GALAXY INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL (GIIRJ)
ISSN (E): 2347-6915
Vol. 10, Issue 11, Nov. (2022)

A SCIENTIFIC-METHODICAL APPROACH TO PROCESSES INVOLVING "FUNDAMENTAL", "STRANGE" AND "CHARMING" PARTICLES DURING PRACTICAL TRAINING

Madaliyev Akmaljon Makhammadjonovich
Kokand SPI.
akmalmadaliyev86@gmail.uz

In practical classes, analyzing and solving issues related to particles belonging to the class of hadrons with in-depth study of processes with the participation of a fundamental, strange and fascinating particle contributes a lot to the effectiveness of mastering elementary particle physics. In the process of practical training, it is considered important to dwell on what the universe that surrounds us is made of in order to describe particles belonging to the class of fundamental, strange and fascinating particles. As we know, the basis of any substance is atoms. Atoms combine to form molecules, and they, in turn, combine to form substances.
Particles participating in strong interaction in the particle world, that is, the numerical abundance of particles belonging to the group of hadrons, cause it is considered convenient to study them by dividing them into classes according to certain properties. For this reason, let us dwell in detail on the nature of fundamental (basic) particles belonging to hadrons, their specific nature.
The atom of any chemical element is made up of electrons moving around the nucleus and orbits around it. The atomic nucleus, on the other hand, is made up of protons and neutrons, while protons and neutrons are in the nucleus
$\pi -$ criteria (π^0, π^-, π^+) these particles are called fundamental hadrons because they bind through them.So that, $p -$ протон, $n -$ нейтрон, π^0-, $\pi^- -$, and $\pi^+ -$ the criteria constitute a class of fundamental hadrons.
For Fundamental particles, it turns out that the quantum numbers of strangeness and fascination are equal to S=C=0. They are characterized only by certain values \ u200b \ u200bof isotopic Spin - T and its third proecies - T_3. the spin of π - criteria - J and the barion charge-B are also equal to 0 (since the criteria are not baryons). all quantum numbers of the π^0 and π ^0 - criteria are the same. Neutral particles with all such quantum numbers being the same are called real neutral particles. That is, with a real neutral particle, its antizarrhe is not necessarily distinguished from each other. For this reason, we can write that for the neutral π^0 - criterion and its antizarrhe π ^0 - criterion π^0=π ^0. It is seen from the table that this case is not appropriate for a neutron, that is, a neutron is not a real neutral particle i.e., n≠n .
Fundamental hadrons will be composed of u - and d-quarks as well as their antiques.
In order to clearly imagine the connection between the fundamental, strange and fascinating class of particles, it is convenient for us to write down quarks and leptons in the form of generational ones, which from a modern point of view are considered fundamental elementary particles. So these three generational particles are written in the following form:

I. $\binom{e^-}{\nu_e},\binom{u}{d},\binom{e^+}{\bar{\nu}_e},\binom{\bar{u}}{\bar{d}}$, II. $\binom{\mu^-}{\nu_\mu},\binom{c}{s},\binom{\mu^+}{\bar{\nu}_\mu},\binom{\bar{c}}{\bar{s}}$, III. $\binom{\tau^-}{\nu_\tau},\binom{t}{b},\binom{\tau^+}{\bar{\nu}_\tau},\binom{\bar{t}}{\bar{b}}$

