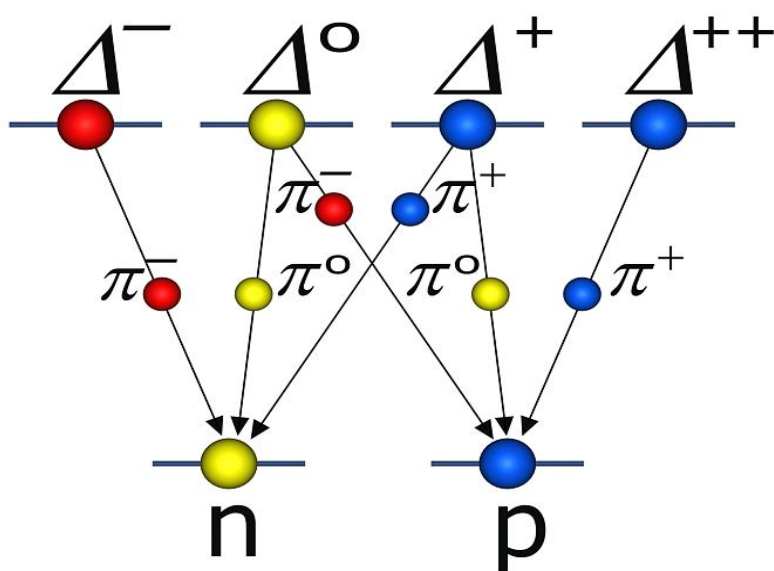


O'zbekistan Respublikasi Xalq bilimlendiriw ministrliqi
A`jiniyaz atındag'ı No`kis ma`mleketlik pedagogikalıq institutı

A. Jumamuratov, M.A. Jumamuratov

ATOM YADROSİ HA'M ELEMENTAR BO'LEKŞELER FİZİKASI



TASHKENT-2016

Oqıw qollanba avtorları:

Ajimurat Jumamuratov	A'jiniyaz atındag'ı No'kis ma'mleketlik pedagogikalıq institutının' «Fizikanı oqıtıw metodikası» kafedrasının' proffessorı, fizika-matematika ilimlerinin' kandidatı, awıl xojalıg'ı ilimlerinin' doktorı.
Mirzamurat Ajimuratovich Jumamuratov	A'jiniyaz atındag'ı No'kis ma'mleketlik pedagogikalıq institutının' «Fizikanı oqıtıw metodikası» kafedrasının' dotsenti, texnika ilimlerinin' kandidatı.

Juwapli redaktor:

A.Kamalov A'jiniyaz atındag'ı No'kis ma'mleketlik pedagogikalıq instituti «Fizikanı oqıtıw metodiykası» kafedrası baslıg'ı, fizika-matematika ilimlerinin' doktorı.

Pikir bildiriwshiler:

M.Tagayev Berdaq atı'ndag'ı Qaraqalpaq ma'mleketlik universitetinin' ilimiy isleri boyınsha prorektorı, texnika ilimlerinin' doktorı, professor.

A.Kamalov A'jiniyaz atındag'ı No'kis ma'mleketlik pedagogikalıq instituti Fizikanı oqıtıw metodiykası kafedrasının' baslıg'ı, fizika-matematika ilimlerinin' doktorı.

Redaktor: E.E. Allanazarov – filologiya ilimlerinin' kandidatı

Atom yadrosı ha'm elementar bo'leksheler fizikasınan oqıw qollanba universitetin' fizika, pedagogikalıq instituttın' fizika, astronomiya qa'niygelikleri, akademiyalıq litsey talabaları ushın qaraqalpaq tilinin' latin grafikasında birinshi jazılıp atırg'an miynet bolıp esaplanadı. Avtordın' atom yadrosı ha'm elementar bo'leksheler fizikası boyınsha qa'nige sıpatında ko'p jıllar dawamında universitet ha'm pedagogikalıq instiutta oqıg'an lektsiyalarınin' juwmag'ında jazılğ'an. Kitapta bazı bir kemshilikler bolıwı mumkin avtor o'z gezeginde pikir ha'm usınıslardı itibarga aladı, sonın' menen birge minnetdarshılıq bildiredi.

Kirisiw

Yadro fizikası ha'zirgi ku'nde rawajlanıwı boyınsha fizikanın' en' jas pa'nlerinen esaplanıp, yadronın' du'zilisi, qa'sietleri ha'm yadroda ju'z beretug'in protsesslerdi u'yrenedi.

Atom yadrosı haqqında XX a'sirge shekem hesh na'rse belgili emes edi, atom zattın' kishi bo'linbeytug'in bo'lekshesi dep esaplap kelindi.

A.Bekkerel 1896-jılı radioaktivlik qubılısın ashıp, radioaktiv nurlanıwlardın' fotoplastinkag'a ta'sir etiwın ha'm ionlanıw qa'sietlerin anıqlap berdi. Radioaktivlik qubılısı waqtında u'sh tu'rli (α , β , γ) nurlanıw payda bolıp nurlanıw intensivligi sırtqı ta'sirlerge (temperatura, elektromagnit maydan, deformatsiya) baylanıslı emesligin anıqladı.

F. Kyuri, E. Rezerford, F. Soddilar 1900-jılı radioaktiv nurlanıwdan shıg'ıwshı α -, β - elektron bo'leksheler ha'm γ - bolsa qısqa elektromagnit tolqın ekenligin anıqladı. Sonın' ushın, radioaktivlikti atom, molekulalarda bolatug'in protsessler dep tu'sindirip bolmaydı, biraq jan'a bir taraw-yadrolıq protsess ekenligi ma'lim boldı.

1896-jılı 29-aprel'de J.J.Tomson birinshi elektrondı ashtı. 1904-jılı bolsa ol o'zinin' atom modelin usındı. Bul model boyınsha atom $R=10^{-8}$ sm bolg'an on' ha'm teris zaryadlang'an neytral shar dep, atom nurlanıwın kvazielastik ku'shlerge baylanıslı terbeliw na'tiyjesi dep qaradı. Atomdag'ı on' ha'm teris zaryadlardın' bo'listiriliwi xarakterin u'yreniw maqsetinde E.Rezerford ha'm onın' jumışları α -bo'lekshelerinin' zatlarda shashırawın u'yrendi. Ol o'z ta'jiriybesi na'tiyjesinde α - bo'leksheler o'zinin' da'slepki bag'ıtın tu'rli mu'Esh astında o'zgerkenligin bayqadı. Birewleri ju'da' u'lken (derlik 180° qa) shashrag'an bolsa, basqaları ha'r qıylı muyeshlerge burılğ'an. Alıng'an na'tiyjelerge tiykarlanıp, Rezerford atom ishinde ju'da' kishi ko'lemge toplang'an ha'm u'lken massag'a ie ku'shli on' elektr maydan (yadro) bolg'anda g'ana α -bo'leksheler sonday u'lken mu'eshke shashırawı mu'mkin degen juwmaqqqa keldi ha'm 1911-jılı o'zinin' atomnın' planetar modelin usındı. Bul modelge tiykarlanıp elektronlar yadro a'tirapında jaylasqan degen juwmaqqqa keldi. Elektronlar sanı bolsa, olardın' jıyındısı teris zaryadlı bolıp yadronın' on' zaryadın neytrallap turadı. Atomnın' bunday yadrolıq modeline sa'ykes onın' derlik massası shama menen 10^{-12} sm ge ten' bolg'an atomnın' orayında toplang'an dep ko'rsetti.

E. Rezerford α -bo'lekshelerdin' shashirawın atom oraylıq yadro zaryadı Ze ni α - bo'lekshenin' zaryadı dep $Z_{\alpha}e$ g'a ten' bolg'an tochkalıq dep, ular arasındag'ı o'z-ara ta'sirlesiwshi kush Kulon nızamına boysınadı dep

$$F = \frac{Z_{\alpha}eZe}{r^2}$$

esapladı. Bunda r - zaryadlar arasındag'ı aralıq. Energiya ha'm ha'reket mug'darı momentinin' saqlanıw nızamına muwapıq shashiraw ushın to'mendegi formulanı payda etti:

$$dN(\theta) = n_0 \frac{N_0 t}{16r^2} \left(\frac{2Ze^2}{\frac{1}{2}m_{\alpha}g_{\alpha}^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Bul jerde: dN - shashiraw tochkasınan r - aralıqta $d\Omega$ - fazalıq mu'eshke tuwrı kelgen ha'm θ mu'esh astında shashirag'an α - bo'leksheler sanı; θ - α -bo'lekshelerdin' shashrawınan alding'ı ha'm keyingi bag'ıtı arasındag'ı mu'esh; N_0 - shashirawshi plenka g'a tu'sip atırg'an da'stedegi α - bo'leksheler sanı; t - shashıwshi plenka qalın'lıg'ı; n_0 - shashıwshi zattın' 1 sm^3 tag'ı yadrolar sanı; m_{α} , g_{α} - sa'ykes tu'rde bo'lekshenin' massası ha'm da'slepki tezligi joqarıdag'ı formulada

$$\frac{dN}{d\Omega} \sin^2 \frac{\theta}{2} = \text{const}$$

Ta'jriybelar usı formulanın' tuwrı ekenligin tastıyıqladı, yag'nıy α - bo'leksheler zattan o'tip atırg'anda awır zaryadlı bo'lekshelerden Kulon ku'shi ta'sirinde shashirawın, ha'm de α - bo'leksheler menen shashıwshi yadro arasındag'ı aralıq 10^{-12} sm bolg'ang'a shekem tuwrı ekenligin tastıyıqlaydı.

Angliya fizigi Rezerford usınıs etken atomnın' planetar modeli atomnın' turaqlılıg'ın spektrlerdin' diskretligin tu'sindire almaydı. Sebebi atom qabıg'ındag'ı elektronlar, yadro a'tirapında aylanıp turar eken, zaryadlı bo'lekshe elektrodinamika nızamlarına muwapıq o'z energiyaların sarıplap yamasa jog'altıp barıwı lazım edi ha'm aqırında elektron yadrog'a qulap tu'siwi kerek.

Ju'zege kelgen qarama-qarsılıqlardı joq qılıw ushın daniyalı ilimpaz N. Bor 1913-jılda o'zinin' jan'a atomda bolatug'ın protsesslerdi tusindiriwdin' kvant teoriyasın usınıs etti. Ol atomda Plank turaqlısına $h = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$ eseli bolg'an anıq ha'reket mug'darı momentine iye bolg'an statsionar elektron qabıqlardın' bar ekenligin postulat ko'rinishinde bayan etti.

$$m_e g r = n h$$

m_e - elektron massası, g - elektronning tezligi, r -orbita radiusi, n -
pu'tin san.

Ha'r bir qabıq yadrodan (Z - yadro zaryadi) anıq aralıqta ($r_n = n^2 \hbar^2 / Z m_e e^2$) jaylasqan ha'm atomning qatan' anıqlang'an energetiklıq halın xarakterleydi;

$$E_n = (Z^2 e^4 m_e / 2 \hbar^2) (1/n^2)$$

En' kishi o'lishemli K - qabıqqa energiyanın' en' kishi ma'nisi sa'ykes kelip, olardan keyingi qabıqlar – L , M ha'm basqalar esaplanadı. Bul qabıqlar boyınsha elektronlar ha'reketlengende atom turg'ın halatta boladı. Nurlanıwdın' atom ta'repinen jutılıwı yamasa shıg'arılıwı elektron bir qabıqtan ekinshi qabıqqa o'tkende ju'z beredi. Bul waqıtta nurlanıw jıyligi bir haldan – keyingi halg'a o'tiwdegi energiyanın' ayırmasına baylanıslı boladı;

$$\Delta E = h \nu$$

Daniyalı ilimpaz N. Bordın' usı tu'siniklerin esapqa alıp, qılğ'an a'piwayı esaplawları og'an teoriyalıq jol menen spektral nızamlıqlar ha'm Ridberg turaqlısın alıwg'a imkaniyat jarattı. Yadronın' ulıwma awırlıq orayı a'tirapında aylanıwı esapqa alındı. Aylanba qabıqlar olardıń tegisliktegi anıq halatın su'wretlewshi ekliptik qabıqlar menen almasırlıp, teoriya ja'ne de bayıtıldı. Bulardıń barlig'i optikalıq spektrlerdi tu'siniwge alıp keldi. A'sirese Zeyman effektin tu'sindiriwge imkaniyat jarattı. O'zinin' belgili postulatların bergen N. Bor mikroa'lemde tu'siniwge ken' kerekli qa'dem tasladı. Ol a'dettegi klassikalıq ko'z qaraslardan bas tarttı ha'm bul is atom protsesslerin durıs tu'sindiriwge alıp keldi.

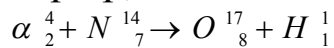
N. Bor o'z postulatları menen atom yadrosındag'ı protsesslerdi tusindiriwde kvantlıq ko'z qarasqa tiykar saldı.

Solay etip, usı waqıttan baslap klassikalıq fizika nızamlarınan kvantlıq fizikag'a o'tiw da'wiri baslandı.

Geyzenberg ha'm Shreydengerler 1927-jılı mikro du'n'ya protsesslerin kvant mexanikasını nızamlarına muwapıq tu'sindire basladı. Kvant mexanikasına muwapıq, bo'lekshelerdin' ha'reketin u'yreniwde olardıń ha'reket traektoriyasın, bir waqıtta turg'an jeri ha'm tezliklerin anıq biliw mu'mkin emes.

Usı waqıtları Geyzenbergtin' anıq emeslik printsipin, Shreydenger kvant fizikasına muwapıq tolqın funktsiyalarının' ten'lemelerin islep shıqtı. 1919-jılı Aston massa-spektrograf payda etti ha'm atom massaların anıq o'lishew imkaniyatın jarattı. Element massaları ha'r qıylı

bolg'an izotopları anıqlandı. Rezerford birinshi ma`rte al`fa bo`leksheler menen azot N^{14}_7 yadrosın atqılap,



yadro reaksiyasın a`melge asırdı. Bul ha`diyse insaniyattın` ta`biyat ku`shleri u`stinen erisilgen da`slepki jetiskenligi dep esaplandı.

Reaksiyada payda bolg'an vodorod atomının` yadrosı barlıq yadrolar du`zlisine kiriwshi elementar bo`lekshe ekenligi anıqlandı ha`m proton(p) dep at berildi. Proton birinshi degen (yadro ishine kiriwshi birinshi bo`lekshe) ma`nisin an`latadı.

Proton massası $m_p=1836,1 m_e$, zaryadı $e_p=1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl elektron zaryadına ten` biraq belgisi qarama-qarsı.

Proton ashılg`annan keyin yadronın` proton–elektron modeli jaratıldı, biraq bul model` yadro momentlerin tu`sindire almadı.

Yadronın` ishki sırların u`yreniw ushın energiyalı tezletkishler qurıla baslandı. Usı maqsette elektrostatikalıq generator Van-de-Graf ta`repien, E. Lourens ta`repien tsiklotron jaratıldı.

D. Shedvik (1891-1974) 1932-jılı zaryadsız, massası proton massasına jaqın $m_n=1838,6 m_e$ neytral` bo`lekshe neytrondı ashıp, yadrog`a tag`ı bir bo`leksheni qostı.

Neytron ashılg`annan keyin, D. D. İvanenko, Geyzenbergler bir birinen g`aressiz atom yadrosının` proton–neytron modelin usınıs etti. Sonın` ushında bul model` eki ilimpazdın` atı menen ataladı. Bul modelge muwapıq, atom yadroları proton ha`m neytronlardan du`zilgen dep qaraldı. Usı ko`z qaraslar ha`zirgi ku`nge shekemde saqlanıp kelmekte.

D. Kokroft, E. Uoltonlar jasalma tezletkishlerde tezletilgen protonlar menen birinshi yadro reaksiyasın a`melge asırdı. K. Anderson kosmoslıq nurlar quramında bar bolg'an pozitron (e^+) dı anıqladı.

Kosmoslıq nurlardı ha`m yadro nurlanıwları izertlew ushın Vil`son kamerası, fotoemul`tsiyalıq metodlar payda boldı.

Atom yadrosının` du`zlisin u`yreniw menen bir qatarda yadrolıq ku`shlerdin` qa`sietlerin anıqlawg`a itibar qaratıldı. İ.E.Tamm (1895-1961), D.D.İvanenko (1906-1981) ha`m keyin ala 1935-jıllarda yapon alımlarınan X.Yukavalar yadrolıq ku`shler, aralıq mezon bo`leksheleri ja`rdeminde a`melge asadı dep o`zlerinin` mezonlar teoriyasın payda etti.

İ. Kyuri ha`m F. Jyuli - Kyurilar 1934-jılı radioaktivlik qubılısın ashqan bolsa, E.Fermi β -ıdıraw teoriyasın birinshi bolıp payda etti.

Sonnan keyin K.Anderson, S.NedermeErlar 1936-jılı kosmoslıq nurlardın` quramında  $\mu$ -mezon bo`lekshelerinin` bar ekenligin ta`jiriybede anıqladı. Solay etip usı da`wirge kelip, ko`plegen elementar bo`leksheler ha`m bul bo`lekshelerdin` bir-birine o`tiwleri u`yrenile baslandı.

1939-1945 - jıllar awır yadrolardın` neytronlar ta`sirinde bo`liniw menen u`lken energiya ajıralıwı, yag`nıy yadroda shınjırılı reaksiya a`melge asırıldı.

Yadronın` bo`liniw reaksiyaların 1939-jılı Ya. İ. Frenkel`, N. Bor ha`m J. Uylarler tamshı modeline tiykarlanıp islep shıqtı. E. Fermi bassılıg`ında 1942-jılı 2-dekabr`de birinshi atom reaktori Amerikada iske tu`sti.

1944-1945-jıllarda V. İ. Veksler ha`m E. Mak-Millan zaryadlı bo`leksheler tezletkishlerine, yag`nıy avtofazirovka printsipin islep shıqtı. Bul, o`z na`wbetinde, tezletkishler energiyasın bir neshe ma`rte asırıwg`a imkaniyat berdi.

Dun`yada 1946-jıldan baslap ko`plep betatron, sinxrotron, sinxrofazatron, sızıqlı rezonanslı tezletkishler qurıla basladı.

Tezletkishlerdin` payda bolıwı ko`plep elementar bo`leksheler mezonlar, adronlar, giperonlar, rezonans bo`leksheleri ashılıwı ha`m olardın` qa`siEtlerin u`yreniw menen basqa da tu`rli yadro reaksiyaların iske asırıw imkaniyatın berdi. Bul da`wirge kelip ko`plep yadro modelleri jaratıldı. Awqamlas ellerdin` birliginde 1945-jıl 26-iyunında birinshi atom elektrostantsiyası(AES) iske tusirildi. Usı kun yadro energiyasınan tınıshlıq maqsette paydalanıw da`wirin baslap berdi, ha`zirgi waqıtta dun`yada ju`zlegen AES lar islep turıptı.

Yadronın` ishki energiyalarınan paydalanıwdın` ja`ne bir tu`ri jen`il yadrolardın` qosılıwınan sintez reaksiyaları, yag`nıy termoyadrolıq reaksiyası esaplanadı. Ha`zirgi waqıtta termoyadrolıq reaksiyasın basqarıw en` kerekli mashqala esaplanadı. Bul mashqala sheshilse, insaniyattın` energiyag`a bolg`an mu`ta`jlighi tolıq qandırılgh`an bolar edi.

Yadro fizikası en` tez rawajlanıp atırgh`an ilim tarawı. A`sirese keyingi jıllarda texnika tarawı ko`p bag`darlar boyınsha ilmiy izleniwler alıp barıw, sonın` menen birge barlıq topar yadrolarının` kvantlıq qa`siEtlerin anıqlaw imkaniyatın beredi.

Ha`zirgi waqıtta yadro fizikası pa`ni aldında yadrolıq ku`shler ta`biyatın, elementar bo`leksheler qa`siyetlerin ha`mde termoyadro reaksiyasın basqarıw sıyaqlı en` a`hmiyetli mashqalalar turıptı.

Bunday mashqalalardı sheshiw ushın tek bir g`ana teoriyanı jaratıwda tiykarg`ı qıyınshılıq sonnan ibarat, yadrodag`ı nuklonlar arasındag`ı o`z-ara ta`sirlesiw ku`shlerin bilmeymiz. Yadro ku`shleri ta`biyatta en` u`lken ku`sh, bul ku`shten u`lken ku`shke iye emespiz, sebebi ol qısqa aralıqta  $r \sim 10^{-13}$  sm, ta`sirlesiw waqtı $t = 10^{-23}$ s bolg`anlıg`ı menen belgili. Ekinshi ta`repten nuklonlar arasındag`ı ta`sirlesiwde bilgenimizde de ta`sirlesiw ma`nisin esaplaw ushın matematikalıq esaplaw imkaniyatına ie emespiz, sebebi yadro ko`p nuklonlı sistema. Bunı ha`zirgi zaman EEM de esaplawg`a bolmaydı.

Sonın` ushın ha`zirgi jaratılıp atırg`an teoriyalar ta`jiriybe na`tiyjelerin ulıwmalastırıwıg`a tiykarlang`an bolıp fenomenologiyalıq qa`siyetlerge iye.

Yadro fizikası pa`ni ha`zirgi zaman tezletkishleri, esapqa alıwshı detektorlar, kameralar, EEM lar, elektronlı avtomatlıq qurılmalar ja`rdeminde rawajlanıp barmaqta.

Yadro fizikası energetika, geologiya, meditsina, avtomatika, ekologiya agroximiya, geoximiya, awıl xojalıg`ı sıyaqlı ko`plep tarawlarda ken` qollanılmaqta.

Keyingi bir qansha onlag`an jıllar dawamında jan`a materiyallıq dun`ya-yag`nıy elementar bo`leksheler dun`yası payda boldı. Solardıń bir qanshası kosmoslıq nurlardıń quraminan tabıldı ha`m ko`pshiligi jasalma jol menen quwatlı elementar bo`lekshelerdi tezletkishlerden alındı. Belgili bo`lekshelerdi bir-biri menen soqlig`ıstırıw na`tiyjesinde jan`a bo`lekshelerdi payda etip, materiyanın` jan`a formasın payda etti. Materiyanın` bunday formasının` ashılıwı ha`m ha`r qıylı formadag`ı materiyanın` bir-birine aylanıwı elektromagnitlik maydanda, elektronlar ha`m pozitondardıń ja`ne materiyanın` jan`a formasının` ashılıwı ilimde belgili bir jetiskenlerdin` biri bolıp, onın` ilimiy bahasın belgilew ju`da` qıyın.

Ha`zirgi ku`nde elementar bo`lekshelerdin` ulıwma sanı 300 den asıp ketti. Olardı elementar degen atqa qarap dun`yanı quraytug`ın a`piwayı bo`leksheler dep qarawg`a bolmaydı. Kerisinshe olardıń ayrımlarının` o`zi juda` quramalı du`ziliske ie. Ma`selen, proton ha`m neytron olar atom yadrosının` qurawshıları bolıp bir qansha elementar bo`lekshelerden yag`nıy kvarklardan turadı. Bulardıń ha`r qaysısı basqada elementar bo`lekshelerden ha`m olar tuwılıw ha`m joq bolıw protsesslerinde tolıg`ı menen basqa bo`lekshelerdin` payda bolıwı yamasa joq bolıwı mu`mkinshiligine ie.

İlimde en` jetiskenliklerdin` biri materiyanın` ha`r qıylı formaların basqarıwshı o`z-ara ta`sirlewshi ku`shlerdin` anıqlanıwı bolıp esaplanadı. Sonday-aq tiykarınan bir qansha fundametallıq o`z-ara ta`sirlesiwshilerdin` bolıwın elementar bo`leksheler tastıyqlaydı: bularg`a ku`shli, elektromagnitlik, ha`lsiz ha`m gravitatsiyalıq o`z-ara ta`sirlesiwler, olar ba`rinen burın o`z-ara ta`sirlesiw intensivligi menen, ta`sirlesiw radiusı menen ha`m ishki simmetriyalıg`ı menen bir-birinen ayrıladı.

Ku`shli o`z-ara ta`sirlesiw en` intensivli ha`m simmetriyalı bolıp esaplanadı. Ol yadrolıq ku`sh bolıp, yadronı quraytug`ın proton ha`m neytronlardın` arasındag`ı ta`sirlesiw ku`shi esaplanadı. Sol ku`sh yadronı quraydı. Basqa elementar bo`leksheler elektron, pozitron, myuon, awır leptonlar, neytrino, fotonlar ku`shli o`z-ara ta`sirlesiwde sezbeıdi. Kushli ta`sirlesiwge qatnasıwshi bo`leksheler adronlar dep ataladı. Bul kushli ta`sirlesiwde adronlar tek g`ana  $10^{-13}$  sm aralıqta, al onnan u`lken aralıqta ku`shli ta`sirlesiw payda bolmaydı.

Adronlar gruppasına ko`plegen elementar bo`leksheler kiredi. Bul gruppa adronlarg`a proton, neytron ha`m de ko`plegen mezonlar, giperonlar ha`m rezonanslar kiredi.

Kushli ta`sirlesiwge leptonlar gruppası ko`plegen spini 1/2 bolg`an bo`leksheler gruppası, elektron, myuon leptonlar ha`m neytrinolar.

Elektr zaryadına keletug`ın bolsaq adron zaryadqa iye bolıwıda, bolmawıda mumkin. Kushli ta`sirlesiwge ba`ri bir. Elektr zaryadı tek ku`shli elektromagnitlik o`z-ara ta`sirlesiwdin` intensivligin xarakterleydi. Og`an barlıq zaryadlang`an bo`leksheler, foton ha`mde zaryadsız bo`leksheler kiredi. onnan basqada elektromagnitlik ta`sirlesiw magnitlik momentke iye zaryadsız bo`leksheler kiredi. Bir tan` qalarlıq jeri, elektr zaryadı barlıq elementar bo`leksheler ushin da`lilligi bir qanalıq bolg`an da`rejede birdeı.

Ha`lsiz ta`sirlesiwdin` intensivlig`i ku`shli ta`sirlesiwdin` intensivliginen 10 da`reje kishkene ha`m ha`lsiz ta`sirlesiw shegarası ku`shli ta`sirlesiw shegarasınan jeterli da`rejede az.

Barlıq elementar bo`leksheler tek g`ana fotonnan basqa, sonday-aq adronlar ha`m leptonlar ha`lsiz ta`sirlesiwge qatnasadı. Biraq ayırıqsha sha`rt orınlanıwı kerek, ha`lsiz ta`sirlesiw ku`shli ha`m elektromagnitlik ta`sirlesiwdin` fonında payda bolıwı kerek. onday jag`day turaqsız elementar bo`lekshelerdin` idirawı waqtında payda boladı. Misalg`a turaqsız neytron 13 minut ishinde ha`lsiz ta`sirlesiwdin` n`atiyjesinde protong`a, elektrong`a ha`m neytrinog`a aylanadı. Ha`lsiz o`z-ara

ta'sirlesiw yadronin' β - ıdırawının' sebepshisi bolıp esaplanadı. Ja'ne neytrionin' ha'r qıylı elementar bo'lekshelerden shashırawının' anıqlawshısı boladı.

Bir qansha ha'lsiz intensivligine iye ta'sirlesiw bul gravitatsiyalıq ta'sirlesiw. Biraqta og'an barlıq materiya tolıg'ı menen diyardlasadı. Bul N'yutonnın' putkil dun'yalıq tartılıs nızamın payda etti. Onın' ta'sirlesiwinin' shegarası joq. Gravitatsiyalıq o'z-ara ta'sirlesiw tiykarınan iri denelerdin' arasında boladı. Ol juldızlar menen planetalardin' qozg'alisin anıqlaydı. A'lemnin' duzilisi tolıg'i menen usi o'z-ara ta'sirlesiw menen uyreniledi. Elementar bo'leksheler dun'yasında gravitatsiyalıq o'z-ara ta'sirlesiw olardın' massalarınin' kishi bolg'anlıg'ınan bayqalıwı qıyın. Biraq elementar bo'leksheler dun'yasında ha'zirshe belgisiz bolg'an gravitatsiyalıq o'z-ara ta'sirlesiwdin' qanday ilimge jan'alıq qosatug'inlıg'ına isenimsiz turde qaramaw gerek.

Elementar bo'lekshelerdin' o'z-ara ta'sirlesiwlerinin' intensivligin salıstırıw ushin bir-birine h- Plank turaqlısı; c-jaqtilıq tezligi; m_p - protonnın' massası; R-qashıqlıqta jaylasqan eki protondı alayıq. Onda gravitatsiyalıq ta'sirlesiwinin' energiyası $m_p c^2$ ten', al elektromagnitlik ta'sirlesiwinin' energiyası shama menen $10 m_p c^2$ ha'm ha'lsiz ta'sirlesiwinin' energiyası $10 m_p c^2$ qa ten'.

Elementar bo'leksheler fizikasının' ayrım problemaların biliw ushın da'slep olardın' rawajlanıw tarıyxına toqtap o'tiwimiz gerek.

I- BAP. ATOM YADROSININ` QA`SIETLERI

1.1. Yadronin` du`zilisi ha`m massasi

Atom yadrosin qurawshi nuklonlar arasında protonlardin` kulonliq iytterisiw ku`shlerinen ko`p ese u`lken yadrog`a ta`n ayırıqsha ku`shler ta`sir etedi. Olar yadroliq ku`shler dep ataladı. Eksperimentlerdin` ja`rdeminde yadrolarda nuklonlardin` shashırawı, yadroliq aylanıwlar h.t.b. yadroliq ku`shler gravitatsiyalıq elektr ha`m magnitlik o`z-ara ta`sirlesiwlerden anag`urlım artıq ekenligi da`liyllengen.

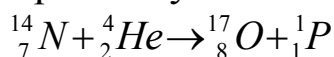
Ne ushin bir ximiyalıq elementtin` izotopları ha`r qiyli massag`a iye?

Bul sorawg`a atom yadrosı qanday bo`lekshelerden turatug`ının` ha`m ha`r qaysı yadroda olardin` sanın bilip juwap beriwge boladı.

Rezerford o`zinin` ta`jriybesinde atomnın` barlıq on` zaryadı atom yadrosında toplang`anın anıqladı.

Yadrodag`ı on` zaryadqa iye bo`lekshelerdin` sani (Olar protonlar degen atamanı aldı) Mendeleev tablitsasındag`ı elementtin` ta`rtiplik sanına ten`. Yadrodag`ı protonlar sani onin` zaryad sanin (Z) anıqlaytug`ını ko`rinedi.

1919 jılı Rezerford birinshi ma`rte yadrolardin` bir birine aylanıwın a`melge asırdı. Onın` ja`rdeminde ol eksperimente atom yadrosı quramına shınında da protonlar kiretug`ının` da`liyledi. Ol joqari energiyalı α - bo`leksheleri menen azot  ${}^{14}_7N$  yadroların bombaladı. Rezerford o`tkizgen yadroliq reaktsiyanin` sxeması mınaday;



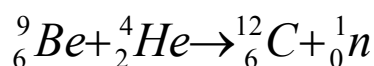
Bunda; ${}^{17}_8O$ -kislorod izotopı, 1_1P -proton. Yadroliq reaktsiyalar dep atom yadrolarının` basqa atom yadroları menen yamasa elementar bo`leksheler menen o`z-ara ta`sirleskende bolatug`ın yadroliq aylanıwlarg`a ayıladı.

Keyin proton bo`linip shıg`atug`ın yadroliq reaktsiyalardı  $\alpha$  - bo`leksheler menen Alyuminiy ha`m Ftor atomları yadroların bombalag`anda a`melge asırıldı.

Proton, zaryadı $Q = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ ha`m massası  $m_p = 1,6724 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$  bolg`an, on` zaryadlang`an elementar bo`lekshe.

1_1H - vodorod yadrosının` izotopı bir protonnan turadı (sebebi  $A=Z=1$ ). Vodorodtin` basqa izotoplarının` – deyteriy  ${}^2_1D$  ha`m tritiy 3_1T -

din` zaryadlıq sanları da birge ten`, yag`nıy bul yadronın` ha`r birinin` quramına tek g`ana bir proton kiredi. Ne ushın onda deyteriydin` massalıq sanı ekige, al tritiydin` massalıq sanı u`shke ten`? Bunı atom yadrolarının` quramına protonnan basqa neytronlar dep atalg`an zaryadlanbag`an bo`leksheler kiredi degen boljaw menen tusindiriwge boladi. Neytronlardın` massası protonlar massasına jaqın. Bunday boljaw birinshi ma`rte 1932 jılı Rezerford ta`repinen aytilg`an. Ko`p waqıt dawamında neytronlardı ashıwg`a arnalg`an baslamalar sa`tsiz boldı. En` son`ında 1932 jılı Rezerford laboratoriyasının` xizmetkeri Chedvik atom yadrolarının` quramına shınında da neytronlar kiretug`ının eksperimente da`liyllewshi yadrolıq reaktsiyanı a`melge asırdı. α -bo`leksheler menen ${}^9_6\text{Be}$ yadroların bombalap, ol



reaktsiyanı a`melge asırdı, bunda,  ${}^{12}_6\text{C}$  - uglerodtın` izotopı, 1_0n - neytron.

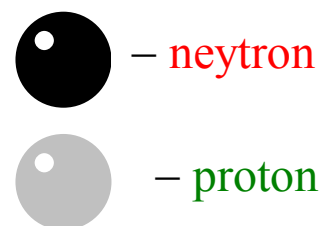
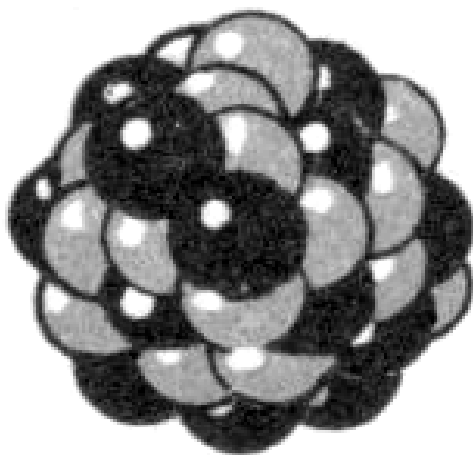
Neytron massası $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ zaryadlanbag`an neytral bo`lekshe.

1932 jılı rus fizigi İvanenko ha`m nemets fizigi Geyzenberg bir-birinen g`a`rezsiz izotoplardın` bar boliwin tusindiretug`In atom yadrosinin` proton-neytron modelin usindi. Bul modelge muwapiq atom yadrosi protonlar ha`m neytronlardan turadi (Olardi ulıw`ma bir atama – nuklong`a biriktiredi).

Joqarıda aytıp ketkendey yadrodag`ı protonlar sanı Z, yadrodag`ı neytronlar sanın N menen belgileydi(1-su`wret). Proton ha`m neytronlardın` massaları bir-birinen az parıqlang`anı sebepli, onda massalıq san A nuklonlardın` ulıwma sanın belgileydi, Ol proton ha`m neytronlar sanının` qosındısı boladı;

$$A=Z+N$$

Bunı İvanenko-Geyzenberg formulası dep ataldı.



1.1-su'wret.

Yadronin` proton – neytronliq modeline muwapıq, izotoplar – birdey sandag`ı protonlarg`a, biraqta, ha`r qıylı sandag`ı neytronlarg`a iye yadrolar esaplanadı.

İvanenko-Geyzenberg formulasına muwapıq atom yadrosındag`ı nuklonlardın` ulıwma sanı $A=Z+N$, bunda Z -protonlar sanı, N - bul yadrodag`ı neytronlardın` sanı. Birinshi ko`z-qarastan bul yadrog`a kiriwshi protonlar ha`m neytronlardın` tınıshlıq massalar qosındısı yag`nıy,  $Zm_p + Nm_n$  -bul yadronın` tınıshlıq massası M ge ten` bolatug`ınday ko`rinedi. Biraqta mass-spektrometrler ja`rdeminde atom yadroları massalarının` o`lshewleri yadronın` tınıshlıq massası ha`r dayım onın` quramına kiriwshi nuklonlardın` tınıshlıq massası qosındısınan massa defekti dep atalatug`ın bazı bir shamag`a kishi bolatug`ının ko`rsetti. Demek,

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M$$

Bo`lek nuklonlar atom yadrosına birikken waqıtta massa defektinin` payda bolıw sebebin` anıqlaw ushın yadronın` baylanıs energiyası tusinigin kiritiw za`rurligi payda boldı. Joqarıda aytılp ketkenimizdey, nuklonlar yadroda tartılıwdın` yadrolıq kushleri menen uslap turıladı. Yadrolıq tartılıw kushlerin` jen`ip, yadroni neytronlar ha`m protonlar – qurawshi bo`lekshelerge bo`liwge za`rurli sarp etiletug`ın  $\Delta E$  energiyanı atom yadrosının` baylanıs energiyası dep ataydı.

Energiyanın` saqlanıw nızamına muwapıq, egerde yadro bo`lek nuklonlardan payda bolsa, onda ol qurastırılğ`an waqıtta yadronın` baylanıs energiyası nurlanıw turinde bo`linip shig`adı. Eynshteynnin` massa ha`m energiyanı o`z-ara baylanıs nızamınan

$$E=mc^2$$

Massa ha'm energiyanın' ekvivalentligi kelip shig'adı. Yadro bo'lek nuklonlardan payda bolg'anda baylanis energiya menen birgelikte massanın' belgili mug'darı alıp ketilgendey boladı, ol massa defektinin' payda bolıwına alıp keledi. Joqarıdag'ı formuladan

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Formulası kelip shig'adı. Bunı mına formada jazıw mumkin

$$\Delta E = [((Zm_p + Nm_n) - M)]c^2$$

Bul formula atom yadrosının' baylanis energiyasın anıqlaydı.

Baylanis energiyasın usınday etip anıqlama beriw mu'mkin. «Yadronı sol yadro quramındag'ı proton ha'm neytronlarg'a ıdıratıp jiberiw ushın kerek bolg'an energiya» baylanis energiyası delinedi. Mısalı, qozg'alıwshı bir geliy atomı yadrosın 4 nuklong'a ajıratıw ushın $28,4 \cdot 10^7$ eV energiya za'rur yamasa normal jag'dayda 1 sm^3 ko'lemde bolg'an $2,7 \cdot 10^{19}$ dana geliy atomı yadrosın ıdıratıw ushın $1,2 \cdot 10^9$ Dj energiya za'ru'r.

Jen'il yadrolardı biriktiriw usılı menen de yadrolıq energiyadan paydalanıw mu'mkin. Mısalı, deyteriy ha'm tritiydin' sintezinde α -bo'lekshe ha'm neytron payda boladı. Sol reaktsiyada 17,6 MeV energiya ajıraladı, yag'niy qozg'alıwshı bir nuklong'a 3,5 MeV energiya tuwra keledi.

Yadrolar sintezi a'melge asıwı ushın olar bir-biri menen yadrolıq ku'shlerdin' ta'siri bolatug'ın aralıqqa shekem jaqınlasıwı kerek. Biraq yadrolardın' bul da'rejede jaqınlasıwına Kulon iyterisiw ku'shleri sebepli olar arasında payda bolatug'ın potentsial tosqınlıq qarsılıq ko'rsetedi.

Radioaktiv zatlar nurlanıwlarınin' biologiyalıq ta'sirinde tiri toqımalar atom ha'm molekulaların buzg'an halg'a o'tkeriw ha'm ionlastırıw jetedi.

Zaryadlı bo'leksheler, dene atomlarınin' elektronları menen ta'sirlesedi. Na'tiyjede dene atomları ionlasadı yamasa qozg'an halg'a o'tedi. Zaryadlı bo'lekshe elektron menen qozg'alıwshı bir soqlıg'ısıwda o'z energiyasının' bir bo'limin jog'altadı.

