

А. БОЙДЕДАЕВ

ТАБИАТ КУЧЛАРИ ВА ОЛАМ ЭВОЛЮЦИЯСИ

*Ўзбекистон Республикаси Халқ таълими
вазирлиги педагогика институтларининг талабалари
учун тавсия этган*

ТОШКЕНТ «УЎҚИТУВЧИ» 1996

Тақризчилар: Физика-математика фанлари номзоди
Орифжонов С. Б.

Педагогика фанлари номзоди, доцент
Мамадазимов М.

Оламнинг қачон пайдо бўлганлиги унинг бошланиши ва эволюцияси (тараққиёти) ҳамда охири ҳақидаги муаммолар инсониятни азалдан қизиқтириб келади. Ҳозирги замон мактаб ўқувчиларини, ўқитувчиларини, талабаларини, умуман зиёлиларнинг бир қанчасини ҳам бу муаммолар қизиқтириши табиийдир. Бу муаммоларни тушуниш элементар зарралар физикасидан хабардор бўлишни тақозо этади.

Ушбу китобчада элементар зарралар физикаси ва Олам манзарасига тегishли баъзи масалалар илмий-оммабоп тарзда ёритилди, шунингдек «Сингулярлик», «Катта Портлаш» муаммоларига тааллуқли муаллифнинг шахсий нуқтаи назари келтирилди.

Б $\frac{1605070000-216}{353(04)-96}$ 116—94

© «Ўқитувчи» нашриёти, Т., 1996 й.

ISBN 5—645—02157—6

Биринчи боб. АСОСИЙ ЎЗАРО ТАЪСИР ТУРЛАРИ

Кириш

Табиатда, жумладан, атом, атом ядроси ва элементар зарралар физикасида учрайдиган жараёнларда номён бўладиган асосий ўзаро таъсирлар: гравитация, электромагнит, заиф (кучсиз) ва кучли ўзаро таъсирлар ва уларнинг назарияси ҳамда бунинг Олам эволюцияси ва айниқса, унинг энг аввалги даврларда ривожланишига тааллуқли томонларини мактаб ўқувчилари, ҳатто олий мактабнинг табиий фанлар бўйича таълим олаётган талабалари ҳам ҳар доим тушуниб етавермайдилар. Уларга ёрдам сифатида ушбу рисола тақдим этишни лозим топдик.

Оламнинг энг аввалги эраларига тегишли баъзи бир янги фикрлар айтилгани муносабати билан бу рисола мутахассислар, файласуфлар ва бундай муаммога қизиқувчилар учун фойдали бўлиши мумкин.

Қўлингиздаги рисоланинг асосий мазмуни Низомий номидаги Тошкент Давлат Педагогика институтининг физика факультети қошидаги «Билишга интилиш» методология семинарининг 1989 ва 1990 йиллардаги машғулотларида муаллиф томонидан қилинган маърузаларда баён этилган.

1. Фундаментал элементар зарралар

Ҳозирги вақтдаги маълум бўлган барча элементар зарралар, уларнинг бир-бирига айланиши, улар орасидаги ҳар хил реакциялар, улардан ташкил топган объектлар, жумладан Олам ва унинг эволюцияси, уни ташкил этган юлдузлар ва галактикаларнинг ҳаракати—буларнинг ҳаммаси тўртта асосий (фундаментал) ўзаро таъсир—гравитация, электромагнит, заиф (кучсиз) ва кучли ўзаро таъсир орқали бошқарилади.

Ҳозирги замон илмий тасаввурларига кўра, бу тўртта фундаментал ўзаро таъсир элементар зарралар томонидан алмашилиб турадиган зарралар туфайли содир

бўлади. Ана шу ўзаро таъсирларни содир қиладиган ташувчи зарралар *оралиқ бозонлар* дейилади.

Асосий ўзаро таъсирларни баён этишдан аввал фундаментал элементар зарралар ҳақида қисқача тўхталиб ўтайлик.

Ҳозирги замонда маълум бўлган элементар зарралар (улар 400 га яқин) асосан икки гуруҳга: адронларга (юнонча *hadros* — катта, кучли) ва лептонларга (юнонча *leptos* — нозик, енгил) бўлинади. Лептонлар гуруҳини электрон e^- ва позитрон e^+ ; мюон ва антимюон μ^- , μ^+ ; таон ва антитаон τ^- , τ^+ ; электрон нейтриноси ν_e ва антинейтриноси $\bar{\nu}_e$, мюон нейтриноси ν_μ ва антинейтриноси $\bar{\nu}_\mu$; таон нейтриноси ν_τ ва антинейтриноси $\bar{\nu}_\tau$ ташкил этади (1-жадвалга қаранг).

Лептонлар

1-жадвал

Зарралар	Антизарралар	Тинчликдаги масса, МэВ	Спин	Яшаш вақти, с
e^-	e^+	0,51	1/2	қарорли, стабил
ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	1/2	қарорли, стабил
μ^-	μ^+	105,66	1/2	$2,20 \cdot 10^{-6}$
ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	1/2	қарорли, стабил
τ^-	τ^+	1784	1/2	$4,10^{-13}$
ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	1/2	қарорли, стабил

Лептонлар. Кучли ўзаро таъсирда иштирок этмайдиган фермионлар (яъни спинлари яримли бўлган зарраларни) *лептонлар* дейилади. Лептонлар қуйидаги лептон заряд L га эга бўлади: электрон e^- ва электрон нейтриноси ν_e учун $L_e = 1$, позитрон e^+ ва электрон антинейтриноси $\bar{\nu}_e$ учун $L_e = -1$, мюон μ^- ва мюон нейтриноси ν_μ учун $L_\mu = 1$; мюон μ^+ ва мюон антинейтриноси $\bar{\nu}_\mu$ учун $L_\mu = -1$, таон τ^- ва таон нейтриноси ν_τ учун $L_\tau = 1$, таон τ^+ ва таон антинейтриноси $\bar{\nu}_\tau$ учун $L_\tau = -1$.

Лептонларнинг барион заряди (сони) нолга тенг.

Манфий зарядланган лептонлар фақат ($\lambda = -1/2$ спиралли) «чап» нейтринога, мусбат зарядланган лептонлар фақат ($\lambda = 1/2$ спиралли) «ўнг» нейтринога айланади.

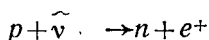
Ўнг нейтриноларни чап нейтринога нисбатан антизарра дейилади.

Лептонлар 12 та, улар қарорли (стабил) ёки яшаш вақтлари нисбатан узоқ (мюон ва таонлар учун); ҳозирги замон назариясига кўра, лептонлар ички тузилишга эга бўлмаган нуқтавий зарралар деб қаралади. Шу сабабли уларни ҳақиқий ёки фундаментал элементар зарралар дейилади.

Нейтрино ва унинг массаси. Нейтрино космология фани учун муҳим аҳамиятга эга. Шунинг учун қисқача маълумот бериш мақсадга мувофиқ бўлади.

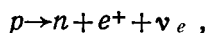
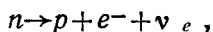
Швейцариялик олим В. Паули 1930 йилда нейтрино мавжудлигини назарий башорат қилди. 1932 йилда Италия олими Э. Ферми заррага нейтрино номини берди.

1953—56 йилларда америкалик олимлар Ф. Рейнес, К. Коуэн ядро реакторидан келаётган антинейтриноларни протонлар томонидан ютилиши натижасида нейтрон ва позитронлар пайдо бўлишини ва демак, қуйидаги реакция

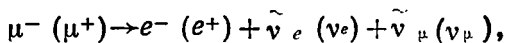


асосида электрон антинейтриносининг мавжудлигини кузатдилар. Шу йиллари нейтрино ва антинейтрино ҳар хил зарралар эканлиги ҳам тажрибада исбот қилинди.

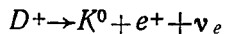
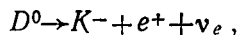
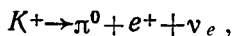
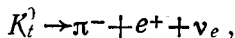
Ядронинг β -емирилиши



мюоннинг емирилиши



мезонларнинг емирилиши



электрон нейтриносининг манбаларидир.

1957 йилда бир-бирдан беҳабар рус олими М. А. Марков, америкалик олим Ю. Швингер, япониялик олим К. Нишижима мюон нейтриноси мавжудлигига назарий асос келтирдилар.

1962 йилда Л. Ледерман раҳбарлигида (Брукхэйвенд,

АҚШ) мюон нейтриноси тажрибада кузатилди. * 1963 йили ядро тадқиқотлар Европа марказида (ЦЕРН, Женева) қилинган тажриба мюон нейтриноси мавжудлигини қайта тасдиқлади.

Мюон, пион ва K мезонларнинг емирилиши

$$\begin{aligned}\mu^+ &\rightarrow e^+ \nu_e + \bar{\nu}_\mu \\ \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ K^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ K^0 &\rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu\end{aligned}$$

мюон нейтриносининг манбаларидир.

Шундай қилиб, бир-биридан фақат массалари билангина фарқли бўлган электрон (ва унинг нейтриноси), мюон (ва унинг нейтриноси) табиатга нима учун керак бўлиб қолди экан, деб олимларнинг боши қотиб турган бир пайтда яна бир «сюрприз» (туҳфа) инъом этилди.

1975 йилда М. Перл раҳбарлигида (Стенфорд, АҚШ) электрон ва мюондан фақат массаси билангина фарқ қиладиган τ лептон ($m_\tau \approx 1,8\text{ГэВ}$, яъни иккита протон массасига яқин) тажрибада кузатилди. Шу билан бирга τ лептонга мос ν_τ нейтрино ҳам киритилди.

ν_τ нейтрино таоннинг қуйидаги емиришларида

$$\begin{aligned}\tau^- &\rightarrow \pi^- + \nu_\tau & \tau^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\tau \\ \tau^+ &\rightarrow \pi^+ + \nu_\tau & \tau^+ &\rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\tau\end{aligned}$$

туғилиши мумкин.

Нейтринонинг тинчликдаги массаси m_ν ни аниқлаш муҳим муаммодир. Бу муаммонинг ҳал қилиниши айниқса космология учун жуда катта аҳамиятга эга.

* Жуда катта аҳамиятга эга бўлган бу кашфиёт учун америкалик физиклар Леон Ледерман, Мелвин Шварц ва Жек Стейнбергер) 1988 йилда Нобель мукофотига сазовср бўлдилар.

Мюон нейтринсининг тажрибада тасдиқланиши лептонларнинг дублет характерли эканлигини аниқлади. Бу эса 1975 йилда кашф этилган τ мезон (таон) ни шу лептонлар гуруҳига киритишга имкон берди. Лептонларнинг дублет қурилиши электромагнит ва заиф ўзаро таъсирларининг умумлаштирувчи элза ўзаро таъсир назариясини яратиш учун асослардан бири бўлди; дублет ҳақидаги бу тасаввур фундаментал (асосий) зарралар — кваркларнинг ҳам дублет характерга эга дейишга ёрдам берди. Булар эса лептонлар ва кваркларнинг дублет структуралари орасида симметрия мавжуд деган фундаментал хулоса чиқаришга олиб келди. Бу хулоса электромагнит, заиф ва кучли ўзаро таъсирларнинг умумий назариясини яратиш учун асос бўлди. Ниҳоят, мюон нейтриносининг кашф этилиши нейтрино билан боғлиқ экспериментнинг ривожланишига ва бу эса адронларнинг кварклардан ташкил топганлигини тасдиқлашга олиб келди.

Ўтказилган тажрибалар электрон нейтриноси учун $14\text{эВ} < m_{\nu_e} < 46\text{эВ}$ (Москва, 1980 й), мюон нейтриноси учун

$m_{\nu_\mu} < 0,65\text{МэВ}$ (Беркли, АҚШ, 1974 й.)

$m_{\nu_\tau} < 0,52\text{МэВ}$ (Швейцария, 1979 й., Стенфорд, АҚШ, 1981 й.), таон нейтриноси учун $m_{\nu_\tau} < 250\text{МэВ}$ (Стенфорд, АҚШ, 1979 й.) натижаларни берди. Буюк бирлашув (синтез) назариясидан нейтринонинг тинчликдаги массаси нолдан фарқли эканлиги келиб чиқади. Аммо нейтринонинг тинчликдаги массаси m_ν нолдан фарқли эканлиги узил-кесил тасдиқланди дейишга ҳали тўла асос йўқ.

Олам эволюциясининг адрон эрасидан қолган $5 \cdot 10^{-4}\text{эВ}$ энергияли қолдиқ нейтриноларнинг ҳар бир хили $100\text{—}150$ жуфт/см³ зичлик билан бутун Оламни тўлдирган.

Ана шу нейтринолардан, ҳеч бўлмаганда бир хилининг массаси $10\text{—}30\text{эВ}$ орасида бўлса эди, уларнинг Оламдаги массаси Оламдаги қолган моддаларнинг массаларидан тахминан бир тартибга ортиқ бўларди. Бу эса космология фанида ва астрофизикада фундаментал хулосаларга олиб келарди. Масалан, Оламнинг ҳозирги замондаги кенгайиши маълум вақтдан кейин сиқилиш билан алмашиниши лозим бўлади, яъни Олам чексиз бўлмай, берк бўлади, галактика ва галактикаларнинг тўдаси нейтрино газини асосида тушунтирилиш имконияти туғилади.

Адронлар. Кучли ўзаро таъсирда иштирок этадиган ва ички тузилишга эга бўлган зарралар *адронлар* дейилади. Адронлар барионлар B ва мезонлар M гуруҳларидан иборат. Ярим спинли адронлар (яъни фермион бўлган адронлар) *барионлар* дейилади; бутун спинли адронлар (яъни бозон бўлган адронлар) *мезонлар* дейилади.

Барионлар гуруҳига атом ядросининг таркибини ташкил этган протонлар ва нейтронлар ҳамда фермион бўлган бошқа зарралар, мезонлар гуруҳига пи мезонлар (қисқача пионлар) π^+ , π^- , π^0 ва бозонлар бўлган бошқа зарралар киради (II-жадвалга қаранг).

1964 йилда америкалик олим М. Гелл-Манн ва ундан беҳабар ҳолда австралик олим Ж. Цвейг ўша вақтдаги маълум адронларни учта заррадан (уларни Цвейг тузлар, Гелл-Манн эса кварклар деб атадилар) иборат деб қарадилар. Бу учта заррани—кваркларни ҳозирги вақтда u (up — юқори), d ($down$ — паст, қуйи), s ($stron-$

Адронлар

II жадвал

Номи	белгиланиши тинчликдаги зарра антизарра массаси, МэВ			Яшаш вақти, с
1	2	3	4	5
Бариионлар				
протон	p	\tilde{p}	938,3	стабил $\tau > 6 \cdot 10^{32}$ йил
нейтрон	n	\tilde{n}	939,6	920
лямбда	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	1115,6	$2,6 \cdot 10^{-10}$
сигма	Σ^+	$\tilde{\Sigma}^-$	1189,4	$0,8 \cdot 10^{-10}$
	Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	1192,5	$6 \cdot 10^{-20}$
	Σ^-	$\tilde{\Sigma}^+$	1197,3	$1,5 \cdot 10^{-10}$
омега	Ω^-	$\tilde{\Omega}^+$	1672	$0,8 \cdot 10^{-10}$
Мезонлар				
пион	π^+	π^-	139,6	$2,6 \cdot 10^{-8}$
	π^0	$\tilde{\pi}^0$	135	$0,8 \cdot 10^{-16}$
каон	K^+	K^-	493,7	$1,2 \cdot 10^{-8}$
	K_s^0	\tilde{K}_s^0	497,7	$0,9 \cdot 10^{-10}$
	K_L	\tilde{K}_L^0	497,7	$57 \cdot 10^{-8}$
эта-мезон	η^0	$\tilde{\eta}^0$	584,8	10^{-18}

ge — ғалати) билан белгиланади* (III жадвалга қаранг).

Адронларнинг кварк моделига кўра, мезонлар M битта кварк q ва битта антикварк \tilde{q} дан тузилган, яъни $M = q\tilde{q}$. Масалан,

$$\pi^+ = d\bar{u}, \quad \pi^- = \bar{u}d.$$

Бариионлар B , жумладан, нуклонлар (протон p , нейтрон n) учта кваркдан тузилган, яъни $B = qqq$. Масалан,

$$p = uud, \quad n = udd.$$

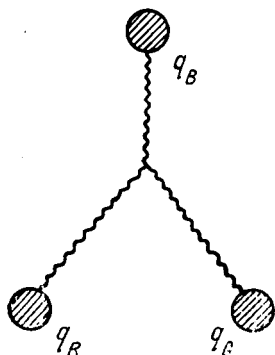
Адронларнинг тажрибада кузатиладиган спинлари келиб чиқиши учун ҳар бир кварк ярим спинга эга бўлиши зарур, яъни кварклар Ферми—Дирак статистикасига бўйсунуши лозим. Аммо бариион зарралар тузилишида бир ҳолатда бир хил кварклар бўлишлигини талаб

* Кварк (quark) сўзини М. Гелл-Манн ихтиро қилган. Кейинроқ у Жейм Жойснинг «Финнеган маъракаси» (Финнеганча маърака) романидаги «Мистер Марк учун учта кварк» дейилган иборадаги кварк (quark) сўзини кўриб қолиб, унга мослаган. Жойс эса бу сўзни quart (чорак, четвeртъ) сўзининг бузилган шакли сифатида қўллаган (қаранг: УФН, т. 161, № 12, 104-бет, 1991 й.).

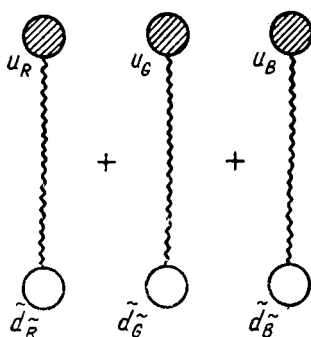
этилади. Бу эса Паули принципига зиддир, бошқача айтганда, бу ҳолатда кваркларни Бозе-Эйнштейн статистикасига бўйсунуши талаб этилади. (Мисол. Ω^- -гиперон бир хил ҳолатдаги учта S кваркдан иборат.) Бу зиддиятдан чиқиш йўлини биринчи бўлиб Н. Н. Боголюбов ҳамда бундан беҳабар ҳолда 1965 йилда америкалик олимлар Н. Намбу, М. Хан, кўрсатдилар. Улар ҳар бир кварк учта ҳар хил қиймат қабул қилиш мумкин бўлган янги квант сонга эга деган фикр айтдилар. Бу квант соннинг ҳар бир қийматини ранг деб аташ бошланди: қизил R (Red), яшил G (Green), кўк B (Blue), антикваркларга эса антиранг, масалан, антиқизил \bar{R} , антикўк \bar{B} , антияшил \bar{G} мос келади дейилди. Шундай қилиб, кварклар рангли зарралар, барионлар ва мезонлар эса рангли кварклардан ташкил топган рангсиз зарралардир. Масалан, учта рангли q_R, q_G, q_B кварклар «аралашмаси»дан рангсиз (оқ рангли) барион олинади (1-расм). Шунингдек, 3 хил рангли ва 3 хил антирангли икки кваркдан рангсиз мезон қурилади (2-расм).

Тажрибада кузатилаётган ҳамма реал адронлар оқ рангли (рангсиз) зарралардир. Шундай қилиб, ҳар бир кваркнинг уч хил ҳолатда бўлиши (уч хил рангли бўлиши), адронларнинг тузилиши ҳақида юқорида айтилган зиддиятни бартараф этди.

Кварк хиллари u, d, s ва бошқалар ўзларининг ҳиди (хушбўйлиги, муаттарлиги) билан фарқланади, яъни кварклар учун ҳид (хушбўй) квант сон киритилиб, u, d, s қийматларни қабул қилиши мумкин, масалан, s ҳид, s кварк демакдир. Шундай қилиб, уч хил u, d, s (буларнинг рангларини ҳисобга олинганда 9 хил, анти-



1-расм



2-расм

кварклар билан эса 18 хил) кварклар асосида ўша вақтда маълум бўлган адронларни назарий жиҳатдан қуриш мумкин бўлди.

Кварклар ҳақида гипотеза пайдо бўлгандан кейин, физиклар уни қидира бошладилар. Аммо тез орада физиклар шундай фикрга келдиларки, кварклар эркин ҳолда табиатда учрамайди, улар фақат адронлар таркибидоғина («асир»га тушган ҳолда) учрайди. Бундай фикрни билвосита тасдиқловчи тажрибалар борлигига кейинроқ тўхталамиз.

Агар лептонлар e^\pm , μ^\pm 4 та бўлса, табиатнинг симметрия қонунига асосан, кварклар ҳам 4 та бўлиши керак деган гипотеза 1964 йилда айtilди. 4-кваркни s -кварк ($charm$ — мафтун кварк) деб айта бошланди. Аммо 1974 йилгача мафтун кваркка экспериментал жиҳатдан эҳтиёж сезилмади, чунки у даврдаги маълум адронларни 3 та кварк асосида тушунтириш мумкин эди.

1974 йил ноябрь ойида бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда Брукхэйвендаги лабораторияда С. Тинг раҳбарлигидаги, Стефорддаги лабораторияда В. Рихтер раҳбарлигидаги икки гуруҳ экспериментаторлар J/ψ йотпси мезон деб аталувчи зарра кашф қилдилар. У заррани Тинг гуруҳи йот $J = зарра$ деб, Рихтер гуруҳи пси $\psi = зарра$ деб номлади. Ҳар иккала гуруҳнинг хоҳишини эътиборга олиб, йот-пси зарра J/ψ деб атай бошланди. (Бу зарранинг яшаш вақти $\tau \sim 10^{-20}$ с яъни нисбатан қарорли, электр заряди йўқ, массаси 3097 МэВ, спини бирга тенг.)

Бу мезонни кварк модели асосида тушунтириш учун янги s -кварк киритилиши лозим бўлди. Бу эса кварк моделининг «қонунлашишига» муҳим яна бир экспериментал далил бўлди. Шу сабабли ҳам J/ψ зарранинг кашф этилиши ва уни кварк модели асосида изоҳланиши элементар зарралар физикасида муҳим босқич бўлди; бу босқични «1974 йил ноябрь инқилоби» деб аталиши бежиз эмас. J/ψ мезон кашфиётчилари экспериментаторлар С. Тинг ва Б. Рихтерга 1976 йилда Нобель мукофоти топширилди.

Кейинроқ D^+ -мезон (массаси 1870 МэВ, яшаш вақти $\tau = 9 \cdot 10^{-13}$ с), D^0 — мезон (массаси 1865 МэВ, яшаш вақти $\tau = 5 \cdot 10^{-13}$ с), Λ_c — барион (массаси 2280 МэВ яшаш вақти $\tau = 1 \cdot 10^{-13}$ с) кашф этилди. Уларнинг тузилишини s -кварк (мафтун кварк) иштирокида тушунтириш мумкин бўлди.

Электрон e^\pm ва мюон μ^\pm га ўхшаш, ammo массаси уларнинг массасига нисбатан жуда катта бўлган таолептон τ^\pm нинг тажрибада кашф этилиши (массаси 1784 МэВ) юқорида айтилган лептонлар ва кварклар орасидаги симметрияни бузиб юборди. Физиклар шу симметриянинг тикланиши учун яна иккита янги 5- ва 6-кварклар бўлишлигини назарий жиҳатдан башорат қилдилар. Бешинчи кваркни b = кварк (инглизча beauty — зебо, гўзал), олтинчи кваркни t = кварк (инглизча truth — ҳақиқий) деб атадилар.

1977 йилда ипсилон мезон (массаси 9460 МэВ, яшаш вақти $\tau = 1 \cdot 10^{-13}$) кашф этилди. Уни физиклар зебо кварк b ва антикварк \bar{b} дан ташкил топган деб қарадилар.

Зебо b — кваркнинг кашф этилиши, кварк-лептон симметриясига бўлган ишончни мустаҳкамлади. Кварк-лептон симметриясига бўлган ишонч яна битта t -кваркнинг киритилишини талаб этади (III-жадвалга қаранг).

Кварклар

III жадвал

Кварк номи	Сим-вол	Барцион заряди. В	Электр заряди	Спин	Массаси. МэВ
Юқори	u	1/3	$(2/3)e$	1/2	3,5—5
Паст	d	1/3	$-(1/3)e$	1/2	6,5 ÷ 10
Ғалати	s	1/3	$-(1/3)e$	1/2	100 ÷ 250
Мафтун	c	1/3	$(2/3)e$	1/2	1350
Зебо	b	1/3	$-(1/3)e$	1/2	4700
Ҳақиқий	t	1/3	$(1/3)e$	1/2	$4 \cdot 10^4$

Олимлар t -кварк мавжуд бўлса, унинг массаси 40 ГэВ дан ортиқ бўлишини таъкидламоқдалар.

Энди кварк ва лептонларни қуйидаги IV жадвалда келтирамиз.

Шундай қилиб, тажрибада бевосита кузатилиши мумкин бўлган 6 та лептон ва адронларнинг таркибини ташкил этувчи ҳид (хушбўй) билан фарқланувчи 6 та кварк мавжуд. Бунда лептонлар оқ рангли (рангсиз) зарралар, кварклар 3 хил рангга эга.

Лептонлар ва кварклар авлодлар деб аталувчи учта жуфтга бўлинади (IV жадвалга қаранг). Ҳар бир авлодда юқorigи ва пастки (бошқача айтганда вертикал бўйича жойлашган) зарралар бор.

Шундай қилиб, кварклар (антикварклар билан биргаликда) 36 та, кварклар ва лептонлар — фундамен-

		Асосий элементар зарралар																
		Лептонлар			кварклар													
Биринчи авлод	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr><td>ν_e</td></tr> <tr><td>e</td></tr> </table>	ν_e	e		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr><td>u_R</td><td>u_G</td><td>u_B</td></tr> <tr><td>d_R</td><td>d_Q</td><td>d_S</td></tr> </table>	u_R	u_G	u_B	d_R	d_Q	d_S							
ν_e																		
e																		
u_R	u_G	u_B																
d_R	d_Q	d_S																
Иккинчи авлод	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr><td>ν_μ</td></tr> <tr><td>μ</td></tr> </table>	ν_μ	μ		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr><td>c_R</td><td>c_Q</td><td>c_B</td></tr> <tr><td>s_R</td><td>s_Q</td><td>s_B</td></tr> </table>	c_R	c_Q	c_B	s_R	s_Q	s_B							
ν_μ																		
μ																		
c_R	c_Q	c_B																
s_R	s_Q	s_B																
Учинчи авлод	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr><td>ν_τ</td></tr> <tr><td>τ</td></tr> </table>	ν_τ	τ		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr><td>t_R</td><td>t_Q</td><td>t_B</td></tr> <tr><td>b_R</td><td>b_a</td><td>b_s</td></tr> </table>	t_R	t_Q	t_B	b_R	b_a	b_s							
ν_τ																		
τ																		
t_R	t_Q	t_B																
b_R	b_a	b_s																

тал элементар зарралар 48 та. Биз атроф муҳитимиздаги ранг-баранг моддалар атомлардан иборат эканлигини, атомлар эса фақат 3 хил зарра (протон, нейтрон, ва электрон)дан иборат эканлигини эътиборга олсак, 48 та зарра қўп эканлигини сезамиз.

Шу сабабли, лептон ва кварклар ҳам субфундаментал зарралар (преонлар, ришонлар, хромонлар R , G , B , флоивонлар α , χ , фамилонлар ва ҳоказо) дан ташкил топган, дейилган схемалар яратилмоқда.

Биз қуйида зарраларнинг бир-бирига айланиши, уларнинг аннигиляцияси ва жуфтларнинг ҳосил бўлиши ҳақида гапирамиз. Қуйида майдон, майдон манбалари (электр заряди, барион заряди, лептон заряди ва бошқалар) майдон квантлари ҳақидаги ҳозирги замон тасавурларига дуч келамиз. Шу сабабли баъзи ҳодисаларга ҳозирги замон қарашларини қисқача баён этамиз.

2. Аннигиляция ва жуфт ҳосил бўлиши ҳодисалари. С-симметрия ва антизарралар.

Нисбийлик назариясидан маълумки, зарранинг энергияси E билан унинг импульси p орасидаги муносабат қуйидагича бўлади:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4, \quad (1)$$

бунда $E_0 = m_0 c^2$ зарранинг тинчликдаги энергияси m_0 эса тинчликдаги массаси, (1) муносабатдан, тезлик ва демак, импульс кичик бўлганда, одатдаги классик ифода олиниши мумкин:

$$E = m_0 c^2 \sqrt{1 + p^2 / m_0^2 c^2} \approx m_0 c^2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{p^2}{m_0^2 c^2}\right) = m_0 c^2 + \frac{p^2}{2m_0} \quad (2)$$

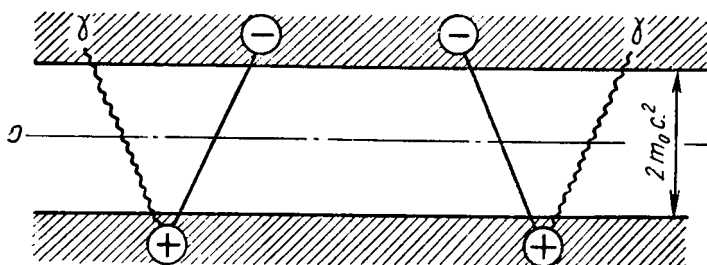
ёки

$$E \approx E_0 + E_k, \quad E_k = \frac{p^2}{2m_0} \quad (3)$$

(1) дан $E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$, бунда $p = 0$ бўлганда

$$E_1 = +m_0 c^2, \quad E_2 = -m_0 c^2 \quad (4)$$

бўлади. Демак, энергиянинг мусбат $E > 0$ ва манфий $E < 0$ қийматлари орасида $2m_0 c^2$ га тенг энергия тирқиши (зонаси) борлиги келиб чиқади (3-расм).



