadi. Tajribalar yadrolarning spinlari, barcha juft-juft yadrolarning asosiy holat spinlari nol $I=0$, toq A -li (toq-juft, juft-toq) yadrolarnika $I = (1/2 \div 9/2)\hbar$, A juft (toq-toq) yadrolarniki esa $I = (1 \div 5)\hbar$,

Nuklonlarning xususiy spinlari $S=1/2\hbar$.

Bundan ko'rinadiki, juft nuklonlar momentlari bir-birini (kompensatsiyalaydi) yo'qotadi. Shuning uchun juft-juft yadrolar spinlari $I = 0$, toq yadroda (toq-juft, juft-toq) yadroda juftlanmagan nuklon spini yadro spini, A juft (toq-toq) yadroda esa toq proton va toq neytronlarning yig'indisidan iborat butun sondagi spinga ega bo'ladi. Haqiqatan, agar nuklonning momentlari i bir xil yo'nalishga ega bo'lsa, yadroning to'la momenti I og'ir yadrolar uchun yuz va undan ham ortiq qiymatlar olishi mumkin edi. Hamma juft-juft yadrolar nolga teng bo'lgan spinga ega. Demak, bunday yadrolarda har bir nuklonlar juftining to'la momentlari antiparallel yo'nalgan bo'lib, bir-birini kompensatsiyalaydi. Yadrolar xususiy mexanik moment—spinga ega bo'lish bilan birga xususiy magnit momentiga ham ega bo'ladi. Haqiqatan ham, zaryadli zarraning aylanish natijasida magnit moment! vujudga kelganligi sababli, aylanish momenti noldan farqli bo'lgan yadro ham

magnit momentiga ega bo'ladi. Bu yuqorida bayon qilinganidek, atom elektronlarining yadro magnit momenti bilan ta'siri natijasida atomlar o'tanozik strukturaga ega bo'ladi. Yadro magnit momenti yadro tarkibidagi neytron va protonlarning spin magnit momentlari hamda protonlarning yadrodagi orbital harakatlari tufayli paydo bo'ladi. Neytronda elektr zaryad bo'lmaganligidan, uning orbital harakati hech qanday magnit effektini hosil qilmaydi. Zaryadlangan zarralarning orbital harakati aylanma elektr tokiga ekvivalent, aylanma toq esa magnitli dipol maydoniga ekvivalent magnit maydonini hosil qiladi. Kvant mexanikasidan ma'lumki, zaryadi e , massasi m_e bo'lgan elektronning orbital magnit momenti $\mu_b = l \frac{eh}{2m_e c}$ (l – orbital moment, 0,1,2,... qiymatlarni qabul qiladi). $l = 1$ bo'lsa

$$\mu_b = \frac{eh}{2m_e c} = 9,2732 \cdot 10^{-21} \text{ erg} \cdot H_2^{-1} \quad (1.2.7)$$

bor magnetoni deb ataladi.

Xuddi shuningdek, yadro va nuklonlarning magnit momentlari birligi qilib

$$\mu_{yam} = \frac{eh}{2m_p c} = \frac{\mu_b}{1836,5} = 5,0505 \cdot 10^{-24} \text{ erg} \cdot H_2^{-1} \quad (1.2.8)$$

yadro magnetoni qabul qilingan. Bu yerda $\mu_p = 1836,5 \mu_e$ - proton massasi. Bor magnetoni yadro magnetonidan 1836,5 marta katta: $\mu_b = 1836,5 \mu_{yam}$.

Yadro magnit momentlari bir necha yadro magnetoni qiymatida bo'lib, juda kichik bo'lgani uchun ularni o'lchash katta qiyinchiliklarga olib keladi.

Odatda, shartli ravishda, magnit momentlari spinga parallel bo'lsa, musbat deb, qarama-qarshi bo'lsa, manfiy deb hisoblanadi. Proton va neytronlarning xususiy magnit momentlari mos ravishda $+2,79 \mu_{yam}$, $-1,91 \mu_{yam}$ bo'lib, kutilgan qiymatdan boshqacha chiqishligi nuklonlarning ham o'z navbatida murakkab tuzilishga ega deb tushuntiriladi.

1.3–§. Nuklonlarning tuzilishi va asosiy parametri.

Yadro fizikasida yadro kuchlari xususiyatlarini o'rganish eng muhim ahamiyatga ega. Yadro kuchlari tabiati elektromagnit, kuchsiz, gravitatsiya kuchlariga o'xshamaydi. Elektromagnit kuchlarga ham o'xshamaydi, chunki ta'sirlashuv zaryadsiz neytronlar uchun ham mavjud. Magnit kuchlari ham bo'lishi mumkin emas, chunki nuklonlar magnit momentlari orasidagi o'zaro ta'sirlashuv juda kichik. Kuchsiz va gravitatsiya ta'sirlashuvlari ham yadro ta'sirlashuviga qaraganda juda sust hamda gravitatsiya ta'sirlashuvi esa uzoq masofada ta'sirlashuv xususiyatiga ega bo'lgani sababli yadro ta'sirlashuvi bo'la olmaydi. Shunday qilib, yadro kuchlari yadrodagi nuklonlarni bog'lab turuvchi o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lgan alohida kuchdir. O'z navbatida yadro kuchlarini o'rganishlik yadro strukturasi va yadro reaksiyalar mexanizmini chuqur o'rganish imkonini beradi.

Yadro kuchlarini o'rganish uchun faqat neytral zarralar yoki faqat zaryadli protonlardan (masalan: ikkita neytron, ikkita protondan) tashkil topgan yadrolar yo'q. Yadro kuchlari xususiyatlari nuklonlarning nuklonlar bilan, nuklonlarning yadrolar bilan, yadrolarning yadrolar bilan ta'sirlashuvlarida hamda yengil yadrolar, ko'zguli yadrolarning xususiyatiga ko'ra, o'rganish mumkin.

Klassik fizikada ikkita zarraning ta'sirlashuv qonuniyatini bir-biriga nisbatan turli masofada, har xil tezlikda turlicha oriyentatsiyada o'lchab, qonuniyatlarini aniqlaganlar. Xuddi shu usullar bilan elektromagnit va gravitatsiya o'zaro ta'sirlashuv qonuniyatlari o'rganilgan edi. Lekin yadro kuchlari qisqa masofada katta intensivlikdata'sirlashganligi uchun bu usulni qo'llash imkoniyatini bermaydj.

Yadro proton va neytronlardan tashkil topgan sistema, bu nuklonlar orasidagi o'zaro ta'sirlashuvni o'rganish uchun bog'langan sistema xususiyatlarini yoki bir nuklonning ikkinchisidan sochilishini o'rganish lozim. Ko'p nuklonlardan tashkil topgan sistemani o'rganish yo'li bilan yadro kuchi qonuniyatini aniqlash juda murakkab (ko'p nuklonli sistema turlicha harakatda, oriyentatsiyada, har xil tezlikda bo'lsa, hisoblash imkoniyatiga ega emasmiz).

Shuning uchun ikki nuklondan tashkil topgan bog'langan sistemani, masalan, deytronning xususiyatlarini yoki proton-proton ($p-p$), neytron-proton ($n-p$),

neytron-neytroh ($n-n$) o'zaro ta'sirlashuvlari past va yuqori energiya sohalarida o'rganish yadro kuchlarining tabiatini o'rganishda qulaylik tug'diradi.

Deytron. Deytron bitta proton, bitta neytrondan tashkil topgan ${}^2_1\text{H}_1$ -vodorod izotopi. Massa soni $A=2$, zaryadi $Z=1$, bog'lanish energiyasi $E=2,22 \text{ MeV}$, spin va juftligi $I^\pi = 1^+$, magnit momenti $\mu({}^2_1\text{H})=0,86\mu_{yam}$ kvadrupol momenti $Q=2,738 \cdot 10^{-27} \text{ sm}^2$, solishtirma bog'lanish energiyasi $\varepsilon = 1,11 \text{ MeV}$ nuklon bo'lgan bo'sh bog'langan yadrodir.

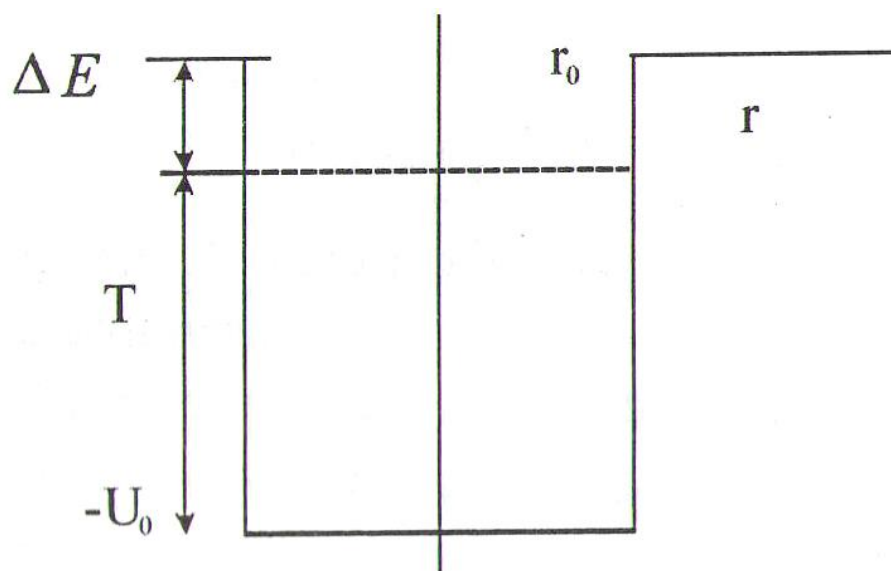
Deytronning bog'lanish energiyasi $2,22 \text{ MeV}$ ga teng, ya'ni bitta nuklonga to'g'ri keluvchi solishtirma bog'lanish energiyasi $1,1 \text{ MeV}$. Yengil yadrolarda solishtirma bog'lanish energiyasining qisqa masofada juda kichik bo'lishi yadroviy kuchning o'zaro ta'sirlashuvi ekanligidandir. Bu xususiyati deytron solishtirma bog'lanish energiyasini $A \leq 4$ bo'lgan yengil yadrolar solishtirma energiyalari bilan taqqoslasak ko'rinadi.

Yadro	${}^3_2\text{He}_1$	${}^4_2\text{Ne}_2$
Solishtirma bog'lanish 1,11 energiyasi (MeV/nukloni)	2,8	7,1

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, solishtirma bog'lanish energiyasi nuklonlar soni ortishi bilan o'trib bormoqda.

Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soni ortishi bilan o'trib borishini yadrodagil nuklonlar o'zaro bog'lanish sonining ortishi bilan tushuntirish mumkin. Masalan: ${}^2_1\text{H}$ da bitta, ${}^3_2\text{H}_1$ da uchta, ${}^4_2\text{Ne}$ da oltita juft bog'lanish bo'ladi. Proton-proton, neytron-neytron bilan bog'langan holat mavjud emas, bu bog'lanishlar energiyasi nol, $n-p$, $p-n$ bog'lanishlar energiyasi soniga ko'ra, bog'lanish energiyasi o'trib borishi kerak. Haqiqatan deytronning radiusi $R = 4,8 \cdot 10^{-13} \text{ sm}$, boshqa yadroviy o'lchamlardan katta bo'lib, chiqadi. Deytronda nuklonlar bir-biridan uzoqda joylashgan, shuning uchun sust bog'langan.

Deytrondagi nuklonlar bog'lanishini yadro potentsiali shaklida ifodalash mumkin. Bunda $U=0$ ikkala nuklon tinch holat energiyasi $U>0$ nuklon-nuklondan sochilishda, $U<0$ nuklonlar o'zaro bog'lanib turgandagi energiyalari.



1.3.1-rasm. Deytron uchun to'g'ri burchakli potensial o'ra.

U_0 - potensial chuqurligi, ΔE - bog'lanish energiyasi, T - nuklonlar kinetik energiyasi, r_0 - yadro kuchlar ta'sir radiusi, r - ta'sirlashuvchi nuklonlar markazlari orasidagi masofa.

ΔE - **deytron bog'lanish energiyasi**. Agar deytronga bog'lanish energiyasiga teng energiya berilsa, potensial o'radagi nuklon o'radan chiqib keta oladi, ya'ni deytron parchalanadi.

Klassik tasavvurlarga ko'ra, potensial o'ra chuqurligi bog'lanish energiyasiga teng bo'lishi kerak edi. Lekin kvant zarralar uchun boshqachadir.

Koordinata va impuls noaniqligiga ko'ra:

$$\Delta p \Delta x \geq h \quad (1.3.1)$$

Agar nuklon potensial chuqur ichqarisida ekan, Δx noaniqligi r_0 dan katta bo'la olmaydi, ya'ni $\Delta x < r_0$. Uholda

$$\Delta p \geq h/r_0 \quad (1.3.2)$$

impulsning o'rtacha qiymati Δp qiymatidan kichik bo'la olmaydi, bu zarralar potensial o'ra ichida tinch turmasdan hech bo'lmaganda $T = (\Delta p)^2/2M$ bo'lgan kinetik energiya bilan harakatlanib turishlarini anglatadi, ya'ni

$$T \geq \frac{h^2}{2Mr_0^2} \quad (1.3.3)$$

(1.3.3.) ifodadan nuklonlar orasidagi masofa - r_0 kamaysa kinetik energiya ortadi, yadro barqarorligini yo'qotadi. Zarralarni potensial chuqurda bog'langan holda turish uchun ΔE bog'lanish energiyasi katta bo'lishi kerak. Shunday qilib, potensial chuqur energiyasi - U_0 , zarralar kinetik energiyalari — T va ularning bog'lanish energiyalari — ΔE dan iborat.

$$|U_0| = T + \Delta E \quad (1.3.4)$$

Deytron $\Delta E_{bog'}$ energiyasi U_0 ga nisbatan kichik bo'lgani uchun quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$U_0 = T = \frac{h^2}{2mr_0^2} \quad (1.3.5)$$

bu yerda m – keltirilgan massa, $M = \frac{m_p \cdot m_n}{m_p + m_n} = \frac{m}{2}$, $m_p = m_n = m$ bo'lgani uchun $M = m^2/2m = m/2$ bo'ladi.

Har qanday sistema potensial o'ra kengligida va chuqurligida bog'langan holda bo'lishi uchun (1.3.5) potensial shaklda bo'lishi kerak. (1.3.5) ifodadan sistema barqarorligi U_0 va r^2 ga bog'liq:

$$U_0 r_0^2 = \frac{h^2}{m} \quad (1.3.6)$$

(1.3.6) ifodadan deytron uchun $r_0 = 1,5 \cdot 10^{-13}$ sm deb potensial o'ra chuqurligini hisoblash mumkin:

$$U_0 = \frac{h^2}{mr_0^2} = \frac{10^{-54}}{2 \cdot 10^{-26} \cdot 1,6 \cdot 10^{-24} \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} = 30 \text{ MeV} \quad (1.3.7)$$

Deytronning bog'lanish energiyasi $\Delta E = 2,22 \text{ MeV}$, past kinetik energiya holati o'ra chegarasiga yaqin, ya'ni deytron beqaror. Ma'lumki, energiyasi 30 MeV , bu tinch holat energiyasiga nisbatan juda kichik, demak nuklonlar yadroda nerelyativistik harakat qiladi.

Hozirgi ko'pgina tasavvurlarga ko'ra, deytron nuklonlarining o'zaro bo'sh bog'langanligi, nuklonlar orasidagi masofaning yadro kuchlari ta'sir sferasidan katta bo'lishligi sababli deb qaraydi. Shuning uchun nuklonlari birmuncha vaqti potensial tashqarisida ($r > r_0$) bo'ladi.

