

**O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI
XALQ TA'LIMI VAZIRLIGI**

**JIZZAX DAVLAT
PEDAGOGIKA INSTITUTI**

**FIZIKA – MATEMATIKA FAKULTETI
UMUMIY FIZIKA KAFEDRASI**

R.N. Bekmirzaev, M.H. Samadov

**YADRO VA ELEMENTAR
ZARRACHALAR FIZIKASI**



Jizzax-2015

**O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI
XALQ TA'LIMI VAZIRLIGI**

**JIZZAX DAVLAT
PEDAGOGIKA INSTITUTI**

**FIZIKA – MATEMATIKA FAKULTETI
UMUMIY FIZIKA KAFEDRASI**

YADRO VA ELEMENTAR ZARRACHALAR FIZIKASI

R.N. Bekmirzaev, M.H. Samadov

JIZZAX-2015

Uslubiy qo'llanma institut o'quv-uslubiy kengashi tomonidan
"29" yanvar 2015 y. tasdiqlangan. Bayonnoma № 5

Uslubiy qo'llanma "Umumiy fizika" kafedrasining
"19" dekabr 2014 yildagi majlisida ko'rib chiqildi. Bayonnoma № 5

Taqrizchi: Dots. A. Mustafaqulov

Mualliflar: R.N. Bekmirzaev, M.H. Samadov.

Soʻz boshi

Ushbu "Yadro va elementar zarralar fizikasi" uslubiy qoʻllanma talabalarning mustaqil ishlarini bajarish uchun moʻljallangan boʻlib, unga modda ekstremal holati, atom yadrosi, yadro kuchlari, radioaktivlik, yadro reaksiyalari, elementar zarralar va olamning hozirgi zamon fizik tasavvuriga bagʻishlangan mavzular kiritilgan. Mualliflar ushbu uslubiy qoʻllanma tayorlashda ilmiy, ilmiy - ommabop, darslik va o'quv qo'llanmalaridan ijodiy foydalandilar. Ushbu uslubiy qoʻllanma kamchiliklardan xoli emas. Shu sababli uning kamchiliklari to'g'risida o'z fikr-mulohazalarini bildirgan o'rtoqlarga muallif oldindan o'z minnatdorchiligini bildiradi.

MUNDARIJA

Kirish	5
1. Elementar zarralar.....	6
2. Fazoviy juftlikning saqlanmaslik xususiyati	22
3. Kombinatsiyalangan juftlik va neytral K — mezonlar xossalari.....	24
4. T — almashtirish SPT — teorema.....	28
5. Elementar zarralarning kvant xarakteri.....	31
6. Adronlar strukturasi.....	33
7. Materiya tuzilishi to'g'risidagi zamonaviy qarashlar.....	40
8. Modda va maydon. Moddaning atom - molekulyar tuzilishi, atom yadrosi, kvarklar.....	44
9. Elementar zarralar (maydon kvantlari, leptonlar, adronlar) va ularning bir-biriga aylanishi.....	46
10. Materiyaning yagona nazariyasi.....	50
11. Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida.....	52
12. Zarrachalarning kuzatish va qayt qilish usullari.....	57
13. Kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirlar.....	63
14. Bosqichma-bosqich o'zaro ta'sirlashish. Materiyaning yagona nazariyasi haqida.....	66
15. Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida.....	68
Xulosa.....	70
Adabiyotlar.....	71

Kirish

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

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

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

Elementar zarralar

Olamning asosi nimadan iborat, ya'ni atrofimizni o'rab turgan barcha mavjudotlar qanday tuzilgan degan savol qadim zamonlardan odamlar ongini band qilib kelgan. Bu savolga birinchi bo'lib, grek faylasuflari javob berishga harakat qilishgan. Ulardan birlari olam 4ta unsur —havo, suv, tuproq, va olovdan tashkil topgan (Anaksimenes) deyishsa, boshqalari esa olam strukturaga ega bo'lmagan va eng kichik bo'linmas atomlardan (Demokrit) tuzilgan degan g'oyalarni ilgari surishgan. 19 — asrda Mendeleyev tomonidan elementlar davriy jadvalining tuzilishi, ma'lum ma'noda faylasuflar g'oyalarni tasdiqladi. Lekin olamni Mendeleyev jadvali elementlari orqali tushuntiradigan bo'lsak, uning juda murakkabligini sezamiz. Bu ximiyaviy elementlar xossalariining takrorlanishi ham ularning asosida yanada fundamental tuzilmalar borligini bildiradi. 19 — asr oxirida, aniqrog'i 1896 yili A.Bekkerel tomonidan radioaktivlik hodisasining ochilishi va bu hodisaning keyinchalik keng ko'lamda o'rganilishi elementar zarralar fizikasida katta yutuq bo'ldi. Shu yildan boshlab, to 1932 yilgacha atom tuzilishi to'laligicha o'rganib bo'lindi va 1932 yildan keyingi davr yadro fizikasi erasi deb ataladigan bo'ldi. Endi to 1932 yilgacha bo'lgan muhim yutuqlarni sanab o'tamiz.

1. Barcha moddalar 10^{-10} m o'lchamli neytral zarralar — atomlardan tuzilgan. Bu fakt 19 — asrdayoq to'la tasdiqlangan edi.
2. Lekin, atom qadimgi faylasuflar faraz qilgandek bo'linmas, strukturasisiz tuzilma bo'lmay, balki murakkab kvant— mexanik ob'yektdir.
3. Atomning tarkibiy qismi uning elektron qobig'i bo'lib, uning umumiy zaryadi Z_e ga teng (1913 y. N.Bor, 1915—1916Y. Zommerfeld) va shu bilan birga u atomning barcha kimyoviy va fizikaviy xususiyatlarni belgilaydi.
4. Atom markazida o'lchami $\approx 10^{-15}$ m ga teng yadro mavjud bo'lib, uning zaryadi $+Z_e$ ga teng (1911 — 1914 y. Rezerford).
5. Atom yadrosi Z protonlar $A - Z$ - neytronlardan iborat, ya'ni $Z_p + (A - Z)n = A$ ta zarralardan iborat.

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

$A_p + (A - Z)e^- = (2A - Z)$ zarradan iborat deb qaralgan. Elektronlarning qobiqlardagi bog'lanish energiyasi eV larda, proton va neytronlarning bog'lanish energiyasi MeV larda o'lchanadi. Shu sababli atom yadrolari turg'un tuzilmadir.

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

1919 yili E.Rezerford $^{14}_7N$ -azot atomining $^4_2He - \alpha$ zarralar bilan to'qnashishidan hosil bo'lgan 1_1H -vodorod atomi azot atomiga tegishli degan fikrga keldi, ya'ni $^4_2He + ^{14}_7N \rightarrow ^{17}_8O + ^1_1H$. U hosil bo'lgan vodorod atomi yadrosini proton (grekcha protos — birinchi) deb atadi.

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

Foton atom tarkibiga kirmaydi va atomdagi elektron o'tishlarda hosil bo'ladi yoki yutiladi. Foton M. Plank tomonidan fanga kiritilgan va A.Kompton tajribalaridan keyingina elementar zarracha sifatida qabul qilindi. M. Plank jismlarning issiqlik nurlatish xususiyatini o'rganish natijasida ularning yorug'likni uzluksiz emas, balki diskret, ya'ni porsiyalar — $E = h\nu$ energiyali kvantlar ko'rinishida yutishi va chiqarishi to'g'risidagi tasavvurni shakllantirdi. Bu tasavvurga asoslanib, A. Eynshteyn fotoeffekt hodisasini tushuntirdi. 1922 yili A. Kompton rentgen nurlarining erkin

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

Graviton S — gravitatsion ta'sir tashuvchisi, elementar zarralar olamida gravitatsion ta'sirining o'ta kuchsizligi sababli, bu zarracha tajribada haligacha kuzatilmagan.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ta'sir	Mexanism	Intensivligi	Ta'sir radiusi (m)	Ta'sir vaqti (sek)
Kuchli	Glyuonlar	$10^{-1} \div 10^1$	$\approx 10^{-15}$	$\approx 10^{-23}$
Electromagnit	Foton	1/137	∞	$\approx 10^{-20}$
Kuchsiz	Oraliq $W^{\pm}, Z^0$ bozonlar	$\approx 10^{-10}$	$\approx 10^{-18}$	$\approx 10^{-13}$
Gravitatsion	gravitausion	$\approx 10^{-38}$	∞	?

Endi shu jadvaldagi kattaliklar va o'zaro ta'sir mexanizmini izohlab o'tamiz, Kuchli ta'sir proton va neytronni yadroga, hamda kvarklarni adronlarda ushlab turadi.

Bu mexanizmga keyinchalik alohida ham to'xtalib o'tamiz. Hozirgi zamon fizikasi nuqtai — nazaridan yadroda proton va neytronlar o'zaro π — mezonlar bilan almashish hisobidan ushlab turiladi. Proton va neytron esa kvarklardan tuzilgan bo'lib (shu jumladan barcha adronlar) ular, ya'ni kvarklar shu zarralar ichida glyuonlar (inglizchadan dliye —yelim, kley) orqali bog'lanib turadi. Endi proton va neytronlar orasidagi π -mezon almashish kuchlariga kelsak, bu mezonlar glyuon kuchlarining katta masofa 10^{-15}m dan katta bo'lgan masofadagi «qoldiq»

kuchlari deb qaraladi. Endi kuchli ta'sirning intensivligiga kelsak, «yuguruvchi» o'zaro ta'sir doimiysi deb ataladi α_s - va boshqa o'zaro ta'sir doimiyliliklaridan qiymatining masofa o'zgarishiga qarab o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Shu sababli α_s «yuguruvchi» o'zaro ta'sir doimiysi deyiladi va 0,1 dan 10 gacha bo'lgan oraliqda o'zgaradi. Bu yerda S-“strong” $\alpha_s=10^{-1}\div 10^1$ kuchli degani. Bu ta'sir aytib o'tganimizday $\approx 10^{-15}\text{ m}$ masofada namoyon bo'ladi va o'zaro ta'sir vaqti $\approx 10^{-23}\text{ s}$ ga teng.

Elektromagnit ta'sir zaryadlangan va ma'lum strukturali (mas, neytron — elektro neytral zarra bo'lishiga qaramasdan magnit momentiga ega) zarralar orasida sodir bo'lib, bu ta'sir fotonlar orqali amalga oshadi. Ta'sir

Intensivligi $a = \frac{1}{137}$ - nozik struktura doimiysi bilan xarakterlanadi. Bu ta'sir masofasi ∞ bo'lib, o'zaro ta'sirlashish vaqti $\approx 10^{-20}\text{ s}$ ga teng.

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

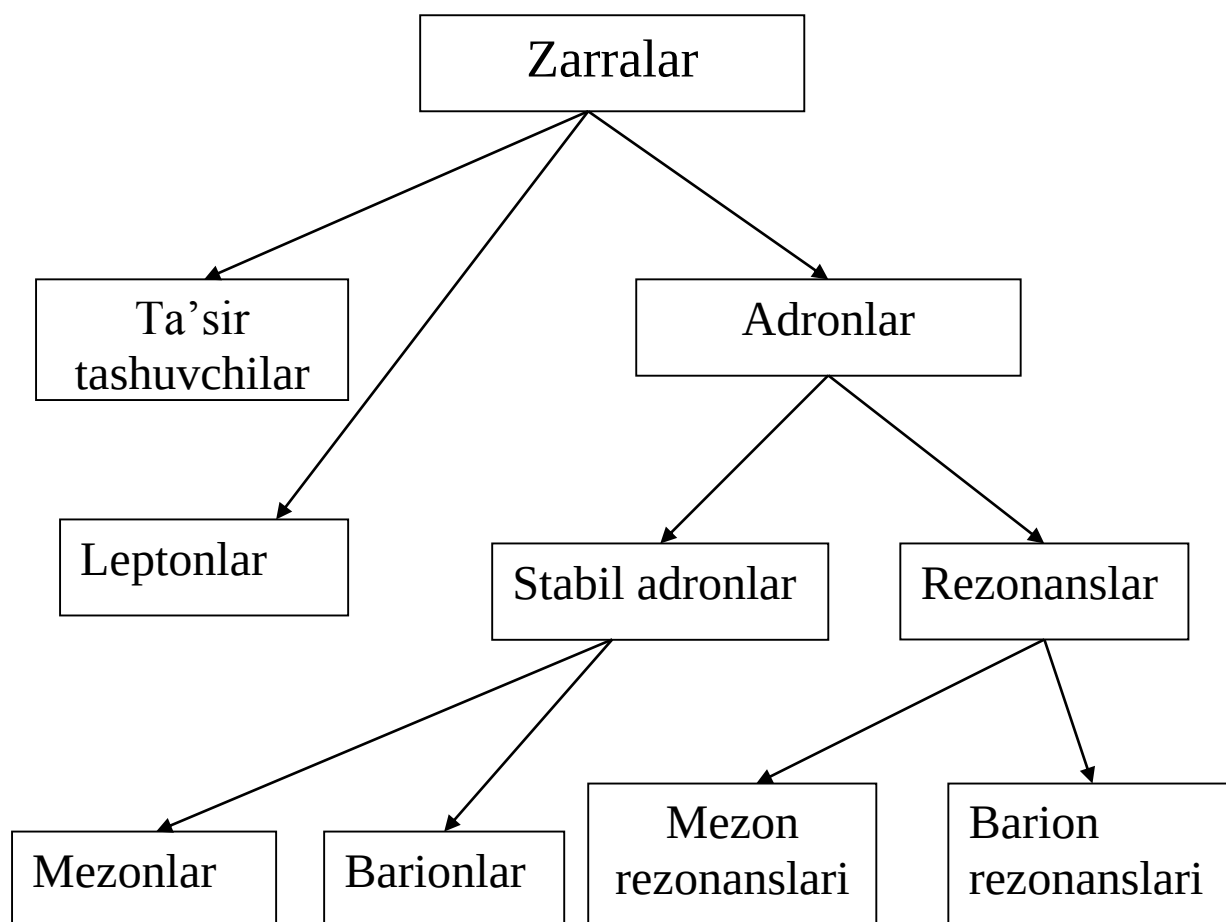
Elementar zarralar olamida gravitatsion ta'sir juda ham sust bo'lib, o'zini namoyon qilmaydi, uning ta'sir vaqti aniqlanmagan, intensivligi $\approx 10^{-38}$ ga teng, ta'sir masofasi esa ∞ dir. Massasi Plank massasidan, ya'ni, $m_n \sim 10^{19}\text{ GeV}$ dan katta jismlar uchungina gravitatsion ta'sir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

Endi bevosita elementar zarralar klassifikatsiyasini qaraymiz. Kuchli ta'sirda qatnashuvchi (aniqrog'i elektromagnit va kuchsiz ta'sirda ham) elementar zarralarga adronlar deyiladi. Adronlar o'z navbatida barionlar va mezonlarga bo'linadilar. Barionlar o'z navbatida nuklonlar (proton va neytronning umumiy nomi), giperonlar va rezonanslarga bo'linadilar, Giperonlar massasi protondan og'ir bo'lgan zarralardir. Ularga $\Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0$, lyambda giperon— Λ , sigma giperonlar-, $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$ ksi — giperonlar — Ξ^0, Ξ^- kiradi. Giperonlarning o'rtacha yashash davri $\tau \sim 10^{-10}$ s ga teng. Rezonanslarning o'rtacha yashash davri juda kichik bo'lib, $\tau \sim 10^{-24} \div 10^{-22}$ s ga teng. Ular o'tgan asrning 60 — yillarida ochilgan bo'lib, hozirda ular soni 300 dan ortiq. Nuklonlar va giperonlar yashash davri rezonanslarnikiga qaraganda ancha kattaligi uchun ular stabil zarra deb ataladi. Proton haqiqiy stabil zarra hisoblanib, hozirgi vaqtda uning yashash vaqti $\tau > 10^{34}$ yildan katta hisoblanadi.

Neytron esa erkin holatda ~ 15 min atrofida yashaydi. Mezonlar ham o'z navbatida stabil va rezonans mezonlarga bo'linadi. Stabil mezonlarga $\pi^+, \pi^0, \pi^-, \eta^0, K^+, K^0, D^+, D^0, D_s^0$ -mezonlar taaluqlidir. Ularning yashash davri $10^{-8} \div 10^{-13}$ s vaqt intervalida yotadi. Rezonans mezonlarga esa $\eta', P, \omega, \phi, K^*, D^*$ J/ Ψ kabi mezonlar misol bo'ladi. Umuman, barion va mezon rezonanslarining yashash vaqti $\tau \sim 10^{-23} - 10^{-24}$ s oralig'ida yotadi. Ular juda qisqa vaqt mobaynida yashashiga qaramasdan ma'lum spin va juftlikka ega bo'lib, ma'lum ichki kvant sonlariga ham ega va shu sababli ham ularni elementar zarralar deb qaraladi. Rezonanslar aniq massaga ega emas va uzluksiz massa spektriga ega. Shu spektrning maksimumiga to'g'ri keluvchi qiymat rezonans massasi deb qabul qilinadi. $\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$ ifodaga ko'ra, odatda jadvallarda rezonanslarning yashash vaqti o'rniga ularning parchalanish ehtimolligi — Γ keltiriladi. Kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydigan zarralarga leptonlar deyiladi. Hozirgi paytda 3 guruh leptonlar mavjud:

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

Elektron e^- va ν_e, ν_μ, ν_τ neytrinolar stabil, μ^- — mezon va τ^- — leptonlar stabil emas. Barcha nostabil zarralarning yashash vaqti odatda jadvallarda keltiriladi. Leptonlar strukturaga ega emas. Shu ma'noda ular haqiqiy elementar — fundamental zarralardir, Masalan $\sim 10^{-18}$ m masshtabda (zamonaviy tezlatgichlarda erishish mumkin bo'lgan energiyalarda) ham elektron strukturaga ega emasligini namoyon qilgan. Elektron, μ — mezon va τ — lepton elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirda, neytrinolar esa faqat kuchsiz ta'sirda qatnashadilar. Shunday qilib, hozircha zarralar klassifikatsiyasini ko'z oldimizga keltirish uchun quyidagi jadvalni ilova qilishimiz mumkin.