3-расм

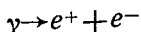
Классик физикада, одатдаги энергия мусбат қийматли деб қаралади. Бу физикада энергиянинг ўзгариши узлуксиз бўлгани учун манфий қийматли соҳага ўтиш ман этилади. Бошқача айтганда, «Олам яратилганда» электронларнинг энергияси мусбат бўлса, шундай соҳада қолаверади. Аммо квант механикаси қонунига кўра, энергия дискрет ўзгаради. Шу сабабли майдон таъсирида электронлар минимал қиймат қабул қилишга интилади. Демак, вақт ўтиши билан ҳамма электронлар манфий қийматли ҳолатларга ўтиб кетиши керак эди (Клейн парадокси). Аммо (реал) табиатда ундай эмас. Бу зиддиятни бартараф (ҳал) қилиш учун Дирак ман-

фий энергияли ҳолатлар электронлар билан тўла, шу сабабли Паули принцинга кўра, реал зарралар ү ҳолатга — «физик вакуум»га ўта олмайди дейди. Лекин бундай «физик вакуум» тажрибада бевосита кузатилмайди, деб қаралади.

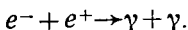
«Вакуумда» манфий энергияли электроннинг йўқлиги унда мусбат энергияли ва заряди мусбат бўлган зарра (тешик) бор дейилишига эквивалент эканлигини Дирак айтади. У аввал «тешик»ни протон деб қаради. 1930 йилда америкалик олим Р. Оппенгеймер у «тешик» электронга анти бўлган позитрон бўлишини айтди.

Дирак назариясига кўра, етарли даражада катта энергияли $E, \geq 2m_0c^2$ фотон билан вакуумга таъсир этиб позитронни ҳосил қилиш мумкин. Шу билан бирга электрон ҳам ҳосил бўлади. Бу жуфт ҳосил бўлиш ҳодисасидир (3-расмда чап томонда). Позитронга электрон билан таъсир қилинса, электрон ва позитрон фотонга айланади, бу аннигиляция ҳодисаси (3-расмда ўнг томонда) бўлади.

Бошқача айтганда, фотон ү дан электрон позитрон жуфти туғилади:



ёки электрон ва позитрон, аннигиляция ҳодисасига кўра, фотонга айланади:



Шундай қилиб, позитрон назарий жиҳатдан биринчи башорат қилиб айтилган зарра эди.

1932 йилда К. Андерсон космик нурларда позитрон борлигини Вильсон камерасида кузатди. 1933 йилда Ф. Жолио-Кюри, И. Жолио-Кюри ва К. Андерсон, П. Блэкэтт ва Ж. Оккиалини ү нурлар билан модда ўзаро таъсирида электрон-позитрон жуфтлари ҳосил бўлишини кузатдилар. Уша йили Ф. Жолио-Кюри ва Ж. Тибо электрон ва позитронларнинг икки фотонли аннигиляциясини кузатдилар.

Дирак назариясига шубҳа қолмади. Уни тан олдилар. Кейинроқ кўрсатилдики, заряд ишоралари алмаштирилишига (буни *c*-алмаштириш дейилади) нисбатан физик қонуниятлар симметрик хоссага эга. Бу хоссадан барча зарралар антизарраларга эга бўлишлиги келиб чиқади. Тўғри, баъзи зарралар ва уларнинг антизарралари бир-бири билан айнан бир хилдир (масалан, фотон). Зарралар, антизарралар бир-биридан асосан, «за-

рядларининг ишоралари билан фарқланади: электр заряд e , барион заряди B , изоспин проекцияси T_3 , лептон заряд L , ғалатилик s , мафтунлик c , зеболик b ва ҳоказо билан фарқланади.

Шундай қилиб, C = симметрия (алмаштириш)га асосан, зарралар билан қандай жараёнлар содир бўлиши мумкин бўлса, антизарралар билан ҳам худди шундай жараёнлар содир бўлиши мумкин.

3. Алмашилиш туфайли содир бўладиган кучлар

1928 йилда В. Гейзенберг ва П. Дирак молекулалардаги химик кучлар электронларининг алмашинуви туфайли содир бўлади, деган фикрни илгари сурдилар. Масалан, H ва H^+ орасидаги химик куч электрон алмашинуви туфайли юзага келади, (4-расм). Кейинчалик бу ғояни 1935 йили япон физиги Юкава ядро кучларига кўчирди. Бунда масала тескари қўйилди: ядро кучлари аниқ деб қаралиб, алмашинувчи зарра аниқланди.

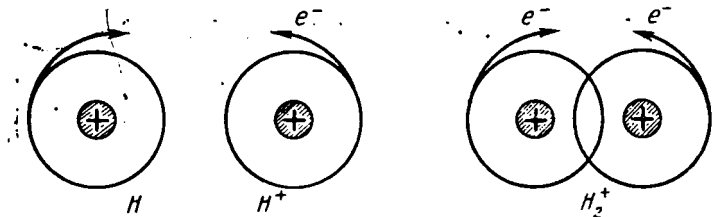
Квант механикасида, Гейзенберг ноаниқлиги деб атаувчи қўйидаги муносабат мавжуд

$$\Delta t \Delta t \geq h.$$

Бунда, агар ҳолат Δt вақт давомида мавжуд бўлса, унинг энергияси ΔE аниқлик билан ўлчаниши мумкин.

Ядрогаги бир нуклон фараз этилган заррани чиқарса, иккинчиси уни ютса, умумий системанинг ҳолатини ностационар деб қараб, унинг энергияси $\Delta E \sim h / \Delta t$ аниқликда берилиши мумкин. Бу нуклонлар орасидаги алмашинувчи зарралар виртуал (бўлиши мумкин бўлган) зарралар дейилади.

Бу (ядро кучларини ҳосил қилувчи) оралиқ зарраларининг массаси m , тезлиги c бўлсин. Ядро нуклонлари орасидаги ўлчам R_n бўлсин. У ҳолда $\Delta t \sim R_n / c$ ва $\Delta E = mc^2$ ни эътиборга олиб, $mc^2 \sim h / (R_n / c) \sim h c / R_n$ топамиз ёки бундан $m \sim h / R_n c$ ифодани топамиз. Бундан, R_n ни таж-



4-расм

рибага асосан билганимиз ҳолда $R_{\pi} \sim 10^{-13}$ см масса m ни аниқлаймиз $m \sim (200 \div 300) m_e$; бунда m_e электрон массаси.

Шундай қилиб, Юкава томонидан ядро кучлари учун киритилган зарра массаси электрон массасидан катта, протон массасидан кичик оралиқ массага эга. Уни мезон деб атай бошлашди. 1947 йилда мусбат ва манфий зарядли π^+ ва π^- мезонларни С. Пауэлл ва Ж. Оккиалини тажрибада кузатдилар. 1950 йилда нейтрал π^0 мезонни Берклунд ва бошқалар кузатдилар. Уларнинг массалари ва яшаш вақтлари қуйидагича эканлиги тажрибада аниқланди.

$$\begin{aligned} m_{\pi^{\pm}} &\approx 273m_e, & m_{\pi^0} &\approx 264m_e; \\ \tau_{\pi^{\pm}} &\approx 2,6 \cdot 10^{-9} \text{с}, & \tau_{\pi^0} &\approx 0,8 \cdot 10^{-16} \text{с}. \end{aligned}$$

Кейинроқ барча асосий ўзаро таъсирларнинг механизми ана шундай алмашинувчи характерга эга эканлиги маълум бўлди.

4. Майдон ва унинг квантлари

Ўзаро таъсирни тушунишга корпускуляр нуқтаи назардан ёки майдон нуқтаи назаридан ёндошиш мумкин. Шу ҳақда умумий фикр юритамиз.

Энергия E ни $i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ билан, импульс \vec{P} - ни $-\hbar \vec{\nabla}$

(бунда $\vec{\nabla} = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$) билан алмаштириб, (3)

ифода асосида Шредингер тенгламаси

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = - \frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi \quad (5)$$

ва (1) ифода асосида Клейн—Гордон тенгламаси

$$\nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t^2} - \chi^2 \Psi(\vec{r}, t) = 0 \quad (6)$$

ёзилиши мумкин; бунда

$$\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad \chi^2 = \frac{m_0^2 c^2}{\hbar^2}.$$

Агар $m_0 = 0$ бўлса, (6) тенгламадан электромагнит тўлқин тенгламаси

$$\square \Psi(\vec{r}, t) = 0$$

келиб чиқади, бунда $\square = \nabla^2 - \partial^2/c^2 \partial t^2$.

$$\text{Қуйидаги } E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

ифода асосида ушбу ифодани ёзилади:

$$\frac{i}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \pm \sqrt{x^2 - \nabla^2} \psi$$

1928 йилда инглиз олими Дирак бу тенгламани

$$\gamma_\mu \frac{\partial \psi}{\partial x_\mu} + i\kappa \psi = 0 \quad (7)$$

кўринишда ёзишга муваффақ бўлди. Аммо бунда φ 4-компонентли спинор

$$\psi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{pmatrix},$$

бунда $\mu = 0, 1, 2, 3$, $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, $x_4 = ct$.

γ_μ — Дирак матрицаси, бу матрица эса Паули матрицаси $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ва бирлик матрица I билан қуйидагича ифодаланади:

$$\gamma_0 = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{pmatrix}, \quad \gamma_\alpha = \begin{pmatrix} 0 & \sigma_\alpha \\ -\sigma_\alpha & 0 \end{pmatrix}; \quad \alpha = 1, 2, 3.$$

$$I = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix}, \quad \sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Юқоридан маълумки, Дирак тенгламасида $2m_0 c^2$ га тенг энергия тирқиши билан ажралиб турган мусбат ва манфий ишорали энергия қийматлари ҳисобга олинди. Тўлиқ энергиянинг манфий қийматини тушуниш муаммоси назарий жиҳатдан (майдоннинг квант назариясида) ажойиб ҳал қилинади; зарранинг манфий энергияли ҳолатларига антизарранинг мусбат энергияли ҳолатлари мос келади. Бунда антизарранинг заряди (жумладан электр заряди) ишораси зарранинг заряди ишорасига қарама-қаршидир. Шунга асосан, Дирак электроннинг антизарраси — позитрон мавжудлигини назарий жиҳатдан биринчи айтган эди.

Шундай қилиб, Дирак тенгламасининг тўртта ечимлари ψ_μ дан икkitаси зарра спинларининг икки хил йўналишига мос келган ҳолатларини, яна иккита ечими эса, антизарра спинининг икки йўналишига мос келган ҳолатларини ифодалайди.

Тенгламалардаги ψ ва φ функцияларни худди Шредингер тенгламасидагидек тўлқин функцияси каби қа-

ралса, бир қанча қийинчиликлар туғилади, жумладан

1) ϕ мусбат ва манфий бўлиши мумкин.

2) Уларни локализациялаш ($m_0=0$ бўлган ҳолда ҳам) мумкин. Аммо $m_0=0$ массасиз фотонлар локализацияланмайди. Лекин ψ ва ϕ функцияларга ва уларнинг тенгламаларига янги физик маъно бериш мумкин. Масалан, тўлқин тенгламалар $\square\phi=0$ да ϕ ни тўлқин функция эмас, балки электромагнит майдоннинг 4-потенциали деб қаралса, яъни унинг майдон ўзгарувчиси деб қаралса, корпускуляр нуқтаи назардан майдон нуқтаи назарга ўтган бўламиз. Агар ϕ майдон ўзгарувчиси бўлса, майдон манбаи бўлган зарядни киритиш мумкин $\square\phi = -4\pi\rho$,

$\rho = \rho(\vec{r}, t)$ — электр заряди зичлиги.

Статик майдон учун

$$\Delta^2 \rho = -4\pi \rho(\vec{r}).$$

Нуқтавий зарядлар учун

$$\rho(\vec{r}) = e\delta(\vec{r}).$$

У ҳолда, $\Delta^2\phi = -4\pi e\delta(\vec{r})$ нинг ечими $\phi(\vec{r}) = e/r$.

Кулон қонуни келиб чиқади. Электромагнит майдон билан масала осонгина ҳал бўлади, чунки $\square\phi=0$ тенгламада Планк доимийси қатнашмайди. Шу сабабли электромагнит майдон классик майдон ҳам дейилади.

Худди шунингдек, Клейн — Гордон ва Дирак тенгламаларида ϕ ва ψ ни майдон ўзгарувчилари десак, уларда қатнашгани учун ϕ ва ψ нинг классик ўхшашлиги бўлмагани учун бу майдон ўзгарувчиларининг макроскопик маъноси кўринмайди. Бунда ψ электр майдонини ифодалайди, унинг квантлари эса электрондан иборат (худди электромагнит майдон кванти фотон бўлгани каби).

Клейн—Гордон тенгламасини ядро кучлари (ядро майдонлари) учун татбиқ этсак, майдон манбаи учун

$\rho(\vec{r}, t)$ ядро заряди зичлигини киритсак, қуйидагича бўлади:

$$\square\phi - \kappa^2\phi = -4\pi\rho.$$

Статик ҳолда

$$\nabla^2\phi - \kappa^2\phi = -4\pi\rho$$

бўлади.

Нуқтавий ядро заряди учун

$$\rho = f\delta(\vec{r}).$$

Демак,

$$\nabla \varphi - \kappa^2 \varphi = -4\pi f \delta(r).$$

Бу тенгламанинг ечими Юкава потенциали

$$\varphi = (f/r) \exp(-\kappa r)$$

дан иборат.

Бунда ядро ўзаро таъсир радиуси

$$R_\kappa = 1/\kappa = h^* m^{-1} c. \text{ Бундан } m_\pi = h R_\kappa c.$$

Юқорида заряд манбасини сунъий равишда киритдик. Квант механикаси ва нисбийлик назариясининг талабларини эътиборга олиб яратилган майдоннинг квант назарияси бу камчиликни бартараф этди. Бунда майдон катталиклар динамик катталиклар операторлари сингари оператор деб қаралади. Бу операторлар туғилиш ва йўқолиш актлари билан боғланади. Бу актлар эса зарраларнинг айнан ўзидир.

Шундай қилиб, тўлқин функциялар операторга айланади. Бу операторлар эса янги тўлқин функцияларга таъсир этади. Шу сабабли, бу метод *иккиламчи квантланиш методи* дейилади. Майдон ўзгарувчисига мослаштирилган оператор зарранинг туғилиши (йўқолиши)ни ва антизарранинг йўқолиши (туғилиши)ни ифодалайди.

Масалан, Дирак майдон оператори $\hat{\psi}$ электроннинг йўқолишини, позитроннинг туғилишини, $\hat{\psi}^+$ оператори эса электроннинг туғилишини, позитроннинг йўқолишини ифодалайди. Шундай қилиб, майдоннинг квант назарияси зарра ва антизарралар концепциясини табиий тасвирлайди.

5. Асосий ўзаро таъсир турлари

Энди асосий ўзаро таъсир турлари ва уларни характерлайдиган миқдорларга тўхталамиз. Асосий ўзаро таъсирларнинг ҳар бирига миқдорий томондан характерлайдиган катталиклар: интенсивлик (боғланиш доимийси) α , таъсир радиуси R ва характерли вақт τ тааллуқлидир (V жадвалга қаранг).

Кучли ўзаро таъсир (КТ) нинг таъсир радиуси $R \approx 10^{-13}$ см; унинг ёруғлик тезлиги $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с га тенг бўлиб, КТ учун характерли вақтни $\tau = R/c \approx 10^{-23}$ с га тенг деб олинади.

* Бу ва кейинги ифодаларда h Планк доимийси $1,054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с га тенг.

Асосий ўзаро таъсирлар

V жадвал

Асосий ўзаро таъсир тури	Майлон кванти номи	Масса	Спин	Электр заряди	Ранг	α	R , см	τ , с
Электромагнит	фотон	0	1	0	0	$\approx 10^{-2}$	∞	10^{-20}
Заиф	бозон w^\pm, γ^0	$m_w = 81\text{ГэВ}$ $m_{\gamma^0} = 94\text{ГэВ}$	1	$\pm 1,0$	0	$\approx 10^{-10}$	10^{-16}	10^{-13}
Кучли	глюон	0	1	0	R, G, B	$1 \div 10$	10^{-13}	10^{-23}
Гравитация	гравитон	0	2	0	0	10^{-38}	∞	

Электромагнит ўзаро таъсир (ЭТ) ва заиф ўзаро таъсир (ЗТ) учун характерли вақтлар шу ўзаро таъсир билан емириладиган (парчаланадиган) қарорсиз зарраларнинг эмпирик усул билан аниқланган ўртача яшаш вақтларини қабул қилади.

Гравитация ўзаро таъсир (ГТ), асосан, Ньютон ва Эйнштейн томонидан мукамал ўрганиб чиқилган бўлиб, у осмон жисмлари, жумладан Ой, Ер, Қуёш, юлдузлар ва галактикалар ҳаракатини, Ерда жисмларнинг оғирлик кучини аниқлайди. Масалан, r масофада турган икки m нуқтавий массаларнинг ўзаро таъсирини аниқловчи куч F ни қуйидаги тақрибий формула

$$F = G \frac{m^2}{r^2} \quad (8)$$

жуда яхши тавсифлайди. Бунда $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{гр}^{-1} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{с}^{-2}$ гравитация доимийси.

Электромагнит ўзаро таъсир (ЭТ), асосан, Фарадей, Максвелл, Лоренц томонидан ўрганиб чиқилган бўлиб, у бир-биридан r масофада бўлган икки нуқтавий заряд учун қуйидаги Кулон қонуни

$$F = \frac{e^2}{r^2} \quad (9)$$

билан яхши тавсифланади.

Гравитация ва электромагнит ўзаро таъсирлар (кучлар)нинг манбаи масса m ва заряд e дир. Аммо,

улар ўлчов бирликларига боғлиқ бўлганликлари учун ўзаро таъсирларни таҳлил қилиш ва бир-бирлари билан таққослаш учун ўринсиз. Шу сабабли, Планк доимийси

$$h = 2\pi \hbar = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}; \quad \hbar = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$$

ва ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с дан фойдаланиб, гравитация ўзаро таъсир учун гравитация доимийси

$$\alpha_g = Gm^2 / \hbar c. \quad (10)$$

электромагнит ўзаро таъсир учун электромагнит доимийси

$$\alpha_e = e^2 / \hbar c \quad (11)$$

деб аталувчи ўлчамсиз доимийлар киритилади.

α_g ва α_e боғланиш доимийликлари ҳам дейилади.

α_e ёруғликнинг нозик тузилиши доимийси ҳам дейилади.

Шуни таъкидлаб ўтиш лозимки, α_g ва α_e даги Gm^2 ва e^2 нинг бир-биридан муҳим фарқи бор: $e = 4,8 \cdot 10^{-19}$ СГСЭ $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кулон электроннинг заряди, у доимий; Gm^2 эса ўзгарувчи масса m га боғлиқ. Шу сабабли, m ни (стабил) қарорли зарра ҳисобланган протон массаси m_p га тенглаштириб оладилар, яъни $m = m_p$. Бу ҳолда (10)

$$\alpha_g = Gm_p^2 / \hbar c \quad (12)$$

кўринишда ёзилади.

Тажриба кўрсатадики, ўлчамсиз константа $\alpha_e = 1/137,2$. Бу константа α_e икки элементар заряд орасидаги масофа r шу зарранинг Комптон тўлқин узунлиги $\lambda_k = \hbar / m_0 c$ дан катта бўлса, яъни $r > \lambda_k$ бўлса, ҳақиқатан ҳам доимий бўлади. Аммо $r \leq \lambda_k$ бўлса, константа α_e масофага боғлиқ бўлади (электрон учун Комптон тўлқин узунлиги $\lambda_k = \hbar / m_e c = 4 \cdot 10^{-11}$ см).

ЭТ да оралиқ бозон — фотон. Унинг массаси нолга тенг, таъсир радиуси чексиз катта. ГТ да оралиқ бозон — гравитон. Унинг массаси нолга тенг; таъсир радиуси чексиз катта.

Зайф ўзаро таъсир (ЗТ) қарорсиз ядроларнинг $\beta =$ емирилиши намоён бўлади. Утган асрнинг охирида Анри Беккерель ва Пьер ва Мария Кюрилар томонидан ядронинг $\beta =$ емирилиши кашф этилгандан буён ядроларнинг зайф ўзаро таъсири туфайли емирилишларига оид бир қанча мисоллар маълум бўлди, жумладан, протон нейтронларнинг бир-бирига ўзаро айланишлари

$$n \rightarrow p + e^- + \gamma, \quad p \rightarrow n + e^+ + \nu_e.$$

Айниқса, заиф ўзаро таъсир космологияда, жумладан, юлдузлар ва улардаги реакцияларда муҳим аҳамиятга эга. Масалан, Қуёшдаги асосий реакцияни ЗТ туфайли борадиган қуйидаги жараён аниқлайди:

$$p + p \rightarrow H^2 + e^+ + \nu_e.$$

Бу реакцияларнинг жуда муҳим хусусияти шундан иборатки, у жуда секин боради. Ҳатто, Қуёш марказидаги юқори температурали ва жуда катта зичликдаги шароитда бу реакция борганда бирлик массага тўғри келадиган энергия ажраллиши одамдаги модда алмашинуви туфайли чиқадиган бирлик массага тўғри келган энергиянинг 0,01 қисминигина ташкил этади. Қуёшдаги худди шу жараённинг секин бориши ердаги ҳароратнинг маълум меъёрда бўлиб туришини ва демак, яшаш учун шароит бўлишини таъминлайди (жараённинг секин боришига сабаб эса заиф ўзаро таъсирни ҳосил қилувчи майдон квантларининг массаси катта эканлигидадир, буни кейинроқ кўриб ўтамиз). Мюоннинг емирилиши

$$\mu^- (\mu^+) \rightarrow e^- (e^+) + \tilde{\nu}_e (\nu_e) + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu).$$

Мезонларнинг емирилиши

$$K_L^+ \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$$

$$K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$$

ва барионларнинг емирилиши

$$D^0 \rightarrow K^- + e^+ + \nu_e$$

$$D^+ \rightarrow K^0 + e^+ + \nu_e$$

ЗТ туфайли содир бўлади

Заиф ўзаро таъсирлар учун Фермининг умумий доимийси $g_F = 10^{-49}$ эрг·с³ тааллуқлидир. Бу заиф ўзаро таъсирга тегишли ўлчамсиз доимийлик α_w қуйидагича бўлади:

$$\alpha_w = g_F^2 m^2 p \cdot c / h^3. \quad (13)$$

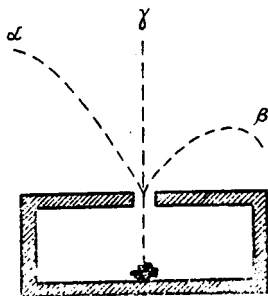
Кучли ўзаро таъсир (КТ). Адронлар, жумладан протон ва нейтрон кварк моделига кўра, учта (нуқтавий) қисмлардан — кварклардан таркиб топган. Шу кварк модели яратилгунга қадар, ядро кучлари ва кучли ўзаро таъсир айнан бир хил деб қаралар эди. Ҳозирги замон тасаввурига кўра, КТ адронлар (жумла-

дан, протон, ва нейтрон)нинг таркибидаги кварклар орасидагина намоён бўладиган ўзаро таъсирдир. Бундан маълум бўлдики, ядро таркибидаги протонлар ва нейтронлар орасидаги ўзаро таъсир — ядро кучлари КТнинг ҳосиласи, ундан келиб чиқадиган иккиламчи ҳодиса.

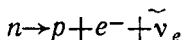
Кварк модели, зарраларнинг зарядлари электрон зарядига каррали деган фактга зид бўлса-да, бу модель бир қанча фактларни тўғри тушунтиришга муваффақ бўлди. Жумладан, зарралар систематикасини, уларнинг магнит моментларини ва шу кабиларни аниқлашга имкон берди. Булар эса кварк моделига жиддий қарашни тақозо этди. Ниҳоят, кваркларни кузатилмаганлик фактини қандай тушунмоқ керак, — деган саволга «Кварклар боғланган ҳолдагина мавжуддир» деб жавоб берди. КТ га тегишли боғланиш доимийси α ни кейинроқ кўриб ўтамиз.

Радиоактив моддаларнинг емирилишига оид қуйидаги 5-расм ўрта мактаб ўқувчилари ҳамда тегишли олий ўқув юрталари талабаларига таниш.

Расмда радиоактив нурларни магнит майдонда оғишлари кўрсатилган. Бу радиоактив емирилишда юқорида танишган барча ўзаро таъсирларнинг ҳаммаси, аниқроғи учтаси намоён бўлади. Ҳақиқатан ҳам, β -емирилишда, юқорида келтирилган заиф ўзаро таъсир



5- расм



намоён бўлади.

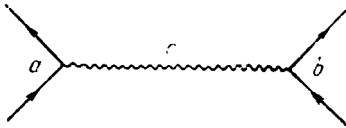
β = нур бу электронлар дастасидир.

Емирилиш натижасида уйғонган ҳолатдаги ядро ўзидан юқори частотали электромагнит тўлқинлар чиқаради, яъни γ = нур чиқаради. Бу эса электромагнит ўзаро таъсирнинг намоён бўлишидир. Ниҳоят ядрода 2 та протон ва 2 та нейтроннинг бирлашувидан иборат гелий ядроси — α нур чиқаради. Бу кучли ўзаро таъсирнинг билвосита намоён бўлишидир. Бу радиоактивликда ядро ва ундан чиқаётган нурларга гравитация ўзаро таъсири тааллуқли бўлса-да, у миқдор жиҳат-

дан жуда кичик бўлганлиги сабабли, одатда эътиборга олинмайди.

6. Асосий ўзаро таъсирлар механизми

Ҳозирги замон назариясига асосан бу тўртта асосий (фундаментал) ўзаро таъсирларнинг механизми бир хил. Бу механизм ўзаро таъсирларни юзага келтирадиган манбалар орасидаги майдон квантлари — зарралар алмашувидан иборат (6-расм). Юқоридаги тасаввурга кўра a ва b иккита зарра орасидаги ўзаро таъсирни графикада қўйидагича тасвирлаш мумкин: бунда шу



6-расм

икки ўзаро таъсир манба a ва b орасидаги таъсирни вужудга келтирувчи, унинг ҳосил бўлишини таъминловчи — бу алмашувчи зарра c дир. Ўзаро таъсир характери унинг интенсивлиги ва бошқалар c нинг хусусиятига ҳамда унинг массаси m_c га бевосита боғлиқ бўлади. Қуйида биз ўзаро таъсирларга ва уларнинг ҳосил бўлишини таъминловчи механизмга тўхталиб ўтамиз.

7. Электромагнит ўзаро таъсир ва унинг механизми

Ҳозирги замон электромагнит майдон назарияси квант электродинамикасига асосан, электр зарядлар орасидаги ЭТ мавжудлиги, уларнинг реал фотон чиқариши ёки ютиши ёки виртуал (бўлиши мумкин бўлган) фотонлар алмашинувидан иборат (6-расмда алмашинувчи c зарра ролини ЭТ да фотон ўйнайди). Зарядлар орасида фотонлар алмашинуви саҳнадаги икки артистнинг (копток) тўп (ёки тўплар) алмаштирилишига қиёс қилиш мумкин. Бунда тўпнинг массаси қанча кичик бўлса, артистлар уни шунча узоққа ота оладилар; артистлар орасидаги масофа шунча катта бўлиши мумкин. Фотоннинг тинчликдаги массаси нолга тенг бўлгани учун (уни массасиз зарра дейилади) ЭТ нинг таъсир радиуси R чексиз каттадир. Бу таъсирга тегишли характерли вақт $t = 10^{-20}$ с тартибда, унинг интенсивлиги $\alpha_c + 1/137,2$ билан аниқланади.

Фотон ҳақиқий нейтрал зарра, шу сабабли фотонлар

Ўзаро таъсирда бўлмайди, яъни электромагнит майдон ўзаро таъсирлашмайди ва демак, бу таъсир учун суперпозиция принципи ўринлидир. ЭТ космологияда ҳам, микролам ва макроламда ҳам ўзини намоён этади. Жумладан, атомда электрон ва ядро орасидаги кучни, молекулалар орасидаги химик кучларни, модданинг агрегат ҳолатларида бўлиши сабаблари ЭТ дир. Электр, магнит ва оптик ҳодисалар сабабчиси ҳам ЭТ бўлади. Ана шу туфайли ЭТ табиатда жуда муҳим ўрин тутати.

ЭТ билан боғлиқ фақат лептонлар иштирок этадиган ҳодисаларга қуйидаги мисолларни келтириш мумкин:

$$\begin{aligned} e^- + e^+ &\rightleftharpoons 2\gamma \\ e^- + e^+ &\rightleftharpoons \mu^- + \mu^+ \\ e^- + e^+ &\rightleftharpoons e^- + e^+. \end{aligned} \quad (I)$$

Адронлар ҳам иштирок этадиган ҳодисалар қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned} e^- + p &\rightarrow e^- + p \\ \pi^0 &\rightarrow 2\gamma. \end{aligned} \quad (II)$$

$$\begin{aligned} e^- + p &\rightarrow e^- + \text{адронлар.} \\ e^- + e^+ &\rightarrow \text{адронлар.} \end{aligned}$$

Иккинчи гуруҳ мисолларида кучли ўзаро таъсирнинг манбаи бўлган адронлар ҳам иштирок этади. ЭТ нинг манбаи бўлган e^\pm , μ^\pm , π^\pm ва фотонларнинг назарияси квант электродинамика дейилади. Квант электродинамикада электроннинг ҳолатини тушунишга бироз тўхтайлик.

Гейзенберг ноаниқлик муносабати $\Delta p \Delta x \geq h/2$ га кўра, импульснинг ноаниқлиги $\Delta p \geq h/2\Delta x$ бўлади. Фараз қилайлик, Комптон тўлқин узунлиги $\lambda^* = h/m_e c$ дан кичик соҳада электрон локализацияланган бўлсин. Аниқлик учун $\Delta x < \lambda^*/4$ (бу соҳада $\Delta x = c\Delta t$ дан $\Delta t \leq \lambda^*/4c$ вақт мос келади) бўлсин. У ҳолда $\Delta p > 2h/\lambda^* = 2m_e c$, бундан $\Delta E > 2m_e c^2$ эканлиги келиб чиқади.