Deytronda nuklonlar qisqa masofada ta'sirlashganligi tufayli deytron bo'sh (g'ovvak) bog'langan bo'ladi, bundan tashqari uyg'ongan holatga ega bo'la olmaydi. Haqiqatan ham, birinchi uyg'ongan holat P – holat, bu holatga orbital moment $l = 1$ to'g'ri keladi. Markazdan qochma energiya deytron bog'lanish energiyasidan o'tib ketadi.

$$F_{mq} = -\frac{dU_k}{dr} = -\frac{m\mathcal{G}^2}{r} = -\frac{m^2\mathcal{G}^2r^2}{mr^3} = -\frac{|M|^2}{mr^3} = \frac{h^2l(l+1)}{mr^3} \quad (1.3.8)$$

$$U_{mq} = \frac{h^2l(l+1)}{MR_d^2} = 4 \text{ MeV} \quad (1.3.9)$$

Deytron spini va juftligi $I^\pi = 1^+$. Deytron spini spektral chiziqlarning o'ta nozik strukturasidan, juftligi deytron ishtirokida bo'ladigan reaksiyalardan aniqlangan.

Spini $I = 1$ bo'lishligi deytronda proton va neytron spinlari parallel ekanligi natijasidir. Deytronning bunday holati **triplet holat** deb ataladi. Deytronning spini $I = 0$ bo'lgan singlet holati uchramaydi, ya'ni spinlari antiparallel bo'lgan proton-neytron holati barqaror emas. Bu yadroviy kuchlarning spin yo'nalishga bog'liq ekanligidandir. Bundan ko'rinib turibdiki, proton bilan neytron spinlari parallel bo'lganda ularning tortishish kuchi antiparallel spinli holga nisbatan kuchliroq bo'lar ekan.

Deytronning magnit momenti $\mu_d = 0,86 \mu_{yam}$. U proton bilan neytronning magnit momentlari yig'indisidan ozgira kamdir:

$$\mu_p + \mu_n = 2,79\mu_{yam} - 1,91\mu_{yam} = 0,88\mu_{yam} \quad (1.3.10)$$

Bu ikki qiymatning bir-biridan ozgina bo'lsada farqlanishi yo deytrondagi nuklonlar spini aniq parallel bo'lmasligidan, yo nuklonlar orbital harakat tufayli qo'shimcha magnit moment hosil qilishi sabab bo'lishi mumkin. Deytronning spini 1 ga teng bo'lgani uchun birinchi taxmin noto'g'ri, demak, ikkinchi taxmin to'g'ridir.

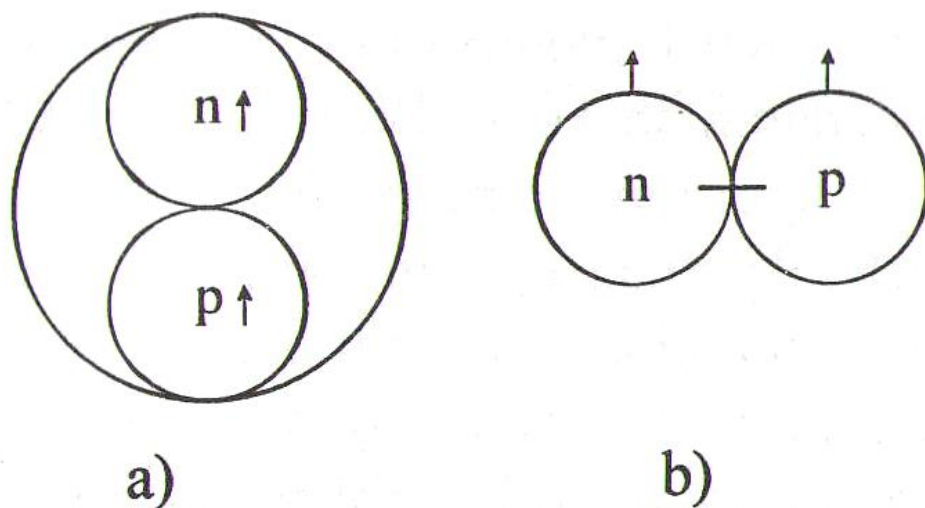
Deytron magnit momentini chuqur tahlil qilish proton va neytronlar orasidagi yadroviy o'zaro ta'sir kuchida markaziy xarakterga ega bo'lmagan o'zaro ta'sir ham mavjudligini ko'rsatadi. Haqiqatan, agar deytrondagi nuklonlar orbitadagi ta'sir kuchi faqat markaziy kuchdan iborat bo'lganda, deytronning eng past energetik holati orbital momentning $l=0$ qiymatiga mos keluvchi sof S holatdan iborat bo'lar edi.

Deytron magnit momenti μ_a , nuklonlar magnit momentlari $\mu_p + \mu_n$ dan chetlanish yadro kuchi markaziy emasligini ko'rsatadi. Haqiqatan, yadro kuchi markaziy bo'lmasa, orbital moment harakat integrali bo'la olmaydi. U holda to'la moment turli orbita momentlari yig'indisidan iborat bo'ladi. Deytron asosiy holat spin va juftligi $I^\pi = 1^+$ bo'lganligi uchun orbital proton va neytron spinlari yig'indisi 1 bo'lishi kerak. Nuklonlar S holatda $l=0$ da parallel holatda bo'lishi mumkin, antiparallel holatda bo'la olmaydi. Deytron juftligi juft bo'lganligi uchun S va d ($l=0, l=2$) holatlardagina bo'la oladi, P-holatda ($l=1$) bo'la olmaydi.

Xulosa qilib aytish mumkinki, deytron markaziy bo'lmagan kuchlar ta'sirida S va d holatlarda aralash turadi. Nuklonlar d orbitada harakatlanishi bilan magnit momentga hissa qo'shadi.

Magnit momentning chetlanishini deytron nuklonlari 4% vaqtini d orbitada o'tkazadi deyilsa tushunarli bo'ladi.

d holatda zaryad zichligining taqsimlanishi sferik simmetriyaga ega bo'lmagani uchun deytronning kvadrupol momenti noldan farqlanishi kerak. Yuqorida deytronning elektr kvadrupol moment $Q = 2,738 \cdot 10^{-27} \text{ sm}^2$ ga teng ekanligini aytgan edik. Demak, yadro kuchlari markaziy emas, balki tenzor xususiyatga ega, ya'ni deytrondagi nuklonlar spinlari parallel bo'lib, bir o'qqa joylashgandagina kuchli ta'sirlashadi, boshqa holatlarda ta'sirlashmaydi (1.3.1-rasm).



1.3.1-rasm. Deytron a) spinlari bir o'qqa joylashganda nuklonlar ta'sirlashadi;
b) ta'sirlashmaydi.

Boshqacha qilib aytsak, nuklonlar orasidagi ta'sirlashuv nuklonlar massalari orasidagi masofaga emas, balki bir-biriga nisbatan egallagan oriyentatsiyalariga bog'liq ekan.

Shunday qilib, deytronning xususiyatlarini o'rganish yadro kuchlarining qisqa masofada ta'sirlashuvini, spin yo'nalishiga bog'liqligini hamda markaziy emas, balki tenzor xarakterga ega ekanligini ko'rsatdi.

Nuklonlarning nuklonlardan turli energiyalarda sochilishini o'rganish ham yadro kuchlarining ba'zi xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi.

Ikki nuklonning bir-biridan sochilishi o'rganilganda ular spinlarining o'zaro yo'nalishi ham muhim ahamiyatga ega ekan ma'lum bo'ldi. O'zaro ta'sirlashuvchi nuklonlarning spini parallel yoki antiparallel bo'lishi mumkin. Spinlari parallel bo'lganda ko'rilayotgan sistemaning to'la spini h birliklarida 1 ga teng bo'lgani uchun, bu natijaviy spin yo'nalishiga nisbatan ikki nuklon spinlarining yo'nalishi turlicha bo'lishi mumkin. Shuning uchun parallel spinli nuklonlar ta'siri ta'sir kuchining markaziy bo'lmagan qismini hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Lekin nuklonlar spini antiparallel bo'lganda sistemaning natijaviy spini nolga teng bo'lgani uchun ikki nuklon orasidagi o'zaro ta'sir to'la markaziy kuchdan iborat bo'ladi.

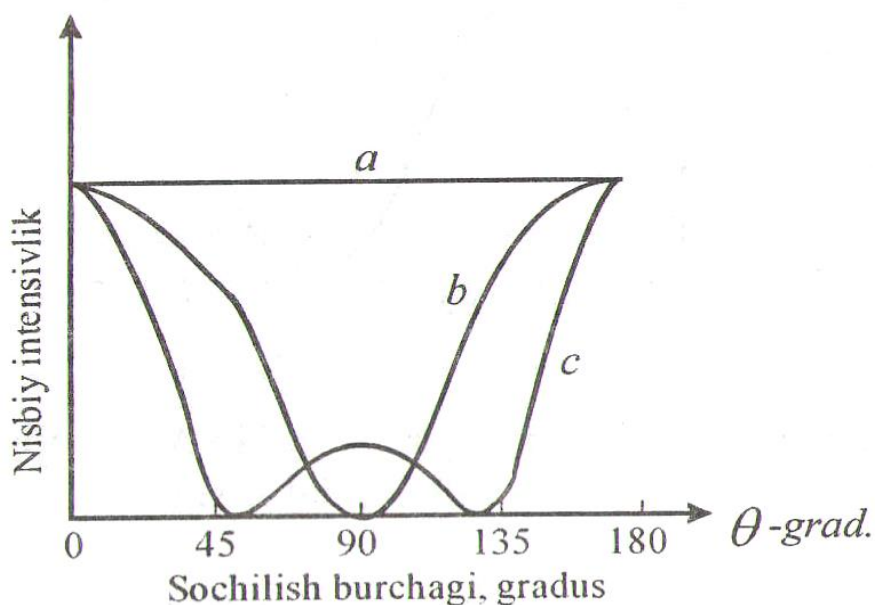
Bir nuklon ikkinchisidan sochilganda ularning bir-biriga nisbatan harakati orbital burchak moment bilan ham xarakterlanadi. Doira bo'ylab harakat qilayotgan zarraning burchak momenti zarra impulsini aylana radiusiga ko'paytmasi bilan aniqlanadi. Bir nuklon ikkinchisidan sochilib o'z yo'nalishini o'zgartirgan holda, orbital burchak moment harakatdagi nuklon impulsini urilish parametriga (ikki zarraning eng yaqinlashish masofasiga) ko'paytmasi bilan aniqlanadi.

Kvant fizikasida burchak moment juda muhim ahamiyatga ega. U ikki asosiy shartni qanoatlantirishi kerak. Birinchidan, ikki nuklon spini parallel bo'lganda natijaviy spin birga teng bo'lib, orbital moment yo'nalishiga nisbatan u faqat uch xil yo'nalishga ega: orbital momentga parallel, tik yoki antiparallel bo'lishi mumkin. To'la spin bilan orbital momentning o'zaro yo'nalishiga bog'liq ravishda yadroviy o'zaro ta'sir kuchining ikkinchi markaziy bo'lmagan qismi, spin-orbital o'zaro ta'sir yuzaga keladi. Ta'sirlashuvchi zarralarning spinlari antiparallel bo'lganda spin orbital o'zaro ta'sir yuzaga kelmaydi.

Ikkinchidan, orbital moment kvantlangan bo'lib, u faqat h ga karrali lh qiymatlarni olishi mumkin. Bu yerdagi orbital moment kvant soni $l = 0, 1, 2, 3, \dots$ qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Orbital momentning nolga teng bo'lishi zarralarning markaziy to'qnashishiga mos keladi.

Agar zarralar to'lqin xususiyatga ega ekanligini e'tiborga olsak, bunday to'qnashishni bir to'lqinning ikkinchisidan o'tishi bilan tushuntirish oson. Shunday qilib, yuqori tartibli orbital momentlarga yuqori tezlik yoki energiya mos keladi. Haqiqatan, agar klassik fizika nuqtai nazaridan orbital momentni $m \cdot a \cdot d$ ga teng ekanini e'tiborga olsak (d - urilish parametri), masalan, $m \cdot a \cdot d = 1h$ da zarralar bir-biriga juda yaqin kelishi, ya'ni d kichik bo'lishi uchun 9 katta bo'lishi kerak. Aksincha, zarraning tezligi yoki energiyasi qancha kichik bo'lsa, $m \cdot a \cdot d = 1h$ munosabatning bajarilishi uchun ularning yaqinlashish masofasi d shuncha katta bo'ladi. Qisqa ta'sir radiusga ega bo'lgan yadroviy o'zaro ta'sir kuchi orqali sochilishi yuz berishi uchun orbital moment birga teng bo'lganda zarraning energiyasi ma'lum minimal energiyadan katta bo'lishi kerak. Yuqori orbital momentlarda esa minimal effektiv energiya qiymati ortadi. Odatda $l = 0, 1, 2, 3, \dots$

va hokazo orbital momentga mos keluvchi to'liqlar s , p , d , f va hokazo harflar bilan belgilanadi. Yuqori tartibli orbital momentlarga mos keluvchi to'liqlarning to'liq uzunligi zarra energiyasining kvadrat ildiziga teskari mutanosib ravishda kamayib boradi. Tajribada odatda nuklonlar oqimi ko'p nuklonlardan iborat bo'lgan nishonda sochilishi kuzatiladi. Nuklonlar oqimining energiyasi ortganda sochilishda S to'liqdan tashqari yuqori tartibli p , d va h.k. to'liqlar ham qatnashadi. Natijada sochilish manzarasi murakkablashadi. Chunki har bir to'liq uchun o'z sochilish tasviri xosdir. Masalan, s to'liq grafigi laboratoriya koordinata sistemasida izotrop sochilishga xos bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa (1.3.2-a-rasm), p va d to'liqlar uchun sochilish burchak taqsimotiga b) va d) grafiklarda ko'rsatilgan murakkab chiziqlarga mos keladi.

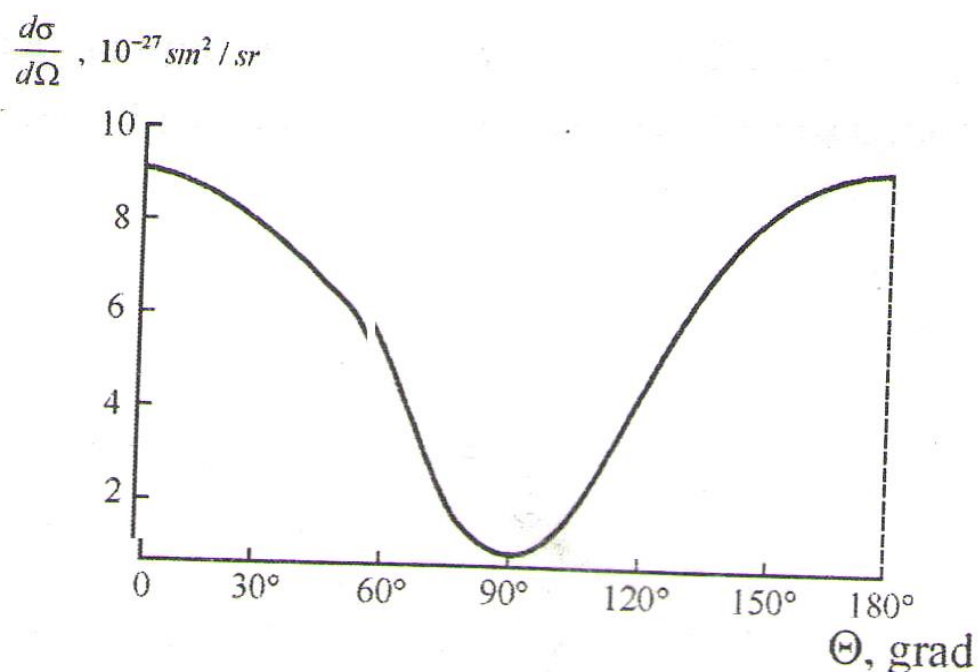


1.3.2-rasm. Nuklonlarning nuklonlarda sochilish burchak taqsimoti:

a) sof s to'liq uchun; b) sof d to'liq uchun; d) sof p to'liq uchun.