Yadronın' en' bir tiykarg'ı xarakteristikası onın' massası M. Yadro fizikasında yadronın' massası massanın' atom birliginde o'lshenedi. Massanın' bir atom birligi etip uglerod atomının' 1/12 massa bo'legi qabıl etilgen. Massanın' atom birliginin' grammg'a aylanıwı an'sat. onın' ushın Avagadro sanının' kerı shamasın alıw kerek.

$$1 \text{ m.a.b.} = 1/12 / 1/12 / N_A = 1/6,035 \cdot 10^{23} = 1,66 \cdot 10^{-23} \text{ g.}$$

Eynshteynnin` qatnasına sa`ykes ha`r bir gramm massa birligine  $mc^2$  erg energiya sa`ykes keledi. Mısalg`a 3 g massag`a $9 \cdot 10^{20}$ erg energiya tuwra keledi.

Qandayda bo`lekshenin` energiyasinin` o`zgeriwine mına massanın` o`zgeriwi $M=E/s^2$ tuwra keledi. Da`slepki tinishliqtag`ı bo`lekshenin` massası m – tinishliqtag`ı massa dep atalıp ha`m sa`ykes energiya  $M_0c^2$  boladı. Toliq energiya tinishliqtag`ı energiya menen kinetikalıq energiyanın` qosındısına ten` boladı.

$$E=M_0 s^2 + T$$

Solay etip bo`lekshenin` massası $\Delta M=T/s^2$ boladı ha`m qozg`alıstg`ı bo`lekshenin` massası minag`an ten` boladı:

$$M=M_0+T/s^2$$

Relyativistlik massa dep atalatug`ın massanın` jan`a ma`nisi tek tinishlıq massa ha`m bo`lekshenin` tezligi menen xarakterlenedi:

$$M=M_0+T/s^2=M_0\gamma=M_0/\sqrt{1-\beta^2}$$

Bunda;

$$\gamma=1/\sqrt{1-\beta^2}; \beta=v/s$$

$$E= M_0 s^2+T= M_0 s^2/\sqrt{1-\beta^2} = M_0 s^2 \gamma= Ms^2.$$

Solay etip bo`lekshenin` energiyası menen massası arasındag`ı baylanıs mına formula menen aniqlanadı:

$$E=Ms^2$$

Bunda; $E= M_0s^2$ T-toliq energiya, $M= M_0/\sqrt{1-\beta^2}$ – relyativistlik massa.

Usinnan relyativistlik kinetikalıq energiyani alamız;

$$T=E- M_0 s^2 =Ms^2 - M_0 s^2 = M_0 s^2 / \gamma-1/.$$

Bul $\beta \ll 1$ ($v \ll s$) bolg`anda klassikalıq formula menen sa`ykes keledi

$$T= M_0 s^2/2.$$

Ayirim waqitlari toliq energiyanimına formula menen jazıwg`a boladı.

$$E= \sqrt{M_0c^2 + p^2c^2}$$

Bo`lekshenin` relyativistlik impul`si`n kiritiw arqali

$$R=Ms=M_0 \beta s / \sqrt{1-\beta^2}= M_0 \beta s \gamma$$

ha`mde relyativistlik mexanikada kinetikalıq energiya menen impul`stin` arasındag`ı baylanıstı alıwg`a boladı.

$$T(2 M_0 s^2 +T)=R^2s^2$$

Bul formula a`piwayi kinetikalıq energiyag`a aylanadı ;

$$T= mv^2/2$$

Yadronın tiykargı halı energiyanın minimal jag`dayı ha`m tınıshlıqtagı massag`a sa`ykes keledi. Yadronın qozg`an halı menen tınıshlıqtagı halı arasındagı ayırma yadronın qozg`an halı dep ataladı.

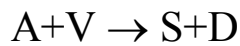
$$W=E'_1-E_0.$$

Yadronın qozg`an halındagı tınıshlıqtagı massası onın tiykargı halındagı tınıshlıqtagı massasınan u`lken boladı, mına shamag`a;

$$\Delta M=W/C^2.$$

Tınıshlıqtagı yadronın energiyası yadronın pu`tin halındagı qozg`alıwına baylanıslı emes.

Yadrolardıń o`z-ara ta`sirlesiw protsessinde tolıq energiya o`z-ara ta`sirlesiwshi bo`lekshelerde saqlanadı. Mısalg`a A ha`m V bo`lekshelerdin o`z-ara ta`sirlesiwinde S ha`m D bo`leksheler payda boladı;



ha`m to`mendegi energetikalıq baylans saqlanıw kerek;

$$M_A s^2 + M_V s^2 + T_A + T_V = M_S s^2 + M_D s^2 + T_S + T_D$$

$$E = E_{01} + T_1 = E_{02} + T_2 = \text{const}$$

Bunda;

$$E_{01} = (M_A + M_V) s^2$$

ha`m

$$T_1 = T_A + T_V$$

tınıshlıqtagı energiya ha`m reaktsiyag`a kiriwshi bo`lekshelerdin kinetikalıq energiyası. Al;

$$E_{02} = (M_S + M_D) s^2$$

ha`m

$$T_2 = T_S + T_D$$

ler payda bolg`an bo`lekshelerdin sa`ykes energiyalı.

Payda bolg`an reaktsiyanın energiyanın shaması formuladan yadrolıq reaktsiya waqtında tınıshlıqtagı energiyanın bir bo`legi kinetikalıq energiyanın esabınan artadı /Q>0/, ekinshi jag`dayda kinetikalıq energiya tınıshlıqtagı energiya g`a aylanadı /Q<0/.

Eki jag`dayda da reaktsiyag`a qatnasiwshi bo`lekshelerdin massaları o`zgeredi. Sonın ushın energetikalıq balanstı durıs anıqlaw ushın massanın atom birligindegi energetikalıq ma`nisin biliw kerek;

$$1 \text{ a. b. m.} \Rightarrow 1,66 \cdot 10^{-23} \cdot 9 \cdot 10^{20} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ erg}$$

Yadro fizikasında qalay energetikalıq o`lshem birlik elektronvoltta esaplanadı.

$$1 \text{ eV} = 3,8 \cdot 10^{-10} / 300 = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ erg.}$$

En` u`lken energiyanin` o`lshem birligi megaelektronvolt /MeV/ ha`m gegaelektronvoltlar /GeV/.

$$1\text{MeV} = 10^7\text{ev} = 1,6 \cdot 10^{-7}\text{erg}.$$

$$1\text{GeV} = 10^3\text{MeV} = 10^9\text{eV} = 1,7 \cdot 10^{-3}\text{erg}.$$

En` keyingi o`lshem birlik BeV dep belgilenedi, biraq; $1\text{BeV} = 1\text{GeV} = 10^9\text{eV}$ qa ten`. Soni aytiw kerek massanin` atom birligi 931,5 MeV qa sa`ykes keledi, al bir elektronnin` massası 0,511 MeV qa ten`. Energiyalar megaelektronvol`tlarda o`lshense bo`lekshenin` impul'si  $\text{MeV}/c^2$ ta o`lshenedi.

1.2. Yadroliq ku'shler

Yadroliq ku'shlerdin` tiykarg`ı qa`siyetlerin atap keteyik:

- 1) yadroliq ku'shler tartisiw ku'shleri boladi;
- 2) yadroliq kushleri qisqa ta`sir etiwshi boladi – Olardın` ta`siri shama menen  $10^{-15}$  m qashikliqlarda bilinedi. Nuklonlar arasindag`ı qashikliq artqanda yadroliq ku'shler 0 ge shekem tez kemeedi. Al olardin` ta`sir etiw radiusinan ko`p kishi qashikliqlarda elektr ku'shlerinen bir neshe ese u`lken boladi (tap sol qashikliqta ta`sir etiwshi protonlar ku'shlerinen);
- 3) yadroliq ku'shlerge zaryadliq ku'shler ta`n-eki protonlar yamasa eki neytronlar, yamasa proton ha`m neytron arasindag`i ta`sir etiwshi yadroliq ku'shler shama jag`inan birdey. Bunnan yadroliq ku'shler elektr ta`biyatqa ie emes ekenligi kelip shig`adi;
- 4) yadroliq kushlerge toyiniw qa`siyeti ta`n, yag`niy yadrodag`i ha`r bir nuklon og`an en` jaqin nuklonlardin` sheklengen sani menen o`z-ara ta`sirlesedi;
- 5) yadroliq kushler o`z-ara ta`sirlesiwshi nuklonlardin` spinlerinin` o`z-ara orientatsiyalarinan g`a`rezli. Ma`selen, proton ha`m neytron tek olardin` spinleri parallel orientatsiyalang`an sha`rtinde deytrondi (${}^2_1\text{H}$ - izotoptin` yadrosi) payda etedi;
- 6) yadroliq ku'shler orayliq emes, yag`niy olar o`z-ara ta`sirlesiw nuklonlardi oraylarin tutastiriwshi siziq boyinsha ta`sir etpeydi.

Yadroni payda etiwshi bo`leksheler neytron ha`m protonlar arasindag`i o`z-ara ta`sirlesiw yadroliq ku'shler dep atalawshi ku'shler arqali payda boladı. Bul ku'shler bo`lekshelerdin` zaryadina baylanisli bolmaydi.

Yadro ku'shlerinin` ta`biyati haqqinda anig`iraq mag`liwmatti eki nuklonnan ibarat sistemani u`yreniw yag`iniy a`piwayi nuklonnin`

nuklonnan shashirawin ha'm neytron ha'm protonnan ibarat sistema bolg'an deytronnin` qa'sietlerin uyreniw joli menen biliw mu'mkin.

Neytron-protonnin` baylanisqan hali-deytronnin` payda boliwin, yadroliq ku'shlerdin` o`z-ara tartisiw qa'sietine ie ekenligin ko`rsetedi. Deytronnin` baylanis energiyasinin` kishiligi (2,23 MeV) ha'm Geliy yadrosinin` baylanis energiyasinin` u'lkenligi (28 MeV), yadroliq ku'shlerdin` ta'sir etiw radiusi $2 \cdot 10^{-13}$ sm, a'tirapinda ekenligin ko`rsetedi.

Egerde yadro potentsialinin` ken`ligi $2 \cdot 10^{-13}$ sm bolg'an bo`liminde deytron ushin potentsial yamanin` effektiv teren`ligi 30 MeV boladi. Salistiriw ushin eki proton ortasindag`i kulonliq ta'sirlesiw potentsiyali $2 \cdot 10^{-13}$ sm aralıqta 0,7 MeV ekenligi keltiriw jeterli bolip esaplanadi. Nerealativstlik jag`dayda yadroliq kushler ta'sirlesip atirg'an bo`lekshlerdin` tezligine baylanisli bolmag'an potentsiallar arqali ko`rsetiw mu'mkin. Bul potentsial tek bo`leksheler arasindag`i aralıqqa baylanisli bolmay, al olardin` spinlerinin` bag`itlarina baylanisli boladi.

Deytronnin` elektrlik kvadropolliq momentinin` bar boliwi, yadroliq ku'shlerdin` oraylasqan Emesligin ko`rsetedi. Ha'mme bo`leksheler o`z-ara shashiraw protsessinde polyuslaniwi Olar arasindag`i ta'sirlesiwde spin-orbitalliq ta'sirlesiwdin` bir qansha ku'shli rol` oynaytug`inlig`in ko`rsetedi. Turaqli yadrolardin` boliwi yadroliq ku'shlerdin` tartisiwshi xarakterge iye ekenligin ko`rsetedi. U'lken energiyali nuklonlardin` bir birinen shashirawi kishi aralıqta, yag`niy  $0,4 \cdot 10^{-13}$  sm aralıqta, olar arasindag`i iytirisiwshi kushlerdin` payda boliwin ko`rsetedi.

Simmetriyali yadrolardin` qa'sietlerinen eki protonnin` o`z-ara ta'sirlesiw eki neytronnnin` o`z-ara ta'sirlesiw menen birdey ekenligi kelip shıg`adi. Yadroliq kushlerdin` bul qa'sieti, yadro kushlerinin` zaryadqa baylanisli emeslik qa'sieti, yadro kushlerinin` izotopliq invariantlılig`i dep ataladi. İzotop invariantlıq degenimiz, eki jup nuklonlar ortasindag`i o`z-ara ta'sirlesiw ha'mme waqıtta birdey boladi, degendi an`latadi. 1935-jili yapon ilimpazi Yukawa yadro ku'shlerinin` maydan teoriyasın using`an nuklonlar arasindag`i yadro kushlerdi tasiwshi aralıq bo`leksheler yag`niy mezonlar bolatug`inlig`in aldin ala aytıp bergen keyinnen bul bo`leksheler eksperimentte tab`iladi, ha'm olardi **mezonlar** dep atadi.

Proton ha'm neytronnan ibarat en` a`piwayı turaqlı yadro, bul, Deytron bolip esaplanadi. Bul yadronin` baylanis energiyasi ,

$$E_{\text{bay}} = 2,226 \pm 0,003 \text{ MeV}$$

Deytronnin` basqa xarakterlewshi shamalari onin` spini, magnitlik momenti, elektrlik kvadropol` momenti bolip esaplanadi.

Molekulyar deyteriydin` spektrinin` intensivligin u'yreniw arqali tabilg'an spinnin` ma'nisi 1 ge ten`.

Deytronnin` magnit momenti bolsa proton ha'm neytronnin` magnit momentlerinin` qosindisi'na ten`; $\mu_\alpha=0,8574$.

Deytronnin` elektr kvadropol momenti  $Q=2,82 \cdot 10^{-27} \text{sm}^2$  qa ten`. Deytronnin` magnit momentinin` additivligi yag'niy onin` protonnin` ha'm neytronnin` magnit momentlerinin` qosindisina ten'ligi, elektr kvadropol momentinin` kishiligi, onin` tiykarg'i awhalinin` formasi, yadronin` sferaliq simmetriyali ekenliginen derek beredi.

Atom yadrosin qurawshi nuklonlar arasinda protonlardin` kulonliq iyterisiw ku'shlerinen ko'p ese u'lken yadrog'a ta'n ayriqsha ku'shler ta'sir Etedi. Olar yadroliq ku'shler dep ataladi.

Ta'jiriybelerdin` juwmaqlarinin` ja'rdeminde (yadrolarda nuklonlardin` shashirawi, yadroliq aylaniwlar h.t.b) yadroliq ku'shler gravitatsiyaliq elektrlik ha'm magnitlik o'z-ara ta'sirlesiwlerden anag'urlim artiq ekenligi da'liyllengen.

Yadro o'z-ara ta'sir ku'shinin` qa'siyetlerin u'yreniw soni ko'rsetti, nuklonlardin` o'z-ara yadroliq ta'sirine baylanisli emes eken, yag'niy proton menen proton, proton menen neytron ha'm neytron menen neytron arasindag'i yadroliq o'z-ara ta'sir birdey boladi. Bunnan basqa neytron ha'm protonlar massalari bir-birine jaqin, spinleri ten`, birdey statistikag'a boysinadi, nuklonlar yadro ishinde bir-birine o'tip turadi. Aynali yadrolardin` spini, jupliqlari, oyaniw energiyalari derlik birdey boladi.

Joqarida aytilg'anlardan proton ha'm neytronlardin` uqsas bo'leksheler ekenligi kelip shig'adi. Sonin` ushin da olar nuklon degen uliwma at penen ataladi.

Nuklonlardin` zaryadqa baylanisli emesligi ja'ne qosimsha erkinlik da'rejesine ie ekenligin ko'rsetedi. Yag'niy yadro ku'shler maydaninda derlik birdey bo'lekshe (nuklon) boliwi mu'mkin, zaryadli (proton) yamasa zaryadsiz (neytron) ko'rinisinde. Eger yadro ta'sirlesiwinde elektromagnit ta'sirlesiwdi esapqa almasaq protondi neytronnan ayirip bolmaydi. Ol jag'dayda eki zaryad halindag'i dublet dep qaraw mu'mkin.

Nuklonlardin` zaryadliq halin xarakterlew ushin Geyzenberg ta'repinen izotopliq spin kvant sani kiritildi. İzotopliq spin T qandayda

bir izotopliq fazada dep qaraladi. Bul kvant sani da orbital` ha`m kvant sanlari siyaqli $N=2T+1$ ma`niske ie boladi.

İzotopliq fazada bo`lekshe ha`mme waqit koordinata basinda, bo`lekshege aylaniwi mumkin, biraq ozip ha`reket etpeydi. Bo`lekshe impul`s ha`m orbital` momentke ie emes, spinge uqsas ha`reket mug`dari momentine iye. Bul momentke (hesh qanday a`piwayi momentke qatnasi joq) izotopliq spin delinedi.

İzotopliq spin kvantlasiwi, spin kvantlasiwi siyaqli izotopliq spin T pu`tin ha`m yarim pu`tin ma`nislerdi qabil etiwı mumkin $T=0, 1/2, 3/2, \dots$. İzotopliq fazadag`i  $T+1$  proektsiyag`a ie boladi. Bul tap birdey bo`leksheler ha`r qiyli zaryad hallari sanin xarakterleydi. İzotopliq spinnin` qa`legen ξ - ko`sherge proektsiyasi ha`r qiyli zaryadli bo`lekshelerge sa`ykes keledi. İzotopliq spin $T=0$ bolsa, bir zaryadliq hal-singlet, $T=1/2$ bolsa $N=2*1/2+1=2$ – dublet, $T=1$ bolsa 3 zaryad hali – triplet hallar boladi.

İzotopliq spin ushin $T=1/2$, $N=2T+1=2$ eki zaryad halda boliwi mu`mkin.  $T$  nin` ξ - ko`sherge proektsiyalari  $T_\xi=+1/2$  protong`a sa`ykes keledi,  $T_\xi=-1/2$  bolsa neytrong`a sa`ykes keledi.

π - mezonlar ushin izotopliq spin $T=1$ demek, $N=2*1+1=3$ tap sonday π - mezonlardan ushewi boliwi kerek. Proektsiyalari $T_\xi=1(\pi^+)$, $T_\xi=0(\pi^0)$, $T_\xi=-1(\pi^-)$ zaryad hallarina sa`ykes keledi.

Yadroliq o`z-ara ta`sirlesiw xakteri nuklon turine, yag`nıy izotropliqlik spin vektorinin` proektsiyasina baylanisli bolmag`ani ushin ol tek  $T$  vektorinin` shaması menen aniqlanadi. Demek, yadroliq o`z-ara ta`sirlesiw izotropliqlik ken`isliktegi turli bag`ıtlarg`a salistirg`anda invariant ekenligi ko`rinedi. Yadroliq ku`shtin` bunday qa`sieti onin` izotopliqlik invariantliqlik qa`sieti dep ataladi. İzotopliqlik invariantliqliktan yadro ta`sirlesiwı na`tiyjesinde juz beretug`ın barliq protsesslerde izotopliqlik spinnin` saqlaniw nızamı kelip shıg`adi.

Yadronin` izotopliqlik spini to`mendegishe aniqlanadi;

$$T_\xi = \sum_{i=1}^A T_{\xi i},$$

İzotopliqlik spin proektsiyasi bolsa,

$$T_\xi = \sum_{i=1}^A (T_{\xi})_i = \frac{1}{2}(Z - N) = \left| \frac{2Z - A}{2} \right|$$

Misali, ${}^3_2\text{He}_1$ yadro izotopliqlik spini;

$$T = \frac{4-3}{2} = \frac{1}{2}$$

vektor proektsiyalari sani;

$$2T+1=2*1/2+1=2.$$

Demek, ${}^3\text{He}$ din` qa`sietlerine uqsas ja`ne bir yadro boliwi kerek.

Bul 3H_2 - tritiy bolip Esaplanadi. onin` ushin izotopliq spin  $T=1/2$ , proektsiyasi  $T_\xi({}_1^3\text{He}_2) = \frac{2-3}{2} = -\frac{1}{2}$  na ten`.

Nuklonlardin` o`z-ara ta`sirlesiw na`tiyjesinde erisilgen bazi bir shamalar ma`nislerinin` izotopliq spinge baylanisli ta`replerin ko`rip shig`iwg`a boladi.

1.1-keste.

Ta`sirlesiw turi	z	T_ξ	T	R	$V_o^{\min}$	ΔW (MeV)	a_o (Fermi)	Baylanis qan hali
n-n	0	$-1/2-1/2=-1$	1	$3,2\pm 1,6$	$<U_0$	-0,15	$-17,6\pm 1,5$	Joq
p-p	+2	$+1/2=1$	1	$2,83\pm 0,03$	$<U_0$	-0,15	-17 ± 2	Joq
n-p	+1	$-1/2+1/2=0$	1	$2,76\pm 0,07$	$<U_0$	-0,07	$-23,7\pm 0,01$	Joq
n-p	+1	$-1/2+1/2=0$	0	1,75	$>U_0$	2,26	$+5,43$	Bar

1.1-kestede ko`rinip turg`aninday, nuklonlar ta`sirlesiwinde izotopliq spin ma`nislerinde birdey na`tiyjege erisilmekte. Bul da, o`z na`wbetinde nuklonlar arasindag`i ta`sirlesiw izotopliq spin vektori T, absolyut ma`nisine baylanisli bolip, onin` proektsiyasina baylanisli emesligin ko`rsetedi. İzotopliq spinnin` kishi ma`nisine ulken baylanis energiyasi tuwri keledi. Bug`an ko`plep aynali yadrolar misal boladi.

Izotopliq spin proektsiyasi nuklonlar sani (barion sani-B) ha`m elektr zaryadi menen to`mendegishe baylanisqan;

$$Z = T_\xi + \frac{B}{2} \quad (1.1)$$

Elektromagnitlik ta`sirlesiwde zaryad ha`m nuklonlar sani saqlanadi. Sog`an muwapiq (1.1) den izotopliq spin proektsiyasi da saqlanawi kerek.

Izotopliq spin kushli ta`sirlesiwde g`ana saqlanadi, proektsiyasi bolsa kushli ha`m elektromagnit ta`sirlesiwde saqlanadi.

Solay etip, izotopliq spin kushli ta`sirge baylanisli ju`z beretug`in nuklonlar,  $\pi$  ha`m K-mezonlar, giperonlar ha`m antibo`leksheler menen bolg`an protsesslerde a`lbette saqlanadi.

1.3. Paulidin` uliwmalasqan printsipi.

Joqarida nuklonlardın` o`z-ara ta`sirlesiwı ha`m basqa ta`jriybe na`tiyjeleri tiykarında proton ha`m neytron yadro kushler maydanında birdey bo`leksheler ekenligi, nuklonlar fermion bo`leksheler bolg`ani ushin Pauli printsipine boysiniwi kerek. Uliwma nuklonlar a`piwayi ken`islikte jiljiwlarg`a tuwri keletug`i`n uzliksiz X, Y, Z-koordinatalar boyınsha ha`m bir spin halı ha`mde zaryadlı halına sa`ykes keliwshi bes Erkinlik da`rejesine iye. Pauli printsipine sa`ykes eki birdey bo`leksheler tolqın funktsiyaları bo`leksheler almasıwına antisimmetryalı bolıwı kerek. Bul bolsa koordinata, spin ha`m izotoplıq spin proektsiyalar tolqın funktsiyaların` simmetryalı yamasa antisimmetryalıg`ına baylanisli.

Koordinatalar tolqın funktsiyası simmetryalı yamasa antisimmetryalıg`ı orbital kvant sani I -ge baylanisli, I -jup bolsa (m: s; d-hallarda I=0,2...) simmetryalı, I din` taq ma`nislerinde (m: p; f-hallarda I =1,3...) antisimmetryalı. Spinler proektsiyası tolqın funktsiyaları spinleri qosındısı nol` bolsa, antisimmetryalı, eger birge ten` bolsa simmetryalı boladı. Haqıyqattanda Pauli printsipi boyınsha bir energetikalıq halda eki birdey bo`lekshe spinleri parallel halda bola almaydı. Spinler qosındısı nol bolsa, ol jag`dayda spinler bag`iti qarama-qarsi boladı ha`m bunday hal ruxsat etiledi.

Nuklonlar ta`sirlesiwinde izotoplıq spin ma`nisleri to`mendegi kestedede keltirilgen:

Bul jerde 1,2-sanlar menen nuklonlar belgilengen strelka bag`iti izospin bag`iti, 3-qatarlarda simmetryalı triplet hallar, 4-qatarda antisimmetryalı singlet hal(1.2-keste). Nuklonlar ta`sirlesiwleri singlet-halda o`tip atırg`an bolsin: Ol halda tolqın funktsiyaları antisimmetryalı boladı.

1) p-p-ta`sirlesiwde  $T=1$ ,  $I=0$ ,  $S=0$ . İzotoplıq spin tolqın funktsiyası simmetryalı sebebi  $T=1$  ge ten`, $I=0$ bolg`ani ushin koordinata funktsiyası da simmetryalı, spin funktsiyası  $S=0$  bolg`ani ushin antisimmetryalı, eki birdey proton S-halda, spinleri parallel halda bola almaydı, A`lbette antiparallel bolıwı kerek. Demek,

$\psi_1 \rightarrow \psi_1(I=0)$, $\psi_s \rightarrow -\psi_s(s=0)$, $\psi_\tau \rightarrow \psi_\tau(T=1)$, $(-1)^{1+S+T}=(-1)^{0+0+1}=-1$. n-n-ta`sirlesiwde de p-p-ta`sirlesiwdey boladı.

Eki nuklon sistemasi	T_ξ	T	İzotopliq spin hallari
n-n	+1	1	$1(\uparrow) 2(\uparrow)$
p-p	-1	1	$1(\downarrow) 2(\downarrow)$
n-p	0	1	$1/\sqrt{2}[1(\uparrow) 2(\downarrow) + 1(\downarrow) 2(\uparrow)]$
n-p	0	0	$1/\sqrt{2}[1(\uparrow) 2(\downarrow) - 1(\downarrow) 2(\downarrow)]$

2) Tap sonday n-p ta'sirlesiwde ($T=1$, $1=0$, $S=0$) izotopliq spin funktsiyasi simmetriyali sebebi n, p lar ushin $T=1/2$ orin almastiriw menen T-o'zgermeydi, spinleri antiparallel' halda, sonin' ushin spin tolqin funktsiyasi antisimmetriyali boladi. Solay etip, $\psi_1 \rightarrow \psi_1$ ($1=0$) – simmetriyali, $\psi_s \rightarrow -\psi_s$ ($s=0$) –antisimmetriyali, $\psi_\tau \rightarrow \psi_\tau$ ($T=1$) simmetriyali boladi.

$$(-1)^{1+s+T}=(-1)^{0+0+1}=-1.$$

3) n-p – ta'sirlesiw spinleri birdey bag'itlang'an $T=0$; $I=0$; $S=1$, Ol halda $(-1)^{1+s+T}=(-1)^{0+1+0}=-1$.

Joqaridag'i'lardan ko'rinip turg'aninday, S-halda (izotopliq spin kvant sanin esapqa alg'anda) qa'legen eki nuklon ta'sirlesiw tolqin funktsiyalari antisimmetriyali bolsa, Pauli printsipin qanaatlandiradi.

Bul qag'iydani tek g'ana S-hal ushin g'ana emes, ba'lki qa'legen hallar ushin da qollanw mu'mkin. M: p-hal ($1=1$) bolsa, koordinatalar tolqin funktsiyasi antisimmetriyali, eger $T=0$ (izotopliq spin funktsiyasi antisimmetriyali) bolsa, spin funktsiyasi $S=0$ (simmetriyali) boliwi, $T=1$ bolsa, spin funktsiyasi $S=1$ boliwi kerek, yag'niy:

$$(-1)^{1+s+T}=(-1)^{1+s+0}=-1 \quad S=0$$

$$(-1)^{1+s+T}=(-1)^{1+s+1}=-1 \quad S=1$$

Solay etip, nuklonlar ta'sirlesiw koordinata, spin ha'm izotopliq spin kvant sanlari orqali ko'rsetip, Paulidin' uliwmalasqan printsipine boysinatug'inlig'in ko'rsetiw mu'mkin.

II BAP.

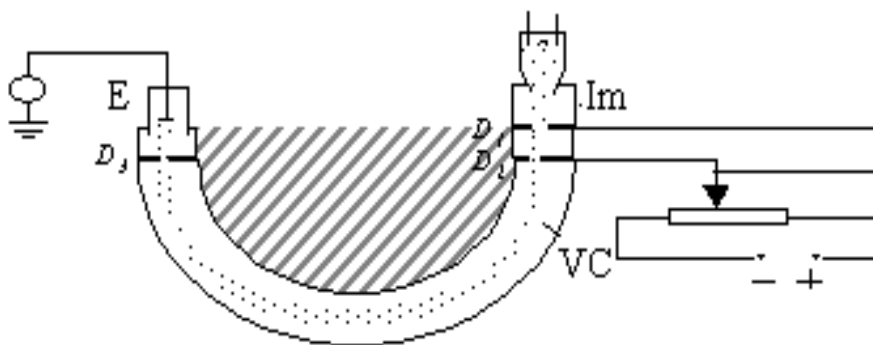
ATOM YADROSININ` MASSASIN O`LSHEW USILLARI.

Atom yadrosinin` massasin aniq o`lshew ushin a`melde to`mendegi usillar qollanilmaqta: 1) massaliq spektrometriya, 2) yadroliq reaksiyalardin` energetikaliq analizi, 3) al`fa idiraw balansi, 4) beta idiraw balansi, 5. qisqa tolqinli radiospektroskopiya. Biz bul usillarg`a qisqasha toqtap o`temiz.

2.1 Massaliq spektrometriya usili.

Yadronin` massasi atom massasidan onin` qabig`indag`i elektronlardin` massasin alip taslag`ang`a ten`. Atomnin` massalarin aniqlaw ushin massaliq spektrometrler qollaniladi. Massaliq spektrometrdin` islew printsipi 1907 jili Tomson ta`repinen usinilg`an bolip, Z_e/m ge ten` bolg`an zaryadlang`an bo`lekshelerdin` magnitlik maydanda fokuslaniwina tiykarlang`an. Atom neytral sistema bolip oni aldin ala ionizatsiyalap elektrlik ha`m magnitlik maydanda qozg`altiradi. En` birinshi bolip 1919 j. Aston ha`m Dempsterler ta`repinen joqari ayriqshaliq qa`sietine ie massaliq spektrometrler jaratildi. Astonnin` spektrometrinde ionliq derekten ha`r qiyli tezlikke ie ionlar shig`arilip ionlardin` tezligi boyinsha fokuslaw printsipinde isletildi. Dempsterdin` massa spektrometrinde ionlardin` massasi birdey tezlikke iye boldi, derekten u`lken nurlardin` ag`imi bag`iti boyinsha fokuslanip shig`arildi.

Dempsterdin` massa spektrometri mina suwrette ko`rsetilgen (2.1–su`wret).



2.1-su`wret.

Ionlar ionliq derekte elektronlar ag`imi menen izertlenetug`ın zatti atqilaw na`tiyjesinde payda etilip, onı  $T=eV$  energiyag`a shekem tezlettirilip D_1 ha`m  $D_2$  shelleri arqalı vakkumnan u`lken ag`ımlı

bo'leksheler nurlari shig'arildi. Ionlardin' qozg'alıs tezligi to'mendegi qatnas penen aniqlanadi;

$$eV = m\vartheta^2/2.$$

Kamerada qozg'aliwshi ionlarga perpendikulyar magnitlik maydan ta'sir ko'rsetedi. Onin' ta'sirinde iymeklik boylap qozg'ala baslaydi.

Onin' radiusi r di oraydan qashiwshi ha'm Lorents ku'shlerin ten'ep tabiwg'a boladi:

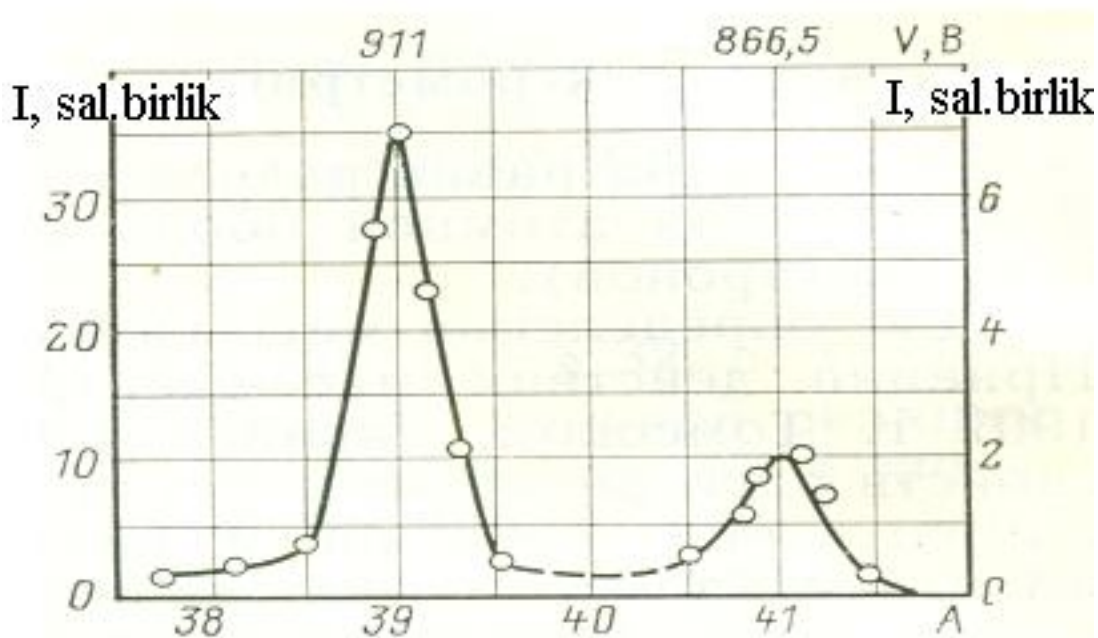
$$e\vartheta H/c = m\vartheta^2/r.$$

Joqaridag'i formulalardi uliwmalastirip tezlikti V, m, H, r aralarindag'i baylanisti jaziwg'a boladi;

$$M = r^2 H^2 e / 2 V c^2.$$

Bul ten'lemeden berilgen kernewlilikten, belgili radiustan, ionnin' massasi m , nen tek g'ana tezletiwshi potentsialdi tabiwg'a boladi. Potentsialdi a'ste o'zgerte otirip jiynawshi elektrodda toqtin' artiwina erisiwge boladi.

Aling'an toq penen tezletiwshi potentsial arasindag'i baylanisti 2.2-su'wrette ko'riwge boladi. Dampsterdin' massaliq spektrometri joqari ayiriwshiliqqa iE bolip su'wrettegi eki pik 41 ha'm 39 massaliq sanlarga sa'ykes keledi. 2.1-kestede aling'an jen'il yadrolardin' massalari ko'rsetilgen.



2.2-su'wret

Izotop	A	Atom massasi a.m.b.	A	Izotop	Atom massasi a.m.b.
^1_1H	1	$1,00782522 \pm 4 \cdot 10^{-7}$	7	^7_3Be	$7,0169299 \pm 8 \cdot 10^{-7}$
^2_1H	2	$2,01410222 \pm 7 \cdot 10^{-8}$	9	^9_4Be	$9,0121828 \pm 6 \cdot 10^{-7}$
^3_1H	3	$3,01604972 \pm 16 \cdot 10^{-8}$	11	$^{11}_5\text{B}$	$11,00930533 \pm 3 \cdot 10^{-7}$
^3_2He	3	$3,01602970 \pm 16 \cdot 10^{-7}$	12	$^{12}_6\text{C}$	12.00000000
^4_2He	4	$4,00260326 \pm 3 \cdot 10^{-8}$	14	$^{14}_7\text{N}$	$14,00307440 \pm 13 \cdot 10^{-8}$
^7_3Li		$7,0160048 \pm 8 \cdot 10^{-7}$	16	$^{16}_8\text{O}$	$15,99491502 \pm 2 \cdot 10^{-7}$

2.2 Yadroliq reaksiyalardin` energetikaliq balansi.

Mina ten`lemeden,

$$M_A c^2 + M_B c^2 + T_A + T_B = M_C c^2 + M_D c^2 + T_C + T_D$$

A, B ha`m C bo`lekshelerdin` massalarinin` ha`m kinetikaliq energiyasinin` shamalari belgili bolsa, onda D bo`lekshenin` tinishliqtag`i energiyasi minag`an ten` boladi;

$M_D c^2 = (M_A + M_B - M_C) c^2 + T_A + T_B - T_C - T_D = (M_A + M_B - M_C) c^2 - Q$
ha`m onin` massasi;

$$M_D = M_A + M_B - M_C - \Delta M$$

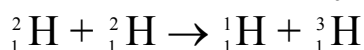
Bunda;

$$\Delta M = 1/931,48.$$

Q din` shamasin aniqlaw  $T_A$  ha`m T_C lardi aniqlaw menen yag`niy o`lshew menen, T_B ni impul`stin` saqlaniw nizami boyinsha esapqa almasada boladi. Energiyani aniqlaw magnitlik analizatoridin` ja`rdeminde $\Delta Q < 10$ keV da`llikte a`melge asiriladi. Juwmag`inda massa to`mendegi da`llikte aniqlanadi;

$$\delta M = \Delta Q / 931,48 \approx 10^{-5} \text{ a.b.m.}$$

Egerde Q ko`plegen o`lshewlerdin` ortashasi bolsa, massa u`lken da`llikte aniqlanadi. Misal ushin mina reaksiyani qarastiramiz;



Onin` ushin ortasha reaksiyanin` energiyasinin` ma`nisi;

$$Q = 4,0329 \pm 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Mev boladi.}$$

Bul jag`dayda massanin` ma`nisi;

$$\Delta M \pm \delta M = (Q \pm \Delta Q) / 931,48 = 4,331 \cdot 10^{-3} \pm 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ a.b.m.}$$

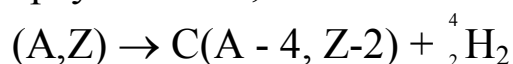
Solay etip ^1_1H ha'm ^2_1H yadrolardi massalari 10^{-7} a.b.m. da'lliginde belgili bolsa, onda ^3_1H yadrosinin massasin reaksiya formulasi menen aniqlawg'a boladi.

Juwmag'inda soni aytiw kerek yadronin massasin yadroliq energiyalardin energetikaliq balansi menen aniqlag'anda mina jag'dayda da'l aniqlawg'a boladi;

- 1) da'slepki bo'lekshelerdin jaqsi monoxromatizatsiyasi boliwi kerek,
- 2) da'slepki ha'm keyingi bo'lekshelerdin energiyalari da'l aniqlang'an boliwi kerek,
- 3) da'slepki ha'm keyingi yadro tiykarg'i halda bolg'anlig'ina isenim boliwi kerek.

2.3 α - idiraw balansi.

α -idirawg'a qatnasatug'in yadrolardin massasin, olardin energetikaliq balansi menen aniqlawg'a boladi. Bizge belgili idiraw bul jen'il yadro bo'lekshesi yamasa ^4_2He yadrosin erikli shig'aratug'in protsesske aytiladi. α - Idiraw na'tiyjesinde massaliq sani $(A-4)$ ha'm $(Z-2)$ ten aqirg'i yadro payda boladi;



Alfa idirawdin en' tiykarg'i sha'rti payda bolg'an yadrolardin massalarinin qosindisidan da'slepki yadronin massasi u'lken boliwi kerek;

$$M(A, Z) > M(A-4, Z-2) + (^4_2\text{He})$$

Egerde alfa idiraw bolatug'in bolsa onda sol artiqmash energiya E_α tu'rinde shig'adi;

$$E_\alpha = \{ M(A, Z) - M(A-4, Z-2) - M(^4_2\text{He}) \}$$

Impul'stin saqlaniw nizami boyinsha soni ko'rsetiw mu'mkin, onda E nin' belgili bir bo'legi E_α - bo'lekshenin kinetikaliq energiyasinin u'lesine tiyedi $T_\alpha \approx (A-4 / A) E_\alpha$, al qalg'an bo'legi aqirg'i yadronin beriliw energiyasina tiyisli $T_{\text{yad}} \approx 4 E_\alpha / A$.

