

IX bob. ELEMENTAR ZARRALAR HAQIDA TUSHUNCHA

111- §. Elementar zarralar tarkibi

VII va VIII boblarda elementar zarra deb ataladigan zarralar: protonlar, elektronlar, neytronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar haqida gap yuritildi.

Elementar zarralar deb, fizika fanining hozirgi taraqqiyot bosqichida eng sodda, ma'lum ichki strukturaga ega bo'lmagan, faqat bitta zarradan tashkil topgan zarralarga aytiladi.

1932- yilgacha elementar zarralarning soni uchta — elektron, proton va neytron edi. 1956- yilga kelib ularning soni 30 ga bordi. Hozirgi vaqtda barqaror bo'lgan va o'rtacha yashash vaqti 10^{-7} s dan kam bo'lmagan (qiyosan barqaror bo'lgan) 39 ta elementar zarra mavjud. Bundan tashqari 300 dan ortiq qisqa muddat yashovchi zarralar kashf qilindi. Avvalo shu zarralarning kashf qilinishi bilan qisqacha tanishaylik.

Elektron e — birinchi elementar zarra bo'lib, atom tarkibiga kiradi. Uning mavjudligi haqida 1881- yilda Stoney (J.J. Stoni) oldindan postulat tarzida aytgan. 1897- yilda J.J. Tomson elektronning $\frac{e}{m}$ solishtirma zaryadini o'lchab, elektronning mavjudligini eksperimental kashf etgan. Elektron barqaror zarra, uning yashash vaqti kamida 10^{22} yilga teng ekanligi aniqlangan (qiyoslash uchun: bizning Koinot «atigi» $2 \cdot 10^{10}$ yil yashar ekan).

Proton p — atom yadrosi tarkibiga kiruvchi birinchi elementar zarra bo'lib, 1919- yilda kashf etilgan. Lekin qaysi hodisani proton kashf qilingan hodisa deb aytish qiyin, chunki vodorod ioni sifatida u uzoq vaqtdan buyon ma'lum edi. Protonning kashf qilinishida 1911- yilda E. Rezerford yaratgan atomning planetar modeli ham, 1906—1919- yillarda J. Tomson, F. Soddi, F. Aston tomonidan izotoplarning ochilishi ham, azot yadrosidan alfa-zarralar urib chiqargan vodorod yadrolarini kuzatish ham rol o'ynaydi.

Proton ham barqaror zarra. Uning yashash vaqti 10^{32} yildan kam emas ekan.

Neytron n — atom yadrosining tarkibiga kiruvchi ikkinchi elementar zarra bo'lib, uni 1932- yilda J. Chedvig kashf etgan.

Neytron faqat barqaror atom yadrolari tarkibidagina turgʻundir. Erkin atom yadrosidan tashqarida neytron barqaror emas, uning oʻrtacha yashash vaqti 15 minutga yaqin.

Neytrino ν . Neytrinoning mavjudligi haqidagi gipotezani 1930-yilda V. Pauli energiyaning saqlanish qonunini qutqarish maqsadida tavsiya qilgan edi. E. Fermining 1934- yilda yaratgan β -yemirilish nazariyasi (neytrino ishtirokida) eksperimentlarda tasdiqlandi. Biroq fiziklar neytrinoni «tutish»guncha 20 yildan ortiq vaqt oʻtdi va, nihoyat, 1953- yilda F. Reynis va K. Kouen tomonidan atom reaktorida oʻtkazilgan tajribalarda qayd etildi. Hozirgi vaqtda uning ν_e — **elektron neytrino**, ν_μ — **myuon neytrino**, ν_τ — **taon neytrino** deb ataladigan uchta turi mavjud. Neytrino barqaror zarra.

Myuon μ (yoki myu-mezon). Bu zarrani 1937- yilda K. Anderson va S. Nedermayyer kashf qilgan. Tabiatda ikki xil myuon uchraydi: μ^- (myu-minus) — mezon va μ^+ (myu-plyus) — mezon.

Pion π (yoki pi-mezon). 1935- yilda X. Yukava nazariy yoʻl bilan π^+ , π^- , π^0 — pionlarni kiritgan. π^+ — pionlarning haqiqatan ham mavjudligini 1947- yilda S. Pauell va J. Okkialini, neytral π^0 — pionni esa 1950- yilda R. Berklund kashf etishgan.

1950- yillarda kashf qilingan η^0 — **mezon** (eta-nol-mezon) ham myuonlar guruhiga kiradi.

XX asrning oʻrtalariga kelib yana yangi 15 ta elementar zarra kashf etildi. Bu elementar zarralarni **kaonlar** (yoki ka-mezonlar) va **giperonlar** deb ataladi. Kaonlarga K^+ , K^- va K^0 — mezonlar kiradi. Giperonlarga esa λ^0 — lambda giperon, Σ^+ , Σ^- , Σ^0 — sigma

giperon, Ξ^+ , Ξ^- , Ξ^0 — ksi-giperon, Ω^- — omega giperon kiradi.

Barcha kaon va giperonlar kuchli oʻzaro taʼsir natijasida paydo boʻlib, kuchsiz oʻzaro taʼsir natijasida yemiriladi (114- § ga qarang). Bundan tashqari ular juft-juft holda paydo boʻladi. Shuningdek, tajribada kaonlarning hosil boʻlishi sharoitlarida va oʻzaro taʼsir reaksiyalarida boshqa zarralardan farq qilishi aniqlandi. Masalan, K^+ — kaon K^- — kaon bilan ham, giperonlar bilan ham birga paydo boʻlishi mumkin boʻlsa, K^- — kaon faqat K^+ — kaon bilan birga vujudga kelishi mumkin ekan. Shuning uchun kaonlar va giperonlarning boshqa elementar zarralardan farqlanuvchi bunday tabiatini hisobga olib, ularni «gʻalati» **zarralar** deb ataladi.

τ — **taon** (yoki tau-mezon). Bu zarra 1975- yilda kashf qilingan. Uning yashash vaqti faqat 1981- yildagina ancha aniq topildi — $3,4 \cdot 10^{-13}$ s.

XX asrning 50—60- yillariga kelib o‘rtacha yashash vaqti juda qisqa (10^{-23} — 10^{-22} s) bo‘lgan zarralar kashf qilindi. Bu zarralarni **rezonans zarralar, rezonanslar** yoki **rezononlar** deb ataladi. Birinchi rezonansni 1952- yilda E. Fermi kashf qilgan. 1980- yilga kelib qayd qilingan rezonanslarning soni 300 dan ortib ketdi.

XX asrning 70—80- yillarida elementar zarralarning yangi guruhlarini — og‘ir zarralar kashf qilindi. Ularning bir guruhi «**maftunkor**» zarralar, yana bir guruhi esa «**go‘zal**» zarralar deb ataladi. «Maftunkor» zarralar «g‘alati» zarralardan og‘irroq, «go‘zal» zarralar esa «maftunkor» zarralardan og‘irroqdir.