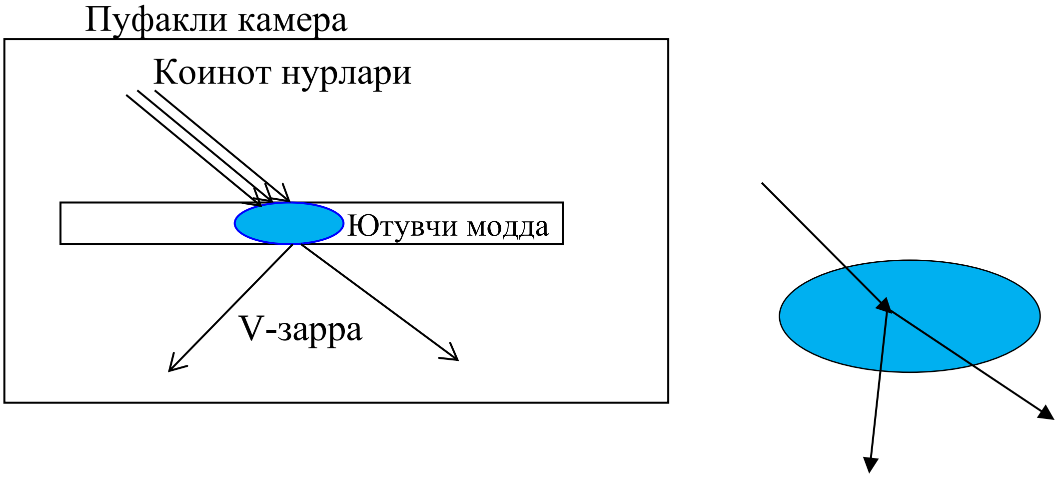
Ғалати ва мафтункор зарралар биз тўхталиб ўтаётган фундаментал, яъни биринчи гуруҳ элементларидан тузилган зарраларнинг ўзаро кучли таъсирлашиш натижасида жуфт –

жуфт ҳосил бўлиб, кучсиз ўзаро таъсир натижасида яна фундаментал заррага айланишади. Бу фикр юқоридаги учта авлод зарралар нуқтаи назаридан янада яққолроқ намоён бўлади. Биринчи авлод элементларидан тузилган зарралар, яъни фундаментал зарраларнинг ўзаро кучли таъсирлашиши натижасида иккинчи (ғалати $s, \bar{s}$, ва мафтункор $c, \bar{c}$ кварклардан тузилган) ва учинчи авлод (гўзал ва ҳақиқий $t, b, \bar{t}, \bar{b}$ кварклардан тузилган) элементларидан ташкил топган зарралар ҳосил бўлади. Лекин иккинчи ва учинчи авлод элементларидан тузилган зарралар қисқа яшаш вақтига эгалиги сабабли, улар ҳар бири алоҳида кучсиз ўзаро таъсир натижасида парчаланиб яна биринчи авлод элементларидан тузилган зарраларга айланадилар. Биринчи авлод элементларидан тузилган зарралар эса атрофимиздаги барча стабил атомлар, молекулалар ва молекулаларнинг бирикиши натижасида эса барча моддаларни ташкил қиладилар. Бу зарраларда ғалатилик, мафтункорлик каби хусусиятлар намоён бўлмайди ва улар бизни ўраб турган моддий Оламни ташкил қиладилар. Шу ўринда биринчи авлодга мансуб бўлган e^- - электрон ва ν_e - электрон нейтриноси ҳамда уларнинг антизарралари бўлган e^+- позитрон ва $\bar{\nu}_e$ - электрон антинейтриносига ҳам тўхталиб ўтиш мақсадга мувофиқдир. Маълумки, элементар зарраларга хос хусусиятлардан бири уларнинг ҳар бирининг ўзига хос яшаш вақтидир. Шундан кейин улар бошқа зарраларга парчаланиб зарраларнинг ўзаро бир – бирига айланиш хусусиятини номоён қилади. Улар орасида фақат 12 тасигина, яъни, γ- фотон, e^- - электрон, p- протон, учта турдаги нейтринолар ν_e, ν_μ, ν_τ ҳамда уларнинг антизарралари абсолют стабил зарралар ҳисобланиб, улар бошқа зарраларга парчаланмайдилар (назарий жиҳатдан p - протоннинг парчаланиши башорат қилинади ва ҳозирги ҳисоблашларга кўра унинг яшаш вақти 10^{33} йилдан катта эканлиги жадвалдан кўриниб турибди). Лекин иккинчи ва учинчи авлодга тегишли бўлган μ^- - мезон ва унинг нейтриноси, τ^-- тау лептон ва унинг нейтриноси ҳамда уларнинг антизарралари мос ҳолда коинот нурларининг атмосферадаги элементлар билан ўзаро таъсирлашиши натижасида ва замонавий зарралар тезлаткичларидагина ҳосил бўлади. e^- - электрон ва ν_e - электрон нейтриноси эса Қуёш ва бошқа юлдузлардаги жараёнларда ҳосил бўлади. Ушбу жараёнларда ҳосил бўлувчи зарралар оқими – бирламчи коинот нурлари таркибида уларнинг улуши асосий ҳисобланади. Шу маънода биз юқорида қайд қилиб ўтган 12 та абсолют стабил заррадан 6 таси биринчи авлодга тегишлилиги ҳам бу фикрни тасдиқлайди. Шу сабабли биринчи авлодга тегишли лептонларни ҳам биз қараб чиққан фундаментал адронлар қатори фундаментал лептонлар деб қараш мумкин. Шундай қилиб биринчи авлод элементларидан тузилган p – протон, n – нейтрон, π^0 –, π^- –, ва π^+ – мезонлар, e^- - электрон ва ν_e - электрон нейтрино ҳамда уларнинг антизарраларини фундаментал зарралар дейишимиз мумкин, чунки бутун борлиқ ушбу зарралардан таркиб топган.