Демак, квант механикада энергиянинг сақланиш қонунига зид бўлмаган ҳолда, бундай Комптон тўлқин узунлигидан кичик соҳада локализацияланган электрон $E_\gamma = \Delta E \geq 2m_e c^2$ энергияли фотон чиқариши мумкин. Агар $E_\gamma > 2m_e c^2$ бўлса, бу фотон электрон-позитрон жуфтни ҳосил қилиши мумкин. Бунда позитрон аввалги электрон билан аннигиляцияланиб, натижада ($\Delta x < \lambda^*$ соҳада) янги электрон ҳосил бўлади. Айнан-

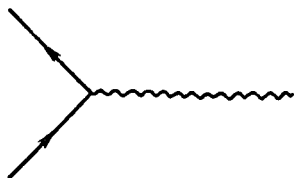
лик принципага асосан аввалги электрон билан кейинги «янги» электрон бир-биридан фарқ қилмайди. Шу сабабли электронни шу Комптон тўлқин узунлиги соҳасида «титраб» турибди (Л. Ландау, Р. Пайерлс, 1931 й.) дейиш мумкин. Ана шу сабабга кўра, ҳар бир микроразррани ўзининг Комптон тўлқин узунлиги соҳасидан кичик соҳада локализациялаб бўлмайди, дейилади (шу маънода планкеон ҳам l_p дан кичик соҳада локализацияланиши ўринли эмас, 2-бобга қаранг).

Бу масалага бошқачароқ ёндашса ҳам бўлади. Электрон виртуаль фотон чиқариши мумкин. Бу фотон электрон-позитрон жуфттини ҳосил қилади. Электрон-позитрон жуфт яна фотон ҳосил қилиши мумкин. Бу фотонни электрон ютиши ҳам мумкин ёки яна электрон-позитрон жуфт ҳосил бўлиши мумкин. Қисқаси, Комптон тўлқин узунлиги соҳасида индивидуал электрон ҳақида гапириш маънога эга бўлмай қолади. Электрон атрофида электрон-позитрон жуфтлар, фотонлар бўлиши мумкин. Бу эса яланғоч электроннинг «шуба» пўстин кийишидир.

Шундай қилиб, Комптон тўлқин узунлигидан бошлаб, одатдаги тасаввурлар ярамай қолади, бунда квант релятивистик тасаввурлардан фойдаланиш зарур бўлиб қолади.

Энди ЭТ механизми билан танишиб чиқайлик. Электромагнит майдоннинг ҳозирги замон назариясида — квант электродинамикада ЭТни элементар актлардан иборат деб қаралади. Электрон (ёки позитрон) томонидан фотоннинг нурланишлари ёки ютилишлари элементар актлардир. Ҳар бир элементар акт ҳозирги замон физикасида Фейнман диаграммаси билан тасвирланади. Масалан, 7-расмда электрон (ёки позитрон)нинг фотон чиқариши (ёки ютиши) ифодаланган. Қуюқ чизиқ электрон (ёки позитрон)ни, тўлқинсимон чизиқ фотонни ифодалайди. Қуюқ чизиқда йўналиш электрон (тескари йўналишида позитрон)ни ифодалайди. Фотоннинг антизарраси йўқ бўлгани учун тўлқинсимон чизиқда йўналиш (стрелка) йўқ.

Шундай қилиб, стрелка бўйича зарра (электрон) ҳаракати йўналиши, стрелкага тескари йўналишда антизарра (позитрон) ҳаракати йўналиши қабул қилинган.



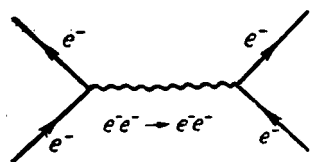
7- расм

Бундай келишилганда юқоридаги графа (7-расмга қаранг) 6 та жараённи ифодалашни мумкин, яъни

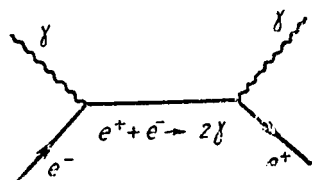
- 1) электрон томонидан фотоннинг чиқарилиши ёки ютилиши;
- 2) позитрон томонидан фотоннинг чиқарилиши ёки ютилиши;
- 3) электрон-позитрон жуфтнинг фотонга аннигиляцияси;
- 4) фотондан электрон-позитрон жуфт ҳосил бўлиши.

Шундай қилиб, ҳамма электромагнит жараёнлар Фейнман диаграммаси билан ифодаланиши мумкин. Бунда графанинг охири бўлса, у реал заррани, агар ички ёпиқ чизиқ билан ифодаланган бўлса, виртуал заррани тасвирлайди. Фейнман диаграммасида вақт пастдан юқорига қараб йўналтирилган бўлади.

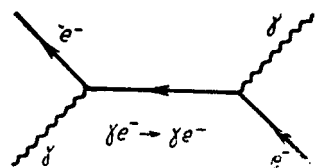
Фейнман диаграммасига бир нечта мисоллар келтирайлик. Иккита электрон орасидаги ЭТ 8-расмдаги диаграммада, электрон ва позитроннинг иккита фотонга айланиши (аннигиляция) 9-расмдаги диаграммада, Комптон сочилиши 10-расмдаги диаграммада, эркин электрон ўзининг ҳаракати давомида виртуал фотон чиқариб, сўнг яна ўзи ютиб олиш 11-расмдаги диаграммада, фотон ўз ҳаракати давомида жуфт ҳосил қилиши ва жуфт яна фотонга айланиши (аннигиляция бўлиши) 12-расмдаги диаграммада кўрсатилган.



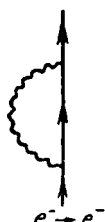
8- расм



9- расм



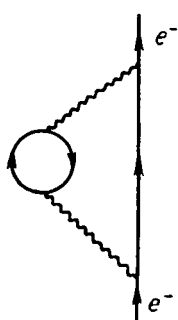
10- расм



11- расм



12-расм



13-расм

Юқоридаги 11 ва 12-расмдаги икки ҳодисани битта мураккаб графада ифодалаш мумкин (13-расм).

Графа электроннинг «шуба» кийиши жараёнини оддийгина кўрсатишга хизмат қилади. Аммо бундай диаграммадаги ички чизиққа 11 ва 12-расмдаги графалардан чексиз кўпини киритиб, жуда мураккаб Фейнман диаграммасини ҳосил қилиш мумкин. Бу эса назарияда ноҳушликка олиб борадиган чексизликни вужудга келтиради. Юқоридаги диаграммаларда берк графалар — сиртмоқ (ҳалқа)лар ҳам бор. Бу сиртмоқлар зарра томонидан виртуал зарралар чиқарилиб ва яна ўзи томонидан ютиб олинишини кўрсатади. Квант электродинамикада электрон ёки фотон бундай виртуал зарра чиқариб, сўнг ўзи ютиб олишини, у зарранинг «физик вакуум» билан ўзаро таъсири туфайли содир бўлаяпти деб қаралади. Классик физикада вакуум «бўшлиқ» маъносини англатади; аммо майдоннинг квант назариясида у маълум моддий муҳитни англатади; квант назарияда майдоннинг минимал энергияли асосий ҳолатини англатади (бу асосий ҳолатда майдоннинг ўртача қиймати нолга тенг, аммо унинг флуктуацияси нолдан фарқли бўлади).

Позитроннинг Фейнман диаграммасида баёни электроннинг вақт бўйича тескари йўналишига мосдир. Шунини айтиш лозимки, ҳар бир диаграммада чексиз кўп қўшимча графалар киритилиши мумкин. Масалан: Комптон сочилишининг тасвирловчи диаграммага қўшимчалар қўйидаги диаграммаларда кўрсатилган (14-расм).

Аналитик ифодаларда юқори даражадаги тузатмаларни ҳисобга олинса, худди «ультрабинафша ҳалокат»га ўхшаш, улар чексиз қиймат беради. «Вакуум» ёки радиацион тузатмалар деб аталувчи бу тузатмаларни



14-расм

бундай нохушликка олиб боришини шу назариянинг кашфийтчилари В. Гейзенберг, П. Иордан, В. Паули, П. Дирак, Э. Ферми ва бошқалар (30- йиллар бошларида) пайқашган эди.

40- йилларнинг охирида Г. Бете, Р. Фейнман, Ю. Швингер, Ф. Дайсон ва бошқалар чексизликни йўқотиш усулини перенормировкани ишлаб чиқдилар. Улар чексиз катта қиймат берадиган диаграммаларни (улар 11 ва 12-расмлардаги диаграммалар) тажрибадан олинadиган электрон массасига, фотон массасига ва электрон зарядига мослаштирдилар. Яъни, учта эмпирик параметрларни назарияга киритиб, квант электродинамикани тўла ва аниқ фанга айлантirdилар. Квант электродинамикани (КЭД) ЭТ билан боғлиқ жараён ва ҳодисаларга татбиқ этиб, ниҳоятда аниқ натижалар олиш имкони туғилди; бу назария вергулдан кейинги 10^{-16} см соҳасида ҳам ўринли эканлиги текширилган. Ҳозирги замонда бошқа ўзаро таъсирлар назариясини яратишда КЭД эталон хизматини ҳам бажаради. Квант электродинамикани кашф қилганликлари учун 1965 йилда С. Томонага, Р. Фейнман ва Ю. Швингер Нобель мукофотига сазовор бўлдилар.

8. Заиф ўзаро таъсир ва унинг механизми

Худди электромагнит ўзаро таъсир ҳақида гапирганимиз каби заиф ўзаро таъсир ҳақида гапириш мумкин.

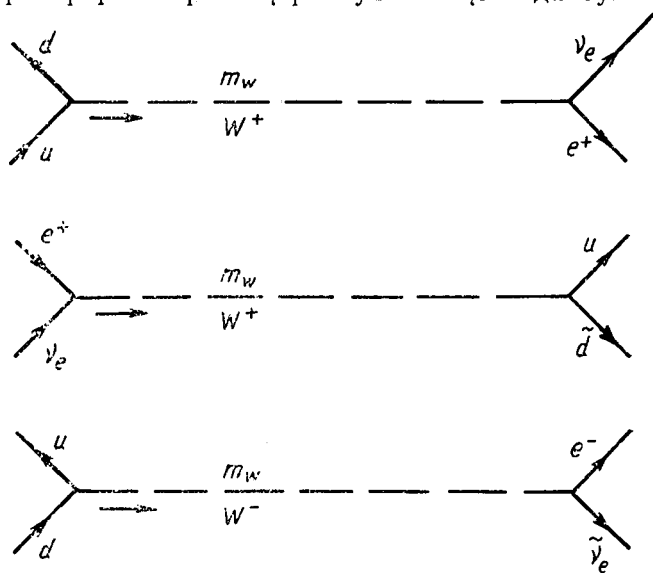
Аммо заиф ўзаро таъсирни ташувчи зарралар, электромагнит ўзаро таъсиридаги сингари битта бўлмай. 3 хил w^+ , w^- ва Z_0 оралиқ бозонлардир. Бундан икkitаси w^+ , w^- электр зарядли, биттаси Z^0 эса электр нейтралдир. Бу заиф ўзаро таъсир майдони квантлари ҳам ўзига хос махсус зарядлар туфайли содир бўлади. Бундай зарядлар ўзаро таъсири учун ҳам махсус ўлчамсиз константа α_w мавжуд. Миқдор жиҳатдан α_w электромагнит ўзаро таъсир константаси α_e га нисбатан кичик (V жадвалга қаранг). Электромагнит ўзаро таъсир ташувчиси фотондан фарқли, оралиқ бозонлар w^\pm , Z_0 массаси протон массасидан қарийб 100 марта катта ($m_w = 82$ ГэВ, $m_e = 94$ ГэВ), бундай массив зарраларни ҳаракат доираси, яъни заиф ўзаро таъсир радиуси 10^{-15} см тартибда бўлади (бу бозон-

лар учун Комптон тўлқин узунлиги 10^{-16} см тартибда).

Микрооламда заиф ўзаро таъсир билан содир бўладиган реакцияларнинг кичик эҳтимолга эга бўлиши шу оралиқ бозонларнинг массалари катталигига боғлиқ.

Аммо катта энергияда ($E > 300$ ГэВ да) оралиқ бозонлар ҳам фотонлар сингари осон ҳосил бўлиб, эркин алмаша олади. Бундай катта энергияда электромагнит ва заиф таъсирлар орасида тўла симметрия бўлади. Шу умумий ўзаро таъсирнинг электрозаиф ўзаро таъсирнинг компонентлари ЭТ ва ЗТ деб қаралади. Электрозаиф ўзаро таъсир (ЭЗТ) иккита ўлчамсиз константа α'_{ew} ва α''_{ew} билан характерланади. Улар α_e ва α_w билан чизиқли боғланган. 1983 йилда оралиқ бозонлар w^+ , w^- ва Z^0 тажрибада кузатилади.

Юқори энергияли зарралар тўқнашганда нуклонлар билан бир қаторда жуда кўп янги зарралар — адронлар ҳосил бўлади. Буларнинг ҳолатларини тавсифлаш учун касрли электр зарядга ва $1/2$ спинга эга бўлган нуқтавий фермион — кварклар киритилади. Бу кварклар рангларига қараб уч хил ҳолатда бўлишини



15-расм. Заиф ўзаро таъсир квантлари — оралиқ бозонлар w^\pm алмашинишига оид Фейнман диаграммалари

юқорида айтиб ўтган эдик. Бу кварклар орасида кучли ўзаро таъсирдан бошқа, заиф ўзаро таъсир ҳам бўлади. Масалан,
 $n \rightarrow p + e^{-} + \nu_{e^{-}}$ ва $p \rightarrow n + e^{+} + \nu_{e^{+}}$ реакцияларни кварк модели асосида қуйидагича ифодалаш мумкин:

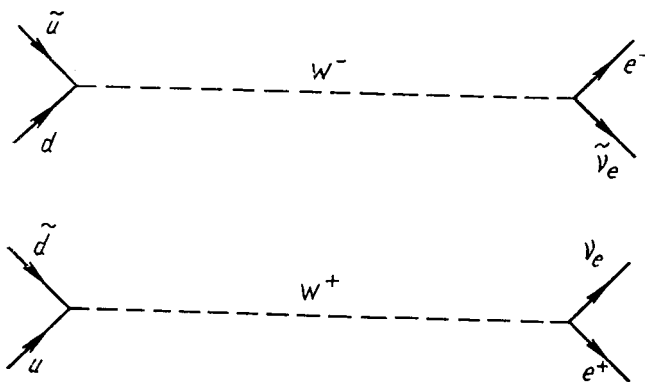
$$d \rightarrow u + e^{-} + \nu_{e^{-}}, \quad u \rightarrow d + e^{+} + \nu_{e^{+}}.$$

Бунда u — кварк $(2/3)e$ ва d кварк $-(1/3)e$ электр зарядларига эга эканлиги бизга маълум. Қуйида 3Т иштирокида содир бўладиган жараёнлар ва уларнинг Фейнман диаграммаларини келтирамиз. Ораліқ бозонлар алмашишига оид жараёнлар (15-расмга қаранг):

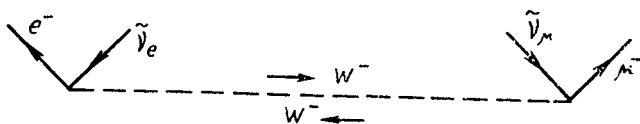
$$\begin{aligned} u &\rightarrow d + w^{+}, & w^{+} &\rightarrow e^{+} + \nu_{e^{+}}, \\ e^{+} + \nu_{e^{+}} &\rightarrow w^{+}, & d + w^{+} &\rightarrow u, \end{aligned}$$

$$d \rightarrow u + w^{-}, \quad w^{-} \rightarrow e^{-} + \nu_{e^{-}}.$$

Кварк ва антикварклар аннигиляциясига оид жараёнлар (16-расм): $u + d \rightarrow w^{-} \rightarrow e^{-} + \nu_{e^{-}}$, $u + d \rightarrow w^{-} e^{-} + \nu_{e^{-}}$



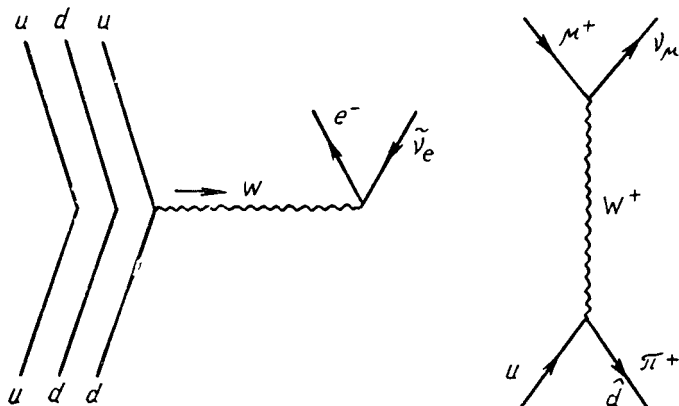
16-расм. Кварк ва антикварк аннигиляциясидан w^{\pm} бозонларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг лептонларга парчаланишига оид жараёнларнинг Фейнман диаграммалари.



17-расм. $e^{-} + \tilde{\nu}_{e} \rightarrow \mu^{-} + \tilde{\nu}_{\mu}$ жараён учун Фейнман диаграммаси.

Реал заиф жараёнлар учун қўйида яна иккита Фейнман диаграммаларини келтирамиз* 17 ва 18- расм.

Ҳозирги замон назариясига асосан, оралиқ бозонлар массалари қўйидагига тенг:



18- расм. $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ жараён учун Фейнман диаграммалари.

$$m_w \approx 80 \text{ ГэВ}, \quad m_z \approx 90 \text{ ГэВ}.$$

Тажриба кўрсатадики, (1983 й.)

$$m_w = 82 \text{ ГэВ}, \quad m_z = 94 \text{ ГэВ}.$$

Умуман w — майдон квантлари лептон ва кварк дублетлари билан универсал боғланишда қўйидагича бўлади:

$$\begin{array}{ll} w \rightarrow e + \nu & w \rightarrow u + d \\ w \rightarrow \mu + \nu & w \rightarrow c + s \\ w \rightarrow \tau + \nu & w \rightarrow t + d. \end{array}$$

Бу реакциялардан охиригисини қўйидагича ёзиш мумкин: $w \rightarrow t + \bar{b}$, $t \rightarrow b +$ (электрон ёки мюон) $+ \nu$. Бунда $b + \bar{b} \rightarrow$ адрон (ёки адронлар). Демак, охирида w — квант адрон ва нейтринога айланади.

* 1957 йилда мюон нейтриноси ν_μ мавжуд эканлигини Ю. Швингер назарий жиҳатдан исботлаб берди. 1962 йилда (Брук-хайвен, АҚШ) ва 1964 (ЦЕРН, Женева) йилларда эксперимент-да ν_μ мавжудлиги тасдиқланди.

ω^\pm оралиқ бозонлардан ташқари тажрибада нейтрал оралиқ бозон z^0 ни ҳам кузатилади:

$$p + \bar{p} \rightarrow z^0$$

бунда

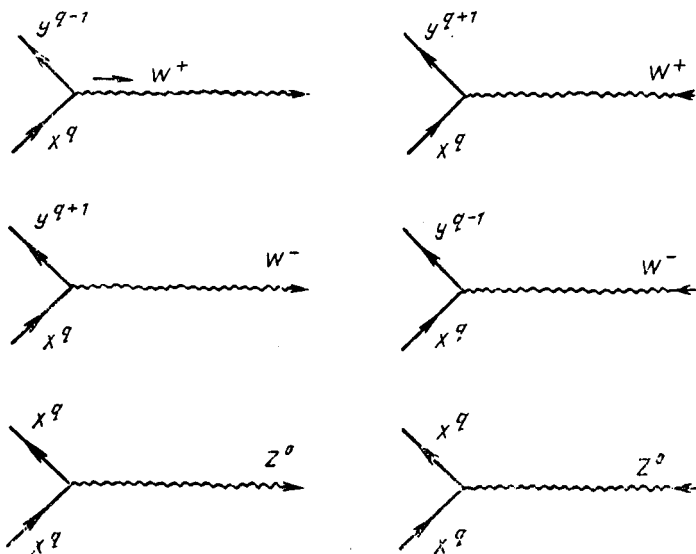
$$z^0 \rightarrow e^+ + e^-$$

ёки

$$z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-.$$

ω^\pm , z^0 оралиқ бозонларнинг кашф қилиниши ва улар заиф ўзаро таъсирнинг квантлари эканлигини тажрибада аниқланиши физикада оламшумул ютуқ эди. 1984 йилда бу экспериментал кашфиёт учун К. Руббиа ва С. Ван дер Меер Нобель мукофотига сазовор бўлдилар.

Юқорида айтганларимиздан кўринадики, ЗТ да учта w^\pm , z^0 оралиқ бозонларга 6 та элементар Фейнман диаграммалари мос келади (Квант электродинамикада ЭТ га учта элементар Фейнман диаграммалари мос келади) (19- расм). X , Y — фермионлар; улардаги юқори индекслар лептонлар учун 1,0—1 ни, кварклар учун эса $-2/3$, $-1/3$, $1/3$, $2/3$ электр зарядларини кўрсатади. Бу графаларда фермион чизиқлар бир вақтда ёки лептонлар ёки кваркларни ифодалаши зарур, чунки лептон ва барион зарядлари сақланади.



19- расм

9. Кучли ўзаро таъсир. Кварклар ва глюонлар

Адронларнинг таркибини ташкил этган u, d, s, c, b, t кварклар (бу кварклар ўзларининг ҳидлари, хушбўйлиги билан бир-биридан фарқ қилади) орасидаги ўзаро таъсир *кучли ўзаро таъсир* дейилади. Кучли ўзаро таъсирни содир қиладиган алмашинувчи зарралар *массасиз оралиқ бозонлар — глюонлар* дейилади. Кучли ўзаро таъсирнинг манбаи—кваркларнинг уч хил махсус зарядларидир. Ана шу махсус зарядларни «ранглар» деб аталди. Бу уч хил заряд (ранг) бирга қўшилиб, «нейтрал», яъни рангсиз заррани (масалан, протон ва нейтронни) ҳосил қилади (оптикада спектрлар қўшилиб, рангсиз—табiiий ёруғлик ҳосил қилганига ўхшайди. Аммо бу фақат ташқи томондан ўхшашлик, холос). Антикварклар антирангга эга. Рангли кварк ва антирангли антикваркдан рангсиз зарра (масалан, пион)лар ташкил топади. Қизил R , яшил G ва кўк B уч хил кварклар орасидаги кучли ўзаро таъсирни ҳосил қилишда алмашинувчи зарралар — глюонлар рангли бўлиши шарт (VI-жадвалга қаранг).

Глюонлар

VI-жадвал

\tilde{g}_{RR}	\tilde{g}_{RG}	\tilde{g}_{RB}
\tilde{g}_{GR}	\tilde{g}_{GG}	\tilde{g}_{GB}
\tilde{g}_{BR}	\tilde{g}_{BG}	\tilde{g}_{BB}

Учта ҳар хил рангдан 8 та ҳар хил глюон ҳосил қилиниши мумкин.

$$\tilde{g}_{RG}, \tilde{g}_{RB}, \tilde{g}_{GR}, \tilde{g}_{GB}, \tilde{g}_{BR}, \tilde{g}_{BG}.$$

VI жадвалдаги диагонал элемент (рангсиз элемент) лардан яна иккита глюон ҳосил қилиниши мумкин.

Кучли ўзаро таъсирнинг майдони ва унинг квантлари — глюонларни тавсифлайдиган назария *хромодинамика* дейилади.

Хромодинамикада бевосита кузатилувчи зарра рангсиздир. Масалан, пион π^+ қуйидагича рангли кварк ва

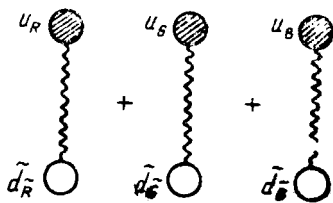
антирангли антикваркнинг комбинациясидан иборат (20-расм). Пион π^+ даги кварк ва антикварк аввал қизил ранг R ва антиқизил

ранг \bar{R} га эга бўлса, сўнг рангларини яшил G ва антияшил \bar{G} га, ундан сўнг

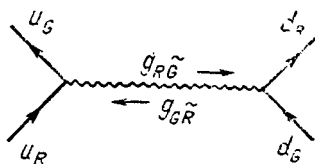
кўк B ва антикўк \bar{B} га ва ундан сўнг эса яна қизил R ва антиқизил \bar{R} ва ҳоказоларга алмаштиради.

Кварк глюон чиқарганда ёки ютганда унинг ранги ўзгаради, аммо ҳиди (хушбўйлиги) ўзгармайди. Ма-

салан u_R кварк глюон \bar{g}_{RG} ни чиқарса, уни d_G кварк ютса, бунда кваркларнинг ранги ўзгаради. Аммо уларнинг ҳиди (хушбўйлиги) ўзгармайди (21-расм).



20-расм



21-расм

Қизил кварк u_R глюон \bar{g}_{RG} ни чиқариб, яшил u_G кваркка айланади; яшил d_G кварк эса бу глюонни ютиб, қизил d_R кваркка айланади. Худди шундай яшил d_G кварк глюон \bar{g}_{GR} ни чиқариб, қизил кваркка айланади, қизил u_R кварк бу глюонни ютиб, яшил u_G кваркка айланади. Натижада \bar{g}_{RG} ва \bar{g}_{GR} глюонлар алмашиниши натижасида u ва d кварклар бир-бири билан таъсирланади ва сочилди.

Фотонлар нейтрал, шу сабабли электромагнит ўзаро таъсирда ўзига ўзининг таъсири («самодействие») бўлмайди, улар учун чизиқли қонун, яъни суперпозиция принципи ўринли. Аммо глюонлар зарядга эга бўлганлиги учун улар ўзаро таъсирда бўлади, яъни кучли ўзаро таъсир ночизиғий қонунга бўйсунди, суперпозиция принципи ўринли бўлмайди. Шу сабабли квант хромодинамика тенгламалари электродинамика тенгламаларига нисбатан мураккаб ночизиғийдир.

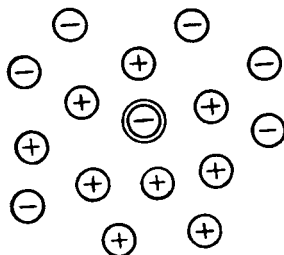
Рангли зарраларни бевосита кузатиш мумкин эмаслигини, рангли зарралар — кваркларни «адрон қопи»га тушиб қолишини, асир тушишини (конфайнмент

муаммосини) тушуниш учун квант электродинамикага мурожаат қилайлик.

Бу назарияда электроннинг заряди Комптон тўлқин узунлиги $\lambda_e = h/m_e c$ дан кичик масофа r да

$$e(cr) = e[1 + (2e/3\pi) \ln(\lambda_e^2 / r^2)]$$

муносабат билан аниқланади (Л. Д. Ландау, И. Я. Померанчук, 1955 йил); $r \geq \lambda_e$ бўлганда электроннинг заряди доимий ва e га тенг бўлади. Аммо $r < \lambda_e$ бўлганда (ситуация) аҳвол бошқача бўлади. Бунда масофа r камайиши билан $e(r)$ ортиб боради. Бошқача айтганда, $r > \lambda_e$ бўлганда ЭТ даги α_e доимий бўлса, $r < \lambda_e$ бўлганда, у масофа r га боғлиқ бўлади. Бунинг сабаби шундан иборатки, ҳар бир зарра (электрон, протон ёки бошқа зарралар) кичик вақтда (аннигиляция ва



22- расм

жуфт ҳосил бўлиши мавзусига қаранг) вакуумда туғилиб турадиган виртуал зарралар булути билан ўралган бўлади, шу зарраларга «кийинган» бўлади, яъни улар «шуба»га эга бўлади. Масалан, электрон вакуумда туғилган электрон-позитрон жуфтлари билан ўралган ва улар билан ўзаро таъсирда бўлади. Бу ўзаро таъсирда электрон атрофида кўпроқ позитронлар тўпланади ва шу сабабли электрон зарядини позитронлар маълум даражада экранлайди (22-расм). Электронга яқинлашган сари мусбат зарядли позитронларнинг экранловчи таъсири камаяди, электроннинг заряди эса ортиб боради. Ана шу сабабли масофа r камайиши билан $\alpha_e(r)$ ортиб боради. $r > \lambda_e$ бўлганда (экранныловчи зарядларнинг таъсири камайиб боради ва натижада $r \gg \lambda_e$ бўлганда $\alpha_e = 1/137,2$ доимий бўлиб қолади. $r < \lambda_e$ бўлганда эса r_1 ва r_2 масофалардаги электромагнит константанинг ўзаро қийматлари қуйидаги формула билан боғланган бўлади:

$$\alpha(r_2) = \alpha(r_1) / (1 + b \alpha(r_1) \ln(r_2^2 / r_1^2)).$$

$\alpha(r)$ нинг масофа r га қараб ўзгариши логарифмик характерга эга. Энергия қанча катта бўлса, масофа шунча кичик бўлади.

Формуладаги b нинг ишораси ва миқдори ўзаро

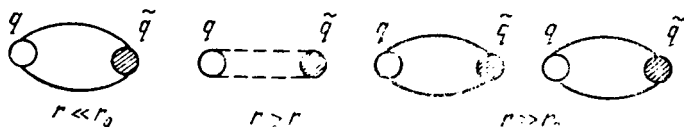
таъсир характериға боғлиқ. Агар масофа камайиши билан заряд миқдори катталашиб борса, b нинг ишораси мусбат бўлади (экранлаштириш, пардалаш ҳоли). Масофа камайиши билан заряд миқдори камайиб борса, b нинг ишораси манфий бўлади (бу антиэкранлаштириш, антипардалаш ҳоли). Зарралар орасидаги ўзаро таъсирни содир қилувчи майдон квантлари ўзлари зарядга эга бўлган ҳолда b нинг ишораси манфий бўлади.

Квант хромодинамикада кваркларнинг $r > \lambda_*$ масофада аҳволи мутлақо бошқача бўлади. Бу масофада кварк ва антикварклар билан биргаликда, глюон ҳам заряд (ранг)га эга бўлганлиги учун глюонлар ўзаро таъсирда бўлади. $r < \lambda_*$ масофада кварк атрофида кварк — антикварк жуфтлари квант электродинамикаси сингари экранлаштиради, аммо глюонлар заряд (ранг)га эга бўлганликлари учун улар антиэкранлаштирилади. Кварклар глюонларга — рангли зарядларга ўралади, «шуба» кияди. Масофа камайиши билан заряд (ранг) ва демак, кучли ўзаро таъсир интенсивлиги a камайиб боради. Бунинг асимптотик эркинлик дейилади. Аммо масофа ортиши билан, антиэкранланиш туфайли заряд (ранг) ортиб боради, катталашиб боради. Шундай қилиб, адронлар ичиде кваркларни ушланиб қолиниши («асир» тушиш, адрон «қопига» тушиб қолиш) юзага келади.