Elementar zarralar tarkibiga gravitonlar va fotonlar ham kiritiladi.

Graviton G gravitatsion o‘zaro ta’sirning tashuvchisidir. Gravitonning mavjudligi A. Eynshteynning tortishish nazariyasidan, kvant mexanika prinsiplaridan va nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadi. Ammo uni tajriba yo‘li bilan hali qayd qilinmagan. Gravitonni topish juda qiyin, chunki u modda bilan juda kuchsiz ta’sirlashadi.

Foton γ — elektromagnit maydon kvanti bo‘lib, u barcha elementar zarralar ichida eng keng tarqalgan zarradir. Foton ko‘rinuvchi yorug‘lik oqimida ham, rentgen nurlanishida ham, lazer impulslarida ham mavjud. 1964- yilda amerikalik radioastronomlar A. Penzias va R. Vilson olam fazosi millimetrli radioto‘lqinlar bilan to‘lganligini aniqladilar. Hozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra bu nurlanish koinot rivojlanishining ilk bosqichlarida modda temperaturasi va bosimi juda yuqori bo‘lganda vujudga kelgan. Aniqlanishicha, koinotda fotonlar protonlarga qaraganda milliard marta ko‘proq uchrar ekan.

Fotonni 1900- yilda M. Plank nazariy kashf qilgan. 1905- yilda A. Eynshteyn elektromagnit to‘lqin fotonlar oqimidan iborat, deb hisoblagan. 1922- yilda A. Kompton erkin elektronlarda rentgen nurlarining sochilishini o‘rganish bo‘yicha o‘tkazgan tajribalaridan so‘ng fizika faniga foton — yangi elementar zarra uzil-kesil kirib keldi.

Elementar zarralardan faqat uchta — elektron, proton va neytronlar asosiy zarralardir. Atomlar va umuman, bizni o‘rab olgan butun moddiy olam shu zarralardan tashkil topgan.

112- §. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi

Barcha elementar zarralar massasi, elektr zaryadi, o‘rtacha yashash vaqti, spini va boshqa bir qator fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

1. *Elementar zarralar hamma holatda massaga ega. Zarralarning harakatdagi m massasi ularning W to'liq energiyasi bilan bog'liq:*

$$W^2 = c^2 p^2 + m_0^2 c^4 = m^2 c^2, \quad (179)$$

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

$$W_0 = m_0 c^2. \quad (180)$$

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

$$W = cp. \quad (181)$$

2. *Elementar zarralarning ko'pi elektr zaryadiga ega. Musbat va manfiy zaryadli zarralar bor. Ularning zaryadi e elementar zaryad birligida +1 va -1 ga teng; ikki yoki undan ko'p zaryadli zarralar mavjud emas. Zaryadsiz zarralar ham bor. Masalan, neytron, neytrino uchun $q=0$.*

3. *Elementar zarralarning ko'pchiligi barqaror emas va o'rtacha yashash vaqti juda qisqa. Bu zarralar hech qanday tashqi ta'sir bo'lmasa ham sekundning milliondan ikki ulushi ($2 \cdot 10^{-6}$ s) dan ortiq vaqt davomida yashay olmaydi.*

Faqat to'rtta zarra — foton, elektron, proton va neytrino barqarordir. Bu zarralardan har biri butun olamda yagona o'zi bo'lganda edi, o'zining o'zgarmasligini saqlashi mumkin edi.

4. *Barcha elementar zarralar spini bilan ham xarakterlanadi. Ko'pchilik elementar zarralarning spini \hbar birligida ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h — Plank*

doimiysi) $\frac{1}{2}$ ga teng. Masalan, proton va neytronning spini $\frac{1}{2}$.

Spini 1 bo'lgan zarra (foton) bilan birga spini 0 bo'lgan zarralar (K — mezon, π — mezon, η — mezon) ham bor.

5. Elementar zarralarning xarakterli xususiyati yana shundaki: ular ikki — *zarra* va *antizarra* ko'rinishda namoyon bo'ladi. Zarra va antizarraning massasi, elektr zaryadining kattaligi, spini bir xil, ammo zaryadining ishorasi bilan farq qiladi, zaryadi yo'q bo'lganda esa spinlarining qarama-qarshi yo'nalganligi bilan farq qiladi.

Masalan, proton p va antiproton \tilde{p} , elektron e^- va pozitron e^+ , neytron n va antineytron \tilde{n} zarra hamda antizarralarga misol bo‘la oladi.

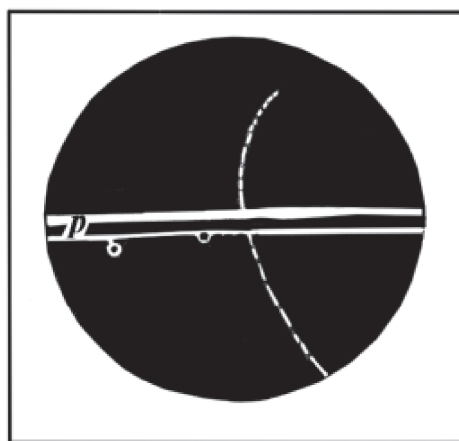
To‘rtta zarra — γ -foton, π^0 -mezon, K_1^0 -mezon va K_2^0 -mezonning antizarrasi mavjud emas. Bu zarralar **absolyut neytral zarralar** deb ataladi. Absolyut neytral tushunchasini zarraning elektr neytralligi bilan chalkashtirish kerak emas, chunki elektr jihatdan neytral zarraning antizarrasi bo‘lishi mumkin (masalan, neytrino va antineytrino). Elektr zaryadining yo‘qligi zarraning absolyut neytralligi uchun hali yetarli emas.

Antizarralar ichida pozitron nazariy aytilgan birinchi antizarradir. Pozitronning mavjud ekanligi P. Dirak tomonidan 1930-yilda aytilgan edi. Ikki yil o‘tgandan so‘ng 1932-yilda K. Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida pozitron mavjud ekanligi magnit maydonga joylashtirilgan Vilson kamerasi yordamida payqaldi.

220- rasmda zarraning qoldirgan ingichka izi (treki)ning fotosurati keltirilgan. Bunda zarra pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. P qo‘rg‘oshin plastinkadan o‘tayotganida zarra energiyasining bir qismini yo‘qotgani sababli plastinkadan yuqorida uning trayektoriyasining egrilanishi ortadi. Zarra trekining egrilanish yo‘nalishiga qarab zaryadining ishorasi musbat ekanligi,

egrilik radiusi va energiyasiga ko‘ra $\frac{e}{m}$ solishtirma zaryadi aniqlandi.

Bu nisbat kattalik jihatdan xuddi elektronniki singari bo‘lib chiqdi. Keyinchalik pozitronning sun‘iy radioaktivlikda va katta energiyali γ kvantlarning atom yadrolari bilan o‘zaro ta’sirlashganda hosil bo‘lishi aniqlandi.



220- rasm.