Элементар зарралар физикаси ривожланишининг дастлабки босқичи ўтган асрнинг 40 – йилларига тўғри келиб, бу вақтда фанга фотон, электрон, позитрон, протон, антипротон, нейтрон, антинейтрон, мезонлар, нейтрино ва антинейтрино каби зарралар маълум эди. Шунга қарамасдан коинот нурлари таркибини ўрганиш жараёнида юқорида номлари келтирилган зарралар (фотон, электрон, позитрон, протон, антипротон, нейтрон, антинейтрон, мезонлар, нейтрино ва антинейтрино) дан фарқланувчи зарралар кузатилиб қайд қилина бошланди. Бу зарраларнинг ўзига хос хусусияти шундай эдики, бирламчи

GALAXY INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL (GIIRJ)
ISSN (E): 2347-6915
Vol. 10, Issue 11, Nov. (2022)

коинот нурларининг моддалар билан таъсирлашиши натижасида жуфт – жуфт ҳолда (аксарияти иккитаси бир бўлган ҳолда) ҳосил бўларди. Бундай зарралар оқимига иккиламчи коинот нурлари деб аталади. Иккиламчи коинот нурларини қайд қилувчи асбоблар (пуфакли камералар) ёрдамида олинган минглаб фотосуратларда жуфт кўринишда ҳосил бўладиган зарралар ўзидан V кўринишда траектория қолдиргани учун бундай зарралар V зарралар деб атала бошланди. Кузатишлар таҳлили шуни кўрсатдики V зарралар тахминан $10^{-23} - 10^{-24}$ секунд вақт мобайнида ҳосил бўлар экан.



1-расм. V-зарраларнинг тажрибада кузатилиши

V зарралар ўзидан бир неча сантиметр узунликда из қолдириб яна оддий зарраларга парчаланади [1]. V зарраларнинг қисқа вақт ичида оддий зарраларга айланишидан ҳосил бўлган зарраларнинг барчаси ~ 10^{-10} с вақт ичида алоҳида – алоҳида суст равишда парчаланишини англатади. Бундан шундай хулоса келиб чиқадики, ғалати зарралар кучли ўзаро таъсир натижасида ҳосил бўлади, заиф ўзаро таъсир остида парчаланади. Шу тариқа ўтган асрнинг ярмига келиб ғалати зарраларнинг тури 16 тага етиб улар қуйидагилардир: K – мезонлар, Λ –, Σ –, Ξ – гиперонлар ва уларнинг антизарралари. Гиперонлар деб массаси нуклонлар (протон ва нейтрон) массасидан оғирроқ бўлган барионларга айтилади.