Adronlar va leptonlar o'zlarining anti zarrachalariga ega. Agar zarra va antizarra ustma —ust tushsa, haqiqiy neytral zarra deyiladi. Masalan, π^0 — mezon haqiqiy neytral zarradir, ya'ni $\pi^0 = \bar{\pi}^0$, lekin neytron haqiqiy neytral zarra emas $n \neq \bar{n}$. Zarralarning

bu xususiyatiga keyinroq to'xtalib o'tamiz. Hozirda foton, elektron, uch turdagi neytrino va proton haqiqiy stabil zarra deb qoraladi. Endi zarralarni bir — biridan farq qiluvchi xususiyati — ularning xarakteristikalariga to'xtalib o'tamiz. Zarralarni xarakterlovchi kattaliklar — kvant sonlari saqlanish qonunlari asosida yuzaga keladi. Bu saqlanish qonunlari fazo — vaqt simmetriyasi yoki ichki fazo simmetriyalari natijasida yuzaga keladi. Ichki simmetriya o'zaro ta'sir simmetriyasini ifodalaydi va ichki kvant sonlariga olib keladi.

1. *Massa*

Zarraning o'ziga xos individualligini belgilovchi kattalik uning massasidir. Eynshteyn tenglamasi $E_0=mc^2$ ga ko'ra massa megal elektronvoltlarda ifodalanadi. Har qanday o'zaro ta'sirda massa saqlanishi kerak. Massa dinamik tabiatga ega va zarralarning asosiy klassifikatsiya belgisi hisoblanmaydi. D.I. Mendeleyev ham elementar davriy jadvalini dastlab atomlar massasiga qarab tuzgan va bu urinish noto'g'ri bo'lib chiqdi.

2. *Spin*

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

3. *Juftlik*

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

fazoviy juftlik bilan bog'liqdir. Zarralar sistemasi juftligi shu sistemaga kirgan zarrachalar juftliklari ko'paytmasiga teng.

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

$$\eta = \eta_0^{(1)} \dots \eta_0^{(N)} (1)^{e_1 + \dots + e_N} \text{ Bu yerda } \eta_0 \text{ — zarracha ichki juftligi.}$$

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

Gravitondan boshqa barcha bozonlar juftligi manfiy. Mezon rezonanslari esa manfiy va musbat juftliklarga ega bo'ladi. Barcha barionlar fazoviy juftligi musbat, antibarionlar esa manfiy fazoviy juftlikka ega. Jadvallarda spin va juftlik J^n kabi birgalikda beriladi. Bu xarakteristika foton uchun 1^- , graviton uchun 2^+ , pion uchun 0^- , va protonniki $\frac{1}{2}^+$ za xakozo bo'ladi. Zarralarning biz qarab o'tgan uch xususiyati ularning «geometrik», ya'ni fazo — vaqt simmetriyasiga asoslangan xarakteristikalaridir. Zarralarning boshqa xususiyatlari ichki fazo «yashirin» simmetriyasiga asoslangan bo'lib, ichki kvant sonlariga, ya'ni saqlanuvchi kattaliklarga olib keladi.

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

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

6. Lepton zaryadi - L leptonlar uchun +1 ga, antileptonlar uchun esa -1 ga teng. Elektron lepton zaryadi $-L_e$ myuon lepton zaryadi L_μ va taon lepton zaryadi L_τ mavjud bo'lib $L_e + L_\mu + L_\tau = L$ bo'ladi va lepton zaryadi saqlanishi har bir avlod leptonlar uchun alohida bajariladi.

7. Barion zaryadi — B barionlar uchun +1 ga, antibarionlar uchun esa — 1 ga teng. Barion va lepton zaryadlari additiv kvant sonlari hisoblanadi. Atom yadrolari uchun barion kvant soni yadroning massa soni A ga teng bo'ladi.

8. Izospin — T izomultipletni xarakterlaydi. Bu izomultipletdagi zarralar soni $N = 2T + 1$ kabi aniqlanadi. L spinli zarrachaning spin holatlari ham $2J + 1$ kabi aniqlangan kabi. Izospin O dan $3/2$ gacha qiymatlar qabul qilishi mumkin. Masalan μ, Λ, Ω va Λ_e zarralar uchun $T = 0, K, D, N$ va Θ zarralar uchun $T = 1/2$ va π hamda Σ zarralar uchun $T = 1$ ga teng. A izobar uchun $T = 3/2$ ga teng.

9. Izospin proyeksiyasi $-T_3$ — T dan T gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi va zarralarning elektr zaryadini aniqlaydi. Neytron uchun $T_3 = -\frac{1}{2}$, proton uchun $T_3 = +\frac{1}{2}$, pi — mezonlarga mos ravishda +1, 0, — 1 mos keladi, $\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}$ -izobarlarga esa $-\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$ va $+\frac{3}{2}$ mos keladi. Zarrachalarning elektr zaryadi $q = T_3 + \frac{1}{2}B$ formula bilan hisoblanishi mumkin.

10. Qiziqlik kvant soni —S shunday kiritilganki, qiziq zarralarning elektr zaryadi Gell—Mann —Nishidjima munosabatini qanoatlantiradi, ya'ni

$q = T_3 + \frac{1}{2}(B + S)$. Shu o'rinda qiziq zarralarga to'xtalib o'tamiz, tajribalarda shu narsa ayon bo'ladiki, ayrim zarralar qisqa vaqt mobaynida, ya'ni $\sim 10^{-23}, 10^{-24}$ s davomida juft —juft hosil bo'ladi va juda sekin, $\sim 10^{-10}$ s davomida boshqa zarralarga parchalanadilar. Demak, bu zarralar kuchli ta'sir natijasida hosil bo'lib, kuchsiz ta'sir ostida parchalanadilar. Bu hodisani tushuntirish uchun yangi kvant soni — qiziqlik va qiziq kvark—S fanga kiritildi. Demak, agar $\pi^- + p \rightarrow k^- + k^+ + n$ jarayonni qarasak, k^- va k^+ mezonlar $S = -1$ va $S = +1$ qiziq kvant sonli zarralar bo'lib, π^- va p uchun $S = 0$. Qiziq zarralar kuchli ta'sir ostida faqat juft, kuchsiz ta'sirda esa toq holda ham hosil bo'ladi. Bunday jarayonlarga keyinchalik yana qaytamiz.

11. Giperzaryad — Y oddiy va qiziq zarralar uchun $Y = B + S$ kabi aniqlanadi. U holda yuqoridagi Gell—Mann—Nishidjima munosabati $q = T_3 + \frac{1}{2}Y$ kabi yoziladi.

S — qiziqlik kvant soniga qaraganda giperzaryad hisoblashlarda ancha qulaydir.

12. Maftunkorlik kvant soni — S qiziqlik kvant soni kabi fanga kiritilgan va u, d, s kvarklardan tuzilgan adronlar kabi, to'rtinchi kvark — s qatnashgan adronlarni xarakterlaydi. D - mezon va Λ_c — giperonlar uchun $C=+1$ ularning antizarralari uchun esa $S = -1$ ga teng. Adronlarning kvark strukturasi qaraganimizda bu hol yanada tushunarli bo'ladi. Bu holda Gell—Mann — Nishidjima munosabati $q = T_3 + \frac{1}{2}(B + S + C)$ ko'rinishga keladi. Giperzaryad esa $Y=B+S+C$ kabi ifodalanadi.

13. Zaryad juftligi $-\eta_c$ fazo juftligi η_p — ga o'xshagan bo'lib, bu kvant soni zaryad qo'shma operatori $\hat{C}$ ta'sirida zarracha to'lqin funksiyasi o'zgarishini aniqlaydi. $\hat{C}$ — zaryad qo'shma operatori zarracha to'lqin funksiyasini unga mos antizarracha to'lqin funksiyasiga almashtiradi.

Bu yerda X — zarrachani $\hat{C}X = \tilde{X}$ (yoki uning to'lqin funksiyasini) belgilaydi. $\hat{C}$ operatori ermit operatoridir, ya'ni unga qo'shma operator — $\hat{C}^* \hat{C}$ operatorga teng $\hat{C} = \hat{C}^*$.

Ma'lumki, fizikada ermit operatori biror fizik kattalikni ifodalaydi. Shu sababli, o'lchashda $\hat{C}$ operatorning xususiy qiymatlaridan biri η_c ga ega bo'lishimiz mumkin. Ya'ni

$$\hat{C}X = \eta_c X,$$

bu yerda η_c — kvant soni zarrachaning zaryad juftligi deb ataladi. $\hat{C}^2 = 1$ bo'lgani uchun $\eta_c^2 = 1$ bo'ladi. Shu sababli, fazoviy juftlik — η_p kabi $\eta_c = +1$ yoki $\eta_c = -1$ buladi. Barcha zarralar ham aniq zaryad juftligiga ega emas. Haqiqiy neytral zarralar, ya'ni o'zining antizarrasi bilan mos tushadigan zarralar aniq zaryad juftligiga egadir. Bunday zarralarga γ -foton, π^0 - mezon, η^0 — mezon, ρ^0 va ω^0 — rezonanslar va hali

tajribada tasdiqlanmagan S — graviton kiradi. Bu zarrachalarning barcha «"zaryad"» kvant sonlari (L, B, T₃, S, C, Y) = 0 ga teng. Masalan, $\eta_c(\gamma) = -1$ chunki $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ dan $\eta_c(\pi^0) = +1$, $\eta_c(\pi^0) = \eta_c(\gamma) \cdot \eta_c(\gamma) = (-1)(-1) = +1$.

Shu bilan birga pozitroniy, ya'ni e^+ va e^- dan tuzilgan neytral «atom» ma'lum zaryad juftligiga ega.

14. Har bir zarracha o'rtacha yashash vaqti τ bilan ham xarakterlanadi. Zarrachaning yashash vaqti sekundlarda ifodalanadi. Odatda rezonanslar yashash vaqti energetik birliklarda o'lchanuvchi G — parchalanish kengliklarida ham ifodalanadi. Nostabil zarracha parchalanish kanallari, odatda % larda ifodalanadi va jadvallarda keltiriladi. Biz zarrachani xarakterlovchi kattaliklarni qarab chiqdik. Endi zarrachalar olamidagi saqlanish qonunlariga to'xtalib o'tamiz. Chunki yuqorida biz qarab chiqqan kattaliklar shu saqlanish qonunlari asosida yuzaga keladi. Birinchi qarashdayoq bu kattaliklarning ayrimlari sun'iy ravishda kiritilgan va zarrachalarga berilgan ayrim qiymatlari ixtiyoriy bo'lib ko'rinadi. Lekin qarab chiqilgan kattaliklar — kvant sonlari chuqur fizik ma'noga ega va ular barcha yoki ayrim jarayonlarda saqlanadilar. Saqlanish qonunlari boshlang'ich va oxirgi holatlarni xarakterlovchi kattaliklar orasidagi tenglikni ifodalaydi. Neter teoremasiga ko'ra saqlanish qonunlari invariantlik prinsiplari bilan bog'liqdir. Invariantlik prinsiplari o'zida simmetriyalarni mujassamlashtirgan bo'ladi. Simmetriya geometrik (fazo —vaqt xususiyatlarini izohlovchi) va ichki (o'zaro ta'sirlarning umumiy xususiyatlarini izohlovchi) simmetriyaga bo'linadi. Klassik fizikada saqlanish qonunlari fazo — vaqtning aniq simmetriya xususiyatlaridan kelib chiqadi. Harakatni ifodalovchi dinamik tenglamalar ma'lum ko'rinishga ega bo'ladi va shu tenglamalardan saqlanish qonunlari bevosita kelib chiqadi. Saqlanish qonunlari vaqt va fazodagi uzluksiz siljishlarga va fazodagi uzluksiz burilishlarga nisbatan simmetriya mavjudligidan kelib chiqadi. Shu bilan birga bu saqlanish qonunlari klassik fizikada cheklangan, ya'ni energiya, impuls va impuls momentlari saqlanish qonunlari mavjud. Endi kvant fizikasiga kelsak quyidagi farqni ko'rishimiz mumkin. birinchidan, kvant fizikasida saqlanish qonunlari klassik fizikaga qaraganda ko'proqdir. Chunki kvant fizikasida fazo — vaqtning uzluksiz almashtirishlari bilan birga, ularning diskret almashtirishlarga nisbatan simmetriya xususiyatlari hamda klassik fizikaga xos

bo'lmagan ichki fazodagi simmetriyalar ham kuchga kiradi (masalan, kuchli ta'sirning elektr zaryadiga bog'liq bo'lmasligi izospin simmetriyani yuzaga keltiradi). Ikkinchidan klassik fizikaga o'xshamagan holat yuzaga keladi, ya'ni saqlanish qonunlari ma'lum o'zaro ta'sir turida saqlanib boshqalarida saqlanmaydi, ya'ni taxminiy xarakterga ega bo'ladi. Masalan, izospin saqlanish qonuni kuchli o'zaro ta'sirda saqlanadi, elektromagnit o'zaro ta'sirda esa buziladi. O'zaro ta'sir qanchalik intensiv sodir bo'lsa, unga shuncha ko'p saqlanish qonuni mos keladi. Yana bir holat mavjudki, kvant fizikasida ko'pincha tenglamalar noma'lum ko'rinishga ega, shu sababli ham saqlanish qonunlari muhim ahamiyat kasb etadi va faqat saqlanish qonunlarigina zarrachalar xususiyatlari to'g'risidagi ma'lumotlarni o'zida mujassamlashtirgan bo'ladi. Endi shu saqlanish qonunlarini qarab chiqamiz.

1. Universal saqlanish qonunlari. Bu saqlanish qonunlari barcha o'zaro ta'sirlarda ham o'rinli bo'lib, ularga 4 — impuls $P(E_0, \vec{p})$ saqlanish qonuni, $\vec{J}$ — impuls momenti saqlanish qonuni, d — elektr zaryadi saqlanish qonuni, L — lepton va B — barion zaryadlari saqlanish qonunlari kiradi.

a) P — 4 — impuls saqlanish qonuni 4 — o'lchamli Minkovskiy fazosining bir jinsliliigi bilan bog'liq. Ya'ni oddiy 3 — o'lchovli fazo barcha nuqtalari hamda barcha vaqt momentlarining tenglik xususiyati bilan bog'liq. Boshqacha aytganda, bu qonun dinamik tenglamalarning sanoq sistemasini fazoda va vaqt bo'yicha siljitganda kovariantligi (o'z ko'rinishini o'zgartirmasligi) dan kelib chiqadi, $P^2 = M^2$ tenglikdan, bu saqlanish qonuni zarracha xarakteristikasi bo'lgan M — ning massasini aniqlashga olib keladi.

b) $\vec{J}$ — impuls momenti saqlanish qonuni fazo izotropiyasi, ya'ni fazo barcha yo'nalishlarining teng kuchliligidan kelib chiqadi. Ya'ni sanoq sistemasining fazodagi burilishlarga nisbatan kovariantligi natijasida yuzaga keladi. Spin — to'la impuls momenti komponentasi bunga misol bo'ladi.

Atom fizikasidan ma'lumki $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, lekin zarralar fizikasida $S = J$, ya'ni spin J harfi bilan belgilanadi. Impuls momenti saqlanish qonuni quyidagi qoidaga olib keladi: boshlang'ich va oxirgi holatlardagi spinlar yig'indisi teng bo'lishi kerak. Shu

sababli, $n \rightarrow p + e^-$ parchalanish sodir bo'lmaydi va neytrino kashf qilingan. Neytron spini $\frac{1}{2}$ ga teng, $p + e^-$ esa 1 spinga ega.

c) q — *elektr zaryadi saqlanish qonuni* geometrik tabiatga ega emas va dinamik tenglamalarning kalibrovkali almashtirishlarga nisbatan kovariantligi natijasida

yuzaga keladi, ya'ni

$$\begin{aligned}\psi_a(x) &\rightarrow \psi'_a(x) = e^{iq_a a} \psi_a(x), \\ \psi_a^*(x) &\rightarrow \psi_a^{*'}(x) = e^{-iq_a a} \psi_a^*(x)\end{aligned}$$

bu yerda $\psi_a(x)$ — a zarracha to'liqin funksiyasi, $x = (\vec{r}, t)$, a — haqiqiy parametr, q_a butun son bo'lib, a — zarracha zaryadini anglatadi. Kalibrovkali almashtirish koordinataga aloqasi bo'lmasdan, faqat to'liqin funksiyani o'zgartiradi. Bu kalibrovkali almashtirish ichki simmetriya almashtirishlariga misol bo'la oladi. Elektr zaryadi saqlanish qonuni juda aniq bajariladi. Parchalanish sharti $m_a \geq \sum_a m_a$

elektronning absolyut stabilligini bildiradi, chunki undan yengil va zaryadga ega bo'lgan zarracha yo'q. Hozirgi tajribalar elektron yashash vaqti $g > 2 \cdot 10^{22}$ yil ekanligini ko'rsatmoqda.

d) L - *lepton zaryadi saqlanish qonuni* elektr zaryadi saqlanish qonuniga o'xshashdir. $L = L_e + L_\mu + L_\tau$ ya'ni har bir juft lepton zaryadi alohida saqlanishi kerak. Lepton zaryadi saqlanish qonuni juda aniq bajarilmasligi ham mumkin. Va shu sababli neytrino massasining 0 ga teng emasligi $m_\nu \neq 0$ bilan birgalikda neytrino ossilyatsiyasiga ham olib kelishi mumkin.

e) B - *barion zaryadining saqlanish qonuni* ham kalibrovkali invariatlik bilan bog'liqdir. Bu qonunning natijasi sifatida protonning absolyut stabilligi kelib chiqadi. Lekin zamonaviy nazariy usullar bu saqlanish qonuni ham aniq bajarilmasligini ko'rsatmoqda va shu sababli protonning yashash vaqti $\tau_p \gtrsim 10^{34}$ yil deb belgilanadi. Bu qarab chiqqan saqlanish qonunlari barcha o'zaro ta'sirlarda bajariladi. Endi har bir o'zaro ta'sirda bajariladigan spetsifik saqlanish qonunlariga to'xtalamiz.

2. Kuchli o'zaro ta'sir eng simmetrik o'zaro ta'sirdir. Bu o'zaro ta'sirda S — qiziqlik kvant soni va $\vec{T}$ - izospin saqlanish qonunlari o'rinlidir.

a) S - *qiziqlik kvant soni saqlanish qonuni* qiziq zarrachalarning ochilishi bilan bog'liq. Bu zarrachalar kuchli o'zaro ta'sirda hosil bo'lib, kuchsiz o'zaro ta'sir ostida parchalanadilar. Ikkita oddiy ($S=0$) zarracha to'qnashganda bitta ($S \neq 0$) qiziq zarracha hosil bo'lsa, unga qarama — qarshi qiziqlik ishorali zarra ham hosil bo'lishi kerak. Masalan, $\pi^+ + p \rightarrow K^+ + \Sigma^+$, ya'ni $0+0=+1-1$ bo'ladi. Lekin $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^+$ sodir bo'lmaydi. Chunki $0+0 \neq -1+0$ sababli, barcha boshqa saqlanish qonunlari bajarilishiga qaramasdan bu jarayon kuzatilmaydi.

b) $\vec{T}$ — ***izospin saqlanish qonuni*** izospin simmetriya, ya'ni kuchli o'zaro ta'sirning izospin almashtirishlariga nisbatan invariantligi bilan bog'liqdir. Bu saqlanish qonuni yadro kuchlarining elektr zaryadiga bog'liqmaslik xususiyatini belgilaydi. Kuchli o'zaro ta'sirda izospin saqlanish qonuni $\Delta T = 0$ va $\Delta T_3 = 0$ qoidasiga olib keladi.