Mis: $^{237}_{93}\text{Np}$ yadrosinin α -idiraw energiyasi;

$$E_\alpha = 4,9554 \pm 0,003 \text{ Mev.}$$

Bunnan;

$$M(^{237}_{93}\text{Np}) = M(^{233}_{91}\text{Pa}) + m_\alpha + \Delta M \pm \delta M.$$

Bundag'i;

$$\Delta M \pm \delta M = (E_{\alpha} \pm \Delta E_{\alpha}) / 931.468 = 0.00511 \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ a.b.m.g'a ten'}$$

Bunnan; $^{237}_{93}\text{Np}$ massasi $\delta M/M = 3 \cdot 10^{-6} / 237 \approx 10^{-8}$ Salistirmali massasinin` qa`teligi usinday da`rejede aniqlanadi.

2.4. β - idiraw balansi.

(A,Z) massag`a iye yadro mina sha`rtti qanaatlandirsa;

$$M(A, Z) > M(A, Z \pm 1) + m_e$$

β -idiraw protsessinde pozitron (elektron) ha`m neytrino(antineytrino) payda boliwi mu`mkin;

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+ + \bar{\nu}_e$$

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + e^- + \nu_e$$

Idiraw energiyasi mina formula menen aniqlanadi;

$$E_{\beta} = \{M(A, Z) - M(A, Z \pm 1) - m_C\} C^2$$

Bunin`  $\alpha$ -idirawdan ayirmashilig`i, beta idirawda eki bo`lekshelik protsess boladi;

$$E_{\beta}^+ = T_e^+ + E_{\nu} + T_{\text{yad}}$$

}

$$E_{\beta}^- = T_e^- + E_{\nu} + T_{\text{yad}}$$

Sonin` ushin beta idiraw spektri u`zliksiz, al al`fa idiraw spektri diskret boladi. Ol energiyani o`lshewde qiyinshiliqlarg`a duwshar keltirmekte. Beta idiraw protsessindagi balans yadronin` massasin aniqlawda da`lligi boyinsha da`slepki usil menen birdey.

2.5. Qisqa tolqinli radiospektroskopiya usili.

Bul, usildin` ma`nisi yadronin` massasi o`zgergende payda bolatug`in molekulalardin` rotatatsiyaliq qa`ddilerinin` jiljiwin o`lshewden ibarat.

Rotatatsiyaliq qa`ddilerdin` du`zilisi ha`m spektri olardin` inertsiya momentine baylanisli. Egerde bir atomnin` molekulasini ekinshi atomnin` izotopi menen almassa, onda massalari ha`m inertsiya momentleri o`zgeredi, ha`m rotatatsiyaliq qa`ddilerdin` arasinda jiljiw payda boladi. Usi payda bolg`an jiljiwdin` na`tiyjesinde aling`an shamasi boyinsha yadronin` massasin aniqlawg`a boladi.

Rotatatsiyaliq qa`ddilerdin` arasindagi o`tiw energiyasi shama menen

$E \approx 10^{-51} \div 10^{-3}$ eV, bolip alis infraqizil optikaliq diopazong'a sa'ykes keledi ha'm radiodiopazoni $\lambda = 10^{-1} \div 10$ sm a'tirapinda boladi.

Yadronin' massasin aniqlawda radiojiylikli usil ju'da' az qollaniladi. Ha'zirgi waqitta onin' o'lshevi da'lligi:

$$\delta M/M \approx 10^{-6} - 10^{-8}$$

Misalg'a mina eki yadronin' aniqlang'an massalarinin' qatnaslarini ko'rsetiw mu'mkin.

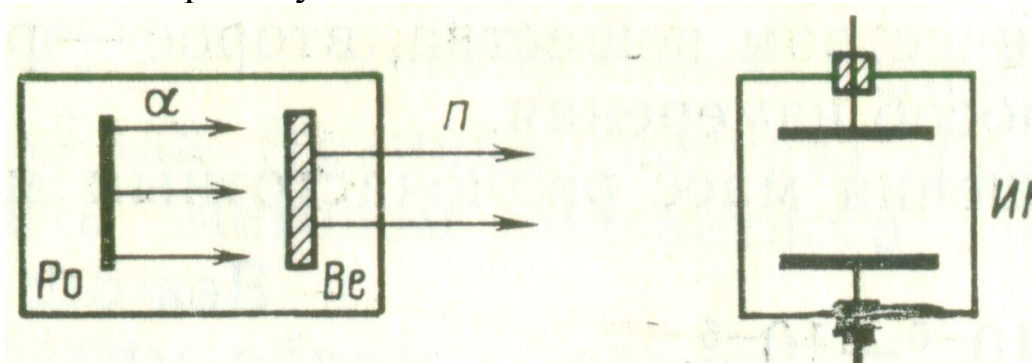
$$M({}_1^3\text{H})/M({}_1^2\text{H}) = 1.497477 \pm 8 \cdot 10^{-7}$$

$$M({}_{35}^{79}\text{Br})/M({}_{35}^{81}\text{Br}) = 0.975308 \pm 2 \cdot 10^{-7}$$

Solay etip, joqarida ko'rsetilgen yadrolardin' massalarini aniqlawdin' usillari menen 200 ge jaqin bir-birine sa'ykes yadrolardin' massalarinin' shamalari o'lshegen, olardin' ko'pshiligi u'lken da'llik penen aniqlang'an.

2.6. Neytronnin' massasin o'lshevi

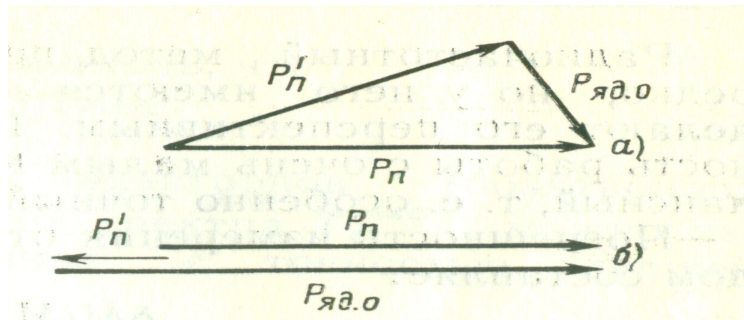
Neytron zaryadqa iye emes, sonin' ushin' oni massaliq spektrometriya joli menen aniqlaw mu'mkin emes. Birinshi neytronnin' massasin aniqlawdin' qopali tu'ri onin' ashiliwi menen islendi. 1932 j. Chedvik vodorod ha'm azot atomlari neytron menen atqilawda impul'stin' ha'm energiyani saqlanish nizamlarini analizlegende onin' massasi tuwrali pikir aytili.



2.3-su'wret

Chedvik ta'jiriybesi 2.3-su'wrette ko'rsetilgen. Onda Berilliy nishanani Poloniydin' alfa bo'leksheleri menen atqilag'anda ha'm oni ionizatsiyalang'an kamerag'a bag'itlap kamerani gezekpe-gezek azot ha'm vodorod penen toltirildi. Na'tiyjede gaz atomlari menen neytronnin' soqlig'isiwinan kamerada tezletilgen atomlardin' berilisin ionizatsiya kamerasinda toktin' impul'si tu'rinde esapqa alindi. Beriletug'in yadro energiyasi neytronnin' energiyasina ha'm soqlig'isiw

xarakterine baylanisli boladi. Neytronlardin` soqlig`isqannan keyingi ha`m soqlig`isaman degenge shekemgi impul`slari 2.4-su`wrette ko`rsetilgen.



2.4-suwret

Bul jag`day ushin energiyanin` ha`m impul`stin` saqlaniw nizami mina tu`rde jaziladi:

$$m_n \vartheta = Mv - m_n \vartheta'$$

$$m_n \vartheta^2/2 = Mv^2/2 + m_n \vartheta'^2/2$$

bunda m_n - neytronnin` massasi,  $\vartheta$  ha`m ϑ' -soqlig`isaman degenshe ha`m keyingi neytronlardin` tezlikleri,  $M$ -qaytarilg`an yadro massasi, V -qaytarilg`an yadro tezligi.

Bunnan;

$$2\vartheta = v(1 + M/m_n) \text{ alinadı.}$$

Qizig`i sonda, keyinge tebilgen yadronin` maksimum tezligi neytronnin` qa`legen maksimum soqlig`isiwinda payda boladi

$$2\vartheta_{\text{maks}} = v_{\text{maks}}(1 + M/m_n)$$

Solay etip, neytron maksimal soqlig`isiwda ha`m soqlig`isaman degenge shekem birdey tezlikke ie boladi

$$(V_N)_{\text{maks}}(1 + M(^{14}_7\text{N})/m_n) = (V_H)_{\text{maks}}(1 + M(^1_1\text{H})/m_n)$$

$$\text{Bunnan; } (N_N)_{\text{maks}} = \sqrt{\frac{2(T_N)_{\text{maks}}}{-M(^{14}_7\text{N})}}$$

$$(V_H)_{\text{maks}} = \sqrt{\frac{2(T_H)_{\text{maks}}}{-M(^1_1\text{H})}}$$

Sa`ykes

$$\sqrt{\frac{(T_H)_{\text{maks}} M(^{14}_7\text{N})}{(T_N)_{\text{maks}} M(^1_1\text{H})}} = \frac{M(^{14}_7\text{N}) + m_n}{M(^1_1\text{H}) + m_n}$$

Keyingi tabilg'an yadronin' maksimal energiyasin o'lshegende vodorod ha'm azot ushin sa'ykes mina ma'nislerdi berdi: 5.2 ha'm 1.2 Mev. Bunnan keyin yadrolardi ha'm protondi massaliq sanlari boyinsha o'zgertkende mina ma'nisler alindi;

$$\frac{14 + m_n}{1 + m_n} = \sqrt{\frac{5.7 * 14}{1.2}} \approx 8$$

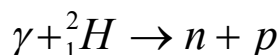
Yamasa;

$$m_n \approx 1 \text{ a.b.m.}$$

Eksperimenttin' da'lligi minanday shamada aniqlandi,

$$m_n \approx m_p$$

Neytronnin' da'l ma'nisin yag'niy massasin neytronnin' qatnasiwi menen bolg'an yadroliq reaksiyanin' energetikaliq balansinan alıwg'a boladı. A'piwayı reaksiya gamma kvanttın' qatnasiwi menen bolg'an deyttronnin' bo'liniwi,



Bul reaksiya ushin energiyanin' saqlaniw nizamin jazamiz;

$$E_\gamma + M({}^2_1H)C^2 = m_n C^2 + T_n + m_p C^2 + T_p$$

Bunda; E_γ -gamma kvant energiyasi.

Sa'ykes deyttronnin', neytronnin', protonnin' tinish halattag'i massalari, T_n , T_p neytronnin' ha'm protonnin' kinetikaliq energiyalari. (deytton tinishliqta dep esaplawg'a boladi).

Solay etip neytronnin' massasi tabildi, ol $m_n = 1.00877 \text{ a.b.m.}$ ten'.

II- BAP ATOM YADROSININ` MODELLERİ

3.1 Yadro modelleri

Bizge belgili, atom yadrosi eki turli nuklon: n ha`m p lardan du`zilgen quramali kvant mexanikaliq sistema esaplanadi. Nuklonlardin` o`z-ara ta`sirlesiw nizamlarina tiykarlanip, atom yadrosinin` qa`sietlerin tusindiriw, yadronin` du`zilisini aniqlaw ha`m ha`r qiyli sha`rayatlarda, onda ju`z беретug`in protsesslerdi analiz etiw, yadro fizikasi boyinsha alip barilip atirg`an ilim-izertlew jumislarinin` tiykarg`i waziypasina kiredi.

Eki nuklon arasindag`i o`z-ara ta`sir etiwshi ku`sh haqqinda mag`liwmat aliwdın` bir usili - nuklon-nuklon shashrawin u`yreniw ha`m ^2H nin` qa`sietlerin analiz islewden ibarat.

Esaplawlar ushin eki nuklon arasinda ta`sir etiwshi kushtin` u`lkenligin emes (fazalıq, spin, izospin) koordinatalar funktsiyasi potentsial energiyasin biliw kerek boladi. Biraq yadro potentsiali Kulon ha`m gravitatsion potentsiallarina salistirg`anda ju`da` quramali boladi.

Turmista ha`zirgi waqitta yadro potentsialin analitikaliq jol menen aniqlaw mu`mkin bolmasa da, onln` ayirim qa`sietleri haqqinda jeterli mag`liwmatqa iemiz. Yadro potentsiali sferaliq simmetriyag`a iye emes ekenligi ma`lim. Bug`an ^2H yadrosinin` kvadrupol momentke ie boliwi misal bola aladi. Yadro potentsiali shekli radiusqa iye. Ol  $0,5 \cdot 10^{-15}$  m dan kishi aralıqlarda, teren`ligi bir neshshe 10 MeV bolg`an tartisiw potentsiali- potentsial menen almasiwi mu`mkin.

Yadro ku`shleri atomlardı, molekulalardı birlestirip turiwshi ximiyaliq ku`shlerge salistirg`anda million ma`rte u`lken bolsa da ta`sirlesiw radiuslari kishi bolg`anlig`inan, olarg`a salistirg`anda to`men. Ne ushin sonday ekenligin tu`siniw ushin R-aralıqdag`i eki bo`lekshe $2R > \lambda$ de-Broyl tolqin uzunlig`ina iye bolsin;

$$\lambda = \frac{\hbar}{\mu_0 g}.$$

Bunda; g -bo`lekshenin` salistirmali tezligi, μ -keltirilgen massa,

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}, \quad 2R \geq \lambda$$

basqasha jazsaq;

$$\mu g \geq \frac{\hbar}{2R}.$$

Bo`lekshenin` kinetikaliq energiyasi;

$$(\mu g)^2 \geq \left(\frac{\hbar}{2R} \right)^2;$$

$$\frac{1}{2} \mu g^2 = \frac{\hbar}{8 \mu R^2} = \frac{(6,6 \cdot 10^{-27})^2}{8 \cdot \frac{1}{2} (1,67 \cdot 10^{-27}) (2,4 \cdot 10^{-13})^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} = 71 \text{ MeV}$$

Solay etip, yadro kushlerinin ta'sirlesiw radiusı shegarasında boliwi ushin eki nuklonnin kinetikalıq energiyası en keminde 71 MeV bolıwı kerek. Bul nuklonlardı uslap turiwshi potentsial uranın shuqirlıg`ınan biraz u`lken.

Demak ${}^2\text{H}$ yadrosi—oyang`an halda bola almaydı.  $\Delta E = 2,2 \text{ MeV}$   ${}^2\text{H}$  din` proton ha`m neytroni derlik yarım waqtin, yadro ku'shleri ta'sirlesiwı a`tirapınan shette o`tkizedi.

Yadro potentsiali sistemanin` halına baylanisli. Ma`selen, ${}^2\text{H}$ I=1 bar, I=0 joq. Salıstırmalı ha`reket mu`g`darına da baylanisli ha`reket mu`g`dari momenti h-jup ma`nisinde tartisiw ku'shleri bar, taq ma`nisinde bunday ku'shler joq. Nuklonlardin` shashirawı potentsial energiyag`a nuklonlar spin vektorlarinin` Salıstırmalı jaylasıwına ha`m sistemanin` orbital ha`reket mug`dari momentine baylanisli ekenligin ko`rsetiwshi ag`za boliwin talab etedi. Ol spin orbitalıq baylanistin` barlıg`ın bildiredi.

Yadro potentsiali almasıw xarakterine ie. Tap ximiyalıq baylanis, eki atom arasındag`ı elektronlardin` almasıw sıyaqlı, yadro ku'shlerin eki nuklon arasındag`ı ayırım bo`leksheler ta'sirinde boladı dep qaraw kerek. Bunnan, nuklon quramalı dep qaramaslıq kerek boladı. Yapon alımı Yakawa pikiri boyınsha almasıw virtual bo`leksheler menen boladı dep qaraladı. Virtual bo`lekshelerdin` payda boliwi, energiyanin` saqlanıwı, bo`lekshenin` jasaw waqtinin` ju`da` qisqalıg`ı menen tu`sindiriledi.

Geyzenbergtin` anıq emeslik printsipinin` ko`rsetiwinshe  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ , bo`lekshe jasaw waqtı;

$$\Delta t \geq \frac{\hbar}{\Delta E} = \frac{\hbar}{mc^2},$$

ta'sirlesiw radiwsı;

$$R \cong c \Delta t \geq \frac{\hbar}{mc}.$$

Nuklonlardin` o`z-ara ta'sirlesiwinde yadro maydanında massası $\sim 270 m_e$ bolg`an bo`leksheni payda etedi. Ha`zirshe bunday maydannin` tolıq teoriyası joq, biraq, teoriyalıq izertlewler alıp bariwda a`hmietli qural bolıp esaplanadı.

Solay etip, bar bolg'an ta'jriybe da'llilleri nuklonlardin' arasinda o'z-ara ta'sirlesiw potentsialinin' bir tu'rin tan'lap aliwg'a mu'mkinshilik bermeydi. Ha'tte eki erkin nuklon ushin da o'z-ara ta'sirlesiw potentsiali toliq aniq emes. Ha'zirgi kvant mexanikasi apparatinin' quramalilig'i yadro qa'sietlerin jeterli da'rejede analiz qiliw ushin mu'mkinshilik bermeydi. Yadro xarakteristikalarin esaplaw ushin zamagoy esaplaw mashinalarinin' quwatlig'i ha'tte $A=5$ bolg'an jen'il yadrolarg'a da jetpeydi.

Sol sebepli ha'zirshe yadro qa'sietlerinin' barliq ta'sirlerin esapqa alg'an halda esaplawdin' ila'ji joq. Real yadronin' xarakteristikalarin emes, ba'lki matematikaliq ha'm fizikaliq ta'repten a'piwayilastirilg'an yadro modelleri dep atalatug'in ha'r qiyli sistemalardin' qa'sietlerin esaplawg'a tuwra keledi. Yadro modeli ta'jriybe na'tiyjelerine tiykarlang'an halda tan'lap alinadi ha'm bul modelge sa'ykes keliwshi turli boljawlar islep shig'iladi. Demek, bir g'ana fizikaliq protsessti tusindiriw ushin turli modeller bar boliwi mu'mkin.

Yadronin' qa'sietlerin esaplaw mu'mkin boliwi ushin model jeterli da'rejede a'piwayi boliwi, sonin' menen birge, hesh bolmag'anda ol real yadrolardin' qa'sietlerin shama menen tusindiriw mu'mkin. Ha'r qanday model yadro qa'sietleri haqqindag'i fizikada bar bolg'an bilimlardin' juwmag'i ha'm uliwmalasiwinan ibarat. Ha'r qanday model yadro qa'sietlerin toliq tusindire almaydi. Sonin' ushin ha'r bir modeldin' qollaniw shegarasi bar. Model izertlewlerin dawam ettiriw tiykarg'i bag'itti ko'rsetedi ha'm ha'r qiyli qa'sietlerin belgili bir tochkasin na'zerde tutip bir-biri menen baylanisiwina mu'mkinshilik beredi.

Yadro modelleri eki tu'rli basqa-basqa tarawi tiykarinda jaratilg'an.

Birinshi bag'it «Ku'shli o'z-ara ta'sirlesiw modelleri». Bul modelge sa'ykes yadro o'z-ara kushli ta'sirlesiwshi ha'm o'z-ara ku'shli baylanista bolg'an bo'leksheler ansambli dep qaraladi. Zatlardin' bul toparina «Suyiq tamshi modeli», «alfa bo'lekshe modeli», «birikpe yadro model»leri kiredi.

Ekinshi bag'itqa «Erkin bo'leksheler modelleri» kiredi. Bunda ha'r bir nuklon yadronin' basqa nuklonlarinin' ortashalang'an maydaninda derlik baylanissiz, erkin ra'wishte ha'reketlenedi. Bul toparg'a «fermigaz», «ko'bikli uliwmalasqan» yamasa «birikken» modeller kiredi.

3.2 Tamshi modeli

Tamshi modeli en`da`slepki modellerden esaplanadi. Bul modeldi atom teoriyasinin` tiykarin Saliwshilarinan biri daniyali alim Nil`s Bor usinis etken. Tamshi yadrog`a uqsasliq da`lilleri: yadro tig`izlig`i ju`da` u`lken ( $\sim 10^{14} \text{ } \rho/\text{sm}^3$ ) bolip, qisilmaydi, yadro ko`leminin` ondag`i nuklonlar sanina proportsionallig`i;

$$R=R_0A^{1/3}; V=\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4}{3}\pi R_0^3 A)$$

ha`m turli yadrolarda nuklonlar ortasha energiyasinin` shama menen turaqlilig`i;

$$\varepsilon=8 \text{ MeV,}$$

yadro menen suyuqliq tamshisinin` uqsaslig`i. Bunda yadro ku`shleri de suyuqliq molekulalari arasindag`i ta`sirlesiw ku`shlerine uqsas toyiniw qa`biyletine ie ekenligi tusindiriledi.

Tamshi modelinde yadro tig`izlig`i birdey ekenligi haqqindag`i eksperimental mag`liwmatlarg`a tiykarlang`an Bor yadrodag`i nuklonlardin` ha`reketi suyuqliqtag`i atom molekulalardin` hareketine uqsaydi, dep oylaydi. Suyuqliqtin` sirtqi ta`sirlesiwge ushiramag`an tamshisi bet kerimlik sebepli sfera ko`rnisinde boladi.

Tamshi modeli yadronin` massasi ha`m baylanis energiyasinin` yarim empirikalik formulasin shig`ariw, yadrolardin` bo`lekshelerdi nurlandiriwi ha`m bo`liniwine turaqlilig`in aniqlaw ha`m sonday-aq, bul protsesslerde ajralatug`in energiyalardi esaplaw imkaniyatlarin beredi.

Model yadronin` neytronlar, protonlar ha`m al`fa bo`leksheler menen ta`sirlesiwinde ju`zege keletug`in ayrim qa`sietlerin tu`sindiredi. Tiykarinan bul model ja`rdeminde neytron yadro menen soqlig`isip, yadroda jutilip gamma-kvantlardin` shig`iwin tusindiredi. Nuklonlardin` yadro ishinde ju`da` u`lken tig`izliqqa ie boliwi ha`m yadro ta`sirlerinin` ku`shliligi sebepli neytron o`z energiyasin basqa nuklonlarg`a beredi, yag`niy izotop payda boladi, neytron energiyasi yadroda bo`listiriledi. Yadro nuklonlarinin` tezligi asadi, oyang`an halg`a o`tedi. Sonin` ushin oyang`an yadroni qozdirilg`an tamshi dep qaraw mu`mkin. $T=\frac{E}{k}$ eger nuklon $E\approx 10 \text{ MeV}$ energiya menen kirse ($10^7 \text{ eV}=1,6\cdot 10^{-5} \text{ erg}$) bolsa oyang`an yadronin` temperaturasi;

$$T=\frac{E}{k}=\frac{1,6\cdot 10^{-5} \text{ erg}}{1,38\cdot 10^{-16} \text{ erg}\cdot \text{grad}^{-1}}\approx 1,2\cdot 10^{11} \text{ grad} * \text{ekvivalent boladi.}$$

Tamshi modeli yadronin` birliktegi ha`reketin tusindiredi. Yadro tamshi ishinde betlik terbelisleri, qisiliwi mu`mkin bolg`an zat ushin

tig'izliq terbelislerde boliwi mu'mkin. Yadronin' tamshisi ten' salmaqliq halinda R-radiusli sferaliq ko'riniske iye boladi. Yadro ta'repinen jutilg'an nuklon onin' sferaliq' formasin buzadi, yadro deformatsiyalanadi. Betlik teren'lik yadro ko'rinishin qayta tiklewshi ku'sh rol'in atqaradi. Na'tiyjede yadro-tamshi betinde tolqin uzunlig'i $\lambda = \frac{R}{l}$ bolg'an betlik tolqinlari payda boladi (ℓ -tamshi sirtindag'i tolqin do'n'liklerinin' sani).

Kinetikaliq ha'm potentsialliq energiyalar formulasinan ($\ell \gg 2$) tolqin jiyligi

$$\omega_l^2 = \frac{4\pi\sigma l^3}{3M}$$

(M-yadro massasi, σ -bet kerim koeffitsienti) $\sigma = 10^{20} \text{ erg/sm}^2$

$$E_\sigma = 4\pi\sigma R^2 A^{2/3} = U_\sigma A^{2/3};$$

Yadro tamshisinin' terbemeli energiyasi

$$\hbar \omega_1 \approx \left(\frac{U_\sigma}{3MR^2} \right)^{1/2} \hbar l^{3/2}$$

Tamshi modeline sa'ykes yadronin' betlik terbemeli energiyasin yadronin' qozg'an (oyang'an) hallari energiyasi dep qaraw mu'mkin. Ha'mme jup-jup yadrolar birinshi oyang'an halinin' xarakteristikasi 2^+ . Birinshi oyang'an halda bir foton, ekinshisinde eki foton ha'm t.b. Spinleri 1 ha'm 3 bolg'an hallar bolmaydi. 3.1-su'wrette yadrolardin' terbemeli oyang'an energiya qa'ddilerinin' teoriyalik sxemasi keltirilgen.

N=3	$E=3\hbar\gamma$	$0^+ 2^+ 3^+ 4^+ 6^+$
N=2	$E=2\hbar\gamma$	$0^+ 2^+ 4^+$
N=1	$E=\hbar\gamma$	2^+
N=0	$E=0$	0^+

3.1-su'wret.

Real yadrolar haqiqattan da terbemeli tamshi modeldin' ko'rsetkenindey sa'ykes spektrlerge iye.

Tamshi modeline tiykarlanip, Veytszekker derlik ha'mme yadrolar ushin ta'jriybelerdi qanaatlandiratug'in yadronin' baylanis energiyasinin' yarim emperikaliq formulasin jaratti.

Tamshi modeline sa'ykes izobar yadrolarda β -idirawg'a salistirg'anda β -turaqliliq sha'rtin ha'm β -idiraw tu'rlerin ko'rsetiw

mu'mkin. Bulardan tisqari, bul model tiykarinda yadrolardin' bo'liniwin tusindiriw an'sat. Ma'selen, yadrodag'i protonlar Kulon o'z-ara ta'sirlesiw energiyasinin' betlik deformatsiyasina ta'siri Z-tin' u'lken ma'nislerinde sezilerli boladi. Eger protonlardin' Kulon energiyasi betlik teren'lik energiyasinan u'lken bolsa, $\frac{E_{\kappa}}{E_{\sigma}} \geq 2$ sha'rtti qanaatlandiratug'in yadro betlik deformatsiyalarina salistirg'anda turaqli bolalmay qaladi ha'm o'z-o'zinen eki bo'lekke bo'leklenip ketedi. Yadronin' bo'liniwine salistrig'anda turaqliliq sha'rti;

$$\frac{Z^2}{A} < 46,52$$

ta'jriybe na'tiyjelerine sa'ykes keledi.

Solay etip, tamshi modeli terbelmeli hallar, β -idirawg'a salistirg'anda turaqliliq sha'rtlerin, yadronin' baylanis energiyalarin, yadronin' bo'liniw sha'rtlerin jaqsi tusindiredi, biraq magikaliq yadrolarda yadronin' oyang'an halinin' qa'siyetlerin tusindire almaydi.

3.3 Yadronin' baylanis energiyasi ushin Veytszekkerdin' Yarim emperikaliq formulasi

1935 jili K.Veytszekker ta'jriybe na'tiyjelerine tiykarlanip yadroni suyuq tamshi dep qarap, yadronin' baylanis energiyasi ushin yarim emperikaliq formulasin jaratti. Yadronin' qisilmawi, nuklonlar arasindag'i ta'sirlesiw qisqa araliqta u'lken parametr menen boliwi, salistirma baylanis energiyasinin' turaqlilig'i yadronin' suyuq tamshig'a uqsaydi dewge tiykar boladi. Yadronin' baylanis energiyasi massa sani menen siziqli baylanisqan.

$$E_{\text{bayl.}} = \alpha A$$

Bul jerde α -salistirma baylanis energiyasi, A- massa sani. Birinshi formulada A nuklonnan du'zilgen yadroda ha'mme nuklonlar birdey baylanis energiyasi menen baylanisip turipti dep qaraladi. Tiykarinda olay emes, sebebi yadro suyuq tamshi – shar ko'rnisinde bolsa, betinde jaylasqan nuklonlar toliq beti menen ta'sirlese almaydi, tek g'ana ishki ta'repten ta'sirlesedi. Sonin' ushin bet energiyasina du'zetiwi kiritiw lazim.

Shar beti ushin bet energiyasi;

$$E_{\text{bayl.}} = \sigma \cdot 4\pi R^2$$

Bunda, σ - bet kerim koeffitsenti.

$$\sigma_{\text{yadro}} = 10 \text{ erg/sm}^2 = 10^{17} \text{ dj/sm}^2 \quad \left(\sigma_{\text{yad}} \approx 10^2 \frac{\text{erg}}{\text{sm}^2} \right)$$

Yadro betinin` teren`lik koeffitsentinin` suwdikine salistirg`anda ju`da u`lken boliwi yadronin` baylanis energiyasinin` u`lkenliginen (R-yadronin` radiusı) boladı.

$$E_{\text{bayl.}} = \sigma \cdot 4\pi R_0^2 A^{2/3} = 4\pi\sigma R_0^2 A^{2/3} = \beta A^{2/3}$$

Yadro ko`lemi A-proportsional, bet energiyasi  $A^{2/3}$  ta`rtipte asip barsa, yadro o`lshemi artip bariwi menen bet ju`zesinin` ko`lemge qatnasi kemeedi, demek awir yadrolarda baylanis energiyasinin` bet energiyasi esabinan kemeyiwi pa`seyedi. Bet energiyasi $E_{\sigma} \sim A^{2/3}$ ta`rtipte baylanis energiyasin kemeytiredi.

$$E_{\text{bayl.}} = \alpha A - \beta A^{2/3}$$

Yadro zaryadlang`an shar dep qaralsa, yadrodag`i protonlardin` o`z-ara Kulon iyterisiw energiyasi esabinan da baylanis energiyasi kemeyiwin itibarg`a aliw lazim. Bul energiya  $Z^2$  baylanisli bolg`anlig`i sebepli awir yadrolarda jeterli da`rejede u`lken boladi. Elektrodinamikadan belgili, tegis zaryadlang`an shar ushin Kulon energiyasi

$$E_{\kappa} = \frac{3(Zt)^2}{4\pi\epsilon_0 5R} = \frac{3e^2}{20\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z^2}{R_0 A^{1/3}} = \gamma Z^2 A^{1/3}$$

Yadronin` baylanis energiyasi yadrodag`i proton va neytronlardin` ayirmasina da baylanisli bolip, proton ha`m neytronlar sani ten` bolg`anda yadrolar turaqli boladi. Protonlar sani neytronlar sanina ten` bolg`an yadrolar ushin $Z=A/2$ boladi ha`m bul ten`likten ha`r eki ta`repke o`zgeriwi yadronin` baylanis energiyasinin` kemeyiwine sebep boladi. Proton menen neytronlardin` o`z-ara ten` bolmaslig`in  $\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2$  shaması xarakterleydi. Sonin` ushin yadronin` baylanis energiyasinin` nuklonlar simmetriyalig`i sebepli kemeyiwin esapqa aliwshi  $-\xi \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A}$  ag`za kiritiliwi kerek boldi.

Bul haqqında A^{-1} ko`beytiwshi, neytron proton juplig`inin` payda boliwi menen baylanis energiyasina kiritiletug`in o`siw sonday juptin` berilgen ko`lemde boliw itimallig`ina siziqli baylanisli boladi. Bul itimalliq bolsa yadro ko`lemine kerı proportsional. Bul du`zetpeni yadronin` tamshi modeli menen tusintirip bolmaydi, oni Pauli printsipine sa`ykes fermi-gaz modeli menen tusundiriledi.

Yadronin` baylanis energiyasina ja`ne bir duzetpe, bul nuklonlardin` jup yamasa taqlig`ına sa`ykes baylanis energiyasinin`

o'zgeriwin ko'rsetetug'in duzetpe bolip esaplanadi. Jup protonli ha'm jup neytronli jup-jup yadrolar (50-56 bolg'an) din' baylanis energiyasidan kemirek ha'm taq-taq yadrolardan to'rtewi g'ana yadro (${}^2_1H, {}^6_3Li, {}^{10}_5B, {}^{14}_7N$) turaqli.

Jup-jup yadrolardin' bekkem baylanislig'in ha'm ta'biyatta ko'p tarqalg'anlig'in eki birdey nuklon qarama-qarsi bag'itlang'an spinlerdin' jaylasiwi ha'm energetikaliq qa'ddilerdi toltiriwg'a umtiliwi menen tusindirise boladi. Solay etip, nuklonlar jup-taqlig'ina $\delta A^{-3/4}$ du'zetiwi kiritiledi.

$$\delta = \begin{cases} +|\delta| & \text{jup-jup yadro ushin} \\ 0 & \text{A-taq jup-taq, taq-jup} \\ -|\delta| & \text{taq-taq yadro ushin} \end{cases}$$

Baylanis energiyasi ushin K.Veytszekker formulasi to'mendegishe jaziladi;

$$E_{\text{bayl.}} = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma Z^2 A^{-1/3} - \xi \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A} - \delta A^{-3/4}$$

Bunda, birinshi ag'za αA -ko'lem energiyasi, ekinshi $\delta A^{-3/4}$ -ag'za betlik, ushinshi ag'za $\gamma Z^2 A^{-1/3}$ -Kulon energiyalarin ko'rsetedi. To'rtinshi ha'm besinshi ag'zalar nuklonlardin' simmetriyali ha'm taq jupliqlarina du'zetseler bolip esaplanadi. Formuladag'i bes: α , β , γ , ξ , δ -koeffitsentler bes massalari aniq o'lshengen yadrolarg'a qollaniw menen aniqlanadi.

$$M(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n - E_\delta = Zm_p + (A - Z)m_n -$$

$$\alpha A + \beta A^{2/3} + \gamma Z^2 A^{-1/3} + \xi \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A} + \delta A^{-3/4}$$

Da'slep, 1954-jili Amerikali fizik Grin ko'plep ta'jriybe na'tiyjelerine sa'ykes koeffitsentlerdi aniqladi, koeffitsentler ha'zirgi waqitta to'mendegi ma'niske iye:

$$\alpha = 15,7 \text{ MeV}, \beta = 17,8 \text{ MeV}, \gamma = 0,71 \text{ MeV}, \xi = 23,7 \text{ MeV}, \delta = 34 \text{ MeV}$$

Bul formula ja'rdeminde qa'legen Z ha'm A yadronin' massasin ha'm baylanis energiyasin $\sim 10^{-4}$ aniqliqta Esaplaw mu'mkin. Bunnan basqa α -idiraw, proton, neytronlardi yadrodan ajiratiw, bo'liniw ha'm sintez reaksiyalarinda ajiralatug'in energiyalardi u'lken aniqliqta Esaplaw imkaniyatini beradi.

3.4 Fermi gaz modeli

Yadroni du`ziwshi nuklonlar spinge iye ha`m Fermi-Dirak statistikasina boysinadi. Usi modelde yadroni qurag`an ha`r bir bo`lekshe yadronin` basqa nuklonlari ta`repinen payda etilgen ortasha maydanda derli erkin ha`reket etedi dep esaplanadi. Erkin ha`reket degende bo`lekshenin` yadro ishindegı ortasha erkin juwiriw joli yadronin` diametrine jaqin boladi. O`z-ara ku`shli ta`sirlesetug`in nuklonlar derlik o`z-ara ta`sirlespeytug`in bo`lekshelerden du`zilgen gaz dep qabil qiliw mu`mkin. Yadrodag`i nuklonlar fermion bolip, bir waqittin` o`zinde birdey ha`reketke ie bola almaydi, yag`niy sonday bir halda, bir energetikaliq qa`ddide spin bag`itlari menen ayrilatug`in tek eki proton yamasa eki neytron boliwi mu`mkin. Mikrobo`lekshelerdin` Pauli printsipine boysiniwshi ha`m ha`mme to`mengi qa`ddileri toliq toltirilg`an, bunday sistemani aynig`an Fermi-gaz modeli dep ataladi. Aynig`an Fermi-gaz modeli nuklonlar ortasında ku`shli o`z-ara yadroliq ta`sirlesiw boliwina qaramastan nuklonlardin` soqlig`isiwi qadag`an Etiledi ha`m olar tap sonday o`z-ara ta`sirlesiwı juda` kishi bolg`anda g`ana, o`zlerin erkin tutadi. Tiykarında bolsa qandayda bir nuklon ekinshisi menen soqlig`isiwi ha`m o`zinin` energiya ha`m impul`sinin` bir bo`legin nuklong`a beriwi mu`mkin. Bul halda eki nuklon bosiraq halg`a o`tiwi mu`mkin. Birinshi nuklon bolsa energiyasi kemirek halg`a o`tedi. Biraq to`mengi qa`ddiler Pauli printsipine sa`ykes ba`nt boladi. Sonin` ushin, birinshi ha`m ekinshi nuklonlar arasında soqlig`isiw bolmaydi. Pauli printsipi soqlig`ısıwdı biykarlaydı. Sonin` ushin yadronin` ba`rshe nuklonlari Pauli printsipine sa`ykes yadronin` ortasha maydani payda etken potentsiallarında en` to`mengi haldan baslap, Fermi energiyasi joqari bolg`an hallardi izbe-iz ieleydi.

$$E_F = \frac{p_F^2}{2m}$$

Kvant mexanikasında impul`stin` fazasında hallar tig`izlig`i

$$\rho = \frac{4\Omega}{(2\pi\hbar)^3} \cdot \frac{4V}{\hbar^2}$$

p dan $p+\Delta p$ impul`sli nuklonlar;

$$dn = \frac{64\pi^2}{3(2\pi\hbar)^3} R_0^3 p^2 dp$$

A sanli nuklon ushin minag`an ten`;

$$A = \frac{64\pi^2 R_0^3}{3(2\pi\hbar)^3} \int_0^{p_F} p^2 dp = \frac{64\pi^2 R_0^3}{9(2\pi\hbar)^3} p_F^3 \text{ boladi.}$$

Onin` maksimal impul`s bolsa;

$$p_F = \hbar(9\pi)^{1/3} \frac{1}{2r_0} \text{ ten` boladi.}$$

Yadro nuklonlari no`lden baslap Fermi energiyasina shekem bolg`an qa`ddilerdi ieleydi. Oyang`an qa`ddiler energiyasi energiyani` tap sol ma`nisinen baslap esaplanadi.