1955—1956- yillarda amerikalik fiziklar B. Kork, G. Lambertson, O. Pichchioni, V. Venzellar tezlatkichda antiproton bilan antineutronning hosil bo'lish jarayonlarini kuzatdilar. Eksperimentlar bu zarralarning faqat mavjudligini isbotlabgina qolmay, balki yana nazariy ma'lum bo'lgan xossalari ham tasdiqladi.

Keyinroq yuqori energiyali zarralar yadro reaksiyalarining mahsulotlari orasida **antideytronlar** (antiproton va *antineytrondan* tarkib topgan atom yadrosi) borligi aniqlandi. 1970- yilda Serpuxovoda (Rossiya) Yuqori energiyalar fizikasi institutida **antigeliy-3** (anti ${}^3_2\text{He}$) yadrosi — ikkita antiproton va bitta antineytrondan tarkib topgan yadro sintez qilindi. Nazariy antiproton va antineytronlardan turli antiyadrolarni qurish, binobarin, bu antiyadrolarga pozitronlarni biriktirib, odatdagi barqaror atomlarga o'xshash barqaror antiatomlarni hosil qilish mumkin. Bu esa antinuklonlar va pozitronlardan tarkib topgan antimodda mavjud bo'lishi mumkinligini bildiradi. Lekin hozirgacha astrofizik kuzatishlar antimoddani qayd etmagan.

113- §. Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari. Annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishi

Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashishi ularning bir-biriga aylanishiga olib keladi. Bu o'zgarish elementar zarraning o'z-o'zidan parchalanib, bir necha yengilroq zarralarga bo'linib ketishidan iborat bo'lishi mumkin. Foton, elektron, protonlar, elektron bilan myu-mezonning neytrinolari hamda bularga tegishli antizarralar bu hisobga kirmaydi, ular barqaror zarralardir. O'z-o'zidan parchalanish har bir zarraga xos bo'lgan qandaydir o'rtacha vaqt oralig'ida sodir bo'ladi va bu vaqt ***o'rtacha yashash vaqti*** deyiladi. O'z-o'zidan parchalanishdan tashqari zarralarning bir-biriga aylanishi ularning o'zaro to'qnashishlarida ham sodir bo'lishi mumkin.

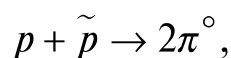
Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi ularning xarakterli xossalariidan biridir.

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

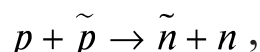
Zarra bilan antizarra o'zaro to'qnashganda boshqa elementar zarralarga aylanadi, bunda ularning ikkalasi ham avvalgi holdagi mavjudligini yo'qotadi. Bu jarayonni ***juftlarning annigilyatsiyasi***

deyiladi. Har bir annigilyatsiyada hosil bo'lgan zarralar to'plami turlicha bo'lishi mumkin.

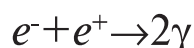
Juftlarning annigilyatsiyasiga, masalan, proton va antiprotonning pi-nol-mezonga aylanishi:



yoki proton va antiprotonning neytron hamda antineytronga aylanishi:

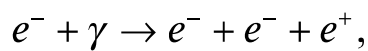


yoxud elektron va pozitronlarning fotonlarga aylanishi:

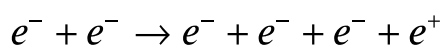


jarayonlari misol bo'la oladi.

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



ikki elektron o'zaro to'qnashganda:



elektron bilan pozitronning hosil bo'lishi misol bo'la oladi.

«Annigilyatsiya» so'zi «yo'qolish» ma'nosini anglatrsa ham, bunda materiya butunlay yo'qolmaydi, balki boshqa ko'rinishgagina o'tadi. Masalan, elektron bilan pozitronning annigilyatsiyasida γ -fotonning hosil bo'lishida materiyaning zarra ko'rinishi maydon ko'rinishiga aylanganini ko'ramiz.

Hozirgi vaqtda elementar zarralar fizikasida eksperimental ravishda annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishidan tashqari ko'pgina aylanish jarayonlari aniqlangan. Ularda biror elementar zarralar boshqalariga aylanadi.

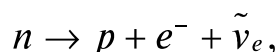
Atom yadrosi protonlar va neytronlardan tarkib topganini bilamiz; atom yadrosi tarkibiga boshqa hech qanday elementar zarralar kirmaydi.

Vaholanki, radioaktiv parchalanish natijasida yadrodan neytronlar va protonlardan tashqari yana α -zarralar, elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar ajralib chiqadi. α -zarralar

murakkab zarralar bo'lib, yadroning o'zida neytronlar va protonlardan hosil bo'ladi.

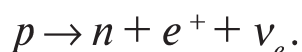
Elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar yadroda qayerdan paydo bo'lib qoladi, degan savol tug'iladi. Yadroda ular yo'q-ku. Demak, ular yadroning parchalanish jarayonida hosil bo'ladi.

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



bunda yana $\tilde{\nu}_e$ elektron antineytrinosi hosil bo'ladi.

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



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

Elementar zarralardagi barcha o'zgarishlar massa, energiya, impuls, impuls momenti, elektr zaryadining saqlanish qonunlariga qat'iy bo'ysunadi. Bundan tashqari yadro fizikasi va elementar zarralar fizikasida mavjud bir qator maxsus saqlanish qonunlari, shuningdek, massa va energiyaning o'zaro proporsionallik qonuni ham qat'iy bajariladi.

Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi mikrodunyoda yuz beradigan hodisalarning nihoyat darajada ko'p va xilma-xilligiga sababdir, shu bilan birga materiyaning xossalari bepoyon ekanligidan dalolat beradi.

114- §. Elementar zarralar sinflari

Yadro reaksiyalarini va yuqori energiyali zarralarning o'zaro ta'sirini o'rganish bo'yicha o'tkazilgan juda katta tadqiqot ishlari natijasida olingan eksperimental ma'lumotlar to'plami hozirgi vaqtgacha ma'lum bo'lgan elementar zarralarni tegishli sinflarga ajratishga imkon berdi.

Barcha elementar zarralar tinch holatdagi m_0 massalarining ketma-ket ortib borishi tartibida va ularning bir qancha umumiy xususiyatlarini e'tiborga olgan holda to'rtta sinfga ajratiladi (jadvalga qarang. Rezonanslar jadvalga kiritilmagan):

1. Fotonlar ($m_0=0$).
2. Leptonlar yoki yengil zarralar ($0 < m_0 < m_e$).

3. Mezonlar yoki oʻrta ogʻirlikdagi zarralar ($m_e < m_o < m_p$).

4. Barionlar yoki ogʻir zarralar ($m_p < m_o < m_d$).

Bu yerda m_e, m_p va m_d mos ravishda elektron, proton va deytron (ogʻir vodorod yadrosi ${}^2_1\text{H}$) ning tinch holatdagi massalari. Barionlar, oʻz navbatida, yana nuklonlar va giperonlarga boʻlinadi.