Nuklonlarning nuklonlardan sochilishi bo'yicha olib borilgan tajribalar yadroviy kuchlarning quyidagi xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi. $n-p$, $p-p$, $n-n$ lardan sochilishda ta'sirlashuv parametri bir xil, zaryad holatiga bog'liq emas, tortishuv xususiyatiga ega ekan. Ta'sirlashuv yuqori energiyalarda ta'sir masofaning $R = (0,3-0,4) \cdot 10^{-13}$ sm da kuchli itarishuvchi kuch vujudga kelishligi ma'lum bo'ldi. $n-p$ ta'sirlashuv spin yo'nalishigabog'liqligini ko'rsatdi. Spinlari

parallel bo'lganda, antiparallel bo'lgan holatdagidan kuchli ta'sirlashar ekan. Haqiqatan ham, neytronlarning para va o'rta vodorod molekulalaridan sochilish kesimi nisbati $\sigma_{\text{para}} / \sigma_{\text{orto}} = 30$ ga teng. Bundan tashqari bir necha yuz MeV energiyali n - p ta'sirlashuvlari yadroviy kuchlarning almashinuv xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi (1.3.3.-rasm). Bunda nuklonning tushish yo'nalishida, ($\theta = 0^\circ$) bo'lganda maksimum bo'ladi, $\theta = 180^\circ$ da ham maksimum bo'lishi sochilishda n ning p bilan almashishi bilan tushuntiriladi. Nuklonlar o'zaro ta'sirlashganda spin proyeksiyalarini, zaryadlarini, koordinatalarini almashinadi.



1.3.3-rasm. Neytron energiyasi $E_n = 315 \text{ MeV}$ bo'lganda n - p sochilish differensial kesimi.

2 BOB. ELEMENTAR ZARALARNING ASOSIY MANBAI

2.1–§. Kosmik nurlar va uning turlari.

Hozirgi zamon fizikasining yakunlovchi bo‘limi – yuqori energiyalar yoki elementar zarralar fizikasidir.

Kosmosdan kelayotganligi uchun kosmik nurlar deb nom olgan zarralarni ionizatsion kameralardagi sirqish tokining sabablarini qidirish tufayli kashf etiladi. Yadroviy nurlanishlar ta’siri bo‘lmagan holda ionizatsion kamera orqali o‘tadigan tokining (sirqish tokning) qiymati juda kichik bo‘ladi. Bu tok ionizatsion kamerada qo‘llanilgan elektroizolyatsion materiallarning nihoyat kichik bo‘lsada, o‘tkazuvchanlik xususiyatiga egaligi tufayli kelib chiqadi.

1911-1912 yillarda Gess, Gekkel’ va Kol’gerster havo sharlari yordamida ionizatsion kameralarni atmosferaning yuqori qatlamlariga ko‘tarib maxsus tajribalar o‘tkaziladi. Tajriba natijalarini muhokama qilib, quyidagi xulosaga keldilar. Kosmik fazodan kelayotgan kamera tokining ortishiga sababchilar. Keyinchalik ko‘pgina olimlarning xizmatlari tufayli ionizatsion kameradagi gazni ionlashtiruvchi nurlanish (ya’ni kosmik nurlar)ning tabiati aniqlandi: Kosmik nurlanish 2 xil bo‘ladi: birlamchi va ikkilamchi.

1) Birlamchi nurlanish zarralarning o‘rtacha energiyasi 10^{10} eV ga teng. Lekin ayrim zarralar energiyasi 10^{19} eV va hatto undan ham katta qiymatlarga ega bo‘ladi. Birlamchi nurlarning tarkibi, xavo sharlarini kosmosga olib chiqish natijasida olingan tajribalar asosida o‘rganilgan. Jadvalda Yer sirtining kosmik nurlanish tarkibida tushayotgan zarralar soni keltirilgan.

2.1.1-jadval

Nurlanish turi	Zarralarning nomi	Z	Zarralar soni (%)
Birlamchi kosmik nurlanish	P-protonlar	1	1300 (93)
	α - zarralar (alfa)	2	94 (6)
	Li, Be, B – larning yadrolari	3-5	2
	C dan F gacha elementlar yadrolari	6-9	6,7
	Ne dan K gacha elementlar yadrolari	10-19	2
	Ca dan U gacha elementlar yadrolari	20-92	0,5

JAMI: 1405 (100)

Birlamchi kosmik nurlanish natijasida 1 m^2 yuzaga kelib tushayotgan zarralar asosan proton zarralaridan tashkil topgan bo‘lib, ularning ulushi 90% dan ortiqroqdir.

2) Birlamchi nurlanish Yer atmosferasining yuqori qatlamlaridagi atomlar yadrolari bilan to‘qnashib, ikkilamchi nurlanishni vujudga keltiradi. Odatda 20 km dan quyiyoq balandliklarda kosmik nurlar asosan, ikkilamchi nurlanishdan iborat bo‘ladi.

Nurlanish ikki komponentadan iborat:

a) yumshoq komponenta ($\gamma \rightarrow e^-, e^+$)

b) qattiq komponenta (μ^-, μ^+)

v) Yumshoq komponenta e^-, e^+ -juftlari galasidan iborat.

Tez harakatlanayotgan zaryadli zarra atom yadrosining yaqinidan uchib o‘tayotganda tormozlanadi, natijada γ kvant chiqariladi. Shu tarzda yoki boshqa biror protsessda (jarayonda) vujudga kelgan katta energiyali – kvant atom yadrosi bilan ta’sirlashganda e^-, e^+ - juft hosil bo‘ladi.

Havo tarkibidagi atom yadrosining yaqinidan uchib o‘tayotgan $e^-, (e^+)$ – tormozlanib, γ -kvant chiqaradi. U esa yana e^-, e^+ - juftni hosil qiladi va hokazo. Jalasimon rivojlanayotgan bu protsess γ – kvant energiyasi e^-, e^+ - juftlar jalasi birinchi marta 1928 yilda akademik Skobel’sin tomonidan kuzatilgan.

3) Qattiq komponenta mezonlar oqimidan iborat. Tajribalar asosida (Vil’son kamerasida olingan fotosuratlar) kosmik nurlar qattiq massasi elektron massasidan 200 marta katta bo‘lgan zaryadli zarralar mavjudligi aniqlandi. Qayd qilingan zarralarning massasi e^- va p massalarining oraligidagi qiymatga ega bo‘lganligidan ularni mezonlar (grekcha “μezos” – “oralikdagi”) deb ataladi.

Ular 2 xil μ^+ va μ^- . Massasi $m_\mu = 207 m_e$, $\tau \approx 2 \cdot 10^{-6}$ sek yemirilish davriga teng va 2 lasining yemirilishi quyidagi sxemalar bo‘yicha amalga oshiradi.



kosmik nurlarni o‘rganish jarayonida yana bir necha elemantar zarralar kashf etildi.

Zarralarning turlarini hosil qilish uchun, kosmosdan kelishini kutib o'tirmasdan turli tezlatgichlar yordamida ekperimental ustanovkalar (asboblar) vositasida ham olish mumkin. Bu tezlatgichlar yordamida yuqori energiyali protonlarni olish mumkin. Yuqori energiyali protonlarni kameralarga yo'llash bilan turli – tuman zarralarni yaratish mumkin.

$$\begin{aligned} p\bar{p} &\rightarrow p\bar{p}p\bar{p}; & p &\rightarrow n e^+ \nu \\ p\bar{n} &= p\bar{n}p\bar{p}; & n &\rightarrow p e^- \bar{\nu} \end{aligned}$$

p – antiprotoning zaryadi manfiy, xususiy magnit momenti mexanik momentga teskari yo'nalgan.

p va $\bar{p}$ o'zaro annigilyatsiyalanadi ($e^- e^+$ ga o'xshash).

n – ning xususiy magnit momentining yo'nalish mexanik moment yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} \bar{n} &\text{ va } n \\ \bar{p} &\text{ va } p \end{aligned} \right\} \text{ annigilyatsiyalanadi.}$$

Hozirgi vaqtda deyarli barcha zarralarning (γ , π^0 , η – lardan tashqari) antizarralari mavjud.

Hozirgi zamon tasavvurlarga asosan, ma'lum bo'lgan boshqa zarralardan tashkil topgan zarrani elementar deb atash mumkin.

2.2–§. Myu mezonlar haqida.

Zarralarning turlarini hosil qilish uchun kosmosdan kelishini kutib o'tirmasdan turli tezlatkichlar (uskoritellar) yordamida eksperimental ustanovkalar vositasoda ham olish mumkin. Yuqori energiyali zarrachalar (birlamchi va ikkilamchi) yuqori energiyalar fizikasida o'rganiladi.

Yuqori energiyalar fizikasi energiyasi 1 GeV (gigazlektronyunot) dan boshlanadi. Yuqori energiyalik protonlarni kameralarga yo'naltirish bilan turli xil hodisalar ro'yxatga (registratsiya) olinib, EXM larda hisoblash amalga oshiriladi. Bu xodisalardagi zarrachalar turli – tuman bo'lib, ularni impul'slari ham har xil bo'ladi. Birlamchi zarralarning impul'sini ortib borishi bilan yangi hosil bo'layotgan zarrachalar soni ortib boradi, natijada ularning o'rtacha qiymati ham ortib ketadi.

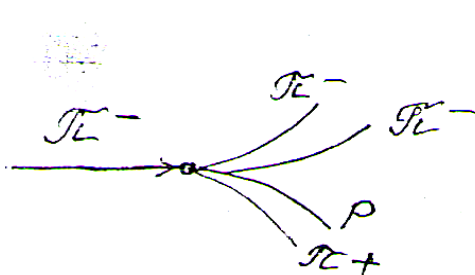
Birlamchi zarralarning turlari tezlatgichlardan chiqqandan so'ng, maxsus kameralarga (propan kamerasi, vodorod to'ldirilgan kamera, strimer kamera, emul'siya va boshqalar) yuborilib, turli ikkilamchi zarralar hosil bo'lgan reaksiyalar rasmga olinadi. Olingan reaksiya ikkilamchi zarralarning taxlili oson yoki murakkabligiga qarab 2 turga bo'linadi.

I. Eksklyuziv

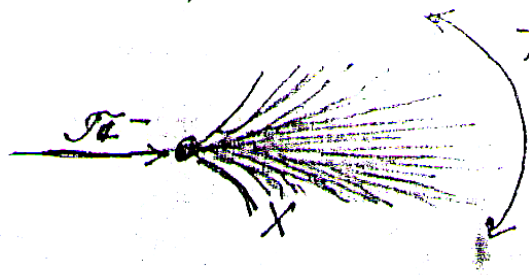
II. Inklyuziv reaksiyalar.

Inklyuziv reaksiyalarda yangi tug'ilgan zarralarning soni 70 – 80 taga va undan ham ko'p bo'lishi mumkin (2.2.1 - rasm).

Eksklyuziv reaksiyalarda esa zarrachalar soni 10 tagacha bo'ladi, ya'ni hamma zarrachani aniq ko'rish mumkin.

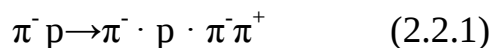


4 – yulduzli eksklyuziv hodisa



Ko‘p yulduzli hodisa (inklyuziv hodisa)

2.2.1-rasm va keltirilgan hodisani reaksiya ko‘rinishda quyidagicha yozish mumkin.



2.2.1 – rasmda keltirilgan hodisa uchun reaksiyani yozilishi quyidagicha $\pi^- p \rightarrow X + \text{turli zarralar}$.

Eksklyuziv hodisa (2.2.1–rasm) larni (2 – yulduzli, 4 – yulduziv, 6 – yulduali, 8 – yulduali va 10 - yulduali) larni oson taxlil (EXM lari qo‘llab programmalar yordamida) qilish mumkin. Bunday reaksiyalari impul’s va energiyaning saqlanish qonuni aniq bajariladi.

Inklyuziv hodisa (ko‘p yulduzli hodisa, 2.2.1-rasm) larni o‘rganish juda murakkab. Shuning uchun bitta ajratib olingan X-zarrachani fizikasini o‘rganish (taxlil qilish) xam EXM vositasida xisoblanib, olingan natijalar yordamida boshqa zarralar to‘g‘risida umumnazariy fizik modellarni tadbiq qilish amalga oshiriladi.

Bunday hodisalardagi muammolar quyidagilardan iborat.

1. Ikkilamchi zarralar aniq emas.
2. Impuls va energiyaning saqlanishi bajarilmasligi mumkin (chunki qanday neytral zarra tug‘ulganligi noma’lum).
3. Barionlar soni aniq emas va hoqazo.

Demak, yuqori energiyalar fizikasida noma’lum muammolar yetarlicha.

Zarrachalarning kelib chiqish va manbai qayerda? Zarrachalar asosan kosmosdan keladi.

Kosmosdan kelayotganligi uchun kosmik nurlar deb nom olgan zarralarni ionizatsion kameralardagi sirqish tokining sabablarini qidirish tufayli kashf etildi.

Yadroviy nurlanishlar ta'siri bo'lmagan holda ionizatsion kamera orqali o'tadigan tok (ya'ni sirqish toki) ning qiymati juda kichik bo'ladi. Bu tok ionizatsion kameralarni yuqori qatlamlariga ko'tarib o'tkaziladi.

Tajriba natijalarini muhokama qilinib, quyidagi hulosaga kelindi. Kosmik fazodan kelayotgan qandaydir zarralar ionizatsion kamera tokining ortishiga sababchidir. Keyinchalik ko'pgina olimlarning xizmatlari tufayli ionizatsion kameradagi gazni ionlashtiruvchi nurlanish (ya'ni kosmik nurlar)ning tabiati aniqlandi. Bundan shunday xulosa qilish mumkin: elementar zarralarning manbai kosmosdan kelayotgan birlamchi va ikkilamchi zarrachalar turkumidan iborat.

1) Birlamchi zarralarning o'rtacha energiyasi 10 GeV ga teng. Lekin ayrim zarralar energiyasi 10^{10} GeV va hatto undan ham yuqori qiymatlarga ega bo'ladi. Birlamchi, kosmosdan kelayotgan zarralar turkumini asosan protonlar tashkil qiladib, ularning umumiy ulushi 90% dan ortiqroqdir.

2) Birlamchi zarralar Yer atmosferasining yuqori qatlamlaridagi atomlar yadrolari bilan to'qnashib, ikkilamchi zarralarni vujudga keltiradi. Odatda, 20 km dan quyiroq balandliklarda kosmik nurlar (zarralar), asosan ikkilamchi nurlanish (zarrachalar) dan iborat bo'ladi. Ikkilamchi zarralar o'z navbatida yana ikki hil komponentadan tashkil topgan bo'ladi:

a) yumshoq komponenta.

b) qattiq komponenta.

Yumshoq komponenta ($e^- e^+$) – juftlari jalasidan iborat tez harakatlanayotgan zaryadli zarralar atom yadrosining yaqinidan uchib o'tayotganda tormozlanadilar, natijada γ – kvant chiqariladi.

Shu tarzda yoki, boshqa biror protsessda (jarayonda) vujudga kelgan katta energiyali γ – kvant atom yadrosi bilan ta'sirlashganda ($e^- e^+$) juft hosil bo'ladi. Havo tarkibidagi atom yadrosining yaqinidan uchib o'tayotgan e^- yoki e^+ tormozlanib, γ – kvant chiqaradi. U esa yana ($e^- e^+$) juftni hosil qiladi va hokazo. Jalasimon rivojlanadigan bu protsess γ – kvant energiyasi ($e^- e^+$) juftni hosil qilishga yetmay qolguncha davom etishi mumkin.

Qattiq komponenta mezonlar oqimidan iborat. Tajribalar asosida olingan bu zarrachalarni μ^- va μ^+ (myu) mezonlar deyilib, e^- massasidan 200 – marta kattadir. Ular zaryadlangan va quyidagi sxemalar bo'yicha yemiriladi (yemirilish davri 10^{-6} s).

$$\mu^- \rightarrow e^- \nu T \quad (2.2.2)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu T \quad (2.2.3)$$

Kosmik zarralarni o'rganish jarayonida bir tur elementar zarralar yana bir necha elementar zarralar kashf etildi. Ularning ko'pchiligi eksperimental ustanovkalarda topilgan. Quyidagi jadvalda zarachalar klassifikatsiyasi keltirilgan.