Шундай қилиб, «яланғоч» кварк атрофида ҳосил бўлган глюонлар булути кваркнинг чиқиб кетишига имкон бермайди. Бунда кваркларнинг ушланиб қолиш муаммоси тўлалигича ҳал қилинмаган бўлса-да, уни моделлар асосида маълум даражада тушунтириш имкони туғилади. Шундай моделлардан бири *торлар* моделидир.

Бу модель бўйича, адрон (масалан, протон ёки нейтрон)даги икки кваркнинг орасидаги масофани катталаштирилса, улардаги глюон (булути) майдони ўзи билан ўзи таъсири натижасида чўзилиб, ингичка тор ҳосил қилади. Икки кварк орасидаги масофа янада ортиши билан торда йиғилган глюон майдон энергияси кварк — антикварк жуфти туғилишига етарли бўлганда тор узилади, лекин унинг эркин учларида кварк ва антикварк ҳосил бўлади. Бу ҳосил бўлган антикварк билан аввалги кварк пионни ҳосил қилади. Ҳосил бўлган кварк адрон таркибида қолади.

Шундай қилиб, эркин кварклар ҳосил бўлмай, улардан π мезон туғилади (23-расм).



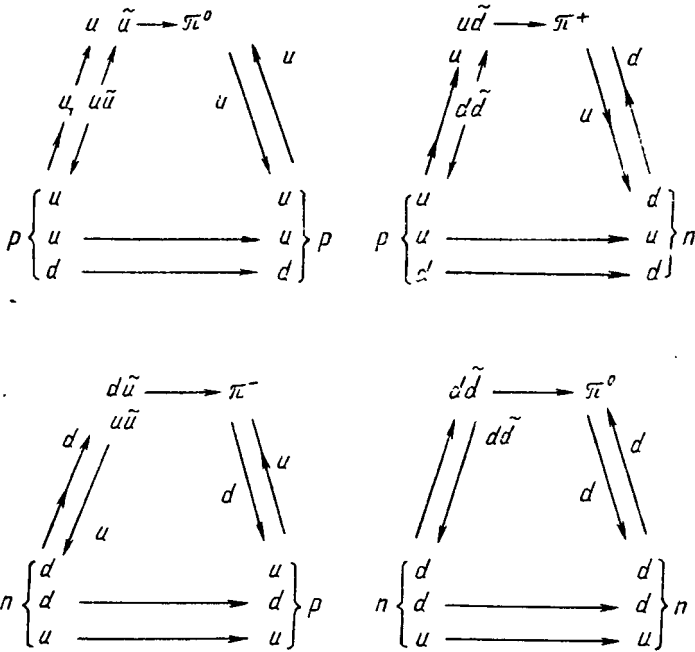
23- расм

Адрондаги кварклар худди магнит қутбларига ўхшаб кетади. Уни ҳам иккига бўлганимизда алоҳида-алоҳида эркин қутблар ҳосил бўлмай, яна ҳар икки бўлакда иккитадан қутб ҳосил бўлади.

Маълумки, аввал (япон физиги Юкава, 1935 йил) ядродаги нуклонлар орасидаги ўзаро таъсир бу кучли ўзаро таъсирга айнан тенг ҳамда ядро кучлари нуклонлар орасидаги пионларнинг алмашилиши туфайли содир бўлади, дейилган эди. (Мезон назариясига кўра.) Квант хромодинамика ядро кучларига бундай қарашни тубдан ўзгартиради. Бу назарияга кўра, ядродаги ўзаро таъсирда нуклон бутунлигича иштирок этмай, ўзининг қисмлари (кварклар) орқали иштирок этади. Бутун нуклон — рангсиз, зарядсиз зарра-ку! Бу ерда ҳам ядронинг ҳосил бўлиши квант механикадаги каби электр нейтрал атомлардан масалан, водород атомлари ўзининг қисмлари (электронлари)даги электромагнит ўзаро таъсир туфайли таъсирда бўлиб, молекула ҳосил бўлишига ўхшашдир.

Бу ерда шуни айтиш лозимки, нуклонлар орасидаги пионлар алмашилишини квант хромодинамика инкор этмайди. Балки, уни бошқача тушунтирилади: нуклондаги уч кваркдан бирининг узоқлашилиши туфайли, эффектив ўзаро таъсир шундай кучаядики, оқибатда вакуумдан кварк ва антикварк жуфти туғилади. Натихада кварк ва антикварк жуфти ядро кучини содир қилувчи рангсиз пи мезон ($q\bar{q}$) га айланади. Битта кварк нуклон қолдигини рангсизлантириб, яна нуклон ҳосил бўлишини таъминлайди (24-расм). Нуклонлар орасида $q\bar{q}$ эффектив алмашилиши, яъни пион алмашилиши содир бўлади, деб айтишимиз мумкин.

Яна шуни таъкидлаш лозимки, нуклонлар орасидаги ўзаро таъсир, ядро кучлари кучли ўзаро таъсирга нисбатан иккиламчи ташқи ўзаро таъсир ҳисобланади. Ядро кучини худди нейтрал атомлар орасидаги Ван-дер-Ваальс кучига қиёслаш мумкин. Бунда атомдаги электр кучини эса кучли ўзаро таъсирга ўхшатиш мумкин.



24- расм

Электромагнит ўзаро таъсир учун интензивлик (боғланш доимийси) $\alpha_s = e^2/\hbar c$ ифодага эга. Кучли ўзаро таъсир интензивлиги учун қуйидаги тақрибий муносабат $\alpha_s \sim 1/l\hbar (m/m_0)$ берилади.

1) Агар формулада $m \gg m_0$ бўлса, $\alpha_s \rightarrow 0$ бўлади; иккинчи томондан зарра (бу ерда кварк)нинг эгалланган соҳаси (ўрни) учун Комптон тўлқин узунлиги $r \approx \hbar/mc$ дан фойдалансак, m етарли даражада катта бўлганда, z шунча кичик бўлади, яъни $m \rightarrow \infty$ бўлганда $z \rightarrow 0$ бўлади. $z \rightarrow 0$ бўлганда $\alpha_s \rightarrow 0$ бўлиши, протон ва нейтрон таркибидаги кварклар учун айtilган машҳур асимптотик эркинликдир.

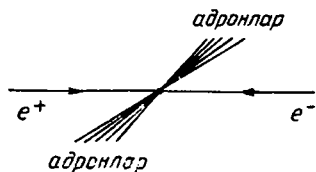
2) Агар $m = m_0$ бўлса, $\alpha_s \rightarrow \infty$ бўлади. Бу ҳолда $r \approx r_p$, яъни r ядрогаги протон (ёки нейтрон) радиусига тенг бўлади. Демак, $m = m_0$ бўлганда, ўзаро таъсир чексиз катта бўлганлиги учун кварклар адрон «қопдан» (протондан, нейтрондан) ташқарига чиқиб кета олмайди. (Бу конфайнмент принцип, «ушланиш», «асирга ту-

шиш», «чиқиб кетмаслик»). Бу ерда шуни таъкидлаш керакки, $r=r_0$ бўлганда $\alpha_s \rightarrow \infty$ бўлганлиги сабабли квант хромодинамика ядро кучлари муаммоларини ҳал қилишга муҳим ҳисса қўшгани йўқ. Ядро кучларини тавсифлаш учун одатда қуйидаги эмпирик формуладан фойдаланилади:

$$v(r) = \alpha_s \cdot m_\pi \cdot c^2 \cdot \exp(-r/r_\pi),$$

бунда m_π — пионнинг массаси, r_π — ядронинг радиуси.

Юқорида айтилганлардан кўринадики, квант хромодинамикада кучли ўзаро таъсир учун кузатиладиган ўзгармас заряд (ранг) йўқ. Квант электродинамикада эса кузатиладиган ўзгармас электр заряд мавжуддир. Квант хромодинамикада кварк ва глюонлар бевосита тажрибада кузатилмаганлиги сабабли ва катта масофада ($r \sim r_\pi$ да) кучли ўзаро таъсир аниқ бўлмаганлиги туфайли бу назария унчалик яхши таассурот қолдирмагандек кўринади. Аммо хромодинамика тажрибада олинган далилларни тартибга солиш ва тушунтирди, адронлар системасини тушунтирди, зарраларни ва уларнинг энергия сатҳларини (чармоний cc , ипсилоний bb ва уларнинг сатҳларини 1975 йилда Т. Аппелксвит ва Г. Попитнер назарий жиҳатдан ҳисобладилар) аввалдан айтиб берди, кейинчалик улар тажрибада кузатилди.



25- расм

1975 йилда Р. Хансон ва бошқалар тажрибада электронлар ҳамда позитронлар дасталарининг учрашишида иккита адронлар оқими ҳосил

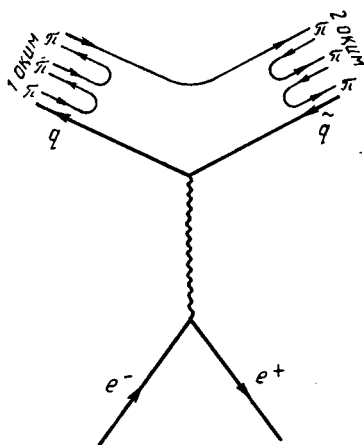
бўлишни кузатишди (25- расм).

Тажрибада кузатилган адронларнинг бу икки оқимини квант хромодинамикада етарли даражада яхши тушунтирилди;

$$e^+ + e^- \rightarrow \nu + q + \bar{q} \rightarrow 1 = \text{ва } 2 = \text{оқим.} \quad (1)$$

Бу (1) жараёнларни 26- расмдаги диаграммада тасвирлаш мумкин. Бунда бир-бири билан тўқнашувчи дасталардаги электрон ва позитрон аннигиляцияланиб, (виртуаль) фотон ҳосил қилади, фотон эса ўз навбатида q - кварк ва \bar{q} - антикварк жуфтни ҳосил қилади, бу икки томонга учиб кетаётган кварк ва антикварк орасидаги глюон майдонининг интенсивлиги ортиб боради ва натижада

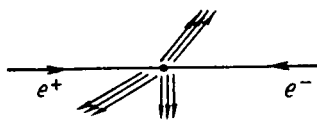
глюон майдони ва вакуум ўзаро таъсири туфайли янги кварк — антикварк жуфтлар ҳосил бўлади (23-расмга қаранг). Янги кварк ва антикварклар ўзаро бирлашиб рангсизланади; аввалги кварк ва янги антикварк бирлашиб рангсизланади. Натижада аввалги кварк йўналиши ва антикварк йўналишида рангсизланган зарралар — адрон (пион) лар ҳаракатланади, яъни тажрибада кузатилган иккита бир-бирига қарама-қарши йўналган адронлар оқимини ҳосил қилади.



26- расм

Олимларнинг фикрича, адронларнинг икки оқимини кашф этилиши ва унинг тажрибада тасдиқланиши кварклар мавжудлигининг исботи, деб ҳисобланиши мумкин. Шундай қилиб, 1975 йилда олимлар биринчи марта кваркни «кўришди». Энди улар глюонни ҳам «кўриш» иштиёқига тушдилар. Юқорида зикр этилган электрон ва позитрон аннигиляцияси жараёнида ҳосил бўлган кваркларнинг бири рангсизлангунга қадар ўзидан (виртуаль) глюон чиқариши мумкин. Бу глюон эса ўзининг пионлар гуруҳини ҳосил қилиши мумкин. Шундай қилиб, иккита оқим ўрнига тажрибада учта оқим кузатилиши лозим (27-расм). 1979 йилда (Вник раҳбарлигида) уч оқимли ҳодиса тажрибада тасдиқланди. Оптимист олимлар учун бу далил глюонларнинг мавжудлигини тасдиқловчи исбот бўлди.

Шундай қилиб, кучли ўзаро таъсир майдони глюонлар алмашинуви туфайли содир бўлиб, бу алмашинувда кваркларнинг ранги (кучли ўзаро таъсирни ҳосил қилувчи заряди) ўзгаради, бошқа хоссалари ўзгармайди. Заиф ўзаро таъсир ораллиқ бозонлар w^+ , w^- ва z^0 алмашинуви туфайли содир бўлиб, бу алмашинувда кваркларнинг ҳиди (хушбўйлиги) ўзгаради,



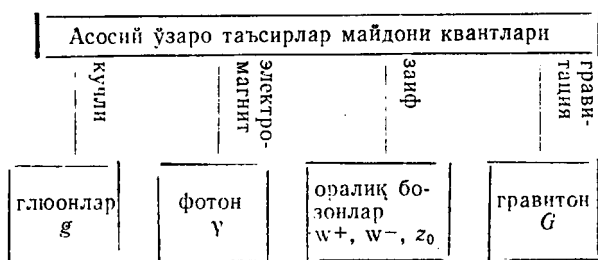
27- расм

яъни кваркларнинг деярли ҳамма хоссалари ўзгаради. Бошқача айтганда, бу заиф ўзаро таъсирда кваркларнинг ўзи ҳам алмашиниб қолади (кварк моделига асосан нейтрон n (udd) нинг битта d -кварки ўзидан w^- -бозон чиқариб, u -кваркка айланиши ва натижада нейтроннинг протон p (uud) га айланишини эсланг. Бу реакцияда w^- -бозон эса электрон ва антинейтринога айланади. Хулоса қилиб айтганда, заиф ўзаро таъсир фундаментал элементар зарралар кварклар ва лептонлар орасидаги боғланишни содир қилади.

10. Ягона назария

Биз юқорида элементар зарраларни лептонлар ва адронлар гуруҳларига бўлинганлигини кўриб ўтдик. Лептонларни нуқтавий, структурасиз (таркибий қисмга эга бўлмаган) зарралардан иборат; адронларни структурали (таркибий қисмлардан — кварклардан иборат) зарралар деб қаралди. Лептонлар ва кварклар фундаментал (асосий) элементар зарраларни ташкил этади (IV-жадвалга қаранг). Бу фундаментал элементар зарралар орасида асосий ўзаро таъсирлар электромагнит, кучли, заиф ва гравитация ўзаро таъсирлар мавжуд. Асосий (фундаментал) ўзаро таъсирлар механизми бир хил алмашинувчи характерга эга. Алмашинувчи зарралар фотон, оралиқ бозонлар, глюонлардир. Бу зарралар ҳам фундаментал элементар зарралар гуруҳига киради (VII жадвалга қаранг).

VII жадвал



Шундай ғоя туғилди. Ҳамма зарраларни бир турга тегишли зарралардан келиб чиққан ва ҳамма ўзаро таъсирларни ана шу бир турга тегишли зарралар орасидаги асосий (фундаментал) ўзаро таъсирдан келиб чиқ-

қан (яъни бунинг хусусий ҳоллари) деб қарайдиган ягона назария яратиш мумкин эмасмикан.

Ягона назария яратиш ғояси устида буюк олимлардан Эйнштейн, Гейзенберг кўп ишладилар, аммо ижобий натижага эриша олмадилар. Фақат кейинги йиллардагина, майдоннинг квант назарияси туфайли ягона назария яратишда жиддий ютуқларга эришилди.

Зарраларнинг энергияси ортиб бориши билан уларнинг орасидаги оралиқ бозонлар w^+ , w^- , z^0 алмашинуви осонлашади. Энергия қиймати 10^2 ГэВ тартибга етганда, яъни $E > mc^2$ бўлганда оралиқ бозонлар ҳам фотонлар сингари осонлик билан зарралар орасида алмашади. Энергиянинг бу қийматига Комптон тўлқин узунлиги $\lambda = h/mc$ ва бундан 10^{-16} см масштаб мос келади. Назарий жиҳатдан кўрсатиладики, энергиянинг бу қийматларида (ёки 10^{-16} см ва ундан кичик соҳада) ЭТ ва ЗТ бир умумий ўзаро таъсир—электрозайф (қисқача элза) ўзаро таъсирнинг хусусий ҳоллари бўлиб қолар экан. Бу элза ўзаро таъсирда учта оралиқ бозонлар w^\pm , z^0 алмашиниши зайф ўзаро таъсирга сабабчи бўлса, фотонларнинг алмашинуви электромагнит ўзаро таъсирнинг содир бўлишига олиб келади. Бу ҳолда ЭТ ва ЗТ интенсивликлари битта фундаментал константа (доимийлик) билан аниқланади. Шундай қилиб, энергиянинг кичик қийматларида ЗТнинг интенсивлигининг кичиклиги, бу ўзаро таъсирга тегишли заряд (муаттарликнинг, хушбўйликнинг, қисқача «ҳид»)нинг кичиклигида эмас, балким, оралиқ бозонлар w^\pm , z^0 нинг массалари катталигидадир.

Бу ерда шуни айтиш лозимки, 1967 йилда электромагнит ва зайф ўзаро таъсирларнинг умумий назариясига Салом ва Вайнберг асос солдилар. Г. Хоофт 1971—72-йилларда Вайнберг—Салом назариясини перенормировкаладиган эканлигини исбот қилгандан кейин, бу назария ҳамма томонидан тан олина бошланди. Бу электрозайф майдон назариясини яратишдаги хизматлари учун америкалик олимлар Ш. Глэшоу, С. Вайнберг ва покстонлик олим А. Салом 1979 йилда Нобель мукофотига сазовор бўлдилар.

Электрозайф ўзаро таъсир назарияси, кучли ўзаро таъсир назарияси ва у ўзаро таъсир майдонларининг квантлари оралиқ бозонлар w^\pm , z^0 фотон ва глюонлар ҳамда уларнинг тажрибада тасдиқланиши квант хромодинамика фанининг яратилишига олиб келди. Бу эса

ўзаро таъсирларнинг бир-бирига ўхшашлигини кўрсатибгина қолмасдан, балким табиат кучлари ягона асосга эга эканлигига ҳам асос бўлди.

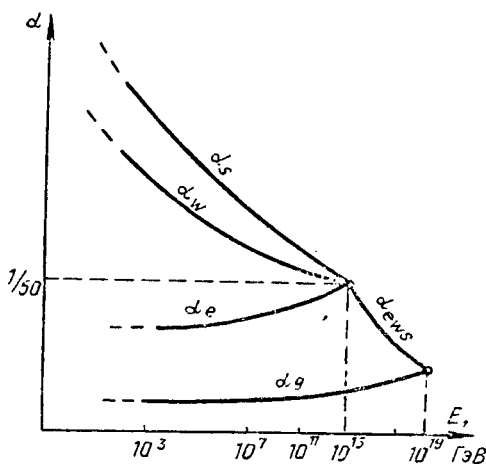
Ана шундай табиат кучларининг ягона асосга эга эканлиги йўлидаги қадамлардан кейингиси (аввалгилари электр, магнит, ёруғлик ҳодисаларининг бирлигини кўрсатувчи электромагнит назарияси, электромагнит ва заиф ўзаро таъсирларни умумлаштирувчи электрозайф назарияси) электрозайф ўзаро таъсир билан кучли ўзаро таъсирни бирлаштирувчи Буюк бирлашув (синтез) назариясидир. Бу назарияни яратишга 1973 йилда А. Салом ва Ж. Пати уринган эдилар. 1974 йилда Буюк бирлашув назариясига Х. Жоржи, С. Глэшоу асос солдилар.

Бу назарияда фундаментал элементар зарралар — лептонлар ва кварклар симметрияси мавжудлиги ва уларнинг бир-бирига айланиши кўп компонентли умумий майдон — бу майдон квантларининг алмашинуви туфайли содир бўлади, деб қаралади. Бу назариядаги майдонлар электромагнит (фотонлар), кучли (глюонлар), заиф (оралиқ бозонлар) ягона майдоннинг компонентлари деб қаралади. Шу билан бирга Буюк бирлашув назарияси кварк лептон айланишларини кўзда тутганлиги учун бу айланишларга тегишли янги майдон ва унинг квантлари мавжуд эканлигини кўрсатади.

Бу буюк бирлашув назариясига асосан жуда юқори энергияли зарралар лептон ва кварк ҳолатларида бўлиб, улар бу ҳолатларда бир-бирига айланишлари мумкин. Буюк бирлашув назариясидан бу ўтишларни таъминловчи 24 та алмашинувчи майдон зарралари мавжудлиги келиб чиқади: 8 та глюон g , 3 та оралиқ бозонлар w^+ , w^- , z^0 ; 1 та фотон γ ва 12 та янги рангли X , Y зарралар. Бу янги зарралар мос равишда $\pm (4/3)e$ ва $\pm (1/3)e$ электр зарядларига эга ва уларнинг энергияси $m_{xc}c^2 \approx 10^{15}$ ГэВ тартибидадир. Бу энергияга мос келувчи характерли масофа $r_x \approx h/m_{xc}$ ва бундан $r_x \approx 10^{-29}$ см тартибидир.

Бу назарияда зарядларнинг касрли эканлиги ва унинг квантланганлиги ўз ифодасини топди. Шу билан бирга электрозайф назариясида киритиладиган баъзи эркин параметрлар (масалан, Вайнберг бурчаги θ_w) назария асосида ҳисобланди.

Буюк бирлашув назариясининг яна бир ютуғи шундан иборатки, бу назария электромагнит, заиф ва куч-



28- расм

ли ўзаро таъсирларнинг боғланиш доимийликлари α_e , α_w ва α_s энергиянинг 10^{15} ГэВ қийматида бир хил қийматга эга бўлишлигини кўрсатади (28-расм). Элиза ўзаро таъсир интенсивлиги ЭТ ва ЗТ доимийликлари α_e ва α_w дан ташкил топган (улар билан чизиқли боғланган) камаювчи ва ортувчи α'_{ew} ва α''_{ew} коэффициентлар билан аниқланади. Кучли ўзаро таъсир доимийси α_s , α_w , α_e доимийликлар, назария кўрсатишича энергиянинг 10^{15} ГэВ қийматида бир хил қиймат қабул қилади, яъни $\alpha_{ews} \approx 0.02 = 1/50$ ($\approx 1/40$). Энергиянинг 10^{19} ГэВ қийматида эса α_{ews} ва гравитация ўзаро таъсир доимийси α_g ягона майдон интенсивлигини характерлайдиган α_{ewsg} қийматини қабул қилади.

α_s нинг α_w га нисбатан энергияга кескин боғланиши глюон вакуумнинг кучли қутбланиш (антиэкранланиши, антипардаланиши) билан тушунтирилади, яъни глюонлар оралиқ бозонларга нисбатан кўплиги билан тушунтирилади. Электромагнит ўзаро таъсирда эса, экранлашиш туфайли масофа камайиши билан (яъни энергиянинг ортиши билан) заряд e (g) ва демак α_e ортиб боради.

Энергиянинг 10^{15} ГэВ ва ундан ортиқ қийматларида юқоридаги учта ўзаро таъсирлар бир умумий таъсирнинг хусусий ҳоллари бўлиб қолади. Умумий ўзаро таъсирнинг намоён бўладиган соҳаси учун $r \sim \lambda = 10^{-29}$ см

ва бундан кичик қийматлардир. Бошқача айтганда, Буюк бирлашув назариясининг қўлланиш соҳаси

$$E \geq 10^{15} \text{ ГэВ}, \quad r \leq 10^{-29} \text{ см.}$$

Бу назария бўйича юқори энергияли ҳолатда (уни кварк-лептон ҳолати дейилади), лептонлар ва кварклар x, y бозонлар воситасида бир-бирларига айланиши мумкин:

$$uu \leftarrow x \rightarrow e \tilde{d}, \quad ud \leftarrow y \rightarrow \tilde{\nu} e d.$$

Бу реакцияларни диаграммада қуйидагича кўрсатиш мумкин (29- расм). Юқоридаги реакциялар қуйидаги реакцияларнинг бўлиши мумкинлигини кўрсатади:

$$uud \rightarrow e + d\tilde{d}, \quad uub \rightarrow \tilde{\nu} e u\tilde{d}, \quad ddu \rightarrow \tilde{\nu} e d\tilde{d}.$$

Бу реакциялар эса нуклонларнинг емирилиши мумкинлигини кўрсатади:

$$p \rightarrow \pi^0 + e^-, \quad p \rightarrow \pi^+ + \tilde{\nu} e, \quad n \rightarrow \pi^0 + \tilde{\nu} e.$$

Кўриниб турибдики, Буюк бирлашув назариясида нуклонлар, жумладан протон емирилиши мумкин. Назария бўйича протоннинг яшаш вақти

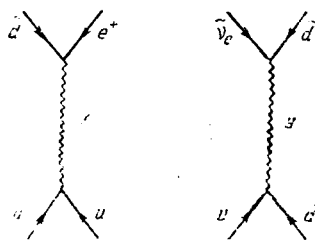
$$\tau_p^n = 10^{30 \pm 3} \text{ йил.}$$

Қилинган экспериментлар кўрсатадики, агар протон емирилса, унинг яшаш вақти $\tau_p^g \sim 2,5 \cdot 10^{32}$ йилдан кичик эмас. Протоннинг емирилишини кузатиш, олимлар фикрича, аср эксперименти бўлар эди.

Буюк бирлашув назариясидаги умумий ўзаро таъсирни электроядро ўзаро таъсир, деб юритила бошланди. Аммо бу умумий ўзаро таъсир учта ўзаро таъсирларнинг умумийси бўлгани учун шу ўзаро таъсирлар номларининг би-

ринчи бўғинларидан эса қоладиган ихчам ва қисқа «ЭЛЗАКУЧ» атамасини яшаш мумкин. Биз қуйида шу атамадан фойдаланамиз.

Қуйида кварк ва лептонларнинг уч авлодга бўлинишини жадвалда келтираамиз:



29- расм

Зарралар	Авлодлар			Электр заряди
	I авлод	II авлод	III авлод	
Лептонлар	ν_e e	ν_μ μ	ν_τ τ	0 ± 1
Кварклар	u d	c s	t b	$+2/3$ $-1/3$

Электрозаиф (Элза) ўзаро таъсирнинг назарияси ҳар бир авлоддаги кварклар ёки лептон жуфтларини симметриясини тавсифлаб беролса, Буюк бўрлашув назария эса ҳар бир авлоддаги зарралар симметриясини тавсифлаб бера олади. Аммо элементар зарралар авлодлари нима учун бир-бирларидан фарқ қилади ва фақат массаси билан фарқланувчи бу авлодлар табиатга нима учун керак бўлиб қолди, деган саволга ҳозирча мукамал жавоб йўқ.

Биринчи авлод зарраларидан (фермионларидан) ҳозирги Оламимиз ташкил топган. Ҳақиқатан ҳам, u -кварк ва d -кваркдан нуклонлар ва демак, атом ядролари ташкил топган. Электрон нейтриноси туфайли Қуёш ва юлдузларда ядро реакциялари боради. Иккинчи ва учинчи авлодларнинг фермионлари яратувчининг номақбул деб ташлаб юборган хомаки режаларини гўё топиб олганимиздай ҳолни эслатади.

Элзакуч ва гравитация ўзаро таъсирларни умумлаштирадиган мукамал ягона назария ҳали яратилганича йўқ. Аммо қилинган ҳисоб-китобларга кўра, энергиянинг 10^{19} ГэВ ва улардан ортиқ қийматларида тўртта асосий (фундаментал) ўзаро таъсирларни ягона ўзаро таъсирнинг хусусий ҳоллари (компонентлари) деб қараш мумкин.

Бу ерда шунини эслатамизки, ягона майдон назарияси қўлланиладиган энергия $E \approx 10^{19}$ ГэВ қийматга $r \sim \lambda = \hbar c/E$ дан масофанинг $r \approx 10^{-33}$ см қиймати мос келади, бу масофага эса $t = r/c$ дан вақтнинг $t \approx 10^{-44}$ с қиймати мос келади.

Бошқача айтганда, тўртта ўзаро таъсирларнинг умумийси ягона ўзаро таъсир қўлланиладиган соҳа учун $E = 10^{19}$ ГэВ, $r \approx 10^{-33}$ см, $t \approx 10^{-44}$ с қиймати мос келади.

Оламнинг Планк эрасида материянинг бундай қий-

матли параметрларга эга бўлиши мумкинлигини кейинроқ кўрамиз.

Ягона майдон назарияси яратиш йўлидаги баъзи уринишлар ҳақида қисқача тўхталайлик. Бу ерда шуни айтиш лозимки, Вайнберг, Салом назарияси ва Буюк бирлашув назарияси, умуман майдоннинг ҳозирги замон квант назарияси учта концепцияга асосланади:

- 1) локаль калибр инвариантлик (ЛКИ)
- 2) симметриянинг спонтон бузилиши (ССБ);
- 3) қайта нормалаш.

Суперсимметрия ҳақидаги тасаввурларга кўра, ҳар бир элементар заррага спини бошқача бўлган янги зарра — суперсимметрик шерик (партнер) мослаштирилади. Масалан, электрон, нейтрино, кварклар ва спини $1/2$ га тенг бўлган элементар зарраларга зарядлари ўшандай, аммо спини 0 га тенг бўлган суперсимметрик шериклар (партнерлар) мослаштирилади; фотонга (фотоннинг спини 1 га тенг) — $1/2$ спинли фотино, спини 1 га тенг глюонга спини $1/2$ га тенг, аммо ранги глюон рангидай глюонна мослаштирилади ва ҳоказо 4 га фундаментал ўзаро таъсирларни бирлаштирувчи супергравитация назарияда спини 2 га тенг гравитонга спини $3/2$ га тенг гравитино мослаштирилади. Агар суперсимметрия қатъий бажарилганда эди, суперсимметрик зарралар — шериклар (партнерлар) ва уларнинг массалари бир-бирига тенг бўлган бўлар эди. Аммо бундай фактлар кузатилмаганлиги учун бу шерикларнинг массалари жуда катта ёки улар орасидаги ўзаро таъсир жуда заиф (кучсиз), деган тахмин қилиниши мумкин; ҳозирги замон лабораторияларида суперсимметрик зарраларни қидириш режалаштирилмоқда.

Зарралар ва уларнинг ўзаро таъсирлари симметрияси ҳақидаги ғояни янада умумлаштиришга асосланиб, Буюк синтез моделларидан супергравитация тасаввурларига ўтилди. Бу методга альтернатив йўл: гравитация ўзаро таъсир ҳақидаги тасаввурларни умумлаштириш ва кучли, заиф, электромагнит ўзаро таъсирларни ягона «геометрик» манзарага киритишга асосланган.