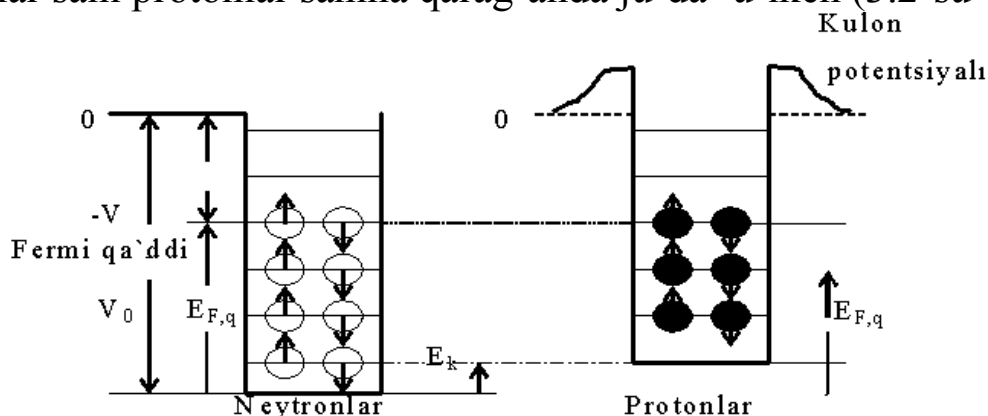
Proton ha`m neytronlar ushin Fermi impul`si;

$$p_F^n = \hbar \left(\frac{n}{A} \right)^{1/3} \frac{1}{r_0},$$

Kinetikaliq energiyasi ;

$$E_F^n = \frac{\hbar^2}{2Mr_0^2} \left(\frac{n}{A} \right)^{2/3} \approx 54 \left(\frac{n}{A} \right)^{2/3} \text{ MeV}$$

Eger proton ha`m neytron massalari arasindag`i qisqasha parqti esapqa almasaq, yadro turaqli boliwi ushin en` joqari proton ha`m neytron qa`ddilerinin` energiyalari birdey boliwi kerek. Awir yadrolarda neytronlar sani protonlar sanina qarag`anda ju`da` u`lken (3.2-su`wret).



3.2-su`wret

Yadroda tartiwshi orayliq ku`sh bolmasada, nuklonlardin` o`z-ara tartisiwi na`tiyjesinde yadro inertsia orayi a`trapinda toplang`an boladi. Bunda yadronin` qisiliwina nuklonlardin` jaqin araliqlarda o`z-ara iyterilisiw ta`sirleri qarsiliq qiladi.

Eger yadrodag`i nuklonlar ha`reketinin` real ta`sirin waqitsha a`piwayilastirip, nuklonlar ara ku`shler nuklonlardi yadro ko`leminde tek uslap turadi dep esaplasaq, ol halda yadro strukturasin su`wretlew ma`selesi bo`lek qa`ddiler yamasa nuklonlar xa`reketlenetug`in orbitalardin` energiyalari ha`m basqa kvantliq xarakteristikalarin aniqlawdan ibarat boladi. Bunin` ushin bir nuklonnin` tolqin funktsiyasi ushin Shreydinger ten`lemesin sheshiw kerek. Bul ten`lemede potentsial

energiya operatori yamasa potentsial yadroda belgili sandag`i` nuklondi uslap turiwdi ta`minlew kerek boladi.

IV BAP. RADIOAKTIVLIK QUBILISI

4.1. Radioaktivlik

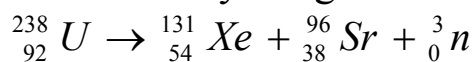
Yadro radioaktivlik idiraw waqtinda bir haldan ekinshi halg'a o'tedi. Bul waqitta yadro o'z quraminda bar bolg'an ha'm i'dirawdan payda boliwshi bo'leksheler (misali- al'fa, proton, vetta h.t.b. bo'leksheler) yamasa jen'il yadrolar menen birge fotonlardi shig'ariwi mu'mkin. Bunin' na'tiyjesinde i'dirap atirg'an yadrolardin' du'zlisi menen birge onin' ishki energiyasida o'zgeriwi mu'mkin.

Radioaktivlik qubilisi ta'big'iy sha'riyatta boliwi menen birge, jasalma jol menen de payda etiw mu'mkin. Biraq eki radioaktivlik qubilisi arasinda parq joq. Radioaktivlik nizamlari radioaktiv izotoplardin' qanday aliniwina baylanisli bolmaydi.

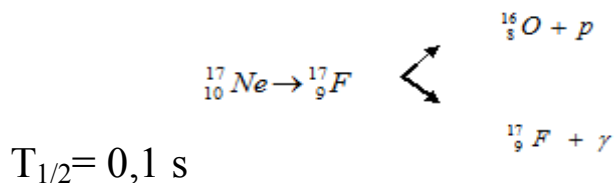
Radioaktivlik yadronin' ishki qa'siyeti bolip, ha'r bir yadro o'zine sa'ykes idiraw turi ha'm intensivligine ie. Radioaktivlik qa'siyeti sirtqi ta'sirler (temperatura, basim, elektr yamasa magnit maydan) ge baylanisli bolmaydi. Ko'pshilik radioaktiv yadrolar turaqli yadroni turli tezletkishlerde aling'an bo'leksheler menen atqilag'anda payda etiledi.

Da'slepki radioaktiv nurlaniwlar analizi tabig'iy radioaktivlik waqtinda payda bolatug'in al'fa, veta bo'leksheler ha'm qisqa tolqinli gamma fotonlar ekenligin ko'rsetedi.

1939- jili G.N.Flerov ha'm K.A.Petrjaklar awir yadrolardin' (A=240) o'z-o'zinen eki ortasha yadrog'a bo'liniwin ashti.

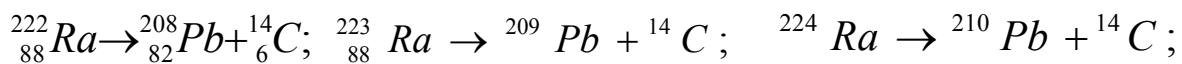


Qaysi, yadrolarda protonlar sani asip ketse bir proton yamasa eki proton i'dirawi mu'mkin. G.F.Flerov 1963-jili birinshi ma'rte protonnin' idirawin baqlag'an.



A'llette, protonnin' idiriw itimallig'i al'fa ha'm veta idiriwlarg'a salistirg'anda juda' kishi boladi.

1984-jili Oksford universitetinin' xizmetkerleri radiy yadrolarinin' al'fa bo'lekshelerge salistirg'anda ${}^{14}S$ yadrosinin' nurlaniwin baqladi.



1985 jili Dubna ha'm Amerika fiziklari ${}^4\text{Ne}$ - idirawin ashti.

Yadrolardin' radioaktivlik idirawi saqlaniw nizamlarinin' orinlaniwi menen ju'z beredi.

Radioaktivlik idirawin statistikaliq qa'sietke ie bolg'an protsess bolip esaplanadi. Idirap atirg'an yadrolardan qaysi biri qashan idirawin hesh kim ayta almaydi. Biraq waqit birligi ishinde neshewi idirawin aniqlaw mu'mkin. Sonin' ushin yadronin' radioaktivlik idirawin onin' itimallig'ina baylanisli u'yreniw mu'mkin.

Radioaktivlik yadrolar qartaymaydi, jasqa iye emes, idiraw intensivligi waqit birliginde idirawi yadrolar sanina baylanisli.

Waqit birliginde idirap atirg'an (dN) radioaktiv yadrolardin' sani sol radioaktiv yadrolardin' uliwma sani N ge proporsional boladi. Mısalı, dt waqit aralıg'ında dN g'a kemeyip atirg'an bolsa,

$$-dN = \lambda N dt \quad (4.1)$$

boladi. Bul jerde; λ – radioaktivlik idiraw turaqlısı, o'lshe m birligi $[s^{-1}]$. Waqit birliginde idirawlar sani, salıstırmalı kemeyiw tezligin an'latadı. – teris belgisi waqit o'tiwi menen radioaktiv yadrolar saninin' kemeyiwin ko'rsetedi.

(4.1) tenlemenı sheshiw ushin to'mendegishe jazamiz:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{N} &= -\lambda dt && \text{buni integrallasaq} \\ \int \frac{dN}{N} &= -\lambda \int dt; && \ln N = -\lambda t + \ln C \\ t=t_0 \text{ bolg'anda } N=N_0; & \ln N = \ln C = \ln N_0 && N=N_0=C \\ \ln \frac{N}{N_0} &= -\lambda \cdot t; && N = N_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (4.2)$$

(4.2) formula radioaktiv idi'raw nizami dep ataladı.

Bul nizamg'a sa'ykes radioaktivlik yadro waqit o'tiwi menen eksponentsial ra'wishte kemeyip baradı. (2) –Formula arqalı qa'legen waqit momentindegi idiraw itimallıg'in aniqlaw mu'mkin. Biraq (2) formula radioaktivlik yadrolardin' idiraw intensivliklerin salıstırıp bolmaydı, anıq fizikalıq ma'nige ie emes. Sol maqsette yarım idiraw tu'sinigi kiritiledi. Yarım idiraw da'wiri sonday waqit, bul da'wir ishinde da'slepki radioaktivlik yadro eki ma'rte kemeedi.

Ol halda (4.2) ten'lemenı bilay jaza alamiz:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}; \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}; \quad \ln 2 = \lambda T_{1/2} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (4.3)$$

(4.3) ten`leme yarim idiraw da`wiri menen i`diraw turaqlisi arasindag`i baylanisti ko`rsetedi.

Radioaktivlik ja`ne ortasha jasaw waqti dep ataliwshi  $\tau$ - shama menen de xarakterlenedi. Belgili bir  $t$  waqit momentinde idiramay qalg`an yadrolardin` jasaw waqti  $t$  dan u`lken boladı. Sol waqit momentine shekem idirag`an yadrolar bolsa  $t$  dan kishi yamasa og`an ten` jasaw waqtina ie boladi. Bunday yadrolar sani;

$$dN(t) = \lambda N(t)dt = \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$$

Ortasha jasaw waqti;

$$\begin{aligned} \tau = t &= \frac{\int_0^{\infty} t dN(t)}{\int_0^{\infty} dN(t)} = \frac{\int_0^{\infty} \lambda N_0 t e^{-\lambda t} dt}{\int_0^{\infty} \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt} = \frac{\lambda N_0 \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt}{\lambda N_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt} = \frac{-\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} t + \frac{1}{\lambda} \int e^{-\lambda t} dt}{-\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t}} = \\ &= \frac{\frac{1}{\lambda} \int e^{-\lambda t} dt}{\frac{1}{\lambda}} = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} = \frac{1}{\lambda}; \tau = 1/\lambda \end{aligned}$$

τ -nın` ma`nisin ten`lemege qoysaq

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-1} = N_0/e$$

Demek, ortasha jasaw waqti radioaktivlik yadrolardin` e-ma`rte kemeyiw waqti ekenligi ma`lim boladi.

Solay etip, radioaktivlik idiraw turaqlisi, yarim idiraw da`wiri ha`m ortasha jasaw waqti menen xarakterleniwi mu`mkin eken. Bul shamalar o`z-ara to`mendegishe qatnasta boladi:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693\tau$$

Radioaktiv yadro u`lgisinin` waqit birliginde idirawlar sani aktivlik dep ataladi. (4.1)-formuladan

$$dN = \lambda N dt$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N;$$

Aktivlik birligi etip SI sistemasinda bekkerel` (Bk) qabil etilgen: 1Bk=1 idiraw/s. Tuwindı birlikleri kyuri (K), rezerford (Rd);

$$1 \text{ Ku} = 3,6 \cdot 10^{10} \text{ Bk}, 1 \text{ Rd} = 10^6 \text{ Bk}.$$

Ta`jiriybede radioaktiv derek yarim idiraw da`wirinin` u`lken yamasa kishiligine sa`ykes ha`r turli metodlar qollaniladı. Ma`selen, aktivliktin` pa`seyiwi ( $T_{1/2}$ -saat, ku`n, aylarda bolsa), qisqa jasawi bolsa, payda bolg`an ionlarina sa`ykes, radiometr, sa`ykes tusiw usullari h.t.b. menen aktivlikti aniqlaw mu`mkin.

Radioaktivlik qubllslnln` en` tan` qalarli ta`repi yadro ta`sirlesiw waqtina salistrg`anda ju`da` u`lken keshigiwi bolip

esaplanadi. Haqiqatdan da idirawlardin' ha'mme tu'rleri yadroda ju'z beredi. Belgili, yadro ku'shleri ushin ta'sirlesiw waqti $\sim 10^{-21}$ s, biraq radioaktiv idiraw da'wiri bolsa 10^{10} jillar (M: ^{238}U ushin $T_{1/2}=10^{10}$ j, Bul 10^{16} s) boladi. Yag'niy ^{238}U yadrosinan shig'iwshi α - bo'lekshe yadroda 10^{38} ma'rtebe aylanadi na'wbettegi $10^{38}+1$ aylanisinda yadrodan shig'iw mu'mkin eken.

Radioaktivlik idirawlarda nurlaniwlardin' keshigiwi to'mendegishe:

1) Zaryadli bo'leksheler yadrodan shig'iwda Kulon qarsilig'ina ushiraydi (Kulon tosig'i awir yadrolarda ~ 30 MeV, idiraw energiyasi ~ 4 MeV. Klassikaliq fizika nizamlari boyinsha yadrodan bo'lekshe shig'iw mu'mkin Emes, kvant mexanikasi boyinsha bo'lekshe tosiqtan su'zib o'tiw mu'mkin).

2) Radioaktivlik ku'shsiz ta'sirlesiwge sa'ykes ju'z beriwshen'ligi. (Yadroda vetta-idiraw ku'shsiz ta'sirlesiwge sa'ykes a'melge asadi, sog'an sa'ykes yadro ta'sirlesiwden ku'shsiz ta'sirlesiw neshe ma'rte kishli bolsa, idiraw waqti sonsha ma'retebe keshigedi).

3) Idiraw energiyasinin' kishi boliwi radioaktivlik waqtin keshiktiredi. (Ma'selen, ju'z nuklonli $A=100$ yadro oyaniw energiyasi 10 MeV bolsin. Ha'r bir nuklong'a 0,1 MeV tuwri keledi, Bul energiya salistirma baylanis energiyasinan kishi, biraq ha'mme oyaniw energiyani nuklong'a beriwi menen nuklon yadrodan shig'ip ketiw itimallig'i bar).

4) Radioaktivlik yadro ha'm tiyisli yadrolardin' kvant qa'siEtlerinin' (spin, jupliq, orbital moment) keskin ta'sirlesiw. Misali, da'slepki yadro $h_{11/2}$ halatta, tiyisli yadro $S_{1/2}$ halatda bolsin, bunda da'slepki yadro ushin $I=11/2$, $l=5$, $L=-1$, tiyisli yadro ushin $I=1/2$, $l=0$, $L=+1$, $\Delta I=5$, $\Delta l=5$ jupliq o'zgeredi. Demek, spin, orbital moment, jupliq saqlanbaslig'i idirawdi boldirmaydi.

4.2. Gamma nurlaniw protsessi

Gamma nurlar energiyalari bir neshe 10 keV tan joqari bolg'an qisqa elektromagnit tolqin bolip esaplanadi.

Ha'zirgi zaman tezletkishleri ja'rdeminde gamma-kvantlar energiyalarin bir neshe GeV qa jetkiziw mu'mkin. Gamma-kvantlar tolqin uzunliqlari energiyalari artiw menen kemeyip baradi.

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{E}$$

Gamma nurlar tolqin uzunliqlari 10^{-11} sm den aspaydi, bul bolsa atomlar ara araliq 10^{-8} sm den min` ese kishi.

Ortaliq penen ta`sirlesesiwi gamma-kvantlar elektromagnit ta`sirlesiwge ko`re a`melge asiriladi. Ta`sirlesiw protsessinde gamma-kvant bag`itin o`zgertiwi – shashirawi, jutiliwi, bo`lekshe-antibo`lekshe jubin na`tiyjesinde qiliwi mu`mkin.

Gamma-kvantlar zaryadsiz bolg`ani ushin uzaq araliqta ta`sir Etiwshi kulon ku`shi ta`sirine berilmeydi, araliqqa ie bolmag`ani ushin ha`mme waqit jaqtılıq tezligi menen ha`reketlenedi, a`stelespeydi, tolqin uzunliqlari atomlar ara araliqtan 10^{-3} ese kishi bolg`anlig`i sebepli juda` kem tutasadi.

Zaryadli bo`lekshelerden parqli bolaraq, gamma-kvantlar ortaliqta o`z energiyalarin kemeytse de tezligin o`zgertpeydi, gamma-kvantlar ushin ortaliqta aralıg`i tu`sinigin isletip bolmaydi, gamma-kvantlar ag`imi intensivligi ortaliq atom elektron ha`m yadrolari menen ta`sirlesiwinde kemeyip baradi.

Monoxromatikaliq gamma-kvantlar ag`iminin` bir sekundta 1 sm^2 maydannan o`tip atirg`an intensivligi I , dx -qalin`liqtan o`tkende kemeyiwi dI bolsin.

O`z na`wbetinde dI kemeyiwi ag`im ha`m qatlam qalin`lig`ina baylanisli.

$$dI = -\mu I dx$$

Eger ortaliq bir jinisli bolsa μ turaqli boladi. An`latpani integrallap shig`amiz ha`m minani alamiz:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Bul jerde; I_0 -baslang`ish intensivlik,  $I$ - $x$  qalin`liqtag`i ortaliqtan o`tkennen son`g`i intensivlik, μ - jutiliw yamasa ku`shsizleniw koeffitsienti. An`latpadag`i da`reje μ_x - o`lshemsiz bolip, gamma-kvantlar ag`imi ortaliq qatlamlarinan o`tip barip, intensivlikleri eksponentsial kemeyip baradi. ortaliq qalin`lig`in turlishe an`latiw mu`mkin, sog`an sa`ykes  $\mu$  de turlishe ataladi.  $\mu$  ( $\text{sm}^{-1}$ ) – uzunliq birligine tuwra kelse – siziqli,  $\rho$ -tig`izliq birligine tuwra kelse μ/ρ (sm^2) – massaliq jutiliw koeffitsenti dep ataladi.

$$\text{Ha'r bir atomg'a } \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{A}{N} \text{ (sm atom}^{-1}\text{) ha'm } \frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N} \frac{1}{z} \text{ (sm}^2 \text{ elektron}^{-1}\text{)}$$

sa'ykes keliwshi atom ha'm elektron jutiliw (ku'shsizleniw) koeffitsientler de qollaniladi.

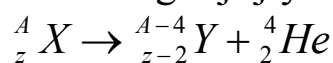
Jutiliw koeffitsienti gamma-kvantlarinin` ortalıq penen ta'sirin toliq xarakterleydi, sebebi ol ko`rilip atirg`an protsesstin` toliq kesimi menen baylanisqan boladi. Gamma-nurlardin` jutiliwi tiykarinan fotoeffekt, Kompton effekt ha'm elektron-pozitron jubi na'tiyjesinde a`melge asadi. Fotoeffekt penen Kompton effekti gamma nurlardin` atom elektronlari menen soqlig`siwinda ju`z berse, elektron-pozitron jubi gamma-kvanttin` atom yadrosi menen ta'sirinde ju`z beredi ha'm joqari energiyalarda bul protsess kese-kesimi artadi.

4.3. Alfa nurlaniwshi yadrolardin` qa`sietleri

Alfa-idiraw yadroliq ku'shler ta'sirinde barliq saqlaniw nizamlarinin` orinlaniwi menen payda boladi. Alfa bo`leksheler qa'siEtlerin u`yreniw zaryadi  $Z=2$ , massa sani  $A=4$ , baylanis energiyasi  $E=28 \text{ MeV}$ , spini  $I=0$ , magnit momenti  $\mu=0$  bolg`an jalan`ash geliy atomi Ekenligin ko`rsetti.

Ta`big`iy radioaktivlik alfa-idiraw tek periodli sistemanin` aqirindag`i $Z>82$ Vismuttan keyin jaylasqan awir element izotoplarında baqlanadi. Jasalma ra`wishte nuklonlar sani $A=140-160$ araliqta jatiwshi redkozemel elementlerinde de alfa aktiv izotoplar payda etiledi.

Alfa-idirag`an yadro zaryadi  $\Delta Z=2$ , massa sani  $\Delta A=4$  ke kemeedi, periodli sistemada eki kletka alding`a jiljiydi:



Alfa-idiraw protsessi energetikaliq ta`repte mu`mkin boliwi ushin mina sha`rt orinlaniwi lazim:

$$M(A, z) > M(A-4, z-2) + M({}^4_2 He)$$

yag`niy da`stlepki ana yadronin` massasi (energiyasi) tuwindı yadro ha'm alfa-bo`lekshe massa(energiya)lari qosindisidan u`lken boliwi kerek.

Energiyalar ayirmasina α -idiraw energiyası E_α delinedi. Idiraw energiyasi bo`leklerge ( $\alpha$ -bo`lekshe ha'm tuwindi yadrolarg`a) kinetikaliq energiya beriwge jumsaladi.

$$E_\alpha = [M(A, z) - M(A-4, z-2) - M({}^4_2 He)]c^2 = T_\alpha + T_{h,ya}$$

Bul jerde, $T_\alpha + T_{h.ya.}$ -lar α -bo'lekshe ha'm tuwindi yadrolar kinetikaliq energiyalari bolip esaplanadi.

Eger idirawshi yadrog'a salistirg'anda tinish halda $M(A,Z)=0$ bolsa, alfa bo'lekshe (p_α) ha'm tuwindi yadro ($p_{h.ya.}$) impul'slar ten'liginen α -bo'lekshe ha'm tuwindi yadrolar tepki energiyasin aliwi mu'mkin;

$$\begin{aligned} \vec{p}(A,z) &= p_\alpha + p_{h.ya} \\ \vec{p}(A,z) &= 0 & \left| \vec{p}_\alpha \right| &= \left| \vec{p}_{h.ya.} \right| \\ M_\alpha T_\alpha &= M_{h.ya.} T_{h.ya.}; & T_{h.ya.} &= \frac{M_\alpha}{M_{h.ya.}} T_\alpha \end{aligned}$$

usi sha'rtten;

$$\begin{aligned} E_\alpha &= T_\alpha + T_{h.ya.} = T_\alpha + \frac{M_\alpha}{M_{h.ya.}} \cdot T_\alpha = \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_{h.ya.}}\right) \cdot T_\alpha ; \\ T_\alpha &= \frac{M_{h.ya.}}{M_a + M_{h.ya.}} \cdot E_\alpha \end{aligned}$$

Tap sonday;

$$T_{h.ya.} = \frac{M_a}{M_a + M_{h.ya.}} \cdot E_\alpha$$

Solay etip, α -idiraw energiyasi E_α nın' tiykarg'i bo'limi bo'lekshe kinetikaliq energiyasina, azg'ana ($\sim 2\%$ ke jaqin) bo'legin g'ana tuwindi yadro tepki energiyasina jumsar eken.

$$\text{Misali; } {}^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{208}_{81}\text{Tl} + \alpha$$

Idirawda, $E_\alpha=6,203 \text{ MeV}$ joqaridag'i formulalarg'a sa'ykes,

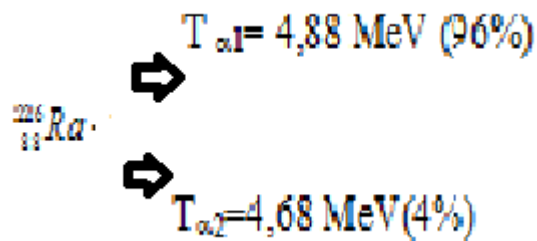
$$\begin{aligned} T_{h.ya.} &= \frac{M_a}{M_a + M(Tl)} \cdot E_\alpha = \frac{4}{4 + 208} \cdot 6,2 \text{ MeV} = 1,117 \text{ MeV} \\ T_a &= \frac{208}{4 + 208} \cdot 6,2 \text{ MeV} = 6,08 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Alfa-idirawshi yadrolar boyinsha ta'jriybe juwmaqlari:

1) Ko'p g'ana yadrolardan shig'iwshi α -bo'leklsheler energiyasi monoxromatikaliq boladi.

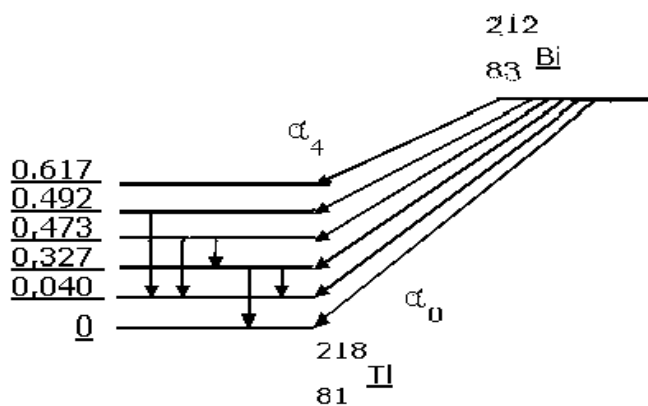
2) Ayrim hallarda energiyalari bir-birine jaqin bolg'an bir neshe monoxromatikaliq α -bo'leklsheler shig'aradi, Bug'an α -idirawdın' na'zik strukturasi delinedi.

Misali;



Qawsırma ishinde α -bo'leksheler intensivligi payız esabında keltirilgen.

Alfa ıdırawdın` na`zik strukturası da`slepki ıdırawshı ana yadronın` tuwindı yadro oyang`an halına ıdırawı sebepli payda boladı. Tuwindı yadro tiykarg`ı halına oyang`an halınan gamma-kvantlar shig`arıw menen o`tedi (4.1-su`wret).

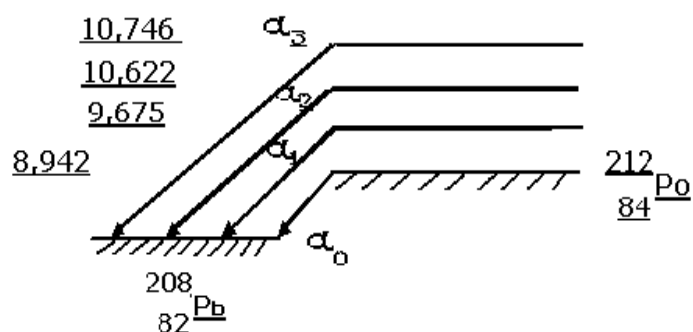


4.1 -su`wret.

Alfa spektri na`zik strukturali tuwindi yadronin` oyang`an hallari ha`m energiyalarin, yag`niy ıdıraw sxemasin anıqlawg`a imkaniyatin beredi.

Alfa spektrinin` na`zik strukturasında α_0 -energiyasi ıdıraw ma`nisine sa`ykes kelse, qalg`an  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ - bo'leksheler energiyalari sa`ykes ra`wishte oyaniw energiya siyaqli kishi boladi.

Bazi hallarda alfa ıdırawshı ana yadronin` oyang`an halınan tuwindi yadro tiykarg`ı halına ıdırawı menen ju`z beriwi mu`mkin. Bul alfa bo'leksheler kinetikalıq energiyasi oyaniw energiyasi siyaqli u`lken boladi. Bunday alfa-bo'leksheler uzaq waqıt shig`ariwshı alfa-bo'leksheler dep ataladi (4.2-su`wret).



4.2-su`wret

Bunda; α_1 , α_2 , α_3 lar α_0 –dan o'yaniv energiyalarinin` birazinin` energiyalari optikaliq boladi. Uzaq shig`ariwshi  $\alpha$ -bo`leksheler idirawshi yadronin` idiraw sxemasin aniqlaw imkaniyatini beradi.

3) Alfa bo`leksheler intensivligi energiyasina baylanisli bolip, energiyasi artiw menen intensivligi keskin artip baradi.

4) Alfa tabig`iy radioaktiv izotoplardan shig`iwshi α -bo`leksheler energiyalari  $4 \text{ MeV} < T_\alpha < 9 \text{ MeV}$  aralig`inda boladi. Bul yadrolardin` yarim idiraw da`wirleri $T_{1/2}$, bolsa $3 \cdot 10^{-6}$ sekundtan $< T_{1/2} < 5 \cdot 10^{15}$ jil aralig`inda boladi. Alfa bo`lekshelerdin` kinetikalik energiyalari qatnasi 2,5 ma`rte o`zgerse, yarim idiraw da`wirleri qatnasi 10^{24} ma`rtebe o`zgeradi. Biraq sonday u`lken parq boliwina qaramastan alfa idiraw da`wiri menen energiyasi arasindag`i baylanis bar. Alfa bo`leksheler energiyasi 1 % ke kemeyse, yarim idiraw da`wiri 10 ma`rte asadi, Eger energiya 10 % ke kemeyse, yarim idiraw da`wiri 2-3 ta`rtipke o`zgeradi. Ta`jriybe na`tiyjelerine tiykarlanip bul baylanisti 1911-1922-jillar Geyger-Xettollar aniqlag`an.

$$\lg \lambda = A \lg R_\alpha + B$$

Bul jerde; λ -idiraw turaqlisi, A, B –turaqli sanlar (radioaktiv sem`yalarg`a sa`ykes bolg`an o`zgermes san),  $R_\alpha$ -  $\alpha$ -bo`lekshenin` hawada ushiw aralig`i.

Alfa bo`lekshenin` hawada ushiw aralig`i kinetikalik energiyasi arqali  $R_{sm} = 0,3 T_\alpha^{3/2} \text{ MeV}$  aniqlanadi. Ol halda bul ten`leme;

$$\lg \lambda = A \lg T_\alpha + B$$

ko`riniste jazamiz.

Bul ten`leme, yag`niy Geyger-Xettol formulasinin` a`hmiEti sonda, uzaq jasawshi alfa idirawshi yadrolardin` yarim idiraw waqtin an`sat o`lshew mu`mkin bolmag`an yadrolarda bul yadrolardan shig`ip atirg`an ko`lem energiyasi, ekinshi α -bo`lekshelerdin` kinetikalik energiyasina sa`ykes idiraw waqtin aniqlaw mu`mkin.

5) Alfa idiraw energiyasi massa sanina baylanisli bolip, massa saninin` artiw menen energiyasi asip baradi, bul o`zgeriste eki maksimum ma`nisi ushiraydi: biri $A=145$ da, ekinshisi $A=212$ de.

Alfa energiyasinin` massa sani  $A$  artiw menen artip bariwin tamshi modeline sa`ykes Kulon energiyasi artiw menen baylanis energiyasinin` kemeyip, massasinin` artip bariwin tusindiriw mu`mkin. Yag`niy da`slepki yadroda tuwindi yadrog`a qarag`anda zaryadi u`lken, Kulon energiyasi u`lken, baylanis energiyasi kishi, massasi bolsa artip bara beredi. Alfa bo`leksheler energiyasi artip bariwin salistirma baylanis energiyasina sa`ykes tu`sintiriw mu`mkin. Salistirma baylanis energiyasin massa sanina baylanisli grafiginen ko`rinip turg`anday, ju`da` awir yadrolarg`a $5,5$ MeV tuwri keledi. Bul degen so`z, awir yadrodan bir proton yamasa bir neytrondi ajratip aliwi ushin yadrog`a $5,5$ MeV energiya beriw kerek boladi.

4.4. Veta nurlaniw ha`m onin` payda boliw sha`rtleri

Radioaktiv yadro β -idiraw sebepli qon`si izobar yadrog`a aylanadi. Vetta-idirawda yadro zaryadi $\Delta Z \pm 1$ ge o`zgeredi, massa sani  $A$  o`zgermeydi. Vetta-idiraw energiyasi 18 keV dan 17 MeV g`a shekem bolip, ba`rshe yadrolarda ushraydi. Vetta-bo`lekshenin` aniq elektron Ekenligine $\beta \equiv e$ to`mendegi ilmiy da`lillerdi keltiriw mu`mkin:

a) β^- - bo`lekshe zaryadi, massasi, spini, magnit momenti elektrong`a ten`;

g) β^+ - bo`lekshe atom qabiq elektronlari menen annigillyatsiya beredi;

$\beta^+ + e \rightarrow \gamma + \gamma$ (annigillyatsiyalaniwdi tek antibo`leksheler g`ana payda etedi);

k) Veta- idiraw atom qabiq elektronlarin yadro ta`repien qamtip aliw menen de boladi.

n) Veta-bo`lekshe elektron siyaqli Pauli printsipine boysinadi, yadrodan shig`iwshi β -bo`lekshe atom qabig`inda toqtap qalmaydi, a`lbette, atomnan sirtqa shig`ip ketedi.

Solay etip, aytiw mu`mkin,  $\beta$ -bo`lekshe aniq elektron eken.

Ekinshi ta`repten  $\beta$ -bo`lekshe yadroda tayar halda bar emes. Yadro proton ha`m neytronlardan ibarat. eger yadroda  $\beta$ -bo`lekshe bar delinse, Ol halda yadronin` spin ha`m magnit momentlerin tu`sindirip bolmaydi. Bunnan tisqari, energiyasin da tu`sindirip bolmaydi. Haqiyqattan da impuls ha`m koordinata aniq emesligi printsipine tiykarlanip;

$$\Delta p \Delta r \geq \hbar$$

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta r} = \frac{10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}}{10^{-12} \text{ sm}} = 10^{-15} \frac{\text{erg} \cdot \text{s}}{\text{sm}}$$

$$T = \Delta p \cdot c = 10^{-15} \frac{\text{erg} \cdot \text{s}}{\text{sm}} \cdot 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{sm}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ erg} =$$

$$= 3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-6}} \text{ MeV} = 20 \text{ MeV}$$

β -i' diraw energiyasidan u' lken bolip ketedi.

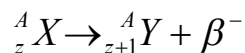
Juwmaqlap aytiw mu'mkin, β -bo'lekshe yadroda tayar halda bar emes, idiraw waqtinda g'ana payda boladi.

Yadroda β - idiraw protsessin yadrodag'i nuklonlardin' o'z-ara almasiwshi, yag'niy protonlardin' neytronlarg'a yamasa neytronlardin' protonlarg'a almasiwi sebepli dep qaraw kerek. Veta- idiraw nuklonlar almasiwina sa'ykes protsess bolip esaplanadi. β -bo'leksheler deregi nuklonlar boladi. Yadrodan sirttag'i erkin neytronnin' yarim idiraw da'wiri 13 min. Usi da'wirde ol proton ha'm veta-bo'lekshege idiraydi, yadro ishinde protonda β -idirawdan payda boladi.

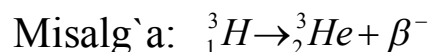
Soni bo'lip aytiw mu'mkin, erkin neytron $n \rightarrow p + \beta^-$ - boyinsha β idiraydi eken. Bul idiraw yadro ha'm elektromagnit ku'shleri sebepli dep bolmaydi, sebebi yadro ku'shleri qisqa araliqta ta'sirlesiw qa'sietine ie bolg'ani ushin erkin neytrong'a ta'sir etpeydi, neytron zaryadsiz bolg'ani ushin elektromagnitlik ku'shlerde ta'sir etpeydi. Demek, veta-idiraw basqa ku'shler, yag'niy ku'shsiz ta'sirlesiw dep ataliwshi ku'shler sebepli ju'z beredi.

Veta- idirawdin' u'sh tu'ri ushraydi: β^- idiraw, β^+ - idiraw idiraw ha'm e-jutiliw.

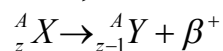
1. β^- idiraw yadroda neytronlar artiqsha bolsa, $n \rightarrow p + \beta^-$ idiraydi. Bunin' menen;



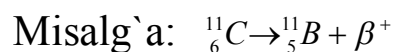
zaryadi birge asadi.



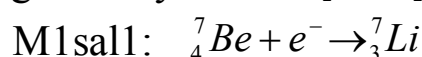
2. Eger yadroda protonlar artiqsha bolsa, $p \rightarrow n + \beta^+$ idiraydi. Bul waqitta



zaryadi birge kemeyedi.



3. Atom qabig'indag'i elektrondi yadro jutip aliwi $e^- + p \rightarrow n$, bunin' menen yadro zaryadi birge kemeyewi $e^- + {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY$ mu'mkin.



Elektronnin` jutiliw itimallig`i atom qabig`inin` yadrog`a en` jaqin jaylasqan K-qabiq elektronlari ushin en` u`lken shamag`a iye. Bul protsesste rentgen nurlari ha`m shetki qabiqtag`i elektronlardin` (Oje elektronlar) shig`iwi baqlanadi.

4.4.1 Veta- ıdırawlarda energiya qatnaslarin tusindiriw.

1. Joqarida bayan qiling`anınday,  $\beta^-$  ıdırawda yadro zaryadi birge artadi. Sonın` ushin da`slepki yadro massasi  $M(A, Z)$  yadro  $M(A, Z+1)$  ha`m elektron massasi m_e den u`lken boliwi kerek;

$$M(A, Z) > M(A, Z+1) + m_e$$

A`ldette yadro massasi emes, atom massasi qollaniladi. Sonın` ushin ten`lemenin` ha`r eki ta`repine Zm_e massani qossaq atom massasi payda boladi;

$$M_{at}(A, Z) > M_{at}(A, Z+1)$$

β^- ıdıraw energiyasi elektronlar baylanis energiyalarin esapqa almag`anda da`slepki ha`m tuwindi atomlar massalari ayirmasina ten` boladi;

$$E_{\beta} = [M_{at}(A, Z) - M_{at}(A, Z+1)]c^2$$

2. β^+ - ıdırawda yadro zaryadi birge kemeyedi. Sog`an sa`ykes;

$$M(A, Z + 1) > M(A, Z) + m_e$$

Atom massalari menen ko`rsetiw ushin $(Z+1)m_e$ qossaq;

$$M_{at}(A, Z+1) > M_{at}(A, Z) + 2m_e$$

β^+ -ıdıraw energiyasi;

$$E_{\beta^+} = [M_{at}(A, Z+1) - M_{at}(A, Z) - 2m_e]c^2$$

Tuwindi yadro atomında bir elektron kemeyedi ha`m ja`ne bir elektron ıdırawi lazim, sonın` ushin da`slepki yadro tuwindi yadrodan en` keminde  $2m_e = 1,02 \text{ MeV}$  energiya artiq boliwi sha`rt.

3 Elektron jutiliwda, qabiqtag`i elektronlar yadro ta`repinen jutiladi, sonın` menen yadro zaryadi birge kemeyedi;

$$e^- + M(A, Z + 1) > M(A, Z)$$

Atom massalari menen ko`rsetiw ushin Zm_e qossaq;

$$M_{at}(A, Z+1) > M_{at}(A, Z)$$

Elektronnin` jutiliw energiyasi;

$$E_e = [M_{at}(A, Z+1) - M_{at}(A, Z)]c^2$$

Energetikalıq sha`rtlerden ıdıraw energiyasi  $1,02 \text{ MeV}$  tan u`lken bolg`anda  $\beta^+$  ha`m e_k ha`diyseleri bir waqıtta ju`z beriwi ko`rinip turipti. ıdıraw energiyasi  $1,02 \text{ MeV}$  tan kishi bolg`anda, tek elektron jutiliw boladi, Eger $1,02 \text{ MeV}$ ten qanshelli joqari bolsa, β^+ ıdıraw protsessi

elektron-jutiliw protsessi menen sonshellı ku'shli ba'sekege tusedi. Bul protsesslerdin` itimallig`i ω nın` qatnasi yadronin` zaryadına da baylanisli. $\omega_{ek}/\omega_{\beta}^+$ qatnas berilgen idiraw energiyasında Z tin` artıwı menen artıp baradı. Jen`il ha'm orta yadrolarda β^+ -idiraw itimallig`i u`lken, sebebi qabıqtag`i elektronlardin` yadroǵa tusiw itimallig`i kishi, yadro zaryadı o`siwı menen qabıq jaqınlasadı, qabıqtag`i elektronlardin` yadroǵa tusiw itimallig`i  $\omega$ -yadro ko`leminin` atom elektronlar qabıqları ko`lemi qatnasına ten`,

$$\omega = \left(\frac{R}{r_0} \right)^3$$

Bul jerde R-yadro radiusi $R=10^{-12}-10^{-13}$ ak sm, r_0 -atom qabıq radiusi $r_0=10^{-8}-10^{-10}$ sm.