Tau-mezonning koʻp xossalari leptonlar xossalariga yaqin boʻlgani sababli, u ogʻir zarra boʻlsa ham leptonlar sinfiga kiritilgan. Jadvalda keltirilgan barcha zarralarning baʼzi xarakteristikalarini berilgan: zarralarning massasi (elektronning tinch holatdagi massasi birligida):

Jadval

@fizikaOnline

Zarralarning nomi		zarra	anti-zarra	Massasi, elektron massasi hisobida	Elektr zaryadi, e hisobida	Oʻrtacha yashash vaqti, sekundlarda	Spini \hbar birligida	
Foton		γ	γ	0	0	stabil	1	
Leptonlar	Elektron neytrinosi	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	stabil	1/2	
	Myu-mezon neytrinosi		$\bar{\nu}_\mu$	0	0	stabil	1/2	
	Tau-mezon neytrinosi	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	stabil	1/2	
	Elektron	e^-	e^+	1	- 1	stabil	1/2	
	Myu-minus-mezon	μ^-	μ^+	206,7	- 1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	1/2	
	Tau-minus-mezon	τ^-	τ^+	352,8	- 1	$2,8 \cdot 10^{-13}$	1/2	
Mezonlar	Pi-nol-mezon	π^0	π^0	264,1	0	$0,8 \cdot 10^{-16}$	0	
	Pi-plus-mezon	π^+	π^-	273,1	+1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	0	
	Ka-plus-mezon	κ^+	κ^-	966,4	+1	$1,22 \cdot 10^{-8}$	0	
	Ka-nol-mezon	κ^0	$\bar{\kappa}^0$	974,2	0	$1 \cdot 10^{-10}$	0	
	Eta-nol-mezon	η^0	$\bar{\eta}^0$	1074	0	10^{-19}	0	
Barionlar	Nuklonlar	Proton	p	\bar{p}	1836,1	+1	stabil	1/2
		Neytron	n	\bar{n}	1838,6	0	$1,01 \cdot 10^3$	1/2
	Giperonlar	Lyambida-nol-gi peron	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2183	0	$2,5 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Sigma-plus-gi peron	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327,7	+1	$8,1 \cdot 10^{-11}$	1/2
		Sigma-nol-gi peron	Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2331,8	0	10^{-14}	1/2
		Sigma-minus-gi peron	Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2340,6	-1	$1,65 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Ksi-nol-gi peron	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	2572	0	$3 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Ksi-minus-gi peron	Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	2585	-1	$1,75 \cdot 10^{-10}$	1/2
		Omega-minus-gi peron	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	3273	-1	$1,5 \cdot 10^{-10}$	3/2

elementar zaryadi (e elementar zaryad birligida); spini (\hbar birligida, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h — Plank doimiysi); o‘rtacha yashash vaqti (sekundlarda) ifodalangan.

Shuni qayd etib o‘tish kerakki, elementar zarralar jadvalda keltirilgan kattaliklardan tashqari yana bir qator kattaliklar bilan ham xarakterlanadi. Masalan, barionlarga **barion zaryadi**, leptonlarga **lepton zaryadi** mansub deb hisoblanadi. G‘alati zarralarning g‘alati xossalarini tavsiflash uchun **g‘alilik** kvant soni kiritilgan va hokazo.

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

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

jarayonini barion zaryadining saqlanish qonunidan tashqari barcha saqlanish qonunlari taqiqlamaydi. Bu jarayonning ketishini faqat barion zaryadining saqlanish qonuni taqiqlaydi, aks holda bu jarayon atomlarning annigilyatsiyasiga olib kelar edi.

Shuningdek, leptonlar bilan bo‘ladigan jarayonlarda lepton zaryadining saqlanish qonuni bajariladi. G‘alilikning saqlanish qonuni esa g‘alati zarralarning yakka holda paydo bo‘lishini taqiqlaydi.

Takrorlash uchun savollar

1. *Elementar zarra nima?*
2. *Qanday elementar zarralarni bilasiz?*
3. *Atrofimizdagi butun moddiy olam qanday zarralardan tarkib topgan? Biz-chi?*
4. *Nima uchun kaonlarni va giperonlarni «g‘alati» zarralar deyiladi?*
5. *Foton ham zarrami? U qanday kashf qilingan?*
6. *Elementar zarralarni xarakterlovchi asosiy kattaliklarni ayting va tushuntiring.*
7. *«Antizarralar» qanday zarralar?*
8. *Absolyut neytral zarralar deganda qanday zarralar nazarda tutiladi? Ularga qaysi zarralar kiradi?*
9. *Pozitron qanday kashf qilingan?*
10. *Antideytron qanday zarralardan tarkib topgan? Antigeliy-chi?*
11. *Zarralarning o‘rtacha yashash vaqti deganda nima tushuniladi?*
12. *Zarralarning annigilyatsiyasi qanday jarayon? Misollar keltiring.*

13. *Juftlarning hosil bo'lishi qanday jarayon? Misollar keltiring.*
14. *Elementar zarralarning o'zaro aylanishiga asoslanib radioaktiv yemirilishda yadrodan neytrino yoki antineytrino va elektron yoki pozitronlarning uchib chiqishini qanday tushuntirish mumkin?*
15. *Elementar zarralar qanday sinflarga bo'linadi?*
16. *Barqaror zarralarga qaysi zarralar kiradi?*

115- §. Elementar zarralarning kvark modeli. Glyuonlar

Yuqoridagi paragraflarda qayd etilganidek, hozirgi vaqtga kelib elementar zarralarning soni ko'payib ketdi. Bundan tashqari elementar zarralar bir qator kattaliklar bilan xarakterlanadi. Bundan elementar zarralarning elementarligiga shubha tug'ila boshlandi: olimlar zarralarning hammasi ham birday me'yorda elementar emas, degan fikrga kela boshladilar. Yuksak energiyali elektronlarning vodorod va deyteriy yadrolarida sochilishi bo'yicha o'tkazilgan eksperimentlar natijalariga asoslanib, elementar zarralar ham atomlar kabi murakkab tuzilishga ega, degan xulosaga kelindi.

1964- yilda bir-biridan mustaqil ravishda amerikalik fiziklar M. Gell-Mann va J. Sveyglar tomonidan yadroviy o'zaro ta'sirda qatnashuvchi barcha zarralar (ularni **adronlar** deb ataladi) yanada fundamental (birlamchi) zarralar — **kvarklardan** tuzilgan, degan gipoteza o'rtaq tashlandi. Dastlab uchta kvark va ularga mos uchta antikvarkning mavjudligi haqida gipoteza oldinga surildi. Keyinchalik hamma adronlarni tavsiflash uchun uchta kvark va uchta antikvark yetarli emasligi ma'lum bo'ldi.