Ягона майдоннинг ҳозирги замон назарияси — суперторлар назарияси ҳар иккала назариялар синтези асосида яратилган. Бу назариянинг объекти ўн ўлчовли фазо-вақт фазосида суперторлардир. Бу суперторлар — объектлар, одатдаги фазо-вақт фазосида куза-

тиладиган элементар зарралар ва майдонлар кўрнинишида намоён бўлади. Бу янги назария аввалги Буюк бирлашув назарияси ва супергравитация олдиндан айтиб берган зарраларни айтиб беришдан ташқари яна бир қанча янги зарралар ва майдонлар бўлишлигини аввалдан айтиб бермоқда.

Юқоридаги айтилганларга асосланиб, элементар зарралар физикасини айсбергга ўхшатишади. Элементар зарраларга тегишли ҳодисаларнинг фақат кичик бир қисмини бевосита экспериментда тадқиқ қилиш мумкин. Ҳодисаларнинг асосий қисми эса ҳозирги замон тезлаткичларида эришиб бўлмайдиган, ҳозирги Олам ҳодисаларидаги юқори энергия ҳам етарли бўлмаган, жуда юқори энергияли микроолам қаърида ётибди.

Иккинчи боб ОЛАМ ЭВОЛЮЦИЯСИ

«Биз табиатнинг қандай тузилганлигини билишнигина хоҳламасдан, ... балким унинг нима учун бошқача бўлмай, айна шундай эканлигини ҳам билишни истай-миз».

А. Эйнштейн

Кириш

Биз танишдикки, энергиянинг ўта юқори қийматларида, масалан 10^{15} ГэВ ва ундан ортиқ қийматларида, асосий ўзаро таъсирлар Буюк бирлашув назарияси, супергравитация ва суперторлар назарияларига кўра, умумий ўзаро таъсирнинг хусусий ҳоллари, компонентлари деб қаралиши мумкин. Аммо бундай катта энергияли зарраларни лаборатория шароитида олиш мумкин эмас. Ҳақиқатан ҳам агар тезлаткич Ер куррасини ўраб оладиган даражада катта қилиб қурилганда эди, унда 10^7 ГэВ энергияли зарралар олинган бўлур эди. Бу эса Буюк бирлашув назарияси қўлланиладиган соҳа энергиясидан 7—8 тартибга камдир.

Шу сабабли ўта юқори энергияли зарралар физикаси — микрофизика хулосаларини бевосита асослаш учун табиатда бўлган ёки бўлиши мумкин бўлган ҳодиса ва жараёнларга мурожаат этиш лозим бўлади. Худди шу муносабат билан Олам эволюцияси ва уни тушуниш айтиқса диққатга сазовор бўлиб қолди. Чунки Олам ўзининг энг аввалги даврларида Катта Портлашдан сўнг, жуда юқори энергияли даврларни бошидан ўтказган бўлиши мумкин, дейлади. Масалан, бу тасаввурларга кўра, Катта Портлашдан сўнг 10^{-44} с ўтганда энергия 10^{19} ГэВ, 10^{-36} с вақт ўтгандан кейин эса 10^{15} ГэВ бўлган. Шу нуқтан назардан қараганда микрофизика ва космология ўзаро боғланганлиги ҳамда уларнинг маълум маънода бирлиги келиб чиқади. Шундай қилиб, микрофизика ўзининг хулосаларини Олам эволюцияси «лабораториясида» тасдиғини изласа, Олам эволюцияси сценарияси. Олам манзарасининг ўзгариши эса ўзининг асосини микрофизиканинг ягона назариясидан қидирмоқда. Микрофизика ютуқлари космологиядаги бир қанча муаммоларни, жумладан катта масштабдаги Олам бир жинсли бўлишлиги, Оламнинг барион асим-

метрияси ва бошқа шу каби ҳодисаларнинг сабабини тушунтиришга имкон беради.

Шундай қилиб, микрофизика аввал алоҳида зарраларнинг қонунлари ва уларнинг бир-бирига айланишлари билан шуғулланган бўлса, коинотнинг бир бутун деб қараб, унинг умумий ривожланиш қонунларига ўзининг қонунларини қўллаш ортиқча деб қарайдиган бўлса, худди шунингдек, сиртдан қараганда, Олам эволюциясининг умумий қонунлари элементар зарралардаги жараёнларга кам алоқаси бордай туюлган бўлса, энди уларнинг бир-бирлари билан узвий боғланганлиги равшан бўлиб қолди. Ҳақиқатан ҳам, микроолам асосларига ва ундаги симметрияга ҳамда Олам кенгайишининг аввалги даврларига назар ташласак, элементар зарралар физикаси ва космологиянинг бир-бири билан узвий боғланганлигини кўрамиз. Хулоса қилиб айтганда, микро ва микроолам пойдевори ягонадир. Ранг-барангликка эга бўлган бу ягона пойдеворни ўрганиш материянинг ягона назариясининг вазифасидир.

1. Катта Портлаш

Г. Гамов 1948 йилда (Георгий Гамов 1923 йилда Россиядан эмиграция қилинган) элементларнинг пайдо бўлиши устида фикр юритиб Олам пайдо бўлишида жуда юқори температура бўлганлиги ва Олам Катта Портлашдан пайдо бўлганлигини ва ундан кейин Олам кенгая борганлиги ҳақидаги ғояни айтади. 1956 йилда ҳатто шу Катта Портлашдан қолган нурланишнинг (бу нурланишни, рус олими И. Шкловский таклифига кўра, реликтов нурланиш деб атаб бошланди) ҳозирги даврдаги температураси 5—6 К эканлигини Гамов назарий жиҳатдан баҳолаган эди. Бу ғоя олимлар томонидан бир қанча вақт эътиборга олинмай келди.

Аммо 1965 йилда америкалик олимлар А. Пензиас ва Р. Вильсон томонларидан қилинган оламшумул кашфиёт туфайли, Оламини Катта Портлашдан пайдо бўлганлиги ҳақидаги тасаввур жуда кўп олимлар томонидан қабул қилинди ва шу ғояни тарафдори бўлиб қолдилар. Биз ҳам қуйида шу тасаввурга асосланамиз.

1964 йилда Пензиас ва Вильсон тасодифан бир муҳим ҳодисага дуч келиб қолдилар: улар бизнинг Галактикамиздан келаётган радионурланишнинг 75 см тўлқин узунликдаги интенсивлигини ўлчашмоқчи бўлишганда, асбоб томонидан шу диапазонда радиошовқин

қайд қилинади. Бу сигналнинг интенсивлиги йўналишга боғлиқ эмаслиги аниқланади. Улар аввалига бу шовқин антенна ёки радиоқурилма занжирининг шовқини бўлса керак деб ўйладилар. Бир йилча радиоқурилма характеристикаларини яхшилаш устида ишлаганларидан кейин, 1965 йилда яна ўша микротўлқинли шовқин (фон) барча йўналишларда кузатилди.

Маълумки, ҳар бир жисм, унинг ичидаги электронларнинг тартибсиз (хаотик) ҳаракати туфайли, радиодиапазонда «шовқин» беради. Жисмнинг температураси қанча юқори бўлса, бу нурланиш интенсивлиги шунча катта бўлади. Пензиас ва Вильсон бу иссиқлик нурланишига мос температура 3,5 К эканлигини аниқладилар. Ҳозирги вақтда реаликтив нурланиш температураси 2,7 К эканлиги аниқланган.

Пензиас ва Вильсоннинг бу кашфиёти астрофизикадаги «қизил силжиш» кашф қилинишидан кейинги иккинчи буюк кашфиёт эди. Бу кашфиётдан сўнг, олимлар Гамов айтганидай, Оламнинг бошланиши борлигига ва у жуда юқори температурали ҳолатда бўлганлигига ишона бошладилар. Чунки Гамовнинг Оламнинг Катта Портлашдан бошланганлиги ҳақидаги ғоясидан чиқадиган натижа: Катта Портлашдан кейин коинотда қолдиқ—реликтив нурланиш сақланиб қолишлиги, унинг температураси ҳозирги вақтда 5—6 К атрофида бўлишлиги ана шу юқоридаги кашфиётда ўз тасдиғини топди. Пензиас ва Вильсон 1978 йилда бу кашфиётлари учун Нобель мукофотига сазовор бўлдилар.

Катта Портлаш ва ундан келиб чиқадиган Олам кенгайиши манзаралари бир-бирига ички мувофиқлигини эътироф этса-да, аммо Оламнинг энг аввалги босқинчида жуда юқори температура ва зичликда бўладиган кенгайишни аниқлаш учун маълум бошланғич шартларни билиш талаб этиларди. Бу ҳақда маълумот йўқ эди. Бундай бошланғич шартларни асослаш учун космология фани элементар зарралар назариясининг хулосаларига мурожаат этди. Оламнинг кенгайишини унинг кузатиладиган қисмида унинг бир жинслилик сабабини, барцион асимметриясини ва Олам пайдо бўлишидаги ҳолатини, ҳозирги замондаги тузилишини (унинг манзарасини) ва ундаги реликтив нурланишнинг изотроплиги билан миқдорий томондан мувофиқ келиши сабабларини асослашга ҳозирги замон микрофизика ютуқлари имкон берди.

2. Планк эраси

Олам эволюциясининг сценарияси ҳақида сўз борганда Портлашдан аввалги, Портлаш ва Планк эралари, улардаги материя, вақт-фазо ҳолатлари ҳақида батафсилроқ сўз юритиш мантиқан ҳамда фалсафий нуқтаи назардан лозим бўлса-да, ҳозирги замон адабиётларида асосан Планк эраси ва айниқса, ундан кейинги эраларга мукамалроқ тўхталинади. Бунинг сабаби шуки, Планк эраси ва ундан аввалги эраларга оид назария ҳали тўла ишланмаганлигидадир.

Қуйидаги фундаментал доимийликлар: бутун Олам тортишиш ёки гравитация доимийси

$$G = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{гр} \cdot \text{с}^2,$$

вакуумдаги ёруғлик тезлиги

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}.$$

Планк доимийси

$$h = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$$

бизга маълум.

Бу доимийликлардан

$$l_p^2 = hG/c^3 = [1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}]^2 \quad (14)$$

узунлик қийматини оламиз.

Вақт учун

$$t_p = l_p/c = (hG/c^5)^{1/2} = 5,3 \cdot 10^{-44} \text{ с} \quad (15)$$

ифодани оламиз.

Масса учун

$$m_p^2 = h c/G = [2,2 \cdot 10^{-5} \text{ гр}]^2, \quad (16)$$

зичлик учун эса

$$\rho_p = m_p / \frac{4\pi}{3} l_p^3 = 1,3 \cdot 10^{93} \text{ гр/см}^3 \quad (17)$$

қийматларга эга бўламиз; m_p — планкеон (ёки Фридмон) массаси дейилади. Планкеон энергияси учун

$$E_p = m_p c^2 = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ ГэВ} \quad (18)$$

қиймат оламиз. ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$, $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$, $1 \text{ эрг} = 6,25 \cdot 10^{11} \text{ эВ/Э} \approx kT$ дан $1 \text{ эВ} \approx 10^4 \text{ К}$ эканлигини назарда тутиб, температура учун

$$T_p = E_p/k \approx 10^{32} \text{ К} \quad (19)$$

қийматни оламиз.

Портлашдан кейинги $t_p = 5,3 \cdot 10^{-44}$ с вақтли Олам даврини Планк эраси дейилади.

Планк эрасидаги Оламнинг параметрларининг қийматлари (14—16) ифодалар билан мос равишда аниқланади.

Катта Портлаш назариясига кўра, Олам вақт ўтиши билан совийди, унинг температураси ва унга мос энергия камаяди. Шу назарияга кўра, Олам эволюцияси учун ушбу муносабат

$$Et^{1/2} = a \quad (20)$$

ўринли. Бу ерда t — Оламнинг Портлашдан кейинги вақти (ёши), a — доимий сон. Планк эраси учун $E = E_p$ ва $t = t_p$ эканлигини назарда тутиб, доимий сон a нинг

$$a = h \sqrt{t_p} = h (c^5/hG)^{1/4} \approx 3MэВс^{1/4} \quad (21)$$

ифодасини топамиз.

Демак, Катта Портлашдан кейин Олам эволюцияси учун

$$E \sqrt{t} = 3MэВс^{1/4} \quad (22)$$

муносабатга эга бўламиз. Эйнштейн формуласи

$$E = mc^2 \quad (23)$$

ва (15—17) формулалар асосида қуйидаги

$$\rho = 3E^4/4\pi c^5 h^3 \quad (24)$$

ифодани осонгина ҳосил қилиш мумкин. Энергиянинг камайиши билан Олам масса зичлиги ҳам, (24) ифодага кўра, камайиб боради.

Энди вақт билан зичлик орасидаги боғланишни аниқлайлик. Бизга қуйидаги ифода маълум:

$$\rho_p = 3m_p/4\pi l_p^3 = 3m_p/4\pi l_p c^2 t_p^2 \quad (25)$$

Бу ерда ҳажмни шар деб ҳисобладик. m_p ва l_p ларнинг ифодаларидан фойдаланиб, (25) ни

$$\rho_p t_p^2 = 3/4\pi G$$

кўринишда ёзиш мумкин. Агар ρ_p ва t_p ни фақат Планк эраси учунгина эмас, Олам массаси зичлиги ва унинг Портлашдан кейинги вақти деб, қабул қилсак, жуда муҳим қуйидаги

$$t^2 = 3/4\pi G = 3,56 \cdot 10^6 \text{ грс}^2 \text{ см}^{-3} \quad (26)$$

қонуниятни кўрамыз.

Масалан, зичлик $\rho \sim 10^{14}$ гр/см³ бўлсин (бу тахминан ядронинг массаси зичлигига тўғри келади). Портлашдан кейин, Олам бундай зичликка, (26) муносабатга кўра, $t \approx 10^{-4}$ с вақт ўтгандан кейин эришган. Ҳозирги замонда Олам учун зичлик $\rho \approx 2 \cdot 10^{-30}$ гр/см³ деб баҳоланади, (26) ифодага кўра, Оламнинг ёши учун $t \approx 1,33 \cdot 10^{18}$ с тақрибий натижани оламиз. 1 млрд. йил $3,16 \cdot 10^{16}$ секунд эканлигини эътиборга олиб, Олам ёши учун 42 млрд йил оламиз. Бу натижа эса адабиётларда Олам ёши учун келтириладиган натижадан икки мартадан ҳам зиёдроқ.

Олам ёши учун 20 млрд йилни қабул қилсак, (26) ифода асосида, зичлик учун $\rho = 8,9 \cdot 10^{-30}$ г/см³ қийматни оламиз. Бу қиймат эса ҳозирги замонда зичлик учун олинган $\rho \approx 10^{-30} - 10^{-19}$ г/см³ натижаларга мос келади.

Адабиётлардаги критик зичлик ρ_k учун

$$\rho_k = (3/8\pi) H^2/G \quad (27)$$

ифодада H — Хаббл доимийси ўрнига, агар $2/3t$ ни қўйсак, (t — Оламнинг ҳозирги ёши)

$$\rho = 4,5 \rho_k$$

натижани оламиз. Бу ρ ρ_k бўлган ҳолда Оламнинг ҳозирги замондаги кенгайиши, нисбийлик назариясига асосан, маълум вақт ўтгандан кейин сиқилиш билан алмашилиши зарур.

Энди фундаментал доимийликлардан фойдаланиб, назарияда маълум бўлган (20) муносабатни олайлик. Бунинг учун (26) даги ρ нинг ўрнига, унинг (24) даги қийматини келтириб қўйиш лозим. У ҳолда маълум

$$Et^h = ch (c/Gh)^{1/2} = a \quad (28)$$

муносабатни оламиз.

Ҳозирги вақтда Планк эраси ва ундан аввалги даврдаги Олам ҳолати ҳақида мукамал тасаввур йўқ. Бу даврлардаги Олам «ҳаёти»ни билиш, уни тушуниш, Олам пайдо бўлиши ҳақидаги жуда катта муаммони ҳал қилиш демакдир. Бу ҳам фалсафий, ҳам фанантикий нуқтаи назаридан ўз ечимини кутаётган улкан муаммони ҳал қилиш демакдир.

Агар $l = ct$ тенгликда t Катта Портлашдан кейинги вақт — Олам ёши бўлса, l катталикни горизонт дейи-

лади. Агар горизонт зарра ва майдон учун характерли бўлган Комптон тўлқин узунлиги $\lambda_k = h c/E$ дан катта бўлса, гравитацион ўзаро таъсирни бошқа ўзаро таъсирлардан, жумладан элзакуч ўзаро таъсирдан ажралган ҳолда алоҳида қараш мумкин. Аммо горизонт l катталиқ жиҳатдан Комптон тўлқин узунлигига яқин ёки ундан кичик бўлса, гравитация ўзаро таъсирни бошқа ўзаро таъсирлардан, жумладан элзакуч ўзаро таъсирдан ажратиб алоҳида қараш мумкин эмас. Бу ҳолда гравитация ўзаро таъсир ниҳоятда кучли, фазо-вақт эгрилиги жуда катта бўлади.

Планк эраси (планкеон) учун Комптон тўлқин узунлигини аниқлайлик. Уни $E = mc^2$ тенгликдан фойдаланиб қуйидагича ёзайлик:

$$\lambda_k = h / m_0 c = h c / E_p.$$

Бу ифода ва $E_p t_p = h$ ифодадан фойдаланиб

$$\lambda_k = c t_p = l_p$$

тенгликни оламиз.

Демак, Планк эрасида горизонт ва Комптон тўлқин узунлиқ ўзаро тенг (улар Планк узунлиги l_p га тенг экан). Шундай қилиб, Планк эрасида гравитация майдони ягона майдоннинг таркибий қисми, унинг компоненти. Бошқача айтганда, бу эрада майдон, зарра ва фазо-вақт ягона майдоннинг қисмлари, унинг хусусий ҳоллари ҳисобланади.

Кучли электромагнит майдонда электрон-позитрон жуфтлар туғилганидек, ягона майдондаги кучли гравитация майдонида тегишли жуфтлар ва уларнинг аннигиляцияси бўлиши мумкин. Планк эрасида туғилган гравитонлар Планк эрасидан кейин бошқача ўзаро таъсир «квантлари»дан ажралади. Гравитация майдони квантлари (гравитонлар) билан бошқа майдон квантлари орасида ўзаро таъсир бўлса-да, уларнинг бир-бирига айланиши тўхтайдди, чунки бу Планк эрасидан кейинги даврда гравитацион майдон бошқа майдонлардан ажралиб чиқади. Шундай қилиб, Планк эрасида туғилган гравитонлар ҳозирги Оламда гравитонлар фони сифатида мавжуд бўлиши мумкин. Агар реликтив гравитонлар мавжуд бўлса, уларнинг космология учун муҳим аҳамияти бор. Улар Оламнинг аввалги эраси—Планк эрасидан хабар берувчи ягона манба бўларди. (Лекин ҳозирги фан тараққиёти даражасида гравитонларни ҳам, реликтов гравитонларни ҳам қайд қилиш

имконига эга эмасмиз.) Қолган зарралар ва майдонлар Олам эволюциясида ўзаро таъсирда бўлиб, турли термодинамик ҳолатлардан ўтиб, оламнинг энг аввалги давридан олиб келаётган маълумотларни йўқотади (ёки бу маълумотлар текисланиб кетади).

Планк эрасидан кейин $l > \lambda$ бажарилгани учун гравитация майдони ва элзакуч майдони ягона майдондан ажралади, конденсацияланади.

Ҳозирги замон стандарт моделига асосан Олам вақт ўтиши билан совийди, у кенгаяди. Олам R радиусининг t вақтга боғланишини кўрайлик. Бунинг учун $m = E/c^2$ массани ҳам $v = \frac{4\pi}{3} R^3$ га бўлиб, зичлик $\rho = E/vc^2$ ни топайлик. Сўнг, $E = a/t^{1/2}$ эканлигидан фойдаланиб, зичлик учун $\rho = a/c^2 vt^{1/2}$ ифодани оламиз. Бу ифодани (26) ифодадаги зичлик билан таққослаб, Олам кенгайиши радиуси R учун

$$R = \left(\frac{aG}{c^2} \right)^{1/3} t^{1/2}$$

қонуниятни оламиз, (бундай қонуният $R = \lambda = h c/E = a ct^{1/2}/a$ тенгликлардан ҳам келиб чиқади).

Умуман $R \sim t^{1/2}$ ёки $R^2 \approx t$ қонуният *стохастик* (диффузион) жараёнларга хосдир. Шу сабабли, Планк эрасидан кейин Олам кенгайиши стохастик қонуният билан бўлганлиги мумкин. Бу эса ўз навбатида муҳим хулосага олиб келади: Планк эрасидаги планкеон бу эранинг охирида фридмонга айланади; Планк эрасидаги $E_{pt} = h$ қонуният ўрнига Планк эрасидан кейинги эраларда $E t^{1/2} = a$ ёки $R^2 \sim t$ қонуният ўринли бўлиб қолади. Шундай қилиб, Олам стандарт модель асосида кенгайиб боради. Бу ерда шуни айтиш лозимки, $t^{1/2}$ олдидаги («диффузия»га тегишли) коэффициент $(aG/c^2)^{1/3}$ Олам кенгайишидаги материянинг ҳар хил ҳолатларидаги диффузион кенгайишни миқдорий жиҳатдан қамраб ололмайди.

Оламнинг кенгайиши сабабли, унинг (майдони) энергияси $E t^{1/2} = a$ қонуният билан (ёки $R \sim t^{1/2}$ ни эътиборга олсак, $ER \sim \text{const}$ қонуният билан) камаяди. Энергиянинг бу камайиши ҳисобига моддалар (зарралар массаси) энергияси ортиб боради ва гравитацион майдонни енгич учун иш бажарилади. Бошқа майдонларни енгич учун ҳам энергия сарф бўлади. Вақт ўтиши билан Олам моддаси (зарралари)нинг энергияси ва демак, массаси ортиб боришини кўрайлик. (14) ва (16) дан қуйидаги муносабатни оламиз:

$$m_p = \frac{c^2}{G} l_p.$$

Бундан Эйнштейн формуласи $E = mc^2$ асосида

$$E_p = \frac{c^4}{G} l_p$$

ифодани ҳосил қиламиз. Бу муносабатлар Планк эрасидан кейинги Олам эволюцияси учун ҳам ўринли бўлсин, дейлик. У ҳолда

$$m = \frac{c^2}{G} R, \quad E = \frac{c^4}{G} R$$

муҳим муносабатларга эга бўламиз. Бундан $F = c^4/G$ ни Олам кенгайишини таъминловчи куч деб қабул қилиш мумкин. Иккинчи томондан икки планкеон орасидаги масофа l_p га тенг деб, ва улар учун Ньютон қонунининг $F_G = Gm_p^2 / l_p^2$ ўринли десак, бу тортишиш кучи F_G учун ҳам c^4/G қийматни оламиз.

Юқоридаги ифодадаги m массани $v = (4\pi/3)R^3$ га бўлиб, ρ зичлик учун

$$\rho = \frac{3c^2}{4\pi GR^2}$$

ифодани оламиз.

Агар R радиусли сфера ичидаги массани m билан R нинг ўзгариш тезлигини v билан белгиласак, $m = \frac{c^2}{G} R$ дан астрофизикадаги маълум муносабат

$$M = v^2 R / G \text{ келиб чиқади. } M = \rho \frac{4\pi}{3} R^3 \text{ да } \rho t^2 = \frac{3}{4\pi G}$$

Хаббл қонуни $v = HR$ ва $Ht \approx 1$ дан фойдалансак, яна $M = v^2 R / G$ формулани оламиз.

Оламнинг ҳозирги ёши $t = 20$ млрд йил деб қабул қилинса, масса зичлиги учун $\rho = 8,9 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ қиймат олинган эди. Зичликнинг бу қийматидан фойдаланиб, юқоридаги ифодадан Олам радиуси учун $R = 1,9 \cdot 10^{28} \text{ см}$ қийматни оламиз. Горизонт $R = ct$ учун $R = 1,9 \cdot 10^{28} \text{ см}$ ва $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ қийматлардан фойдаланиб, Оламнинг ёши учун яна $t = 20$ млрд йилни ҳосил қиламиз. Бу эса юқорида ёзилган ифодалар билан горизонт учун ёзилган ифодалар орасида тўла мувофиқлик борлигини кўрсатади.

Оламнинг ҳозирги массаси учун $m = (c^2/G)R$ ифода асосида

$$m \approx 2,6 \cdot 10^{56} \text{ гр}$$

қийматни оламиз.

Оламнинг «стационар ҳолати» модели муаллифлари Г. Бонди, Г. Гольди ва Ф. Хойл (1948 й.) фикрича, Оламнинг кенгайиш жараёнида унда зарралар узлуксиз пайдо бўлиб туради, яъни Олам стационар ҳолатда бўлиши учун материя узлуксиз яратилиб туради. Юқоридаги ифода $m = (c^2/G)R$ дан кўринадик, Олам радиуси R нинг ортиши билан масса узлуксиз «яратилиб» туради; аммо масса зичлиги камайиб боради, яъни Олам стационар ҳолатда бўлмайди.

3. Кварк-лептон эра

Планк эрасидан сўнг, яъни Олам пайдо бўлгандан 10^{-43} с ўтгандан кейин, ягона ўзаро таъсир гравитация ва элзакуч ўзаро таъсирларга ажралади; кварк-лептон эра бошланади. Бу эрада кварклардан, лептонлардан ва улар орасидаги ўзаро таъсирни содир қиладиган майдон квантлари 24 та оралиқ бозонлардан иборат «шўрва» узоқ «қайнайди». Бу давр 10^{-43} с дан 10^{-36} с гача вақтни ўз ичига олади. Бу даврдаги элзакуч ўзаро таъсирни содир қиладиган ўта массив оралиқ бозонлар X , Y (буларни Хиггс зарралар ҳам дейилади) кварк ва лептонларга ҳамда антикварк ва антилептонларга ҳар хил эҳтимоллик билан парчаланади. Зарралар ва антизарраларга ана шу ҳар хил эҳтимоллик билан парчаланиш, Буюк бирлашув назариясига асосан, Оламда модданинг антимоддадан устунлигига олиб боради. Бу эса Оламнинг барион асимметрияси муаммосини ҳал қилади. Шу билан бирга бизнинг мавжудлигимизга ҳам имкон берадиган шароитни яратади.

Вақт ўтиши билан Олам масса зичлиги камая боради, натижада унинг энергияси ва демак. температураси пасаяди. Кварк-лептон эрасининг охирида, яъни Олам ёши 10^{-36} с, бўлганда элзакуч майдон квантлари оралиқ бозонларнинг энергияси, (22) га асосан $E \approx 3 \cdot 10^{15}$ ГэВ, унга мос температура $T \approx 10^{28}$ К, Комптон тўлқин узунлиги $\lambda_c = 6,4 \cdot 10^{-30}$, зичлик эса $\rho \sim 10^{80}$ г/см³ тартибда бўлади.

Шундай қилиб, бу (10^{-43} — 10^{36} с) даврда кварклар ва лептонлар бир-бирига бемалол айлана олади, яъни бу кварк-лептон эрада барион заряднинг сақланиш қонуни бузилади. Биз қуйида ана шу барион асимметрияси масаласига тўхталамиз.

Буюк бирлашув назариясига кўра, Олам ёши 10^{-36} с ва ундан ёш бўлганда, энергиянинг 10^{15} ГэВ ва ундан

ортиқ қийматида 3 та ўзаро таъсир: кучли, заиф, электромагнит бирлашиб бир умумий ўзаро таъсирнинг компонентларидан иборат бўлиб қолади. Энергиянинг бу қийматида, аввалда айтилгандек, боғланиш доимийликларни α , α_w ва α_s бир-бирига тенг бўлиб қолади. Бу ҳолатда умумий майдон квантлари X , Y оралиқ бозонлар кварк-лептон алмашинишларини таъминлайди. Бундай кварк-лептон реакцияларда барион сон (заряд) сақланмайди, жумладан, бундай ҳолатда протоннинг жуда кичик эҳтимол билан бўлса-да, емирилади деган хулосага Буюк бирлашув назарияси келганини биринчи бобда айтган эдик.

Олам кенгайиши ва демак, температура пасайиши туфайли, кварк-лептон эрасида x зарра ва \bar{x} антизарра парчаланadi. Бунда x ва \bar{x} нинг парчаланиши эҳтимоллари фарқли бўлгани учун (бошқа элементар зарралар учун бундай фарқ борлигини тажриба тасдиқлаган) ҳосил бўлган B барион ва \bar{B} антибарион сони бир-бирига тенг эмас. Натижада Планк эрасидаги зарраларга нисбатан симметрик ҳолатдан Олам совиши ва демак, оралиқ бозонларнинг емирилиши туфайли, барионлари (кварклари) антибарионларга (антикваркларга нисбатан кўпроқ бўлган асимметрик ҳолат (Олам ҳолати) ҳосил бўлади. Температуранинг янада пасайиши туфайли барион (кварк) ва антибарион (антикварк) аннигиляцияланади, бунда фотонлар ва нейтринолар ҳосил бўлади. Қолган ортиқча кварклар (барион «қопига») адрон «қопига» тушади — буни конфайнмент дейилади ва улар ҳозирдаги барионлардан ташкил топган Оламни ташкил этади.

Шундай қилиб, зарра ва антизарра маълум симметрик хоссага эга бўлса-да, бизнинг Оламимизда антимода йўқ. Оламда протон ва нейтронлардан ташкил топган модданинг борлиги, антипротон ва антинейтронлардан ташкил топиши мумкин бўлган антимодданинг йўқлигини Оламнинг барион асимметрияси дейилади.

Планк эрасининг охири, кварк-лептон эрасининг бошидаги юқори температураларда 3 млрд кварк ёки 1 млрд барион, 3 млрд антикварк ёки 1 млрд антибарион ва яна 3 кварк ёки битта барион мавжуд бўлиб, температура пасайиши билан зарралар ва антизарралар аннигиляцияланиб, фотонлар ҳосил қилган. Ҳозирги реликтив нурланишнинг кўпгина қисмини ўша нурланиш ташкил этади. 3 ортиқча кварклар эса адронлар-

ни ташкил этган, яъни ҳозирги замондаги биз яшаб турган Олам моддасини ташкил этган. Демак, Буюк бирлашув назариясига кўра, ҳар бир барнионга (ёки ҳар учта кваркка) бир миллиард фотон ва бир миллиард нейтрино тўғри келади. Ҳозирги замон кузатишларига кўра, Оламда протонлар ва нейтронлар — барнионлар сони зичлиги $n_0 \approx 10^{-6} \text{см}^{-3}$, реликтов фотонлар γ сони зичлиги $n_\gamma \approx 500/\text{см}^3$. Булардан ҳозирги замон космологиясининг фундаментал доимийси

$$n_\gamma / n_0 \approx 10^9 \quad (29)$$

қийматни оламиз. Бу қиймат эса Буюк бирлашув назариясининг натижасини тасдиқлайди.