Zarrachalar klassifikatsiyasi

2.2.1-jadval

Zarra nomi	Belgisi		Tinchlikdagi massasi (mev)	Yashash doimiyligi (SEK)
	Zarra/antizarra			
I klass (foton)				
Foton			0	Barqaror
II klass (leptonlar)				
Elektron	e ⁻	e ⁺	0,511	Barqaror
myu-mezon	μ ⁻	μ ⁺	106	2 · 10 ⁻⁶
neytrino	ν	$\overline{\nu}$	0	Barqaror
III klass (mezonlar)				
Pi-mezon	π ⁺	π ⁻	140	2,6*10 ⁻⁸
Pi-nol				
Mezon	π ⁰		135	0,8*10 ⁻¹⁶
Ka-mezon	K ⁺	$\overline{K}^+$	4,94	1,2*10 ⁻⁸
Ka-nol				
Mezon	K ₀	$\overline{K}_0$	4,98	10 ⁻¹⁰ /10 ⁻⁸
Eta-mezon	η		549	2,4*10 ⁻¹⁹
IV – klass (barionlar)				
Proton	R	$\overline{P}$	938.2	Barqaror
Neytron	n	$\overline{n}$	939.6	0.9*10 ³
Lyameda				
Riperon	λ	$\overline{\lambda}$	1116	2.5*10 ⁻¹⁰
Sigma Plyus-Gip	Σ ⁺	$\overline{\Sigma}^+$	1189	0,8*10 ⁻¹⁰
Sigma Nol-Gip	Σ ⁰	$\overline{\Sigma}^0$	1192	<10 ⁻¹¹
Sigma Minus-Gip	Σ ⁻	$\overline{\Sigma}^-$	1197	1,5*10 ⁻¹⁰
Ksi-nol giper	Ξ ⁰		1135	3*10 ⁻¹⁰

Ksi-minus gip	Ξ^-	$\overline{\Xi^0}$	1321	$1,7 \cdot 10^{-10}$
Omega-minus-gip	Ω^-	$\overline{\Xi^-}$	1672	$1,3 \cdot 10^{-10}$
Dupl-ve Bozon	$W^\pm$	$\overline{\Omega^-}$	81000	$G < 6,5 \text{ GeV}$
Zet-Bozon	Z^0	$\overline{W^\pm}$	92,400	$G < 5,6 \text{ GeV}$
		$\overline{Z^0}$		

Birlamchi zarraning energiyasi kichik bo'lganda, yangi tug'ulayotgan zarralar soni uchun ko'p bo'lmaydi va saqlanish qonunlari aniq bajariladi ko'p yulduzli hodisalar asosan yuqori energiyalarda vujudga keladi, shuning uchun fizik qonunlarni bajarilishini taxlil qilish ancha murakkablashadi. Quyidagi jadvalda ba'zibir kattaliklarni turli to'qnashishlarda saqlanishi keltirilgan.

Saqlanish qonunlari

2.2.2-jadval

Fizik kattaliklar	Ta'sir turlari		
	Kuchsiz	Elektromagnit	Kuchli
1 Energiya (impul's)	+	+	+
2 Zaryad	+	+	+
3 Varion soni	+	+	+
4 Lepton soni	+	+	+
5 I (izospin)	-	-	+
6 S (g'alatilik)	-	+	+
7 S (maftunlik)	-	+	+
8 R (juftlik)	-	+	+
9 S (zaryad turlanish)	-	+	+
10 SR (yoki T)	+ **)	+	+
11 SRT (kombinatsion juftlik)	+ **)	+	+

Eslatma

*) + saqlanadi

– saqlanmaydi

**) K^0 – yemirilishda saqlanmaslik 10^{-3} ulushni tashkil qiladi. Materiya 2 xil ko‘rinishda mavjud bo‘lib (modda va maydon ko‘rinishda) ular kichik mikrozarralardan tuziladi. Mikrozarralar harakati xech vaqt to‘xtab qolmaydi. Demak, materiya doimiy harakatda. Zarrachalar bir turdan boshqa turga aylanishda o‘zidan yengil zarrachalarni vujudga keltiradi, to $(e^- e^+)$ juftlari hosil bo‘lmaguncha. Budan kelib chiqadigan muammolar:

a) nima uchun hamma fizik kattaliklar turli ta’sirlashish jarayonida bajarilmaydi.

b) juftlik va fazaviy inversiya ba’zi ta’sirlarda bajariladi, ba’zilarida esa bajarilmaydi.

2.3–§. Ikkilamchi kosmik nurlarni kelib chiqishi.

Hozirgi zamon tasavvurlariga asosan, ma'lum bo'lgan boshqa zarralardan tashkil topmagan zarralarga elementar zarralar deyiladi.

Elementar zarralarning asosiy xususiyatlaridan biri ularning biri ikkinchisiga aylanishidir. Masalan

$$\begin{aligned} n &\rightarrow p + e^- + \nu; & \pi^0 &\rightarrow \gamma + \gamma; \\ \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu; & \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}; \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}; & \mu^- &\rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu} \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

Elementar zarralarning xossalari va xarakterini izohlash uchun ularning massasi, elektr zaryadi va spinidan tashqari, ularni xarakterlovchi boshqa kattaliklar (kvant sonlari, o'zaro ta'sir) ham mavjud.

Biz shu kattaliklar to'g'risida mulohaza yuritamiz. Elementar zarralarni dinamikasini o'rganish to'rt xil ta'sirga asoslangan.

1. Kuchli o'zaro ta'sir;
2. Elektromagnit o'zaro ta'sir;
3. Kuchsiz o'zaro ta'sir;
4. Gravitatsion o'zaro ta'sir.

Bu o'zaro ta'sirlar ularning intensivligi kamayishi tartibida joylashgan.

1. Kuchli o'zaro ta'sir.

Bu o'zaro ta'sirni turi ko'p xollarda yadroviy o'zaro ta'sir ham deyiladi, chunki bu o'zaro ta'sir yadrodagi nuklonlarni bir-biriga bog'laydi. Bu to'g'rida biz yadro kuchlarining tabiatini o'rganish jarayonida tanishgan edik (ya'ni ular) qisqa masofada ta'sir qila oladi.

Nuqlonlar orasidagi

masofa $2 \cdot 10^{-15} \text{ m} >$ da ta'sir sezilmaydi.

masofa $1 \cdot 10^{-15} \text{ m} <$ da itarishishadi.

masofa $1.5 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ da tortishishadi.

b) o'zaro ta'sir nuklonlar zaryadiga bog'liq emas, (bu xossa yadro kuchlarining zaryaddan mustaqilligi deyiladi).

v) bu, ta'sir nuklonlar spinlarining bir-biriga nisbatan joylashishiga bog'liq. Masalan, neytron bilan protonning spinlari bir-biriga $\parallel$ - parallel bo'lgandagina ular deytton hosil qilib birgalikda turadi.

g) yadro kuchlari to'yinish xossasiga ega (ya'ni yadrodagilar har bir nuklon chekli sonidagi nuklonlar bilan o'zaro ta'sir qila oladi).

4-la o'zaro ta'sirlarni xarakterlovchi kattalik (yoki o'zaro ta'sir intensivligini xarakterlovchi kattalik) bu o'zaro ta'sir konstantasidir.

Bu o'lchamsiz G^2 kattalikdir.

Bu kattalik mazkur o'zaro ta'sir natijasida sodir bo'luvchi jarayonlar xarakterlaydi.

Kuchli o'zaro ta'sir uchun

$$G^2 = G_s^2 = 1 \text{ (strong)}$$

Kuchli o'zaro ta'sir mavjudga keladigan eng katta masofa (ta'sir doirasi radiusi r) $\sim 10^{-13} \text{ sm} \sim 10^{-15} \text{ m}$ yoki 1 f (fermi)ga teng.

Biror zarra G tezlik bilan boshqa zarra yonidan o'tayotganda

$$\tau = \frac{r}{c} = \frac{10^{-13} \text{ sm}}{3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sek}}} = \frac{10^{-15} \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sek}}} = 10^{-23} \text{ sek} \quad (2.3.2)$$

vaqt davomida o'zaro ta'sirda bo'ladi. Shu sababli kuchli ta'sir 10 sek tartibidagi o'zaro ta'sir vaqti (τ_s) bilan xarakterlanadi.

2. Elektromagnit o'zaro ta'sir.

a) Elektromagnit o'zaro ta'sir doirasi radiusi cheklanmagan ($R = \infty$)

b) O'zaro ta'sir konstantasi

$$G^2 = G_e^2 \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137} \quad (2.3.3)$$

Demak, elektromagnit o'zaro ta'sir intensivligi kuchli o'zaro ta'sir intensivligidan taxminan 100 marta kam.

v) O'zaro ta'sir namoyon bo'lishi uchun zarur bo'lgan vaqt uning intensivligiga (yoki extimoliga) teskari proporsional. Shu sababli bu ta'sir uchun

$$\tau_e = \tau_s \cdot \frac{G_s^2}{G_e^2} \approx 10^{-21} \text{ sek} \quad (2.3.4)$$

3. Kuchsiz o‘zaro ta’sir.

Kuchsiz o‘zaro ta’sir, kuchli o‘zaro ta’sir kabi, yaqin a)masofada ta’sir qiladi.

b) O‘zaro ta’sir konstantasi juda kichik: $G^2 = G_w^2 = 10^{-14}$

Demak, o‘zaro ta’sir vaqti

$$\tau_w \approx 10^{-9} \text{ sek} \left(\tau_w \approx \tau_s \cdot \frac{G_s^2}{G_w^2} \right) \quad (2.3.5)$$

Kuchsiz o‘zaro ta’sir (yoki yemirilish o‘zaro ta’siri) yadrolarning xamma β – yemirilishiga (K-tutish ham) el-r zarralarining ko‘p xil yemirilishiga, shuningdek neytrino bilan modda orasida bo‘ladigan hamma o‘zaro ta’sir jarayonlariga tegishlidir.

4. Gravitatsion o‘zaro ta’sir.

a) Bu ta’sirning ham ta’sir radiusi cheklanmagan ($r = \infty$)

b) O‘zaro ta’sir konstantasi nihoyatda kichik $G^2 = G_g^2 = 10^{-39}$

v) Binobarin, o‘zaro ta’sir vaqti

$$\tau_g = \tau_s \cdot \frac{G_s^2}{G_g^2} = \tau_s \cdot \frac{10^{-23} \text{ sek}}{10^{-39}} = 10^{16} \text{ sek} \approx 10^9 \text{ yil} \quad (2.3.6)$$

1 yil $\approx 3 \cdot 10^7$ sek. ga teng.

Gravitatsion o‘zaro ta’sir universal xisoblanadi, hamda elementar zarralar o‘zaro gravitatsion ta’sir qilishadi. Biroq mikroduyo protsesslarida gravitatsion o‘zaro ta’sir sezilarli rol’ o‘ynamaydi.

Quyidagi jadvalda G^2 va τ lar qiymatlari taqqoslab ko‘rsatilgan

(2.3.1 - jadval).

O‘zaro ta’sir turlari	O‘zaro ta’sir konstantasi G	O‘zaro ta’sir vaqti (sek)
Kuchli (yadroviy)	1	10^{-23}
elektromagnit	$1/137 \approx 10^{-2}$	10^{-27}

Kuchsiz (yemirilish)	10^{-14}	10^{-3}
Gravitatsion	10^{-39}	10^{16} (10^9 yil)

Oralarida bo‘ladigan o‘zaro ta’sir xarakteriga qarab elementar zarralar uch sinfga bo‘linishi mumkin.

1. Fotonlar – r (elektromagnit maydan kvantlari)

Bu zarralar elektromagnit o‘zaro ta’sirida ishtirok etadi, lekin kuchli va kuchsiz o‘zaro ta’sirga ega emas.

2. Leptonlar – (grekcha “leptom” - yengil)

Bu zarralar kuchsiz o‘zaro ta’sirga ega. Ulardan elektr zaradiga ega bo‘lganlari (μ^- , μ^+ , e^- , e^+) elektromagnit o‘zaro ta’sirga ega (2.3.2 – jadvalga qarang)

№	Namlari	Taqsimot		Kuchli	Elektro magnit	Kuchsiz	Gravitatsion
		F-D	B-E				
1	Foton (γ)				+		
2	Leptonlar						
	a) μ^-, μ^+	+(1/2)				+	
	b) e^-, e^+				+		
	v) $\nu, \bar{\nu}$				+		
3	Andronlar						
	1. Mezonlar			+	+	+	
4	a) π^-, π^+, π^0		+(0)				
	b) $K^-, K^+, K^0, \bar{K}^0$						
5	2. Barionlar						
	a) p, n	+(1/2)					
	b) $\Lambda^0, \Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$						
	Ξ^0, Ξ^-, Ω^-						

3. Yadronlar (grekcha “zdros” – og‘ir, salmoqli)

Bu sinfga kuchli o‘zaro ta’sirga ega bo‘lgan hamma zarralar kiradi. Bu zarralar kuchli o‘zaro ta’sir bilan birga kuchsiz va elektromagnit o‘zaro ta’sirga ham egadir. Adronlar ikkita gruppachaga bo‘linadi:

1. Mezonlar;
2. Barionlar.

Mezonlar beqaror zarralardir ular π -va k-mezonlardan tashqari tongandir. Ular yemirilib o‘zidan yengil zarralarni hosil qiladi. π^0 – mezon yemirilib 2-ta γ – kvant hosil qiladi.

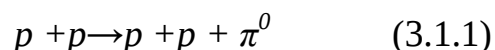
3 BOB. ELEMENTAR ZARRALAR

3.1–§. Elementar zarralarning yer sharoitida olinishi.

Chor atrofimizda va o‘zimizda xam xar daqiqa muxim o‘zgarish – bir turdan ikkinchisiga aylanishlar yuz berib turadi. Masalan, gugurt cho‘pini yondirdik deylik. Bu xodisa xakikiy aylanishga misoldir. Albatta, bir turdan ikkinchisiga aylanish cho‘pni yonib yo‘q bo‘lishidagina emas, uglerod atomlarining xavoning kislorod molekulalari bilan birikib, materiyaning boshqa formasi – karbonat angidrid gaziga aylanishida xam emas, balki asl aylanish yorug‘lik nurining paydo bo‘lishida yuz beradi. Materiyaning atomar tarkibiy tuzilishiga ega emas, mutlaqo yangi formasi — foton tug‘ildi. Biz ajoyib tabiiy xodisaning guvoxi bo‘ldik. Bu kabi xodisa — yangi elementar kolmasdan, balki mikroduiyoda dam-badam yuz beruvchi xodisadir. Yorug‘lik nurlanishidan tashqari, deyarlik ko‘p xollarda materiyaning bir turdan ikkinchisiga aylanish xodisasining bevosita kuzatilishi qiyin bo‘lib, materiyaning eng ichki o‘zagida, ya’ni yukorida qayd qilingan juda kichik masofalar bilan xarakterlanuvchi soxalarda niqoblangan.