Bunnan ko`rinip turıptı, awır yadrolarda R o`sıp bara beredi, elektron qabıq radiusi r_0 kishiredi, bul bolsa elektronnin` jutiliw itimallig`in keskin asıradı.

4.4.2.Veta-turaqlılıq sha`rti ha'm ıdıraw tu`rlerin tusindiriw.

Veta- ıdırawda yadro zaryadı o`zgeredi, massa sanı o`zgermeydi, yag`niy izobar yadrolar ishinde en` u`lken baylanis energiyasına ie bolǵan yadro  $\beta$  – ıdırawǵa salıstırǵanda turaqlı, qalg`anları bolsa radioaktiv boladı.

Belgili, baylanis energiyası massası menen to`mendegishe baylanisqan,

$$M = Zm_p + (A - Z)m_n - \Delta E_{bog},$$

ΔE_{bai} - energiyası ushin Veytzekker formulasına qoysaq;

$$M = Zm_p + (A - Z)m_n - \alpha A + \beta A^{2/3} + \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} + \xi \frac{\left(\frac{A}{2} - Z \right)^2}{A} - \delta A^{-3/4} \quad (4.4)$$

(4.4) formuladan ko`rinip turg`anınday, yadro massası M, yadro zaryadı Z^2 –baylanista bolıp, grafıǵı parabola sizig`in beredi. İzobar yadrolar ( $A=\text{const}$ ) ishinde  $\beta$ -turg`ınlıq sha`rti baylanis energiyasının` maksimum, massasının` en` minimum ma`nisine sa`ykes keledi. Sonin` ushin  $A=\text{const}$  dep o`zgeriwshi Z ke salıstırǵanda M nin` maksimum ma`nisi alıw kerek, buning` ushin (4.4) ten`likten Z boyınsha tuwindisin alıp, ekstrium ma`nisi tabamız.

(4.4) formulada 5 ha'm 6 ag`zalar (Kulon ha'm simmetriyalıq energiyalarına sa`ykes keliwshi) Z ke baylanisli;

$$\gamma Z^2 A^{-1/3} + \xi \frac{(A-2Z)^2}{A} = 0$$

$$\gamma Z^2 A^{-1/3} + \xi \frac{A^2 - 4AZ + 4Z^2}{A} = \gamma Z^2 A^{-1/3} + \xi A - 4Z\xi + 4Z^2 \xi \frac{1}{A} = 0$$

tuwindi alsaq,

$$2\gamma Z A^{-1/3} - 4\xi + 8\xi Z \frac{1}{A} = 0$$

oni A g'a ko'beytsek,

$$2\gamma Z A^{2/3} - 4\xi A + 8\xi Z = 0$$

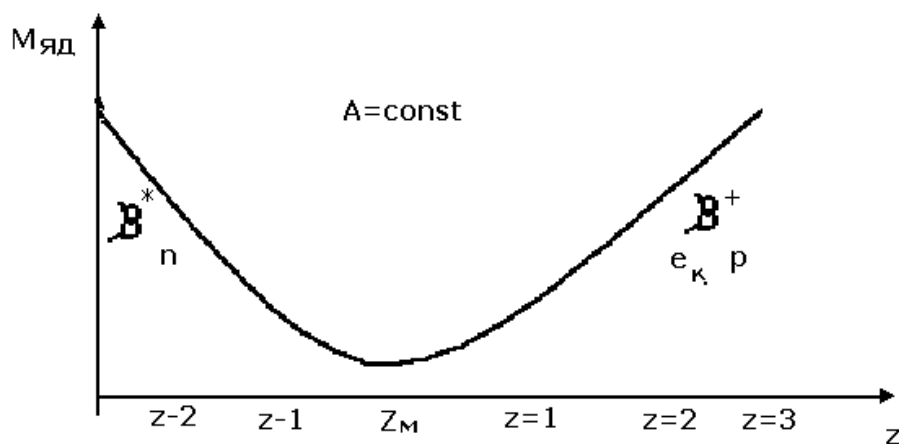
$$Z(\gamma A^{2/3} + 4\xi) = 2\xi A$$

$$Z = \frac{2\xi A}{\gamma A^{2/3} + 4\xi} = \frac{A}{2 + \frac{\gamma A^{2/3}}{2\xi}} \quad (4.5)$$

$\Upsilon=0,510$ MeV, $\xi=23,5$ MeV ma'nisin itibarg'a alsaq (4.5) formula

$$Z = \frac{A}{2 + \frac{0,710}{23,7} A^{2/3}} = \frac{A}{2 + 0,015 A^{2/3}} \quad (4.6)$$

(4.6) formula β -turaqlilik sha'rtin an'latadi. $Z=Z_m$ ten'lik zaryad dep ataladi. A sanli izobarlarda zaryadi $Z > Z_m$ bolsa, bul yadrolarda protonlar artiq bolip, neytron ushiraspaytug'in yadrolar esaplanadi. Bul yadrolar $p \rightarrow n + \beta^+$, β^- yamasa e_k joli menen zaryadin kemeyttirip ten' salmaqliqqa umtilsa, $Z < Z_m$ yadrolarda bolsa, neytronlar sani artiqsha bolip, protonlar turaqli boladi. Bul taraw yadrolar $n \rightarrow p + \beta^-$, β^- idiraw menen zaryadlarin arttirip ten' salmaqliq halg'a kele baslaydi (4.3-su'wret).



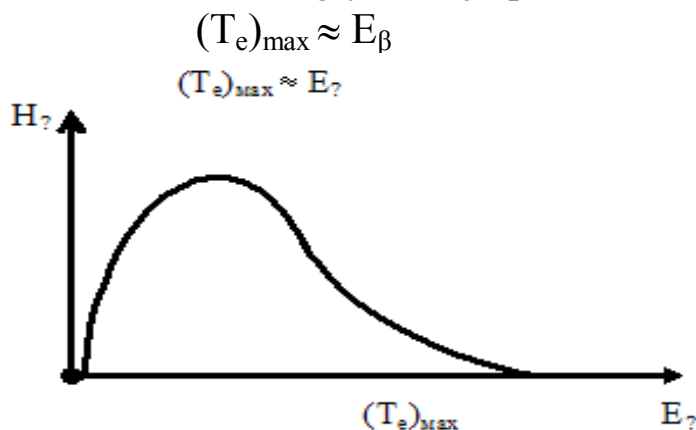
4.3- su'wret

Veta-idirawshi yadrolardin' taq-jup boliwina sa'ykes parabola sizig'i bir-birine salistirg'anda jiljig'an boladi. Jup-jup yadrolarda baylanis energiyasi u'lken bolg'ani ushin parabola sizig'i en' pa'ske jiljig'an boladi.

Veta turaqli haldan uzaqlasip ketse $Z_m > Z$ β -idirawshi neytron artiq yadrolarda neytron ıdırawı, $Z_m < Z$ proton artiq β^- , e_k -idirawshi yadrolarda proton idirawı mu'mkin.

4.4.3. Veta-spektr ha'm neytrino.

Veta- ıdırawda alfa- ıdırawdag'ı siyaqli veta-bo'leksheler spektri diskret ha'm monoenergetikaliq boliwi kerek edi. Biraq veta – radioaktiv idirawlarda payda bolg'an veta-bo'leksheler spektri uzliksiz ekenin ko'rsetedi(4.4-su'wret). Veta-bo'lekshelerdin' maksimal kinetikaliq energiyasi $(T_e)_{\max}$ veta-idiraw energiyasina jaqin boladi.



4.4-su'wret

Veta-idirawda shig'iwshi β -bo'leksheler energiyasi uzliksiz bolip, energiyasi nol'den $E_{\max}$ ge shekem boladi. Da'slepki ha'm tiyisli yadrolardin' energiya qa'ddileri diskret bolip, bul qa'ddileri arasinda payda boliwshi β -bo'leksheler energiyalari u'zliksiz boliwi bul protsesste energiya saqlanbaslig'in ko'rsetedi. β -idirawda spektrdin' u'zliksizligin tu'sindiriw ushin turlishe boljawlar qilindi.

Misali:

1) β -idirawda yadronin' oyang'an qa'ddilerine idiraydi, oyang'an haldan gamma-kvantlar shig'ariw menen tiykarg'i qa'ddige o'tedi dep qaraydi. Bul tuwri emes, ko'p g'ana yadrolardan gamma-kvantlar uliwma nurlanbaydi.

2) Ekinshisi, β -idirawda payda bolg'an bo'leksheler energiyasinin' bir bo'legi atomda jutiladi dep qaraladi. Bul boljawdi aniq o'lshewler tastiqliydi.

Veta-idirawda spektrdin' uzliksizligi 1931 jili Shvetsariyalıq V.Pauli β -idirawda β -bo'leksheden basqa ja'ne bir bo'lekshe shig'iwı ha'm idiraw energiyasi bul eki bo'lekshe ortasında bo'listiriletug'inlig'in boljaw qildi. β -idirawda shig'iwshi ekinshi

bo'lekshe zaryadsiz $Z=0$ boliwi, tinish qa'ddilerde massasi nol' boliwi, sebebi β^- spektr maksimum energiyasi β^- idiraw energiyasina ten', spini $1/2$ yamasa $3/2$, magnit momenti de nol' yamasa nol'ge jaqin, ta'sirlesiw kesimi $\sigma=10^{-44} \text{ sm}^2$ boliwi lazim. Bul bo'lekshege neytrino dep at berildi.

Neytrino zaryadsiz, massasiz bo'lekshe bolg'ani ushin bul bo'leksheni baqlap yamasa ustap bolmaydi.

Neytrino ushin ortalikta erkin ushiw aralig'i,

$$l = \frac{1}{n\sigma} = \frac{1}{10^{22} \text{ sm}^{-3} \cdot 10^{-44} \text{ sm}^2} = 10^{22} \text{ sm} = 10^{17} \text{ km}$$

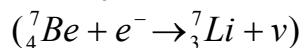
Yadro suyiqlig'inda;

$$l = \frac{1}{n\sigma} = \frac{1}{10^{38} \text{ sm}^{-3} \cdot 10^{-44} \text{ sm}^2} = 10^6 \text{ sm} = 10 \text{ km}$$

Neytrinin' tinishliqtag'i massasi β -spektrge sa'ykes aniqlanadi. Neytrino massasi ha'm β -spektr maksimum energiyalari ayirmasina ten'. Ta'jriybe na'tiyjeleri neytrino massasinin' joqari shegarasi $m_\nu < 35 \text{ eV}$ bolip, elektron massasinan 15 000 ma'rtebe kishi ekenligin ko'rsetedi.

Ko'p g'ana laboratoriyalardag'i keyingi o'lshevwler neytrino massasi $14 < m_\nu < 46 \text{ eV}$ shegarada ekenligin ko'rsetedi.

Veta-idirawda neytrino barlig'in tastiylawshi ta'jriybelardi o'tkiziwdi A.İ.Alixanov, A.İ.Alixanyanlar



${}^6\text{Be}$ nin' e_k -idiraw protsessinde neytrinin' Li yadrosina bergen tepkisin o'lshewdi usinis etti. Bul idirawda idiraw energiyasi;

$$E = [M_{at}({}_4^7\text{Be}) - M_{at}({}_3^7\text{Li})]c^2 = [7,01916 - 7,01824] \cdot 931,4 \text{ MeV} = 0,864 \text{ MeV}$$

Idiraw energiyasi $E_\beta = 0,864 \text{ MeV}$, demek, β^+ -idiraw energetikalik ta'repten mu'mkin emes, tek g'ana elektron jutiliw boliwi mu'mkin. Neytrino massasi β -spektrge sa'ykes aniqlansa, bar joqlig'i impul'ske sa'ykes aniqlanadi.

Demek, ${}^6\text{Be}$ –elektron idiraw protsessinde neytrino shig'adi ha'm tuwindi yadro ${}^6\text{Li}$ g'a tepki beredi.

Impul'stin' saqlaniw nizamina sa'ykes;

$$|p_\nu| = |p_{Li}| = \sqrt{2M_{Li} \cdot T_{Li}}$$

Tuwindi yadro ${}^6\text{Li}$ din' alg'an kinetikaliq energiyasi;

$$T_{Li} = \frac{p_{Li}^2}{2M_{Li}} = \frac{p_\nu^2}{2M_{Li}} = \frac{E_\nu^2}{2M_{Li}c^2} = \frac{E_\nu^2}{2M_{Li}c^2} = \frac{(0,864 \text{ MeV})^2}{2 \cdot 7 \cdot 931 \text{ MeV}} = 57 \text{ keV}$$

Eger ${}^7\text{Li}$ tepki energiyag'a ie bolip, tepki energiyasi 57 keV a'tirapinda bolsa, β -idirawda neytrino barlig'i tastiylanadi, basqa halda neytrino gipotezasi natuwri bolip esaplanadi.

Bul ta`jriybeni 1957 jılı Amerikalı alım Allen o`tkizdi ha`m  ${}^7\text{Li}$  din' tepki energiyası  $T({}^7\text{Li})_t = (56,7 \pm 1,0) \text{ eV}$  ekenligin aniqladı. Bunin` menen β - ıdırawda β -bo`leksheden basqa neytrino shıg`ıwın ta`jriybede tastıyıqladı.

Tikkeley neytrinonı anıqlaw u`lken quwatqa iye bolg`an yadro tezletkishleri payda bolg`annan keyin a`melge asırıladı. Awır yadrolarda neytronlarg`a salıstırg`anda optikalıq boladı. Bul yadrolar izbe-iz β - ıdırap turaqlı halg`a o`te baslaydı. Ha`r bir ıdıraw waqtında antineytrino da shıg`adı. Awır yadrolar ha`r bir bo`liniw waqtına 5-6 antineytrino tuwrı keledi.

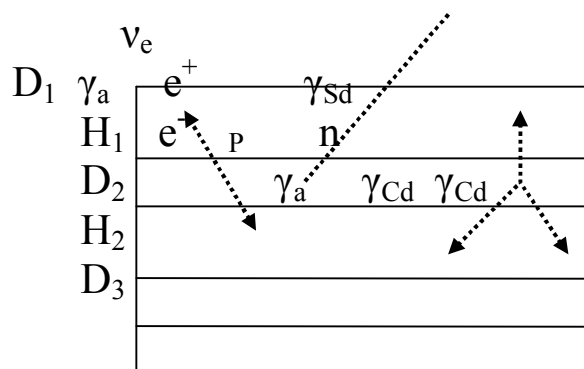
AQSH 1ı Reynis, Koelar 1934-1936 jillarda antineytrinonin` kosmos nurlarında bolıw kerekligin boljadı. Olar veta-idirawda neytrino payda bolsa, kerı protsesste de bolıwı kerek dep;

$$\bar{\nu} + p \rightarrow n + \beta^+ \quad (4.7)$$

reaktsiyadan paydalandı. (4.7) reaktsiya bolıwı ushin antineytrino energiyası 1,8 MeV tan u`lken bolıwı kerek, sebebi  $n+e^+$  lar p-massasınan ju`da` u`lken.

Qurılma N_1 ha`m  $N_2$  bak diywallar menen ajratılǵ`an u`sh  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  –bak detektorlardan du`zilgen(4.5-su`wret).  $N_1$  ha`m N_2 bak qalın`lıg`ı 6 sm Ol duzlı eritpe menen aralastırılǵ`an suw D_1 , D_2 , D_3 -detektorlar suyıqlıq sintillyatorlardan ibarat boladı.

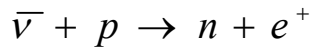
Sintillyatsiyalıq suyıqlıq ko`lemi ishinde 190 dana fotoelektron ko`beyttirgish ja`rdeminde baqlanadı. Qurılmanı sırtqı neytron ha`m gamma-fotonlardan saqlaw ushin sistema qorg`asınlı parafin qutishag`a jaylastırılǵ`an ha`m polat qaplama menen jawılıp, jer astına shuqirliqqa tu`sirilgen boladı.



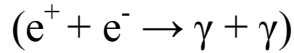
4.5-su`wret

Ta`jriybe to`mendegishe o`tkeriledi. Antineytrino deregi sıpatında sekundına  $10^{18}$ - $10^{19}$  dana antineytrino ag`ımın беретug`ın yadrolıq

tezletkish xizmet etedi. Bak-nishanag'a kelip tu'sken antineytrino, nishana protonı menen



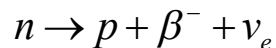
reaktsiya boyinsha ta'sirlesse, neytron ha'm pozitron payda boladı. Pozitron 1 sm a'trapindag'ı aralıqtı 10^{-9} s ta o'tip elektron menen annigillyattsiyalanadı,



ha'm eki γ_2 gamma-foton payda etedi. Fotonlar sa'ykesleniw sxemag'a jalg'ang'an D_1, D_2, D_3 -detektorlarda o'lsenedi.

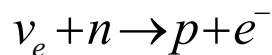
Neytron bolsa suwda izbe-iz soqlig'isiw na'tiyjesinde o'z energiyasin kemeytirip Kadmiy yadrosinda jutiladi. Kadmiy yadrosi oyang'an haldan uliwma energiyasi 10 MeV ke shekem bolg'an bir neshe γ_{Cd} gamma-fotonlar shig'arip tiykarg'i halg'a o'tedi. γ -kvantlar da D_1, D_2, D_3 -detektorlarda esapqa alinadi. Qurilma antineytrinin proton menen o'z-ara ta'sirlesiw a'steletiw arqalı ha'm neytronlar diffuziyasi waqti (1 den 25 mks qa shekem) boyinsha jıljıg'an eki impul'stin payda bolıwına sa'ykeslengen sxeması tiykarında isleydi. Qurılma 160 saat u'zliksiz islegende bir saatta ortasha $7,88 \pm 0,77$ impul'slardı baqladı. Bul antineytrino menen protonnin o'z-ara ta'sirlesiw kese-kesimi $\sigma_{\nu} \sim 10^{43} \text{ sm}^2$ ge ten' ekenligin ko'rsetedi.

Antineytrinin barlig'ı veta-ıdıraw teoriyasına tiykarlang'an. Ha'mde sonı da esletip o'tiw kerek, neytronnin;

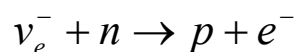


sxeması boyinsha ıdırawı onın u'sh bo'leksheden (p, β , ν) du'zilgenin ko'rsetpeydi: p, β , ν ler ıdıraw waqtında payda boladı. Bul atomnın bir energetikalıq haldan basqasına o'tkende foton shashrawına uqsaydı. Atomda «tayar» foton bolmag'anınday, neytron ishinde «tayar» bo'leksheler joq.

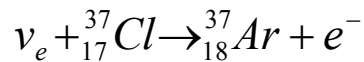
Neytrino menen antineytrino birdey emesligin 1956 jilda R.Devis o'z ta'jriybelerinde da'lilledi. Haqiqattan, neytrino menen antineytrino birdey bolsa;



Siyaqli;



reaktsiya da baqlanar edi. R.Devis u'lken ko'lemdegi to'rt Xlorlı Uglerod antineytrino ag'ımında nurlandırılıp, uzaq gu'zetiwlér dawamında;



reaktsiya na`tiyjesinde birde bir  ${}^{37}\text{Ar}$  payda bolmag`anin ko`rsetti. Ha`zir neytrino-antineytrino juplig`inin` basqa tu`rleri de bar. Joqarıda biz ko`rgen elektron-neytrino ha`m elektron-antineytrinolarıdan basqa ja`ne mion-neytrino ha`m mion-antineytrinolar 1962 jilda tabıldı. Olar  $\pi^+$  ha`m π^- - mezonlardin`  $\mu^+$  ha`m μ^- - mezonlarg`a bo`lekleniwi na`tiyjesinde boladı.

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

1970 jilda awır τ -leptonnin` bo`liniwi na`tiyjesinde bolatug`ın neytrino ha`m antineytrinin` u`shinshi tu`ri ashıldı;

$$\tau^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$$

τ -leptonnin` massasi biraz awır ( $m_\tau c^2 = 1,9 \text{ GeV}$ ) proton massasınan derli eki ese u`lken, ol ıdırawda mion ha`m adronlar (awır bo`leksheler) payda boladı;

$$\tau^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \bar{\nu}_\tau$$

$$\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$$

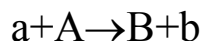
$$\tau^+ \rightarrow \bar{\nu}_\tau + \text{adronlar.}$$

$$\tau^- \rightarrow \nu_\tau + \text{adronlar.}$$

V BAP. YADROLIQ REAKCIYALAR

5.1 Yadrolıq reaksiyanın` bolıw sha`rtleri

Bo`lekshelerdin` bo`leksheler menen, bo`lekshelerdin` yadrolar menen, yadrolardin` yadrolar menen yadro masshtabında intensiv ta`sirlesiwı yadrolar du`zlisin o`zgertiwge alıp kelse, onda yadro reaksiyaları a`melge asqan boladı. Yadro reaksiyasında energiya, impul`s yadroda qayta bo`listirilgen boladı. Reaksiyalar ku`shli, elektromagnit, ku`shsiz ta`sirlesiwlerge sa`ykes a`melge asiwi mu`mkin. Reaksiyalar zaryadlı, zaryadsız bo`leksheler, fotonlar ta`sirlesiwlerine sa`ykes boladı. Barlıq reaksiyalar saqlanıw nizamlarınin` orınlanıwı menen bolıp o`tedi;



Eger ko`p kanallı bolsa;

$$a + A = \begin{cases} -B + b \\ -C + c \\ -D + d \end{cases}$$

Reaksiya kanallari shıg`ıw itimallarına sa`ykes olarg`a ruqsat etilgen yamasa sheklewlerge sebep bolatug`ın kvant xarakteristikaların anıqlaw imkaniyatın beredi.

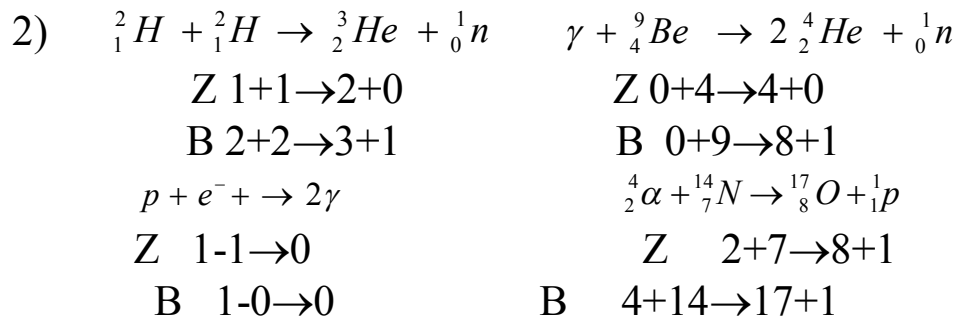
Yadro reaksiyalarında saqlanıw nizamları tolıq orinlang`anlig`ı reaksiyada qatnasıp atırg`an bo`leksheler yamasa yadrolar xarakteristikaların joqarı anıqlıqta anıqlaw imkanın beredi (misalı: impul`sı, zaryadı, juplıg`ı h.t.b..).

Yadro reaksiyaları ta`sirlesiw energiyasına, reaksiyanı ju`zege keltirip atırg`an bo`lekshenin` turine, qa`sietlerine ha`mde yadronin` massasına, reaksiyanın` barıw mexanizmine, reaksiya energiyasına h.t.b.g`a qarap xarakterlenedi.

Reaksiyag`a kirisip atırg`an bo`lekshelerdin` turine qarap reaksiyalardı, zaryadlı bo`leksheler, γ -fotonlar reaksiyalari dep ataladı.

Ta`sirlesiw mexanizmi ko`z qarasınan reaksiyalar eki klassqa: kompaund yadro payda qılıw ha`m o`z-ara ta`sirli reaksiyalarg`a bo`linedi.

- 1) Barlıq yadro reaksiyalarında zaryad sanı ha`m nuklon(barion)lar sanı saqlanadı.



2) Energiya ha'm impul's saqlanadı. Yadro reaksiyaların tuyıq sistema dep qaraw mu'mkin, sebebi atom qabig'ı 10^{-8} sm, yadro o'lisheminen (10^{-13} sm) uzaqta ha'm ximiyalıq baylanis energiyasınan u'lken, qısqa aralıqta ku'shli ta'sirlesiwshi nuklonlar arasındag'ı ta'sirlesiwden sheksiz kishi. Tuyıq sistemada energiya ha'm impul's saqlanadı.

$$\begin{array}{l}
a+A \rightarrow B+b \\
m_a c^2 + M_a c^2 + T_a + T_A = m_b c^2 + M_B c^2 + T_b + T_B \\
E_1 + T_1 = E_2 + T_2 \quad K = E_1 - E_2 = T_2 - T_1
\end{array}$$

Bul jerde;

$$E_1 = m_a c^2 + M_a c^2, \quad E_2 = m_b c^2 + M_B c^2$$

tinish hal massalarına tuwri keliwshi energiyalar.

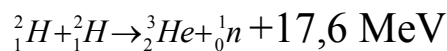
$$T_1 = T_a + T_A, \quad T_2 = T_b + T_v - \text{kinetikalıq energiyaları.}$$

Q-reaktsiya energiyası.

$$Q=0 \text{ elastikalıq shashılıw } T_1 = T_2.$$

Eger $Q>0$ bolsa, $T_2>T_1$ –ekzoenergetikalıq reaktsiya. $T_2>T_1$ bolıp, bunda tinish hal energiyası ha'reket energiyasına aylanadı. Ekzoenergetikalıq reaktsiyada bo'lekshe yadro tosig'in jen'ip yadrog'a kire alsa jeterli.

Misalı:

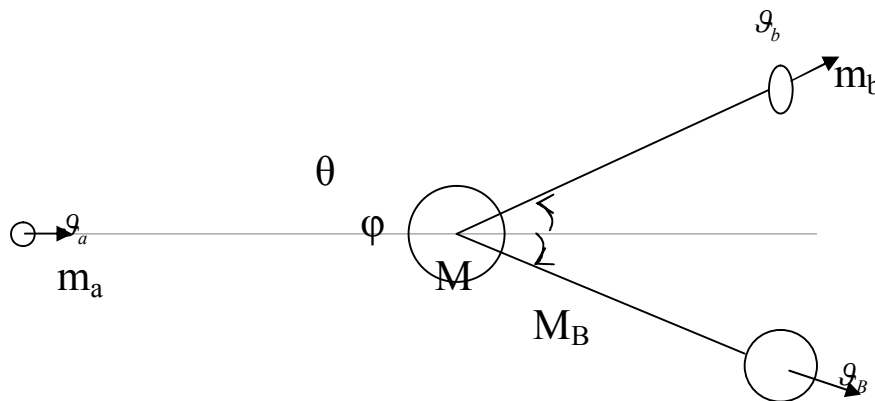


$Q<0$ bolsa, $T_2<T_1$ endoenergetikalıq reaktsiya bo'lekshe kinetikalıq energiyası esabınan tinish halının energiyası artadı. Reaktsiyag'a kiriwshi bo'lekshelerdin tolıq impul'si reaktsiyag'a kiriwshi bo'lekshelerinin tolıq impul'sine ten' boladı (5.1-su'wret).

$$p_a + p_A \rightarrow p_B + p_b$$

A'dette $p_A=0$ boladı (laboratoriya sistemasına sa'ykes). Sonın ushın

$$\begin{array}{l}
p_a \rightarrow p_B + p_b \\
\frac{m_a g_a^2}{2} = \frac{m_b g_b^2}{2} + \frac{m_B g_B^2}{2} - Q
\end{array}$$



5.1-su`wret

$$m_a g_a = m_b g_b \cos \phi + m_B g_B \cos \theta$$

$$0 = m_b g_b \sin \phi - m_B g_B \sin \theta$$

Endotermikalıq reaksiyada tu'sip atırg'an bo'lekshe kinetikalıq energiyası bo'lekshenin` tinishliqdag`ı energiyasına aylanadı eken, tu'sıwshı bo'lekshenin` kinetikalıq energiyası reaksiya energiyasınan u'ken bolıwı kerek.

Laboratoriya sistemasına $p_A=0$ sebepli, nishana-yadro ha'm bo'leksheden ibarat sistemanın` tolıq impul'sı bo'lekshenin` impul'sine ten`;

$$p_A=0 \quad p_a+p_A=p_a \neq 0$$

Demek, bo'lekshe ha'm nishana-yadro laboratoriya sistemasında xa'rekette boladı. onın` inertsıya orayinin` impul'sı,

$$p_1=(m_a+m_A) g = p_a = m_a g$$

Kinetikalıq energiyası,

$$T_1 = \frac{1}{2} (m_a+m_A) g^2 = \frac{p_1^2}{2(m_a+m_A)} = \frac{p_a^2}{2(m_a+m_A)} = \frac{m_a^2 g_a^2}{2(m_a+m_A)} = \frac{m_a}{(m_a+m_A)} T_a$$

Bo'lekshenin` kinetikalıq energiyası-  $T_a$  artıwı menen onın` belgili bir ma'nisinen baslap endotermikalıq reaksiya protsessi baslanadı. Bul ma'niske endotermikalıq reaksiya bosag`ası delinedi. Jaqarıdag`ı formulag`a tiykarlanıp, bo'lekshe kinetikalıq energiyasınin` T_1 -bo'legi sistemanin` kinetikalıq energiyasına aylanadı, qalg'an bo'legi bolsa yadro ha'm bo'lekshelerden ibarat sistemani qozg`alis energiyasına yag`niy, reaksiya energiyasına jumsaladı;

$$|Q| = T_a - T_1 = T_a - T_a \frac{m_a}{(m_a+m_A)} = T_a \frac{m_A}{(m_a+m_A)}$$

Bul- reaksiya bosag`ası delinedi;

$$T_{a_{ost}} = \frac{m_a+m_A}{m_A} |Q| = \left(1 + \frac{m_a}{m_A}\right) |Q|$$

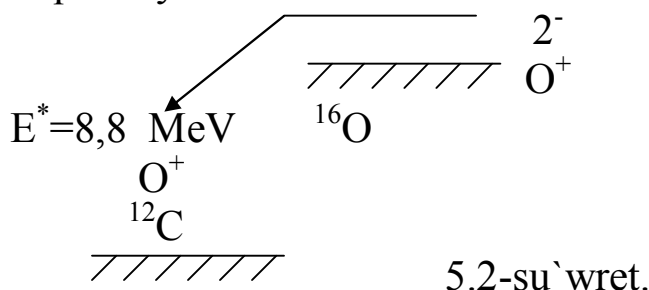
Reaktsiya bosag'ası ma'nisi boyınsha ha'mme waqıt reaktsiya energiyası Q dan u'iken.

Biraq ko'p hallarda nishana-yadro massası— m_A bo'lekshe massasına salıstırg'anda u'iken boladı $m_A \gg m_a$, bunday halda, $T = |Q|$ boladı. Fotonlar menen bolatug'ın endotermikalıq reaktsiyada $T = |Q|$ - g'a ten' sebebi, foton ushin $m_a = 0$. Bosag'a energiyası jen'il yadrolarda u'iken, awır yadrolarda kemeyip baradı.

4) Yadro reaktsiyalarında tolıq moment ha'm bir ko'sherge proektsiyaları saqlanıw kerek;

$$\bar{I}_1 = \bar{i}_a + I_A + \bar{l}_{aA} = \bar{i}_b + I_B + \bar{l}_{bB} = I_2$$

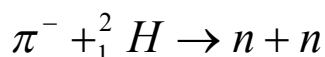
Misalı: 2-halda $^{12}\text{C}(0^+)$ g'a (5.2-su'wret) itimallıg'ı ju'da' kishi, sebebi spin saqlanbaydı.



4) Ku'shli ha'm elektromagnitlik ta'sirlesiw menen bolatug'ın yadro reaktsiyalarida juqlıq saqlanadı.

$$p_a p_A (-1)^{I_{aA}} = p_b p_B (-1)^{I_{bB}}$$

Misalı;



Bul reaktsiyadan deytron spini ha'm juqlıg'ı $I^\pi = I^+$; π^- mezon juqlıg'ında anıqlaw lazı. π^- -mezon plastinkag'a tusip a'stelesip deyteriy orbitasında jutıladı. K-orbitada jaylasıp deytron menen reaktsiyag'a kirisedi. Solay etip reaktsiyag'a shekem da'slep spinler qosındısı $I_\sigma^\pi = 1$ deytron spinine g'ana ten'.

Reaktsiyag'a shekem tolıq juqlıq π^- -mezon ${}^2_1\text{H}$ – deytronlar juqlıqları ko'beymesine ten'.

$$\pi_q = \pi_\pi * \pi_{{}^2_1\text{H}}$$

Deytron ${}^2_1\text{H}$ –proton, neytronları baylanısqa halda S-halda bolg'anlıg'ı ushın juqlıg'ı $\pi_{{}^2_1\text{H}} = 1$ juq boladı. Reaktsiyadan keyin eki neytron payda bolsa, bul baylanispag'an tek birdey bo'leksheler bolg'anı ushın tolqın funktsiyaları antisimmetriyalı bolıwı kerek.

Bul eki neytron 1s , 1d halda tura almaydı, bul jag`dayda tolqın funksiyları simmetriyalı bolıp qaladı.  $^3p$  halda bolsa spinleri 0,1,2(qosındı spini 1) bolıwı mu`mkin.

Solay etip, eki neytron p-hal menen xarakterlense juplıg`ı taq, demek reaksiya aqırında juplıq $\pi_0=-1$.

Solay etip π -mezon juplıg`ı taq eken.

5) Ku`shli ta`sirlesiw menen keshetug`ın yadro reaksiyalarında izotoplıq spin saqlanadı (basqa ta`sirlesiwlerde saqlanbaydı).

$$T_a + T_A = T_b + T_B$$

Izotoplıq invariantlıq orinlanadı.

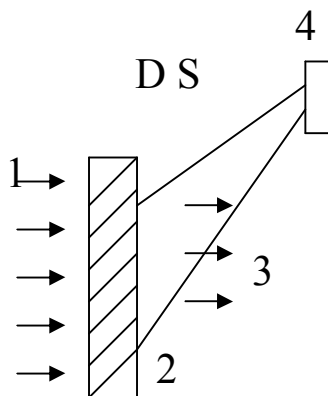
5.2.Yadro reaksiyalari kesimi.

Yadro reaksiyalari kesimi bo`lekshelerdin` yadrolar menen soqlıg`ısıw itimallıg`ı, yag`nıy reaksiya itimallıg`ın xarakterleydi. Reaksiyalar itimallıg`ı tusip atırg`an bo`leksheler ag`ımına baylanıslı,

$$W = \sigma N$$

Bul jerde N ag`ım birlik betten waqıt birliginde o`tiwshi bo`leksheler sanına baylanisli. Eger juqa nishana-plastinka alsaq, tusip atırg`an bo`leksheler ha`mme yadrolar menen birdey jag`dayda ta`sirlesedi.

Ta`jriybe sxemasi 5.3-su`wrette keltirilgen.



5.3 -su`wret

(1 –tu`sip atırg`an α -bo`lekshe, 2 – nishana yadro, 3 – reaksiyada na`tiyjesinde bolg`an yadro, 4 –detektor)

Nishanadag'ı yadrolar tıg'ızlıg'ı tu'sip atırg'an bo'leksheler ag'ımı (yag'niy tusip atırg'an bo'leksheler da'stesine tik o'tkizilgen birlik maydannan birlik waqıtta o'tip atırg'an bo'leksheler sanı $n_a v_n$ (n_a –tusip atırg'an bo'lekshelerdin' tıg'ızlıg'ı, v_n - olardin' tezligi) bolsın.

Ol halda 5.3-su'wrettegi sheksiz kishi dS maydannan bir sekuntta o'tip atırg'an bo'leksheler sanı tusip atırg'an bo'lekshelerdin' ag'ım tıg'ızlıg'ı ha'm nishandag'ı yadrolar sanı anıqlanadı:

$$dN = d\sigma \cdot n_a \cdot g_n \cdot nV$$

Bunnan

$$d\sigma = \frac{dN}{n_a * g_n * nV}$$

Bul jerde V-nishananın' ko'lemi, dV-proporsionallıq koeffitsienti. Bul koeffitsient tusip atırg'an bo'leksheler ag'ımına da, nishanadag'ı yadrolar sanına da baylanışlı bolmasta, bo'lekshelerdin' yadrolar menen bolatug'ın ayrim ta'sirleniw elementar aktlarının' mug'darlı xarakteristikasin an'latadı ha'm effektiv kesim delinedi.

dσ- ni fazalıq mu'esh elementke bolıp, differentsial effektiv kesim alamız;

$$\sigma = \int d\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \frac{\Delta N}{n_a * g_n * nV}$$

Bul jerde, ΔN -juqa nishanadan ushıp shıg'atug'ın ha'm 5.3-su'wrette ko'rsetilgen u'sh turdegi (tu'sip atırg'an, o'tip atırg'an ha'm shashrap atırg'an) bo'lekshelerdin' toıq qosındısı.

İntegral kesim reaksiyanın' barıw intensivligin xarakterleydi.

Joqarıdag'ı formuladan σ- o'lshew birliği bet birligine ten' ekenligi kelip shıg'adı;

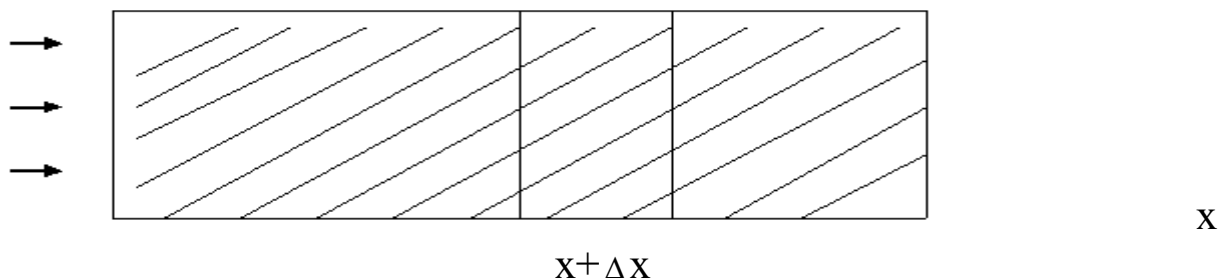
$$[n] = \text{bo'lekshe} / m^3; \quad [g_n] = m / s;$$

Ulıwma halda σ-reaktsiya protsessinin' mu'g'darlı xarakteristikasi boıp, reaksiyanın' barıw protsessin bildiredi.

α bo'lekshenin' A-nishana yadro menen soqlıg'ısıw protsessinde B-yadro menen b-bo'lekshenin' payda bolıw itimallıg'ı usip atırg'an ag'ım tıg'ızlıg'ı $n_1 v_1$ -g'a proporsional;

$$W = \sigma n_1 v_1$$

d-qalın'lıqtag'ı nishana neytral bo'leksheler menen atqılansın (5.4-su'wret).



5.4-su`wret.

Bo`leksheler da`stesine perpendikulyar jaylasqan birlik maydang`a birlik waqıtta tusip atırg`an bo`leksheler sanı (ag`ım tıg`ızlıg`ı yamasa intensivligi) N - bolsa, dx qalın`lıqta sanı $N-dN$ boladı. (kemeedi)

Eger tıg`ızlıg`ı ρ_0 bolg`an zattın` birlik massadag`ı yadrolar sanı  $n_0$  bolsa nısxannın` dx -qalın`lıqdag`ı yadrolar sanı $n = n_0 \rho_0 dx$ da`stenin` pa`seyiwi

$$N = n_0 \rho_0 dx$$

$-\frac{dN}{N} = \sigma n_0 \rho_0 dx$ integrallasaq $N = N_0 e^{\sigma n_0 \rho_0 x}$, bul jerde $n = n_0 \rho_0$ N_0 bolsa $d=0$ bolg`andag`ı intensivligi. Kub santimetr ko`lemdegi makroskopikalıq kesim;

$$\Sigma = N \sigma$$

Bul jerde, N -1sm³ tegi yadrolar sanı.

$$N = \frac{\rho N_a}{A}$$

Bul jerde, ρ -tıg`ızlıq (g/sm³), N_a -Avogadro sanı, A -atom massası.