Ҳозирги замон тасаввурига кўра, Оламнинг барнион асимметриясига 3 та физик ҳодиса: зарра ва антизарралар орасида тўла симметриянинг йўқлиги, барнионларнинг сақланмаслиги ва Оламнинг кенгайиши сабаб бўлган.

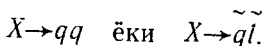
1. Агар заррадан антизаррага ўтилса (C алмаштириш) координаталарини r дан $-r$ га алмаштирилса (P алмаштириш) ва вақт йўналишини аксинчасига алмаштирилса (T алмаштириш), квант назариянинг СРТ теоремасига асосан, табиат қонунлари ўзгармайди, яъни табиат қонунлари СРТ — теоремага нисбатан симметрикдир. Шундай қилиб, СРТ — теоремага кўра агар системада элементар зарра иштирокида бирор жараён бо- раётган бўлса, ундай системада СРТ — қўшалоқ жараён, яъни зарра антизаррага алмаштирилган, снни проекциясининг ишораси тескарисига ўзгартirilган ва бошланғич ҳолати охириги ҳолат билан алмаштирилган жараён бўлиши мумкин. Лекин тажриба кўрсатадики, алоҳида C —, P — ва T — алмаштиришларга нисбатан симметрия бузилиши, яъни симметрия бундай алоҳида алмаштиришларда сақланмаслиги мумкин.

Хусусан, агар зарра қарорсиз бўлса, маълум охириги ҳолатларга ўтиши мумкин, масалан $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Худди шунингдек, антизарра аввалги ҳолатдан охириги ҳолатларга ўтиши мумкин, масалан, $\bar{n} \rightarrow \bar{p} + e^+ + \bar{\nu}$. Аммо зарра ва антизарра учун худди ана шу каби ўхшаш ҳолатларга ўтиш эҳтимолликлари фарқли бўлади. Бу ҳодисани физикада C — ёки CP — симметрия сақланмаслиги деб юритилади. Худди шу эҳтимолликлар фарқи бизнинг Оламда зарралар ва улардан ташкил топган моддалар мавжудлигини таъминлайди.

2. Элементар зарралар реакциялари билан боғлиқ тажрибалар, барион ва антибарион зарядлар фарқи сақланишини кўрсатади.

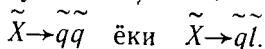
Аммо сақланувчи зарядлар орасида ўзаро таъсирни ташувчи зарралар мавжуд бўлади. Барионлар орасида бундай ташувчи зарралар йўқ эканлиги маълум (пионлар бу иккиламчи жараёнлар). Бундан ташқари, Буюк бирлашув назарияси протонни ностабил, қарорсиз деб қарайди. Бу назариянинг хулосасига кўра, барион заряд жумладан протоннинг барқарорлиги аниқ сақланмаган қонун эмас. Улар қисман бузилади.

Барион заряднинг сақланмаслигига, Буюк бирлашув назарияси томонидан мавжудлиги кўрсатилган x, y бозонларнинг емирилиши сабабчи бўлади. Бу x бозон қуйидаги икки хил йўл билан бир жуфт кваркларга ёки бир жуфт антикварк ва антилептонга емирилиши мумкин:

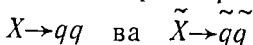


Бу реакциялардан биринчисининг охирида барион заряд ($2/3$) га тенг, икинчисида эса ($-1/3$) га тенг, яъни барион заряд, агар ҳар иккала реакция мавжуд бўладиган бўлса сақланмайди. Қуйидаги $qq \rightarrow x \rightarrow \tilde{q}\tilde{l}$ реакцияда барион заряд бир бирликка ўзгаради.

Худди юқоридаги сингари, анти \tilde{x} — бозон учун ҳам қуйидаги реакция бўлиши мумкин:



Аммо C ва CP — симметриялар бузилишига асосан



реакциялар эҳтимолликлари бир-бирига тенг эмас. Шу сабабли юқори температурали ҳолатдаги бир хил сондаги x ва \tilde{x} дан ҳар хил сондаги кварк (барион)лар ва антикварк (антибарион)лар ҳосил бўлади. Шундай қилиб, Планк эрасидан кейин, кварк-лептон эрасида температура $T > 10^{28} \text{K}$ бўлганда, кварк-лептон айланишлари туфайли барион заряди сақланмаган. Аммо

$X \rightarrow qq$ ва $\tilde{X} \rightarrow \tilde{q}\tilde{q}$ емирилишларнинг эҳтимолликларининг фарқи туфайли барион заряди антибарион зарядига нисбатан ортиқча бўлиб, Олам совиши билан бу ортиқчаллик сақланиб қолган. Бошқача айтганда, бу ортиқча барионлар адрон «қопига» тушиб, сўнг Олам моддаси

орқали, кварк-лептон эрасининг ўта юқори ҳолатдан қолдиқ (реликтов) сифатида бизга етиб келган. Бу ерда шуни айтиш лозимки, CP — симметрия бузилиши Олам барион асимметриясига олиб келади, деган ғояни 1967 йилда А. Д. Сахаров биринчи бўлиб айтган эди.

3. Кварк-лептон эранинг бошидаги ўта юқори температурада зарра ва антизарралар реакциялари симметрик равишда бўлсада, Олам кенгайиши жадаллиги реакциялар жадаллигидан катта бўлганлиги сабабли, эранинг паст температураларида зарра ва антизарранинг емирилиш (реакция) жадалликлари (ва эҳтимоллари) ҳар хил бўлади. Бунда Оламнинг юқори температурадаги мувозанат ҳолати бузилади. Зарра ва антизарра емирилишларининг бу фарқи, Олам кенгайиши ва унинг эволюциясида жуда муҳим аҳамиятга эга бўлди.

Олам ностационар, у кенгайяпти.

4. Калибрловчи эра

Вақт ўтиши билан Олам совиши давом этади, унинг температураси камаяди, масса зичлиги ҳам мос равишда камаяди ва демак, Олам кенгая боради. Портлашдан сўнг, 10^{-36} с ўтганда, Оламнинг температураси $T \approx 10^{28}$ К бўлганда Оламнинг кварк-лептон эраси тугайди ва калибрловчи эра бошланади. Бу эрада элзакуч ўзаро таъсир иккига: кучли ўзаро ва элза ўзаро таъсирларга ажрала бошлайди.

Рус олими Линде таъбири билан айтганда, бу ажралишни температура пасайиши сабабли элзакуч ўзаро таъсир конденсацияланади. Бу конденсация биринчи тур фазавий ўтиш деб қаралгани учун бу фазавий ўтиш туфайли калибрловчи эрада жуда кўп энергия ажралиши содир бўлади, дейилади. Оламнинг бу ҳолатида зарралар, кварк-лептон ҳолатларидан калибрловчи эрасидаги ҳолатга ўтади. Бу даврда кварклар, улар орасидаги глюонлар туфайли, ўзаро таъсирда бўлади. Шу билан бирга кварклар ва лептонлар оралиқ бозонлар w^\pm , z^0 ва фотон γ воситасида электрозаиф ўзаро таъсирда бўлади. Бу даврда барион ва лептон зарядлар сақланади.

Ҳозирги замон микрофизика ва космология фанларига кўра, Оламнинг бу нисбатан осойишталик даври 10^{-10} с гача давом этади. Бу узоқ давом этган эрани

гәхә «калибр сахро» хам дейилади. Бу даврда оралик бозонлар (глюонлар, w^\pm , z^0 , γ) мухим роль уйнагани учун бу эрани оралик бозонлар эраси хам дейилади.

Шундай қилиб, портлашдан сўнг 10^{-10} с вақт ўтгач, Оламнинг калибрловчи даври тугайди ва адрон эраси бошланади.

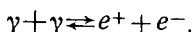
5. Адрон эраси

Оламнинг ёши 10^{-10} с бўлганда, унинг кенгайиши туфайли зичлиги 10^{26} г/см³ гача камаяди, унинг совиши сабабли энергияси $E \approx 300$ ГэВ, температураси эса $T = 10^{15}$ К гача камаяди.

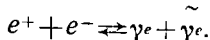
Бу даврда Оламдаги жараёнларда асосий ролни лептонлар, фотонлар, кварклар ва кварклардан ташкил топган адронлар уйнайди. Бу эрани бошланнишида Олам параметрлари $t = 10^{-10}$ с, $E = 300$ ГэВ, $T = 10^{15}$ К,

$\rho = 10^{26}$ г/см³ қийматларни қабул қилганда яна бир мухим физик ҳодиса содир бўлади: электромагнит ўзаро таъсир элза ўзаро таъсирдан ажралиб чиқади.

Бу даврда позитрон ва электронлар хамда фотонлар орасида узлуксиз реакциялар боради:



Худди шунингдек, позитронлар ва электронлар билан нейтринолар орасида узлуксиз реакция боради:



Бу эранның охирги вақтларида яна бир мухим ҳодиса содир бўлади: кучли ўзаро таъсирда Оламнинг совиши туфайли, яна бир «конденсация» юз беради, яъни эркин кварклар адронларни (протон, нейтрон, мезон ва бошқаларни) ҳосил қила бошлайди. Бу ҳодисани кваркларнинг адрон «қоп»ларига қамалиши, асир тушиши (конфайнмент) деб юритилади. Бу даврда Олам параметрлари $t = 10^{-4}$ с, $E = 300$ МэВ, $T \approx 10^{12}$ К, $\rho \approx 1.5 \cdot 10^{15}$ г/см³ қийматларни қабул қилган бўлади. Адрон даврининг охирида, яъни портлашдан кейин тахминан 10^{-4} с ўтганда эркин кварклар адронларга «конденсацияланиб» бўлади. Бундан кейин Оламда эркин кваркларнинг даври тугайди. Улар глюонлар билан бирга адронларда яшай бошлайди. Бу давр тахминан бир секундгача давом этгандан кейин Олам ҳаётида бошқа мухим давр — *радиация эраси* бошланади. (Шу

сабабли адрон эраси 10^{-10} с дан Олам ёши 1 с гача ет-гунга қадар давом этади деб қабул қилиш қулайроқ.) Олам ёши бир секунд бўлганда унинг параметрлари $t=1$ секунд, $E=3MэВ$, $T=3 \cdot 10^{10}К$, $\rho \approx 3,5 \cdot 16^6 \text{гр/см}^3$ қийматларни қабул қилади. Оламнинг 10^{-4} с—1 с даврини лептон эраси деб ҳам аталади.

Адрон эрасининг бошларида температура етарли даражада юқори ($T \sim 10^{13}—10^{15}К$) бўлгани сабабли, протонлар ва нейтронлар бир-биринга узлуксиз айланиб туради: $p + e^- \rightleftharpoons n + \nu_e$, $p + \bar{\nu}_e \rightleftharpoons n + e^+$.

Аммо, адрон эрасининг бошларида юқоридаги реакциялар интенсив—давом этгани туфайли протонлар ва нейтронлар сони тахминан тенг бўлса-да, Олам совиши (температура пасайиши) билан бу даврнинг охирига

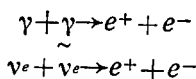
бориб, $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ реакция энергетик нуқтаи назардан қулайроқ бўлиб қолади ва бу реакция бошқа реакцияларга нисбатан устун равишда давом этади. Натижада протонларнинг концентрацияси нейтронлар концентрациясига нисбатан ортиб боради ва адрон эрасининг охирида нейтрон ҳамда протонлар сонларининг нисбати доимий бўлиб, у нисбат $n/p \approx 0,15$ атрофида бўлади.

Бу адрон эрасига тегишли муҳим саволлардан бири: нима учун Оламда протонлар ва нейтронлар ҳамда улардан иборат модда мавжуд, аммо антипротонлар, антинейтронлар ва улардан ташкил топган антимодда йўқ ёки бошқача айтганда, нима учун Олам барион зарядларга нисбатан симметрик эмас, дейилган савол эди. Юқорида айтганимиздек Буюк бирлашув назариясига асосан жуда юқори температурада, кварк-лептон эраси даврида, кварклар антикваркларга нисбатан бир оз кўпроқ ҳосил бўлади: 3 млрд антикваркка 3 млрд кварк ва яна 3 та кварк мос (тўғри) келади. Бу 3 та ортиқча кварклар адрон эрасининг охирларида адрон «қопига» тушиб протон ёки нейтронни ҳосил қилади. Шундай қилиб, Оламнинг модда ва антимоддага нисбатан ассиметрияси тушунтирилади. Бу ерда шуни айтиш лозимки, бир миллиард протон (3 миллиард кварк) ва бир миллиард антипротон (3 миллиард антикварк) аннигиляцияси натижасида бир миллиард фотон ва бир миллиард нейтрино ҳосил бўлади ёки бошқача айтганда, Оламнинг адрон эрасида бир протонга тахми-

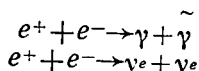
нан бир миллиард фотон ва бир миллиард нейтрино тўғри келади.

6. Радиация эраси (1 с — 3 мин.)

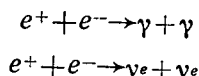
Адрон эрасининг охирида $t \approx 1$ с, $E \approx 3\text{МэВ}$, $T \approx 10^{10}\text{К}$ ёки ундан аввалги юқори температураларда қуйидаги жуфт ҳосил бўлиши



ва аннигиляция



ҳодисалари интенсив равишда юз беради. Аммо Олам совиши билан унинг температураси $T = 5 \cdot 10^9\text{К}$ дан кам бўлганда, қуйидаги аннигиляция



ҳодисалари устун кела бошлайди. Бу эса ўз навбатида Олам таркибининг асосий қисмини нурланиш ва нейтрино ташкил этишига олиб келади.

Шундай қилиб, Оламнинг адрон эрасидан кейин унинг радиация эраси бошланади.

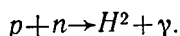
Бу ерда шуни таъкидлаймизки, температура ҳали бир неча 10 млрд градус бўлгандаёқ (портлашдан 0,3 с ўтгандан кейин) электроннинг нейтриноси адронларни ҳам, лептонларни ҳам (кейинроқ ҳосил бўлган моддани ҳам) «писанд» қилмай бошлайди, улар билан ўзаро таъсир этмай бошлайди. Бунинг учун ҳатто Ер шарри ҳам шаффофдир. Хулоса қилиб айтганда, электроннинг нейтриноси Оламда алоҳида қисмга ажралади. Электроннинг нейтриносини қайд қилиш йўли билан Оламнинг бу даври ҳақида бевосита маълумот олиш мумкин. Бунинг учун нейтринони қайд қилиш муаммоси ҳал этилиши лозим.

Портлашдан сўнг, юз секундлар ўтгандан кейин температура миллиард градусга тушади, энергия 1МэВ атрофида бўлади. Радиация эраси Оламнинг ёши 1 с бўлганда бошланиб, тахминан 3 минут (200 с атрофида) бўлганда тугайди.

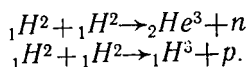
7. Енгил ядролар синтези эраси

Радиация эрасининг охирида, температура 1 млрд градус атрофида бўлганда, енгил ядролар синтези даври ҳам кечади. Бунда радиация даврининг охирида, Олам ёши 3 минут бўлганда, енгил ядролар синтези даври ҳам тугайди.

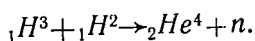
Бу эранинг муҳим томони шундаки, бу даврда лептонлар ва фотонларнинг энергияси атом ядроларини парчалаш учун етарли бўлмай қолади. Демак, ядролар синтези учун шароит вужудга келади. Бу даврда, температура бир миллиард градус бўлганда, протонлар ва нейтронлардан енгил ядролар қуйидагича схема бўйича ҳосил бўлиши мумкин ва аввал протон ва нейтрон реакцияга киришиб, дейтерий ядросини ҳосил қилиши мумкин:



Икки дейтерий ядролари ўзаро реакцияга киришиб, гелий ${}^3_2\text{He}$ ядроси ёки тритий ядросини ҳосил қилиши мумкин:



Тритий (ўта оғир водород) ва дейтерий (оғир водород) ядролари ўзаро реакцияга киришиб, гелий ${}^4_2\text{He}$ ядросини ҳосил қилиши мумкин:



Енгил элементлар водород ва гелий атомлари ядроларининг ҳосил бўлиши. Қатта портлашдан сўнг, уч минутгача давом этади. Температуранинг пасайиши туфайли гелий ядроси синтези тугайди. Бундан кейин Оламдаги гелий ва водород ядроларининг концентрациялари ўзгармай қолади. Водород ва гелий ядролари концентрациялари мос равишда тахминан 70 ва 30 фонзларни ташкил этади.

Шундай қилиб, Оламнинг жўшқин ёшлик даври бир неча минут бўлади.

Олам ёшлик даврининг охирида, портлашдан уч минут ўтгандан кейин фотонлар, нейтрино, протонлардан ҳамда гелий ядролари ва электронлардан иборат юқори температурали плазмадан иборат бўлади.

8. Плазма эраси

Бу даврда фотонлар билан электронлар ўзаро таъсирда бўлади; шу сабабли фотонлар электронларда интенсив сочилади, яъни бу даврда фотонлар учун Олам моддаси ношаффофдир. Оламнинг плазма ҳолати (уни биз плазма эраси дедик) узоқ вақт, тахминан 300 минг йилча давом этади. Олам кенгайиши давом этади, унинг зичлиги камайиб боради ва эранинг охирида $\rho \approx 3,5 \cdot 10^{-18} \text{г/см}^3$ қийматни қабул қилади. Аммо энгил ядролар синтези натижасида энергия ажралиб чиқиши ва нурланиш сабабли энергиянинг ва демак, температуранинг камайиши $E t^{1/2}$ қонуниятга нисбатан анча секинлашади.

Олам температураси $T \sim 4000\text{K}$ ($E \sim 0,4\text{эВ}$) бўлганда водород ва гелий ядролари билан электронлар рекомбинацияси жараёни бошланиши учун шароит вуждга келади.

9. Рекомбинация эраси

Катта Портлашдан 300 минг йил ўтгандан кейин рекомбинация эраси бошланади. Бу жараён тахминан 700 000 йил давом этади. Бу эра космология учун жуда муҳим даврдир, чунки фотонлар учун аввал ношаффоф бўлган юқори температурали плазма, бу эрада нейтрал гелий ва водород атомларига айланади; бу нейтрал атомларда фотонлар эркин тарқалиши мумкин бўлиб қолади. Бошқача айтганда, бу эрада модда ва нурланиш бир-биридан ажралади. Олам фотонлар учун шаффоф бўлиб қолади.

Олам совишни, шу билан бирга кенгайишни давом эттиради. Рекомбинация эрасининг охирида Олам бир миллион ёшга киради. Шу билан Оламнинг болалик даври тугайди.

Шундан яна бир миллиард йил ўтгандан кейин катта масштабдаги Олам объектлари пайдо бўла бошлайди. Ҳозирда кузатилаётган юлдузлар, галактикалар ва бошқа объектлар Олам манзараси 10 млрд йилдан олдин пайдо бўлиб, ривожланыпти.

10. Оламнинг келажаги

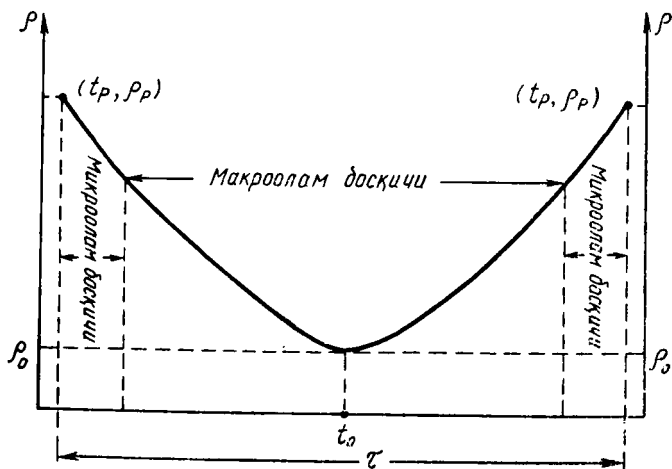
Бу масалага батафсил тўхталиш рисолада қўйилган мақсадга кирмасада, бир неча сўз айтишни лозим

топдик. Бу масала фалсафий нуқтаи назардан ҳам аҳамиятга эга эканлиги ҳаммага аён. Умумий нисбийлик назариясига асосланган ҳозирги замон космология фани Олам массасининг зичлиги қийматига қараб, Оламнинг келажаги учун икки хил вариантдаги жавобни айтиши мумкин. Жавоб Олам эгрилиги манфий ёки мусбатлигига боғлиқ. Бошқача катталиқ орқали айтганда, Олам масса зичлиги, эгрилик ноль бўлгандаги критик зичлик ρ_* дан кичикми, ёки каттами, жавоб шунга боғлиқ. Агар $\rho \leq \rho_*$ бўлса, Олам (чексиз) кенгайишда давом этаверади. Агар $\rho > \rho_*$ бўлса, Олам кенгайиши маълум вақтдан кейин сиқилиш билан алмашилиши зарур.

Аввал Олам масса зичлиги $\rho > \rho_*$ бўлган ҳолни қарайлик. Бу ҳолда Олам кенгайиши маълум t_0 вақтгача давом этади, сўнг шу t_0 вақтдан бошлаб, Олам сиқила бошлайди. Оламнинг сиқилиши натижасида унинг температураси кўтарила бошлайди. Олам космологик ва макроскопик босқичлардан ўтгандан кейин, микроолам босқичи бошланади. Бу босқичда маълум вақт ва маълум температурадан бошлаб электромагнит ва заиф ўзаро таъсирлар умумлашиб, элза ўзаро таъсирга айланади. Сўнгра температура ортиши билан элза ўзаро таъсир кучли ўзаро таъсир билан бирлашиб, элзакуч ўзаро таъсирни ҳосил қилади. Олам сиқилишда давом этиб, температура $T \approx 10^{22} \text{K}$ га етганда, ягона майдон ҳосил бўлиб, бунда гравитация ўзаро таъсир билан элзакуч ўзаро таъсир бирлашади. Олам энергияси доимий бўлгани сабабли, бу ягона майдонда планкеон энергияси 10^{19}ГэВ тартибда бўлади. Шундай қилиб, Олам кенгайиши ва сиқилишидан иборат бир цикл — Олам цикли содир бўлади (30-расм).

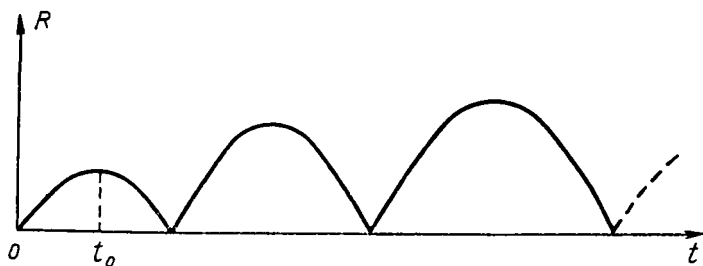
Микроолам босқичларида кенгайиш ва сиқилиш графиклари, S — ва SP — симметриялари бузилишларини эътиборга олинмаса, симметрикдир. Макроскопик босқичлардаги кенгайиш ва сиқилиш графиклари симметрик эмас. Чунки уларнинг симметрик (бир хил) бўлишлиги термодинамиканинг иккинчи қонунига зиддир.

Ҳақиқатан ҳам, агар иккинчи қонун Олам кенгайиши ва сиқилиши учун ўринли бўлса, кенгайиш ҳамда сиқилиш жараёнларида энтропия ортиб бориши лозим. Бу ҳолда Олам циклининг ярим даврлари бир-биридан фарқ қилади. Агар сиқилиш ҳам тахминан t_0 вақт давом этган бўлса, Олам циклининг даври $\tau \approx 2t_0$ бўлади.



30-расм

Олам циклидаги сиқилиш жараёни аввалги кенгайиш жараёнининг акси бўлмаса-да, лекин бу циклниң микроолам босқичидаги сиқилиш ва кенгайиш жараёнлари, агар микрофизикадаги C ва CP симметриялар бузилишларини эътиборга олинмаса, қайтувчандир. Шундай қилиб, Олам цикли қисман қайтувчан, қисман қайтмас жараёнлардан иборат. Цикл охирида Олам коллопсланиб, цикл тугайдими ёки антиколлопсланиб, сиқилиш кенгайиш билан алмашиб, иккинчи цикл бошланиши ҳам мумкинми, деган савол туғилади. Толмен кўрсатдики, агар цикллар пайдо бўлса, уларнинг амплитудалари ва даврлари, термодинамиканиң иккинчи қонунига мувофиқ, ортиб боради (31-расм).



31-расм. R — Олам радиуси. Оламнинг пайдо бўлиши сингулярликдан бошланган деб кўрсатилган.

Бу ерда шуни айтиш лозимки, Олам кенгайиши учун «Катта Портлаш», «Оловли шар» ёки сингулярлик кабиларга эҳтиёж бўлмайди.

Фундаментал $\rho = 3/4\pi Gt^2$ муносабат ((26) га қаранг) ва Олам массасининг критик зичлиги учун адабнётда қабул қилинган

$$\rho_k = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (30)$$

ифодадан

$$\frac{\rho}{\rho_k} = \frac{2}{(Ht)^2} \quad (31)$$

тенгликни ҳосил қиламиз. Бунда Хаббл доимийси $H = 2/3t$, t Оламнинг ҳозирги ёши. Демак, $\rho/\rho_k = 9/2$ қийматни оламиз, яъни $\rho > \rho_k$ бўлади.

Агар қора ўралар, галактикалараро газ ва бошқа материя турларини ҳисобга олинса, Олам массасининг ρ зичлиги критик масса ρ_k зичлигидан катта бўлиши мумкин. У ҳолда, назарияга кўра, Олам кенгайиши унинг сиқилиши билан алмашинади.

Булардан ташқари Оламда яширин масса борлиги ва нейтрино массага эга эканлиги ҳақидаги фикрлар реал бўладиган бўлса, зичлик критик зичликдан ортиб кетади.

1980 йилда В. А. Любимов, Е. Г. Новиков, В. З. Нозик, Е. Ф. Третьяков, Б. С. Козик, Н. Ф. Мясоедов, нейтрино массаси m_{ν_e} бўйича узоқ вақт қилинган тажриба натижаларини эълон қилишди. Уларнинг ўтказган тажрибасида электрон нейтриносининг массаси учун 30эВ га яқин қиймат олинди, яъни

$$30\text{эВ} = 30 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \text{эрг} = m_{\nu_e} c^2$$

$$m_{\nu_e} = (48 \cdot 10^{-12} / 9 \cdot 10^{20}) \text{гр} = (48/9) 10^{-32} \text{гр} \approx 5,3 \cdot 10^{-32} \text{гр}.$$

Оламда галактикаларнинг массаси зичлиги $\rho_g = 3 \cdot 10^{31} \text{гр/см}^3$ ҳар бир протоннинг массаси $m_p = 1,7 \cdot 10^{-24} \text{гр}$ демак, Оламнинг ҳар бир 1см^3 да ўртача протонлар сони $\rho_p = m_p n_p$ ифодадан

$$n_p \approx 1,8 \cdot 10^{-7} 1/\text{см}^3$$

эканлиги келиб чиқади. Ҳар бир протонга 1 млрд нейтрино тўғри келади деган эдик. Бинобарин, 1см^3 да $1,8 \cdot 10^{-7} \cdot 10^9 = 180$ нейтрино бор. Бундан Оламдаги электрон нейтриноси массасининг зичлиги учун қуйидаги қийматни оламиз: $\rho_{\nu_e} \approx 180 \cdot 5 \cdot 10^{-32} \text{г/см}^3 = 9 \cdot 10^{-30} \text{г/см}^3$, демак,

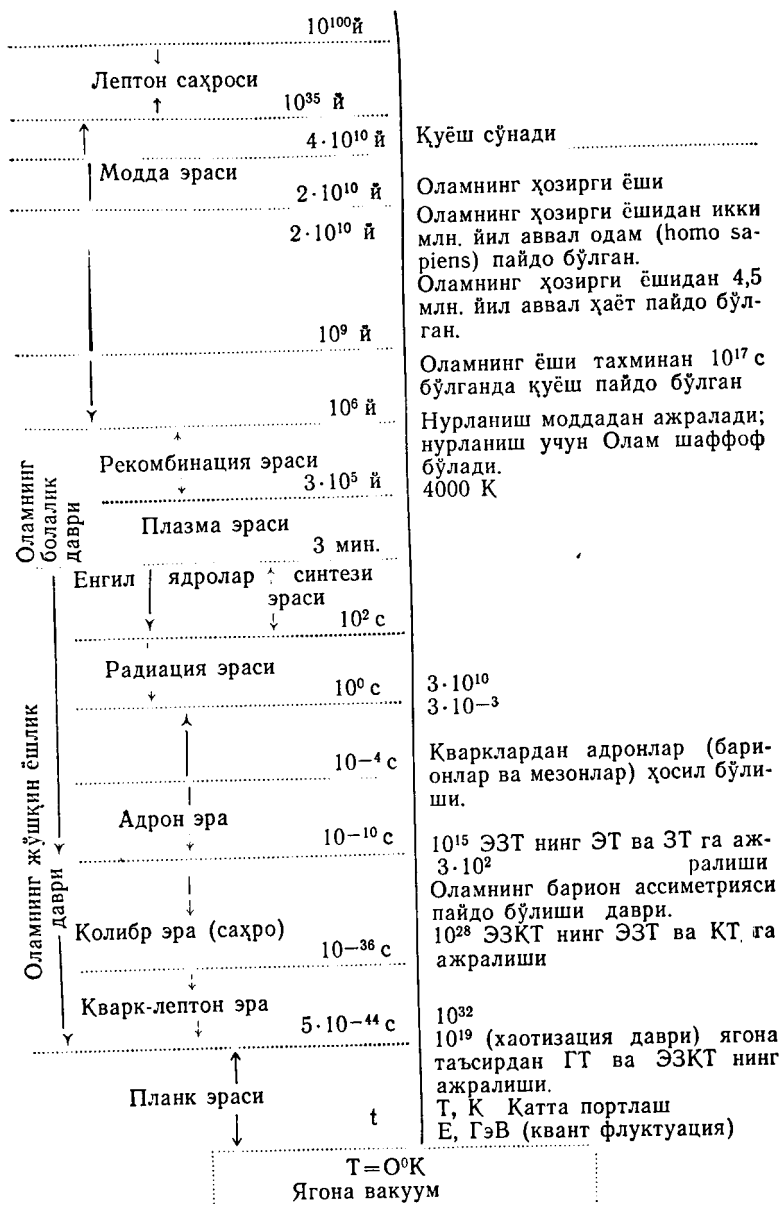
$\rho = \rho_r + \rho_e \approx 9,3 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$. Бу эса критик зичликдан катта, яъни $\rho > \rho_k$.