1974- yilda yangi turdagi kvark va antikvarkdan iborat psi-mezonlar kashf etildi. Bu to'rtinchi kvark bo'lib, unga **maftun kvark** degan nom berildi. 1977- yilda kvark va beshinchi turdagi antikvarklardan iborat ipsilon-mezonlar kashf etildi. Yangi kvark **go'zal kvark** nomini oldi. Oltinchi kvarkdan tashkil topgan elementar zarra hali qayd qilinmagan. Lekin bu zarrani qidirish bo'yicha ko'pgina ishlar olib borilmoqda.

Kvarklarning elektr zaryadi e elementar zaryaddan kichik. Antikvarklarning elektr zaryadi esa kvarklarnikidan faqat ishorasining teskariligi bilan farqlanadi. Barcha kvarklarning spini \hbar birligida $\frac{1}{2}$ ga teng. Kvarklar spindan tashqari «**xid**» («**aromat**») va «**rang**»ga

ega. Har bir kvark shartli ravishda «qizil», «ko‘k» va «sariq» deb ataladigan uch «rang»li (antikvarklar mos ravishda «antiqizil», «antiko‘k» va «antisariq» uch «antirang»li) holatlardan birida bo‘lishi mumkin.

«Kvarklarning rangi» tushunchasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri tushunish kerak emas, bu atamalar qulaylik uchun kiritilgan bo‘lib, optik xossalarga aloqasi yo‘q — barcha uch «rang»li holat yorug‘lik kvantlarini bir xilda yutadi va chiqaradi. Barcha «rang»li holatlarning massasi ham qat’iy bir xil.

Har bir kvark turini «*kvark aromati*» deyiladi. Demak, kvarkning oltita aromati mavjud ekan. Har xil aromatlil kvarklarning xossalari turlicha, shuning uchun ular massalari ortib borishi tartibida har xil harflar bilan belgilanadi: u, d, s, c, b, t . d -, s - va b - kvarklarning elektr zaryadlari e elementar zaryad birligida $-\frac{1}{3}$ ga teng, qolgan u -, c - va t - kvarklarning zaryadi $+\frac{2}{3}$ ga teng.

1969- yilda J.Sveyg adronlarning kvark modelini tavsiya qildi. Bu modelga ko‘ra barionlar uchta kvarkdan, shunga mos ravishda antibarionlar uchta antikvarkdan tuzilgan. Masalan, proton ikkita u -kvarkdan va bitta d -kvarkdan ($p= uud$), antiproton esa ikkita \tilde{u} -antikvarkdan va bitta \tilde{d} -antikvarkdan ($\tilde{p} = \tilde{u}\tilde{u}\tilde{d}$) tarkib topgan. Mezonlar kvark va antikvarklardan tarkib topgan. Masalan, π^+ -mezon u -kvarkdan va \tilde{d} antikvarkdan ($\pi^+ = u\tilde{d}$), π^- -mezon esa d -kvarkdan va \tilde{u} -antikvarkdan ($\pi^- = d\tilde{u}$) tuzilgan.

Ko‘p (qariyb 20) yillik izlanishlarga qaramay hech bir kvark, xoh yengili, xoh og‘iri hali biror marta erkin holda kuzatilmagan. Kvarklarni faqat adronlar ichida kuzatish mumkin. Kvarklar orasidagi o‘zaro ta’sir g **glyuonlar** («yelim» ma’nosidagi ingliz so‘zidan) vositasida amalga oshiriladi. Glyuonlar — kvarklar rangini tashuvchi va kuchli o‘zaro ta’sirni amalga oshiruvchi zarralardir.

Bir «rang»li kvark o‘zidan glyuon chiqarib, boshqa «rang»li kvarkka aylanishi mumkin. Glyuonlar va kvarklar nazariyasiga **kvant xromodinamikasi** deyiladi. Bu nazariyaga ko‘ra rang tashuvchi 8 ta turli glyuon mavjud ekan. Glyuonlar adronlarning paydo bo‘lishi va yo‘qolishi reaksiyalarining oraliq bosqichlarida namoyon bo‘ladi. Eksperimentda glyuonlar hosil qilgan adron oqimlari qayd etilgan. Kvarklar va glyuonlar nazariyasi bashorat qilgan barcha narsalar

tajriba natijalariga mos tushganligi sababli glyuonlarning mavjudligiga deyarli shubha yo‘q.

Shunday qilib, hozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra adronlar haqiqiy elementar zarralar hisoblanmaydi. Ular chekli o‘lcham va murakkab tuzilishga ega. Leptonlar ham, kvarklar ham ichki strukturaga ega emas. Bu ma‘noda leptonlar va kvarklar haqiqiy elementar zarralar deb hisoblanishi mumkin. Ularga yana elektromagnit maydon kvanti — fotonni, kvarklararo maydon zarralari — glyuonlarni va, nihoyat, kuchsiz o‘zaro ta‘sir (116- § ga qarang) maydonining kvantlari — *vektor* (yoki *oraliq*) *bozonlarni* qo‘shimcha qilish kerak.

116- §. Elementar zarralarning o‘zaro ta‘sir turlari. Fizikaviy ta‘sir turlarining birlashgan nazariyasi haqida tushuncha

Hozirgi vaqtda elementar zarralar orasida ta‘sir qiladigan va shu bilan tabiatdagi barcha hodisalarni belgilab beradigan kuchlarning to‘rt turi mavjud. Bular gravitatsion, elektromagnit, kuchsiz va kuchli o‘zaro ta‘sir kuchlari.

1. **Gravitatsion o‘zaro ta‘sir.** Bu ta‘sir hamma elementar zarralar uchun universal xarakterga ega. Gravitatsion o‘zaro ta‘sir gravitonlar vositasida uzatiladi. Ta‘sir doirasining radiusi cheksiz katta ($r \approx \infty$), ta‘sir vaqti $t \approx 10^9$ yil. Elementar zarralar uchun gravitatsion o‘zaro ta‘sir shunchalik sustki, bu ta‘sirning yadro fizikasi va elementar zarralar fizikasida sezilarli roli yo‘q.

2. **Elektromagnit o‘zaro ta‘sir.** Bu ta‘sirda elektr zaryadga ega barcha zarralar ishtirok etadi. Elektromagnit o‘zaro ta‘sir fotonlar vositasida uzatiladi. Yadroda protonlarning kulon itarilishi, elektron-pozitron juftlarining annigilyatsiyasi va hosil bo‘lishi va shu kabi jarayonlarni elektromagnit o‘zaro ta‘sir bilan tushuntiriladi. Elektromagnit o‘zaro ta‘sirning ta‘sir vaqti $10^{-21} \div 10^{-18}$ s, ta‘sir doirasining radiusi cheksiz katta ($r \approx \infty$).

3. **Kuchli o‘zaro ta‘sir.** Bunday ta‘sirda mezonlar va barionlar ishtirok etadi. Kuchli o‘zaro ta‘sirda bo‘ladigan elementar zarralarni adronlar deb ataladi (adronlarga rezonanslar ham kiradi). Atom yadrosi nuklonlari orasidagi yadro kuchlari, yuqori energiyalarda o‘tadigan yadroviy ta‘sirlarda mezonlarning hosil bo‘lish jarayonlari kuchli o‘zaro ta‘sirga misol bo‘la oladi. Yadroda nuklonlarni, adronlar ichida kvarklarni kuchli o‘zaro ta‘sir glyuonlar vositasida

biriktirib turadi. Bunday ta'sirning vaqti $10^{-23} \div 10^{-22}$ s, ta'sir doirasining radiusi $r \approx 10^{-15}$ m.