5.3 Yadro reaksiyalarının` shıg`ıwı.

Yadro reaksiyalarının` shıg`ıwı degende belgili bir fizikalıq jag`dayda eksperimental qurılma ja`rdeminde ha`r bir reaksiya aktına sa`ykes esapqa alınatug`ın bo`leksheler sani tusiniledi.

Eger juqa nishanag`a tusip atırg`an bo`leksheler ag`ımının` tıg`ızlıg`ı  $N$  ( $N = n_a v_a$ ), nıshananın`-1m² maydanındag`ı yadrolar sanı  $N_s$ , bo`lekshelerdin` jutıw ha`m shashraw kesimi σ_i bolsa, ol jag`dayda sol juqa nishannin` birlik betinen ju`z беретug`ın reaksiyalar sanı $P_i = \sigma_i N_s N$, boladı. Tusip atırg`an bo`lekshelerdi, ag`ım tıg`ızlıg`ına bo`lsek, juqa nishana ushin reaksiya shıg`ıwı  $Y_i = \sigma_i N_s$  boladı. 1m<sup>3</sup> ko`lemdegi atomlar sani maydani 1m², qalın`lıg`ı

1m bolg'an nishanadag'i yadrolar sanina ten' ekenligine, ha'mde maydani 1 m² bolg'an X-qalin'liqtag'i nishanada

$$N_s = \frac{\rho_0 x}{A} * 6,02 * 10^{26} \text{ yadro/m}^2$$

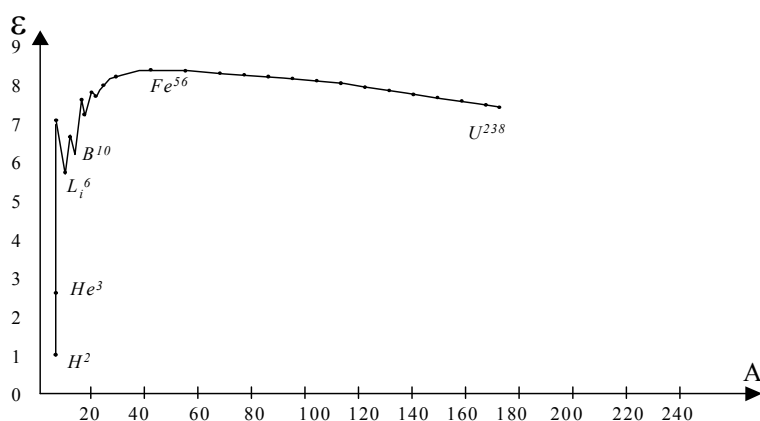
Yadroda barlig'in esapqa alsaq, reaksiya shig'ıwı

$$Y_i = \frac{\sigma_i \rho_0 x}{A} * 6,02 * 10^{26}$$

boladı. ρ_0 - nishana zatının' tıg'ızlıg'ı, A-bolsa atom massası.

5.4 Awır yadrolardın' bo'liniwi. Shınjırlı reaksiya.

Ayırım awır elementlerdin' yadroları bo'leklerge bo'liniwi mu'mkin. Yadro bo'lingende eki ush neytrondı, gamma nurların ha'm a'dewir energiya bolıp shıg'aradı. Yadronın' ishki energiyasının' ajıralıp shıg'ıwı mu'mkin bolg'an jolların anıqlaw ushın salıstırmalı baylanıs energiyasın massalıq sang'a baylanısın sıpatlaytug'ın (5.5-su'wret) grafikten analiz etiwge dıqqat awdaramız.



5.5-su'wret

Bul grafikten ko'rinedi jen'il elementler' 2_1H , 3_1H , 3_2He ha'm basqalarda baylanıs energiyası salıstırmalı az. Bul jerde salıstırmalı baylanıs energiyası 7 Mev/nuklon bolg'an geliy 4_2He esapqa alınadı. Da'wirli sistemanın' ortasındag'i $A \approx 35$ ten' $A \approx 140$ qa shekem bolg'an elementler en' u'lken salıstırmalı baylanıs energiyasına iye. Bunda ol 8-8,5 Mev nuklong'a iye. Yadrolardın' massaları ja'nede u'lkenligi bolg'an elementlerge salıstırmalı baylanıs energiyası 7 Mev nuklong'a shekem kemeyedi. Bul jerden birden yadronın' ishki energiyasının' ajıralıwının' eki usılı kelip shıg'adı.

1) u'iken massalı yadrolar jen'il massalı yadrolardan, ma'selen Geliy, ha'm Tritiy yadrolarınan payda boladı;

2) Massalıq sanı $A=200$ bolg'an yadrolar massalıq sanı ju'zge jaqın bolg'an ten' bo'lekshelerge bo'linedi. Birinshi su'wrettegi grafik tiykarında a'piwayı bahalaw sanın ko'rsetedi, birinshi usılda ajıralatug'ın energiya ha'r bir nuklong'a 4 Mev ke jaqın, ekinshisinde 1 Mev ke jaqın boladı.

Tariyxqa na'zer taslasaq XX-a'sirdin' 40-jıllarında yadrolardıń bo'liniw reaktsiyası a'melge asırılǵ'an ha'm onnan shama menen 15 jıl keyin yadrolardıń birigiw reaktsiyası a'melge asırılǵ'an. Tariyxıy izbeizlikke a'mel etip, a'dette da'slep uran yadrolardıń bo'liniw reaktsiyası qarap shıǵıldı. Uran yadrolardıń bo'liniw nemets ilimpazları O. Gan ha'm F. Shtrassman ta'repinen 1938-jılı ashılǵ'an edi. Olar urandı neytronlar menen bombordirovkalang'anda da'wirli sistema orta bo'legindegi Bariy, Kripton ha'm basqa elementlerdin' payda bolatug'ınlig'ın taptı. Biraq bul faktti o'zine neytrondı qosıp alg'an Uran yadrosının' bo'liniw retinde durıs tusindiriw angliya fizigi O. Frish ha'm avstriya fizigi A. Mitner ta'repinen 1949 jildin' basında berildi. Yadronı bo'leklew mu'mkinligi, awır yadronın' tınıshlıq massası bo'liniwinde payda bolatug'ın bo'leklerdin' tınıshlıq massalarınin' qosındısınan u'ikenligi menen tusindirledi. Sonın' saldarınan bo'liniw menen birge o'tetug'ın tınıshlıq massasının' azayıwına ekvivalent bolg'an energiya bo'linip shıǵadı. Bul waqıtta tolıq massa saqlanadı. Sebebi u'iken tezlik penen qozǵalıwshi bo'leksheler, olardıń tinishliq massag'a ie boladı. Awır yadrolardıń bo'liniw reaktsiyası yadrolardı qozdırıw halında g'ana payda bolıwın, bunın' ushın yadronı qandayda bo'lekshe menen atqılawımız kerek. Bul maqsette neytrondı paydalanıw ne ushın qolaylı ekenligin bilip almız. Neytron elektr zaryadına iye emesligi, onın' yadro ishine kirip barıwın an'satlastıradı, ha'm artıqsha energiya beredi. Ma'selen Uran yadrosının' $^{235}_{92}\text{U}$ izotopı u'y temperaturasında neytronlardın' jıllılıq qozǵalıwshınin' ortasha tezligi menen sa'ykes keletug'ın (10^5 m/s qa jaqın) neytronlardı jutıp, olar ta'sirinde bo'lekshelerge bo'linedi.

1940 jılı K.A.Petrjak ha'm G. N. Flerovlar Uran yadrolarının' o'z-o'zinen bo'liniwın anıqladı. Bul ha'diyse ju'da' kem ushırasadı. Bir gramm Uranda bir saatta 25 ke jaqın bo'liniw bolıp o'tedi. Negizinde, bir gramm Uranda $N=6,029 \cdot 10^{23}/238=2.59 \cdot 10^{23}$ yadro bolg'anı ushın Urannın' o'z-o'zinen bo'liniw itimalı $\lambda=20^{-20}$ saat⁻¹ ge ten', yarım ıdıraw da'wiri bolsa $T_{1/2}=89 \cdot 10^5$ jılǵ'a ten' boladı. Urannın' o'z-o'zine

bo'liniw itimallig'ı ju'da' kem bolsada Urannin' o'z-o'zinen ıdırawg'a iye bolıw qa'siyetinin' o'zi yadro energetikasında ju'da' a'hmiyetke iye. Sonın' ushında Uranda ba'rqulla ju'da az bolsada erkin neytronlar boladı. Olar bo'liniw reaktsiyasın baslap beredi. Uran $^{236}_{92}\text{U}$ yadrosı bo'lingende bo'linip shıg'atug'ın energiyanı tikkeley o'lsheuler keltirilgen pikirlerdi tastıyqladı ha'm ≈ 200 Mev shamani beredi. Sonın' menen birge usı energiyanın' ko'pshilik bo'legi (168 Mev) bo'leklerdin' kinetikalıq energiyasına tuwra keledi.

Yadrolar bo'lingende bo'linip shıg'atug'ın energiya yadrolıq emes, al elektrostatalıq shıg'ısqa iye. Bo'leklerge iye bolatug'ın u'lken kinetikalıq energiya olardag'ı kulonlıq iytirisiw na'tiyjesinde payda boladı.

Salıstırmalı baylanıs energiyası grafigin analizlegende Uran yadrosının' shama menen eki ten' bo'lekke bo'liniwinde ha'r bir nuklon esabınan 1 Mev ke, al ha'r bir yadro esabınan 200 Mev ke jaqın energiya ajıralıp shıg'adı.

Bul energiyanı janılg'ı jang'anda ajıralıp shıg'atug'ın energiya menen salıstıramız. 1 kg Uran – 235 tin' bo'liniwinde

$$\Delta E_{\text{yad}} = \frac{200 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{0,235} \text{Mev} = \frac{200 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^3}{0,235} \text{Dj} = 8,2 \cdot 10^{13} \text{Dj}$$

energiya ajıralıp shıg'adı.

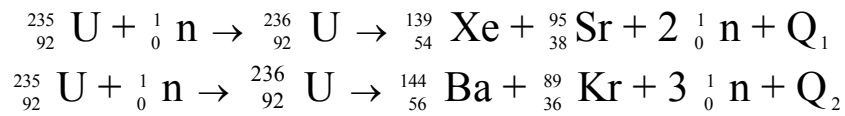
1 kg ko'mir jang'anda bolsa $2,9 \cdot 10^5$ Dj, yag'nıy 28 mln ma'rte kem energiya ajıralıp shıg'adı. Mine bul mag'lıwmat yadrolıq energetikasının' abzallıg'ın ko'rsetedi.

Bunda tiykarg'ı mashqala uzliksiz uzaq waqıt reaktsiya hasıl etip turıw ushin neytronlardı qay jerden aliw kerekligi haqqında. Bul mashqalani sheshiw ushin misal sıpatında massaları **3:2** qatnasınday bo'lekshelerge bo'lingen Uran yadrosın ko'rip shıg'ıw mu'mkin. Bunday bo'liniw itimallıg'ı en' jaqın ha'diyse ekenligin ta'jiriybeler ko'rsetedi. To'mendegige iye bolamız:



Lekin bul elementlerdin' izotoplarinin' yadrolarında neytronlardın' sanları salıstırmalı kemirek: Ksenonın' izotoplarinin' massalıq sanları 129, 151, 152 ha'm 154 ke, al Strontsiydiki bolsa 86, 87 ha'm 88 ge ten'. Demek, Uran yadrosinin' bo'liniwinde payda bolg'an bo'lekshelerde neytronlar artıqsha, sonın' ushin olar turaqlı boladı. Na'tiyjede Uran yadrosının' bo'lekshelerge bo'liniw protsessinde bir

neshe on gegaelektronvol't kinetikalıq energiyag'a iye bolg'an eki-ush erkin neytronlar ajıralıp shıg'adı. Sonın' ushın urannın' bo'liniw reaktsiyası to'mendegi ko'riniste boladı.



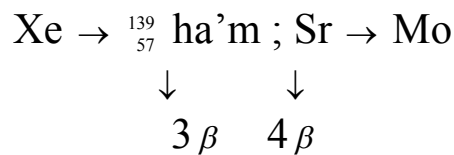
Bunda Q_1 ha'm Q_2 – reaktsiya waqtında ajralıp shıg'atug'ın energiyalar ($Q_1 \approx Q_2 \approx 200$ Mev).

Joqarıda bayan etilgenlerden to'mendegi juwmaqlardı shıg'arıwg'a boladı.

a) Bo'liniw reaktsiyasında erkin neytronlar sanı artıp baradı. Baslang'ısh yadro ta'repinen jutıp alıng'an bir atqılanıwshı neytron esabına 2-5 erkin neytron payda boladı. Bul shinjirli yadrolıq reaktsiyasın a'melge asırıw ushın jol ashıp beredi.

b) Yadro bo'leksheleri turli massalarg'a iye boladı ha'm D. İ. Mendeleev elementlerdin' da'wirli sistemasının' orta bo'limlerinde jaylasqan elementlerdin' izotoplarına tiyisli boladı. Bul yadronın' ishki energiyasının' bir bo'liminin' ajralıp shıg'ıwına sebebshi boladı. Ma'selen bir yadro bo'liniwinde 200 Mev energiya ajralıp shıqsa ol jag'dayda onın' 160 Mev bo'lekshelerinin' kinetikalıq energiyası 8 Mev ke jaqın gamma nurlanıw energiyası 6 Mev qa jaqın ekilemshi neytronlardın' energiyası ha'm 25 Mev ke jaqın bo'lekshelerdin' radioaktiv ıdırawının' energiyası boladı.

v) Yadroda artıqsha neytronlar boladı. Sonın' ushin neytral boladı. Olar o'zlerinen elektronlar shıg'aradı ha'm neytral yadrog'a aynaladı.



g) massası u'lken bolg'an yadrolardin' bo'liniwinde neytronlar, betta – bo'leksheler ha'm gamma kvantlar ajralıp shıqqanı ushın bul radioaktivlik nurlanıwdan turli organizimlerdi qorg'aw sharaların ko'riw za'ru'r.

Uran – 235 tin' yadrosı shar formasına ie boladı. Artıq neytronlardı jutıp, yadro qozadı ha'm sozılğ'an formag'a iye bolıp deformatsiyalana baslaydı.

Yadro, sozılğan yadronın ushlarındagı iyterilisiw ku'shleri moynındagı ta'sir etiwshi ku'shleri arta baslag'ang'a shekem soziladı. Usının ta'sirinde yadro ja'nede ko'birek sozilip eki bo'lekke bo'linedi. Kulonlıq iyterisiw ku'shlerinin ta'siri astında bul bo'leksheler jaqtılıq tezliginin otızdan bir u'lesindey tezlik penen ushıp ketedi. Yadrolıq bo'liniwdin fundamental fakti bolıp bo'liniw protsessinde eki-u'sh neytronnin shig'arlıwı esapqa alınadı. Mine, usının arqasında yadro ishindegi energiyanı praktikada paydalanıw mu'mkin boladı. Uran yadrosı bo'lingende eki-u'sh neytron bosaydı. Bul jag'day urannın bo'liniwinin dizbekli reaksiyasın a'melge asırıwg'a imkaniyat jaratadı. Bo'liniw protsessinde yadrodan ajırılıp shig'atug'ın neytronlardın qa'legeni o'z na'wbetinde bo'liniwdi keltirip shig'arıwg'a uqıplı neytronlar shig'aratug'ın yadronın buzlıwına alıp keledi. Na'tiyjede bo'liniwshi yadronın sanı og'ada tez artıp ketedi. Shinjırlı reaksiya boladı.

5.5. Neytronlardın ko'beyiw koeffitsienti.

Prutoniydin payda bolıwı.

Shinjırlı reaksiyanın ju'rıwı ushın ha'r bir neytronnın yadrolardı bo'liniwın keltirip shig'arıwı za'rurli emes. Tek, Urannın berilgen massasındagı azat etilgen neytronların ortasha sanı waqıtın o'tiwi menen kemeyiwi tiyis. Bul sha'rt neytronlardın ko'beyiw koeffitsienti k birden u'lken yamasa og'an ten bolsa orınlanadı. Neytronlardın ko'beyiw koeffitsienti dep qandayda bir a'wladtagı neytronlar sanının, onın aldındagı a'wladtın neytronların sanına aytadı. A'wlatlardın almasıwı dep yadronın bo'liniwinde eski a'wlatın neytronların jutilıp ha'm jan'a neytronlardın payda bolıwı tusiniledi.

Eger $k \geq 1$ bolsa, onda waqıttın o'tiwi menen neytronlar sanı artadı yamasa turaqlı bolıp dizbekli reaksiya a'melge asadı.

$k < 1$ bolsa, waqıttın o'tiwi menen neytronlar kemeyedi ha'm dizbekli reaksiya mu'mkin bolmay qaladı.

Ko'beyiw koeffitsienti k nin shamasi to'mendegi to'rt sha'rt penen anıqlanadı.

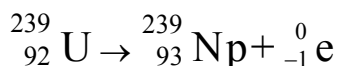
- 1) ${}_{92}^{235}\text{U}$ tin yadrolarının jay qozg'alıwshi neytronlardın qosıp alıwı ha'm kelesi bo'liniwi menen yamasa ${}_{92}^{235}\text{U}$ ja'ne ${}_{92}^{238}\text{U}$ yadrolarının tez qozg'alıwshi neytronlardı qosıp alıwı, sonday-aq, kelesi bo'liniwshi menen;

- 2) bo'linbesten uran yadrolarının` neytronlardı qosıp alıwı menen;
- 3) neytronlardın` bo'liniw o'nimleri a'steletkish ha'm qurılmanın` basqa konstruksiyalıq elementleri ta'repinen qosıp alınıwı menen;
- 4) bo'liniwshi zattan neytronlardın` sirtqa ushıp shig'ıwı menen.

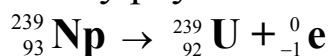
Bul joqardag'ı birinshi jag'dayda g'ana neytronlar sanının` artıwı bolıp o'tedi. Neytronlar sanının` artıwı $^{235}_{92}\text{U}$ din` bo'liniwi esabınan boladı. Al qalg'an u'sh jag'dayda neytronlardın` azayiwına alıp keledi. Taza izotop $^{238}_{92}\text{U}$ da shınjırlı reaktsiya mu'mkin bolmaydı. Sebebi bul jag'dayda ko'beyiw koeffitsienti $K < 1$. Demek bo'liniwsiz yadrolardıń jutatug'ın neytronlardın` sanı, yadrolardıń bo'liniwi esabınan payda bolatug'ın jan'a neytronlardın` sanınan artıq boladı.

Shınjırlı raktsiyanın` statsionar o'tiwi ushın neytronlardın` ko'beyiw koeffitsienti birge ten` bolıwı tiyis. Bul ten'likti u'lken da'llik penen saqlaw za'rur. Sebebi  $K=1,01$  ge ten` bolg'anda-aq, sol zamatta jarılıw boladı.

U'lken a'hmiyetke iye bolatug'ın na'rse, Urannın`  $^{238}_{92}\text{U}$  izotopı yadroları ta'repinen neytronlardın` bo'liniw ha'm neytronlardı payda etetug'inlıg'ı yamasa qosıp alınıwında emes. Qosıp aling'annan keyin yarım ıdıraw da`wiri **23** minutqa ten` radioaktiv $^{238}_{92}\text{U}$ izotop payda boladı. Idıraw elektron shig'arıw ha'm birinshi transuranlıq element - neptuniydin` payda bolıwı menen o'tedi.



O'z na'wbetinde neptuniydin` yarım idiraw da`wiri eki ku'nge shamas ha'm β -radioaktivli qa'sietke iye. Neptuniydin` idirawi waqtında kelesi element plutoniy payda boladı



Plutoniy salıstırmalı da'rejede turaqlı. Sebebi onın` yarım idiraw da`wiri on jıl shamasında.

Plutoniydin` en` a'hmiyetli qa'sieti ol, izotopında, jay qozg'aliwshi neytronlardın` ta`siri astında bo'linedi. Sonlıqtan plutoniydin` ja'rdemi menen og'ada u'lken mug'darda energiya bo'linip shig'atug'ın dizbekli reaktsiyanı iske asırıw mu'mkin. Ta'biyiy urannın` tiykarg'ı bo'limin, yag'niy uran quraydı. Bul urannın` yadro janılg'isi sipatında paydalanıp bolmaydı. Sonlıqtan yadro energetikasınin` jaqın keleshekтеgi en` a'hmiyetli waziypalarınin` biri a'dettegi reaktorlardan reaktor ku'sheyttirgishke o'tiw bolıp esaplanadı. Olar tek g'ana elektr deregi bolıp xızmet etip qoymay sonın` menen birge «plutoniy fabrikası»

bolipta xizmet etedi. Urandi plutoniyg'a aylandiriv menen reaktorlar «yadro janilg'isi» ka'rxanasin keskin ko'beytip beredi. Yadro energetikasinin keleshegi qa'wipsizligi menen, sonday-aq «yadro janilg'isinin» shegaralang'anlig'i ha'm yadro energiyasinin jan'a dereklerin qidirip tabiw menen baylanisli. Ekilemshi neytronlar sani biremshi neytronlar saninan artiq boliwi 2 fakti uran ha'm plutoni da shinjirli yadro reaksiyasin a'melge asiriwg'a mu'mkinshilik beredi. Bunday reaksiya yadro reaktorlarinda ha'm atom bombalarinda payda boladi.

5.6 Termoyadroliq sintez reaksiyasi

Salistirma baylanis energiyasinin massa sanina baylanislig'inan belgili, jenil yadrolardin qosiliwi na'tiyjesinde ju'z беретug'in sintez reaksiya ekzotermikaliq bolip, bul reaksiyalardan bir g'ana nuklong'a tuwra keliwshi ajralg'an energiya awir yadrolardin bo'liniwinde ajralg'an energiyadan biraz u'lken boladi. Jen'il yadrolardin qosilip sintez reaksiyasin a'melge asiriwi ushin on' zaryadli eki atom yadrosin bir-birine jaqinlastiriw, olar arasindag'i kulon iyteriliw ku'shin jen'iw lazim. Zaryadlari Z_1e ha'm $+Z_2e$ bolg'an eki yadro arasindag'i kulon tosig'i biyikligi

$$U_{kul} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi E_0 R_{12}} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi E_0 r_0 A^{1/3}} = 1,2 \frac{Z_1 Z_2}{A^{1/3}} MeV$$

ne ten' boladi. $R_{12}=R_1+R_2$ - yadrolar arasidag'i araliq, R_1, R_2 – birinshi ha'm ekinshi yadro radiusi.

Kulon potentsial tosig'in jen'iwge jeterli energiyag'a iye boliwi za'ru'r.

Solay etip, kinetikaliq energiyasi jeterli da'rejede u'lken bolg'an yadrolar g'ana sintez reaksiyasin payda etedi. Bunday yadrolardi (reagentlerdi) ju'da' joqari temperaturag'a shekem kizdiriw esabinan aliw mu'mkin. Eger kerekli temperatura sintez reaksiyasi protsessi payda bolatug'in bolsa, ol halda reaksiya o'z-o'zin ta'miynleytug'in boladi. Uliwma alg'anda, ku'shli qizdiriw ha'zirshe belgili bolg'an tek bir g'ana metod esaplanadi. Sonin' ushin bul metod na'tiyjesinde qilinatug'in sintez reaksiyalarin termoyadro reaksiyalari dep ataladi.

Bo'lekshenin kinetikaliq energiyasi menen temperatura arasinda to'mendegishe baylanis bar:

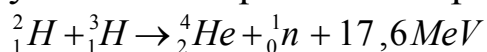
$$T(grad) = 1,16 \cdot 10^4 E(eV)$$

Misali, eki proton Kulon tosig'i sa'ykes 1 MeV qa tuwri kelse, termoyadro reaksiyasi ju'z beriwi ushin $T=1,16 \cdot 10^{10} \text{K}$ temperaturag'a shekem qizdiriwi lazim. Ol Quyash orayindag'i temperaturadan shama menen 100 ese u'lken.

Termoyadroliq sintezdi issiliq metodi arqali payda etiw mu'mkin emestey ko'rinedi. Biraq to'mendegi eki kerekli jag'daydi esapqa alsaq: birinshiden bo'lekshelerdin' energiya boyinsha bo'listiriliwi Maksvell nizamina boysinadi, yag'niy berilgen temperaturada yadrolardin' belgili bo'legi ortasha energiyadan u'lkenirek energiyag'a ie boladi, ekinshiden, Kulon potentsial tosig'inan energiyasi kishi $E < U_{\text{kul}}$ bolg'an yadrolar da tunnel effekti esabina kulon bar'erinen o'tip reaksiyag'a kirisiwi mu'mkin. Sonin' ushin ta'biyatta termoyadro reaksiyalari intensiv ju'z beredi ha'm Quyash ha'mde basqa juldizlardin' energiya deregi boladi.

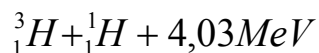
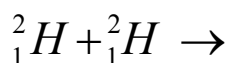
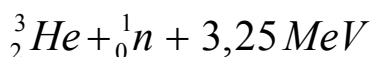
Sintez reaksiyasin reaksiyada qatnasatug'in yadrolardi tezletkishler oraminda tezlestirip keyin o'z-ara soqlig'istiriw joli menen a'melge asiriw ku'tilgen na'tiyjelerdi bermedi. Bunda tezletkish ushin jumsalg'an energiya sintez na'tiyjesinde ajralip shig'atug'in energiyadan u'lken, onnan basqa, sintez reaksiyalarinin' kesimi ionizatsiya kesiminen 8-9 ta'rtipke kishi. Sonin' ushin tezletilgen jen'il yadrolardin' en' ko'p bo'legi, sintez reaksiyasina emes ba'lki, nishana atomlarin oyatiw ha'm ionizatsiyag'a jumsaydi.

Demek, ha'zirshe termoyadroliq reaksiyasin aliw ushin deyteriy-tritii reaksiyasinan paydalaniw maqsetke muwapiq esaplanadi.



Bul reaksiyada Kulon tosig'i kishi, pa's energiyada u'lken kesimge iye boladi. Bul reaksiyanin' ha'r bir nuklong'a tuwri keliwshi energiya shig'ariwi awir yadrolardin' bo'liniwindegi 3~1 MeV.

Keleshekte deyteriy-deyteriy reaksiyasi tiykarinda sintez reaksiyasin aliw mo'lsheirlengen:

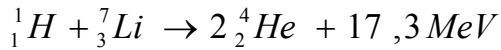
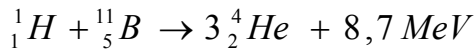


Joqaridag'i reaksiyadan bul reaksiyanin' ko'rsetkishleri bir qansha pa's, biraq bul reaksiyanin' ayirmashili'g'i' sonda, olarda tek g'ana deytronlar qatnasadi.

Deyteriydin' Jerdegi deregi tawsilmas, sebebi ol okean suwindag'i ha'mme vodorodtin' 0,015% in quraydi. 250 g suwdag'i deyteriy 1000 kg ko'mir jang'andag'i issi'liqti beredi. Okeanlardag'i suw shama

menen $1,45 \cdot 10^{24}$ kg bul bolsa $6 \cdot 10^{18}$ kg ko'mirge ekvivalent, bul bolsa Jer massasi ($6 \cdot 10^{21}$ kg) nin 10^{-3} bo'legine ten'.

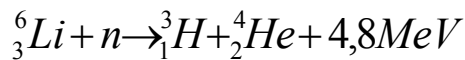
Termoyadro bo'liniw reaksiyalaridan da paydalaniw mu'mkin.



Termoyadroliq reaksiyalardan son' radiaktiv shi'g'indilar ha'm neytronlar ag'imi'nan ibarat bolg'an nurlaniw na'tiyjesinde bolmaydi.

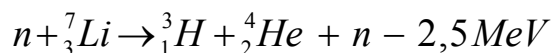
Joqarida sintez reaksiyasi tretiy ${}_1^3H$ ha'm deyteriy ${}_1^2H$ lar menen boliwi

maqsetke muwapiqlig'in ko'rsetedi. Tretiy ${}_1^3H$ radioaktiv yarim idiraw da'wiri $T_{1/2} = 12,3$ jil ta'biyiy halda ushiramaydi. Jasalma ra'wishte reaktordag'i n-lar menen ${}_2^6Li$ -di nurlandiriw na'tiyjesinde alinadi.



Sintez reaksiyasi protsessinde ${}_1^3H$ di payda etiw ushin bul deytron -tretiy reaksiyasinda payda bolg'an n-lardan paydalaniw lazim. Bunin' ushin bul reaksiyag'a sa'ykes reaktor diywallarin litiy menen orap qoyiw lazim.

Bul qaplamag'a litiy blanketi delinedi. Solay etip, (D,T) reaksiyasinda payda bolg'an n-reaktor diywallarindag'i litiy Li menen reaksiyag'a kirisip, reaktorda tretiy payda etiledi. Li ornina tiykariy Li izotopi alinsa (ta'biy halda litiydin' Li^6 52 %, Li^9 2,18 % quraydi), endotermikaliq reaksiyada



Baqlanadi.

Bul reaksiya energiyaliq ta'repten qolaysiz bolsada, neytronlardi jog'altpastan tritiy turinde aliw mu'mkin. Ta'biyatta litiy zapasi qa'legenshe jeterli, sonin' ushin aytiw mu'mkin (D,T) reaksiyalari boliwi tek g'ana deyteriy mug'darina baylanisli boladi.

Turaqli termoyadroliq reaksiyalari bar boliwi ushin plazma temperaturasi T, konsentratsiyalari birdey $4/2$ bolg'an deyteriy ha'm tritiy aralaspasidan jumis ko'lemde τ -waqitti uslap turiwi lazim, a'lbette termoyadroliq reaksiyalari ju'z berip atirg'anda ajralip shig'atug'in energiya mug'dari janilg'i aralaspasidan qizdiriw ha'm basqa israpkershiliklerge jumsalip atirg'an energiya mug'daridan artiq boliwi, bunin' ushin plazmanin' tig'izlig'i da joqari boliwi kerek.

Ko'lem birliginde sintez protsessler sani

$$N = \alpha(T) n_d n_T \tau$$

Bul jerde n_d , n_T -deyteriy ha'm tritiy konsentratsiyasi, τ –plazmani issi halda uslap turiw waqti, $\alpha(T)$ –temperatura funktsiyasi bolip, plazmada issiliq almasiwi ha'm reaksiya kesiminin` energiyag`a baylanislig`in an`latadi.

Bir sintez waqtinda K energiya ajralsa, τ –waqit ishinde ko`lem birligindegi  $K_N$  energiya ajraladi. Bul issiliq energiyadan alinatug`in elektr energiya:

$$W_{el} = \eta Q N = \eta Q \alpha(T) n_D n_T \tau$$

Bunda, η - paydali jumis koefitsienti bolip, bir energiyani (issiliq) ekinshi (elektr) tu`r energiyag`a aylandiriw koefitsienti dep te ataladi.

Plazmani qizdirg`anda to`mendegi energiya jumsaladi:

$$W_{issiq} = 2 \frac{3}{2} k(T) (n_D + n_T)$$

Bul formuladag`i  $k$  koefitsient plazmadag`i ionlar ha'm elektronlar barlig`in esapqa aladi.

Termoyadro reaksiya ekzotermik boliwi ushin ajralg`an energiya u`lken boliwi, yag`niy  $W_{el} > W_{is}$  boliwi kerek. Bul bolsa  $\tau$ -ge baylanisli. Joqaridag`i formulalardan

$$\tau > \frac{3kT(n_D + n_T)}{\alpha(T)\eta Q n_D n_T}$$

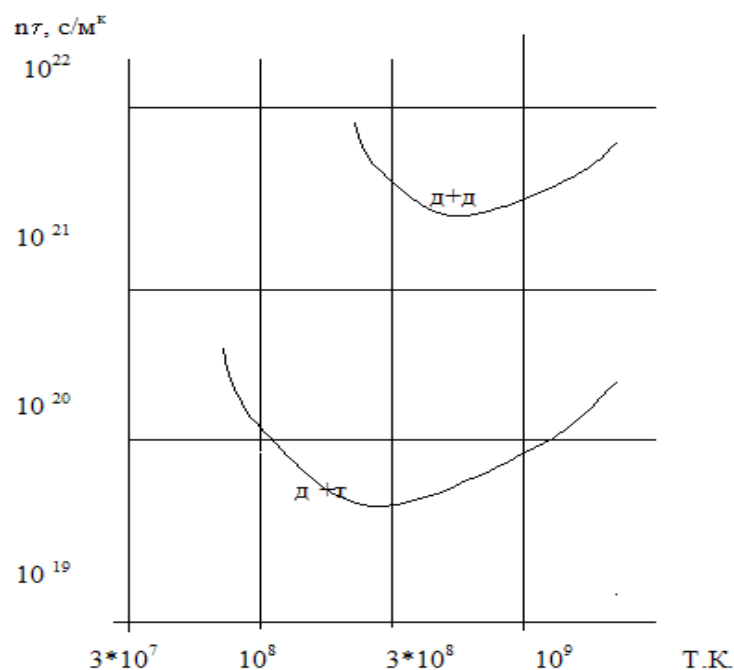
Bul jerde $n = n_d + n_T$, plazmanin` toliq konsentratsiyasi  $n_d = n/2$  da reaksiya minimal boliwin itibarg`a alip bul ten`likti jaza alamiz

$$\tau > \frac{3kTn}{\alpha(T)\eta Q \frac{n}{2} \left(n - \frac{n}{2} \right)} = \frac{12kT}{\alpha(T)\eta Q n}$$

Bunnan;

$$\tau > \frac{12kT}{\alpha(T)\eta Q} = f(T)$$

Kishi temperatura arasinda T nin` artiwi menen  $f(T)$  funktsiya kemeEdi, sebebi reaksiya kesimi artadi. Joqari temperaturalarda  $f(T)$  kerisinshe,  $T$  nin` artiwi menen artadi (5.6-su`wret). Sonin` ushin temperaturanin` belgili  $T = T_0$  ma`nisinde $f(T)$ funktsiya minimumg`a iE boladi. Bul temperatura basqariliwshi termoyadroliq sintez ushin E_n qolayli temperatura esaplanadi.



5.6-su`wret.

Joqaridag`i reaksiya ushin  $\eta=1/3$ ,  $K=16,6$  MeV ma`nisi alinsa, $T_0=2 \cdot 10^9$ K tuwri keledi, $f(T)$ ushin 10^{20} s/m² kelip shıg`adi. Solay etip, deyteriy–tritii reaksiyasinin` payda bolıw sha`rti;

$$n_{\tau} \geq 10^{20} \text{ s/m}^3; \quad T_0 = 2 \cdot 10^9 \text{ K (16 keV)}$$

Joqaridag`i sha`rtler **Lousan kriteriyasi** dep ataladı. Deyteriy-deyteriy reaksiyasi ushin Lousan kriteriyasi;

$$n_{\tau} = 10^{22} \text{ s/m}^3; \quad T_0 = 10^9 \text{ K } (\approx 100 \text{ KeV})$$

Usinnan ko`rinip turipti, basqarilatug`in termoyadroliq sintez ushin deyteriy-tritey reaksiyasinan paydalaniw qolayli boladı.

Uliwma, basqarilatug`in termoyadro protsessinde ko`p mug`darda energiya ajralip shig`iwinin` ( $100 \text{ Vt/sm}^3$ ) talap etiliwi ha`mde tig`izlig`i $10^{14}=10^{16}$ bo`lekshe/sm<sup>3</sup> bolg`an plazmani joqari temperaturag`a shekem ( $10^8$ - $10^9$  grad) qizdiriw lazim bolıwınan basqa, oni uzaq waqıt dawamında termoyadro reaktori kamerasinin` ishki diywallarınan jeterlishe aralıqta uslap turiw talap etiledi.

Plazmani idis diywallarınan uzaq aralıqta uslap turiw ushin magnit maydanınan paydalaniw mu`mkin. Belgili, gaz arqalı elektr tog`i o`tkende (razryad), bul toq a`trapında payda bolg`an magnit maydan gazdı jen`ishke shnur ko`rinisin aliwg`a iytermeleydi. Zaryadlang`an bo`lekshelerden payda bolg`an bunday jen`ishke shnur ko`rinisine iye formanı **pinsh-effekti** dep ataladı.

Shnur orayınan r-aralıqdag`i magnit maydan kernewliligi

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

formula menen aniqlanadi.

Bunda $I - r$ – radiusli shar ishindegı toq ku'shi bolıp esaplanadı. Shnur ko'sherine parallel` ra`wishte xa`reketlenip atırg`an iong`a bul maydan ta`repinen, sol maydang`a urınba bolg`an aylanba ku'sh ta'sir etedi.

$$F = \frac{\mu H^2}{2\pi r} = \frac{\mu I^2}{8\pi^3 r^2}$$

Plazmani qisiliwg`a ma`jbu`rlewshi F ku'sh

$$P = (n_{ion} + n_{el})kT$$

gaz kinetikalıq basım ku'shine qarsiliq qiladı.

Magnit maydannın` belgili bir  $H_0$  ma`nisinde ha`m plazma shnur radiusinin` r_0 - ma`nislerinde  $F=P$  boladı. Toq ku'shi bir neshe amperge ten` bolg`anda, magnit maydanının` basımı sonshellı u`lken boladı, razryad sol razryad payda etilgen idis diywallarınan ajraladı ha`m plazma idis diywallarınan izolyattsiyalanadı, magnit maydan ta'sirinde plazma adiabatikalıq qisilg`anda  $TV^{2/3} = \text{const}$ ,  $PV^{5/2} = \text{const}$  nizamlarga tiykarlanıp onin` temperaturası ha`m basımı ja`nede ko`teriledi. Joqarida aytilg`anlardan tek plazmani tsilindrdin` ishki ta'repleri izolyattsiyalanbay qaladı. Bul problemani kameranı halqasiman qilip tayarlaw joli menen sheshiw mu'mkin. Biraq plazma ta'biyatta gaz emes, ba`lki ko`birek suyiqliqqa uqsaslig`i ushin plazmani uzaq uslaw imkaniyatın bermeydi.

Toroidal kameranın` ishki halqa orayına jaqın ta'reptegi magnit maydanı sirtqi (orayınin` uzak) ta'repindegi magnit maydanınan u`lken bolg`anlıg`ınan, bul hal barlıq plazmanı sirtqi diywal ta'repke su`riliwine ha`m sirtqi diywalg`a urilip «joq» bolıwına alıp keledi. Plazmanın` bul «iyterip shig`ariw» effektin sheshiw ushin L.Spittser kameranı segiz sani ko`rinisinde tayarlawdı usinis etedi.

Bunday kamerada yarım aylaniwdan son` bir ta'repke jiljip qalg`an plazma ekinshi yarım aylaniwda basqa ta'repke jiljiydi ha`m kamera ishindegı diywaldan jeterlishe uzag`ıraq aralıqta boladı. Bunday kamera **stellarator** dep ataladı.

Stellaratorlarda magnit maydan plazmanı ustap turıwshi ko`lemnén sirtta jaylasqan o`tkizgishten ag`iwshi toq ja`rdeminde payda etiledi.