Ushbu ultra qisqa masofalarda sodir bo‘layotgan xodisa va elementar zarralarning tuzilishini o‘rganish uchun elementar zarralarni katta energiyalargacha tezlatish kerak. Yoruglik tezligiga yaqin tezlik bilan xarakatlanayotgan zarralarning energiyasi uning impulsiga proporsionaldir: $E=cr$. U xolda koordinata-impuls noaniqligi (8.9) munosabatidan biror kichik masofaga erishish uchun qancha energiya ($\Delta E \geq \hbar/\Delta x = 2 \times 10^{-11}/\Delta x$ MeV) kerakligini aniqlaymiz. Masalan, 10^{-17} m va undan xam kichik masofalarga kirmoq uchun **10** MeV energiyadan katta energiyagacha tezlatilgan zarra kerak. Bunday katta energiyali elementar zarralarning to‘qnashuvida tabiatning ajoyib xodisalaridan biri, ya’ni zarralarning o‘zaro bir-biriga aylanishi sodir bo‘ladi. Bu esa elementar zarralarning asosiy xususiyatlaridan biri — ularning boshqa zarralar to‘qnashuvida paydo bo‘la olish (tug‘ilish) kobiliyatidir. Bunday jarayonlarning o‘tishi uchun zarur bo‘lgan energiya va formulalar orqali aniqlanadi. Yangi zarralarning tug‘ilishi mumkinligi Eynshteynning formulasidan kelib chiquvchi relyativistik effektdir. Haqiqatan, bu formulaga binoan energiya muvozanati (ya’ni to‘qnashuvdan oldingi to‘la

energiyaning to‘qnashuvdan so‘nggi to‘la energiyaga tengligi) to‘qnashuvchi zarralarning kinetik energiyasi va tinch holatdagi massasiga to‘g‘ri keladigan energiyasidan iborat bo‘lib, zarralar to‘qnashuvida bu ikki xil energiya bir-biriga o‘tishi mumkin. Masalan, pi-mezonning tinch xolatdagi massasi 135 MeV. Demak, uning tug‘ilishi uchun xuddi shuncha energiya sarf qilinishi kerak. Shuning uchun ham 150 MeV kinetik energiyali ikki protonning o‘zaro to‘qnashuvida neytral pi-mezon (π^0) tug‘ilishi mumkin. Bu reaksiya quyidagicha yoziladi:



To‘qnashuvdan avvalgi protonlarning 150 MeV kinetik energiyasining 135 MeV qismi π^0 mezonning tinch xolat energiyasi ko‘rinishiga o‘tdi; qolgan qismi bu uch zarralar o‘rtasida ularning kinetik energiyasi sifatida taqsimlandi. Umuman ikki zarraning to‘qnashuvida ular yetarli kinetik energiyaga ega bo‘lsa, massalari yanada kattaroq zarralar xam xosil bo‘lishi mumkin. To‘qnashuv jarayonida xosil bo‘layotgan ikkilamchi zarralarni xech kachon birlamchi zarralarning tarkibiy qismlari sifatida qarash mumkin emas.

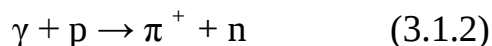
Hozir ma’lum elementar zarralardan ko‘pchiligi ma’lum vaqt o‘tishi bilan o‘z-o‘zidan parchalanish xususiyatiga ega. Bu xodisa parchalanuvchi zarralarni tarkibiy tuzilishi shu parchalangan zarralar deb xisoblashga asos bo‘lmaydi. Masalan, neytronning parchalanishini ko‘raylik. U taxminan 16 min vaqtdan so‘ng proton, elektron va elektron antineytrinosiga parchalanadi. Oldindan aytishimiz mumkinki, biz bu xolda neytronni tarkibiy qismlarga parchalanishini emas, balki yangi zarralarning tug‘ilishini ko‘rib chiqamiz. Xaqiqatan, antineytrinning massasi taxminan nolga teng va u, foton singari, faqat Xarakatdagina mavjud bo‘ladi. Agar uni neytronning tarkibiy qismi desak, antineytrinoni neytron ko‘lamidagi qafasda xarakatsiz mavjud bo‘lishini xam tan olishimiz kerak. Ushbu xolda xam, xuddi gugurt cho‘pini yondirganimizda tug‘ilgan yorug‘lik nurini — fotonlarni gugurt cho‘pining tarkibiy qismi deb karamasligimizdek antineytrinoni neytronning tarkibiy qismi deya olmaymiz.

Elementar zarralardagi reaksiyalarda bir gurux zarralarning yo‘q bo‘lish va boshqa bir gurux zarralarning tug‘ilish jarayonlari o‘zaro bir-birlariga

aylanishdan iboratligi, ayniqsa, zarra-antizarra to'qna-shuvlarida aniq namoyon bo'ladi. Masalan, elektron va uning antizarrasi pozitronning o'zaro to'qnashuvida bu ikkala zarra yo'q bo'lib, ikkita foton tug'iladi.

Umuman, zarralar o'rtasidagi birlik ham, o'xshashlik xam ularning o'zaro bir-birlariga aylanish qobiliyatiga egaligida o'z ifodasini topgan.

Mikrodunyoning juda qisqa vaqt ichida yuz beradigan jarayonlari vaqt o'tishining yo'nalishiga nisbatan simmetriyaga ega. Bu qonunga asosan to'qnashuvlarda zarra tug'lsa, u yutilishi, ya'ni yo'qolishi mumkin. Bundan tashqari, bir reaksiyaning o'zida zarralarning yutilish va tug'ilish jarayonlari bo'lishi mumkin. Masalan, foton bilan protonning to'qnashuvida ular yo'qolib, ikkita yangi zarra — musbat zaryadli pi-mezon va neytron tug'ilishi mumkin:



ya'ni zarralar to'qnashuvlarida o'zaro bir-birini yo'qotib, boshqa zarralarga aylanishi mumkin.

Shunday qilib, zarralar dunyosida o'zaro tug'ilish va yo'qolish imkonining mavjudligi ular ma'lum tuzilishga egami, «birlamchi elementar» zarralardan iboratmi yoki yo'qmi, degan savollarning ma'nosini yo'qotadi.

Hozirgi ma'lum elementar zarralarning ko'pchiligi elementar degan nomni oqlamaydilar. Yaqin vaqtlargacha yangi zarraning kashf etilishi fanda g'oyat katta tantana xisoblanar edi. Endi esa xar bir navbatdagi tantana navbatdagi besaranjomlikni tug'dirmokda. Chunki, tantanalar shunchalik birin-ketin ko'p marta yuz beradiki, shu kunga kelib zarralarning nisbatan stabillarining soni 35 taga, umumiy soni esa bir necha yuzga yetdi. Mavjud zarralarning bu darajada ko'pligi va bir-biriga aylanishlari ularning elementarligiga gumon tug'dirmoqda.

Bundan tashqari, fizikaning hozirgi zamon rivojlanish bosqichida fundamental (birlamchi) asos qilib elementar zarralarni qabul qilsak, tabiatda ularning bunchalik seroblighi mikrodunyoning (zarralarning) tuzilishi xaqida biron soddaroq tushunchaga ega bo'lishimizga bo'lgan umidni mutlaqo uzadi. «Elementar zarra» so'zining o'zi «atom» (grekcha «bo'linmas») so'zi kabi anaxronizm, ya'ni eskirgan tushuncha bo'lib qolmoqda.

Elementar zarralarni mikrodunyo tuzilishida birlamchi asos sifatida qabul qilmasak, nimani qabul qilamiz? Axir fizika taraqqiyotining har bir bosqichida bunday savolga javob topilgan edi. Keyinchalik ko‘ramizki, elementar zarralarning tuzilishi dinamik xarakterga ega bo‘lib, o‘zaro ta’sirlashganlaridagina namoyon bo‘ladi. Biz ko‘ramizki, zarraning xuddi shu o‘zaro ta’sirlashuvini o‘rganish yo‘li bilangina ular ichidan tub ma’noda elementar zarralarini ajratamiz.

3.2–§. Elementar zarralarning asosiy parametri.

Elementar zarralarning tinch holatdagi massasi ular uchun etalon bo‘lib xizmat qiladi. Vir turdagi zarralar bir-biriga shunchalik o‘xshashki, ularni bir-biridan ajratib bo‘lmaydi. Bu xol ayniqsa ularning massasi o‘zaro aniq tengligida ko‘rinadi. Zarralarning massasi odatda ular xarakatdaligida o‘lchanadi: xarakat natijasida nishon jism tuzilishini buzishiga qarab uning energiyasi, magnit maydonda xarakat trayektoriyasining egriligiga qarab uning impulsi aniqlanadi. Xuddi makrodunyodagidek, mikrodunyoda ham mexanik xarakat uchun zarraning massasi, to‘la energiyasi va impulsi orasida bog‘lanish mavjud. Elementar zarraning massasi aniq miqdorga teng. Shuning uchun zarraning energiyasini va impulsini aniq o‘lchash bilan uning massasini to‘g‘ri topamiz, so‘ngra zarrani o‘zini aniqlaymiz.

Eynshteynning nisbiylik nazariyasiga ko‘ra, tezlik ortishi bilan jismning massasi ortadi, ya’ni qo‘shimcha xarakat massasiga ega bo‘ladi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.2.1)$$

bunda c — yorug‘lik tezligi, m — v tezlik bilan harakatlanayotgan jismning massasi, m_0 — shu jismning tinchlikdagi massasi. Jismning massasi uning tezligini o‘zgartirishga bo‘lgan karshiligining miqdoriy ifodasidir. Shuning uchun ham jism tezligini yorug‘lik tezligiga yaqin yoki teng qiymatga yetkazishga jism massasining cheksiz qiymatga intilishi yo‘l ko‘ymaydi.

Nisbiylik nazariyasida jismning to‘la energiyasi (E_τ) va impulsi (p) uning tezligi orqali quyidagicha ifodalangan:

$$E_\tau = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.2.2)$$

$$\bar{p} = m\bar{v} = \frac{m_0 \bar{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.2.3)$$

Jismning tezligi yorug'lik tezligiga yaqin katta qiymatga o'zgarishida uning energiyasi va impulsi (3.2.2.) va (3.2.3) ga binoan cheksizlikka intiladi. Bu cheksiz energiya jismga tashqaridan berilishi kerak. Tabiatda bunday energiya manbai bo'lmazligi sababli jismning tezligi yorug'lik tezligiga teng bo'lolmaydi, xar doim undan kichik bo'ladi. Jismning to'la energiyasi va impulsi (3.2.2.) va (3.2.3) formulalarga asosan o'zaro quyidagicha bog'langan:

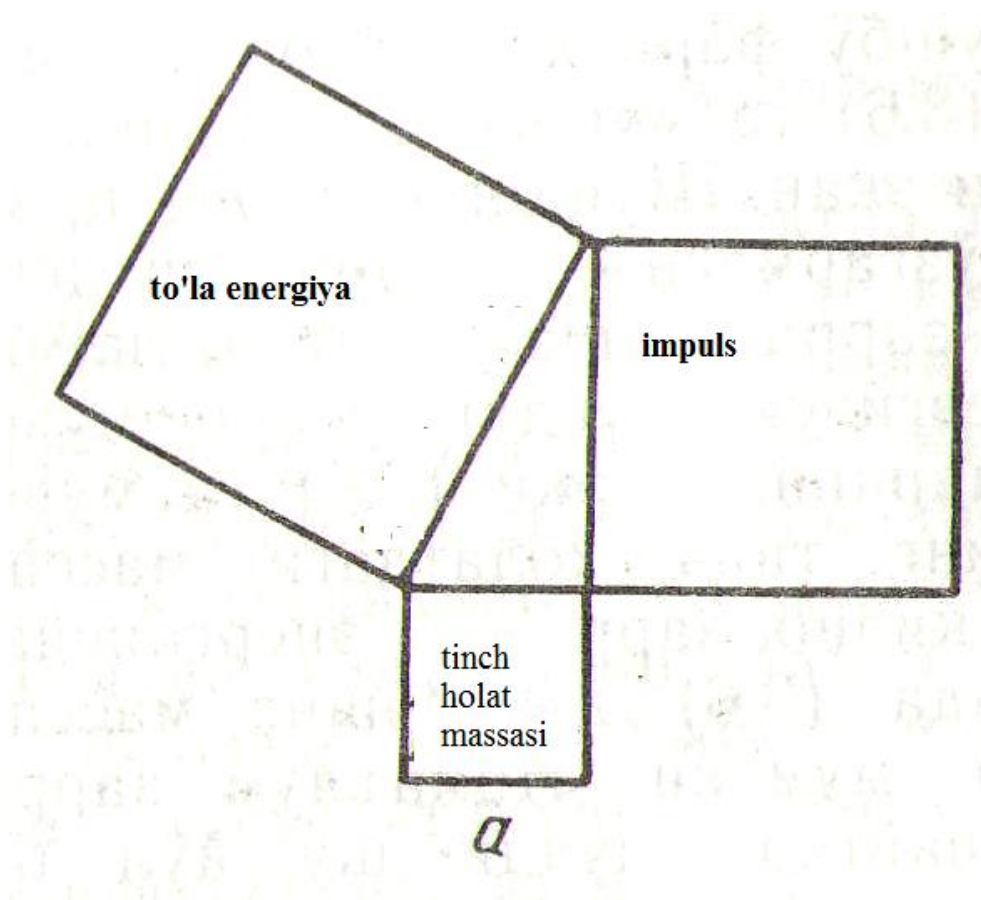
$$E_{\tau} = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} = \sqrt{p^2 c^2 + E_0^2} \quad (3.2.4)$$

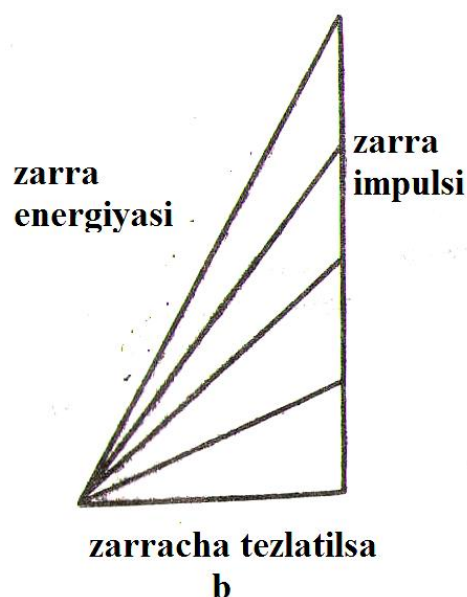
bunda E_0 jismning tinch xolatdagi massasiga to'g'ri keladigan energiyasi:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (3.2.5)$$

Bundan buyon (3.2.5) formulaga binoan elementar zarraning tinch xolatdagi massasi to ni energiya o'lchovida beramiz, chunki elementar zarralar fizikasida massani energiya birligida ifodalash qulay.

Zarraning massasi, energiyasi, impulsi o'zgaruvchan kattaliklardir.





3.2.1- rasm. Massa, tezlik, impuls va to‘la energiyaning o‘zaro bog‘liqlik uchburchaklari:
 a) tinch holatdagi massa, impuls va to‘la energiya; b) tezlik ortganda, to‘la energiya gipotenuza, impuls esa katet kabi ortib boradi.

Tabiiyki, quyidagi o‘rinli savol tug‘iladi: zarra uchun qanday o‘zgarmas xarakteristika uning belgisi sifatida qo‘llanilishi mumkin. Buning uchun yuqoridagi (3.2.4) formulada s ni birga teng deb, uni quyidagicha yozamiz:

$$E^2 - p^2 = m_0^2 \quad (3.2.6)$$

Ushbu formula Pifagor teoremasining matematik ifodasini eslatadi (3.2.1- a rasm). Agar to‘g‘ri burchakli uchburchakning gorizontal kateti zarraning tinch holat massasi m_0 — vertikal, kateti esa, impuls deb qaralsa, uning gipotenuzasi zarraning to‘la energiyasini beradi. Agar zarra harakatsiz bo‘lsa, uchburchak uzunligi m_0 ga teng gorizontal chiziqqa aylanadi. Zarraning tezlatilishi bilan uchburchakning vertikal kateti — zarraning impuls va u bilan birga uchburchakning gipotenuzasi, ya’ni zarraning to‘la energiyasi o‘sa boshlaydi (3.2.1-b rasm).