Биз фақат электрон нейтриносини ҳисобга олдик. Агар муон ва таон нейтриноларининг ҳам массаси мавжуд бўлса, бу 3 хил нейтриноларнинг массаларининг йиғиндиси 20эВ атрофида бўлса ҳам, у ҳолда Оламдаги нейтринолар массасининг зичлиги $\rho > \rho_k$ тенгсизликни таъминлайди. Бу эса Олам кенгайиши, қачондир сиқилиш билан алмашинишини кўрсатади.

Бу ерда шуни таъкидлаймизки, натижа $\rho = 9,3 \times 10^{-30} \text{ г/см}^3$, Олам ёши 20 млрд йил деб олингандаги $\rho t^2 = 3/4\pi G$ қонуниятдан келиб чиқадиган зичлик $8,9 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ га мос келади. Нисбийлик назариясидан келиб чиқадиган натижа билан юқоридаги қонуниятни таққослашдан $\rho = (9/2) \rho_k$ тенглик келиб чиққанини юқорида кўрган эдик. Критик зичлик учун бу тенгликдан $\rho \approx 2 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ қийматни оламиз. Бу эса адабиётда ρ_k учун келтириладиган баҳо $5 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ га яқин келади. Юқоридаги қонуният асосида олинган натижани бундай мос келишлиги Буюк бирлашув назариясининг бир нуклонга бир миллиард нейтрино мос келади деган хулосасини тасдиқлашга яна бир далил бўлиши мумкин.

Любимов раҳбарлигида олинган нейтрино массаси ҳақидаги натижа жаҳондаги бошқа лабораторияларда такрорлангани йўқ. Шу сабабли, нейтринонинг тинчликдаги массаси масаласи узил-кесил ҳал қилинди деб ҳисоблашга ҳали эрта.

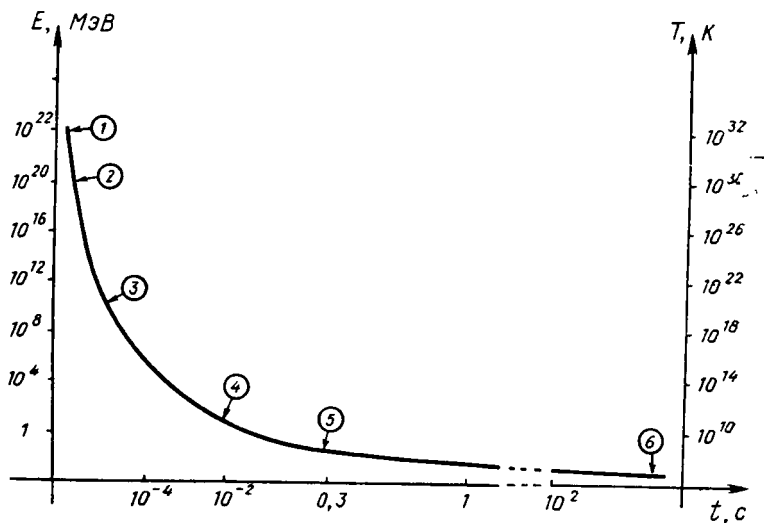
Энди $\rho < \rho_k$ ҳолни кўриб чиқайлик. Бу ҳолда Олам кенгайиши давом этади. Бунда аввало юлдузлардаги «ёқилғи» — водород ёниб тамом бўлади. Бунинг учун тахминан 10^{14} йил (яъни юз минг миллиард йил) керак. Жумладан Қуёшимиз — катта термоядро реактори яна 10 млрд йил бир меъёрда ишлаб туради, сўнг сезиларли равишда, «ёқилғи» камайиб қолганлиги сабабли сўна бошлайди. Шундай қилиб, 10^{14} йилдан кейин осмонда юлдузлар сўнади. Бу биринчи босқич. Бу босқичдан сўнг, газ молекулаларига ўхшаб, юлдузлар бир-бирига яқинлашиб, галактика марказига йиғила бориши мумкин. Айрим юлдузлар эса, энергия алмашинуви натижасида «буғланиб» (худди суюқлик қайнаш температурасидан паст температурада буғлангани ка-



32-расм. Олам сценарийси. Ҳозирги замон микро физикаси Олам қандай тузилган деган саволга жавоб берибгина қолмасдан, ҳатто уни нима учун шундай таркиб топганлигига ҳам жавоб бермоқда.

би) галактикадан чиқиб кетиши ҳам мумкин. Бу даврни галактикаларнинг буғланиш босқичи дейилади. Бу босқич Олам ёши 10^{14} йил бўлганда бошланиб, то 10^{17} йилга тенг бўлгунча давом этади. Сўнг, гравитацион майдон туфайли қолган юлдузлар галактика марказига тўпланиб, ўта катта массали қора ўрани ҳосил қилиши мумкин. Бу босқични Оламнинг йнгиштирилиш даври дейилади. Бунда Олам 10^{18} ёшда бўлади.

Буюк синтез назариясига кўра, протоннинг яшаш даври 10^{31} — 10^{35} йил. Бу давр ичида юқоридаги назарияга кўра, қора ўралардаги протонлар емирилиб бўлади. Шундай қилиб, Оламнинг бу босқичида протонлар ва демак атомлар қолмайди. Олам электрон, позитрон, нейтрино, фотонлардан иборат бўлиб қолади. Оламнинг «лептон саҳроси» даври бошланади. Бу давр тахминан 10^{100} йил давом этади (32, 33-расм).



33-расм. Олам сценарияси. График $Et^{1/2}=a$ қонун асосида олинди. Аммо электрон-позитрон аннигиляцияси туфайли уларнинг энергияси γ -фотонларга ўтгани сабабли фотонлар температураси (нурланиш температураси) T_γ бироз юқорироқ бўлади. Ҳисоблашлар кўрсатадики, T_γ нейтринолар температураси T_ν дан тахминан 40% ортиқ бўлади. Сўнг, Олам кенгайишида бу фарқ сақланиб қолади. Реликт нурланишни кузатганимизда рекомбинация даври билан аниқланган сферадан келаётган нурланишни кўраимиз. Рекомбинация туфайли Оламнинг «ёришиши» нисбатан қисқа муддат тахминан 100 минг йил давом этади. Бу Олам ёшининг 0,1 қисмидир.

Расмда 1—Планк эрасидан бошлаб, гравитонлар учун Олам шаффоф бўлади. Бу қолдиқ гравитонларни кузатиш ва ўрганиш Оламнинг пайдо бўлган онларига тегишли маълумотларни олишга имкон берган бўлур эди. 2—Планк эрасида ва ундан кейинги даврда ягона майдон, сўнг умумий ва гравитацион майдонлар ниҳоятда катта бўлгани учун, Олам кенгайиши сабабли уларнинг ўзгариши жуда кескин бўлгани учун бу даврда фотонлар, гравитонлар, нейтронлар ва бошқа зарра ва антизарралар пайдо бўлади. 4—бу даврдан бошлаб муон ва таон нейтринолари ν_e ва ν_τ учун Олам шаффоф бўлади. Буларни кузатиш ва ўрганиш Оламнинг ёш пайтидаги маълумотни олиш учун имкон берар эди. 5—Олам нейтрино учун шаффоф бўлади. Сўнг нейтринолар сони ўзгармай қолади. Температура эса камайиб боради. 6—бу даврда $T = 4000^\circ\text{K}$ рекомбинация туфайли олам γ -нурланиш учун шаффоф бўлади. Олам ёши 1 млн. бўлади. Бу даврда нейтрал водород атоми, бундан аввалроқ гелий атоми пайдо бўлади. Улар мос равишда Олам моддасининг 70% ва 30% ини ташкил этади.

1974 йили С. Хокинг кўрсатдики, галактикаларнинг қора ўраси абадий бўлмай, улар секин-аста, квант назарияси кўрсатишига кўра, буғланиши туфайли, яъни ёруғлик квантлари чиқариши туфайли массасини камайтириб боради. Бу босқичда Оламнинг ёши 10^{100} йилда бўлади.

Хокинг кашфиётига бироз тўхталиб ўтайлик. Квант механика (назарияси)дан маълумки, кучли электромагнит майдони вакуумда электрон ва позитрон жуфттини ҳосил қилиши мумкин.

Хокингнинг буғланиш ҳақидаги кашфиёти қора ўра-нинг фантастик катта гравитация майдони, зарра ва антизарра жуфттини пайдо қилиши мумкинлигини тақозо қилади. Бу зарра ва антизарра аннигиляция ҳосил қилиб, қора ўрага қайтиши ҳам мумкин; лекин ҳосил бўлган зарралардан бири ўрага қайтиб тушиб, иккинчиси эса қора ўрадан туннел эффекти туфайли чиқиб кетиши ҳам мумкин. Албатта жуфтнинг ҳосил бўлиши ва улардан бирининг ўрадан чиқиб кетиши учун маълум миқдорда энергия зарур. Бу энергия қора ўра массасининг камайиши ҳисобига, яъни унинг буғланиши ҳисобига бўлади.

Қабул қилинган стандарт моделга кўра, Олам ўтмишда бир жинсли ва изотроп бўлиб, Планк эрасидан рекомбинация эрасига қадар

$$R(t) = Dt^{1/2}$$

қонуният билан кенгайган. Сўнг ҳозирга қадар, космология фанининг кузатишларига кўра,

$$R(t) \sim t^{2/3}$$

қонуни бўйича Олам кенгайиши давом этмоқда.

Бизга маълум ушбу

$$\rho t^2 = \frac{3}{4\pi} \frac{1}{G} \quad , \quad \rho = \frac{3}{4\pi} \frac{m}{R^3}$$

тенгликлардан

$$R^3 = mGt^2$$

тенгликни ёки

$$R(t) = (mG)^{1/3} t^{2/3}$$

қонуниятни ҳосил қиламиз.

Оламнинг бошланғич ҳолатидаги энергияси ҳозирги замон космология фанида планкеон энергияси E_p га тенг деб қабул қилинган. Аммо биз бу бошланғич ҳолат энергиясини икки планкеон энергияси $2E_p$ га тенг деб қабул қиламиз (кейинроқ бу фикрни асослашга уринамиз).

Олам энергияси $E = 2E_p$ «шоҳчаланиб» бири, стандарт моделга мувофиқ, $E_1 t^{1/2} = a$ қонуният билан (энергия) камаяди, Олам совийди. Бунда Олам $R = D^{1/2} t^{1/2}$ (D — «диффузия» коэффициенти) қонуният асосида «хатотик» равишда кенгаяди. Бу стандарт модель муносабатларидан қуйидаги

$$E_1 = \frac{a}{\sqrt{t}} = \frac{aD^{1/2}}{R} = \frac{b}{R}, \quad b = aD^{1/2}$$

ёки

$$E_1 R = b$$

ифодаalar келиб чиқади.

Иккинчи томондан, E_p учун

$$E_p = \frac{c^4}{G} l_p$$

муносабатни ёзиш мумкин. Бу муносабатни, фақат Планк эрасидагина ўринли бўлмай, ҳар доим ўринли деб қабул қилинса, қуйидаги муносабатни оламиз:

$$E_2 = \frac{c^4}{G} R.$$

Планк эрасида $E_1 = E_2$. Аммо ундан кейинги эраларда E_1 (ва бинобарин температура) камайиб боради; E_2 эса (ва демак, масса $m = E_2/c^2$) ортиб боради.

Шундай қилиб, Олам кенгаяди, совийди. Шу билан бирга унда масса ортади, «яратилади».

11. Табиат геометрияси

Қадимдан то умумий нисбийлик назарияси (УНН) яратилгунга қадар, фазони Евклид фазо, вақтни эса ҳар доим бир меъёрда ўтади деб қаралди. Бундай 'қа-

рашда фазони ҳамма йўналишларда бир хил ва чегарасиз, вақтни эса бошланиши ва охири йўқ деб тасаввур қилинарди. Шундай қилиб, Олам эволюцияси, ана шундай чексиз ва чегарасиз фазода на боши ва на охири бўлмаган чексиз вақт «сахнаси»да содир бўлади деб қаралар эди.

Аммо бундай қарашга, тасаввурга Эйнштейннинг 1915 йилда эълон қилган умумий нисбийлик назарияси қаттиқ зарба берди.

Маълум бўлишича фазо ва вақт хоссалари, аниқроғи фазо-вақт ҳамда унинг хоссалари ва ундаги содир бўлаётган жараёнлар билан узвий боғланган экан. Буларни тасаввур қилиш назариясини баён этиш ниҳоятда қийин. Ҳақиқатан ҳам, гравитация майдонида фазо хоссалари, ноэвклид геометрияси билан ифодаланган, вақтнинг кучли гравитация майдонида ўтиши эса секинлашади.

Эйнштейн назариясининг фундаментал ҳамда радикал эканлиги шундаки, у фазо ва вақт ҳақидаги классик тасаввурларга зарба берибгина қолмай, уларни тубдан қайта қараб ўзгартирди. У Ньютоннинг классик механикаси ва гравитация назариясига асосланган гравитацияни, куч, майдон деб қаралган тасаввурни тубдан ўзгартирди: гравитация тушунчасини фазо эгрилиги геометрияси билан алмаштирди. Шунингдек, фазодаги тезланиш ибораси ўрнига фазонинг эгрилиги тасаввури кириб келди.

Эйнштейннинг бу назариясидан илҳомланган олимларда, табиатнинг бошқа кучлари ҳақидаги тасаввурларни қайта қараб чиқиш ғояси туғилди. Жумладан ўша вақтда маълум бўлган электромагнит ўзаро таъсирини, кучни геометриялаштириш ғояси туғилди. Бу ғоя устида ишлашга Эйнштейн умрининг талайгина қисмини сарф этди. 1921 йилда Польша олими Т. Калуца мазкур ғояни бир мунча ҳал қилишга муваффақ бўлди. Калуца беш ўлчовли шундай геометрия яратдики, бунда тўрт ўлчовли фазо-вақт ҳақидаги Эйнштейн назарияси ҳам, Максвеллнинг электромагнит назарияси ҳам «жойлашди», Калуца математик ҳисоб-китоб қилиб, электромагнетизм мазкур умумлашган геометриянинг бевосита кузатилмайдиган бешинчи ўлчовида ўзига хос «гравитациядан» иборат эканлигини кўрсатди. Калуцанинг шундай қараши физика тарихида кучли илмий интуиция ва фантазиянинг ёрқин намоён бўлишига мисол бўла олади.

Нисбийлик назарияси кўрсатишича фазо ва вақт тушунчалари бир-бирига боғлиқ бўлмаган алоҳида-алоҳида физик тушунчалар бўлмай, умумий бир физик тушунча «фазо-вақт»нинг томонлари (проекциялари, компонентлари) экан. Колуца назариясида ёритилган беш ўлчовли геометриядаги гравитация майдонининг тўрт ўлчовли «фазо-вақт»даги проекцияси одатдаги гравитацияни, кузатилмайдиган бешинчи ўлчовдаги проекцияси эса электромагнит майдонни ифодалайди. Бошқача айтганда, мазкур беш ўлчовли геометриядаги гравитация майдони — тўрт ўлчовли фазо-вақтнинг фазосидан кузатилганда, одатдаги гравитация майдони ҳамда электромагнит майдони сифатида алоҳида-алоҳида кўринади. Шундай қилиб, беш ўлчовли геометрияда — умумий гравитациягина мавжуд. Бунда электромагнит майдон — бу умумий гравитациянинг кузатилмайдиган ўлчовидаги бир қисминигина ташкил этади, холос. Бу назариядаги умумий гравитация, Эйнштейн ғоясига кўра, беш ўлчовли фазонинг эгрилигидан иборат. Шундай қилиб, гравитация ва электромагнит майдонлари, Колуца назариясида умумлаштирилиб, қуйидагича геометрик тавсифланади: бу беш ўлчовли фазодаги гравитация назарияси, тўрт ўлчовли фазодаги кузатувчи нуқтаи назаридан Эйнштейннинг гравитация назарияси ҳамда Максвеллнинг электромагнит майдони назариясидан иборат. Бошқача айтганда, бу фазодаги зарра ҳаракатининг бешинчи ўлчовдаги проекцияси электромагнит майдонига тегишли хоссаларни акс этса, фазо-вақтга тегишли тўрт ўлчовдаги проекцияси унинг гравитация майдонидаги хоссаларини акс эттиради.

Аммо биз яшайдиган олам уч ўлчовли фазо. Бу уч ўлчовлилик билан табиат қонунлари орасида фундаментал боғланиш, мувофиқлик борлигини инглиз олими Девис талай мисолларда яққол кўрсатади.

Жумладан, агар фазо ўлчамлиги n га тенг бўлса, ундаги кучнинг масофа бўйича ўзгариши $1/r^{n-1}$ қонуният билан бўлади. Ҳақиқатдан ҳам, фазо ўлчамлиги учга тенг бўлганлигидан электр, магнит ва гравитация майдонларининг тавсифлайдиган «масофанинг квадратига тескари пропорционаллик» қонуни келиб чиқади.

Бундай қонуният билан реал дунёнинг уч ўлчовлилиги орасида чуқур боғланиш борлигига 1747 йилдаёқ машҳур файласуф И. Кант эътиборни қаратган эди. 1917 йилда П. Эрнфест фақатгина уч ўлчовли фазода-

ги орбиталаргина қарорли бўлишини, жумладан Қуёш атрофидаги планеталар ҳамда атомдаги электронларнинг орбиталари «масофанинг квадратига тескари пропорционаллик» қонунига бўйсунувчи орбиталар бўлганликлари туфайли барқарор эканликларига эътиборни жалб этган эди. Агар фазо тўрт ўлчовли бўлса, планеталар ва электронлар $1/r^3$ қонуни асосида спираль траектория бўйича ҳаракатланиб, планеталар Қуёшга ва электронлар эса ядроларга «йиқилиб» тушган бўлур эди.

Яна бир ҳодиса — тўлқиннинг тарқалиши фазонинг ўлчамларига кескин боғлиқ. Маълумки, жуфт ўлчовли фазода (жумладан, Колуца фазоси тўрт ўлчовли, вақт билан эса беш ўлчовли) реверберация ҳодисаси туфайли соф тўлқин тарқалмайди. Шу сабабли, икки ўлчовли фазода аниқ, «соф» сигнални, маълумотни узатиш мумкин эмас. 1955 йилда бу вазиятни чуқур таҳлил қилган математик Г. Ж. Уитроу жуфт ўлчовли фазода олий шаклдаги ҳаёт пайдо бўлиши мумкин эмас деган хулосага келди. Чунки олий шаклдаги организм биргаликда мувофиқлашган, келишилган ҳолда ҳаракат қилиши учун аниқ маълумот алмашиниб туриши лозим.

Айтилганларга эътиборан, бу келтирилган далиллар билан Калуцанинг тўрт ўлчовли фазо ҳақидаги назарияси орасида зиддият борлиги маълум бўлди. Булар асосида фазонинг бешинчи ўлчови қаёққа йўқолди ёки нима учун реал дунёда у кўринмайди деган савол туғилади.

Бу саволга 1926 йилда швед олими Оскар Клейн жавоб бериб, шундай дейди: одатда бешинчи ўлчовни шунинг учун сезмаймизки, у ниҳоятда кичик ўлчамгача қисқарган, «ўралган» бўлади. Буни ушбу мисолда қуйидагича тушунтириш мумкин: фараз қилайлик, симга ҳалқа кийдирилган бўлсин. Узоқдан сим чизиққа ўхшаб, ҳалқа эса симдаги нуқта каби кўринади (бир ўлчовли объект каби). Яқиндан қаралганда ҳалқа икки ўлчовли объект эканлиги маълум бўлади. Клейн фикрича, уч ўлчовли фазонинг ҳар бир нуқтаси аслида тўрт ўлчовли фазода ўнггами ёки чапгами, пастгами ёки юқоригами ёки бирор томонга йўналган тўрт ўлчовли ҳалқадан иборат. Аммо ҳалқанинг ўлчами жуда ҳам кичик бўлгани учун уни нуқта каби қабул қиламиз.

Клейннинг бундай қарашида орбиталар қарорлилиги, тўлқинларнинг тарқалиши хусусидаги муаммолар пайдо бўлмайди, чунки бу бешинчи ўлчовда модда

ҳам, тўлқин ҳам чексиз кичик силжиш имконига эгадир, холос.

Клейн электрон заряди ва гравитация ўзаро таъсири қийматлари асосида тўрт ўлчовли Калуца фазосидаги ҳалқа периметрини ҳисоблаб уни 10^{-32} см га яқин эканлигини аниқлади, табиийки, атом (унинг ўлчами 10^{-8} см) ёки «кваркнинг (унинг ўлчами 10^{-16} см) бу 10^{-32} см ўлчамдаги масштабда ҳаракати тўғрисида сўз бўлиши мумкин эмас (масалан, айтэйлик одамнинг миллиметр масштабда ҳаракати тўғрисида гапириш маънога эга бўлмагани каби).

Шундай қилиб, Калуца—Клейн назарияси юқоридаги зиддиятни бартараф этди.

20 ва 30 йилларда ядро физикасининг ривожланиши сабабли заиф ва кучли ўзаро таъсирлар маълум бўлди ҳамда улар ҳақида маълумотлар олинди. Бу даврларда Калуца—Клейн назарияси назардан четда қолди. Аммо 60 йиллар охири, 70 йиларга бориб, заиф ва электромагнит ўзаро таъсирларни бирлаштирувчи Вайнберг—Салом назарияси, учта ўзаро таъсирни умумлаштирувчи Буюк бирлашув назарияси (ББН) яратилгандан кейин эски Калуца—Клейн назарияси яна эсга олинди. Физиканинг ўзаро таъсирлар ҳақидаги ютуқларини назарда тутиб, уни қайта кўриб чиқилди.

ББН даги симметрияларга асосланиб, электромагнит, заиф ва кучли ўзаро таъсирларни ҳисобга олиш учун еттита қўшимча фазовий ўлчовларни киритиш зарур эканлиги аниқланди. Шундай қилиб, Калуца—Клейннинг ҳозирги замон вариантыдаги назарияси вақт билан биргаликда ўн бир ўлчовли фазо киритилишини талаб этади. Бунда, худди аввалда айтганимиздек, еттита қўшимча фазовий ўлчовлар биз одатда сезмайдиган даражада қандайдир усул билан қисқарган, «ўралган» бўлиши лозим. Юқорида бир ўлчамли ўлчовни айланга келтирилди. Икки ўлчамли ўлчовни эса ҳалқасимон шаклга («бубликка») ёки сферага келтириш мумкин. Умуман кўп ўлчамли ўлчовни (бу ерда 7 ўлчамли ўлчовни) бир неча усул билан ўраш, «комфактификация» қилиш мумкин. Шундай қилиб, ўн бир ўлчовли фазонинг тузилиши — топологияси бир неча вариантли бўлиши мумкин. Қайси варианты ҳақиқат? Энг қизиқарли вариантларидан бири — бу етти ўлчовли сфера — 7 сферадир. Бу назария бўйича одатдаги уч ўлчовли фазонинг ҳар бир нуқтасини жуда кичик ўлчамга эга

бўлган 7 ўлчамли «гипершар» деб қараш лозим. Ҳозирги замонда маълум бўлган табиатдаги тўртта ўзаро таъсирларни геометрик тузилиш орқали ифодалаш зарур бўлса, олимларнинг кўрсатишига кўра, ўн бир ўлчовли фазо компактификациясининг энг содда варианты 7-сферадир. Бунда ўзаро таъсирлардаги симметрияларни 7-сфера симметрияларига мослаштирилади, мувофиқлаштирилади. Ўзаро таъсирлардаги симметриянинг яшириниши ёки унинг спонтан бузилиши 7-сферанинг деформацияси орқали тушунтирилади.

Бу ерда шуни таъкидлаймизки, кузатилмайдиган 7 ўлчовли компактификация қилинган 4-ўлчовли Оламдагина бизнинг яшашимиз ва демак, мавжудлигимиз учун шароит бор.

Калуца — Клейн назариясидаги ўн бир рақам физиканинг бошқа назариясидан — супергравитация назариясидан ҳам келиб чиқиши кишини ҳайратлантиради, шу билан бирга ўн бир рақами тасодифий эмас деган хулосага олиб келади.

Назарий жиҳатдан зарранинг спини 2 дан катта бўлмаслигига муҳим асос келтирилади. Бу ҳолда спин—2 дан 2 гача $1/2$ қадам билан ўзгаргани учун қадамлар сони 8 га тенг бўлади. Супергравитация назариясида ана шу 8 га тенг суперсимметрик операциялар мавжуд. Бу назарияни супергравитациянинг " $N=8$ " варианты дейилади. Худди шундай вариантда фазонинг ўн бир ўлчовли бўлишлиги талаб қилинади. Агар супергравитациянинг " $N=8$ " варианты табиатни, ўзаро таъсирларни тўғри тавсифласа, бундан реал Оламнинг ўн бир ўлчовли эканлиги келиб чиқади. Бундан ўз навбатида Калуца—Клейн назарияси билан супергравитация орасида чуқур боғланиш бор эмасмикан деган хулоса чиқарилади.

Калуца—Клейн назариясининг ҳозирги замон вариантига кўра табиатдаги барча кучларни ўн бир ўлчовли фазо-вақтнинг эгрилигининг намоён бўлиши деб қаралади. Бу назарияда зарраларни шу ўн бир ўлчовли фазонинг уйғунликлари (уйғонганликлари, «возбуждения») деб қаралади.

Гарчи Калуца—Клейн назариясини бевосита тасдиқлаш имкони бўлмасда, унинг ҳақиқатга яқинлигини ва унинг еттига қўшимча ўлчовларининг мавжудлигини кўрсатувчи яна далиллар келтириш мумкин.

Бизга маълумки, Комптон тўлқин узунлиги асосида

ҳар қандай узунлик масштабига мос энергия тўғри келади. 10^{-32} — 10^{-33} см узунлик масштабига 10^{19} ГэВ энергия мос келади. Демак, Қалуца—Клейннинг 7- сфераси ичига «кириш» учун, еттита қўшимча ўлчовларни тадқиқ қилиш учун 10^{19} ГэВ энергияга эга бўлишимиз зарур. Бундай энергияли ҳолат Оламнинг Планк эрасидагина бўлган. Бошқача айтганда, Оламнинг Планк эрасида, яъни тўртта ўзаро таъсирлар бирлашиб бир ягона таъсирнинг қисмлари (компонентлари) бўлиб қолган ҳолда Қалуца—Клейн геометрияси — табиат геометриясининг ўн бир ўлчовлари тенг кучли бўлади. Демак, уларни (еттита қўшимча ўлчовларни) бу эрада кузатиш мумкин бўлган бўлар эди.

12. Оламнинг бошланиши ва энг аввалги даври

Биз юқорида айтдикки, Планк эрасида фундаментал ўзаро таъсирлар гравитация, кучли, заиф (кучсиз) ва электромагнит ўзаро таъсирлар ягона ўзаро таъсирни ташкил этади, яъни улар бу шароитда ягона ўзаро таъсирнинг хусусий ҳоллари сифатида содир бўлади. Бу эрада вақт 10^{-44} с, энергия 10^{19} ГэВ атрофида бўлади, масса зичлиги эса фантастик даражада катта $\rho = 10^{94}$ г/см³ бўлади. Умумий нисбийлик назариясига асосан фазо-вақт ягона ўзаро таъсирнинг таркиби бўлган гравитацион ўзаро таъсир билан бевосита боғланганлиги сабабли бу эрада фазо-вақт ва материянинг бошқа кўринишлари (мода, майдон) бир-бирлари билан узвий боғланган бўлади, яъни бу эрада фазо-вақт ҳам материя хусусиятларидан иборат бўлиб қолади. Планк эраси температурасидан паст температураларда гравитация ўзаро таъсир, ягона ўзаро таъсирдан ажралиб чиққани туфайли, фазо-вақт ҳам материянинг бошқа шаклларида ажралиб чиқади. Гравитация ўзаро таъсир материянинг бошқа барча кўринишларига таъсири бўлгани сабабли, материянинг бошқа шакллари билан фазо-вақт ҳам маълум даражада ўзаро боғланишда бўлади, яъни Планк эрасидаги умумийлик «ини» қолган бўлади. Аммо, Планк эрасидан кейинги эраларда бу боғланиш нисбатан жуда кучсиз бўлгани учун, уни одатда ҳисобга олинмайди. Бу ерда шуни таъкидлаш лозимки, материянинг яна муҳим бир шакли бу — физик вакуумдир. Шундай бўлгандагина материянинг

вакуум шаклидан бошқа шаклга — ягона майдон шаклига ўтиши ҳақида гапириш мумкин.

Материянинг ягона майдон кўринишида бўлгандаги ҳолати учун квант механика принциплари, жумладан ноаниқлик принципи (квант флуктуация) ўринли бўлса, материянинг майдон ва модда шаклларига тегишли дискретлик хусусият, фазо-вақтга ҳам тегишли бўлади. Бинобарин, фазо-вақтнинг квант флуктуацияси ҳақида гапириш мумкин бўлади.

Планк эрасидан аввалги материя ҳолати ва Катта Портлаш умуман Оламнинг пайдо бўлиши масаласи космологиянинг энг муҳим муаммосидир. Гарчи ҳозирги замонда бу муаммо ҳал қилинмаган бўлсада, улар ҳақида умумий фикр, мулоҳазалар ва назарий схемалар мавжуддир.

Одатдаги тасаввурга биноан Олам ўта юқори температурали сингуляр (ягона, махсус нуқтавий) ҳолатдан кенгая бошлаган. Сингулярлик ҳолат эса материянинг вакуум ҳолатидан пайдо бўлган, дейилган фаразлар, гипотезалар бор.