Plazma o`zinen toq o`tkizse plazmadan ag`ıp atırg`an elektr tog`ı protsesstin` baslang`ısh da`wirinde plazmanı jaratadı, oni qizdiradı,

plazmani idis diywallaridan u'zip termoizolyatsiyalaydi ha'm son` plazma tuyiq shen`berli toq rolin atqarip, onin` a`trapinda tuyiq magnit maydan payda etiledi. Bul printsipti tiykarinda islewshi termoyadroliq sintez qurilmalari **tokomak** dep ataladi.

Termoyadro reaksiyasini a`melge asiriwda **tokomak** usilidan basqa plazmag`a jeterli da`rejede tezlestirilgen neytral atomlardan` injeksiya qiliw ha'm ol keleshek usullaridan esaplanadi. Bunda atomlar plazmani uslap turg`an magnit maydanidan erkin o`tedi ha'm qizdirilg`an plazmag`a kirip ionlasadi.

Basqa usullardan intensiv lazer nurlaniwi ha'm tez elektronlardi injeksiya qiliw h. T. B.

Lazer nurlari menen nurlantirilg`anda na`tiyjesinde bolgan intensiv nurlaniw dene sirtinda u`lken basim na`tiyjesinde qiladi. Bunin` esabina deyteriy-tritiy aralaspasi min` ese ku`shlirek qisiladi ha'm termoyadroliq reaksiyanin` boliw intensivligi million ese artip ketedi. Biraq bul protsesste energiya shashiliwi u`lkendir. Misali, lazerde elektr energiyani jaqtiliq energiyasina aylandiriw paydali koefitsienti 1 %. Lazer jaqtiliq energiyasini 6-10 % ti g`ana termoyadroliq janilg`ini qizdiriwg`a jumsaladi, qalg`an bo`legi puwlang`an zat penen shashiladi.

Ku`shli tuqli impul`sli elektron tezletkishlerde aling`an relyativistik elektronlar ag`iminan paydalanilg`anda, lazer termoyadroliq qurilmalardan` qolaylig`i sonda, olardin` paydali jumis koefitsienti u`lkenirek boladi. Biraq relyativistik elektronlardi fokuslaw ha'm energiyasini ju`da` kishi ko`lemde kontsentratsiyalaw problemi juda` quramali bolip esaplanadi. Ha`zirgi waqitta bul tarawda tu`rli metodlarda pu`tkil du`n`ya alimlari intensiv izleniwler alip barmaqda. Bul problemanin` sheshiliwi energetikada u`lken o`zgeris jasaydi ha'm Jer ju`zinde insaniyattin` energiyag`a bolg`an ihtiyajin toliq qandiradi.

Quyash nurlaniwin spektral analiz qiliw soni ko`rsetedi, Quyash xromosferasi tiykaridan vodorod ha'm geliyden ekenligin Quyash tin` tıg`ızlıg`ı bolsa shama menen 100 g/sm^3 ekenligi aniqlandi. Bul Quyash tag`i bo`leksheler arasindag`i araliq atom o`lshemlerinen kishi Ekenligin ko`rsetedi.

Vodorod tsikli u`sh reaksiya arqali o`tedi(5.1 keste). Demek, Quyash ha'm juldizlarda zat toliq ionlasqan halatta boladi, Bunda elektron ha'm yadrolardan du`zilgen gaz, yag`niy plazma u`lken gravitatsiya ku`shi esabina olardin` temperaturasi bir neshe million gradusqa qizg`an boladi.

Termoyadro sintezinin` tiykarg`i na`tiyjesi to`rt protonnin` geliy yadrosina aylaniwi bolip esaplanadi. Bul eki usil uglerod-azot ha`m vodorod-vodorod tsikllari menen ju`z beredi.

Birinshi basqishta proton-proton menen qosilip deytron na`tiyjesinde boladi, na`tiyjesinde bolg`an deytron bir vodorod yadrosi menen tezde qosilip geliy-3 izotopi payda boladi. Jeterli da`rejede geliy-3 izotopin eki geliy-3 qosiliwi na`tiyjesinde  ${}^4_2\text{He}$  ha`m eki proton payda boliwi menen tsikl tawsiladi.

Vodorod tsiklin salistirg`anda kishi temperaturalarda bolip o`tedi. Sonin` ushin ol tiykarinan juldizlarda payda boliwi ha`m rawajlanawinin` da`stepki basqishinda energiya deregi ro`lin atqaradi. Juldizlarda jeterli mug`darda geliy payda bolg`an joqariraq temperaturalarda, taza nuklonlardin` qosiliwi na`tiyjesinde, awiriraq elementler payda bola baslaydi.

Misali, $\sim 100 \cdot 10^6$ grad temperaturada u`sh geliy yadrosi qosilip uglerod  $-12$  payda Etiw mu`mkin. Bunnan basqa, uglerod-12-araliq ${}^8_4\text{Be}$ din` payda boliwi menen de ju`z beriwi mu`mkin. Juldizlarda uglerod bar bolsa,  $T > 15 \cdot 10^6$  graduslarda alti reaksiyadan ibarat uglerod azot tsikli boliwi mu`mkin.

5.1-keste

Reaksiya	Tsikldag`ı reaksiyalar sanı	Ajralg`an energiya E, MeV	$E_{\text{M}}^{\text{max}}$ MeV neytrino energiyası	Reaksiya o`tiw waqtı τ
${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} + e^+ + \nu_e$	2	2	0,4	$1,4 \cdot 10^{10}$
${}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma$	2	2	-	dj
${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}^1_1\text{H}$	1	12,85	-	5,6s
Ja`mi: $4{}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu + 2\gamma$	5	24,66	0,4	10 jıl
				$1,4 \cdot 10^{10} \text{ j}$

Tsikl natiyjesinde 26 MeV energiya ajraladi (5.2-keste). Tsikldin` waqtı  $\tau = 3,2 \cdot 10^8$  jıl, Bul tsiklda da pipovard na`tiyjede to`rt protonnan  ${}^4_2\text{He}$  payda boladi. Uglerod bolsa bul tsiklda katalizator ro`lin oynaydi.

5.2-keste

Reaksiya	K, MeV	$E_{\mathcal{M}}^{\max}$ MeV	$T_{1/2}$
${}^1_1H + {}^{12}_6C \rightarrow {}^{13}_7N + \gamma$	1,95		$1,3 \cdot 10^6$ jıl 6 min
${}^{13}_7N \rightarrow {}^{13}_6C + e^+ + \nu$	2,22	-	$2,6 \cdot 10^6$ jıl
${}^1_1H + {}^{13}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + \gamma$	6,54	1,2	$3,2 \cdot 10^8$ jıl
${}^1_1H + {}^{14}_7N \rightarrow {}^{15}_8O + \gamma$	6,35	-	82 s
${}^{15}_8O \rightarrow {}^{15}_7N + e^+ + \nu$	2,61	1,6	
${}^{15}_8O \rightarrow {}^{15}_7N + e^+ + \nu$	2,61	-	
${}^1_1H + {}^{15}_7N \rightarrow {}^{12}_6C + {}^4_2He$	4,96		$1,1 \cdot 10^5$ jıl
Jami: $4 {}^1_1H \rightarrow {}^4_2He + 2e^+ + 2\nu + 3\gamma$	26,63	2,9	$3,2 \cdot 10^8$ jıl

Quyash ha'm juldizlarda termoyadro reaksiyalarida salistirma energiya ajraliwi, Jerdegi o'lshepler boyinsha ju'da` kem boladi. Quyash ushin  $k=10^{-4}$  JG/kg\*s ga ten`, yag`niy zat almasiw na'tiyjesinde tiri organizmdegi salistirma, energiya ajraliwdan 400 000 ese kishi. Biraq Quyashnin massasi ju'da` u'lken bolg`ani ushin ol nurlanatug`in toliq quwatliqliqta ju'da` u'lken ha'm  $\sim 4 \cdot 10^{26}$  Vt qa ten` boladi. Quyash nurlaniwi sebepli ha'r sekuntta 4,3 mln. tonnag'a kemeyedi, bul bolsa Quyash massasinin $2 \cdot 10^{-19}\%$ in quraydi.

VI BAP. YADROLIQ NURLANIWLARDIN` ZATLAR MENEN WO`Z-ARA TA`SIRLESİWİ

6.1 İonizatsiyaliq energiyani jog`altiw. Zaryadlang`an bo`lekshelerdin` ortalıqtan o`tiwi

Joqari energiyali ha`r qiyli nurlaniwlar deregi bolip; yadro i`dirawlari, reaktsiyalari, zaryadli bo`leksheler tezletkishleri ha`mde kosmosliq nurlar esaplanadi. Bul nurlaniwlardin` zaryadli yamasa zaryadsiz, energiyalarinin` u`lken-kishi boliwina qarap ta`sirlesip atirg`an ortalıq atomlari menen tu`rlishe ta`sirlesedi. Sonin` ushin yadro nurlaniwlarinin` zatlar menen ta`sirlesiwın u`yreniw, ta`sirlesiwdegi ortalıqtın` qa`siyetlerin ha`m nurlaniwlar qa`siyetlerin anıqlaw imkaniyatın beredi. Ta`sirlesiwge sa`ykes ortalıqtın` ishki du`zilisi, qatti`lig`i, mug`dari, biologiyaliq qa`siyetlerinin` o`zgerisi, bunnan basqa, nurlaniwlardin` ha`r qiyililig`i nurlaniwlardi esapqa aliw imkaniyatın beredi. Yadroliq nurlaniwlardin` zatlar menen ta`sirlesiw nizamların u`yreniw, yadro fizikasınin` a`meliy maqsetlerde qollaniwg`a tiykar jaratadi.

Yadroliq nurlaniwshi bo`leksheleri atomlar menen ku`shsiz, elektromagnit ha`m ku`shli-yadroliq o`z-ara ta`sirlesiw ku`shleri menen tikkeley ta`sirlesedi.

Zaryadli awir bo`leksheler ha`m gamma fotonlar ortalıqtan o`tkende ta`sirlesiw tiykarinan elektromagnitlik ta`sirlesiw menen a`melge asadi. Bunda ku`shli yadroliq ta`sirlesiw qatnaspaydi. Sebebi yadroliq ku`shli ta`sirlesiw qisqa aralıqta boladi.

Yadroliq nurlaniwlar energiyasi (0,01-0,1 MeV tan GeV ge shekem boladi) atomlardag`i elektronlar ionizatsiyasi energiyasınan ( $I=13,5Z$  eV) ju`da` u`lken bolg`ani ushin, elektronnin` atom qabi`g`i`nda baylanis energiyasın itibarg`a almastan, elektrondi erkin dep qaraw mu`mkin.

Bo`leksheler ortalıq penen turlishe ta`sirlesedi. Bo`lekshelerdin` ortalıq penen ta`sirlesiw mexanizmin u`yreniw ushin zaryadli jen`il (elektron, pozitron), awir (elektron, pozitronnan basqa) bo`lekshelerge ha`m gamma kvantlarg`a ajratıw mu`mkin.

Zaryadli bo`leksheler ortalıqtan o`tkende atom elektronlari ha`m yadronin` elektromagnitlik maydani menen o`z-ara ta`sirleskende Olardin` energiyasi atomdi qozdiriwg`a yamasa ionizatsiyalawg`a

jumsaydi. Jen`il zaryadli bo`leksheler bolsa, bul maydanda tormizlaniwi na`tiyjesinde o`z energiyasinin` bir bo`legin jog`altiwı mu`mkin.

Gamma nurlar o`z energiyalarin tiykarinan fotoeffekt, kompton effekti, elektron-pozitron jupli`g`in payda etiw protsesslerine jumsaydi.

Eger gamma foton energiyasi ju`da` u`lken  $E_\gamma > 10 \text{ MeV}$  bolg`anda fotoyadroliq reaksiyalari payda boliwi mu`mkin.

Joqari energiyali awir zaryadli bo`leksheler ortalıqtan o`tkende o`zi kulon maydani menen atom elektronlari ta`sir etisip energiyasin ionizatsiyalawg`a jumsaydi. Bul protsesste kulonliq ta`sirlesiw ku`shinin` uzaq aralıqqa shekem ta`sirlese aliw qa`siyetine iye bolg`anlig`inan, bo`lekshe ko`plep elektronlar menen ta`sirlesedi. ortalıqqa tu`siwshi bo`lekshe zaryadi  $Ze$  massasi  $M$ , tezligi  $\vartheta$ , elektrong`a jaqin keliw aralıg`i  $b$  bolsin. Bunnan ionizatsiya energiyasi formulasin keltirip shig`ariwda to`mendegi pikirlerden paydalanamiz.

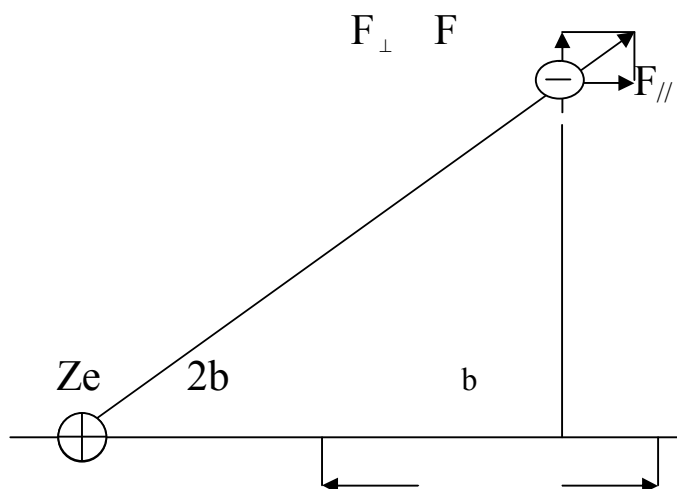
1) bo`lekshenin` elektronlar menen ta`sirlesiwın klassikalıq fizika nizamlari tiykarında tu`sindiriledi,

2) atomdag`i elektronlardin` tezligi ϑ_e , tu`siwshi bo`lekshe tezliginen ju`da` kishi $\vartheta \gg \vartheta_e$, ta`sirlesiw waqtında elektron orninan

qozg`almaydi dep qaraladi $E \gg \frac{M}{m_e} E_e$

3) Elektrondi atomda erkin dep qaraymiz.

Ortalıqqa tusiwshi bo`lekshenin` zaryadi Ze , massasi M , tezligi ϑ , elektrong`a en` jaqin keliw aralıg`i  $b$  bolsin (6.1-su`wret). Bo`lekshe massasi  $M \gg m_e$  elektron massasınan u`lken bolg`ani ushin elektronlar menen ta`sirlesiwde o`z bag`i`tin o`zgartirmesten tuwri sızıq boyınsha ha`reketlenip, bo`lekshenin` elektron menen ta`sirlesiwı $2b$ aralıqqa shekem bolsin.



6.1-su`wret

Da'slep bo'lekshelerdin' basqa elektronlar menen o'z-ara ta'sirlesiw ko'rip shig'ayiq. Bo'lekshenin' ha'reket traektoriyasina tik bag'itta elektrong'a bergan impul'si;

$$\Delta p_{\perp} = \int F_{\perp} dt \quad (6.1)$$

boladi. Bo'lekshe elektronga jaqinlasqanda ha'm onnan uzaqlasqanda ta'sir ku'shi bag'iti qarama-qarsi bolg'ani ushin bo'lekshe impul'sinin' parallel' du'ziwshisi no'lge ten' boladi.

$$\Delta p_{\parallel} = \int F_{\parallel} dt = 0 \quad (6.2)$$

Sonin' ushin ionizatsiyani bo'lekshe impul'sinin' tik $\Delta p_{\perp}$ du'ziwshisi payda etedi. o'z-ara ta'sirlesiw waqti

$$\Delta t = \frac{2b}{g} \quad (6.3)$$

bo'lekshe ta'repinen elektrondı iyteriwshi kulon ku'shi

$$F_{\perp} = \frac{ze^2}{b^2} \quad (6.4)$$

Elektronnin' bo'lekshe ta'repinen alg'an impul'si

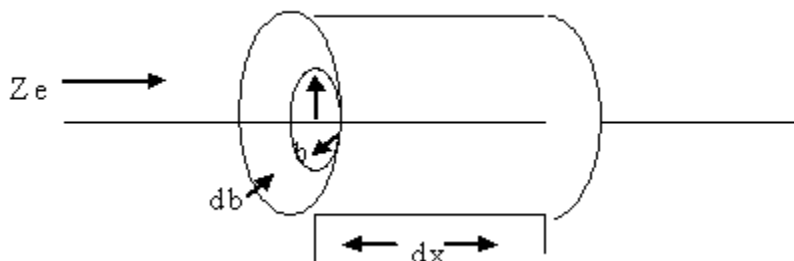
$$\Delta p_{\perp} = F_{\perp} \Delta t = \frac{Ze^2}{b^2} \cdot \frac{2b}{g} = \frac{2Ze^2}{bg} \quad (6.5)$$

Elektronnin' (10.5) impul'sine saykes keliwshi algan energiyasi

$$\Delta E_i = \frac{\Delta p_{\perp}^2}{2m_e} = \left(\frac{2Ze^2}{bg}\right)^2 \frac{1}{2m_e} = \frac{2Z^2e^4}{m_e g^2} \cdot \frac{1}{b^2} \quad (6.6)$$

Solay etip (6.6) ten'leme zaryadli bo'lekshe traektoriyasidan b-araliqta jaylasqan atom elektroninin' alg'an yamasa bo'lekshenin' elektrong'a bergan energiyasin an'latadi.

Zaryadli bo'lekshe ortalıqtan o'tiwde traektoriyasidan b uzaqliqta, db qalin'liqta ha'm dx uzaqliqta jaylasqan tsilindr idistag'i barliq elektronlar menen ta'sirlesedi (6.2-su'wret).



6.2 - su'wret

Bul elektronlar sani $Vn_e = 2\pi b db dx n_e$. Bul jerde $Vn_e = 2\pi b db dx$ ko`rilip atirg`an tsilindr diwalinin` ko`lemi, n_e - elektronlar konsentratsiyasi. Bo`lekshenin` ba`rshe elektronlar menen ta`sirleskende jog`altqan energiyasi

$$\Delta E = \Delta E n_e V = \frac{4\pi n_e Z^2 e^4}{m g^2} \frac{db}{b} dx \quad (6.7)$$

Uzunliq birliginde jog`altqan bo`lekshenin` salistirma ionizatsiya energiyasi:

$$\left(\frac{dE}{dx} \right)_{uon} = \frac{4\pi n_e Z^2 e^4}{m g^2} \frac{db}{b} \quad (6.8)$$

Toliq salistirma ionizatsiya jog`altiw energiyasin tabiw ushin (6.8) an`latpani ta`sirlesiw parametri  $b$  nin` 0 den ∞ ge shekem bolg`an ma`nisleri boyinsha integrallaw kerek. Biraq; $b=0$ ha`m  $b=\infty$  de  $\int_0^\infty \frac{db}{b}$  ni integrallaw mu`mkim emes, integral ma`niske iye emes. Sonin` ushin b -nin` minimal ha`m maksimal ma`nislerin tan`law ha`m integrallaw za`rur. Bo`lekshenin` elektrong`a jaqinlasiw parametri  $b$  nin` minimal aralig`i bo`lekshe menen elektronnin` «*tikkeley*» soqlig`isiwi. Bunda araliq minimum, energiya uzatiwi bolsa maksimum $E_{\max}$, «*tikkeley*» soqlig`isiwda energiyanin` beriliwi

$$\Delta E_{\max} = \frac{4mM}{(M+m)^2} E \quad (6.9)$$

Bo`lekshe massasi  $M$  elektron massasi  $m_e$  nan  $M \gg m_e$  ekenligin itibarg`a alip (6.9) an`latpani to`mendegishe jazamiz:

$$\Delta E_{\max} = \frac{4mM}{M^2} E = \frac{4m}{M} \frac{Mv^2}{2} = 2mv^2 \quad (6.10)$$

(6.10) an`latpag`a sa`ykes $b_{\min}^2$:

$$b_{\min}^2 = \frac{2Z^2 e^4}{m g^2} \frac{1}{\Delta E_{\max}} = \frac{2Z^2 e^4}{m g^2 2m_e g^2} \quad (6.11)$$

$b_{\max}$ di aniqlawda bo`lekshenin` elektrong`a jetkerip beriw energiyasi elektronnin` atomdag`i baylanis energiyasina sa`ykes keliwshi araliq alinadi. Bul araliqtan u`lken araliqtag`i elektronlarga` uzatilg`anda energiya ionizatsiya energiyasidan kishi bolip, elektronlar ionizatsiyasina qatnaspaydi.

$$b_{\max} = \frac{2Z^2 e^4}{m g^2} \frac{1}{I} \quad (6.12)$$

Bul jerde I-atomda elektronlardin` ortasha ionizatsiya energiyasi. (Elektronlardin` atomda ionizatsiya energiyasi turli yadro ha`m turli qabiqalar ushın tu`rlishe ortasha ma`nis $I = I_0 Z$; $I_0 = 10 \text{ eV}$)

Solay etip (6.8) an`latpadan

$$-\left[\frac{dE}{dx}\right]_{ion} = \int_{\epsilon_{min}}^{\epsilon_{max}} \frac{dE}{dx} db = \frac{4\pi n_e Z^2 e^4}{m g^2} \ln \frac{b_{max}}{b_{min}}; \quad (6.13)$$

(6.13) an`latpadag`i $\ln \frac{b_{max}}{b_{min}}$ (6.11) ha`m (6.12) formulalardan paydalanip jazamiz

$$\ln \frac{b_{max}}{b_{min}} = \frac{1}{2} \ln \frac{b_{max}^2}{b_{min}^2} = \frac{1}{2} \ln \frac{2m g^2}{I}; \quad (6.14)$$

(6.14) in (6.13) ge qoysaq, salistirma ionizatsiya jog`altiw formulasi na`tiyjesinde boladi

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \frac{2\pi Z^2 e^4 n_e}{m g^2} \ln \frac{2m g^2}{I} \quad (6.15)$$

(6.15) formula Bor formulasi dep ataladi.

Relyativistik effektlerdi itibarg`a alsaq salistirma ionizatsiya energiya jog`altiw formulasi:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \frac{4\pi Z^2 e^4 n_e}{m g^2} \left[\ln \frac{2m g^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 - \delta - U \right] \quad (6.16)$$

(6.16) formula Bete-Blox formulasi dep te ataladi. Bul jerde energiya jog`altiw (erg/sm) larda o`lshenedi.

Salistirma energiya jog`altiw ortalıqtan o`tip atirg`an bo`lekshe zaryadinin` kvadratina tuwri, tezliginin` kvadratina kerı qatnasta, ha`mde ortalıqtin` elektronlar konsentratsiyasına da baylanisli bolip, bo`lekshe massasına baylanisli emes.

Zaryadli bo`lekshenin` elektronga jaqin keliw aralig`i, yag`niy ta`sirlesiw parametri norelyativistik yamasa relyativistik xalatlarda tu`rlishe ma`nislerge iye boladi.

Norelyativistik halat ushin jaqinlasiw parametrinin`  $b_{max}$  ma`nisin elektronnin` atomdag`i ortasha ionizatsiya energiyasi I tuwri keletug`in ma`nis tan`lanildi. Relyativistik halatta soni itibarg`a aliw lazimki, bo`lekshe ta`sirlesiw waqti $t=b/v$ (6.17) elektronnin` orbitada aylaniw da`wiri $T=2\pi/\omega$ den u`lken bolsa, bo`lekshe energiyasinin` atomdi oyatiwg`a jumsamaydi. Tap sonday prujinag`a qisqa turtki berilse, prujina terbeledi, eger prujinani a`ste qisip ha`m a`ste-aqirin bosatilsa terbelmegendey, sonin` ushin bo`lekshenin` elektron menen ta`sirlesiw

vaqti hesh bolmag`anda elektronning` orbitada aylaniw da`wirine ten` boliwi kerek.

$$t = \frac{1}{\omega} = T \quad (6.17)$$

Solay etip ortasha ionizatsiya energiyasi,

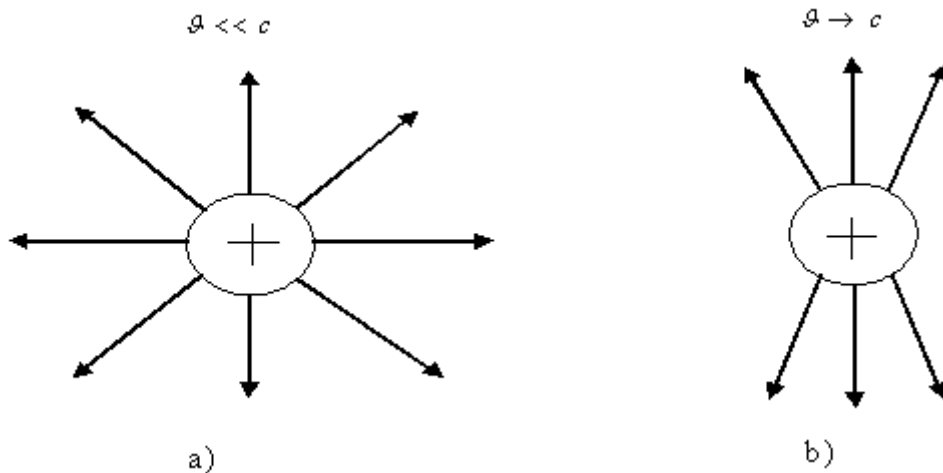
$$\bar{I} = \hbar\omega \quad (6.18)$$

relyativistik effektlardi itibarg`a alinsa, ta`sirlesiw waqti boylama kulon maydaninin` qisiliwi esabinan kemeyedi (6.3-su`wret).

$$t_{rel} = \frac{b}{g} \sqrt{1 - \beta^2} \quad (6.19)$$

Bunnan;

$$b_{max} = \frac{g}{\omega \sqrt{1 - \beta^2}} \quad (6.20)$$

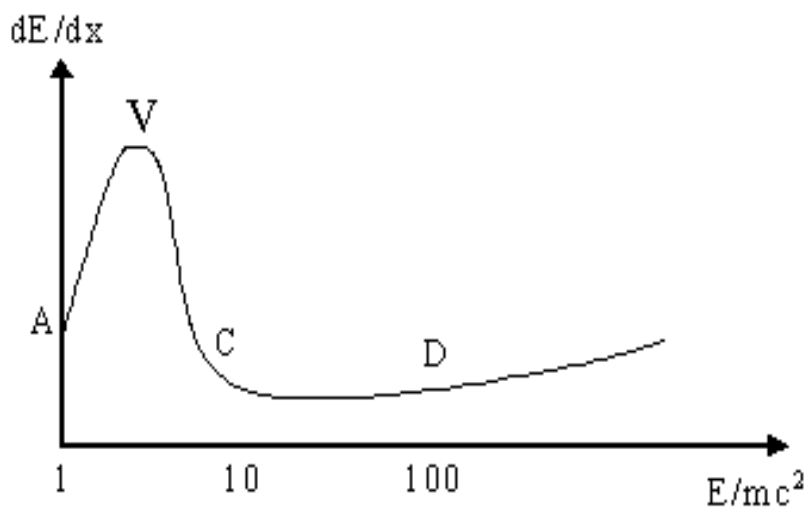


6.3-su`wret

Jaqinlasiw aralig`ini`n`  $b_{min}$  ma`nisi ushin relyativistik hal ushin $b_{min} = \frac{\hbar}{p} = \frac{\hbar}{m g}$ yamasa $b_{min} = \frac{\hbar}{m g} \sqrt{1 - \beta^2}$ boliwi lazim.

Awir zaryadli bo`lekshelerdin` energiyalarina sa`ykes salistirma energiya jog`altiw grafigi 6.4-su`wrette keltirilgen. Ortaliqqa tusiwshi zaryadli bo`lekshe energiyasi ju`da` kishi ha`m u`lken bolg`anda ionizatsiya formulasinan paydalanip bolmaydi. 6.4-su`wrettegi AB bo`limine, bunda tusiwshi bo`lekshe tezligi elektronning` orbitada aylaniw tezliginen kishi, bo`lekshe ortalıqtan o`tiwde elektronga impul`s bermeydi. Elektron menen izbe-iz ha`reketlenip elektrondı jutadi (yamasa elektrong`a jutiladi), na`tiyjede zaryadsizlanadi, belgili waqittan keyin elektronnan ajralip ketiwi mu`mkin. Sonin` ushin, bul bo`limin qayta zaryadlaniw bo`limi dep te ataladi. Bul protsess

bo'lekshe tezligi elektronin' orbitadag'i tezligine eriskenshe dawam etedi. 6.4-su'wrette V noqatqa sa'ykes keliwshi tezlik elektronin' orbitadag'i tezligine tuwri keledi.



6.4-su'wret

BS bo'limi bo'lekshe tezligi artiw menen ionizatsiya energiya jog'altiw (6.15) formulag'a sa'ykes eksponentsial kemeyedi. Sebebi elektromagnitlik ta'sirlesiw ku'shi o'zgermeydi, tezligi artiw menen ta'sir waqti kemeyedi. Bo'lekshenin' relyativistlik tezligi S tochkag'a sa'ykes keliwshi tezligi.

SD bo'limi zaryadli relyativistlik bo'lekshenin' boylama elektr maydaninin' qisiliwi na'tiyjesinde ta'sir aralig'inin' artiw ha'm ko'birek elektronlarga energiya uzatiw sebepli ionizatsiyanin' artiwina sebep boladi.

DE bo'lim bo'lekshe energiyasi ju'da' joqari bolip, ta'sirlesiw parametri $b_{\max}$ ma'nisi atomlar arasindag'i araliqtan artip ketsa, bo'lekshe treaktoriyasina jaqin atomlar polyarizatsiyalanadi, elektr maydani ortaliq dielektrik sin'diriwshen'ligi (ϵ_γ - ge kemeyedi, na'tiyjede ionizatsiya kemeyedi. Bunday polyarizattsiyalaniw elektronlar tig'izlig'ina baylanisli, sonin' ushin ***tig'izliq effekti*** dep ataladi.

Joqarida keltirip shig'arilg'an formulalarda salistirma ionizatsion jog'altiw ortaliqtag'i elektronlardin' konsentratsiyasina baylanisli edi. Elektronlar konsentratsiyasi n_e bolsa turli ortaliq ushin ha'r qiyli. Atom ta'rtip no'meri Z bolg'an ortaliq ushin $n_e = n_{\text{yad}} Z$. bul jerde n_{yad} – yadrolar konsentratsiyasi. Yadrolar konsentratsiyasi ha'mme ortaliqlar ushin o'zgermes bolg'anlig'i ushin n_e tek g'ana Z ge baylanisli. Sonin' ushin birdey tezliktegi birdey bo'lekshe ushin ($z_e = \text{const}$, $v = \text{const}$) salistirma

ionizatsion ma'nisi tek ortalik atomlarinin ta'rtip no'meri Z ge baylanisli boladi. Misali, birdey jag'dayda bo'lekshenin qorg'asinda jog'altqan energiyasi ko'mirdeginen $\frac{Z_{Pb}}{Z_c} \approx \frac{82}{6} \approx 14$ ese ko'p boladi. Ja'ne soni aytiw kerek, bo'lekshenin salistirma ionizatsiya energiya jog'altiw bo'lekshenin massasina baylanisli emes. Biraq bo'lekshenin kinetik energiyasi onin massasina baylanisli bolg'ani ushin birdey zaryadli ha'm tezlikli, ha'r qiyli massali bo'lekshenin birdey ortalikta ionizatsiya ushin jog'altqan energiyasi massag'a proporsional ra'wishte ha'r qiyli boladi.

Solay etip, salistirma ionizatsiya energiya jog'altiw bir ortaliktan ekinshisine o'tkende ku'shli o'zgeredi. A'ldette ko'p hallarda Salistirma ionizatsiya energiya jog'altiw din uzunliq birligindegi $\frac{dE}{dx}$ emes, tig'izliq birligine tuwra keliwshi $\frac{dE}{d\xi}$ ma'nisi alinadi. $\xi = xp$ ortalik tig'izlig'i, ξ - o'lshe birligi g/sm^2 da

$$\frac{dE}{d\xi} = \frac{dE}{dx} \frac{dx}{d\xi} = \left(\frac{dE}{dx} \right) \left(\frac{1}{p} \right) \quad (6.21)$$

sebebi ortalik tig'izlig'i ha'm salistirma ionizatsiya energiya jog'altiw $\frac{dE}{dx}$ ha'm ortalik zaryadi Z ge baylanisli. Solay etip salistirma tig'izliq ionizatsiya energiya jog'altiw qaralip atirg'an ortalik ushin o'zgermes boladi.

$$\left(\frac{dE}{dx} \right) \left(\frac{1}{p} \right) \approx \text{const} \quad (6.22)$$

Bul bolsa turli ortalik ushin salistirma ionizatsiya energiya jog'altiw ma'nisin ten'lestiriw qolayliq jaratadi.

6.2. Bo'lekshenin ortalikti basip o'tken joli.

Bo'lekshenin ortaliktag'i jolinin uzunlig'i bo'lekshe energiyasina baylanisli. Berilgen bo'lekshe ortalik ushin salistirma ionizatsiyaliq jog'altiw tek bo'lekshenin kinetikaliq energiyasina baylanisli.

$$\frac{dE}{dx} = \varphi(E) \quad (6.23)$$

(6.23) an'latpani energiyanin 0 den E_0 ge shekem bolg'an ma'nisleri boyinsha integrallap, bo'lekshenin toliq basip o'tken jolin tabiw mu'mkin.

$$x = \int_0^{E_0} \frac{dE}{\varphi(E)} \quad (6.24)$$

Bo'lekshe energiyasi relyativistlik bolmag'an halatta

$$\frac{dE}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{mv^2}{2} \right) = mv \frac{d\vartheta}{dx} \quad (6.25)$$

Ekinshi ta'repten

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dx} &= Z^2 \varphi(\vartheta) \\ z^2 \varphi(\vartheta) &= mv \frac{d\vartheta}{dx}. \end{aligned} \quad (6.26)$$

Bunnan $dx = \frac{m}{z^2} \frac{v}{\varphi(\vartheta)} d\vartheta$ integrallasaq

$$x = \frac{m}{z^2} \Phi(\vartheta) \quad (6.27)$$

Solay etip, bir ortalikta birdey tezlik penen eki bo'lekshenin' basip o'tken jollari massasinin' zaryadi kvadratlarinin' qatnaslari siyaqli bolar eken

$$x_1 : x_2 = \frac{m_1}{z_1^2} : \frac{m_2}{z_2^2} \quad (6.28)$$

6.3 Radiatsiyaliq nurlaniw

Zaryadli bo'leksheler ortalikdan o'tkende energiyalarin ortaligini ionizatsiyalawdan basqa radiatsiyaliq nurlaniwg'a da jumsaladi. Zaryadli bo'leksheler ortalig arqali o'tkende atom yadrosi ha'm elektronlar maydaninda tormozlaniw na'tiyjesinde radiatsiyaliq yamasa tormozlaniw nurlaniw dep ataliwshi nurlaniw payda qiladi ha'm o'z energiyasin sol nurlaniwg'a jog'altip baradi.

Radiatsiyaliq nurlaniw tiykarinan jen'il bo'lekshelerde ku'shli boladi. Sebebi bo'lekshe qansha jen'il bolsa, sonsha tez tormozlanadi. Haqiqattan da radiatsiyaliq nurlaniwda bo'lekshenin' jog'altqan energiyasi, elektrodinamika nizamina tiykarlanip, tormizlanip atirg'an bo'lekshenin' tormozlaniwda alg'an tezleniwine baylanisli. Elektrodinamika nizamina sa'ykes ortalikta a - tezleniw menen tormozlang'an bo'lekshenin' dt waqti ishinde radiatsiyaliq nurlaniw intensivligi

$$W = \frac{2}{3} \frac{Z^2 e^2}{c^3} |a|^2 \quad (6.29)$$

Bul jerde Ze – ortalig arqali o'tken zaryadi, a -bo'lekshenin' tormozlaniwda alg'an tezleniwi. Belgili tezleniw

$$a = \frac{F}{m} \quad (6.30)$$

Bunda; F – bo'lekshege ta'sir etiwshi ku'sh, m – bo'lekshe massasi.

(6.29) ha'm (6.30) - an'latpalardan birdey zaryadli bo'leksheler ushin radiatsiyaliq nurlaniw intensivligi bo'lekshe massasi kvadratiga keriproportsional ekenligi kelip shig'adi.

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{rad} \sim \frac{1}{m^2}$$

Bunnan radiatsiyaliq nurlaniw tiykarinan jen'il bo'lekshelerge ta'n ekenligi, haqqiyqattan da birdey tormozlaniwshi ortalıqta protonnin' elektrong'a salıstırg'anda radiatsiyaliq nurlaniwi

$$\left(\frac{m_p}{m_e}\right)^2 = 1836^2 \approx 3,4 \cdot 10^6 \text{ ma`rtebe kushsiz boladi.}$$

Zaryadli bo'lekshelerdin' ionizatsiya energiya jog'altıwı atom elektronlari menen ta'sirleswine sa'ykes ju'z berse, radiatsiyaliq nurlaniw ortalıq yadrolari menen ta'sirlesiwine sa'ykes boladi. Bo'lekshelerdi tormozlawshi ortalıq yadrolarinin' kulon ku'shi yadro zaryadi kvadratına Z^2 baylanisli.

G.Bete ha'm V.Geytlerler elektronlar turli energiya tarawlari ushin radiatsiyaliq nurlaniw formulalarin islep shıqtı.

Uliwma radiatsiyaliq nurlaniw ortalıq atomlarinin' ta`rtip nomeri Z^2 ge, atom ha'm elektronlari konsentratsiyasi n_e ge ha'm bo'lekshe (elektron) kinetikaliq energiyasi T_e ge baylanisli Eken

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{rad} \sim Z^2 n_e T_e \quad (6.31)$$

Zaryadli bo'lekshelerdin' ionizatsiya energiya jog'altıwı formulasi elektron ushin $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{ion} \sim n_e Z \frac{1}{v^2}$ baylanista bolip ionizatsiya energiya jog'altıwı bo'lekshe energiyasi artıwı menen kemeyip baradi. Radatsialıq energiya jog'altıwı bolsa energiya artıwı menen artıp baradi. Belgili bir energiyada ionizatsialıq ha'm radiatsiyaliq energiya jog'altıwlar ten'lesedi. Bul turli ortalıq ushin ha'r qiyli bolıp bug'an **kritikalıq energiya** te ataladı. onı to`mendegi ten`lemeden anıqlaw mu`mkın;

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{rad} : \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} \approx \frac{T_e Z}{800} \quad (6.32)$$

Bul jerde; T_e MeV larda aling'an.

(6.32) ge ko're suwda ($Z=8$) energiyasi $T_e=100$ MeV bolg'an elektronlar ushin

$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{rad}$ boladı. Demek, suw ushin kritikaliq energiya

$T_{kr}=100$ MeV, qorg`asin ushin  $z=82$  ha`m demek, $T_{kr}=10$ MeV. Elektronlar energiyasi kritikaliq energiyadan joqari bolsa energiya jog`altiw tiykarinan radiatsiyaliq jog`altiwdan ibarat bolip qaladi. Elektronnin` baslang`ish energiyasi E_0 bolsa radiatsiyaliq jog`altiw na`tiyjesinde energiyasi eksponentsial` nizam boyinsha o`zgeredi.

$$\overline{E} = E_0 e^{-\frac{x}{x_0}} \quad (6.33)$$

(10.33) den $x=x_0$ araliqta elektronnin` energiyasi e ese kemeyedi. Bul  $x=x_0$  turli ortalıqlar ushin ha`r qiyli bolip, radiatsiyaliq uzunliq dep ataladi. 6.1-kestede turli ortalıqlar ushin radiatsiyaliq uzunliq ha`m kritikaliq energiyalar ma`nisleri keltirilgen.