3. Elektromagnit o'zaro ta'sirda T — izospin saqlanmaydi. Boshqa barcha saqlanish qonunlari, shu bilan birga izospin proyeksiyasi saqlanishi bajariladi. Chunki T_z saqlanish qonuni zaryad saqlanish qonunini ta'minlaydi. Masalan, $\Sigma \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$, $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ jarayonlarda $\Delta T = 1$ ga teng, ya'ni $\Delta T = 0$ qonun buziladi.

4. O'zaro kuchsiz ta'sirda 1 punktdagi barcha univ. saqlanish qonunlari bajariladi. S - qiziqlik kvant soni saqlanmaydi, aks holda eng yengil qiziq zarralar K — mezonlar stabil zarralar bo'lardi. Bunda $\Delta S = 0$ yoki $\Delta S = \pm 1$ bo'ladi. Birinchi holga neytronning β — parchalanishi misol bo'ladi. Shu sababli ham Ξ — giperon birdaniga oddiy zarrachalarga parchalanmaydi, chunki bu holda $S = -2$ bo'lib, faqat kaskad ko'rinishda oddiy zarrachalarga o'tishi mumkin. C — maftunlik kvant soni uchun ham shu qoidalar o'rinlidir. T — Izospin va uning

T_3 — proyeksiyasi ham saqlanmaydi. Masalan, $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$, $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$,
 $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$.

O'zaro kuchsiz ta'sirda fazoviy va zaryad juftliklari ham saqlanmaydi. Bu xususaiyatlarga alohida to'xtalib o'tamiz. Biz qarab chiqqan saqlanish qonunlarini ixcham ko'rinishda quyidagicha ifodalash mumkin.

1. Barcha jarayonlarda energiya va impuls momenti saqlanishi, hamda

$$\Delta q = 0, \Delta L_\alpha = 0, \Delta B = 0$$

bo'lishi kerak.

2. Kuchli o'zaro ta'sir jarayonlarida

$$\Delta T = 0, \Delta S = 0, \Delta C = 0$$

Lekin qatnashuvchi barcha zarralar adron bo'lishi kerak.

3. Elektromagnit jarayonlarda

$$\Delta T \neq 0, \Delta T_3 = 0, \Delta S = 0, \Delta C = 0$$

adronlar, zaryadlangan leptonlar, fotonlar qatnashgan holda.

4. Kuchsiz o'zaro ta'sirlarda 2 va 3 punktdagi qoidalar bajarilmaydi. Agar bu qoidalar bajarilgan bo'lib, jarayonda neytrino qatnashsa ham kuchsiz jarayon hisoblanadi. Shu o'rinda saqlanish qonunlariga bog'liq bo'lmagan umumiy qoidani ham aytib o'tish o'rinli: agar ma'lum jarayonda oxirgi zarralar soni qancha kam va ular umumiy massasi qancha kichik bo'lsa, bu jarayonning sodir bo'lish ehtimolligi shuncha katta bo'ladi.

Fazoviy juftlikning saqlanmaslik xususiyati

Biz oldingi paragraflarda qarab o'tdikki, fazoviy juftlik — kvant soni bo'lib, u fazo o'qlarini qarama — qarshi tomon bilan almashtirish bilan bog'liq, uning saqlanishi fazoning ko'zgu simmetriyasi sabablidir. Boshqacha qilib aytganda, juftlikning saqlanishi jarayonlarning real dunyoda hamda ko'zgudagi aks dunyoda bir xilda sodir bo'lishini bildiradi, ya'ni $\Psi' = \hat{p}\Psi$ bo'lganda $\hat{p}$ ermit operatorining

xususiy qiymati $\eta = +1$ bo'ladi. Dastlab juftlik tushunchasi Yu. Vigner tomonidan 1927 yili fanga kiritildi va bu kvant soni barcha jarayonlarda qat'iy saqlanadi deb qaraldi. 1954—1956 yillari Θ — τ muammo yuzaga keldi. Ya'ni bitta qiziq zarracha ikki xil yo'l bilan parchalanadi.

$$Q^+ = \pi^+ + \pi^0, \tau^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

Shu ikki xil yo'l bilan parchalanishni e'tiborga olmasa bu zarrachalar K^+ mezonga mos keladi. $\eta_p(k) = -1$ bo'lgani uchun va tekshirishlar $\eta_p(Q) = +1$, $\eta_p(\tau) = -1$ ekanligini tasdiqlagani uchun 1956 yili T. Li va Ch. Yang kuchsiz o'zaro ta'sirlarda juftlik saqlanmasligi to'g'risidagi gipotezani ilgari surishdi. Yuqoridagi misolda K^+ mezon juftlik buzilishi sababli $\pi^+ + \pi^0$ ga, saqlanishi sababli esa $\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ ga parchalanishi sodir bo'ladi. Keyinchalik juftlik saqlanmasligi na faqat K^+ mezonga, balkim barcha kuchsiz o'zaro ta'sirga xos xususiyat ekanligi ayon bo'ldi. Shu sababli, kuchsiz o'zaro ta'sir lagranjiani kuchsiz toklarning ko'paytmasi ko'rinishida ifodalanib, kuchsiz toklarning o'zi esa vektor va aksial — vektor kattaliklarning ayirmasi ko'rinishida ifodalanadi

$$L_W = \frac{G_F}{\sqrt{2}} J_\mu J_\mu^+ = \frac{G_F}{\sqrt{2}} (V - A)_\mu (V - A)_\mu^+.$$

Ikkita V — A tokning ko'paytmasi esa skalyar va psevdoskalyarning yirindisini beradi. Skalyar qo'shiluvchi sababli K^+ - mezon juftlikni saqlagan holda 3 ta pionga, psevdoskalyar qo'shiluvchi hisobidan esa K^+ — mezon juftlikni saqlamagan holda 2 ta pionga parchalanadi. Kuchsiz o'zaro ta'sirda juftlik saqlanmasligi 1957 yili S. Vu tomonidan tajribada tasdiqlandi. Tajribada ^{60}Co yadrolarining β — parchalanishdagi elektronlar burchak taqsimoti o'rganildi. ^{60}Co yadrolari spini $I = 5$ bo'lib tashqi magnit maydoni ta'sirida oson oriyentatsiyasini o'zgartirish mumkin. Shu bilan birga yadrolar issiqlik harakati ta'sirini kamaytirish maqsadida namuna juda past temperaturalargacha sovitildi. R — juftlik buzilishi uchun elektronlar burchak taqsimotida assimetriya kuzatilishi kerak, ya'ni yadrolar spini yo'nalishida va uning qarama — qarshi yo'nalishda chiqqan elektronlar soni bir — biriga mos kelmasligi kerak. Yadro spini aksial—vektor kattalik bo'lgani uchun ko'zgudagi aksida uning

yo'nalishi o'zgarmaydi, elektron impulsi vektor kattalik bo'lgani uchun esa aksida o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Tajriba elektronlarning burchak assimetriyasini tasdiqladi. Yadrolar spini yo'nalishida chiqqan elektronlar soni unga qarama—qarshi yo'nalishdagidan 40 % ga ko'pligi aniqlandi. Vu tajribasi kuchsiz o'zaro ta'sirda juftlik saqlanmasligini isbotladi va 1957 yili T. Li va Ch. Yang Nobel mukofotiga sazovar bo'ldi.

Kombinatsiyalangan juftlik va neytral

K—mezonlar xossalari.

Tabiatda ikki xil almashtirishlar mavjud: uzluksiz va diskret almashtirishlar va shu bilan birga ularga mos simmetriyalar ham. Uzluksiz almashtirishlarga fazo — vaqtdagi siljishlar va sanoq sistemasi burilishlari misol bo'ladi. Uzluksiz almashtirishlarga nisbatan simmetriyalar natijasida energiya, impuls va impuls momenti saqlanish qonunlari yuzaga keladi. Bu simmetriyalar fazo — vaqtning bir jinsligi va izotropikligidan yuzaga keladi. Diskret almashtirishlar shunday almashtirishki, bunda agar almashtirish ketma —ket ikki marta bajarilsa, sistema oldingi xolatiga qaytadi. Diskret almashtirishlarga P —, C— va T— almashtirishlar kiradi. Oldingi paragrafda biz P — almashtirishni ko'rib o'tdik. Agar bu almashtirish operatorini bir marta ko'llasak, jarayonning ko'zgudagi aksini xosil qilamiz. Ikkinchi marta qo'llasak esa dastlabki jarayonga qaytib kelimiz. Demak, diskret almashtirish operatorlari uchun $\hat{P}^2 = \hat{C}^2 = \hat{T}^2 = 1$ deb yozishimiz mumkin. Shu xususiyati bilan diskret almashtirishlar uzluksiz almashtirishlardan farq qiladi. P — almashtirishga nisbatan invariantlik (simmetriya real jarayon va uning ko'zgudagi aksi bir xil ehtimollik bilan yuz berishini bildiradi). Shunga o'xshash T — invariantlik biror jarayon va unga teskari jarayon bir xil ehtimollik bilan, C — invariantlik esa biror jarayon va undagi zarralar antizarralarga aylantirilgandagi jarayon bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Endi oldingi paragrafdagi P — juftlikning buzilishini qarasak, bu hodisa fazoning xossasi bo'lmasdan, balkim zarrachaning xossasidir. Chunki fazo bir jinsli va izotropdir. Bunga misol qilib neytrinoni qarashimiz mumkin.

Ma'lumki, neytrino chap spirallik xususiyatiga ega. Ya'ni, spinning impuls yo'nalishiga proyeksiyasi doimo manfiydir. Shu sababli bu zarrachaning ko'zgudagi aksi (P — almashtirishdan keyin) o'ng spiral neytrinoga o'tadi. Lekin tabiatda bunday neytrino mavjud emas. Shu sababli C — almashtirishni qo'llasak neytrino antineytrinoga o'tadi va u o'ng spirallikka egadir. Va bunday zarracha bizning real dunyomizda mavjuddir. Shunday qilib, fazoning ko'zgu simmetriyasi tiklandi. Bu g'oya 1957 yili L. Landau, A. Salam, T. Li va Ch. Yang tomonidan ilgari surilgan kuchsiz, o'zaro ta'sirda kombinatsiyalangan, ya'ni CP — juftlikning saqlanish qonunini tashkil qiladi. Kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sir $\hat{P}$ va — almashtirishlarga, hamda $\hat{P}\hat{C}$ kombinatsiyalangan $\hat{C}$ almashtirishlarga nisbatan invariantdir. Kuchsiz o'zaro ta'sir $\hat{P}$ — invariant emasligi uchun $\hat{C}$ — almashtirish bu simmetriyani tiklaydi deb qaraldi. Ya'ni CP - juftlik kuchsiz o'zaro ta'sirda saqlanishi kerak. Kombinatsiyalangan juftlik kvant soni - $\eta_{PC} = \eta_P \eta_C$ kabi aniqlanadi. Masalan, $\eta_{PC}(\pi^0) = \eta_P(\pi^0)\eta_C(\pi^0) = (-1) \cdot (+1) = -1$.

Shu kabi elektr jihatdan neytral sistemalar uchun

$$\eta_{PC}(\pi\pi) = +1$$

$$\eta_{PC}(\pi\pi\pi) = \begin{cases} -1 & \text{— juft son} \\ +1 & \text{— toq son} \end{cases}$$

Dastlab kuchsiz ta'sir SR — invariant deb qaraldi. Lekin 1964 yili uzoq yashovchi K mezonning 2 ta pionga parchalanishi kuzatildi.

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

Chunki CP — toq holatdagi K_L^0 mezon asosan $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ga parchalanardi. $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ jarayonda esa $\pi^+ \pi^-$ holat CP — juft holatdir. Shunday qilib, kuchsiz ta'sirda CP — invariantlik ham buzilar ekan. K_L^0 — mezonning $\pi^0 \pi^0, e^+ \nu \pi^{\mp}, \mu^{\pm} \nu \pi^{\mp}$ kanallarga parchalanishi ham CP — invariantlikning (shu bilan birga T — invariantlikning ham) buzilishini tasdiqladi. Lekin CP — invariantlikning buzilishi juda kichik amplitudaning 10^{-3} qismini tashkil qiladi) bo'lib,

faqat K_L^0 — mezon parchalanish kanallarida kuzatilmoqda. CP — invariantlik buzilishning tabiati haligacha noma'lum.

Endi neytral kaonlar xususiyatlariga to'xtalib o'tamiz. K^0 - va $\bar{K}^0$ — mezonlar mos holda $S=+1$ va $S=-1$ qiziq kvant soniga ega. Shu sababli neytral K mezonlar haqiqiy neytral zarra emas va kombinatsiyalangan juftlik ularni bir — biriga aylantiradi.

$$\hat{P}\hat{C}K^0 = \bar{K}^0, \hat{P}\hat{C}\bar{K}^0 = K^0$$

Kuchli o'zaro ta'sirda S — kvant soni saqlanishi sababli K^0 va $\bar{K}^0$ o'zlarini alohida tutishadi. Masalan,

$$\pi^- + P \rightarrow \Lambda^0 + K^0 \quad \text{sodir bo'ladi,}$$

$$\pi^- + P \neq \Lambda^0 + \bar{K}^0 \quad \text{sodir bo'lmaydi.}$$

Kuchsiz o'zaro ta'sirni qarasak, K^0 va $\bar{K}^0$ orasida farq yo'qoladi. Masalan, $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (a) parchalanish sodir bo'ladi. Unga qo'shma jarayon $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (b) ham CP — invariantlik sababli, undan oldingi jarayon bilan bir xil ehtimollikda sodir bo'lishi kerak. Ya'ni K^0 va $\bar{K}^0$ orasidagi farq yo'qoladi. Oxirgi ikki jarayonning o'ng tomoni $\eta_{CP}(\pi\pi) = +1$ kombinatsiyalangan juftlikka ega, chap tomoni esa aniq η_{CP} juftlikka ega emas, chunki K^0 va $\bar{K}^0$ mezonlar haqiqiy neytral zarralar emas. Bu muammoni tushuntirish uchun quyidagi almashtirishlarni bajaramiz.

$$K^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{2} + \frac{K^0 - \bar{K}^0}{2}, \quad \bar{K}^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{2} - \frac{K^0 - \bar{K}^0}{2}$$

Bu yerda $K_1^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$ va $K_2^0 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$ (v) deb belgilash kiritsak, yuqoridagi ifodalar

$$K^0 = \frac{K_1^0 + K_2^0}{\sqrt{2}}, \quad \bar{K}^0 = \frac{K_1^0 - K_2^0}{\sqrt{2}} \quad \text{ko'rinishga keladi.} \quad \text{Endi } K_1^0 \text{ va } K_2^0 \text{ ga } \hat{P}\hat{C} \text{ — operatorini}$$

ta'sir ettirsak,

$$\hat{P}\hat{C}K_{1,2}^0 = \hat{P}\hat{C}\frac{K^0 \pm \bar{K}^0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}(\hat{P}\hat{C}K^0 \pm \hat{P}\hat{C}\bar{K}^0) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{K}^0 \pm K^0) = \pm K_{1,2}^0$$

bo'ladi, ya'ni $\eta_{CP}(K_1^0) = +1$ va $\eta_{CP}(K_2^0) = -1$. Demak, K^0 va $\bar{K}^0$ mezonlar aniq PS — juftlikka ega bo'lmasada, ularning superpozitsiyasi K_1^0 - va K_2^0 - aniq PC — juftlikka ega. Shu sababli, (a) va (b) jarayonlar realdir va bunda PC juft bo'lgan K_1^0 komponenta ishtirok etadi. (v) ifodani P va $\bar{P}$, n va $\bar{n}$ zarralar uchun yozib bo'lmaydi chunki B— va q — zaryadi saqlanish qonunlari bu zarrachalar uchun aniq bajariladi. K^0 va $\bar{K}^0$ — mezonlar faqat S-kvant soni bilan farqlanadilar va o'zaro kuchsiz ta'sirda bu kvant soni saqlanmaydi. Shu ma'noda superpozitsiya D^0 — va $\bar{D}^0$ mezonlar uchun ham o'rinli bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, agar lepton zaryadi saqlanmasa, $\nu_\alpha \leftrightarrow \bar{\nu}_\alpha$ va $\nu_e \leftrightarrow \nu_{\mu,\tau}$ neytrino ossilyatsiyalari ham sodir bo'lishi mumkin. Bu hodisaga alohida to'xtalib o'tamiz. Demak, kuchli o'zaro ta'sirda neytral kaonlar K^0 va $\bar{K}^0$ — ko'rinishida, kuchsiz o'zaro ta'sirda esa K_1^0 va K_2^0 — holatlarda ishtirok etadi va bu ta'sirlarda kombinatsiyalangan jufttshk saqlanadi. $K_1^0 \rightarrow 2\pi(\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-, \pi^+\pi^-\pi^0)$, $K_2^0 \rightarrow 3\pi(\pi^0\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0)$ parchalanishlar sodir bo'ladi. Lekin $K_2^0 \rightarrow 2\pi$ parchalanish umuman sodir bo'lmaydi. Tajribadan 2π va 3π ga parchalanishlarda neytral K — mezonlarning yashash davri mos ravishda $\tau_{2\pi} \approx 0,9 \cdot 10^{-19} s$ va $\tau_{3\pi} \approx 5,2 \cdot 10^{-8} s$ ekanligi aniqlandi. Shu sababli K_1^0 va K_2^0 holatlar mos ravishda qisqa va uzoq yashovchi mezonlar deyiladi. $K_S^0 = K_1^0$, $K_L^0 = K_2^0$. K_1^0 va K_2^0 holatlar mavjudligi 1955 yili M.Gell — Mann va A. Pays tomonidan aytilgan, K_L^0 -holat 1957 yili L. Lederman gruppasi tomonidan topilgan. Demak, K_S^0 va K_L^0 holatlar nuqtai nazaridan kombinatsiyalangan juftlik saqlanadi, ya'ni $K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, $K_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + \pi^0, \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ va $K_L^0 \neq 2\pi$. Lekin 1964 yili $K_L^0 \rightarrow 2\pi$ jarayon J, Kronin, V. Fitch va boshqalar tomonidan tajribada kuzatildi. Bu $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ parchalanish kombinatsiyalangan juftlik saqlanish qonuniga ko'ra ta'qiqlangan edi. Keyinroq esa $K_L^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ parchalanish kuzatildi. Bu kanallar K_L^0 barcha parchalanishlarining mos ravishda 0,22% va 0,09 % tashkil qildi.