Ғалати зарралар оддий зарраларнинг бир – бири билан ўзаро таъсирлашиши натижасида ҳосил бўлади. Ғалати зарраларнинг ҳосил бўлиш жараёнларини қуйидагича келтиришимиз мумкин [2]:

$$\pi^- + p \to K^+ + \Sigma^-,\ \pi^- + p \to K^0 + \Lambda^0,\ \pi^- + p \to K^- + K^+ + n,$$
$$\pi^- + p \to \Omega^- + K^+ + K^0 + K^0,\ \pi^+ + p \to K^+ + \Sigma^+,\ p + p \to K^+ + p + \Lambda^0,$$
$$p + p \to K^- + K^+ + p + p \qquad (1)$$

Ғалати зарраларнинг кучсиз ўзаро таъсир остида парчаланиб, яна оддий зарраларга айланиш жараёнлари қуйида келтирилган.

$$\Lambda^0 \to p + \pi^-,\ \Lambda^0 \to n + \pi^0,\ \Sigma^+ \to p + \pi^0,\quad \Sigma^+ \to n + \pi^+ \quad (2)$$

Ғалати зарраларнинг жуфт – жуфт кўринишда ҳосил бўлиши зарраларнинг айрим турлари учун ўринли бўлмайди, яъни жараён руҳсат этилмаган жараён деб юритилади. Масалан: $n + n \to \Lambda^0 + \Lambda^0$ (3) жараён тажрибада кузатилмайди, лекин $\overline{K}^0$ мезон моддалар билан ўзаро таъсири натижасида Λ^0 - гиперон ҳосил бўлади:

$$\overline{K}^0 + p \to \Lambda^0 + \pi^+ \qquad (4)$$

GALAXY INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL (GIIRJ)
ISSN (E): 2347-6915
Vol. 10, Issue 11, Nov. (2022)

Аксинча $\bar{K}^0$ мезон моддалар билан таъсирлашганда эса Λ^0 - гиперон ҳосил бўлмаслиги амалда кузатилди.

Бундай тур зарраларнинг ғалатилиги узоқ вақт мобайнида ўзининг “ғалатилик” сирини сақлаб турдики, буларни аниқлашга ва тушунтириб беришга бўлган уринишлар бесамар кетди. Мисол тариқасида америкалик олим Марри Гелл – Ман ва япониялик олим Кацухико Нишиджималарнинг изотопик спин формализми асосида зарраларнинг ғалатилик ҳусусиятини тушунтиришга бўлган уринишларини келтиришимиз мумкин.

Ўтган асрнинг 40 – йиллари охирига келиб адронларнинг сонини ортиб бориши билан “минимал” моделлар қуришга зарурат туғилди. Дастлабки минимал модел 1949 йилда Э.Ферми ва Ч.Н.Янг томонидан таклиф қилинган. Бу моделга кўра протон, антипротон, нейтрон, антинейтронлар фундаментал зарралар, π – мезонлар эса нуклон ва антинуклоннинг қўшилган ҳолати деб қаралади. Ғалати зарралар тажрибада кузатилганидан кейин эса Ферми - Янгнинг минимал моделини модификация қилиш зарурияти туғилди. Модификация қилинган моделлардан бири 1956 йилда С.Саката томонидан таклиф қилинган бўлиб, бу моделга кўра протон, антипротон, нейтрон, антинейтрон ва лямбда гиперонлар асосий зарралар қолган адронлар ушбу зарралардан тузилган деб қаралади. Ғалати зарралар таркибида лямбда гиперонлар иштирок этиб улар зарраларнинг ғалатилик ҳусусиятини таъминлайди. Бу таклиф этилган моделлар зарраларнинг ғалатилик ҳусусиятларини тушунтириб бера олмади.