Avvaliga energiyaning o‘shishi oz, chunki past uchburchaklar uchun gipotenuza gorizontal katetga deyarli teng bo‘ladi. Bu oddiy Nyuton mexanikasi tavsiflovchi kichik tezlikdagi xarakatlar xoliga mosdir. Tezliklarning katta qiymatlarida ($v \rightarrow c$) uchburchak yuqoriga juda cho‘zilgan va gipotenuzasi vertikal katetiga deyarli teng. Demak, katta tezliklardagi xarakatlar uchun impuls va

energiya (ya'ni zarraning massasi) orasidagi farq cheksiz kamayar ekan. Albatta, ushbu farq hech qachon nolga teng bo'lmaydi va har doim (3.2.6) ga muvofiq zarraning tinch xolatdagi massasiga teng ekan. Shuning uchun m_0 ni zarra harakati jarayonining o'zgarishi — invarianti deyiladi. Boshqacha aytganda, zarra qanchalik tezlatilmasin, uning impulsi va energiyasi shunday o'zaro muvofiq ravishda o'zgaradiki, ularning farqi (3.2.6) ga muvofiq son jixatdan zarraning tinch xolatdagi massasini xarakterlaydi. Shunday qilib, zarraning energiyasini va impulsini bilgan xolda (3.2.6) dan uning massasini aniqlashda foydalanish mumkin. Noma'lum zarralar ustidagi tajribalar paytida xuddi shu yo'l bilan zarraning massasini aniqlaymiz, so'ngra 3.3.1-jadvalda keltiriladigan ma'lumotlardan foydalanib, qanday zarra bilan ish ko'rganimizni aniqlaymiz.

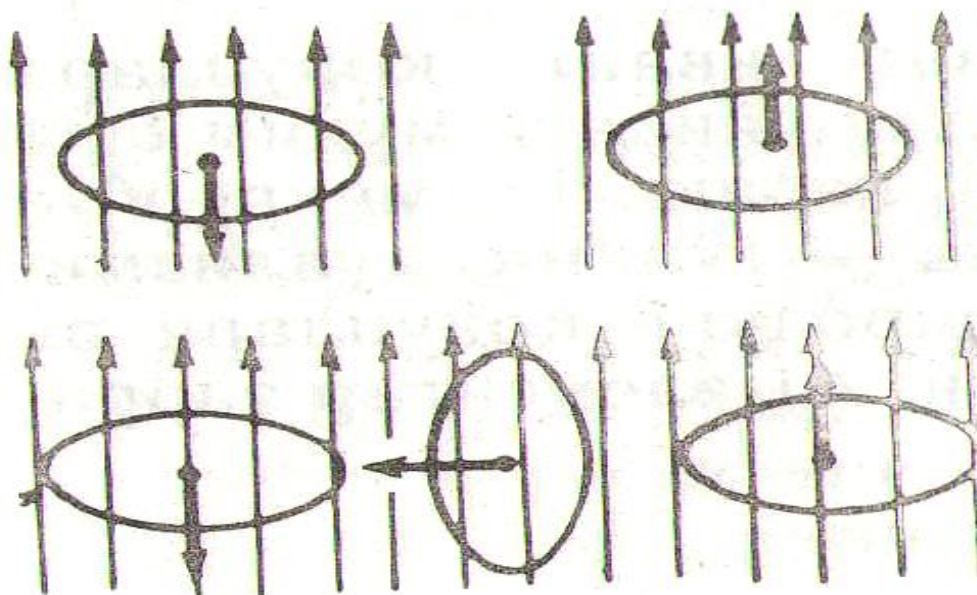
Katta tezlik bilan xarakatlanadigan zarralar relyativistik kinematika qonunlariga bo'ysunadi. Relyativistik kinematikaga asosan bir sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tish uchun Lorens almashtirishlaridan foydalanishimiz kerak. Agar biz zarra ustida olib borilayotgan tajribani biror tezlik bilan xarakatlanayotgan bosh sanoq sistemasiga ko'chirsak va shu sanoq sistemasida uning energiyasi va impuls kvadratlarining ayirmasini xisoblasak, biz yana ushbu ayirmaning zarraning tinch holat massasiga teng ekanligini ko'ramiz. Shunday qilib, zarraning energiyasi va impulsi kvadratlarining ayirmasi zarraning tezlanish bilan harakatlanishidagina invariant bo'lib qolmasdan, hatto kuzatuvchaning harakat holati o'zgarishida, ya'ni energiyani va impulsni o'lchovchi asboblarning harakati o'zgarishida ham invariantdir. Boshqacha aytganda, har xil tezliklar bilan harakatlanayotgan har xil kuzatuvchilar berilgan zarraning energiyasini va impulsini o'lchab har xil natijalarga ega bo'ladi. Lekin, har biridan ushbu zarra energiyasi va impulsi kvadratlarining ayirmasini hisoblash talab qilinsa, hammasida bir xil natija hosil bo'ladi. Bundan buyon, elementar zarraning massasi deganda uning tinch xolatdagi massasini tushunamiz va uni yuqorida qayd etilgan maxsus energiya birliklarida (eV) o'lchaymiz.

Spin zarraning ichki xususiyatidir. Elementar zarra o'z spiniga ega xolda vujudga keladi va uning spinining qiymatini o'zgartirish mumkin emas, ya'ni

zarraning xususiy aylanish momentini (aylanishini) kuchaytirib xam, susaytirib xam bo'lmaydi. Elementar zarralar spinining son qiymati aniq ma'lum. Spin xar doim Plank doimiysi h ning birligida butun yoki yarim butun songa teng.

Elementar zarraning spini (1) vektor kattalik bo'lib, boshqa vektor kattaliklardan farqli ravishda, har qanday yunalishga uning proyeksiyasi xar doim $(2l + 1)$ ta qiymat qabul qiladi. Masalan, elektronning spini yarmiga teng, ya'ni $l = 1/2$. Elektron spinining biror yo'nalishga, masalan, Z o'qqa proyeksiyasi $I_z = -\frac{1}{2}$ va $I_z = +\frac{1}{2}$ qiymatlar qabul qiladi. Proyeksiya ishoralari ko'rsatadiki, elektronning aylanishi xar qanday yo'nalish, jumladan, Z yo'nalish bilan o'ng, yo chap vint xosil qiladi (3.2.2-rasm).

Elementar zarraning spini — uning o'z o'qi atrofida aylanishining xarakat miqdori momenti degan tushuncha



3.2.2-rasm. Yuqorida spinlari yarim va pastda spinlari butun — h qiymatlarga ega bo'lgan zarralarning fazodagi mumkin bo'lgan yo'nalishlari..

aslida taqribiydir. Masalan, elektron $l = 1/2$ spinga ega bo'lishi uchun katta burchak tezligi bilan aylanishi kerak. Bunda elektronning sirtki qatlami yorug'lik tezligiga nisbatan ikki baravar katta tezlik bilan aylanishi lozim. Ma'lumki, tabiatda yorug'lik tezligidan katta tezlikka ega bo'lgan jarayon mavjud emas.

Binobarin, elektronlar sistemasi, tajribaning ko'rsatishicha, xuddi aynan zarralar sistemasiga o'xshash o'zgacha xarakatlanadi. Bunday sistemalardagi zarralar 1925 yilda Pauli qashf etgan qonunga — Pauli prinsipiga bo'ysunadi. Pauli prinsipiga ko'ra ikkita bir xil zarra, bir xil xolatda bir vaqtda bo'la olmaydi, xossalari bilan o'xshash zarralar o'xshash holatlarga ega bo'la olmaydi. Masalan, atomda energiyasi, impuls momenti, impuls momenti proyeksiyasi va spin proyeksiyasi bir xil bo'lgan ikkita xam elektron uchratib bo'lmaydi. Boshka misol ko'raydik. Ikki elektronni bitta yopiq sistemaga joylashtirdik deb faraz qilaylik. Ular bir-biri bilan shunchalik aynanki, biz ularni ajrata olmaymiz. Bu ikki elektron ham o'z o'qi atrofida aylanadi, lekin ular juda kichik bo'lganligi sababli biz bu harakatni sezmaymiz. Endi sistemani Z o'k bo'ylab yo'nalgan magnit maydonga joylashtiraylik. U holda bir elektronning aylanish o'qi maydon yo'nalishi bo'ylab, ikkinchisidiki maydonga qarshi yo'nalishda joylashadi. Ularning energiyasi bir-biridan farqli bo'lib, biz bir elektronni ikkinchisidan ajrata olamiz. Demak, elektron mumkin bo'lgan ikki xolatning birida bo'ladi va o'zining magnit xususiyatlariga nisbatan dubletni (fransuzcha — ikkilangan) tashkil qiladi. Elektronning spiny $I=1/2$ bo'lib, Z o'qqa nisbatan spinning tashkil etuvchilari $\sim 1/2$ dan iborat, ya'ni mumkin bo'lgan ikki holatga to'g'ri keladi (3.2.2-rasmga qarang).

Shunday qilib, mikrodunyoning kvant qonunlari haqida yuqorida bayon etilganlardan quyidagi muhim besh tushunchani o'zlashtirib olishimiz kerak: 1) mikroobyektlarga xos xususiyat korpuskula — to'lqin dualizmi; 2) noaniqliklar prinsipi; 3) mikrodunyo qonunlari va jarayonlarining ehtimoliy tabiati; 4) elementar zarralar spini; 5) Pauli prinsipi.

3.3–§. Elementar zarralarning sinflari.

Har bir zarrani kvant sonlari deb ataluvchi fizik belgilar to‘plami xarakterlaydi. Umuman zarralarni xarakterlovchi kattaliklar ko‘p va xilma-xildir. Shunday bo‘lsa ham, ulardan birortasini elementar zarralarning klassifikatsiyasi uchun asosiy xarakteristika sifatida ajratish qiyin. Quyida xar bir kvant soni va uning fizik ma’nosi ustida aloxida to‘xtalib o‘tamiz. Avvalo, har bir zarra tinch xolatdagi massasi bilan xarakterlanadi. Zarralarning bu xarakteristikasi 3.3.1-jadvalning beshinchi ustunida keltirilgan.

Elementar zarralarning navbatdagi xarakteristikasi elektr zaryadidir. U elektron zaryadi birligida o‘lchanadi. 3.3.1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, zarralarning elektr zaryadi butun son bo‘lib, 0 ga yoki ± 1 ga teng.

Jadvalda keltirilmagan rezonanslar deb ataluvchi zarralar guruxida xattoki ± 2 zaryadli zarralar xam ma’lum.

Materiyaning tarkibiy qismlaridan xisoblangan va $1/2$ spinga ega fundamental fermionlar deb ataluvchi kvarklar esa $+2/3e$ yoki $-1/3e$ ga teng kasr qiymatli zaryadga egadir.

Elementar zarralar ishtiroki bilan bo‘ladigan jarayonlarda energiyaning saqlanish qonuni kabi zaryadning saqlanish qonuni xam mavjud. Zaryadning saqlanishi ba’zi zarralarning barqarorligini ta’minlaydi.

Endi protonning nima sababdan barqaror ekanligiga javob berishga xarakat qilaylik. Biz bilamizki, har qanday kvant sistemasi minimal (ya’ni, eng kam) energiyali holatda bo‘lishga harakat qiladi. Eynshteynning (3.2.5) formulasiga asosan minimal energiyali xolat eng kichik massali xolatni ifodalaydi. Shuning uchun ham ko‘pgina og‘ir zarralar kichik zarralarga parchalanadi. Nima uchun elektronning parchalanmasligini bilamiz, chunki uni o‘zidan yengil foton yoki neytrinoga parchalanishga elektr zaryadining saqlanish qonuni yo‘l qo‘ymaydi. Lekin nima uchun proton yengil zarralarga — myuonlar, pionlar yoki pozitronlarga parchalanmaydi? Energiya va elektr zaryadining saqlanish qonuniga asosan proton pozitron va fotonga aylanishi mumkin. Lekin tajribada bu narsa kuzatilgani yo‘q. Shuning uchun protonning yengil zarralarga aylanishini man qiluvchi yana bir

saklanish qonunining mavjudligini faraz qilish zarur. Protonning bunday jarayonga nisbatan barqarorligi uning barion zaryadi (V) ga ega ekanligidan kelib chiqadi.

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, protonning barion zaryadi $+1$ ga teng, pozitron va foton esa, barion zaryadiga ega emas. Barion zaryadiniig saqlanish konuniga asosan protonning mazkur parchalanishi man qilinadi:

$$p + e^+ + \gamma \quad (3.3.1)$$

Proton va undan og‘ir xamma zarralar barionlar deb ataladi va ularning xar biri $+1$ barion zaryadiga ega.. Antibarionlar esa— -1 barion zaryadiga ega bo‘ladi.

Yuqoridagi jadvalning oxirgi ustunida zarralarning parchalanish maxsulotlari keltirilgan. Diqqat bilan qarasak, xar qanday barion proton va boshqa zarralarga parchalanishini ko‘ramiz. Masalan, ksi-minus-giperonni olaylik. U lambda-giperon va pi-mezonga parchalanadi; lekin Λ^0 o‘z navbatida protonga va pi-mezonga parchalanadi. Proton barqaror bo‘lgani uchun u bitta og‘ir zarra (E) bo‘lganligi va uning parchalanganligi xaqidagi informatsiyani o‘zida saqlaydi. Bunday jarayonlarda zarraning «og‘irlik» xususiyati yo‘qolmasdan estafeta bo‘yicha protonga o‘tadi. Agar protondan og‘ir 1000 ta zarra bo‘lsa, ular baribir 1000 ta protonga va boshqa zarralar to‘plamiga parchalanadi. Barionlarning barion zaryadiniig saqlanish qonuni ular parchalanganda «og‘irlik» xususiyatining saqlanishini aks ettiradi. Protonning barqarorligi esa uning boshqa barionlar oldidagi ularning «og‘irlik» xususiyatnni saqlashdan iborat.

Barion sonining saqlanish qonuni bilan bog‘langan, lekin xozirgacha yechilmagan muammo barion soni uchun saqlanish qonunini qanoatlantirishidan boshqa biror ma’lum xususiyatning yo‘qligidir. Masalan, zarraning elektr zaryadini uning elektromagnit maydondagi xarakatiga asosan mustaqil ravishda aniqlash va o‘lchash mumkin. Barion zaryadining esa biz bergai «sun’iy» xususiyatidan boshqa xususiyati yo‘q. Barion zaryadining elektr zaryadi kabi xususiyatga ega emasligi uning puxta nazariy asosini ishlab chiqishni talab qiladi. Lekin shunga qaramasdan bu qonunning katta aniqlikda bajarilishi bilan qanoatlanamiz.