Олам эволюциясининг сценарийси ҳақида сўз борганда Планк эраси ва ундан олдинги эралар ҳамда Оламнинг пайдо бўлиши ва у ҳолатлардаги материя ҳақида батафсилроқ тўхталиш, сўз юритиш, аввал айтганимиздек мантиқан ҳамда фалсафий нуқтан назардан лозимдир. Шу сабабли бу масалаларга онд баъзи мулоҳаза ва фикрларимизни айтмоқчимиз.

Квант механиканинг фундаментал принципларидан бири Гейзенберг ноаниқлиги

$$\Delta E \Delta t \geq h / 2 \quad (33)$$

муносабатидаги ΔE ва Δt катталиклар энергия ва вақтнинг квадратик флуктуациялари, яъни

$$\Delta E = \sqrt{(\overline{\Delta E})^2}, \quad \Delta t = \sqrt{(\overline{\Delta t})^2}.$$

(ΔE энергия сатҳининг табиий кенглиги, Δt (аниқроғи $2\Delta t$) эса система (жумладан, зарра)нинг шу сатҳда бўлиш (яшаш) вақти деб ҳам қаралади). Материянинг махсус ҳолати — физик вакуум учун Гейзенберг ноаниқлик муносабати

$$\Delta E \Delta t = h / 2 \quad \text{ёки} \quad 2 \Delta E \Delta t = h$$

тенгликдан иборат.

Агар вакуумда энергиянинг квадратик флуктуацияси $\Delta E \geq 2E_p$ бўлса, планкеон ва антипланкеон жуфти туғилиши имкони таъминланади (бу жараёни хро-

модинамикадаги вакуумдан кварк ва антикварк ҳамда улардан пион туғилиши каби тасаввур қилиш мумкин. Бу ҳолда жараён ташқи кучлар ва вакуум ўзаро таъсири туфайли содир бўлади. Биз қараётган ҳолдаги планкеон ва антипланкеон жуфт туғилиши вакуумда спонтан равишда содир бўлади, деб фараз қилиняпти).

Оламнинг Планк эрасидаги $t_p = l_p/c$ ва $E_p = m_p c^2$ ҳамда $l_p = (G \hbar / c^3)^{1/2}$ ва $m_p = (\hbar c / G)^{1/2}$ ифодалардан қуйидаги

$$E_p t_p = \hbar \quad (34)$$

муҳим муносабатни оламиз. Буни Гейзенберг ноаниқлик муносабати билан таққослаб, планкеон E_p энергияли сатҳда t_p яшаш вақтига эга эканлигини кўрамиз. Демак, планкеон ва антипланкеон жуфти t_p вақт яшаб, сўнг аннигиляцияланади. Натижада ягона майдон ҳосил бўлади.

Ягона майдондан яна жуфт туғилиши мумкин, ҳатто релаксация бўлиши ҳам мумкин ёки вақт ўтиши билан хаотизация бошланиб, маълум қонуният билан кенгайиб бориши мумкин. Бизнинг Оламимиз учун иккинчи имконият содир бўлган, яъни Фридман қонуни бўйича стандарт модель асосида Олам кенгая боради. Бу ерда шуни айтмоқ лозимки, Планк эрасидаги жуфт (планкеон ва антипланкеон) нинг аннигиляциясини «Катта Портлаш» деб қабул қилиш мумкин.

Шундай қилиб, Оламнинг энг аввалги даврига тегишли эраларнинг кетма-кетлигини биз қуйидагича талқин этамиз: квант флуктуация туфайли вакуумдан Δt вақт давомида Планк эраси (жуфт ҳосил бўлган давр) «яратилган». Сўнг, Планк эрасининг охирида аннигиляция содир бўлган, яъни «Катта Портлаш» юз берган. Ундан сўнг ҳосил бўлган майдон — Олам маълум қонуният асосида кенгайишда давом этаверган. Ана шу юқоридаги фикрларни қуйида асослашга киришамиз.

Асосий (фундаментал) доимийликлар G , c , \hbar дан

$$m_p^2 = \hbar c / G \quad (35)$$

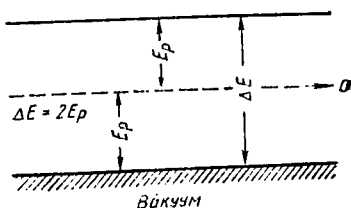
катталик ҳосил қилиш мумкин. (Одатда у доимийликлардан $m_p = (\hbar c / G)^{1/2}$ катталик ҳосил қилиниши ҳақида гапирилар эди.) Юқоридаги ифодалардан ушбу қийматлар ҳосил қилинади;

$$m_p = \pm (\hbar c / G)^{1/2} \quad (36)$$

Эйнштейн формуласидан фойдаланиб, қуйидагига эга бўламиз:

$$E_p = \pm c^2 (h \sigma G)^{1/2}. \quad (37)$$

Бу ифодалардан, Дирак назарияси ғоясидан фойдаланиб, ягона майдон вакууми билан туғилиши мумкин бўлган Олам орасида $2E_p$ га тенг энергия тирқиши мавжуд эканлигини аниқлаймиз (34-расм). Демак, квант флуктуацияси туфайли ягона майдон вакууми-



34-расм

дан зарра ва антизарра (уларни планкеон ва антипланкеон деб атаймиз) жуфти ёки ягона майдон кванти туғилиши учун вакуум энергияси флуктуацияси ΔE_Φ энергия тирқиши $2E_p$ дан кичик бўлмаслиги керак, яъни

$$\Delta E_\Phi \geq 2E_p \quad (38)$$

шарт бажарилиши зарур. Бу ҳолда Гейзенберг муносабати

$$\Delta E_\Phi \Delta t_\Phi = h / 2$$

бўлади. Бунда Δt_Φ вақт ΔE_Φ энергияли флуктуациянинг туғилиши актининг давомийлигини аниқлайди. Δt_Φ нинг $2E_p$ энергияга тўғри келган энг катта вақтнинг $\Delta t_{\Phi \max}$ билан белгилайлик.

Иккинчи томондан планкеон энергияси E_p нинг аниқланишидаги ноаниқлик ΔE_n , ўзининг маъносига кўра, $2E_p$ дан катта бўла олмайди, яъни

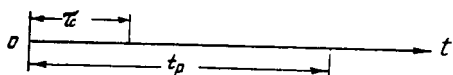
$$\Delta E_n \leq 2E_p$$

ифода ўринли бўлади. Бу ифода учун Гейзенберг муносабати

$$2\Delta E_n \Delta t_n = h$$

дан иборат. Бунда Δt_n энергия E_p нинг аниқланишидаги ноаниқлик. E_p ни аниқлашдаги энг катта ноаниқлик $2E_p$ га тўғри келган энг кичик ноаниқлик Δt_n ни $\Delta t_{n \min}$ билан белгилайлик. Бу Δt_n нинг энг кичик қиймати $\Delta t_{n \min}$ планкеон яшаш вақти t_p нинг аниқланишидаги ноаниқликни, бошқача айтганда, Планк эрасида Олам ёшининг аниқлашдаги ноаниқликни белгилайди.

Планк эрасидаги Олам ёшидаги ноаниқлик $\Delta t_{n \min}$



35- расм

билан Олам туғилиш акти давомийлиги Δt_{\max} ўзаро тенг деб қабул қилайлик, яъни (35- расм)

$$\Delta t_{\max} = \Delta t_{\min} \equiv \tau_c \quad (39)$$

(39) ни эътиборга олиб ёзилган ушбу

$$2\Delta E_{\phi}\tau_c = h, \quad 2\Delta E_{\kappa}\tau_c = h$$

ифодаларда $\Delta E_{\phi} = \Delta E_{\kappa} = 2E_p$ эканлигидан

$$4E_p\tau_c = h$$

муносабатни оламиз. Бу муносабатни юқорида олинган $E_p t_p = h$ билан таққослаб қуйидаги

$$\tau_c = t_p/4 \quad (40)$$

муҳим натижани топамиз.

Бу ифодани қуйидаги йўл билан ҳам олиш мумкин. Олам пайдо бўлиши учун (ёки планкеон ва антипланкеон жуфт туғилиши учун) вакуум энергияси флукуацияси $2E_p$ дан кичик бўлмаслиги зарур, яъни

$$\Delta E_{\phi} \geq 2E_p. \quad (41)$$

Энергия сатҳи E_p нинг ноаниқлиги ΔE_{κ} эса $2E_p$ дан катта бўла олмайди, яъни

$$\Delta E_{\kappa} \leq 2E_p. \quad (42)$$

Вакуум ҳолати учун қуйидаги

$$2\Delta E_{\phi}\Delta t_{\phi} = h, \quad 2\Delta E_{\kappa}\Delta t_{\kappa} = h. \quad (43)$$

Гейзенберг муносабатларини ёзайлик.

Буларда Δt_{ϕ} — флукуация туғилиши актининг давомийлиги (Олам пайдо бўлиши, планкеон ва антипланкеон жуфти туғилиши жараёнининг давомийлиги); Δt_{κ} — планкеон яшаш вақти аниқланишидаги ноаниқлик.

(41) ва (42) муносабатларни эътиборга олиб, Гейзенберг муносабатлари (43) ни қайта ёзамиз:

$$4E_p\Delta t_{\phi} \leq h; \quad 4E_p\Delta t_{\kappa} \geq h. \quad (44)$$

Буларни $E_p t_p = h$ билан таққослаб, Δt_{ϕ} нинг энг катта қиймати Δt_{\max} билан Δt_{κ} нинг энг қичик қий-

мати Δt_{\min} ўзаро тенг эканлигини аниқлаймиз, яъни

$$\Delta t_{\max} = \Delta t_{\min} = \tau_c = t_p/4.$$

Юқоридагилардан Олам учунгина ўринли бўлган

$$\Delta E_\phi = 2E_p, \quad \tau_c = t_p/4 \quad (45)$$

муносабатлар келиб чиқади. Бунда E_p ва t_p фақат бизнинг Оламимизга тегишли доимийликлардан ташкил топганига алоҳида эътибор бериш лозим. Шу билан бирга Оламимиздаги вақтнинг энг кичик масштаби—хронон τ_c учун муҳим $\tau_c = (hc/16c^5)^{1/2}$ ифода аниқланганлигини таъкидлаш лозим.

Юқоридаги муносабатда Олам энергияси ΔE тирқиш кенлиги $2E_p$ га тенг. Бу факт, яъни Олам пайдо бўлишида анизотропия хоссаси бўлмаганлиги, балким, Олам эволюциясида ўз ифодасини топгандир.

Яна муҳим хулоса шундан иборат: $E_p t_p = h$ муносабатга кўра, планкеон (антипланкеон) t_p вақт тартибида яшагандан кейин антипланкеон (планкеон) билан аннигиляцияланади. «Қатта Портлаш» юз беради ва ягона майдон квантини ҳосил қилади. Бу эрада ниҳоятда катта бўлган гравитация, электромагнит заиф ва кучли майдонларда (ягона майдонда) вакуум таъсирида, майдоннинг квант назариясига кўра, жуда кўп, лаб гравитонлар, фотонлар, ораліқ бозонлар, кварклар ва бошқа зарралар туғилади. Ҳозирги замон Олам эволюцияси ҳақидаги тасаввурга биноан Планк эрасининг охирида аннигиляция ва зарраларнинг пайдо бўлишидан кейин, кварк-лептон эрасининг бошланишида гравитация ўзаро таъсир ягона ўзаро таъсирдан ажралиб чиқади ва Олам стандарт модель асосида ривожлана бошлайди. Бу вақтда Олам ёши 10^{-43} с тартибида бўлади.

Планк эрасидан аввалги Олам туғилиши эрасига тегишли масштаб $l_c = c\tau_c$ ни локалон деб атайлик. Энг кичик узунлик масштаби локалон, планкеон Комптон тўлқин узунлигининг тўртдан бирига тенг, яъни $l_c = \lambda_p/4$. Бошқача айтганда Планк эрасида Олам ёши тўрт τ_c га, масштабни эса тўрт локалонга тенгдир.

Вақт, шу айтилганларга асосан $\tau_c = 1,3 \cdot 10^{-44}$ секундга дискрет бўлган қийматлар қабул қилади. Бу дискрет қийматни — вақтнинг квантини хронон деб атаймиз. Вақтга нисбатан чиқарилган хулосадан, $l_c = c\tau_c$ муносабатга кўра, фазонинг чизиқли ўлчами учун энг

кичик қиймат l_c эканлиги келиб чиқади, яъни бизнинг Оламимиз учун $l_c = 4 \cdot 10^{-34}$ см дан кичик масштаб ҳақида гапириш реал маънога эга эмас.

Планк узунлиги l_c учун қуйидаги

$$l_p = ct_p = c \hbar / E_p = \hbar / m_p c$$

муносабатлар ўринли. Иккинчи томондан планкеон учун Комптон тўлқин узунлиги $\lambda_p = \hbar / m_p c$ эканлиги маълум. Демак, $l_p = \lambda_p$ тенглик ўринли.

Квант механиканинг фундаментал принципига асосан E_p энергияли (m_p массали) системани (заррани) λ_p масштабда ҳажмда локализациялаш мумкин, аммо ундан кичик ҳажмда системанинг тўлқин табиатига кўра, локализациялаб бўлмайди, ундай ҳажмга «сигмайди».

Шундай қилиб, фазо ва вақт масштаблари l ва t дискрет қийматлар қабул қилади, дейилган хулосага келамиз, яъни

$$l = n l_c, \quad t = n t_c,$$

бунда $n = 1, 2, 3, \dots$. Фазо-вақт (Минковский дунёси) ҳам дискрет қийматлар қабул қилади. Масалан, интервал

$$\sigma^2 = l^2 - c^2 t^2 = l_c^2 (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 - n_t^2),$$

бунда n_x, n_y, n_z, n_t дискрет қийматлар қабул қилади.

Юқорида айтилганлардан муҳим шундай хулоса чиқади: Олам l_c ва t_c дан бошланган. Шу маънода Олам бошланишида сингулярлик бўлмаган.

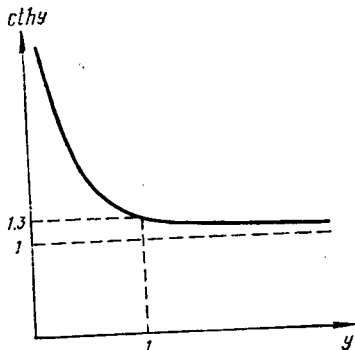
Бу ерда шунини таъкидлаймизки, принципи жиҳатдан $\Delta E > 2E_p$ бўлиши мумкин, яъни бундай флукуация бўлиши мумкин. Аммо, бизнинг Оламимиз фақат $\Delta E = 2E_p$ қийматли флукуациядан рўёбга чиққан, шундай флукуациядангина содир бўлган деб қаралади. Бу флукуация натижасида t_c вақт давомида планкеон ва антипланкеон жуфти пайдо бўлган, туғилган. Планк эрасининг охирида, Олам ёши t_p бўлганда планкеон ва антипланкеон аннигиляцияланади, «Катта Портлаш» юз беради. Шундан бошлаб Олам эволюциясида хаотизация даври бошланади, Олам $E^{1/2} = a$ қонуният билан кенгая боради.

Шундай қилиб, юқорида айтилган тасаввурларга кўра, бизнинг Олам пайдо бўлгунга қадар у материянинг вакуум кўринишида (шаклида) бўлган. Асосий ҳолат — вакуум учун, худди мувозанатли термодинами-

кадаги каби, вақт тушунчаси киритилмайди. Яъни, вакуум кўринишдаги материя чексиз вақтда мавжуд. Шу маънода вақт ва фазо (ёки вақт-фазо) тушунчалари Планк эрасининг бошланиши τ_c дан бошланади.

Бу ерда материянинг вакуум ҳолатидаги температураси нолга тенг эканлигини кўрсатайлик.

Квант статистик физика асосида координата ва импульс ҳамда энергия ва вақт флуктуациялари учун қуйидаги



36- расм

$$[(\overline{\Delta x})^2 (\overline{\Delta P_x})^2]^{1/2} = \frac{h}{2} cth \frac{h_{\omega}}{2\kappa T} \quad (46)$$

ва

$$[(\overline{\Delta E})^2 (\overline{\Delta t})^2]^{1/2} = \frac{h}{2} cth \frac{h_{\omega}}{2\kappa T} \quad (47)$$

муносабатларни олиш мумкин. Бунда гиперболик котангенс $cth y = (e^y - e^{-y}) / (e^y + e^{-y})$ нинг қиймати $(1, \infty)$ соҳада ўзгаради (35-расм), $y = h_{\omega} / 2\kappa T$. Бунда y нинг жуда катта қийматларида (яъни температуранинг жуда кичик қийматларида) $cth y \approx 1$ га интилади; $T = 0$ да эса $cth y = 1$ бўлади. y нинг бошқа қийматларида, яъни $y < \infty$ бўлганда (ёки $T > 0$, $h_{\omega} < \infty$ бўлганда) $cth y > 1$ бўлади. Бу юқорида айтилганлар (яъни $cth y \geq 1$) асосида (46) ва (47) муносабатларни

$$[(\overline{\Delta x})^2 (\overline{\Delta P_x})^2]^{1/2} \geq h / 2 \quad (48)$$

ва

$$[(\overline{\Delta E})^2 (\overline{\Delta t})^2]^{1/2} \geq h / 2 \quad (49)$$

тенгсизликлар кўринишида ёзиш мумкин.

Қуйидаги

$$\sqrt{(\overline{\Delta x})^2} = \Delta x, \quad \sqrt{(\overline{\Delta P_x})^2} = \Delta P_x;$$

$$\sqrt{(\overline{\Delta E})^2} = \Delta E, \quad \sqrt{(\overline{\Delta t})^2} = \Delta t$$

белгилашлар киритиб, (48) ва (49) ифодаларни Гейзенберг ноаниқлигидан иборат эканлигини кўраемиз.

Квант механика асосида кўрсатилдики, вакуум (асосий) ҳолат учун (48) ва (49) ифодаларда тенглик ишораси бажарилади, яъни

$$\Delta x \Delta P_x = h / 2. \quad (50) \quad \Delta E \Delta t = h / 2. \quad (51)$$

Бу тенгликлар эса, иккинчи томондан температура нолга тенг бўлганда ўринлидир.

Булардан шундай хулоса чиқариш мумкин: материя аввал вакуум ҳолатда, яъни $T=0$ ҳолатда бўлган. Квант флуктуация натижасида шу вакуум ҳолатдаги материядан планкеон ва антипланкеон жуфти тугилган. t_0 вақт охирида уларнинг аннигиляцияси туфайли «Портлаш» юз берган. Сўнг Оламнинг юқори температурали хаотизация даври бошланган. Шундай қилиб, бу сценарий бўйича материянинг $T=0$ температурали ҳолатидан флуктуация сабабли Олам пайдо бўлиб, «Портлаш» — аннигиляция туфайли ўтаюқори температурали ҳолатга ўтган. Бундан сўнг Оламнинг кенгайиш, ва демак совиш даври бошланган.

Планк эраси охиридаги аннигиляциядан (Катта Портлашдан) кейин Олам ривожланишида хаотизация стахостик жараён бошланади. Бунда Олам кенгайиш жараёни $E t^{1/2} = a$ ва $\lambda^2 = (h c / E)^2 = D t$,

$$(D = (h c / a)^2 = (h G / c)^{1/2} = 4,84 \cdot 10^{-23} \text{см}^2 / \text{с})$$

қонуниятлар билан давом этади. Бу тасаввурга кўра, Планк эрасининг охиридаги «Катта Портлаш»дан кейин Олам хаотик (диффузион) жараён билан кенгайган ва шу билан бирга совиётган объектга айланади. Олам кенгайиши жараёни давом этади.

Шундай қилиб, Фридман айтганидек, Олам стахостик қонун билан кенгай бошлайди. Оламнинг $\lambda^2 = D t$ қонунияти билан кенгайишига оид мисоллар келтирайлик.

1. Планк эраси $t_0 = 5,3 \cdot 10^{-44}$ с учун яна аввалги $l_0 = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см қийматни оламиз. Ҳақиқатан ҳам $D^{1/2} = (h G / c)^{1/4} \approx 6,56 \cdot 10^{-12} \text{см}^2 / \text{с}$. Демак, $\lambda = 6,56 \cdot 10^{-12} \cdot t^{1/2}$. Бундан $t = 5,3 \cdot 10^{-44}$ с бўлганда $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см ни оламиз.

2. Бизга маълум электромагнит ва заиф ўзаро таъсирларнинг бирлашуви соҳасига тўғри келган энергия $E \approx 300 \text{ГэВ}$ ва вақт $t \approx 10^{-10}$ с атрофида эди. Шу соҳага тўғри келган фазо масштабини топамиз:

$$\lambda = 6,56 \cdot 10^{-12} t^{1/2} \approx 6,56 \cdot 10^{-17} \text{см}.$$

3. Адрон эрасига, нейтрон ва протонларнинг ҳосил бўлишига, $t \approx 10^{-4}$ с тўғри келади. Демак, $\lambda = 6,56 \times 10^{-12} t^{1/2} = 6,56 \cdot 10^{-14}$ см.

Эслатма. Рекомбинация эрасида, нурланиш моддадан ажралгандан кейин, Олам эволюциясида мураккаб жараёнлар бўла бошлагани учун, Олам кенгайиши оддий $\lambda^2 = (G \hbar / c)^{1/2} \cdot t$ қонуният билан эмас, мураккаброқ қонуният билан кечади. Шу сабабли кейинги кенгайишлар юқоридаги оддий муносабат билан аниқланмайди.

Охирида шуни таъкидлаймизки, вакуумдан планкеон ҳосил бўлиши — бу квант механикасидаги Гейзенберг муносабатига асосан нормал флукутация жараёнидир.

ХОТИМА

Агар G , c , \hbar доимийликлар қийматлари бироз бошқача бўлганда эди. Олам манзараси ҳам бутунлай бошқача бўлар, яъни ҳаёт учун имкон бўлмаган шароит юзага келган бўлар эди. Ҳақиқатан, агар электроннинг массаси ҳозирги массасидан 3 марта ортиқ бўлганда эди, атомлар узоқ яшай олмас эди. Бир ой мобайнида ҳамма водород атомлари $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$ реакция бўйича коллапсланиб кетар, яъни Оламдаги водород бу реакция сабабли нейтрон ва нейтриноларга айланиб кетган бўлар эди.

Кучли ўзаро таъсир ўзининг ҳозирги қийматидан каттароқ (кучлироқ) бўлганда, $p + p \rightarrow {}_2\text{He}^2 + \gamma$ реакция бўлиши мумкин. (Бу реакция реал шароитда рўй бермайди). Бу ядро реакцияси реал шароитда мавжуд бўлганда эди, ҳаёт учун зарур бўлган водород бўлмаган бўлар, яъни ҳаёт бўлмаган бўлур эди. Фундаментал доимийликларнинг бизга маълум фақат шу қийматларидагина яшаш учун, ҳаёт учун имкон шароит туғилар экан. Демак, бизнинг Олам ноёб экан. Бу Оламнинг ноёблиги, ўз навбатида, биз яшаётган сайёрамизнинг ҳам ноёблиги ҳақидаги хулосага олиб келади. Шундай экан, сайёрамиздаги ҳар бир инсон ва унинг ҳаёти нодиру-ноёб ҳодисадир. Шунингдек, Ер юзида мавжуд табиий ресурслар ҳам ноёбдир. Буларни чуқур ҳис қилиш ва эъзозлаш ҳар бир ақл-заковатли одамнинг бурчи бўлиб, унинг табиат ва жамиятга муносабатининг шаклланишида муҳим аҳамият касб этади.

Эралар

Олам ёши	эра номи	муҳим жараёнлар
1	2	3
10^{-44} с	Оламнинг туғилиш эраси	Квант флуктуация. Планкеон ва антипланкеон жуфт вакуумдан туғилиши. Уларнинг аннигиляцияси
$t_p = 4t_c$	Планк эраси	Катта портлаш. Ягона майдон.
$t = 10^{-36}$ с	Кварк-лептон эраси	Ягона таъсирдан ГТ ва ЭЗКТнинг ажралиши. Зарраларнинг туғилиши, хаотизация даврининг бошланиши.
$10^{-36} - 10^{-10}$ с	Калибр эра (сахро)	ЭЗКТнинг ЭТ ва КТ га ажралиши
$10^{-10} - 1$ с	Адрон эраси	Олам барион ассиметрияси пайдо бўлиши. ЭТнинг ЭТ ва ЗТ га ажралиши.
1 с — 3 мин	Радияция (нурланиш) эраси	Кварклар ва антикваркларнинг аннигиляцияси. Бу жараёнда нейтрино ва фотонлар ҳосил бўлиши. Кварклардан барионлар ва мезонлар ҳосил бўлиши.
$1 - 3$ мин	Енгил ядролар синтези эраси	Гелий атоми ядроси ҳосил бўлиши учун физик шароит юзага келади. Олам моддасининг 30% га яқини гелий, 70% га яқини водород атомлари ядроларидан иборат бўлади. Оламнинг жўшқин даври тугайди.
3 мин — 300.000 йил	Плазма эраси	Олам температураси 4000 К гача совийди.
300.000 йил — 1 млн. йил	Рекомбинация эраси	Нурланиш моддадан ажралади. Нурланиш учун Олам шаффоф бўлади.
		Оламнинг болалик даври тугайди.

1	2	3
1 млн. йил—10 ³⁶ йил I—5 млрд. йил	Модда эраси	Оламда модданинг устунлик даври бошланди.
5—15 млрд. йил.		Галактикалар пайдо бўлиши. Юлдузлар пайдо бўла бошлайди.
15—15,3 млрд. йил		Юлдузларнинг пайдо бўлиши.
15,5 млрд. йил		Қуёшнинг пайдо бўлиши (Ҳозирги вақтдан 4,7—5 млрд. йил аввал).
16,1 млрд. йил	Археозой эраси	Планеталар пайдо бўлиши. Ҳаёт пайдо бўлиши (тахминан 4,5 млрд. йил бундан аввал).
17 млрд. йил		Ернинг энг қадимий қатламлар жинслари ҳосил бўлиши (3,9 млрд. йил аввал).
18 млрд. йил	Протозой эраси	Микроорганизмларнинг пайдо бўлиши (3 млрд. йил аввал).
19 млрд. йил	Полеозой эраси	Кислородга бой атмосфера ҳосил бўлиши (2 млрд. йил аввал).
19,55 млрд. йил		Микроорганизм шаклида ҳаётнинг пайдо бўлиши (1 млрд. йил аввал).
19,6 млрд. йил		Қуруқликдаги биринчи ўсимликлар пайдо бўлиши (450 млн. йил аввал).
19,75 млрд. йил	Мезозой эраси	Балиқлар пайдо бўлиши (400 млн. йил аввал).
19,85 млрд. йил	Кайназой эраси	Тоғлар, игна баргли дарахтлар ҳосил бўлиши (250 млн. йил аввал).
19,95 млрд. йил		Динозаврлар, континентлар дрейфи даври (150 млн. йил аввал).
20 млрд. йил		Биринчи сут эмизувчилар (50 млн. йил аввал).
		Одам (<i>Homo sapiens</i>) (2 млн. йил аввал).

Эслатма. Муаллиф баъзи эралар номи ва уларнинг даврига адабиётлардагига нисбатан бошқача қаради.

ҚҶШИМЧА АДАБИЕТ

1. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков Стросние и эволюция Вселенной. М., Наука, 1975
2. С. Вайнберг. Гравитация и космология М., Мир, 1975.
3. П. Девис. Суперсила М., Мир. 1989.
4. Л. Б. Окунь. Лептоны и кварки М., Наука, 1990.
5. А. И. Наумов. Физика атомного ядра и элементарных части, М., Просвещение, 1984.

МУНДАРИЖА

Биринчи боб. Асосий ўзаро таъсир турлари	3
Кириш.	3
1. Фундаментал элементар зарралар	3
2. Аннигиляция ва жуфт ҳосил бўлиш ҳодисалари. С-симметрия ва антизарралар	12
3. Алмашилиш туфайли содир бўладиган кучлар	15
4. Майдон ва унинг квантлари	16
5. Асосий ўзаро таъсир турлари	19
6. Асосий ўзаро таъсирлар механизми	24
7. Электромагнит ўзаро таъсир ва унинг механизми	24
8. Заиф ўзаро таъсир ва унинг механизми	29
9. Кучли ўзаро таъсир. Кварклар ва глюонлар	34
10. Ягона назария	42
Иккинчи боб. Олам эволюцияси	50
Кириш	50
1. Катта Портлаш	51
2. Планк эраси	53
3. Кварк-лептон эра	59
4. Калибрловчи эра	63
5. Адрон эраси	64
6. Радиация эраси	66
7. Енгил ядролар синтези эраси	67
8. Плазма эраси	68
9. Рекомбинация эраси	68
10. Оламнинг келажаги	68
11. Табиат геометрияси	76
12. Оламнинг бошланиши ва энг аввалги даври	82
Қўшимча адабиёт	94

Бойдедаев А.

Табиат кучлари ва олам эволюцияси: Пед. ин-ларининг талабалари учун тавсия этган.— Т.: Уқитувчи, 1995.—96 б.

ББК 22.382я7 + 22.632я7

Бойдедаев Аҳмаджон

**ТАБИАТ КУЧЛАРИ ВА ОЛАМ
ЭВОЛЮЦИЯСИ**

Тошкент «Уқитувчи» 1996

Таҳририят мудирин *У. Хусанов*
Муҳаррир *Х. Пўлатхўжаев*
Расмлар муҳаррири *Т. Қаноатов*
Техник муҳаррир *Э. В. Вильданова*
Мусаҳҳиҳа *З. Содиқова*

ИБ № 6323

Теришга берилди 17.09.93. Босишга рухсат этилди 25.11.95. Формати 84×108¹/₃₂. Тип қоғози. Кегль 10 шпонсиз. Литературная гарнитураси. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л. 5,04. Шартли кр-отг. 5,355. Нашр. л. 4.3. Тиражи 5500. Зак. 60.

«Уқитувчи» нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома 09—90—93.

Ўзбекистон Республикаси Давлат матбуот қўмитаси Янгийўл китоб фабрикаси, Янгийўл ш., Самарқанд кўчаси, 44. 1996.