Ўтган асрнинг 60 – йилларига келиб адронларга мансуб зарраларнинг сонини ортиб кетиши адронларнинг элементар зарра эканлигига шубҳа уйғотди. Натижада адронларни элементар зарралар эмас, балки элементар зарралардан тузилган зарралар деган қарашлар юзага кела бошлади.

1964 – йилда америкалик физиклар М.Гелл – Манн ва Ж.Цвейг томонидан мустақил равишда кварклар ғояси ўртага ташланди. Цвейг томонидан адронларни ташкил этувчи зарралар “тузлар” деб номланишига қарамасдан, Гелл – Манн таклиф этган “кварк” номи қабул қилинган. Қабул қилинган кварклар *u* (*up* - юқори), *d* (*down* - паст), *s* (*strange* - ғалати) кварклар деб номланди.

Дастлабки кварклар назарияси Саката моделига ўхшаш бўлиб, унга кўра адронлар *u, d, s* – кварклар ва уларнинг антикваркларидан ташкил топган деган назариядир.

u, d, s – кваркларнинг антикварклари учун B, T_3, Y, S, катталиклар яъни квант сонлари ва q электр зарядининг ишоралари қарама – қаршисига ўзгаришини такидлаб ўтамиз.

Ғалати зарралар симметрия ҳусусиятига эга бўлиб уларнинг таркибида ғалати кварк мавжуддир. Бу кварк ғалатилик квант сонига эга бўлиб, бу квант сони Гелл – Манн – Нишиджима муносабатини қаноатлантирадиган қилиб танлаб олинади. У ҳолда Гелл – Манн – Нишиджима муносабати ғалати кварк учун қуйидагича:

$$Q = e\left(T_3 + \frac{B+s}{2}\right) = e\left(0 + \frac{\frac{1}{3}+s}{2}\right) \text{ ифодадан}$$

$$s = 2Q - \frac{1}{3}e = 2\left(-\frac{1}{3}e\right) - \frac{1}{3}e \qquad (5)$$

(5) ифодага кўра ғалати зарра учун -1 ғалатилик квант сони тўғри келади, ғалати антикварк учун эса +1 ғалатилик квант сони тўғри келади. Зарралар табиатидаги ғалатиликни шу номли квант сони орқали тушунтириш мумкин. Бу тушунтиришга кўра

бир ўлчамли ички, яширин “ғалати” фазо мавжуд бўлиб, бу фазода ғалати зарралар -1 ва +1 ғалатилик квант сонига эга бўлади. Кучли ўзаро таъсир энг симметрик бўлганлиги учун бу ўзаро таъсирда фазоларнинг симметрик хусусиятлари ўзгармайди. Шунинг учун (1) ифодада келтирилган жараёнларда ҳосил бўлувчи ғалати зарралар ҳам қарама – қарши ишорали квант сонига эга бўлади. Жараёнда иштирок этувчи оддий зарраларнинг ғалатилик квант сони нолга тенг шу билан бирга ҳосил бўлувчи ғалати зарраларнинг умумий ғалатилиги ҳам нолга тенглигидан ғалатилик квант сонининг сақланиши юзага келади. Бу эса ўз навбатида кучли ўзаро таъсирда ғалатилик квант сони сақланиш қонуни бажарилишига олиб келади. Кучли ўзаро таъсирда ғалатилик квант сонининг сақланиши ғалати зарраларнинг тоқ бўлиб эмас жуфт – жуфт бўлиб ҳосил бўлишлигини билдиради. Шу сабабли (3) кўринишидаги жараёнлар амалга ошмайди, (4) жараён эса фақат K^0 – мезон таъсирлашгандагина кузатилмайди. (2) кўринишдаги жараёнлар ғалатилик квант сонини кучсиз ўзаро таъсирда сақланмаслигини билдиради. Демак, ғалатилик квант сони кучли ва электромагнит ўзаро таъсирларда сақланиб, кучсиз ўзаро таъсирда бузилар экан. Маълумки, 1897 йилда зарралар физикаси тарихида энг биринчи элементар зарра сифатида тан олинадиган зарра бўлган электронни кашф қилиниши, 1937 йилда Вильсон камераси ёрдамида ўтказилган тажрибада коинот нурлари таркибидаги μ^- - мезонни, 1953 – 1956 йилларда $\bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+$ (6) жараёнда антинейтринонинг кузатилиши фанда элементар зарралар тарихини бошлаб берди. 1930 йилда В.Паули томонидан нейтринонинг мавжудлиги, кейинчалик К.Коуэн ва Р.Рейнеслар томонидан ўтказилган тажрибалар натижасида нейтринонинг бошқа турлари ҳам мавжудлиги айтилди [3]. 1962 йилда Брукхэйвен (АҚШ) ва ЦЕРН (CERN. Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire – Европа Ядро Тадқиқотлар Маркази) да ўтказилган тажрибалардаги $\nu + {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + e^-$, $\nu' + {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + \mu^-$ (7) жараёнлар ёрдамида $\nu = \nu_e$, $\nu' = \nu_\mu$ эканлиги тасдиқланди ва нейтринонинг икки тури (ν_e ва ν_μ) мавжудлиги исботланди. Шу тариқа лептонларни авлод (оила) кўринишда, электрон – электрон нейтриноси биринчи авлод лептонлари ва мюон – мюон нейтринолар иккинчи авлод лептонлари деб аталиб, улар