Jadvaldagi eng yengil zarralar leptoy zaryadiga ega. Elektron (e^-) va elektron neytrinosi (ν_e) $+1$

Zarralar guruhi	№	Zarraning nomi	Belgisi	Massasi (MeV)	O'rtacha yashash davri	Q	B	I_c	I_μ	S	T	J_p	Yemirilish yo'li va nisbiy extimolligi (%)
Foton	1	Foton	γ	0	Barqaror	0	-	-	-	-	-	1	-
	2	Elektron neytrinosi	ν_e	0	-“-”	0	-	+1	0	-	-	$\frac{1}{2}$	
	3	Elektron antineytrinosi	$\overline{\nu_e}$	0	-“-”	0	-	-1	0	-	-	$\frac{1}{2}$	
Lepton-lar	4	Myuon neytrinosi	ν_μ	0	-“-”	0	-	0	+1	-	-	$\frac{1}{2}$	
	5	Myuon antineytrinosi	$\overline{\nu_\mu}$	0	-“-”	0	-	0	+1	-	-	$\frac{1}{2}$	
	6	Elektron	e^-	0,511	-“-”	-1	-	+1	0	-	-	$1/2^+$	
	7	Pozitron	e^+	0,511	-“-”	+1	-	-1	0	-	-	$1/2^-$	
	8	Myuon (my-mezon)	μ^-	106	$2,2 \cdot 10^{-6}$	-1	-	0	+1	-	-	$1/2^+$	$e^- + \overline{\nu_e} + \nu_\mu$ (100)
	9	Musbat myuon	μ^+	106	$2,2 \cdot 10^{-6}$	+1	-	0	-1	-	-	$1/2^-$	$e^+ + \nu_e + \overline{\nu_\mu}$ (100)
Mezonlar	10	Musbat pion	π^+	140	$2,6 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-	-	1	0-	$\mu^+ + \nu_\mu$ (100)
	11	Manfiy pion	π^-	140	$2,6 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-	-	1	0-	$\mu^- + \nu_\mu$ (100)
	12	Neytral pion	π^0	135	$0,76 \cdot 10^{-16}$	-	-	-	-	-	1	0-	$\gamma + \gamma$ (99)
	13	Musbat kaon	K^+	494	$1,2 \cdot 10^{-8}$	+1	-	-	-	+1	1/2	0-	$\mu^+ + \nu_\mu$ (63)
	14	Manfiy kaon	K^-	494	$1,2 \cdot 10^{-8}$	-1	-	-	-	-1	1/2	0-	$\pi^+ + \pi^0$ (21) $\mu^+ + \nu_\mu$ (63) $\pi^- + \pi^0$ (21)
	15	Neytral kaon	K^0	498	$0,86 \cdot 10^{-10}$	0	-	-	-	+1	1/2	0-	$K_1^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (69) $\pi^0 + \pi^0$ (31)
	16	Neytral antikaon	$\overline{K^0}$	498	$5,4 \cdot 10^{-8}$	0	-	-	-	-1	1/2	0-	$K_2 \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0$ (31) $\pi^\pm + e^+ \nu_e$ (39)

	17	Eta-mezon	η^0	549	$2,4 \cdot 10^{-19}$	0	-	-	-	0	0	0-	$\pi^\pm + \mu^\mp + \nu_\mu$ (27) $\pi^+ + \pi^- + \pi^0$ (13) 2γ (37), 3π (23) $3\pi^0$ (30)
Adronlar	18	Proton	p	938,2	Barqaror	+1	+1	-	-	0	1/2	$1/2^+$	-
	19	Antiproton	$\bar{p}$	938,2	-“ $\bar{p}$ ”	-1	-1	-	-	0	1/2	$1/2^-$	-
	20	Neytron	N	939,6	$0,93 \cdot 10^3$	-	+1	-	-	9	1/2	$1/2^+$	$p + e^- + \nu_e$ (100)
	21	Antineytron	$\bar{n}$	939,6	$2,5 \cdot 10^{-10}$	-	-1	-	-	0	1/2	$1/2^-$	$\bar{p} + e^- + \bar{\nu}_e$ (100)
	22	Lambda-giperon	Λ^0	1116	$2,5 \cdot 10^{-10}$	-	+1	-	-	+1	0	$1/2^+$	$p + \pi^-$ (65) $n + \pi^0$ (35)
	23	Anti-lambda-giperon	$\bar{\Lambda}^0$	1116	$2,5 \cdot 10^{-10}$	0	-1	-	-	-1	0	$1/2^-$	$\tilde{p} + \pi^-$ (65) $\tilde{n} + \pi^0$ (35)
	24	Sigma-plyus-giperon	Σ^+	1189	$0,8 \cdot 10^{-10}$	+1	+1	-	-	+1	1	$1/2^+$	$p + \pi^-$ (52) $n + \pi^0$ (48)
	25	Anti-Sigma-plyus-giperon	$\tilde{\Sigma}^+$	1189	$0,8 \cdot 10^{-10}$	-1	-1	-	-	-1	1	$1/2^-$	$\tilde{p} + \pi^-$ (52) $\tilde{n} + \pi^0$ (48)
	26	Sigma-nol-giperon	Σ^0	1192	$< 10^{-14}$	0	+1	-	-	+1	1	$1/2^+$	$\Lambda^0 + \gamma$ (100)
	27	Anti-Sigma-nol-giperon	$\tilde{\Sigma}^0$	1192	$< 10^{-14}$	0	-1	-	-	-1	1	$1/2^-$	$\tilde{\Lambda}^0 + \gamma$ (100)
	28	Sigma-minus-giperon	Σ^-	1197	$1,5 \cdot 10^{-10}$	-1	+1	-	-	+1	1	$1/2^+$	$n + \pi^-$
	29	Anti-Sigma-minus-giperon	$\tilde{\Sigma}^-$	1197	$2,5 \cdot 10^{-10}$	-1	-1	-	-	-1	1	$1/2^-$	$\tilde{n} + \pi^-$
	30	Ksi-nol-giperon	Ξ^0	1315	$3 \cdot 10^{-10}$	0	+1	-	-	-2	1/2	$1/2^+$	$\Lambda^0 + \pi^0$
	31	Anti-Ksi-nol-giperon	$\tilde{\Xi}^0$	1315	$3 \cdot 10^{-10}$	0	-1	-	-	+2	1/2	$1/2^-$	$\tilde{\Lambda}^0 + \pi^0$
	32	Ksi-minus-giperon	Ξ^-	1321	$1,7 \cdot 10^{-10}$	-1	+1	-	-	-2	1/2	$1/2^+$	$\Lambda^0 + \pi^-$
	33	Anti-Ksi-minus-giperon	$\tilde{\Xi}^-$	1321	$1,7 \cdot 10^{-10}$	+1	-1	-	-	-2	1/2	$1/2^-$	$\tilde{\Lambda}^0 + \pi^-$
	34	Omega-minus-giperon	Ω^-	1672	$1,3 \cdot 10^{-10}$	-1	+1	-	-	-3	0	$3/2^+$	$\Xi + \pi$ (50) $\Lambda^0 + K^-$ (50)

	35	Anti-Omega-minus-giperon	$\tilde{\Omega}^-$	1672	$1,3 \cdot 10^{-10}$	-1	-1	-	-	+3	0	$3/2^-$	$\Xi + \pi$ (50) $\tilde{\Lambda}^0 + K^-$ (50)
--	----	--------------------------	--------------------	------	----------------------	----	----	---	---	----	---	---------	--

Lepton zaryadga (L_e), pozitron (e^+) va elektron antipeygrinosi (γ_e) esa - 1 lepton zaryadiga ega ($L_e=-1$). Boshqa hamma zarralar uchun $L_e = 0$. Myumezon μ^- va myuon neytrinosi uchun myuon lepton zaryadi $L_\mu=+1$ musbat myu-mezon va myuon antineytrinosi uchun $L_\mu=-1$. Boshqa xamma zarralarning myuon lepton zaryadi nolga teng: $L_{\mu l}=0$.

1951 yilda olimlar juda g'alati fizik xususiyatlarga ega bo'lgan zarralarni kashf qildilar. Olimlar g'alati zarralarni boshqa odatdagi zarralardan farqlash uchun S g'alatilik degan kvant belgisi bilan bedgiladi. Faqatgina shu g'alati zarralar uchun g'alatilik noldan farqli bo'lib $S=\pm 1, \pm 2, \pm 3$ bo'ladi. Odatda, ekvivalent kattalik V -giperzaryad ishlatiladi. U g'alatilik va barion zaryadi kvant sonlari bilan bog'langan:

$$V = S + B \quad (3.3.1)$$

Kuchli o'zaro tasir zarralarni har bir zaryad multipletiga ma'lum izotopik spin (izospin) qiymati taqqos qo'yiladi. Agar zaryad multipleti bitta zarradan tashkil toptan bo'lsa, ushbu zarraning (zaryad mul'tipletining) izotopik spini nolga teng deb xisoblanadi. Masalan, eta-mezon. Ikki zarradan tashkil topgan zaryad multipletining izospini (masalan, nuqlonlar – proton va neytronlar dubleti) yarimga teng. Umuman, agar zaryad multipleti i ta zarradan tashkil topgan bo'lsa., uning izotopik spini quyidagicha aniqlanadi:

$$T=(i - 1)/2. \quad (3.3.2)$$

Ma'lumki, «izo» so'zi teng degan manoni bildiradi. «Topos» so'zi esa o'rin, joy manosini anglatadi. «Izotopik» so'zi zarralarning ma'lum bir «o'rin» ga ma'lum multipletga taalluqliligini ko'rsatadi. Agar zarraning spini yarimga teng bo'lsa, u spinning yo'nalishiga nisbatan mumkin bo'lgan ikki xolda bo'ladi. Xuddi shuningdek, izotopik spini yarimga teng nuqlon zaryad multipleti nuqlonning ikki: proton va neytron xolatidan iborat bo'ladi. Kuchli o'zaro tasirda bir zaryad multipletiga kiruvchi va o'zlarini bitta zarra kabi tutuvchi zarralar elektromagnit o'zaro tasir ostida massalari va zaryadlari bilan farqlanuvchi zarralarga aylanadi. (3.3.1- rasmga) Ma'lumki, uchta pi-mezon — ρ^+ , ρ^0 va ρ^- bir-biridan faqat zaryadlari bilan farq qiladi. Pi — mezonning izospini birga

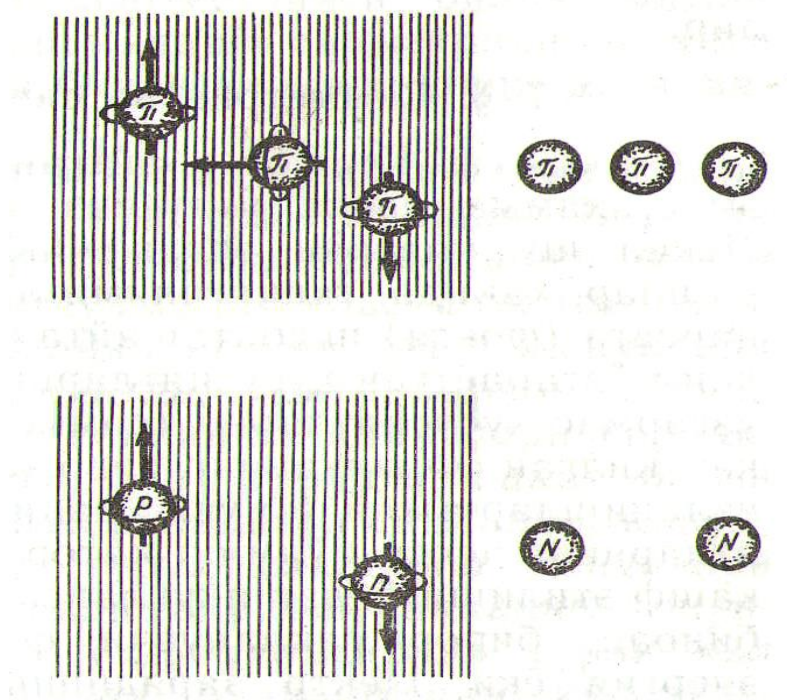
teng bo'lib, izospin proyeksiyalari esa $T_z = +1,0 - I$ ga teng. Ushbu uchta zarraning zaryad miqdori T_g bilan quyidagicha bog'langan:

$$q = e \cdot T_z. \quad (3.3.3)$$

Bu munosabatdan elektr zaryadining saqlanish qonuni tufayli T_z ning saqlanishligi kelib chiqadi.

Agar dunyoda elektr zaryadi bo'lmaganda edi (ya'ni elektromagnit o'zaro ta'sir), u xolda biz faqat bir xil π -zarralargagina ega bo'lar edik xolos. Bu zarraga pi-mezon degan nom berib, bizning real dunyoga joylashtiraylik. Endi pi-mezon o'zining xolatlaridan birida: yo musbat zaryadli, yo zaryadsiz, yoki manfiy zaryadli xolatda namoyon bo'ladi. Zaryadlarining mavjudligi sababli endi bu xolatlarining elektromagnit o'zaro ta'siri xar xil bo'ladi va natijada ular bir-biridan massasi bilan xam farq qiladi. Kuchli o'zaro ta'sirga nisbatan ular avvalgidek bir xildir (3.3.1-rasm).

Kuchli o'zaro ta'sirga nisbatan izospin va uning proyeksiyasi yaxshi kvant sonlari — saqlanuvchi kvant sonlari bo'lsa, elektromagnit o'zaro ta'sirga nisbatan esa faqat uning proyeksiyasi yaxshi kvant soni bo'ladi, xolos.



3.3.1-rasm

Elementar zarralarning asosiy xususiyati — xarakat miqdori, ya'ni impulsning spin momenti yoki spini (1) bilan bog'langan. Spin bilan yaqin bog'lanishda bo'lgan kvant soni P ichki juftlikni ifodalaydi va uning saqlanish qonuni sistemada biror fizik xodisa ro'y berganda uning ko'zgudagi tasvirida xam shu xodisaning o'sha yo'nalishda ro'y berishini ko'rsatadi. Matematika nuqtai nazaridan aytganda P juftlikning saqlanishi fizik qonunlarning fazoviy koordinatalar ishorasining o'zgarishiga bog'liq emasligini ifodalaydi. P juftlik faqat ikkita ± 1 qiymatni qabul qiladi. P operatsiyasi xar qanday xaqiqiy, ya'ni polyar vektorning ishorasini o'zgartiradi. Aksial vektorlar, jumladan, xarakat miqdorining momenti, spini yoki ularning vektor yig'indisi — xarakat miqdorining to'la momenti P ta'sirida ishorasini o'zgartirmaydi. Masalan, xarakat miqdorining momenti: $L=r*p$.

P operatsiyasi ta'sirida zarraning radius-vektori r va impulsi p ishorasini o'zgartiradi.

Kuchsiz o'zaro ta'sirda P juftlikning saqlanish qonuni buziladi. Ammo kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirda P juftlik saqlanadi va bunday jarayonlarda yaxshi kvant soni bo'lib qoladi. Juftlik P «etalon» zarralar — proton, neytron va L^0 - giperonlarga nisbatan aniqlanadi. Proton, neytron va giperonlarning xar biri uchun $P=+1$ qabul qilingan.

Jarayonning to'la juftligi ichki juftlik (P) va spin momenti (I) dan iborat bo'lganligi uchun odatda bu ikki kattalik birga yoziladi. Masalan, proton uchun $I = 1/2, P=+1$. Shuning uchun $I^\pi = 1^+/2$ ko'rinishda yozish qulaydir.

3.4–§. Elementar zarralar va ta'sir turlari.

Elementar zarralarning kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirlashuvi.

Yuqorida eslatganimizdek, mikrodunyoda u yoki bu xodisaning o'tish vaqti zarralar «xayotida» asosiy ko'rsatkichlardan biri bo'lib xizmat qildi. Zarralarda bo'ladigan xarakterli jarayonlar kuchli o'zaro ta'sir ostida 10^{-22} — 10^{-23} s ichida yuz bersa, elektromagnit o'zaro ta'sir ostida 10^{-16} — 10^{-17} s ichida yuz berady.

Bundan xam sekinrok (taxminan 10^{-10} s dan o'nlab minutgacha) jarayonlar zarralariing kuchsiz o'zaro ta'siri ostida o'tadi. Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli o'zaro ta'sirga nisbatan 10^{14} marta zaifroqdir. Lekin shunga qaramasdan oxirgi o'n yillikda fizikadagi muxim kashfiyotlar xuddi ana shu o'zaro ta'sir bilan bog'liq.

Kuchsiz o'zaro ta'sirni yaqqol ko'z oldimizga keltirish uchun kuchli elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlarni birma-bir tabiatda yo'q deb faraz qilaylik. Agar kuchli o'zaro ta'sir bo'lmaganda edi, pi-mezonlardan yengilroq zarralarda va ular bilan bog'lik bo'lgan fizik xodisalarda aytarli o'zgarishlar bo'lmasdi. Lekin og'ir zarralar butunlay bo'lmas yoki mutlaqo boshqa zarralardan iborat bo'lar edi. Shuning uchun dunyo yaxlit xolda butunlay boshqacha bo'lardi. Elektromagnit o'zaro ta'sir bo'lmaganida esa tabiatda pi-mezonlardan og'ir zarralargina qolar edi. Massasi deyarli bir xil, lekin faqat zaryadlari bilan farq qiladigan zarralarni bir-biridan endi ajratib bo'lmas edi (masalan, protonni neytrondan, uchala pi-mezonlarni bir-biridan va xokazo). Atom va undan ham katta masshtablarda (10^{-10} m) dunyo o'zgarib ketardi. Atom ham, molekula ham, yorug'lik ham, jism ham bo'lmasdi.