Demak, $K_S^0 = K_1^0$ va $K_L^0 = K_2^0$ tengliklar o'rinli emas va $K_S^0 = \frac{K_1^0 + \varepsilon K_2^0}{\sqrt{1 + |\varepsilon|^2}}$, $K_L^0 = \frac{K_2^0 + \varepsilon K_1^0}{\sqrt{1 + |\varepsilon|^2}}$

superpozitsiya o'rinli. Tajribalar $|\varepsilon| \approx 2,3 \cdot 10^{-3}$ ekanligini ko'rsatdi. Shu sababli yuqoridagi superpozitsiyani $K_S^0 = K_1^0 + \varepsilon K_2^0$, $K_L^0 = K_2^0 + \varepsilon K_1^0$ deb yozish mumkin. CP — invariantlik buzilgan $K_L^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$, $K_L^0 \rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu$ parchalanishlar va ularga qo'shma $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$, $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ jarayonlar ham tajribada kuzatildi. Bunda yuqorigi (Ga) va pastki (Gb) parchalanishlar ehtimolliklari bir — biriga teng emasligi kuzatildi.

$\frac{G_a - G_v}{G_a + G_v} = 3.30 \pm 0,12 \cdot 10^{-3}$, ya'ni asimmetriya darajasi ε bilan bir xil tajribada va juda kichik.

Kombinatsiyalangan juftlik boshqa hodisalarda ham kuzatilishi mumkin. Faqat neytral k — mezonlarda bu hodisa yetarli darajada sezilarli. Neytron dipol momenti ($-P_n = e\ell$, $\ell \leq 6,10^{-27}$ m agar mavjud bo'lsa), koinotdagi barion asimmetriya (p va n lar $\bar{P}$ va $\bar{n}$ ga qaraganda ko'p tarqalganligi)si ham CP — noinvariantlik bilan bog'lanmoqda. CP — noinvariantlik mikroduyoda vaqt o'qi mavjudligiga ham ishora qilmoqda. CP — invariantlikning buzilishi kvark modeli doirasida olingan Kabibbo — Kabayashi — Maskva aralashishi matritsasi bilan bog'lashmoqda va uning tabiati haligacha noma'lum.

T-almashtirish va CPT-teorema

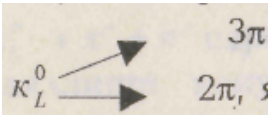
Biz P — va C — almashtirishlarni qarab o'tgandik. P — juftlik buzilishii K^+ — mezonning 2π va 3π larga parchalanishida kuzatilgan edi. P — juftlik biror fizik kattalikning koordinatalar o'qlarini ko'zguga akslantirgandagi o'zgarishini bildiradi $X \rightarrow -X, y \rightarrow -y, Z \rightarrow -Z$.

Agar biror jarayon P — invariantlik desak, shu real jarayon va ko'zgudagi uning aksi bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Lekin ^{60}Co yadrosi β — parchalanish misolida P — invariantlik buzilishini ko'rib chiqdik. C — almashtirish esa zarrachani antizarrachaga **almashtiriladi**. C — invariantlik biror jarayon va undagi barcha zarrachalarni antizarralarga aylantirilgan jarayon bir xil ehtimollik bilan sodir bo'lishini bildiradi. Lekin neytral k — mezonlar misolida kuchsiz o'zaro ta'sirlarda P — va PC — kombinatsiyalangan

invariantlik buzilishini ko'rib chiqdik. Diskret almashtirishlarning yana biri bu T-almashtirishlardir. T — almashtirishda vaqt o'qi $t \rightarrow -t$ ga almashtiriladi.

T — almashtirishga nisbatan invariantlik biror jarayon va unga teskari jarayon ehtimolligi bir — biriga tengligini bildiradi..

O'tgan paragrafda qarab chiqqan $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ jarayon CP — kombinatsiyalangan invarinatlikning buzilishini bildiradi. Shu bilan birga, bu jarayon T — invariantlikning ham buzilishini anglatadi. Chunki K_L^0 asosan 3π holatga parchalanadi va juda oz ehtimollik bilan 2π qolatga parchalanadi. Agar endi teskari jarayonni qarasak, $\pi^0 - \pi^0 - \pi^0$ holat K_L^0 — mezon holatining to'la yashash vaqtini ifodalay olmaydi.



ya'ni T — invariantlik buziladi. $\hat{C}$ va $\hat{P}$ operatorlari ma'lum harakatni ifodalagani kabi, T — operator t — argumentga — t ni mos qo'yadi. Ya'ni sistema boshlang'ich va oxirgi holatlarini o'zaro almashtiradi, zarrachalar impulslari va spin proyeksiyalari ishorasini o'zgartiradi.

→

Kattalik	Operatsiya	
	$\hat{P}$	$\hat{T}$
Koordinatalar	$\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$	$\vec{r} \rightarrow \vec{r}$
Vaqt	$T \rightarrow t$	$t \rightarrow -t$
Massa	$M \rightarrow m$	$m \rightarrow m$

Impuls	$\vec{P} \rightarrow -\vec{P}$	$\vec{P} \rightarrow -\vec{P}$
Impuls momenti	$\vec{L} \rightarrow \vec{L}$	$\vec{L} \rightarrow -\vec{L}$
Kuch	$\vec{F} = -\vec{F}$	$\vec{F} \rightarrow \vec{F}$
Energiya	$E \rightarrow E$	$E \rightarrow E$
Zaryad	$E \rightarrow e$	$e \rightarrow e$
Elektr maydoni	$\vec{\varepsilon} \rightarrow -\vec{\varepsilon}$	$\vec{\varepsilon} \rightarrow \vec{\varepsilon}$
Magnit maydoni	$\vec{\beta} = \vec{\beta}$	$\vec{\beta} \rightarrow -\vec{\beta}$

Bu jadvalni to'ldirishda quyidagi ifodalardan foydalaniladi

$$\vec{P} = m \frac{d\vec{r}}{dt}; \vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]; \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}; E = \frac{m\mathcal{G}^2}{2}; \vec{F}_e = e\vec{\varepsilon} + e[\vec{\mathcal{G}}, \vec{B}]$$

Shredinger tenglamasida t-vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosila qatnashadi va $\hat{T}$ almashtirish uning ishorasini o'zgartiradi. Shu sababli bu tenglamaning kovariantligini saqlash uchun to'lqin funksiyaning vaqt argumenti ishorasini o'zgartirishi bilan birga, to'lqin funksiyaning o'zi ham kompleks qo'shmasiga almashtiriladi $\hat{T}\psi(\vec{r}, t) = \psi^*(\vec{r}, -t)$. Shu sababli $\hat{T}$ — operator ermit operatori emas, ya'ni bu operatorga fizik kattalikni mos qo'yib bo'lmaydi (vaqt juftlik tushunchasi mavjud emas). Shu sababli T invariantlik qandaydir saqlanish qonunlariga olib kelmaydi.

Shunday bo'lsada, to'g'ri va teskari yo'nalishda sodir bo'luvchi jarayonlar ehtimolliklari orasidagi ma'lum munosabatga olib keladi. Mikrodunyodagi barcha jarayonlar (ayrim jarayonlardan tashqari) vaqt bo'yicha qaytariluvchandir. Endi CPT —teoremaga kelsak, uni quyidagicha ta'riflashimiz mumkin: Agar biror jarayonga birdaniga $\hat{C}$ -, $\hat{P}$ va $\hat{T}$ operatorlarni qo'llasak, hosil bolgan jarayon boshlang'ich jarayon bilan bir xil ehtimollikda sodir bo'ladi. Bunda alohida $\hat{C}$ -, $\hat{P}$ va $\hat{T}$ almashtirishlarda invariantlik buzilishi mumkin, lekin bir invariantlikning buzilishi, boshqasining buzilishi hisobidan kompensatsiyalanadi, lekin uchala almashtirishdan keyin simmetriya yana tiklanadi. Haligacha CPT —

invariantlik buzilgan jarayon kuzatilgan emas. Bu tasdiq 1951—55 yillarda G. Lyuders va V. Pauli isbotlagan CPT — teoremaning mazmunidir.

Savollar:

T — almashtirishni tushuntiring.

CPT —teoremasini izohlang.

Elementar zarralarning kvant xarakteri

Atom fizikasi kursidan biz bilamizki, mikrodunyo $r \leq 10^{-8} m$ masofalarda o'zini namoyon qiladi, $10^{-10} < r < 10^{-8} m$ intervalda atom va molekulyar fizika, $\approx 10^{-15} m$ masofa yadro va elementar zarralar fizikasi, $10^{-18} < r < 10^{-15} m$ oraliq esa yuqori energiyalar fizikasi o'rganadigan jarayonlarga xosdir. Shu sababli, elementar zarralar fizikasi jarayonlari yuqori energiyalarda sodir bo'lishini inobatga olib hozirgi zamon elementar zarralar fizikasi o'rganadigan soha $10^{-10} < r < 10^{-8} m$ intervalda yotadi deyishimiz mumkin. Bunday masofalardagi jarayonlar o'zining kvant xarakterini namoyon qiladi. Ya'ni, zarralar o'zining to'lqin xususiyatini namoyon qiladi. Bu o'rindagi mulohazalarni qoldirgan holda («Atom fizikasi» ma'ruza matnida to'la keltirilgan) to'g'ridan — to'g'ri Shredinger tenglamasini mos holda erkin va potensial maydondagi zarra uchun yozamiz.

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E\psi = 0,$$

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E = U)\psi = 0.$$

Eslatib o'tamiz, bu tenglamalar norelyativistik $E = \frac{p^2}{2m}$ (1) tenglamadan keltirib chiqariladi.

Lekin zarrachalar bilan bo'ladigan jarayonlar yuqori tezliklarda bo'lishini inobatga olib bu norelyativistik Shredinger tenglamasini relyativistik ko'rinishda ifodalashimiz kerak, U holda (1) tenglama $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$ kabi ifodalanadi, ya'ni

relyativistik ko'rinishda. Agar (2) dan $E \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$, $\vec{P} = -i\hbar \vec{\nabla}$ kabi klassik kattaliklarni

opertoplar orqali ifodalab
$$\nabla^2 \varphi(\vec{r}, t) - \frac{\partial^2 \varphi(\vec{r}, t)}{\partial t^2} - m^2 \varphi(\vec{r}, t) = 0$$
 yoki

$\xi \varphi(\vec{r}, t) - m^2 \varphi(\vec{r}, t) = (\xi - m^2) \varphi(\vec{r}, t) = 0$ tenglamaga kelamiz. Bu tenglama Shredingerning relyativistik tenglamasi yoki Kleyn —Gordon tenglamasi deyiladi. Bu tenglama 1926 yili V.Fok, O. Kleyn, V. Gordon va E. Shredinger tomonidan topilgan.

Bu yerda ξ — Dalamber operatori bo'lib $\xi = \nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial t^2}$ kabi aniqlanadi. Kleyn —

Gordon tenglamasidan , ya'ni $\xi - m^2 = (ij^n \frac{\partial}{\partial x^n} + m)(ij^n \frac{\partial}{\partial x^n} - m)$ orqali

$(ij^n \frac{\partial}{\partial x^n} + m)\psi(x) = 0$ yoki $(ij^n \frac{\partial}{\partial x^n} - m)\psi(x) = 0$ (3) Dirak tenglamalariga kelamiz. Kleyn

—Gordon tenglamasi har qanday jarayon uchun o'rinli, chunki u energiya saqlanish

qonunini aks ettiradi. Dirak tenglamasi esa γ^n Dirak matritsalarini kiritilishi sababli

spinor maydonlarni — spini $\frac{1}{2}$ bo'lgan zarralarni ifodalaydi. Bu uchala

tenglamaning yechimi zarracha to'lqin funksiyasining topilishiga olib keladi. To'lqin

funksiya esa zarracha to'g'risidagi barcha ma'lumotni o'zida mujassamlashtirgan

bo'ladi. Lekin to'lqin funksiyaning kvadrati fizik ma'noga ega bo'lib, u zarrachani

ma'lum sharoitda topish ehtimolligini beradi. $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^2$ ifoda ikkita

$E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$ yechimga ega bo'ladi va manfiy energiyali holat antizarralar

goyasiga olib kelgan. Bunga binoan, (3) ga ko'ra 1— tenglama

pozitronni bayon qilgan va $-\sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$ — yechimini qanoatlantirgan. Pozitron

shu tariqa birinchi marta 1930 yilda P. Dirak tomonidan nazariy yo'l bilan bashorat

qilingan va 1932 yili K. Anderson tomonidan koinot nurlari tarkibida Vilson kamerasi

yordamida qayd qilingan. Bunda manfiy energiyali elektron musbat zaryadli elektron

holati bilan teng kuchli deb olinib uning magnit maydonidagi elektronga nisbatan

qarama — qarshi tomonga ogishi kuzatilgan. Hozirda boshqa antizarralar ham

tajribada kuzatilgan.

Adronlar strukturasi

Oldingi ma'ruzalardan ma'lumki, biz hozirgacha qarab o'tgan elementar zarralar asosan 3 sinfga bo'linadilar: leptonlar, ular kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydilar; adronlar — o'zaro kuchli ta'syrda ham qatnashadilar; o'zaro ta'sir tashuvchilar — foton, $W^\pm$, Z^0 - bazonlar va G - graviton. Leptonlar — haqiqiy elementar zarralar hisoblanadi. Hozirda $\approx 10^{-18}m$ masofagacha ular o'zlarini nuqtaviy zarracha kabi tutishadi va o'z ichki strukturasi namoyon qilishmadi. Ikkinchidan, ular bor yo'g'i 6 ta - e^- , ν_e , μ^- , ν_μ , τ^- , ν_τ (antizarralari bilan 12 ta) bo'lib, e^- va neytrinolar absalyut stabil zarralar hisoblanadi, μ^- — mezon va τ^- — leptonning yashash vaqti esa yadro vaqtiga ($\approx 10^{-22}s$) nisbatan ancha katta. Endi adronlarga kelsak, birinchidan, ular soni ancha ko'p — bir — necha yuzga teng va asosiy qismini rezonanslar tashkil qiladi. Ikkinchidan, ular elektromagnit strukturaga ega. Masalan, P va neytron magnit momentlariga ega. Shu sababdan adronlarga xos umumiy xossalar izlandi va adronlar boshqa elementar zarralardan tashkil topmaganmikan degan fikr paydo bo'ldi. Bu yo'nalishdagi birinchi model E. Fermi va Ch. Yang tomonidan 1949 yili taklif qilindi. Bu modelga ko'ra o'sha vaqtda ma'lum bo'lgan p, n va ularning antizarralari fundamental zarralar deb e'lon qilindi. Lekin sal vaqt o'tib qiziq zarralar ham tajribada kuzatilishi bilan bu model kengaytirildi. Natijada barcha mavjud adronlar r, p va Λ - qiziq zarra va ular antizarralarining ma'lum kombinatsiyalaridan tuzilgan deb qaraldi. Bu qarash 1956 yili S. Sakata tomonidan ilgari surildi va Sakata modeli deb ataladi. Lekin yangi adronlarning ochilishi va ularning bu model doirasida tushuntirib bo'lmasligi sababli Sakata modeli inqirozga yuz tutdi. Lekin shunday bo'lsada bu model adronlar strukturasi o'rganish yo'lida katta rol o'ynadi.

1964 yili M. Gell —Mann va J. Sveyg kasr zaryadli kvarklar tripletini taklif qilishdi. Hozirda bu kvarklar u — (inglizcha up — baland, chunki $T_3 = +\frac{1}{2}$, d

(down— past, $T_3 = -\frac{1}{2}$ va s(strange —qiziq $S \neq 0$) kvarklar deb ataladi. Ularning to'la xarakteristikallari jadvalda berilgan.

Kvark	J	η_p	B	T	T_3	Y	S	q
U	$\frac{1}{2}$	+1	+1/3	$\frac{1}{2}$	+1/2	+1/3	0	+2/3
D	$\frac{1}{2}$	+1	+1/3	$\frac{1}{2}$	-1/2	+1/3	0	-1/3
S	$\frac{1}{2}$	+1	+1/3	0	0	-2/3	-1	-1/3

Kvarklar uchun ham Gell—Mann —Nishidjima tenglamasi $Q = T_3 + \frac{Y}{2}$, $Y = B + S$ o'rinli. Antikvarklar uchun J va T dan boshqa barcha xarakteristikallari qarama — qarshi ishoraga ega. Kvarklar barcha adronlar tuzilishini tushuntirish va shu bilan birga ularni oddiy, yanada umumiy simmetriyaga asoslangan prinsiplar asosida tushuntirish maqsadida kiritilgan. Bunga ko'ra barcha mezonlar kvark va antikvarklardan, barionlar esa uchta kvarkdan tuzilgan $M = q\bar{q}$, $B = qqq$. Agar mezonlarni kvarklar nuqtai — nazaridan ifodalasak, quyidagi oktetni keltirishimiz mumkin.

$$\pi^- = \bar{u}d, \pi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{u}u - \bar{d}d), \pi^+ = \bar{d}u$$

$$K^0 = \bar{s}d, K^+ = \bar{s}u, \bar{K}^0 = \bar{d}s, K^- = \bar{u}s$$

$$\eta^0 = \frac{1}{\sqrt{6}}(\bar{u}u + \bar{d}d - 2\bar{s}s)$$

Bundan tashqari unitar singlet ham mavjud $\eta' = \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{u}u + \bar{d}d + \bar{s}s)$ uning massasi 958

Mev, $T_3 = Y = 0$. η va η' — mezonlar uchun $S=0$, lekin ular tarkibida s — kvark mavjud. Shu sababli bu zarralar «yashirin qiziqlik» kvant soniga ega deyiladi. Biz qarab chiqqan mezonlar — psevdoskalyar mezonlar deyiladi, chunki ular $J^P = 0$ kvant sonlariga ega. Bu mezonlarni tashkil qilgan kvark va antikvark spinlari antiparallel yo'nalgan bo'ladi (1S_0 — holat). Agar kvark — antikvark juftliklar 3S_1 holatda bo'lsa

(kvark — antikvark spinlari parallel bo'lgan holat) 9 ta vektor mezonlar hosil bo'ladi.