$$\binom{e^-}{\nu_e}, \binom{\mu^-}{\mu_e} \qquad (8)$$ каби ёзиладиган бўлди.

Лептонларни батафсил тушунтириш учун 1953 йилда Э.Конопинский ва Г.Махмуд томонидан лептон заряди тушунчаси фанга киритилди. Лептон заряди квант сони бўлиб, унга кўра электрон, манфий мюон ва уларнинг нейтринолари +1 га, антилептонлар яъни лептонларнинг антизарралари учун -1 тенг деб олинди ва лептон заряди ҳар қандай жараёнда сақланиши айтиб ўтилди. Лептонлар уч авлод бўлиб, уларнинг заряди $L = L_e + L_\mu + L_\tau$ каби ёзилади ва ҳар бир авлод лептонлари учун алоҳида сақланади. τ - лептон 1975 йил CERN да $e^-e^+ \rightarrow \mu^-\mu^+$ жараён ёрдамида кузатилди.

XX асрнинг 60 – йилларининг бошида лептонларнинг икки авлоди, кваркларнинг учта тури (u, d, s) фанга маълум эди. Олимлар томонидан уларнинг (лептонлар ва кварклар) ўзаро боғлиқлиги яъни симметрияси мавжуд деган фикрга келинди. Бу фикрга асосан кваркларни ҳам худди лептонлар каби авлод (оила) кўринишда ёзишга тўғри келди: $\binom{e^-}{\nu_e}$, $\binom{\mu^-}{\nu_\mu}$ ва $\binom{u}{d}, \binom{?}{s}$. Лептонлар ва кварклар ўртасида симметрик ҳолат қарор топиши учун

GALAXY INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL (GIIRJ)
ISSN (E): 2347-6915
Vol. 10, Issue 11, Nov. (2022)

битта кваркнинг камлиги кўриниб турибди. Бу камчиликни тўлдириш мақсадида физик олимлар Ш.Глэшоу, Ж.Илиопулос, Л.Майанилар томонидан 4 – кварк фанга киритилди. Бу кварк мафтункор кварк деб номланиб, мафтункорлик квант сони (C) билан характерланадиган бўлди. Шу вақтгача фанга маълум бўлган барча кварклар (оддий ва ғалати зарралар) учун мафтункорлик квант сони 0 га мафтункор кварк учун эса 1 га тенг бўлиб, ғалатилик вант сони каби мафтункорлик квант сони ҳам кучли ва электромагнит ўзаро таъсирларда сақланади. Мафтункор кварк қатнашган адронлар массалари бошқа адронларга қараганда катта бўлишига сабаб мафтункор кваркнинг массаси бошқа кваркларнинг массасидан катталигидадир.