Biroq kuchsiz o'zaro ta'sir bo'lmasa, zarralardan faqat neytrino (ν) bo'lmaydi, xolos. Qolganlari aytarli o'zgarmaydi. Yadrolar, atomlar, molekulalar, kristallar avvalgidek mavjud bo'ladi. Barqaror zarralarning soni, binobarin, atomlar darajasidan tortib materiyaning tuzilish shakllari ancha ko'p bo'lardi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning yo'qligi atomlar, molekulalar, jismlar tuzilishi nuqtai nazaridan aytarli o'zgarishga olib kelmas edi. Aksincha, dunyo juda turli-tuman bo'lardi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning mavjudligi ba'zi bir zarra va jismlarning ba'zi tuzilish formalarini beqaror qiladi. Shunday qilib, kuchsiz o'zaro ta'sir ko'proq zarralarning parchalanishi bo'yicha «mutaxassis» dir. Masalan, myu-mezonlar

zaryadli pi-mezonlar, neytron va boshqa bir gurux og‘ir zarralarning parchalanishi faqat kuchsiz o‘zaro ta’sir orqaligina ro‘y beradi.

Kuchsiz o‘zaro ta’sir jarayonlarining bunchalik xilma-xilligiga qaramasdan ularning hammasi uchun kuchsiz o‘zaro ta’sir doimiysi bitta

$$\left(\frac{G}{\hbar c}\right)^2 \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^{-4} \approx 5 \cdot 10^{-14} \quad (3.4.1)$$

$\left(\frac{\hbar}{mc}\right)$ parchalanuvchi zarraning kompton to‘lqin uzunligi, G — neytronning parchalanish jarayoni uchun bog‘lanish doimiysi ($\hbar = c = 1$ bo‘lgan birliklar sistemada G massa (ya’ni uzunlik) kvadratiga teskari birlikka ega).

Kuchsiz o‘zaro ta’sir doirasining radiusi eng qisqa bo‘lib, taqriban 10^{-19} m ga teng. Kuchsiz o‘zaro ta’sirning agenti (ya’ni o‘zaro ta’sirni tashuvchi zarra) vektor mezonlar (W) deyiladi. Kuchsiz ta’sir zarralar bir-biri bilan o‘zaro og‘ir W -mezonlarni almashish natijasida vujudga keladi degan nazariya mavjud. Kuchsiz o‘zaro ta’sir jarayoni xaqida keyinroq batafsil to‘xtalib o‘tamiz.

Kuchsiz o‘zaro ta’sir kuchli va elektromagnit o‘zaro ta’sirlarga qaraganda kamroq simmetriyaga ega, ya’ni saqlanish qonunlari ko‘proq buziladi. Hozircha kuchsiz o‘zaro ta’sirda mikrodunyodagi jarayonlarning o‘ngni chap bilan, chapni o‘ng bilan, zarrani antizarra bilan, antizarrani zarra bilan almashtirishga nisbatan bo‘lgan simmetriyasi buzildi. Kuchsiz o‘zaro ta’sir o‘ngni chap, zarrani antizarra bilan almashtirishdan iborat murakkab simmetriyaga ham ega emas.

Gravitatsion o‘zaro ta’sir biz bilgan o‘zaro ta’sirlar ichida eng zaifidir. Tabiatda mavjud to‘rtta o‘zaro ta’sir ichida zarralarning o‘zaro gravitatsiya ta’siri uchun xarakterlovchi vaqtning kattaligi (10^{17} s) va unga xos ta’sir kuchining juda kichikligi (10^{-40}) sababli deyarli xozirgacha elementar zarralar nazariyasida e’tiborga olinmaydi. Gravitatsion o‘zaro ta’sirning zaifligini kuyidagi oddiy tadjribadan ravshan bilish mumkin. Kichik metall jism olib uni kichik balandlikdan tushirib yuboramiz. U butun Yer massasidan xosil bo‘lgan gravitatsiya maydoni ta’sirida yerga tushadi. Endi kichik magnitni shu metall jismga yaqin keltirsak, u

yerdan ko'tarilib magnitga tortiladi. Bundan ko'rinadiki, kichkina magnitning maydoni butun Yer massasi vujudga keltirgan gravitatsiya maydonidan kuchliroq ekan. Elektromagnit va gravitatsiya kuchlari orasida xuddi shunday munosabat elementar zarralar uchun ham xarakterlidir.

Gravitatsion o'zaro ta'sir o'zining uchta muxim xususiyatiga: cheksiz katta ta'sir doirasiga egaligi, absolyut universalligi va xar qanday ikki massa o'rtasidagi ta'sir kuchi ishorasining bir xilligiga asosan butun Koinotda, astronomik masshtabda katta rol o'ynaydi. Uchinchi xususiyatiga asosan gravitatsion o'zaro ta'sir kuchi shu ta'sirdagi jismlarning massalari ortishi bilan tez ortadi. Shu sababli elementar zarralar nazariyasining oxirgi yutuqlari shuni ko'rsatadiki, gravitatsion o'zaro ta'sir katta energiyaga ega bo'lgan zarralar «xayotida» munosib o'ringa ega bo'lishi mumkin. Xaqiqatan ham (3.2.2) formulaga asosan katta energiyaga tezlatilgan zarralarning xarakat massasi ortishi bilan gravitatsion o'zaro ta'sir sezilarli bo'lishi mumkin.

Elementar zarraning gravitatsiya maydoni bilan o'zaro ta'siri qanday yo'l bilan yuz beradi? Elektromagnit maydonga qiyos qilib gravitatsion o'zaro ta'sir gravitonlar deb ataluvchi zarralar vositasida vujudga keladi deb xisoblanadi. Xar qanday jism, zarralar o'zidan gravitonlar chiqarib turadi. Gravitonning massasi (tinch xolat massasi) 10^{-39} — 10^{-42} MeV ga, ya'ni deyarli nolga teng, xarakat tezligi yorug'lik tezligidan bir oz kam, spini ikkiga teng. Gravitonning to'lqin uzunligi 10^{26} m. Bu qattalik Koinotning radiusiga teng keladi.

Gravitatsion o'zaro ta'sirni xarakterlovchi vaqt va gravitonlar to'lqin uzunligining cheksiz kattaliklaridan gravitatsion o'zaro ta'sirning butun olam bo'ylab deyarli so'nmasdan tarqalishi kelib chiqadi. Shunday qilib, gravitatsiya maydoni bilan o'zaro ta'sirda bo'ladigan har qanday zarra uchun gravitonlar har doim realdir. Real gravitonsiz hech qanday holatning bo'lishi mumkin emas. Shuning uchun ham gravitatsiya vakuumining mavjudligi haqidagi masala mazmunga ega emas. Bu fikr har qanday o'zaro ta'sirda ham ishtirok qiluvchi gravitatsiya maydoni universal ekanligini ko'rsatadi.

3.5–§. Elementar zarralar va saqlanish qonunlari

Faylasuf Geraklit aytganidek, hech narsa doiliy emas, hamma narsa uzluksiz harakatda va o'zgarishda. Lekin shu narsani esdan chiqarmaslik kerekki, o'zgarishlar haqida gapirganimizda faqat biror o'zgarmas narsaga (fonga) nisbatan ayta olamiz. Kishilik ongi har doim o'zgarayotgan xususiyatlarning tashqi qiyofasi ostida o'zgarmas xususiyatlarni (simmetriyani) aniqlashga harakat qiladi. Fizikaning rivojlanishida xuddi shu kabi izlanishlar ajoyib muvaffaqiyatlar – o'zgarmas xususiyatlarning asosi bo'lmish qator saqlanish qonunlarining kashf etilishi bilan yakunlangan. Saqlanish qonunlariga binoan, biror saqlanuvchi fizik kattalik, masalan, energiya yoki elektr zaryadining qiymati vaqt bo'yicha o'zgarmaydi. Albatta, saqlanuvchi kattaliklargina zarrani harakterlaydi.

Saqlanish qonunlari fizikaning har qanday bo'limiga qaraganda elementar zarralar fizikasida katta rol o'ynaydi. Buning sabablaridan biri shundan iboratki, hozir elementar zarralar uchun biror izchil nazariya yo'q. Ikkinchi sababi, elementar zarralar saqlanish qonunlarining ko'pligi va ularning yaxshi bajarilishidir. Elementar zarralar dunyosida qator saqlanish qonunlari borki, ular makrodunyo hodisalari uchun hech qanday rol o'ynamaydi. Nihoyat, uchinchi sababi shundan iboratki, mikrodunyo hodisalarida saqlanish qonunlariyanada samarali ta'sir ko'rsata boshlaydi. Chunonchi, agar makrodunyoda saqlanish qonunlari faqat taqiqlansa, mikrodunyoda bundan tashqari taqiq ostiga tushmagan hamma jarayonlarni o'tishiga yo'l qo'yadi. Boshqacha aytganda, mikrodunyoda saqlanish qonunlarining to'la to'plami taqiqlamagan har qanday jarayon albatta yuz berishi kerak. Xuddi shu asosda yangi elementar zarralar – myuon neytrinosi (ν_μ) kashf qilingan.

Saqlanish qonunlarining fizik ma'nosini tushunish bundan bir necha o'n yil ilgari boshlangan. Dastavval, ular empirik qonunlar sifatida qabul qilingan edi. Biroq, saqlanish qonunlarining unversalligi va aniqligi ularning chuqur fizik asosga ega ekanligidan darak beradi. Hozir har bir saqlanish qonuni bizni o'rab turgan ob'ektiv dunyoning biror simmetriyasi bilan bog'liq ekanligi aniqlangan.

Har qanday simmetriyaning unda tegishli saqlanish qonuni bilan aloqasi kvant nazariyasida bevosita kelib chiqadi.

Elementar zarralar fizikasida saqlanish qonunlari fizik tabiati bo'yicha uch guruhga bo'linadi. Birinchi guruh fazo – vaqtning to'rt o'lchovli geometriyasi bilan bog'liq bo'lgan energiya, impuls, impuls momenti, spin, SR – juftlik, T – juftlikning saqlanish qonunlari kiradi. Ikkinchi guruhga, odatda, elektr, barion va ikki xil lepton zaryadlarining saqlanish qonunlari kiradi. Nihoyat, uchinchi (turli jinsli) guruhga faqat ba'zi o'zaro ta'sirlardagina bajariladigan saqlanish qonunlari kiradi. Bu uchinchi guruh saqlanish qonunlari taqribiy hisoblanadi. Bunday taqribiy saqlanish qonunlarini o'rganish har xil o'zaro ta'sirlar turli xil darajadagi simmetriyaga bo'lishligini ko'rsatadi. O'zaro ta'sir qanchalik kuchli bo'lsa, u shunchalik simmetrikdir, ya'ni u uchun shunchalik ko'p saqlanish qonunlari bajariladi.

Saqlanish qonunlari

Fizik Kattaliklar	Ta'sir turlari		
	Kuchsiz	Elektromagnit	Kuchli
1 Energiya (impul's)	+	+	+
2 Zaryad	+	+	+
3 Varion soni	+	+	+
4 Lepton soni	+	+	+
5 I (izospin)	-	-	+
6 S (g'alatilik)	-	+	+
7 S (maftunlik)	-	+	+
8 R (juftlik)	-	+	+
9 S (zaryad turlanish)	-	+	+
10 SR (yoki T)	+ **)	+	+
11 SRT (kombinatsion juftlik)	+ **)	+	+

Eslatma

*) + saqlanadi

– saqlanmaydi

**) K^0 – yemirilishda saqlanmaslik 10^{-3} ulushni tashkil qiladi. Materiya 2 xil ko‘rinishda mavjud bo‘lib (modda va maydon ko‘rinishda) ular kichik mikrozarralardan tuziladi. Mikrozarralar harakati xech vaqt to‘xtab qolmaydi. Demak, materiya doimiy harakatda. Zarrachalar bir turdan boshqa turga aylanishda o‘zidan yengil zarrachalarni vujudga keltiradi, to $(e^- e^+)$ juftlari hosil bo‘lmaguncha.

Xulosa

Bitiruv malakaviy ishini quyidagi xulosa bilan yakunlaymiz.

1. Yadro tuzilishi va uning parametrlari to'liq o'rganilib chiqildi.
2. Yadro tarkibiga praton va neytronlar kiradi ularni nuklonlar deb ataymiz.

Ularning asosiy parametrlari zaryadi, massasi, magnit momenti, spinlari ekanligi ko'rsatildi.

Yadro magnitoni atom fizikasidagi Bor magnitonidan farqli ekanligi ko'rsatiladi. Bu yerda Bor magnitoni asosi hisoblangani uchun Bor magnitonidagi elektronni massasi bilan almashtiriladi.

Proton musbat zaryadlanganligi uchun yadro magnit momenti kelib chiqadi. Yadroning spini Nuklonning spiniga bog'liq bo'lganligi uchun yarim butun spinga ega bo'ladi. Natijada Fermi Dirak taqsimotiga bo'y sunadi. Yadrodagi nuklonlar yadroviy kuchlar bilan kuchli bog'langan. Bu ularning bog'lanish energiyasini belgilaydi.

1950 – yilgacha elementlar zarralarning umumiy soni 10 tagacha bo'lgan. Hozirgi vaqtda ularning soni 1000 ga yaqin bo'lib, ko'plari tezlatgichlar yordamida zarralarni tok tashishi hisobiga vujudga keladi.

Ularning asosiy qismi qisqa vaqtdan so'ng parchalanib ketish hususiyatiga ega. Bunday zarralar rezonanslar hisoblanadi. Ularning o'zaro ta'siri 4 xil bo'ladi.

1. Kuchli
2. Elektromagnit
3. Kuchsiz
4. Gravitatsion

Xarakterga ega.

Eng kuchli ta'sir nuklonlar asosida bo'ladi. Elektromagnit o'zaro ta'sir kuchli ta'sirga qaraganda 100 marta kichik ta'sirga ega.

Gravitatsion o'zaro ta'sir mikro va makro jismlar o'rtasida mavjud bo'lib, ularni kattaligi elementar zarrachalar fizikasida hisobga olmasa ham bo'laveradi.

Elementar zarralar orasidagi reaksiyalar natijasida ikkilamchi zarralar hosil bo'ladi. Ularning ko'payishi birlamchi zarraning energiyasini ortishi bilan ortib boradi.

Lekin bu reaksiyalar 11 ta qonun albatta bajarilishi shart. Agar birortasi bajarilmasa ular orasida reaksiya amalga oshmaydi.

Kuchsiz o'zaro ta'sirda k va μ mezonlar ta'sirida bo'ladigan reaksiyalarda juftlikni bajarilmasligi kuzatiladi.

Shunday qilib elementar zarralar olamidagi o'zaro zarralar bilan bo'ladigan ta'sirlarda saqlanish qonunlari bajariladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Т.М.Мо'минов va boshqalar. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. Toshkent, "O'zbekiston faylasuflari, jamiyati", 2009.
2. Ю.М.Широков, Н.П.Юдин. Ядерная физика. М., «Наука», 1972.
3. М.Престон. Физика ядра. М., «Мир», 1964.
4. Р.Б.Бекжонов. Атом va ядро физикаси. Т., «Ўзбекистон», 1972.
5. О.Бор, Б.Моттelson. Структура атомного ядра.
1,2 том. М., «Мир», 1971.
6. А.У.Абдурахимов. Автореферат ОИЯИ, 1-7459, Дубна, 1973.
7. А.У.Абдурахимов и др. Высокоавтоматизированная система обработки и анализа данных. Труды международной конференции.
г Ош, 1 том, 2000.
8. Р.Б.Бекжонов. Ядро физикаси. Т., «Ўқитувчи», 1975.
9. Р.Б.Бекжонов. Атом va ядро физикаси. Т., «Ўқитувчи», 1994.
10. Г. Челлен. Физика элементарных частиц. М., «Наука», 1966.
11. В.С.Барашенков. Сечения взаимодействия элементарных частиц.
М., «Наука», 1966.
12. Ю.И.Корякин. Биография атома. М., «Госатомиздат», 1961.
13. Г.С.Воронов. Штурм термоядерной крепости. М., «Наука», 1985.