Vektor mezonlar kvant sonlari $J^P = 1$.

$$P^- = \bar{u}d, \quad P^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\bar{u}u - \bar{d}d), \quad P^+ = du$$

$$K^{*0} = \bar{s}d, \quad K^{*+} = \bar{s}u, \quad \bar{K}^{*0} = \bar{d}s, \quad K^{*-} = \bar{u}s$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6}}(\bar{u}u + \bar{d}d - 2\bar{s}s) \text{ va singlet}$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{u}u + \bar{d}d + \bar{s}s) \text{ mezon.}$$

Biz qarab o'tgan psevdoskalyar – 0 - va vektor — 1 - mezonlar orbital momenti $L=0$ ga teng. Bundan tashqari kvark — antikvark juftliklarning uyg'ongan, ya'ni $L=1$ orbital momentga teng holatlari ham mavjud, Bu mezon rezonanslar: skalyar $J^P=0^+$, aksial —vektor va tenzor $J^P=2^+$ — mezonlar deyiladi. Ularning kvark strukturasi yuqorigiday bo'lib, faqat massalari va kvant sonlari bilan farq qiladilar. Bu turdagi mezon rezonanslar elementar zarralar jadvallari (Particle Data Group) da keltirilgan. Aytib o'tganimizday barionlar uchta kvarkdan tuzilgan. Tarkibida 3 ta u, d va s kvarklar bo'lgan barion oktiplet quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$n = udd; p = uud$$

$$\Lambda^0 = uds$$

$$\Sigma^- = dds; \Sigma^0 = uds; \Sigma^+ = uus$$

$$\Xi^- = dss; \Xi^0 = uss$$

Bu holda barionlar spini $J=1/2$ bo'lishi uchun kvarklardan birining spini qolgan ikkitasi spiniga antiparallel yo'nalgan bo'lishi kerak. Agar uchala kvarkning ham spinlari bir tomonga yo'nalgan bo'lsa, $J=3/2$ -spinli barionlar deкупleti hosil bo'ladi.

$$\Delta^- = ddd; \Delta^0 = udd; \Delta^+ = uud; \Delta^{++} = uuu;$$

$$\Sigma^{*-} = dds, \Sigma^{*0} = uds; \Sigma^{*+} = uus;$$

$$\Xi^{*-} = dss; \Xi^{*0} = uss; \Omega^- = sss.$$

Barionlar oktipleti va dekipleti minimal massaga va $L=0$ — orbital momentga ega bo'lib asosiy holat barionlarini hosil qiladi. Mezonlar kabi barionlar ham o'z rezonans holatlariga, ya'ni orbital uyg'ongan $L \neq 0$ holatlariga ega. Bartyun rezonanslari oktiplet va dekipletiga kirgan zarralar J — spini qiymati $9/2$ gacha bo'lgan qiymatlar qabul qiladi (barion rezonanslari Particle Data Group jadvallarida keltirilgan). Shu o'rinda yana bir ichki fazoga tegishli tushuncha bilan tanishib o'tamiz. Agar Λ^0 — va Σ^0 barionlarni qarasak, ular bir xil kvarklardan tuzilgan. Λ^0 — barion izospini $I=0$, Σ^0 barionniki esa $I=1$, ga teng va ular izospinlari hisobiga farqdanadilar, Endi Ω^- — giperonni qarasak, u sss kvarklardan iborat bo'lib ular spinlari bir tomonga qaragan va bu kvarklar bir xil holatlarda joylashgan. Lekin kvarklar $J=1/2$ spinga ega bo'lganligi sababli Fermi — Dirak statistikasiga bo'ysinishi hamda Pauli prinsipi bajarilishi kerak. Bu holda esa Pauli prinsipi buzilib kvarklar Boze — Eynshtey statistikasiga bo'ysinishi kelib chiqadi. Bu qarama — qarshilikni bartaraf qilish uchun kvarklar uchta holatda bo'lishi zarurligi kelib chiqdi. Bu kvant songa «rang» deyilib, u uchta qiymatga ega bo'lishi, ya'ni qizil(red), yashil(green) va ko'k(blue) holatlarda bo'lishi bashorat qilindi. Bu yerda «rang» so'zi va qizil, yashil va ko'k ranglar ko'chma ma'noda ishlatiladi hamda tabiatdagi ranglar bilan aloqasi yo'q. «Rang» va qizil, yashil va ko'k ranglar — kvant sonlari bo'lib, ichki -«rangli» fazoga tegishlidir. Tabiatda bu uch rang qo'shilib oq rang hosil bo'lishi sababli, uchta kvark uch xil rangda yoki kvark — antikvark juftligi rang — anti rang holatda bo'lishi ham rangsiz adronlarni hosil qiladi. «Rang» kvant soni kiritilishi sababli 2 ta qoida yuzaga keldi.

1.Barionlar turli rangdagi uchta kvarkdan tashkil topgan.

2.Mezonlar 3 xil rang teng miqdorda qatnashgan kvark — antikvarklardan iborat.

Shu sababli ham tabiatda «rang»li adronlar kuzatilmaydi.

Kvarklarning uch xil rangda bo'lishi yangi simmetriyaga — rangli simmetriyaga olib keldi. Ya'ni kuchli o'zaro ta'sir ichki rangli fazodagi $SU_c(3)$ - almashtirishlar gruppasiga nisbatan invariantdir. Rangli simmetriya aniq simmetriyadir. Ya'ni turli rangdagi lekin bir turdagi kvark bir xil massaga egadir. $SU_c(3)$ — gruppada C — color-

rang, 3 esa 3 xil rangni bildiradi. Rangli simmetriya nuqtai— nazaridan yuqorida qarab chiqqan ikkita qoidamiz quyidagi yagonaga ko'rinishga keladi: barcha adronlar rangli singletlar ko'rinishida mavjud bo'lishi kerak. Ya'ni rang — kvant soni adronlar darajasida kuzatilmaydi.

Rang tushunchasi kiritilgandan keyin turli turdagi kvarklar aromat— xushbo'ylik belgilari bilan nomlandi. (flavor — aromat, xushbo'ylik). u — kvark $T_3 = +\frac{1}{2}$ kvant soni, d —kvark $T_3 = -\frac{1}{2}$ kvant soni, s —kvark esa $s=-1$ kvant sonlari bilan bogliq. u, d , va s — kvarklar — xushbo'ylik belgilaridir. Bu kvarklar o'z navbatida uch xil rangli holatda mavjud bo'lishadi. Shu o'rinda $SU(n)$ — simmetriya gruppalari to'g'risida ham to'xtalib o'tsak o'rinli bo'ladi. Yuqorida $SU_c(3)$ — simmetriyaga to'xtalib o'tuvdik. Shunga o'xshash $SU(n)$ -xushbo'ylik simmetriya gruppalari ham mavjud. Masalan, $SU(2)$ — simmetriya gruppasi u va d — kvarklardan tuzilgan adronlarni o'zida mujassamlashtiradi. Bu yerda 2 ikkita u — va d — kvarklarni yoki $\frac{1}{2}$ izospini bildiradi. Chunki u va d — kvarklar izospini $\frac{1}{2}$ ga teng. $SU(3)$ — simmetriya esa u , d va s — kvarklarni o'z ichiga olgan adronlarni birlashtiradi. Shunday qilib, Gell—Mann va Sveygning kvark modelida 3 xil rangli 3 ta kvark va ularning antirang va antixushbo'y partnerlari— jami 18 ta fundamental zarracha bo'lib, barcha adronlar shu 18 ta zarrachadan iborat deb qaraldi. Lekin bu u , d va s — kvarklar J/ψ barcha adronlarni tushuntirib berishga yetarli bo'lmadi.

Dastlab 1974 yili - mezon tajribada kuzatildi. Bu mezon massasi proton massasidan deyarli uch marta katta bo'lib, yashash vaqti $\tau \approx 10^{-20} s$ ga teng. J/ψ - mezonning parchalanish kanallari

$$J/\psi \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Adronlar (86\%)} \\ e^+e^- \quad (74\%) \\ \mu^+\mu^- \quad (7\%) \end{array} \right.$$

Tez orada bu mezon to'rtinchi kvark – C – maftunkor kvarkdan tuzilgani aniq bo'ldi. $J/\psi = \bar{c}c$, ya'ni yashirin maftunkorlik kvant soniga ega. Shundan keyin boshqa maftunkor kvant soniga ega adronlar ham kuzatildi. J/ψ mezon — charmoniy deb ataladi. 1979 yili esa u(ipsilon) — mezon tajribada kuzatildi. Bu mezonni $\bar{b}b$ – kvarklardan tuzilgan sistema deb qaraldi. B— beauty—chiroyli kvark — beshinchi kvark bo'lib, ko'pincha «bottom» — tub kvark ham deyiladi. γ — mezon — bottomiy deb ham ataladi.

1975 yili τ — lepton va unga mos ν_τ — neytrino tajribada topilgandan keyin, 6 ta leptonga mos 6 ta kvark mavjud bo'lishi va shu yo'l bilan lepton —kvark simmetriya mavjudligi bashorat qilindi. Shu yo'l bilan J/ψ va γ —mezonlarga uxshash - $\bar{t}t$ tajribada izlandi. Hozirda esa 6 — kvark – t – truth — haqiqiy (yoki top—cho'qqi) dan tuzilgan zarrachalar ham topildi.

Quyidagi jadvalda og'ir kvarklarning xarakteristikalarini keltiramiz.

Kvark	J	η_p	B	T	T_3	Y	S	C	b	t	q
C	$\frac{1}{2}$	+1	+1/3	0	0	+4/3	0	+1	0	0	2/3
b	$\frac{1}{2}$	+1	+1/3	0	0	-2/3	0	0	+1	0	-1/3
T	$\frac{1}{2}$	+1	+1/3	0	0	+4/3	0	0	0	0	2/3

Barcha kvarklar massalari Particle Data Group jadvallarida keltirilgan:

$$m_u = 1,5 - 5\text{Mev}, \quad m_C = 1,1 - 1,4\text{Gev}$$

$$m_d = 3 - 9\text{Mev}, \quad m_{b_j} = 4,1 - 4,4\text{Gev}$$

$$m_s = 60 - 170\text{Mev}, \quad m_t = 173,8 \pm 5,2\text{Gev}$$

Shunday qilib, hozirda oltita kvark va ular antikvarklari orqali barcha adronlar tuzilishi tushuntiriladi, Shu sababli SU(4) —, SU(5) — va SU(6)— simmetriya gruppallari mavjud. ya'ni 6 kvarklar soni yoki T_3 , s, c, b, t, —aromat (xushbo'ylik)

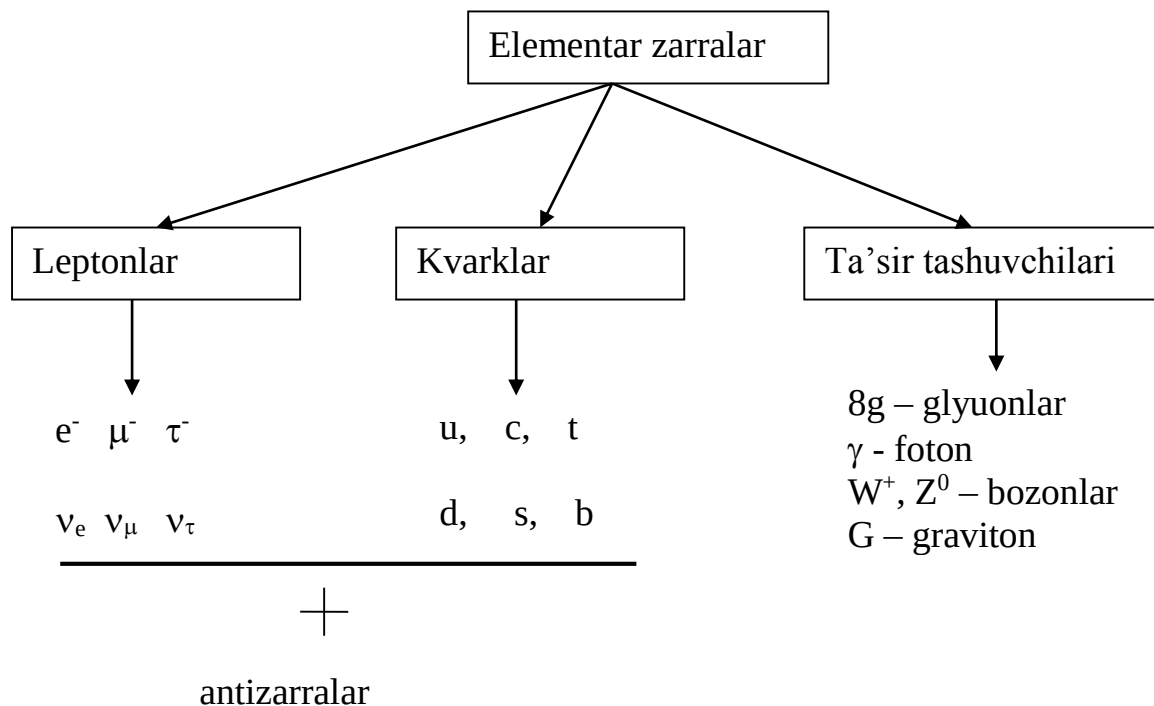
kvant sonlari bo'lib T_3 u — va d — kvarklar uchun mos holda $+1/2$ va $-1/2$ qiymatlar qabul qiladi. Endi kvarklarning bir —biri bilan o'zaro ta'sirini qaraymiz. Ular o'zaro glyuonlar bilan bog'langan bo'lib, kvarklar esa uch xil rangli holatda bo'lishadi. Shu sababli glyuonlar KXD, -ya'ni o'zaro kuchli ta'sir tashuvchilari hisoblanib, ular 8 xil rangli kombinatsiyada mavjud bo'lishadi.

$$R\bar{G}, G\bar{R}, R\bar{B}, B\bar{R}, G\bar{B}, B\bar{G}, \sqrt{\frac{1}{2}}(R\bar{R} - G\bar{G}), \sqrt{\frac{1}{6}}(R\bar{R} + G\bar{G} - 2B\bar{B})$$

Ya'ni, glyuonlar $SU_c(3)$ - simmetriya gruppasining rangli oktetini tashkil qiladi.

Lekin $\sqrt{\frac{1}{3}}(R\bar{R} + B\bar{B} + G\bar{G})$

kombinatsiya $SU_c(3)$ — singlet bo'lib, rangli kvarklar orasidagi ta'sir tashuvchi vazifasini o'tamaydi. Shunday qilib, kuchli o'zaro ta'sirning ta'sir tashuvchilari soni 8 ta glyuondan iborat ekan. Shu o'rinda eslatib o'tamiz. Haqiqiy o'zaro kuchli ta'sir kvarklar orasida sodir bo'ladi. Nuklonlarni yadroda ushlab turuvchi pion kuchlari esa glyuon kuchlarining yadro masshtabidagi «Qoldig'i» hisoblanadi. Shu sababli ham o'zaro kuchli ta'sir intensivligi $-\alpha_s = 0,1 \div 10$ gacha o'zgaradi. Endi kvarklar nuqtai—nazaridan qaraganda hozirgi zamon elementar zarralar klassifikatsiyasi juda oddiy ko'rinishga kelishini ko'ramiz.



Bu jadvalga ko'ra, elementar zarralar asosan ikkiga, leptonlar va kvarklarga bo'linadilar. Leptonlar va kvarklar oltita xushbo'ylikka ega va ular uch juftlikka bo'linadilar. Bu juftliklarga avlodlar deyiladi. Hozirgi paytda bu jadval elementar zarralar olamidagi barcha xilma — xillikni to'liq tushuntirib bermoqda.

Materiya tuzilishi to'grisidagi zamonaviy qarashlar

Bu paragrafda biz qarab chiqqan elementar zarralar to'g'risidagi barcha ma'lumotlarni qisqacha ko'rinishda izohlab o'tamiz.

1. Barcha moddalar yadro va uning atrofini o'rovchi elektron qobig'idan iborat atomlardan tuzilgan. Ular o'lchami $\approx 10^{-10} m$.

a) Elektron qobiq moddaing barcha ximik va fizik xususiyatlarini belgilaydi.

b) Atom yadrosi har bir ximiyaviy element individualligini belgilovchi mustahkam birikma. U proton va neytronlardan tuzilgan bo'lib, uch xil yadroviy jarayonlarda va ko'plab yadro reaksiyalarida qatnashadi.

2. Protonlar, neytronlar va elektronlar barcha moddalar hosil bo'lgan asosiy «g'ishtlar» hisoblanadi. Bu uchala zarra foton, neytrinolar va antineytrinolar bilan qo'shilib asosiy elementar zarralarni tashkil qiladi. Qolgan barcha elementar zarralar nostabil xisoblanib, laboratoriyalarda yoki koinot nurlanishlarida xosil bo'ladi. Ular soni 400 dan ortiq.

3. Elementar zarralarning asosiy xususiyati ularning o'zaro bir —biriga aylanishidir. Bu o'zaro almashishlar asosan uch xil o'zaro ta'sir orqali sodir bo'ladi: kuchli, elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlar. To'rtinchi o'zaro ta'sir — gravitatsion ta'sir esa elementar zarralar dunyosida juda kuchsiz namoyon bo'ladi.

4. Barcha elementar zarralar o'zaro kuchli ta'sirda qatnashuvchilarga — adronlarga va bu ta'sirda qatnashmaydigan — foton, oraliq bozonlar va leptonlarga ajraladilar.

5. Foton va leptonlar $\approx 10^{-18}m$ masofagacha o'z ichki strukturasi ega emas. Adronlar esa strukturaga ega.

6. O'zaro ta'sir tashuvchilar— $\gamma, W^{\pm}, Z^0, g$ va G graviton bo'lib, ular haqiqiy elementar zarralar hisoblanadi. Ular birlik spinga va manfiy juftlikka ega: $J^{\eta} = 1^{-}$, faqat graviton uchun $J^{\eta} = 2^{+}$.

7. Elektromagnit o'zaro ta'sir tashuvchilari - γ - foton bo'lib, uning nazariyasi kvant elektrodinamikasi hisoblanadi. Zaryadlangan yoki alohida ichki strukturaga ega bo'lgan neytral zarralar fotonlar chiqarib, yutib yoki foton almashib bu o'zaro ta'sirda qatnashadi. Foton massasi nolga tengligi sababli bu ta'sir masofasi $r = \infty$ va intensivligi $\alpha \approx 1/137$ katta bo'lganligi sababli megadunyo, makrodunyo va mikrodunyo o'lchamlarida ham bu elektromagnit ta'sir kuchli namoyon bo'ladi. Atom va molekulalar shu o'zaro ta'sir hisobidan mavjud, ya'ni yadro va elektronlar orasidagi ta'sir elektromagnit ta'sirdir. Elastiklik, ishqalanish, sirt taranglik kabi kuchlar ham

elektromagnit ta'sirning ko'rinishlaridir. Moddalarning agregat holatlari, ximiyaviy o'zgarishlar, elektr, magnit va optik hodisalar ham elektromagnit ta'sir sabablidir. Endi aytib o'tganimizday, elementar zarralar bilan bo'ladigan elektromagnit ta'sir mexanizmini qaraymiz. Oddiy elektromagnit ta'sirni qarasak, bu zaryadlangan zarracha tomonidan fotonning yutilishi yoki chiqarilishidir. Bir elektron tomonidan chiqarilgan foton boshqasi tomonidan yutilishi mumkin. Bunday jarayon virtual jarayon deyiladi. Ya'ni real zarra hosil bo'lmaydi. Oraliq zarrachaga esa virtual zarracha deyiladi. Zaryadlangan zarra(elektron)ning foton bilan o'zaro ta'siri $H_{y.m.} = j_{\mu} \cdot A^{\mu}$ kabi ifodalanadi. Bu yerda $j_{\mu}(p, \vec{j})$ elektron toki, A^{μ} — elektromagnit maydon 4 — potentsiali. Jarayenning grafik ko'rinishda ifodalanishiga Feynman diagrammasi deyiladi. Bu usul 1949 yili amerikalik fizik R.Feynman tomonidan ishlab chiqilgan.