4. **Kuchsiz o'zaro ta'sir.** Kuchsiz o'zaro ta'sirda fotonlardan tashqari barcha elementar zarralar ishtirok etadi. Kuchsiz o'zaro ta'sir turli xil kvarklar orasidagi o'tishlarni yuzaga keltiradi, xususan, yadrolarda nuklonlarning β -yemirilishini aniqlaydi. β -yemirilishda nuklonni tashkil qilgan uchta kvarkdan bittasi boshqa tur kvarkka o'tadi va elektronlar hamda antineytrinoni nurlaydi. Kuchsiz o'zaro ta'sir, shuningdek, turli xil leptonlar orasidagi o'zaro o'tishlarni, masalan, myuonning elektron, neytrino va antineytrinoga yemirilishini keltirib chiqaradi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir ham, kuchli o'zaro ta'sir kabi juda yaqin masofada ($r \approx 10^{-18}$ m) ta'sir qiladi, ta'sir vaqti 10^{-9} s. Kuchsiz o'zaro ta'sir protondan 100 marta og'irroq o'ta massiv zarralar — **oraliq bozonlar** yoki **vektor bozonlar** deb ataladigan zarralar vositasida uzatiladi. Bu zarralar 1983- yilda Bern (Shveytsariya)da ulkan energiyaga ega bo'lgan o'zaro uchrashuvchi proton va antiproton dastalarida kashf etilgan.

Shunday qilib, tabiatdagi o'zaro ta'sirlar maxsus zarralar almashinishi bilan sodir bo'ladi. Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashuvida ishtirok qiladigan oraliq zarralarga **virtual zarralar** deyiladi.

Fizikaviy o'zaro ta'sirlarning zarralar vositasida almashinish xarakteri ularning **birlashgan nazariyasini** yaratish imkoniyatini beradi. Hozirgi vaqtda fizik olimlar tabiat kuchlari orasidagi bog'lanishni aniqlashga harakat qilmoqdalar.

1958- yildayoq A.Salam kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarni birlashtirish haqidagi g'oyani ilgari surdi. 1967- yilda S. Vaynberg kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning yagona modelini tavsiya etdi. 1968- yili A. Salam S. Vaynbergdan mustaqil ravishda kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning birlashgan nazariyasini ishlab chiqdi. 1970- yilda esa Sh. Gleshou Vaynberg-Salam nazariyasini rivojlantirdi. Shu yo'sinda birlashgan nazariya — **elektr kuchsiz kuchlar nazariyasi** yaratildi. Bu nazariyani batamom isbot qilingan deb bo'lmaydi, biroq uning asosiy g'oyasi ko'p tajribalar bilan tekshirilgan. Bu g'oyaning mazmuniga ko'ra elektromagnit maydon yanada umumiyroq bo'lgan elektr kuchsiz maydonning bir qismidir.

Elektr kuchsiz maydon esa bir necha shakllar yoki komponentlardan iborat. Bu maydondagi barcha komponentlar elektromagnit maydondagidan to'rt marta ortiq. Elementar

zarralar — kvarklar va leptonlar elektr kuchsiz maydon kvantlari — fotonlar va vektor — bozonlarni nurlaydi va yutadi. Bozonlarning massasi elektr kuchsiz kuchlar nazariyasining hisoblariga juda mos keladi. Bu hol elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarning birligi to‘g‘risidagi yangi ishonarli dalil hisoblanadi. Kuchsiz kuchlarning ta’sir doirasi radiusi 10^{-18} m. Bu masshtabda ular elektromagnit kuchlar bilan qo‘shilib ketadi.

1972- yilda Sh. Gleshou G. Jorji bilan birga, 1973—1974-yillarda A. Salam kuchli, elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarni o‘z ichiga olgan **buyuk birlashish nazariyasini** tavsiya etdilar. Hozir olimlar bu masala ustida jadal ishlamoqdalar. Ko‘p gipotezalar ilgari surilgan. Ko‘pchilik gipotezalarga ko‘ra elektr kuchsiz ta’sirlar kuchli o‘zaro ta’sirlar bilan taxminan 10^{-32} m masofalarda qo‘shilib ketadi. Bunday kichik masshtablarda eksperiment o‘tkazish juda katta energiyani talab etadi. Hozircha tezlatkichlarda bunday energiyaga erishilganicha yo‘q.

A. Eynshteyn va V. Geyzenberglar o‘z vaqtida maydonning yagona birlashgan nazariyasi ustida ish olib borganlar. Eynshteyn elektromagnit o‘zaro ta’sir bilan gravitatsion o‘zaro ta’sirni birlashtirish mumkin ekanligini aytgan edi.

Endi elektromagnit, kuchli va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarni va, ehtimol, gravitatsion o‘zaro ta’sirlarning ham birlashishini nazarda tutsak, bu endi **superbirlashish** bo‘ladi, deb aytish mumkin. Tabiatning to‘rt kuchi qandaydir fundamental prinsipga asoslanib yagona kuchga keltiriladi.

Shunday qilib, fiziklar tabiatdagi barcha kuchlarning yagona birlashishini topishga intilmoqdalar. Bu sohada anchagina ishni qilishga ulgurdilar. Superbirlashish hali tajribada tekshirilmagan. Lekin uning muvaffaqiyatlari kelajakda materiyaning yagona nazariyasini yaratishga katta yo‘l ochgan bo‘lur edi.

117- §. Kosmik nurlar haqida tushuncha. Birlamchi kosmik nurlar

Kosmik fazodan Yerga juda katta energiyali zarralar oqimi kelishini ko‘pgina kuzatishlar ko‘rsatadi. Bu zarralar oqimini **kosmik nurlar** deb ataladi.

Kosmik nurlarning mavjudligi XX asrning boshlarida quruq havoning ionlanishini o‘rganishda payqalgan. Tajribalarning ko‘rsatishicha, zaryadlangan elektroskop qalin qo‘rg‘oshin g‘ilof ichiga

joylashtirilganligiga qaramay o'z zaryadini yo'qotadi. Bu hodisaning sababini o'rganish kelib chiqishi Yerdan tashqarida bo'lgan, kuchli o'tuvchanlik qobiliyatiga ega ionlashtiruvchi nurlanishning mavjudligini aniqlashga olib keldi. Bu nurlanish Yerga kosmik fazodan kelishini avstriyalik olim V. Gess tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar tasdiqlaydi.