Мафтункор кваркни ҳисобга олганда Гелл – Манн – Нишиджима муносабати қуйидагича ёзилади.

$$Q = T_3 + \frac{B+S+C}{2} = T_3 + \frac{Y}{2} \qquad (9)$$

Таркибида мафтункор кварк бўлган биринчи зарра J/ψ – мезон 1974 йилга келиб тажрибада кузатилди. Бу мезон $c\bar{c}$ кварк таркибга эга бўлиб, J зарра Брукхейвенда $p + Be \rightarrow e^- e^+ + X$ жараёнда, ψ зарра эса СЛАК (SLAC-Standford Linear ACcellatory) да $e^- + e^- \rightarrow adronlar$ жараёнида кузатилди. J ва ψ зарраларни кузатган ҳар икки томоннинг ҳоҳишига кўра бу зарраларга J/ψ – мезон номи берилди. Кейинчалик тез фурсатларда мафтункор зарралар тажрибаларда кузатила бошланди ва уларнинг сони кўпайди.

Жадвалдан кўриниб турибдики мафтункор зарраларининг яшаш вақти ғалати зарраларникига нисбатан анча қисқа экан. Мафтункор зарралар ҳам худди ғалати зарралар каби оддий зарраларнинг кучли ўзаро таъсир остида ўзаро таъсирлашишидан жуфт – жуфт бўлиб ҳосил бўлади:

$$N + N \rightarrow D\bar{D} + X \qquad (10)$$

Бу ерда $D\bar{D}$ – мафтункор зарра ва унинг антизарраси, X – эса мафтункор бўлмаган оддий заррадир. Мафтункор зарралар тоқ ҳолда ҳам ҳосил бўлади. Уларнинг ҳосил бўлиши қуйидаги жараёнларда кузатилади:

$$e^- + e^- \rightarrow J/\psi + X \qquad (11)$$

$$\nu + N \rightarrow \Lambda_c^+ + X \qquad (12)$$

(11) жараён электромагнит ўзаро таъсир остида содир бўлиб $\Delta C = 0$ шарт бажарилади, (12) жараён эса кусчиз ўзаро таъсир остида содир бўлганлиги учун $\Delta C = 0$ шарт бажарилмайди. Шунинг учун мафтункор зарралар тоқ ҳолда ҳам ҳосил бўлаверади.

Мафтункор зарраларни тушунтиришда худди ғалати зарраларникига ўхшаш бир ўлчовли эвклид фазоси яъни мафтункорлик фазоси фанга киритилган бўлиб, бу ички яширин фазо мафтункорлик квант сони билан характерланади. Киритилган ички яшириш фазо кучли ва электромагнит ўзаро таъсирларда мафтункорлик хусусиятини ўзгартирмайди, кучсиз ўзаро таъсир натижасида мафтункорлик хусусияти ўзгаради. Ҳуддики, ғалатилик квант сони каби мафтункорлик квант сони ҳам айрим жараёнларда сақланиши ва айримларида сақланмаслиги билан асосий критерий бўлиб хизмат қилади [1].

АДАБИЁТЛАР

1. Nasriddinov K.R., Madaliyev A.M. Umumiy fizika. Elementar zarralar fizikasi asoslari. O'quv qo'llanma. – Chirchiq: Ishonchli hamkor. – 2021. 118 b.
2. Madaliyev A.M. Zarralar fizikasi amaliy mashg'ulotlarining takomillashtirilgan mazmuni // - TDPU. Ilmiy axborotlari. № 3 (19) 2019. 63 – 67 b.
3. Паули В. Физические очерки. М.: Наука, 1975.