8. Kuchsiz o'zaro ta'sir tashuvchilari - $W^{\pm}$ - va Z^0 oraliq bozonlardir. Bu oraliq bozonlar bilan almashinishganda zarralar o'z xushbo'yligini o'zgartiradi. Bu oraliq bozonlar faqat kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarda qatnashadi. Bu o'zaro ta'sir juda kichik $\approx 10^{-12}m$ ta'sir radiusiga ega. Shu sababli bu ta'sir faqat elementar

zarralar olamida sodir bo'ladi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning gamiltoniani $H_{\pi} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} j^+ j$ ko'rinishida ifodalanadi. Bu yerda j - tok lepton va adron toklari yig'indisidan iborat.

$j = j_{lep} + j_{adr}$, $G_F = 10^{-5} / m_p^2$ — Fermi doimiysi. G_F — universaldir, ya'ni leptonlar va adronlar uchun bir xil konstanta o'rinli. Shu sababli ham o'zaro kuchsiz ta'sir universaldir. Kuchsiz tok ($V - A$) — strukturaga ega. Shunda ikki tok ko'paytmasi skalyar va psevdoskalyarni beradi. Shu sababli ham o'zaro kuchsiz ta'sirda gamiltonianning skalyar qismi hisobidan juftlik saqlanadi, psevdoskalyar qismi hisobidan esa juftlik buziladi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning kichik masofada sodir bo'lishi bu ta'sir tashuvchilari — $W^{\pm}$ va Z^0 oraliq bozonlar massasining kattaligidan dalolat beradi $m_W \approx 80Gev$, $m_Z \approx 90Gev$

9. Kuchli o'zaro ta'sirda bevosita faqat kvarklar qatnashadi. Ta'sir tashuvchilari sifatida 8 ta massasi va elektr zaryadi nolga teng, rang va antirang tashuvchi glyuonlar

ishtirok etishadi. Kvarklar o'zaro glyuon almashib, o'z rangini o'zgartiradi, lekin xushbo'yligini o'zgartirmaydi. Glyuonlarning o'zi faqat kuchli o'zaro ta'sirda qatnashadi. Bu o'zaro ta'sirning ta'sir masofasi $\approx 10^{-15}m$, ta'sir vaqti $\approx 10^{-24} - 10^{-23}s$. Yadro kuchlari kuchli o'zaro ta'sirning bir namoyon bo'lishlaridan biridir. O'zaro kuchli ta'sir nazariyasi kvant xromodinamikasidir. Bu nazariyaning asoslari qurilgan, lekin haligacha tugallangan nazariya ko'rinishida shakllanmagan. Kvarklar kichik masofalarda kuchsiz ta'sirlashadilar yoki deyarli ta'sirlashmaydilar. Ularning bu xususiyatiga assimptotik erkinlik deyiladi. Katta masofalarda esa ularning bir — biriga tortilishi oshib boradi. Bu xususiyatga — konfaynment, ya'ni kvarklar va glyuonlarni adronlar doirasida ushlab turish, ularning erkin holatda kuzatib bo'lmaslik xossasi deyiladi. Ularning mavjudligini faqat bilvosita isbotlash mumkin.

Modda va maydon. Moddaning atom - molekulyar tuzilishi, atom yadrosi, kvarklar.

Oliy texnika o'quv yurtlarida "Fizika kursi"ni o'qitishning eng muhim vazifalaridan biri bo'lg'usi injener, mexanik va boshqa ixtisos bakalavrlarida olamning hozirgi zamon fizik manzarasini shakllantirishdir.

Bizni o'rab olgan moddiy olam - tabiat bizning ongimizga bog'liq bo'lmagan ob'yektiv borliq, real mavjudot - materiyadan tashkil topgan. Materiya ikki turda - modda va maydon ko'rinishlarida yashaydi. Modda tinchlikdagi massaga ega bo'lgan materiya turi bo'lib, oxir-oqibatda tinchlikdagi massasi nolga teng bo'lmagan elementar zarralar (elektron, proton va neytronlar) yig'indisiga keltiriladi. Fizik maydonlar materiyaning maxsus shakli bo'lib, erkinlik daraja soni cheksiz fizik sistemadir. Tabiatda to'rt xil fizik maydon mavjud: gravitatsion, elektromagnit, yadroviy va kuchsiz o'zaro ta'sir maydonlari. Maydonlar zarralar o'zaro ta'sirini uzatuvchi fazoning maxsus uyg'ongan holatigina bo'lib qolmasdan, ularni vujudga keltirgan zarralardan mustaqil holda ham mavjud bo'la oladi (masalan, elektromagnit to'lqinlar). Tajribalar ko'rsatadiki, maydon energiyasi va impulsi diskret o'zgaradi, ya'ni har bir fizik maydonga ma'lum elementar zarralar - maydon kvantlari mos keladi (masalan, elektromagnit maydonga - fotonlar, yadroviy maydonga - π , K- mezonlar va glyuonlar, gravitatsion maydonga - gravitonlar, kuchsiz o'zaro ta'sir maydoniga - $W^{\pm}$ va Z^0 oraliq bozonlar).

Modda atom va molekulalardan tashkil topgan. Ular mikrodunyoning (xarakterli chegarasi $10^{-18} \text{ m} < R < 10^{-10} \text{ m}$) eng yirik vakillaridir. Atomlar yanada maydaroq ob'ektlar-elektronlar ($R_e \sim 10^{-18} \text{ m}$) va atom yadrolari ($R_{ya} \sim 10^{-14} \text{ m}$) dan tashkil topgan. Atom yadrolari o'z navbatida protonlar va neytronlar (nuklonlar) dan tuzilgan. Nuklonlar qam tarkibiy qismi murakkab bo'lgan elementar zarralar bo'lib, kvarklar deb ataluvchi "haqiqiy elementar" zarralardan qurilgan. Elektronlar va kvarklar boshqa yanada maydaroq va elementarroq ob'yektga keltirilmaydigan "fundamental zarralar" dir (19.1-Jadval).

Kvarklar "xushbo'ylik" kvant soni bo'yicha farqlanuvchi 6 turga bo'linadi va ular 3 ta dubletni tashkil etadi: (u, d), (c, s), (t, b). har bir turdagi kvarklar "rang" kvant soniga ko'ra yana 3 xil navga bo'linadi. Shunday qilib, kvarklarning umumiy soni 18 ga etadi. Bundan tashqari 18 ta "antikvarklar" qam mavjud - jami bunday zarralar soni 36 ta. Barcha adronlar (mezonlar va barionlar) kvarklardan qurilgan. har bir M mezon bitta kvark q va bitta antikvark $\bar{q}$, har bir barion B esa 3 ta kvark q dan tashkil topgan:

$$M = q\bar{q}, \quad V = qqq.$$

Kvarklar "kvant bo'yalgan" ("qizil", "yashil", "havo rang") mikroobyektlar, ularning elektr zaryadi $\pm\frac{1}{3}e, \pm\frac{2}{3}e$ (e-elektron zaryadi), spini esa $\frac{\hbar}{2}$ (ya'ni fermion) bo'lib, erkin holatda mavjud emas, balki "kvantoviy rangsiz" zarralar - adronlar tarkibiga kiradi. Yuqori energiyali elektronlar bilan proton va neytronlarni bombardimon qilish ("partonlar"-kvarklar aniqlandi) hamda elektronlar va pozitronlar dastalarining ro'paradan to'qnashish tajribalari "kvarklar modeli" ni bevosita tasdiqladi.

Hozirgi kunda fiziklarga 400 ga yaqin asosan turqun bo'lmagan elementar zarralar ma'lum. Ular qatnashadigan barcha jarayonlarda asosan uch turdagi fundamental o'zaro ta'sir (va demak ularga mos maydonlar) namoyon bo'ladi. Kuchli o'zaro ta'sir kvarklardan tashkil topgan murakkab elementar zarralar - adronlar (mezonlar, barionlar, giperonlar) o'rtasida amalga oshadi. Uni ko'pincha yadroviy o'zaro ta'sir deb ham yuritiladi. Yadroviy kuchlar atom yadrolarining mustahkam turqunligini ta'minlaydi. Elektromagnit o'zaro ta'sir barcha elektr jiqatdan zaryadlangan zarralarga (elektron, proton, pionlar va boshqalar) xarakterli bo'lib, xususan, atom va molekulalarni shakllanishiga olib keladi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir barcha elementar zarralarga xos va, masalan, ularning ko'pchiligini parchalanishiga – turg'unsizligiga sabab bo'ladi. To'rtinchi tur fundamental o'zaro ta'sir - gravitatsion o'zaro ta'sir har qanday zarralar va jismlar o'rtasida mavjud bo'lsada, biroq elementar zarralar uchun gravitatsion kuchlar shu darajada kichikki, ularni odatda hisobga olmaydilar.

Fundamental o'zaro ta'sirlarning hammasi almashinuv xarakteriga ega. Buning ma'nosi shuki, har qanday ixtiyoriy ikki zarraning o'zaro ta'sirlashuv elementar akti

ular o'rtasida o'zaro ta'sir tashuvchisi (maydon kvanti) bo'lgan uchinchi bir zarrani almashinish tufayli yuzaga chiqadi. O'zaro ta'sir maydonlarining kvantlari "haqiqiy elementar" - fundamental zarralardir (glyuonlar, foton, oraliq bozonlar va graviton).

Shunday qilib, materiyaning har ikki ko'rinishi ham - modda va maydon diskret (kvantlashgan) strukturaga egadir.

Elementar zarralar (maydon kvantlari, leptonlar, adronlar) va ularning bir-biriga aylanishi.

Zamonaviy tezlatkichlarda zarralarni yuqori energiyalargacha tezlatish imkoniyati elementar zarralarni o'rganishga keng sharoitlar yaratib berdi. Xususan, antiproton va antineytronlarni kashf etilishi sinxrofazotonda yuqori energiyali protonlar oqimini hosil qilish bilan bog'liq. Umuman, 1932 yilda elektronning antizarrasi pozitron kuzatilgandan so'ng, barcha elementar zarralarning antizarralari ham bo'lishi lozim, degan fikr fizikada mustahkam o'rin oldi. Lekin antiproton 23 yildan so'ng, ya'ni 1955 yilda Chamberlen, Segre, Vigand va Ipsilantis amalga oshirgan tajribada qayd qilindi. Ular 6,3 GeV gacha tezlatilgan protonlar bilan mis nishonni nurlatdilar. Bunda yuqori energiyali proton mis yadrosining tarkibidagi biror nuklon bilan ta'sirlashadi va quyidagi reaksiyalardan biri amalga oshadi:

$$p + p \rightarrow p + p + p + \tilde{p}$$

$$\text{yoki } p + n \rightarrow p + n + p + \tilde{p}^-.$$

Antiprotonning elektr zaryadi manfiy, xususiy magnit momenti mexanik momentga teskari yo'nalgan. Xuddi elektron va pozitron kabi proton va antiproton o'zaro annigilyatsiyalanadi. Antiproton neytron bilan to'qnashganda ham annigilyatsiyalanishi mumkin.

Bir yildan so'ng, ya'ni 1956 yilda (Kork va Lambertson) antineytron kashf qilindi. Antineytronning xususiy magnit momentining yo'nalishi mexanik momentning yo'nalishi bilan bir xil. U proton yoki neytron bilan to'qnashganda annigilyatsiyalanishi mumkin.

Keyinchalik (1965-1966 y.) eng oddiy yadrolar deuteriy va tritiylarning antiyadrolari antideuteriy va antitritiylar kuzatildi.

Hozirgi vaqtda deyarli barcha zarralarning (foton, π^0 , η - mezonlar, I/Ψ - va T-zarralardan tashqari) antizarralari mavjudligi aniqlangan. Antizarrani belgilash uchun zarraning belgisidan foydalaniladi, faqat belgi tepasiga to'lqinli chiziqcha qo'yiladi. 4.1-jadvalda elementar zarralar va ularning antizarralari keltirilgan.

Jadvaldan ko'rinishicha, barcha zarralar to'rt grupp shaklida joylashtirilgan. Birinchi gruppaga o'zining xususiyatlari bilan boshqa zarralardan ajralib turadigan maydon kvantlari - glyuonlar, foton, oraliq bazonlar va gravitonlar kiradi. Leptonlar gruppasi massalari 207 elektron massasidan kichik bo'lgan yengil zarralardan tashkil topgan. Mezonlar gruppasiga kirgan zarralarning massalari esa leptonlardan og'irroq, lekin barionlar gruppasidagi zarralardan yengilroq. Shuning uchun ularni o'rta massali zarralar gruppasi desa ham bo'ladi. Mezonlar va barionlar birgalikda umumiy nom bilan adronlar (kuchli ta'sirlashuvchi zarralar) deb nomlanadi.

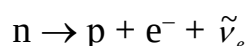
Zarralarni gruppalariga ajratishda ularning faqat massalari emas, balki boshqa xususiyatlari ham e'tiborga olingan. Masalan, leptonlar va barionlarning spinlari $1/2$ ga (omega - giperonning spini $3/2$ ga teng), mezonlarniki 0 ga, fotonniki esa 1 ga teng. Zarralar yana bir xususiyati bilan bir-biridan farqlanadi. Bu xususiyat - zarralar orasidagi ta'sir xarakteridir. O'zaro ta'sirning to'rt turi mavjudligini yuqorida ko'rsatib o'tdik.

Barionlar va mezonlar gruppalariga oid zarralarda kuchli o'zaro ta'sir namoyon bo'ladi. Ba'zi zarralar bir vaqtning o'zida bir necha o'zaro ta'sirda qatnashish qobiliyatiga ega. Masalan, proton boshqa zarralar bilan kuchli, elektromagnit, kuchsiz o'zaro ta'sirlarda bo'la oladi.

Keyingi yillarda kuchli o'zaro ta'sirda qatnashadigan zarralar oilasi rezonanslar deb ataladigan zarralarning katta gruppasi bilan to'ldi. Rezonanslarning yashash davomiyligi ($10^{22} \div 10^{23}$) s chamasida. Birinchi marta rezonanslarni 1952 yilda E. Fermi pi-mezonlarning protonlarda sochilishini tekshirish jarayonida kuzatgan. Mazkur tajribada π - mezonlarning sochilish ehtimolligini ularning energiyasiga bog'liqligini ifodalovchi grafikda keskin maksimum kuzatildi. Bu maksimum xuddi mayatnikning

majburiy tebranishida yuz beradigan rezonans hodisasidagi maksimumga o'xshaydi. Kashf etilgan zarrani rezonans deb atalishi ana shundan kelib chiqqan. Umuman, rezonansni zarra yoki pi - mezonning nuklonga "yopishgan" holati deb talqin qilish hozircha hal qilinmagan. Balki, nihoyat qisqa vaqtlar davomiyligida (rezonans uchun $\tau \approx 10^{22} \div 10^{23} \text{s}$) zarra va pi- mezonning nuklonga "yopishgan" holati tushunchalarining farqi yo'qdir.

Biroq kashf qilingan rezonanslar soni anchagina bo'lib qoldi va ularni qo'shib hisoblaganda elementar zarralar soni uch yuz ellikdan ortib ketdi. Hozirgi zamon tasavvurlariga asosan, ma'lum bo'lgan boshqa zarralardan tashkil topmagan zarrani elementar deb atash mumkin, xolos. Masalan, vodorod atomi proton va elektrondan iborat. Shuning uchun uni elementar zarra deb bo'lmaydi. Balki vodorod atomi elementar zarralardan tashkil topgan sistemadir. Neytron-chi? Neytron



sxema bo'yicha yemiriladi, lekin u proton, elektron va antineytrinodan iborat sistema emas, bu zarralar neytron yemirilayotgan lahzada vujudga keladi (xuddi yadroning uyg'ongan holatidan asosiy holatga o'tishida foton hosil bo'lganidek). Shuning uchun hozirgi tasavvurlarga asosan neytron elementar zarradir. Biroq shunga qaramay, olimlar ma'um elementar zarralardan ham elementarroq zarralar mavjud emasmikan? degan savolga javob qidirmoqdalar. Ba'zi nazariyotchi fiziklarning fikricha, tabiatda hali kashf qilinmagan zarralar mavjudki, bu zarralardan hozircha elementar deb atalayotgan zarralar tashkil topgandir.

Har bir elementar zarra uning o'ziga xos o'zaro ta'sirlardan tashqari bir qator fizik xarakteristikalariga ega bo'lib, ularga mos fizik kattaliklarning qiymatlari diskret-kvantlashgandir (saqlanish qonunlari mavjud):

a) umumiy xarakteristikalar: massa m , yashash vaqti τ , spin S_z , elektr zaryad q ;

b) "ichki kvant sonlar": lepton zaryad L , barion zaryad B , "g'alatilik" S , "maftunkorlik" C , "go'zallik" b , izotopik spin I , ichki juftlik P .

Elementar zarralarning eng muhim xususiyatlaridan biri shuki, ular tug'ilishi va yo'qolishi hamda bir-birlariga aylanishlari mumkin. Shuni alohida ta'kidlash joizki,

yangi hosil bo'ladigan zarrachalar dastlabki zarrachalar tarkibida mavjud bo'lmasdan, balki ularning bevosita to'qnashish (sochilish) yoki yemirilish jarayonlarida tug'iladi. Masalan,

"annigilyatsiya" - $e^- + e^+ \rightarrow 2 \gamma$,

"qayta zaryadlanish" - $\tilde{p} + p \rightarrow \tilde{n} + n$,

"yemirilish" -

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu, \quad \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu (\tau \sim 10^{-6} \text{ s}),$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu (\tau \sim 10^{-8} \text{ s})$$

Elementar zarralarning aynan bir-birlariga aylanish jarayonlarida ilgari ma'lum bo'lmagan zarrachalarning ochilish ehtimolligi eng yuqoridir. Buning uchun oldindan ma'lum turqun zarralarni mumkin qadar yuqori energiyada bir-birlari bilan to'qnashtiradilar. So'ngra bunda kechadigan reaksiya maqsulotlari va hosil bo'lgan yangi zarrachalarni yemirilish fragmentlari tadqiq etiladi. Masalan,

$$\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-,$$

$$\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-,$$

reaksiyalarda "g'alati" zarralar: K^+ - mezon, Σ^- va Λ^0 - giperonlar kashf qilingan.