1912- yilda V. Gess har xil balandliklardagi ionlashtiruvchi nurlanishning intensivligini aniqlash maqsadida qayd qiluvchi asboblardan biri bilan jihozlangan havo sharini uchirdi. (Kosmik nurlarning intensivligi deganda, birlik yuzadan bir sekundda o'tayotgan zarralar soni — zarralar oqimining zichligi tushuniladi). Shar 5 km balandlikka ko'tarildi. Shunday balandlikda nurlanishning intensivligi dengiz sathidagiga qaraganda ancha kuchli ekanligi aniqlandi.

Gess bunday natijaga asoslanib, havoni ionlashtiruvchi nurlanishning manbaysi Yer atmosferasidan tashqarida bo'lishi kerak, degan xulosaga keldi. Keyingi tadqiqotlar bu xulosaning to'g'riligini to'la tasdiqladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kosmik nurlar ta'sirida havoning ionlanish intensivligi Yerning sutkalik aylanishiga bog'liq emas ekan. Bu hol kosmik nurlanish Yerga kosmik fazoning barcha yo'nalishdagi sohalaridan kelishini bildiradi.

Kosmik nurlarni tadqiq etishda 100- § da bayon etilgan zarralarni kuzatish va qayd etish usullaridan foydalaniladi.

Olam fazosidan Yer atmosferasiga kirib keladigan kosmik nurlarni birlamchi kosmik nurlar deb ataladi. Kosmik nurlarning har xil balandliklardagi va har xil geografik kengliklardagi tarkibini aniqlash maqsadida ko'p tadqiqotlar o'tkazilib, ancha ma'lumot to'plangan. Birlamchi kosmik nurlarning kimyoviy tarkibini o'rganish va tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Yer atmosferasi chegarasida birlamchi kosmik nurlar turli massa soniga ega va bitta nukloniga taxminan $10^9 \div 10^{20}$ eV tartibida energiya mos keladigan atom yadrolaridan tarkib topgan ekan. Shuningdek, 10^{13} eV dan kichik energiyali birlamchi kosmik nurlarning 90 foizi protonlardan, taxminan 9 foizi geliy atomi yadrolaridan va qolgan 1 foizi esa og'irroq (litiy, berilliy, bor, uglerod va hokazo, to zaryad soni $z = 41$ bo'lgan niobiy) elementlarining yadrolaridan iboratdir.

Birlamchi kosmik nurlarning kelib chiqishi haqida bir necha gipotezalar mavjud. Bu gipotezalar birlamchi kosmik nurlar energiyasi haqidagi ma'lumotlarga hamda radioastronomik ma'lumotlarga asoslanadi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlar o'ta yangi yulduzlarning chaqnashi (potrlashi)dan hosil bo'ladi, degan gipotezani haqiqatga

yaqinroq deb hisoblanadi. Galaktikamizda bir necha yuz yilda bir marta bo‘ladigan bahaybat portlash — o‘ta yangi yulduz paydo bo‘lishidir. Shu portlash paytida og‘ir element yadrolari yemirilib, protonlar, α -zarralar va boshqa yengil yadrolar — birlamchi kosmik nurlar hosil qiladi.

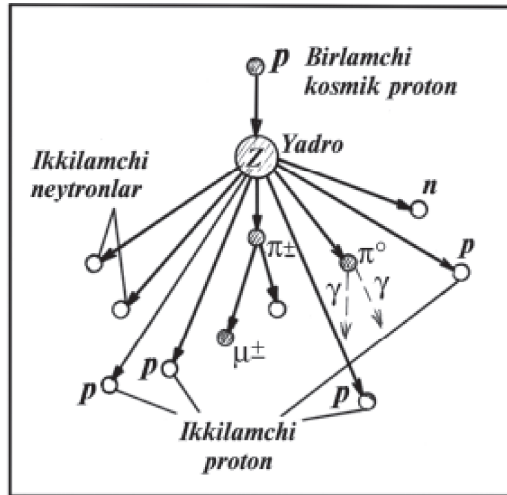
Kosmik nurlarning Yerga keltiradigan energiyasi uncha katta emas. Lekin birlamchi kosmik nurlarning ba’zi zarralari ulkan energiyaga ($10^{19}\div 10^{20}$ eV tartibida) ega. Shunga qaramay, ularning faqat oz qismigina Yer sirtiga yetib kela oladi. Bunga, birinchidan, Yerning magnit maydoni, ikkinchidan, Yer atmosferasi jiddiy to‘siq bo‘ladi. Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer magnit maydonida magnit kuch chiziqlariga ko‘ndalang ravishda harakat qilishida ularga harakat trayektoriyasini egrilovchi Lorens kuchi ta’sir qiladi. Past energiyali zarralarning trayektoriyasi kuchli egrilanadi, natijada magnit maydon bo‘lmagan taqdirda Yerga yetib kelishi mumkin bo‘lgan ayrim zarralar og‘adi, Yerga yetib kelishi mumkin bo‘lmagan zarralar Yerga tomon yo‘naladi, uchinchi xil zarralar esa Yer shari atrofida murakkab trayektoriya bo‘yicha aylanadi.

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

Gap shundaki, birlamchi kosmik nurlar Yer atmosferasiga kirganda atmosferaning yuqori qatlamlarida havoning azot va kislorod atomlari yadrolari bilan asosan noelastik to‘qnashib, o‘zining katta energiyasini yo‘qotadi. Bunday to‘qnashishlar yadro reaksiyalariga olib keladi, bu reaksiyalar natijasida yangi zarralar hosil bo‘ladi.

118- §. Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar

Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer atmosferasidagi havo atomlari yadrolari bilan o‘zaro to‘qnashishi tufayli sodir bo‘ladigan yadro reaksiyalari natijasida **ikkilamchi kosmik nurlar** deb ataladigan zarralar oqimi vujudga keladi. Zarralarning bu oqimi tez protonlar, neytronlar, α -zarralar, π -mezonlar va yadrolarning bo‘laklaridan iborat. Ikkilamchi protonlar va neytronlar yangi yadrolar bilan to‘qnashib, yana yangi zarralar oqimini hosil qiladi. Yadroviy portlashning har keyingi bosqichida zarralar ko‘payaveradi — **kaskadli yadro quyuni** vujudga keladi.



221- rasm.