Materiyaning yagona nazariyasi.

Barcha fundamental o'zaro ta'sirlar mexanizmlarining (almashinuv xarakteri) umumiyligi materiya tuzilishining yagona nazariyasini qurishga intilishlarni keltirib chiqardi. Bunday harakatga mashhur A.Eynshteyn o'zining oxirgi sal kam 50 yillik umrini, V.Geyzenberg esa oxirgi 20 yil faoliyatini bag'ishladi.

Hozirgi zamon fizikasining rivojlanishi shuni ko'rsatadiki, fundamental o'zaro ta'sir doimiylari α_i qat'iy aniq qiymatga ega bo'lmasdan, balki o'zaro ta'sirlashuvchi zarrachalar orasidagi masofaga (r) yoki, baribir, ularning energiyasiga (E) hamda

almashinuv zarralarining massa (energiya)siga bog'liqdir. Elementar zarralar orasidagi masofa kamayib (yoki ularning energiyalari) ortib borishi bilan ketma-ket (bosqichma-bosqich) ravishda to'rtala fundamental o'zaro ta'sirlar o'rtasidagi farq yo'qola boradi va shu yo'l bilan yuqorida ko'rib chiqilgan 4 ta fundamental o'zaro ta'sirni yagona o'zaro ta'sirga birlashtirish masalasi tug'iladi.

S.Vaynberg, Sh.Gleshou va A.Salam (1979)larning nazariy ravishda ko'rsatishicha, leptonlar va kvarklar $\lambda_w \sim \frac{\hbar}{m_w c} \sim 10^{-18}$ m masofagacha yaqinlashganda ular energiyasi $E_w \sim m_w c^2 \sim 10^{11}$ eV bo'lgan oraliq bozonlar almashinib ta'sirlasha boshlaydi. $E \gg E_w$ energiyalarda ($\lambda \ll \lambda_w$) oraliq bozonlarning tinchlikdagi massasini hisobga olmasa ham bo'ladi va bu holda ularning fotonlardan farqi qolmaydi, ya'ni elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlar o'rtasidagi farq yo'qoladi. Shunday qilib, 1-bosqich birlashuv sodir bo'ladi: elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sir kuchlari elektrokuchsiz o'zaro ta'sir kuchining xususiy ko'rinishlari bo'lib qoladi. Vaynberg, Gleshou va Salamlarning elektrokuchsiz o'zaro ta'sir nazariyasida bashorat qilingan $W^\pm$, Z^0 oraliq bozonlar 1984 yili K.Rubbia va S.Van der Meyerlar tomonidan eksperimental kashf etildi.

Hozirgi kunlarda fiziklar lokal kalibrli invariantlik va simmetriyaning spontan buzilishi nazariyalari asosida elementar zarralarning yanada umumiyroq nazariyasini ishlab chiqishga kirishganlar: kuchsiz, elektromagnit va kuchli o'zaro ta'sirlarning yagona nazariyasi qurilgan. Unga ko'ra bu uchchala o'zaro ta'sir elektroyadroviy o'zaro ta'sir ("Buyuk birlashuv kuchi")ning xususiy hollari deb qaraladi. $R \sim 10^{-32}$ m masofalarda ($\sim 10^{15}$ GeV energiyalarda) bozonlar va glyuonlar o'rtasida farq yo'qoladi (2-bosqich birlashuv). "Buyuk birlashuv" nazariyasiga muvofiq juda yuqori energiyalarda leptonlar va kvarklar $m_x c^2 \sim 10^{15}$ GeV energiyali kvantlar almashinib, birbirlariga aylana oladilar. Boshqacha aytganda elektroyadroviy o'zaro ta'sirga nisbatan barion zaryad B va lepton zaryad L larning saqlanish qonunlari buziladi. Bu nazariyaga muvofiq protonning o'rtacha yashash davri $\tau_p^{\text{had}} \approx 10^{30 \pm 3}$ yil bo'lib,

$$p \rightarrow \pi^0 + e^+$$

sxema bo'yicha parchalanishi mumkin. Biroq bunday jarayon haligacha kuzatilgan emas. 10^{15} GeV energiyali zarralar hatto kosmik nurlar tarkibida ham topilmagan. Shunga qaramasdan gravitatsion o'zaro ta'sirni ham xususiy hol sifatida hisobga olib, barcha 4 ta turdagi o'zaro ta'sirlarning (materiyaning) yagona nazariyasini qurish ustida qizg'in nazariy ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Maydon kvantining energiyasi "Plank massasi" deb ataluvchi $m_P c^2 \sim 10^{19}$ GeV qiymatga etganda gravitatsion o'zaro ta'sirni ham kvant nazariyasi bilan ifodalash zarurati tug'iladi. Bunday sharoitda foton, oraliq bozonlar, glyuonlar va graviton o'rtasida farq yo'qoladi va to'rtala o'zaro ta'sir "kengaytirilgan supergravitatsiya" deb ataluvchi yagona o'zaro ta'sirga birlashadi (3-bosqich birlashuv). "Buyuk birlashuv" va "kengaytirilgan supergravitatsion" o'zaro ta'sirlar Koinot evolyutsiyasining dastlabki paytlarida ro'y bergan bo'lishi mumkin deb taxmin qilinadi.

Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida.

Olam shunchalik turli-tumanki, barcha jismlar birgina navli zarralardan tuzilmaganligiga hech qanday shubqa yo'q. Biroq ajablanadigan joyi shundaki, yulduzlarning moddasi xuddi Yerning moddasi singaridir. Koinotdagi barcha jismlarni hosil qiluvchi atomlar mutlaqo bir xil tuzilishga ega. Jonli organizmlar ham xuddi jonsiz organizmlar tuzilgan atomlardan iborat.

Elementar zarralar va ularning aylanishlari kashf etilgandan keyin materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o'ringa chiqdi. Bu birlikning zamirida barcha elementar zarralarning moddiyligi yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

Olamning fizik manzarasi haqidagi klassik tasavvurlarning revolyutsion o'zgarishi materiyaning kvant xossalari kashf etilgandan so'ng ro'y berdi. Mikrozarralarning qarakatini tavsiflovchi kvant fizikasi paydo bo'lgandan so'ng olamning yagona fizik manzarasida yangi elementlar ko'zga tashlana boshladi.

Materiyani uzlukli tuzilishiga ega bo'lgan moddaga va uzluksiz maydonga bo'linishi o'zining absolyut ma'nosini yo'qotdi. Har bir maydonga shu maydonning o'z zarralari (kvantlari) mos keladi: elektromagnit maydonning zarrasi fotonlar, yadro maydonining zarrasi π -mezonlar yanada chuqurroq sathda esa glyuonlar va qokazo.

O'z navbatida barcha zarralar to'lqin xossalarga ega. Korpuskulyar-to'lqin dualizmi materiyaning barcha shakllariga xos.

Kvant nazariyasining prinsiplari mutloqo umumiy bo'lib, barcha zarralarni, ular orasidagi o'zaro ta'sirlarni va ularning o'zaro aylanishlarini tavsiflash uchun qo'llanilaveradi.

Shunday qilib, hozirgi zamon fizikasi tabiat birligining ko'p tomonlarini yaqqol namoyish qilmoqda. Biroq olam birligining ko'p tomonlarini, ehtimol, hatto bu birlikning fizik moqiyatini bilib olishga hali muvaffaq bo'lingani yo'qdir. Nima uchun shunchalik ko'p elementar zarralar mavjudligi noma'lum. Nima uchun ularning muayyan massalari, zaryadlari va boshqa xarakteristikalari mavjudq hozirgacha barcha bu kattaliklar eksperimental aniqlab kelindi.

Fizikada aniqlanadigan fundamental qonunlar o'zlarining murakkabligi va umumiyligi bilan har qanday qodisalarni o'rganish asoslanadigan dalillardan ancha ustun turadi. Biroq, ular ham bevosita kuzatiladigan sodda hodisalar haqidagi bilimlar kabi to'g'ri va shu darajada obyektivdir. Bu qonunlar hech qachon, har qanday sharoitlarda ham buzilmaydi.

Fizika fanining taraqqiyoti falsafiy qarashlarda tub burilishlarga olib keldi va bir qator muammolarni keltirib chiqardi. Masalan, kvarklarni nazariy kashf etilishi va ularni erkin holda kuzatish printsiptial mumkin emasligi "narsa o'zida" tezisini qayta anglashga olib keldi. Fizikaning rivojlanishi va materiyaning yagona nazariyasini qurilishi yagona olamning fizik manzarasini yaratish imkonini berdi, dunyoni

bilishning ilmiy asosini vujudga keltirdi. Dialektik materializmning "materiya shakllari va xususiyatlari cheksizdir" degan tezisi tasdiqlanib bormoqda.

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

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

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

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

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

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

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

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

Elektron zarralar jadvali

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

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

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

Zarrachalarning kuzatish va qayt qilish usullari.

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

1. Zarralarni fazoning biror qismidan o'tganligini qayd qiluvchi va ba'zi hollarda ularning baz'i xarakteristikalarini, masalan, energiyasini aniqlashga imkon beruvchi asboblarda. Bunday asboblarga sintillatsion (chaqnovchi) hisoblagich. Cherenkov hisoblagichi, gaz razryadli hisoblagich, yarimo'tkazgichli hisoblagich va impulsli ionlashtiruvchi kamera misol bo'la oladi.

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

Sintillatsion hisoblagich. Ish prinsipi tez zarralarning fluessiyalanuvchi ekranga tushishida ro'y beradigan chaqnash – sintillatsiyaning kuzatilishiga asoslangan. Hosil bo'lgan kuchsiz yorug'lik chaqnashi elektr impulslariga aylantiriladi va kuchaytirilib, maxsus apparatlar yordamida qayd qilinadi. A – zarra birinchi marta aynan shunday hisoblagich yordamida qayd qilingan edi.

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

razryadli hisoblagichlarning zaryadlangan zarralarni qayd etish unumdorligi 100% bo'lsa, γ – kvantlar uchun 5% ni tashkil qiladi.

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

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

1. Kosmik nurlar. 1912 – yilda Yer sirtidagi havo qatlamining ionlashuvini o'rgangan avstriyalik fizik V.F.Gess qiziq natijaga duch keldi. Uning fikriga ko'ra, havoning ionlashuvini asosan Yerdan chiqayotgan radioaktiv nurlar vujudga keltirishi va shuning uchun ham yuqoriga ko'tarilgan sari havoning ionlashuvi kamayishi kerak edi. Ammo tajriba natijasiga ko'ra 500 m balandlikdagi havoning ionlashish darajasi Yer sirtinikidan 3 marta katta bo'lib chiqdi.

Ushbu holni tahlil qilgan olimlar, havoning ionlashuvini faqatgina Yerning radioaktivligi emas, balki koinotdan va Quyoshdan kelayotgan nurlar ham vujudga keltiradi, degan xulosaga kelishdi. Bu nurlarga *kosmik nurlar deb* nom berdi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, kosmik nurlarning intensivligi yuqoriga ko'tarilgan sari tez ortadi va o'zining maksimal qiymatiga erishgach, yana kamayadi. Taxminan 50 km balandlikdan boshlab intensivlik qariyb o'zgarmay qoladi. Kosmik nurlar *birlamchi va ikkilamchi* kosmik nurlarga ajratiladi.

Birlamchi kosmik nurlar. Bevosita kosmosdan keladigan nurlar *birlamchi kosmik nurlar* deyiladi.

Ikkilamchi kosmik nurlar. Atmosferaning yuqori qatlamlarigacha yetib kelgan birlamchi kosmik nurlar u yerdagi atom yadrolari bilan to'qnashib *ikkilamchi kosmik nurlarni* vujudga keltiradi.

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

Antizarralar. Birinchi antizara – elektronning antizarrasi (qarama-qarshi zarrasi) – *positron* kashf qilingandan so'ng, boshqa zarralarning ham antizarrasi yo'qmikan, degan savol tug'ildi. Antipotron 1955-yilda mis nishoni protonlar bilan bombardimon qilish natijasida hosil qilindi. 1956-yil- da esa Eynshteyn kashf qilindi. *Hozirgi paytda har bir zarraning o'z antizarrasi, ya'ni massasi va spini teng zaryadli esa qarama-qarshi bo'lgan zarra mavjudligi aniqlangan.*

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

3. Kuchli va kuchzis o'zaro ta'sir. Elementar zarralarning kuchli o'zaro ta'siri o'ziga xos o'lchamsiz doimiy bilan xarakterlanadi:

$$\alpha_s = \frac{g^2}{4\pi\hbar c} \approx 15$$

bunda g - kuchli o'zaro ta'sir "zaryadi" (mezon zaryadi). Kuchli ta'sirning asosiy xossalari:

- a) ta'sir radiusi juda kichik
- b) yadrolar barqarorligini ta'minlaydi
- v) universal emas
- g) eng yuqori simmetriyaga ega
- d) yadroda nuklonlar π^0 , $\pi^\pm$, $K^\pm$ kabi mezonlar almashinish tufayli bog'lanadi, kvarklar esa glyuonlarga almashinadi.

Elektromagnit o'zaro ta'sir. Elektromagnit kuchlarga nisbatan yaxshiroq o'rganilgan. Zarralarning o'zaro elektromagnit ta'sirlashuv kuchi kuchli o'zaro ta'sirga qaraganda ancha ojiz, boshqa kuchlarga nisbatan esa o'ta kuchlidir. Elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasi 10^{-12} sm dan tortib kosmik masofalargacha davom etadi. Ko'pchilik fizikaviy hodisalar: atomlar va molekulalar tuzilishi, kristallar, ximiyaviy reaksiyalar, jismlarning termik va mexanikaviy xususiyatlari, radioto'lqinlar, quyosh va yulduzlarning nurlanishi va hokazo hodisalar elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasiga kiradilar.

Elektromagnit o'zaro ta'sir har xil zarralarda har xil shiddat bilan namoyon bo'ladi. Elektr zaryadiga ega bo'lgan zarralarda eng katta elektromagnit o'zaro ta'sir kuchlari vujudga keladi. Massasi va spini nolga teng bo'lmagan zaryadsiz zarralar o'zaro kuchsizroq elektromagnit ta'sirda bo'ladilar. Eng kuchsiz elektromagnit o'zaro ta'sirga neytral, spinsiz zarralar, masalan neytral pi-mezon egadir. Zarralardan neytrino elektromagnit ta'sirni deyarli sezmaydi.

Elektromagnit o'zaro ta'sirni nozik tuzilish doimiysi deb ataluvchi o'lchamsiz kattalik xarakterlaydi:

$$\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

Elektromagnit o'zaro ta'sir zarralarning o'zidan foton chiqarib va yutib turishi jarayonida hosil bo'ladi deb tushuntiriladi. Bunday jarayon ham virtual, ya'ni kuzatib bo'lmaydigan jarayondir.

Kuchsiz o'zaro ta'sir. Agar tabiatda kuchsiz o'zaro ta'sir bo'lmasa, zarralardan faqat neytrino bo'lmas edi. Yadrolar, atomlar, molekulalar, kristallar mavjud bo'laverardi. Faqat barqaror zarralar soni va binobarin, atomlar va materiyaning

tuzilish shakllari ancha ko'p bo'lardi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning mavjudligi ba'zi bir zarralarni va natijada jismlarning ba'zi tuzilish shakllarini barqaror qiladi. Shunday qilib, kuchsiz o'zaro ta'sir ko'proq zarralarning parchalanishi bo'yicha "mutaxassisdir". Masalan, myu-mezonlar, zaryadli pi-mezonlar, neytron va boshqa bir guruh oqim 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 doimiy bitta:

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

$\frac{\hbar}{mc}$ - parchalanuvchi zarraning kompton to'lqin uzunligi, G - parchalanish jarayoni uchun bog'lanish doimiysi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir doirasining radiusi eng qisqa bo'lib, taxminan 10^{-16} sm ga teng. Kuchsiz o'zaro ta'sirni tashuvchi zarralar $W^\pm$ va Z^0 oraliq bozonlardir.

Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirlarga qaraganda kamroq simmetriyaga ega, ya'ni kuchsiz o'zaro ta'sirlarda saqlanish qonunlari ko'proq buziladi.

5. Gravitatsion o'zaro ta'sir. Gravitatsion o'zaro ta'sir ko'rib o'tilgan o'zaro ta'sirlar ichida eng zaifidir. Tabiatda mavjud to'rtta o'zaro ta'sirlar ichida zarralarning o'zaro gravitatsiya ta'siri uni xarakterlovchi vaqtning juda kattaligi ($\sim 10^{17}$ sek) va unga xos ta'sir kuchining juda kichikligi (10^{-38}) sababli hozirgacha elementar zarralar nazariyasida deyarli e'tiborga olinmaydi.

Gravitatsion o'zaro ta'sir o'zining uchta muhim xususiyati - cheksiz katta ta'sir doirasiga egaligi, absolyut universalligi va har qanday ikki massa o'rtasidagi ta'sir kuchi ishorasining bir xilligiga asosan butun Koinotda, astronomik masshtablarda asosiy 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 gravitatsion o'zaro ta'sir katta energiyalik zarralar olamida munosib o'ringa ega bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi. Haqiqatdan yuqori energiyagacha tezlatilgan zarralarning relyativistik

massasi ortishi bilan gravitatsion o'zaro ta'sir sezilarli bo'ladi. Elektromagnit maydonga qiyos qilib gravitatsion o'zaro ta'sir gravitonlar deb ataluvchi zarralar vositasida vujudga keladi deb hisoblanadi. Har qanday jism, zarralar o'zidan gravitonlar chiqarib turadi. Gravitonning harakatsiz holdagi massasi $10^{-39} - 10^{-42}$ MeV ga, ya'ni deyarli nolga teng, harakat tezligi yorug'lik tezligidan biroz kam, spini ikkiga teng. Gravitonning to'lqin uzunligi 10^{28} sm. Bu kattalik koinotning radiusiga teng keladi.