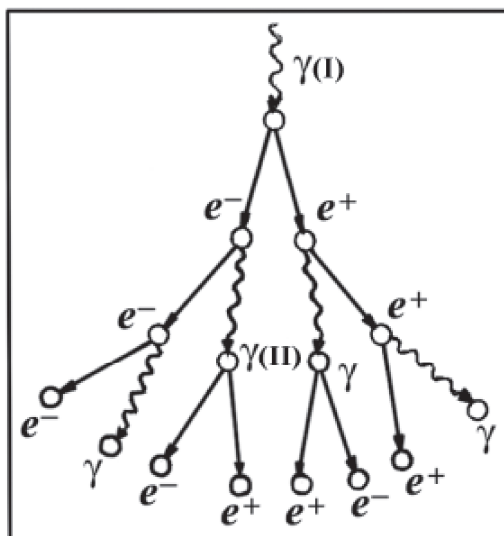
Ikkilamchi kosmik nurlarning paydo bo‘lish sxemasini 221-rasmdagidek tasvirlash mumkin. Yuqori energiyali birlamchi kosmik proton atmosfera atomi yadrosiga uchib kelib uriladi va uni p va n nuklonlarga bo‘lib yuboradi. Bunda bir vaqtda π^\pm va π^0 -mezonlar uchib chiqadi. π^\pm -mezonlar yemirilib, μ^\pm -mezonlarga, neytrino va antineytrinoga aylanadi:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu; \pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$$

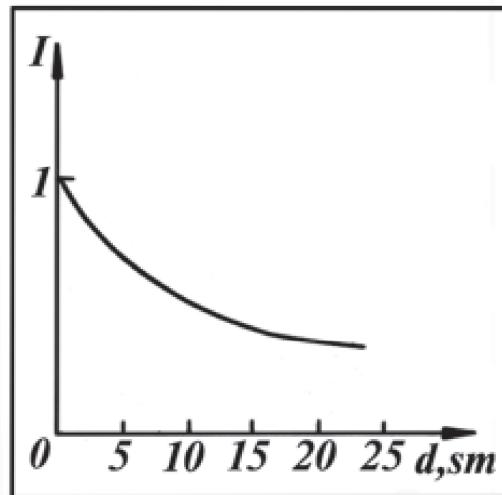
π^0 -mezonlar yemirilib, ikkita yuqori energiyali γ -fotonga ajraladi:

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma.$$

Ikkilamchi kosmik nurlarning ko‘payishidagi eng muhim hodisalardan biri kaskadli **elektron-pozitron-foton quyunining** hosil bo‘lishidir (222- rasm). Yuqori energiyali γ -foton (I) biror



222- rasm.



223- rasm.

atmosfera yadrosi bilan o‘zaro ta’sirlashib, elektron-pozitron juftini yuzaga keltiradi. Hosil bo‘lgan bu zaryadlangan zarralar jufti ularni yuzaga keltirgan γ -foton harakati yo‘nalishida harakatlanadi. Paydo bo‘lgan elektron va pozitronning energiyasi juda katta. Ular atmosferada tormozlanganda yuzaga kelgan γ -foton(II) ham yadro yaqinidan o‘tayotganda ular bilan ta’sirlashib, yana elektron va pozitron juftini hosil qiladi va hokazo. Boshlang‘ich fotonning energiyasi juda katta ($10^8 \div 10^{10}$ eV) bo‘lgani uchun ikkilamchi zarralarning bir necha avlodi paydo bo‘ladi, natijada ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli elektron-foton quyuni (elektromagnit kaskad) yuzaga keladi.

Ikkilamchi kosmik nurlar kuchli o‘tuvchanlik qobiliyatiga ega. Ikkilamchi kosmik nurlarning o‘tuvchanlik qobiliyatini o‘rganish uchun ularni turli qalinlikdagi qo‘rg‘oshin qatlami orqali o‘tkazib, so‘ng intensivligi o‘lchanadi. 223- rasmda shunday o‘lchashlar natijasi tasvirlangan, bunda $d=0$ da kosmik nurlarning intensivligi 1 ga teng qilib olingan. d qatlamning 0 dan $10 \div 13$ sm gacha qalinliklarida ikkilamchi kosmik nurlarning intensivligi tez kamayib ketadi, qalinlikning keyingi ortib borishida esa intensivlik amalda o‘zgarmay qoladi.

Shunga bog‘liq holda ikkilamchi kosmik nurlarning **yumshoq komponenti** va **qattiq komponenti** deb ataladigan ikki tarkibiy qismi haqida gap yuritiladi. Ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq komponenti qo‘rg‘oshinda kuchli yutiladi. Bu komponentga zaryadlangan yengil zarralar — elektronlar va pozitronlar, shuningdek, fotonlar kiradi. Kosmik nurlarning qattiq komponenti qo‘rg‘oshinda katta o‘tuvchanlik qobiliyatiga ega, u 10 sm

qalinlikdagi qo'rg'oshindan bemalol o'ta oladi. Nuklonlar, mezonlar kosmik nurlarning qattiq komponentini tashkil etadi. Bularning ichida μ -mezonlarning energiyasi juda katta va yashash vaqti ham katta. Shuning uchun μ -mezonlar Yer sirtigacha, hatto Yerga ancha chuqurlikkacha, dengiz, okean tubigacha kirib boradi.

Kosmik nurlarni tadqiq qilish energiyasi 10^{19} eV gacha bo'lgan o'ta yuqori energiyali zarralar bilan bo'ladigan jarayonlarni o'rganishga imkon beradi. Bunday zarralarning modda bilan to'qnashishida, asosan, yangi yadro reaksiyalari vujudga keladi, ularni o'rganish yadrolarning xossalari va elementar zarralar to'g'risidagi bilimlarimizni chuqurlashtiradi, moddalarning tuzilishi, yadro kuchlarining tabiati va koinot haqidagi tushunchalarimizni boyitadi. Kosmik nurlarning asosiy ilmiy ahamiyati ham xuddi shunda. Ko'pchilik elementar zarralar birinchi marta kosmik nurlarda kashf qilinganligi haqida gapirilgan edi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlarning tarkibida barcha elementar zarralar borligi aniqlangan.

XX asrning o'rtalaridayoq o'zbek olimlari akademik S. A. Azimov rahbarligida kosmik nurlarni tadqiq eta boshladilar va kosmik nurlar fizikasining rivojlanishiga salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar.

S.A. Azimov va uning shogirdlari tomonidan 1948- yilda kosmik nurlarning myu-mezonlar bilan muvozanatda bo'lmagan yumshoq elektron-foton komponentlari va nuklonlar vujudga keltiradigan elektron-yadro quyunlari kashf etildi. Kosmik nurlar zarralarining o'zaro ta'sirini tadqiq qilish maqsadida baland (Pamir) tog' ustida noyob qurilma o'rnatildi. Bu qurilmada zarralarning ko'pligi haqida, burchak va energiya bo'yicha taqsimlanishi haqida olingan asosli natijalar zarralarning yadrolar bilan o'zaro ta'siri haqidagi hozirgi zamon tasavvurlarining shakllanishida, adronlarning kvark strukturasi namoyon qilishda muhim rol o'ynadi. O'zbek kosmik olimlari birinchilar qatorida pionlarning yadrolarda noelastik difraksiyaning jarayonlarini muntazam o'rganib bordilar va 1966-yilda ular tomonidan kashf etilgan protonlarning difraksion dissotsiatsiyasi jarayoni jahon olimlari tomonidan tan olindi.

Hozirgi vaqtda S.A. Azimov tomonidan yuqori energiyalar fizikasi sohasida tashkil etilgan ilmiy maktab kosmik nurlarni o'rganish bo'yicha o'z tadqiqotlarini davom ettirmoqda.