Gravitatsion o'zaro ta'sirni xarakterlovchi vaqtning va gravitonlar to'lqin uzunligining cheksiz kattaligi bu ta'sirning butun Olam bo'ylab deyarli so'nmasdan tarqalishiga sabab bo'ladi. 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. Bu fikr har qanday o'zaro ta'sirda ham ishtirok qiluvchi gravitatsiya maydoni universal ekanligini ko'rsatadi.

Kuchli, elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion o'zaro ta'sirlar.

Yuqorida qayd qilinganidek, tabiatda prinsipial farqlanadigan 4 xil fundamental o'zaro ta'sirlar mavjud: kuchli (S), elektromagnit (E), kuchsiz (W) va gravitatsion (G). Ular bir-biridan o'zaro ta'sir intensivlik (doimiylik) lari α_i , ta'sir radiuslari R_i va xarakterli vaqtlari τ_i hamda simmetriya xossalari bilan farqlanadilar.

Tajribalar ko'rsatadiki,

$$\alpha_S \sim 1, \quad \alpha_E \sim 10^{-2}, \quad \alpha_W \sim 10^{-10}, \quad \alpha_G \sim 10^{-38}, \quad (1)$$

$$R_S \sim 10^{-15} \text{ m}, \quad R_E = \infty, \quad R_W \sim 10^{-18} \text{ m}, \quad R_G = \infty, \quad (2)$$

$$\tau_S \sim 10^{-23} \text{ c}, \quad \tau_E \sim 10^{-20}, \quad \tau_W \sim 10^{-13} \text{ c}, \quad \tau_G = ?. \quad (3)$$

Kuchli o'zaro ta'sir. Elementar zarralarning kuchli o'zaro ta'siri o'ziga xos o'lchamsiz doimiy bilan xarakterlanadi:

$$\alpha_s = \frac{g^2}{4\pi\hbar c} \approx 15 \quad (4)$$

bunda g - kuchli o'zaro ta'sir "zaryadi" (mezon zaryadi). Kuchli ta'sirning asosiy xossalari:

- a) ta'sir radiusi juda kichik
- b) yadrolar barqarorligini ta'minlaydi
- v) universal emas
- g) eng yuqori simmetriyaga ega
- d) yadroda nuklonlar $\pi^0, \pi^\pm, K^\pm$ kabi mezonlar almashinish tufayli bog'lanadi, kvarklar esa glyuonlarga almashinadi.

Elektromagnit o'zaro ta'sir. Elektromagnit kuchlar nisbatan yaxshiroq o'rganilgan. Zarralarning o'zaro elektromagnit ta'sirlashuv kuchi kuchli o'zaro ta'sirga qaraganda ancha ojiz, boshqa kuchlarga nisbatan esa o'ta kuchlidir. Elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasi 10^{-12} sm dan tortib kosmik masofalargacha davom etadi. Ko'pchilik fizikaviy hodisalar: atomlar va molekulalar tuzilishi, kristallar, ximiyaviy reaksiyalar, jismlarning termik va mexanikaviy xususiyatlari, radioto'lqinlar, quyosh va yulduzlarning nurlanishi va hokazo hodisalar elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasiga kiradilar.

Elektromagnit o'zaro ta'sir har xil zarralarda har xil shiddat bilan namoyon bo'ladi. Elektr zaryadiga ega bo'lgan zarralarda eng katta elektromagnit o'zaro ta'sir kuchlari vujudga keladi. Massasi va spini nolga teng bo'lmagan zaryadsiz zarralar o'zaro kuchsizroq elektromagnit ta'sirda bo'ladilar. Eng kuchsiz elektromagnit o'zaro ta'sirga neytral, spinsiz zarralar, masalan neytral pi-meson egadir. Zarralardan neytrino elektromagnit ta'sirni deyarli sezmaydi.

Elektromagnit o'zaro ta'sirni nozik tuzilish doimiysi deb ataluvchi o'lchamsiz kattalik xarakterlaydi:

$$\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137} \quad (5)$$

Elektromagnit o'zaro ta'sir zarralarning o'zidan foton chiqarib va yutib turishi jarayonida hosil bo'ladi deb tushuntiriladi. Bunday jarayon ham virtual, ya'ni kuzatib bo'lmaydigan jarayondir.

Kuchsiz o'zaro ta'sir. Agar tabiatda kuchsiz o'zaro ta'sir bo'lmasa, zarralardan faqat neytrino bo'lmas edi. Yadrolar, atomlar, molekulalar, kristallar mavjud bo'laverardi. Faqat barqaror zarralar soni va binobarin, atomlar va materiyaning tuzilish shakllari ancha ko'p bo'lardi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning mavjudligi ba'zi bir zarralarni va natijada jismlarning ba'zi tuzilish shakllarini barqaror qiladi. Shunday qilib, kuchsiz o'zaro ta'sir ko'proq zarralarning parchalanishi bo'yicha "mutaxassisdir". Masalan, myu-mezonlar, zaryadli pi-mezonlar, neytron va boshqa bir guruh oqir 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 doimiy bitta:

$$\left(\frac{G}{\hbar c}\right)^2 \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^{-4} \approx 5 \cdot 10^{-14}, \quad (6)$$

$\frac{\hbar}{mc}$ - parchalanuvchi zarraning kompton to'lqin uzunligi, G - parchalanish jarayoni uchun bog'lanish doimiysi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir doirasining radiusi eng qisqa bo'lib, taxminan 10^{-16} sm ga teng. Kuchsiz o'zaro ta'sirni tashuvchi zarralar $W^\pm$ va Z^0 oraliq bozonlardir.

Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirlarga qaraganda kamroq simmetriyaga ega, ya'ni kuchsiz o'zaro ta'sirlarda saqlanish qonunlari ko'proq buziladi.

Gravitatsion o'zaro ta'sir. Gravitatsion o'zaro ta'sir ko'rib o'tilgan o'zaro ta'sirlar ichida eng zaifidir. Tabiatda mavjud to'rtta o'zaro ta'sirlar ichida zarralarning o'zaro gravitatsiya ta'siri uni xarakterlovchi vaqtning juda kattaligi ($\sim 10^{17}$ sek) va unga xos ta'sir kuchining juda kichikligi (10^{-38}) sababli hozirgacha elementar zarralar nazariyasida deyarli e'tiborga olinmaydi.

Gravitatsion o'zaro ta'sir o'zining uchta muhim xususiyati - cheksiz katta ta'sir doirasiga egaligi, absolyut universalligi va har qanday ikki massa o'rtasidagi ta'sir

kuchi ishorasining bir xilligiga asosan butun Koinotda, astronomik masshtablarda asosiy 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 gravitatsion o'zaro ta'sir katta energiyalik zarralar olamida munosib o'ringa ega bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi. Haqiqatdan yuqori energiyagacha tezlatilgan zarralarning relyativistik massasi ortishi bilan gravitatsion o'zaro ta'sir sezilarli bo'ladi. Elektromagnit maydonga qiyos qilib gravitatsion o'zaro ta'sir gravitonlar deb ataluvchi zarralar vositasida vujudga keladi deb hisoblanadi. Har qanday jism, zarralar o'zidan gravitonlar chiqarib turadi. Gravitonning harakatsiz holdagi massasi $10^{-39} - 10^{-42}$ MeV ga, ya'ni deyarli nolga teng, harakat tezligi yorug'lik tezligidan biroz kam, spini ikkiga teng. Gravitonning to'lqin uzunligi 10^{28} sm. Bu kattalik koinotning radiusiga teng keladi.

Gravitatsion o'zaro ta'sirni xarakterlovchi vaqtning va gravitonlar to'lqin uzunligining cheksiz kattaligi bu ta'sirning butun Olam bo'ylab deyarli so'nmasdan tarqalishiga sabab bo'ladi. Shunday qilib gravitatsiya maydoni bilan o'zaro ta'sirda bo'ladigan har qanday zarra uchun gravitonlar har doim realdir. Real gravitonsiz qech qanday holatning bo'lishi mumkin emas. Bu fikr har qanday o'zaro ta'sirda ham ishtirok qiluvchi gravitatsiya maydoni universal ekanligini ko'rsatadi.

Bosqichma-bosqich o'zaro ta'sirlashish.

Materiyaning yagona nazariyasi haqida.

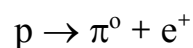
Barcha fundamental o'zaro ta'sirlar mexanizmlarining (almashinuv xarakteri) umumiyliги materiya tuzilishining yagona nazariyasini qurishga intilishlarni keltirib chiqardi. Bunday harakatga mashhur A.Eynshteyn o'zining oxirgi sal kam 50 yillik umrini, V.Geyzenberg esa oxirgi 20 yil faoliyatini bag'ishladi.

Hozirgi zamon fizikasining rivojlanishi shuni ko'rsatadiki, fundamental o'zaro ta'sir doimiylari α_i qat'iy aniq qiymatga ega bo'lmasdan, balki o'zaro ta'sirlashuvchi zarrachalar orasidagi masofaga (r) yoki, baribir, ularning energiyasiga (E) hamda almashtiruv zarralarining massa (energiya)siga bog'liqdir. Elementar zarralar orasidagi

masofa kamayib (yoki ularning energiyalari) ortib borishi bilan ketma-ket (bosqichma-bosqich) ravishda to'rtala fundamental o'zaro ta'sirlar o'rtasidagi farq yo'qola boradi va shu yo'l bilan yuqorida ko'rib chiqilgan 4 ta fundamental o'zaro ta'sirni yagona o'zaro ta'sirga birlashtirish masalasi tug'iladi.

S.Vaynberg, Sh.Gleshou va A.Salam (1979)larning nazariy ravishda ko'rsatishicha, leptonlar va kvarklar $\lambda_w \sim \frac{\hbar}{m_w c} \sim 10^{-18}$ m masofagacha yaqinlashganda ular energiyasi $E_w \sim m_w c^2 \sim 10^{11}$ eV bo'lgan oraliq bozonlar almashinib ta'sirlasha boshlaydi. $E \gg E_w$ energiyalarda ($\lambda \ll \lambda_w$) oraliq bozonlarning tinchlikdagi massasini hisobga olmasa ham bo'ladi va bu holda ularning fotonlardan farqi qolmaydi, ya'ni elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlar o'rtasidagi farq yo'qoladi. Shunday qilib, 1-bosqich birlashuv sodir bo'ladi: elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sir kuchlari elektrokuchsiz o'zaro ta'sir kuchining xususiy ko'rinishlari bo'lib qoladi. Vaynberg, Gleshou va Salamlarning elektrokuchsiz o'zaro ta'sir nazariyasida bashorat qilingan $W^\pm$, Z^0 oraliq bozonlar 1984 yili K.Rubbia va S.Van der Meyerlar tomonidan eksperimental kashf etildi.

Hozirgi kunlarda fiziklar lokal kalibrli invariantlik va simmetriyaning spontan buzilishi nazariyalari asosida elementar zarralarning yanada umumiyroq nazariyasini ishlab chiqishga kirishganlar: kuchsiz, elektromagnit va kuchli o'zaro ta'sirlarning yagona nazariyasi qurilgan. Unga ko'ra bu uchchala o'zaro ta'sir elektroyadroviy o'zaro ta'sir ("Buyuk birlashuv kuchi")ning xususiy hollari deb qaraladi. $R \sim 10^{-32}$ m masofalarda ($\sim 10^{15}$ GeV energiyalarda) bozonlar va glyuonlar o'rtasida farq yo'qoladi (2-bosqich birlashuv). "Buyuk birlashuv" nazariyasiga muvofiq juda yuqori energiyalarda leptonlar va kvarklar $m_x c^2 \sim 10^{15}$ GeV energiyali kvantlar almashinib, birbirlariga aylana oladilar. Boshqacha aytganda elektroyadroviy o'zaro ta'sirga nisbatan barion zaryad B va lepton zaryad L larning saqlanish qonunlari buziladi. Bu nazariyaga muvofiq protonning o'rtacha yashash davri $\tau_p^{\text{had}} \approx 10^{30 \pm 3}$ yil bo'lib,



sxema bo'yicha parchalanishi mumkin. Biroq bunday jarayon haligacha kuzatilgan emas. 10^{15} GeV energiyali zarralar hatto kosmik nurlar tarkibida ham topilmagan.

Shunga qaramasdan gravitatsion o'zaro ta'sirni ham xususiy hol sifatida hisobga olib, barcha 4 ta turdagi o'zaro ta'sirlarning (materiyaning) yagona nazariyasini qurish ustida qizg'in nazariy ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Maydon kvantining energiyasi "Plank massasi" deb ataluvchi $m_p c^2 \sim 10^{19}$ GeV qiymatga etganda gravitatsion o'zaro ta'sirni ham kvant nazariyasi bilan ifodalash zarurati tug'iladi. Bunday sharoitda foton, oraliq bozonlar, glyuonlar va graviton o'rtasida farq yo'qoladi va to'rtala o'zaro ta'sir "kengaytirilgan supergravitatsiya" deb ataluvchi yagona o'zaro ta'sirga birlashadi (3-bosqich birlashuv). "Buyuk birlashuv" va "kengaytirilgan supergravitatsion" o'zaro ta'sirlar Koinot evolyutsiyasining dastlabki paytlarida ro'y bergan bo'lishi mumkin deb taxmin qilinadi.

Olamning fizik tasavvuri falsafiy kategoriya sifatida

Olam shunchalik turli-tumanki, barcha jismlar birgina navli zarralardan tuzilmaganligiga hech qanday shubqa yo'q. Biroq ajablanadigan joyi shundaki, yulduzlarning moddasi xuddi Yerning moddasi singaridir. Koinotdagi barcha jismlarni hosil qiluvchi atomlar mutlaqo bir xil tuzilishga ega. Jonli organizmlar ham xuddi jonsiz organizmlar tuzilgan atomlardan iborat.

Elementar zarralar va ularning aylanishlari kashf etilgandan keyin materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o'ringa chiqdi. Bu birlikning zamirida barcha elementar zarralarning moddiylik yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

Olamning fizik manzarasi haqidagi klassik tasavvurlarning revolyutsion o'zgarishi materiyaning kvant xossalari kashf etilgandan so'ng ro'y berdi. Mikrozarralarning qarakatini tavsiflovchi kvant fizikasi paydo bo'lgandan so'ng olamning yagona fizik manzarasida yangi elementlar ko'zga tashlana boshladi.

Materiyani uzlukli tuzilishiga ega bo'lgan moddaga va uzluksiz maydonga bo'linishi o'zining absolyut ma'nosini yo'qotdi. Har bir maydonga shu maydonning o'z

zarralari (kvantlari) mos keladi: elektromagnit maydonning zarrasi fotonlar, yadro maydonining zarrasi π -mezonlar yanada chuqurroq sathda esa glyuonlar va qokazo.

O'z navbatida barcha zarralar to'lqin xossalarga ega. Korpuskulyar-to'lqin dualizmi materiyaning barcha shakllariga xos.

Kvant nazariyasining prinsiplari mutloqo umumiy bo'lib, barcha zarralarni, ular orasidagi o'zaro ta'sirlarni va ularning o'zaro aylanishlarini tavsiflash uchun qo'llanilaveradi.

Shunday qilib, hozirgi zamon fizikasi tabiat birligining ko'p tomonlarini yaqqol namoyish qilmoqda. Biroq olam birligining ko'p tomonlarini, ehtimol, hatto bu birlikning fizik moqiyatini bilib olishga hali muvaffaq bo'lingani yo'qdir. Nima uchun shunchalik ko'p elementar zarralar mavjudligi noma'lum. Nima uchun ularning muayyan massalari, zaryadlari va boshqa xarakteristikalari mavjudq hozirgacha barcha bu kattaliklar eksperimental aniqlab kelindi.

Fizikada aniqlanadigan fundamental qonunlar o'zlarining murakkabligi va umumiyliigi bilan har qanday qodisalarni o'rganish asoslanadigan dalillardan ancha ustun turadi. Biroq, ular ham bevosita kuzatiladigan sodda hodisalar haqidagi bilimlar kabi to'g'ri va shu darajada obyektivdir. Bu qonunlar hech qachon, har qanday sharoitlarda ham buzilmaydi.

Fizika fanining taraqqiyoti falsafiy qarashlarda tub burilishlarga olib keldi va bir qator muammolarni keltirib chiqardi. Masalan, kvarklarni nazariy kashf etilishi va ularni erkin holda kuzatish printsipial mumkin emasligi "narsa o'zida" tezisini qayta anglashga olib keldi. Fizikaning rivojlanishi va materiyaning yagona nazariyasini qurilishi yagona olamning fizik manzarasini yaratish imkonini berdi, dunyoni bilishning ilmiy asosini vujudga keltirdi. Dialektik materializmning "materiya shakllari va xususiyatlari cheksizdir" degan tezisi tasdiqlanib bormoqda.

XULOSA

Ushbu uslubiy qo'llanma yadro fizikasining asosiy elementlari to'g'risidagi asosiy tushuncha va qonuniyatlarni yoritib berishga bag'ishlangan. Qo'llanma oliy o'quv yurti "Fizika" ta'lim yo'nalishi talabalarining "Atom va yadro fizikasi" bo'limi bo'yicha o'z ustida mustaqil ishlash, adabiyotlardan foydalana bilish va shu asosda etarli bilimga ega bo'lish uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Р.Б.Бекжонов. Атом ядроси ва зарралар физикаси Т.1995. 1-боб.
2. К.Т.Тешабоев. Ядро ва элементар зарралар физикаси. Т.1992.
3. К.Н.Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Т.1, М.1974.
4. Ю.М.Широков, Н.П.Юдин. Ядерная физика. М.1980.
5. Д.С.Сивухин. Общий курс физики. М.1989.
6. А.И.Наумов. Физика атомного ядро и элементарных частиц. М. 1984.
7. П.Э.Колпаков. Основы ядерной физики. М.1969.
8. П.А.Тишкин. Экспериментальные методы ядерной физики. ЛГУ. 1970.
9. А.Б.Холикулов, Т.М.Муминов, Ш.Х.Хушмуродов. Ядро ва зарралар физикаси. Самарканд, 2001 й.

Terishga berildi 21.03.15 yil.
Bosishga ruhsat etildi 18.03.15 yil.
Qog'oz bichimi 30X42, 4,85 bosma toboq.
Adadi 10 nusxa. Buyurtma №
Bahosi shartnoma asosida.

Ushbu o'quv uslubiy qo'llanma bo'yicha tavsiyanoma Jizzakh Davlat Pedagogika Instituti ilmiy-uslubiy Kengashi tomonidan ("29" yanvar 2015 yil) pedagogika institutlarining fizika va fizika-matematika fakultetlari talabalari uchun o'quv-uslubiy qo'llanma sifatida chop qilishga ruxsat etilgan.

Bosmaxona manzili: Jizzax Davlat pedagogika institut kichik bosmaxonasi.
Jizzax shahar, Sharof Rashidov shoh ko'chasi.