6.1- keste

Ortaliq	Radiatsiyaliq uzunliq l_g g/sm^2	Kritikaliq energiya $E_{kr}MeV$	Ortaliq	Radiatsiyaliq uzunliq l_g g/sm^2	Kritikaliq energiya $E_{kr}MeV$
N	63,1	340	Al	24,0	47
Ne	94,3	220	Ae	13,8	24
S	42,7	103	Su	12,9	21,5
Hawa	36,2	83	Pb	6,4	6,9

Radiatsiyaliq uzunliqtin`  $l_r(sm)$  degi ma`nisin tabiw ushin l_r ni ortalıq tig`izlig`ına qatnasin l_r/ρ aliw lazim

Misali hawa ushin:

$$l = \frac{l_r}{\rho} = \frac{36,2g/sm^2}{0,00121g/sm^3} = 299,17sm \approx 300m$$

Energiyasi $T_e > E_{kr}$ bolg`an elektron bir radiatsiyaliq uzunliqqa ten` araliqta orta Esapta energiyasi T_e ge jaqin bolg`an bir g`ana kvant na`tiyjesinde qiliwi mu`mkin. Radiatsiyaliq nurlaniw energiyasi $E \geq 2m_e c^2$ bolsa, ol elektron – pozitron juplig`in payda qiliwi mu`mkin. Bul protsess kosmos nurlar quramindag`i elektron-foton jaqtilig`inin` payda boliwina sebep boladi.

6.4 Vavilov – Sherenkov nurlaniwi.

1934-jili akademik S.İ.Vavilov ha`m sha`kirti P.A.Cherenkov uran duzlari eritpelerinin` gamma nurlar ta`sirinde lyuminestsensiyasin

u'yreniwde jan'a bir nurlaniwdi ashti. A'dette nurlaniw atom ha'm molekulalarda qabiq elektronlarinin' bir energetikalıq halatinan ekinshisine o'tiwi na'tiyjesinde boladi ha'm olardin' nurlaniwi $\tau=10$ s dawam etedi. Nurlaniw intensivligi sirtqi parametrlerge ortalıq tazalig'ına, temperatura o'zgerislerine baylanisli boladi. Biraq bul jan'a Vavilov-Sherenkov nurlaniwi sirtqi parametrlarge baylanisli emes, bul nurlaniwlardin' to'mendegishe o'zine ta'n qa'siyetlerge iye ekenligi aniqlandi:

1) Nurlaniw magnit maydanında ku'shli polyarizattsiyalanadi, demek nurlaniwdi gamma kvantlar emes ba'lkı zaryadlı bo'leksheler keltirip shig'aradi;

2) Nurlaniw intensivligi ortalıq zaryadi Z ke baylanisli emes, demek bul radiatsion nurlaniw emes;

3) Nurlaniw na'tiyjesinde qilip atirg'an birlenshi bo'lekshe bag'itına salıstirg'anda belgili mu'esh astında boladi;

Vavilov-Cherenkov nurlaniwin 1937-jili İ.E.Tamm ha'm İ.M.Franklar klassik elektrodinamika nazariyasi tiykarında tu'sintirip berdi.

Klassikalıq elektrodinamika nizamlarına sa'ykes vakuumda tuwri sizıq boylap tegis ha'reket qilip atirg'an zaryadlı bo'lekshe nurlaniw payda qilmawı kerek. Bolmasa bul halda energiya ha'm impul'sinin' to'mendegi sha'rtti orinlanıwi kerek,

$$\left(\frac{dE}{dp}\right)_{zarra} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{nur} \quad (6.34)$$

(6.34) sha'rti vakuum ushin orinlanbaydi, biraq ortalıq sindiriw ko'rsetkishı $n>1$ bolsa orinlanadi. Haqıyqattan da, massası $m \neq 0$ bolmag'an vakuumda erkin ha'reketlenip atirg'an bo'lekshenin' tolıq energiyası

$$E_{zarra} = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} = (m^2 c^4 + p^2 c^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6.35)$$

(6.35) in differentsiallasaq

$$dE_{zarra} = \frac{1}{2} (m^2 c^4 + p^2 c^2)^{-\frac{1}{2}} 2 p c^2 dp = \frac{c^2 p dp}{\sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}} \quad \text{Bunnan}$$

$$\frac{dE_{zarra}}{dp} = \frac{p c^2}{E} = \frac{m_0 c^2}{m c^2} = \beta \quad (6.36)$$

ekinshi ta'repten vakuumda elektromagnit nurlaniw ushin

$$E_{nur} = p c \quad (6.37)$$

differentsiallasaq $dE_{nur} = c dp$ yamasa

$$\frac{dE_{nur}}{dp} = c \quad (6.38)$$

Ha'mme waqit $\vartheta < c$, sonin' ushin $\left(\frac{dE}{dp}\right)_{zarra} < \left(\frac{dE}{dx}\right)_{nur}$ boladi.

Yag'niy energiya ha'm impul's saqlaniw nizami vakuumda tuwri siziq boylap tekis ha'reketlenip atirg'an zaryadli bo'lekshe o'z energiyasi ha'm impul'sin elektromagnit nurlaniwg'a jumsaliwin an'latadi.

Eger bo'lekshe ha'reketi ortalik sindiriw ko'rsetkishi $n > 1$ bolg'anda bo'lekshenin' ortaliktag'i tezligi ϑ jaqtiliqtin' sol ortalikta tarqaliw ken'islik tezliginen u'lken boliwi

$$\vartheta > c' = \frac{c}{n},$$

bo'lekshe o'z energiyasin nurlaniwg'a jumsawi mu'mkin boladi.

Vavilov-Cherenkov nurlaniwi qayiqti suwda tez ju'zip artinan shig'arg'an tolqinina uqsaydi. Qayiq tezligi tarqalip atirg'an tolqin tezliginen u'lken bolsa tolqin tarqaliwi keshigedi. Qayiq artinan ken'eyip bariwshi tolqin fronti (qanat) payda boladi. Qayiq tezligi tolqin tarqaliw tezliginen kishi yamasa ten' bolsa, bunda tolqin fronti baqlanbaydi.

Tap sonday, ju'da' tez zaryadli bo'lekshe ortalik sindiriw ko'rsetkishi $n > 1$ bolg'an ortalikta tarqalip atirg'an bo'lekshe elektr maydani ta'sirinde o'z joli a'trapindag'i ortalik atomlarin polyarizattsialaydi. Bo'lekshe tezligi elektromagnit maydannin' ortalikdan tarqaliw ken'islik tezliginen u'lken bolg'ani ushin ju'da' tez bo'lekshe o'tip ketedi, polyarizattsialang'an dipol keshigip qaladi. Keshikken dipol keshigiw ko'sheri boyinsha nurlanadi.

Bo'lekshe tezligi $\vartheta \leq c$ bolg'anda bo'lekshe ornina salistirg'anda ortalik atomlarinin' polyarizattsialaniwi simmetriyalik maydanda no'l dipol nurlaniwlar bir-birin so'ndiredi. Bo'lekshe tezligi

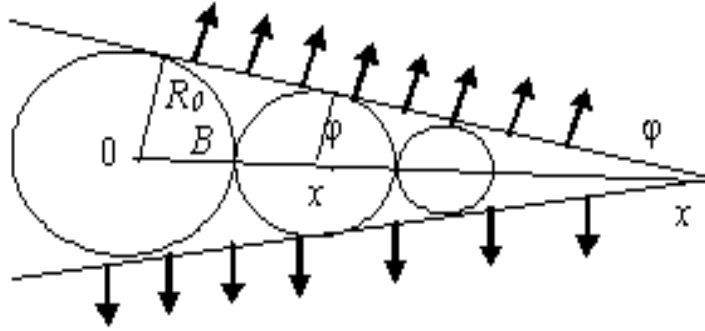
$$v > c' = \frac{c}{n}$$

bolg'anda ortalik keshikken dipollari kogerent nurlaniwlar payda qiladi.

Bul nurlaniw tarqaliw mu'yeshi to'mendegishe tabiladi. Zaryadli bo'lekshe $n > 1$ sindiriw ko'rsetkishi ortalikta shepten on'g'a

$$\vartheta > c' = \frac{c}{n}$$

tezlik penen ha'reketlenip atirg'an bolsin (6.5- su'wret)



6.5-su`wret

Bo`lekshe t-waqittan son` $x = \vartheta t$ tochkada boladi. Bul waqit ishinde bo`lekshe payda qilg`an nurlaniwlar tolqin fronti Ax sizig`inda jatadi. Sebebi  $x=0$  tochkada bolg`an tolqin t waqitta $R_0 = s \cdot t$ araliqi, x tochkada bolg`an nurlaniw  $R_x = c'(t - x/\vartheta) = 0$  araliqi o`tedi. Na`tiyjede tolqin fronti  $2\varphi$  mu`yeshli konus ta`replerden ibarat ha`m

$$\sin \varphi = \frac{R_0}{x} = \frac{c't}{\vartheta t} = \frac{c'}{\vartheta} = \frac{1}{n\beta}$$

Vavilov-Cherenkov nurlaniwinin` tarqaliw bag`itin belgilewshi mu`yesh 6.5-su`wretten $\frac{\pi}{2} - \varphi$ ge ten` ekenligi ko`rinip turipti, ol to`mendegi sha`rtten tabiladi.

$$\cos \Theta = \frac{1}{\beta n} \quad (6.39)$$

Solay etip, Vavilov-Cherenkov nurlaniwi 2Θ mu`yeshli konus ishinde tarqaladi. Bul nurlaniwdin` aniq mu`yesh bag`itina iye boliwinan paydalanip, bo`lekshenin` ortaligtag`i tezligi  $\beta$  ni aniqlaw mu`mkin. (6.39) dan bo`lekshe tezligin aniqlaw shegarasi aralig`i

$$\frac{1}{n} \geq \beta \geq 1. \quad \beta = \frac{1}{n} \text{ da } \theta = 0^\circ$$

nurlaniw baslanadi $\beta=1$ da $\theta = \arccos(\frac{1}{n})$ nurlaniw maksimum mu`yeshke Erisedi. Misali, suw ushin ($n=1,33$)

$$\beta_{\min} = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,33} = 0,75$$

da Vavilov-Cherenkov nurlaniwi boladi. Elektron ushin bul sha`rt

$$E_e = m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = 0,5 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (0,75)^2}} - 1 \right) = 0,26 \text{ MeV}$$

ten baslap orinlanadi.

Elektron ushin suwda nurlaniwdin` maksimum mu`yeshi

$$\cos \theta_{\max} = \frac{1}{n} = 0,75 \quad \theta = 41,5^\circ.$$

Tamm-Frank teoriyasina sa`ykes jiylik  $\nu$  dan  $\nu + d\nu$  ge shekemgi araliqta bolg`an Vavilov-Cherenkov nurlaniwindag`i fotonlar sani

$$N(\nu) = 4\pi^2 \frac{(ze)^2}{hc^2} \left(1 - \frac{1}{n^2 \beta^2}\right) \quad (6.40)$$

(6.40) formulag`a sa`ykes bolg`an fotonlar sani birlemshi bo`lekshe zaryadinin` kvadratina ha`m bo`lekshe tezligine baylanisli,  $\beta$  nin` artiwi menen $N(\nu)$ 0 dan $4\pi^2 \frac{e^2 z^2}{hc^2} \left(1 - \frac{1}{h^2}\right)$ ge shekem artadi ha`m ol nurlaniw jiyligine baylanisli emes.  $E = h\nu$  bolg`ani ushin nurlaniw energiyasi joqari jiylikli yamasa qisqa tolqinli spektr shegarasinda jatadi. Sonin` ushin da Vavilov-Cherenkov nurlaniwi ko`k fiolet ren`li nurlaniwdan ibarat boladi.

Bo`lekshenin` nurlaniwg`a jumsaytug`in energiyasi az, sog`an qaramastan bul effekt ju`da` tezletilgen bo`lekshelerdin` tezliklerin, bag`itlarin esapqa aliwda ken` qollanilmaqta.

VII-BAP. GAMMA NURLARDIN` ORTALIQTAN O`TIWI

7.1 Gamma-nurlardin` zatlar menen ta`sirlesiw

Gamma nurlar energiyalari bir neshe on keV tan joqari bolg`an qisqa elektromagnitlik tolqinlar esaplanadi. Ha`zirgi zaman tezletkishleri ja`rdeminde gamma-kvant energiyalarin bir neshe GeV qa jetkiziw mu`mkin. Gamma-kvanttin` tolqin uzunliqlari energiyalari artiw menen kemeyip baradi.

$$\lambda = \frac{2\pi hc}{E} \quad (7.1)$$

Gamma nurlardin` tolqin uzunliqlari  $10^{-11}$  sm den aspaydi, bul bolsa atomlar ara araliq  $10^{-8}$  sm den min` ese kishi ekenligin ko`rsetedi.

Gamma-kvantlardin` ortalik penen ta`sirlesesiwi elektromagnitlik ta`sirlesiwge sa`ykes a`melge asiriladi. Ta`sirlesiw protsessinde gamma-kvant bag`itinin` o`zgertiwi - onin` shashirawi, jutiliwi, bo`lekshe-antibo`leksheler jubinin` payda boliwi menen tusindiriledi.

Gamma-kvantlar zaryadsiz bolg`ani ushin uzaq araliqta ta`sir etiwshi kulon ku`shi ta`sirine berilmeydi, sonin` ushin ha`mme waqit jaqtiliq tezligi menen ha`reketlenedi, a`stelespeydi, tolqin uzunliqlari atomlar ara araliqtan 10^{-3} ese kishi bolg`anlig`i sebepli ju`da` az tutiladi.

Zaryadli bo`lekshelerden onin` parqi, gamma-kvantlar ortalikta o`z energiyalarin kemeytse de tezligin o`zgertpeydi, gamma-kvantlar ushin ortalikta araliq tu`sinigin isletip bolmaydi, gamma-kvantlar ag`iminin` intensivligi ortalikta atom elektronlari ha`m yadrolari menen ta`sirleskende kemeyip baradi.

Monoxromatikaliq gamma-kvantlar ag`iminin` bir sekunda 1sm^2 maydannan o`tip atirg`an intensivligi I , dx -qalin`liqtan o`tkende kemeyiwi dI bolsin.

O`z na`wbetinde dI kemeyiwi ag`im ha`m qatlam qalin`lig`ina baylanisli.

$$dI = -\mu I dx \quad (7.2)$$

Eger ortalik bir tekli bolsa μ turaqli boladi. (7.2) an`latpani integrallap shig`amiz:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (7.3)$$

Bul jerde I_0 -baslang`ish intensivlik,  $I$ - $x$  qalin`liqtag`i ortalikdan o`tkennen son`g`i intensivligi, μ - jutiliw yamasa ha`lsirew koeffitsienti. (7.3) an`latpadag`i da`reje μx - o`lshemsiz bolip, gamma-kvantlar ag`imi ortalikdan o`tkende, intensivlikleri eksponentsial kemeyip baradi.

Ortaliqtin` qalin`lig`i ha`rqiylı bolıwı mu`mkin, sog`an sa`ykes  $\mu$  de ha`rqiylı boladı. μ (sm^{-1}) – uzınlıq birligine tuwri kelse – sızıqlı, ρ -tıg`izlıq birligine tuwri kelse μ/ρ (sm^2) – massalıq jutılıw koeffitsienti dep ataladı.

$$\text{Ha`r bir atomg`a } \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{A}{N} \text{ (sm atom}^{-1}\text{) ha`m } \frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N} \frac{1}{Z} \text{ (sm}^2 \text{ elektron}^{-1}\text{)}$$

sa`ykes keliwshi atom ha`m elektron jutılıw (ku`shsizleniw) koeffitsientler de qollaniladı.

Jutılıw koeffitsienti gamma-kvantlardın` ortalıq penen o`z-ara ta`sirlesiwın tolıq xarakterleydi, sebebi ol ko`rilip atırğ`an protsesstin` tolıq kesimi menen baylanisqan boladı. Gamma-nurlardıń` jutılıwı tiykarinan fotoeffekt, Kompton effekt ha`m elektron-pozitron jubi na`tiyjesinde a`melge asadı. Fotoeffekt penen Kompton effekti gamma nurlardıń` atom elektronlari menen soqlıg`isiwında ju`z berse, elektron-pozitron jubi gamma-kvanttin` atom yadrosi menen ta`sirlesiwında ju`z beredi ha`m joqari energiyalarda bul protsesstin` kese kesimi artadı.

7.2 Fotoeffekt qubılısı

Gamma-kvantlar ortalıqtin` atomlarındag`i baylanisqan elektronlar menen ta`sirleskende og`an o`zinin` ha`mme energiyasın berip jutılıwı ha`m elektrondi urıp shıg`arsa bul protsess *fotoeffekt* dep ataladı. Erkin elektronlarda fotoeffekt qubılısı ju`z beriwı mu`mkin emes, sebebi bul halda energiya ha`m impul`s saqlanıw nızamlari orınlanbaydı.

Haqqıyqattan da fotoeffekt erkin elektronlarda bolıwı ushin foton ha`m elektronlar energiya ha`m impul`slari o`z-ara ten` bolıwı kerek.

$$E_\gamma = m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (7.4)$$

$$\frac{E_\gamma}{c} = \frac{m_e \beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (7.5)$$

(7.4) ha`m (7.5) an`latpalardan

$$\frac{E_\gamma}{m_e c^2} : \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 = \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Yamasa;

$$1 - \sqrt{1-\beta^2} = \beta, \quad 1 - \beta = \sqrt{1-\beta^2}, \quad (1-\beta)^2 = 1-\beta^2$$

Bul ten'leme β nın $\beta=0$; $\beta=1$ ma'nislerinde orınlı boladı. $\beta=0$ da $T_e=0$ boladı. $\beta=1$ de bolsa, massası $m \neq 0$ bo'lekshe ushin $\beta=1$ ge erisiw mu'mkin. Demek, ma'niske iye bolmasa, fotoeffekt qublisi baqlanbaydı.

Solay etip, fotoeffekt bolıwı ushin elektronın atomda baylanisqan bolıwı, foton energiyasinın bir bo'legi elektrong'a beriliwi kerek. Bul berilgen energiyanın bir bo'legi elektronın atom menen baylanis energiyasin uziwge ha'm qalg'an bo'legi onın kinetikalıq energiyasi sipatında payda boladı.

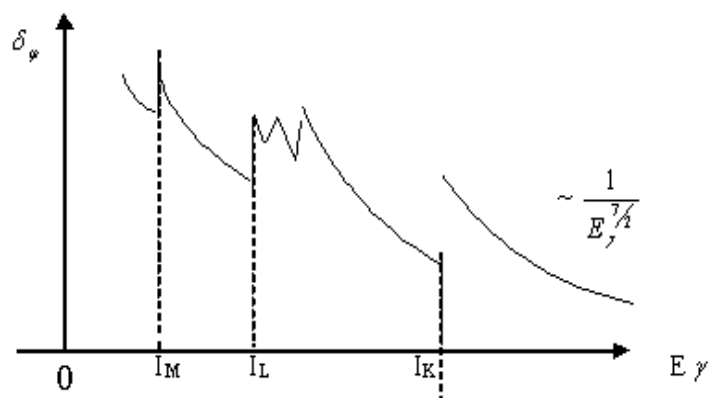
$$T_e = T_\gamma - I_i \quad (7.6)$$

Bul jerde T_γ - gamma kvant energiyası, I – elektronın i qabıqtag'ı baylanis energiyasin ko'rsetiwshi ionizatsiya potentsialı. T_i – fotoelektronın kinetikalıq energiyası. Fotoeffekt protsessi bolıwı ushin gamma-kvant energiyasi elektronın atomdag'ı baylanis energiyasınan u'lken bolıwı kerek $E > I$. Ko'rinip turg'anınday, $E < I$ bolsa gamma-kvant qabıqtag'ı elektrondı urıp shıg'ara almaydı. Ol halda fotoeffekt L, M, N qabıqtag'ı elektronlarda g'ana ju'z beriwı mu'mkin.

Fotoeffekt protsessi ishki K, L ha'm basqa qabıqtag'ı elektronlarda ju'z bergende ishki qabıqtag'ı bosag'an orınlarg'a joqarı qabıqtag'ı elektronlar o'tkenligi ushin fotoeffekt xarakteristikalıq rentgen nurlardin payda bolıwı menen baqlanadı. Awır yadrolarda ishki qabıq energiyaları ayırmashılıg'ı esabınan shıg'ıwshı foton energiyası shet qabıqtan elektron baylanisi energiyasınan u'lken bolıwı ha'm bul foton shet qabıqtan bos baylang'an elektrondı atomnan shıg'arıp jiberiwı mu'mkin. Shıqqan elektrong'a ***Oje elektronlari*** dep ataladı. Oje elektronlardin energiya spektrleri diskret boladı.

Fotoeffekt qubilisinin itimallig'ı foton energiyasinın elektronın atomdag'ı baylanis energiyasına jaqın ma'nislerinde en u'lken boladı. Foton energiyası elektronın baylanis energiyasınan artıp ketse elektron atomda erkin bolg'ang'a uqsap qaladı. Sonın ushin fotoeffekt itimallig'ı kemeyip ketedi, baylanis energiyasi qansha u'lken bolsa, fotoeffekt qublisi sonsha u'lken boladı. Turli qabıqtag'ı elektronlardin baylanis energiyası ha'r qıylı bolg'ani ushin bul elektronlarda fotoeffekt bolıw itimallig'i, yag'niy fotoeffekt kesimi de keskin o'zgeredi.

Gamma-kvant energiyasına fotoeffekt kesiminin baylanisli grafigi 7.1-su'wrette ko'rsetilgen.



7.1-su`wret.

Fotoeffektin` effektivlik kesimi fotonnin` joqari energiyalarinda $1/E_\gamma$ ge proporsional` kemeyse,  $E_\gamma$  ma`nisi K qabiqtag`i elektronnin` ionizatsiya potentsiali I_K ge jaqin ma`nislerde bolsa  $\sigma_f \sim 1/E_\gamma^{7/2}$  ta`rtipte kemeyedi. Foton energiyasi artiw menen fotoeffekt kesimi σ_f kemeyip barip, $E_\gamma = I_K$ ma`nisinde keskin kemeyedi, sebebi foton energiyasi  $E_\gamma < I_K$  bolg`anda k qabiqtan elektron shig`a almaydi. Tap sonin`day, fotoeffektin` kese kesimi ja`ne E_γ kemeyiw menen artip baradi ha`m L , M qabiqlarda da keskin sekiriwler baqlanadi.

Qaralip atirg`an atomda fotoeffektin` en` u`lken u`lesi baylanis energiyasi  $I_K/E_\gamma$  u`lken bolg`an  $K$  qabiqqa tuwri keledi.  $L$ ,  $M$  ha`m basqa qabiq elektronlari energiyalari bir neshshe ese kishi. Esaplawlardan olar to`mendegidey qatnaslarg`a iE; $\frac{\sigma_L}{\sigma_K} \approx \frac{1}{5}$; ha`m  $\frac{\sigma_M}{\sigma_L} \approx \frac{1}{4}$ ; yag`niy $\frac{\sigma_M}{\sigma_K} \approx \frac{1}{20}$

Fotoeffekt itimallig`i elektronlardin` atomda baylanis energiyasina baylanislig`inan, atom zaryadi o`zgeriwine ku`shli baylanisli boladi ( $\sigma_f \approx Z^5$ ). Solay etip, fotoeffektin` kese kesimi onin` ortalik zaryadina ha`m foton energiyasina baylanislig`i kelip shig`adi;

$$\sigma_f \approx \frac{z^2}{E_\gamma} \quad (E_\gamma \gg I_K) \quad \text{ha`m} \quad \sigma_f \approx \frac{z^2}{E_\gamma^{7/2}} \quad (E_\gamma > I_K) \quad (7.7)$$

(7.7) formuladan ko`ringenindey, fotoeffekt tiykarinan awir yadrolarda ju`z beriwi, al jen`il yadrolarda bolsa gamma-kvant energiyasinin` kishi ma`nislerinde g`ana baqlanadi. Kvant mexanikasi usillari tiykarinda K -qabiqtag`i elektronlar ushin shig`arilg`an fotoeffekt kesimi formulasi E_γ kishi energiyalarinda

$$(\sigma_f)_K = 1.09 \cdot 10^{-16} z^5 \left[\frac{13,61}{E_\gamma} (eV) \right]^{7/2} sm^2 \quad (7.8)$$

$E_\gamma \gg m_e c^2$, yag'niy u'lken energiyalarda

$$(\sigma_f)_k = 1.34 \cdot 10^{-33} \left[\frac{Z^5}{E_\gamma} (MeV) \right] sm^2 \quad (7.9)$$

Metallarda erkin elektronlar bar bolg'ani ushin olarda baqlanatug'in fotoeffekt qublisi joqarida ko'rilgen fotoeffekt protsesslerinen tupten ajraladi. Metallar ushin (7.6) formula to'mendegishe jaziladi:

$$T_e = E_\gamma - P_r - I_i \quad (7.10)$$

Bul jerde R_r – elektronnin metalldan shig'iw jumisi. (7.10) - ten'lemeni **Eynshteyn ten'lemesi** dep te ataladi. Metalldag'i erkin elektron ushin $I=1$ bolg'ani ushin;

$$T_e = E_\gamma - P_r \quad (7.11)$$

Demek, gamma-kvant energiyasi $E_\gamma \gg P_r$ nan baslap fotoeffekt qublisi ju'z beriwi mu'mkin. $T_e=0$ de $E_\gamma = P_r$ fotoeffekt protsessinin boliw shegarasi energiyasin bildiredi. Bul energiyag'a sa'ykes keliwshi gamma-kvant tolqin uzunlig'i fotoeffektin qizil shegarasi dep ataladi ha'm to'mendegishe aniqlanadi.

$$P_r = E_\gamma = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda} \quad va \quad \lambda_0 = \frac{hc}{P_r} \quad (7.12)$$

Solay etip, metallardan elektronlardin shig'iw jumisin aniqlap, fotoeffektin ko'rilip atirg'an metall ushin qizil shegarasin tabiw mu'mkin.

Fotoeffekt protsessi na'tiyjesinde payda bolg'an fotoelektronlar energiyasi gamma-kvantlardin intensivligine baylanisli bolmay, onin energiyasina baylanisli. Fotoelektronlar na'tiyjesinde payda bolg'an fototoqtin ma'nisi gamma-kvantlar intensivligine proporsional o'zgeredi.

7.3. Kompton effekt qubilisi

Gamma-foton ortalıqtan o'tiwde fotoelektronlar shig'ariwdan basqa, atom elektronlari menen soqlig'isip, elektrondi shig'arip bir bo'legi energiya ha'm impul'sti elektrong'a beriwi, gamma-foton o'z energiya ha'm bag'itin o'zgertip, shashrawi mu'mkin. Gamma-fotonlarinin bunday elektronlardan energiya ha'm bag'itin o'zgertip shashrawina **Kompton shashirawi** dep ataladi.

Fotoeffekt kesimi gamma-kvant energiyasina kerri proporsional' ra'wishte o'zgerip barsa, kompton effekti gamma-kvant energiyasi artiw menen artip baradi.

Gamma-kvantlarinin' elektronlardan shashirawi eki tu'rli ko'riniske iye. Gamma-kvant energiyasi elektronnin' atom menen baylanis energiyasi ε_0 nan kishi ($E_\gamma < \varepsilon_0$) bolg'anda klassikaliq yamasa kogerent shashiraw ju'z beredi. Kogerent shashirawda foton energiyasi o'zgermesten qaladi. Ol tek o'z bag'itin o'zgertedi.

Kogerent shashiraw Tomson shashirawi dep te ataladi. Ol to'mendegishe tusindiriliwi mu'mkin. Elektronda gamma-kvant toliq jutiliwi na'tiyjesinde Ol gamma-kvant energiyasina sa'ykes keliwshi jiylik penen rezonansli terbele baslaydi ha'm klassikaliq elektrodinamika nizamina sa'ykes terbelip atirg'an elektron jutilg'an gamma-kvant jiyligine ten' jiylikli gamma nur shig'aradi.

Berilgen shashiraw mu'Eshi ushin kogerent shashirawdin' differentsial kesimi

$$\frac{d\sigma}{d\varphi} = \frac{e^4}{2m_e^2 c^4} (1 + \cos^2 \varphi) 2\pi \sin \varphi \quad (7.13)$$

ko'riniske iye. Toliq kogerent shashiraw kesimi bolsa,

$$\sigma_0 = \int_{\varphi=0}^{\varphi=\pi} \frac{e^4}{2m_e^2 c^4} (1 + \cos^2 \varphi) 2\pi \sin \varphi d\varphi = \frac{8\pi e^4}{3m_e^2 c^4} \quad (7.14)$$

Solay etip, $\sigma_0 = 6.65 \cdot 10^{-25} \text{ sm}^2$ kese-kesimnin' san ma'nisi ha'm

$\frac{e}{m_e c} = r_0$ - elektronnin' klassikaliq radiusi. Demek (7.14)

an'latpadan $\sigma_0 \approx r_0^2$ kelip shig'adi. Kogerent shashirag'an gamma-kvantlar mu'Eshlik bo'listiriliwi $I \approx (1 + \cos^2 \varphi)$ nizamina boysinadi.

$E_\gamma > \varepsilon_0$ energiyalarda gamma-kvant erkin elektronda shashirag'anday siyaqli boladi, sebebi elektronnin' baylanis energiyasi E_γ ge salistirg'anda esapqa almasliq da'rejede kishi.

Joqarida bayan etilgendey, bul kompton shashirawda gamma-kvanttin' energiyasi o'zgeredi ha'm elektrong'a gamma-kvant energiyasinin' bir bo'legi beriledi.

Birinshi ret 1923-jilda bul shashirawdi Kompton rentgen nurlarinin' turli zatlardan shashirawin toliq u'yrenip, to'mendegi juwmaqlardi shig'ardi:

1) Shashirag'an rentgen nurlarinin' quraminda baslang'ish λ_0 tolqin uzunliqli nurlardan basqa $\lambda > \lambda_0$ tolqin uzunliqqa iye bolg'an nurlar da ushiraydi.

2) Shashiraw mu'yeshi Θ nin' artiw menen $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ parqi artip baradi.

3) Shashiraw mu'yeshi Θ nin' belgili bir ma'nisinde $(\Delta\lambda)_0$ shashirawinda rentgen nurlarinin' baslang'ish tolqin uzunlig'i λ_0 ge baylanisli bolmay qaladi ha'm $(\Delta\lambda)_0$ ha'mme shashiratiwshi deneler ushin birdey boladi.

Kompton shashirawin klassikalik tolqin teoriyasi tiykarinda tusindirip beriw mu'mkin emes. Sebebi bul teoriyag'a sa'ykes shashirap atirg'an nurlaniw tolqin uzunlig'i o'zgermeydi. Bul protsessti Kompton ha'm Devay kvant mexanikasi tiykarinda tusindiredi. Bunin' ushin rentgen nurlarin fotoeffekt ag'iminan ibarat dep qaraw za'rur. Haqiyqattan da eger rentgen nurlari $E = h\nu$ energiyali fotonlar ag'iminan ibarat dep qaralsa, $E_\gamma > \varepsilon_e$ da foton erkin elektronda shashirag'anday boladi ha'm sonin' ushin da shashiraw xarakteri shashiratiwshi denenin' turine baylanisli bolmay qaladi.

Kompton shashiraw kvant teoriyasinin' tuwrig'in foton ha'm kvant qa'siyetine iye ekenligin ko'rsetiwshi kerekli ilimiy da'lil esaplanadi. Fotonlardin' erkin elektronlardan shashirawinan energiyanin' ha'm impul'stin' saqlaniw nizamin jazsaq:

$$h\nu = h\nu^2 + T_e = h\nu^1 + m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \quad (7.15)$$

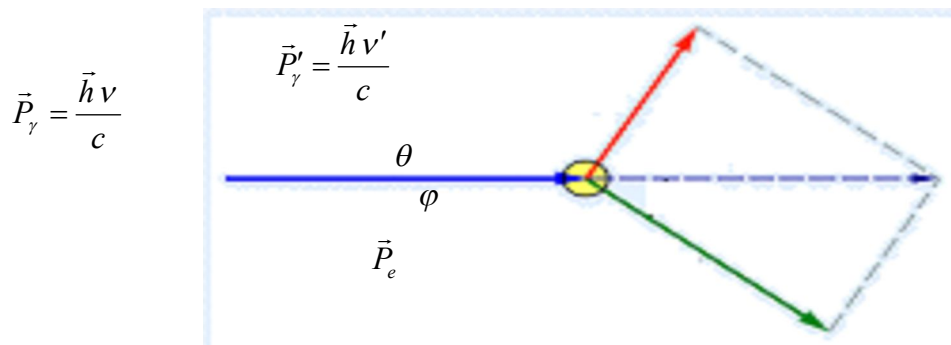
Bul jerde $h\nu, h\nu^1$ –tusiwshi ha'm shashirag'an foton energiyalari, T_e – shig'iwshi elektronnin' kinetikaliq energiyasi. (7.15) ten' lemeni

$$h\nu - h\nu^2 + m_e c^2 = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1-\beta^2}};$$

$h(\nu - \nu^1) + m_e c^2 = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1-\beta^2}};$ ten'lemenin' ha'r eki ta'repin kvadratqa ko'terip jaza alamiz

$$\frac{m_e c^2}{1-\beta^2} = m_e^2 c^4 + (h\nu)^2 + (h\nu^1)^2 + 2m_e c^2 h(\nu - \nu^1) - 2h\nu * h\nu^1 \quad (7.16)$$

7.2-su`wrette Kompton shashirawinin' vektorliq sxemasi ko'rsetilgen.



7.2-su`wret

Bul jerde P_γ – tusiwshi, P_γ^l - shashirag`an foton impul`slarin P_e - shig`iwshi elektron impul`si, θ –foton shashiraw mu`yeshi,  $\varphi$  - elektronnin` shig`iw mu`yeshi. (7.2) su`wretten impul`stin` saqlaniw nizamina sa`ykes

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu^l}{c} + \frac{m_e \beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (7.17)$$

yamasa skalyar ko`riniste 7.2 –su`wretten

$$\frac{m^2 \beta^2 c^4}{1-\beta^2} = (h\nu)^2 + (h\nu^l)^2 - 2h\nu * h\nu^l \cos \varphi \quad (7.18)$$

boladi. (7.16) menen (7.18) ten`lemeneni birge sheshsek

$$\left(\frac{c}{\nu^l}\right) - \left(\frac{c}{\nu}\right) = \lambda^l - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \Theta) \quad (7.19)$$

$$\text{yamasa} \quad \Delta\lambda = \lambda^l - \lambda = \Lambda(1 - \cos \varphi) = 2\Lambda \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (7.20)$$

Bul jerde $\Lambda = \frac{h}{m_e c} = 2.42 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$ - elektronnin` Kompton tolqin uzunlig`i.

Solay etip, (7.20) den shashiraw mu`yeshi  $\theta$  nin` artiwi menen shashirag`an foton tolqin uzunlig`i artip bariwi ko`rinip turipti. Haqiqattan da

$$\theta=0 \text{ de } \Delta\lambda=0$$

$$\theta=\pi/2 \text{ de } \Delta\lambda=\Lambda$$

$$\theta=\pi \text{ de } \Delta\lambda=2\Lambda$$

Demek shashiraw mu`yeshi  $\theta$  nin` artiwi menen $\Delta\lambda$ artip barmaqta. Biraq qaralip atirg`an  $\theta$  mu`yesh penen shashirap atirg`an foton ushin  $\Delta\lambda$  o`zgerisi λ g`a baylanisli emes. Sonin` ushin $\Delta\lambda \ll \lambda$ bolg`an uzin tolqinli nurlaniwlar ushin Kompton effekti sezilerli bolmaydi, qisqa tolqinli gamma nurlaniwlarida bolsa  $\Delta\lambda \approx \lambda$  ju`da` a`hmiEtke iye boladi. (7.19) an`latpani  $\theta$  mu`yesh astinda shashirap atirg`an foton energiyasi ushin to`mendegishe jaza alamiz:

$$h\nu^1 = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos\theta)} \quad (7.21)$$

(7.21) nen kishi shashiraw mu'yeshi ushin $h\nu > m_e c^2$ larda ha'm ha'mme shashiraw mu'yeshleri ushin $h\nu \gg m_e c^2$ larda $\frac{h\nu(1 - \cos\varphi)}{m_e c^2} \ll 1$ ha'm $h\nu \approx h\nu^1$.

Bul klassikaliq Tompsan shashirawinin' o'zi esaplanadi.

$h\nu \gg m_e c^2$ ha'm u'lken shashiraw mu'yeshler ushin $\frac{h\nu(1 - \cos\varphi)}{m_e c^2} \gg 1$

bolg'ani ushin (7.21) nin' bo'limindegi 1 di itibarg'a almasaq, to'mendegi ten'leme ko'rinishinde boladi:

$$h\nu^1 = \frac{m_e c^2}{1 + (1 - \cos\theta)} \quad (7.22)$$

Bul formulag'a sa'ykes $\theta = \frac{\pi}{2}$ da $h\nu^1 = m_e c^2$, $\theta = \pi$ da $h\nu^1 = \frac{m_e c^2}{2}$ ten' boladi.

Demek, ta'jriybede baqlanilg'anday, shashiraw mu'yeshinin' artiwi menen shashirag'an gamma-kvant energiyasi kemeyip, yag'niy tolqin uzunlig'i artip bardi eken. Shashirag'an gamma-kvant energiyasinin' kemeyiwi esabina tepki elektroninin' alg'an energiyasi artadi.

Kompton effektinin' toliq kese-kesimi formulasin Kleyn, Xishina ha'm Tammlar kvant mexanikaliq esaplawlar tiykarinda keltirip shig'arg'an:

$$\Sigma_{\text{komp}} = \left\{ \frac{1+\varepsilon}{\varepsilon^2} \left[\frac{2(1+\varepsilon)}{1+2\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon} \ln(1+2\varepsilon) \right] + \frac{1}{2\varepsilon} \ln(1+2\varepsilon) - \frac{1+3\varepsilon}{(1+2\varepsilon)} \right\} \quad (7.23)$$

Bul jerde $r_e = \frac{e^2}{m_e c^2}$; $\varepsilon = \frac{h\nu}{m_e c^2}$

1) (7.23) da gamma-kvant energiyasi kishi bolg'an $\varepsilon \ll \frac{h\nu}{m_e c^2}$ hallar ushin

$$\sigma_{\text{komp}} = \sigma_{\text{Toms}} \left(1 - 2\varepsilon + \frac{26}{5} \varepsilon^2 + \dots \right) \quad (7.24)$$

2) gamma-kvant energiyasi $\varepsilon \gg \frac{h\nu}{m_e c^2}$ u'lken bolg'anda

$$\sigma_{\text{komp}} = \pi r_e^2 \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{1}{2} + \ln 2\varepsilon \right) \quad (7.25)$$

Demek, u'lken energiyalarda Kompton shashiraw kesimi gamma-kvant energiyalarina keri proportsional' o'zgedi eken. Atomdag'i elektronlar sani Z bolg'ani ushin Kompton effektinin' kese-kesimi shashiratiwshi elementtin' ta'rtip no'merine tuwri proportsional' artip baradi.

$$\sigma_{komp} \approx \frac{z}{E_\gamma} \quad (7.26)$$

Kompton effekti ha'rekettegi elektronlarda da baqlaniwi mu'mkin. (7.21) an'latpada ha'rekettegi elektronnan shashirag'an gamma-kvantin' energiyasi ushin to'mendegi ko'riniske o'tedi:

$$E_\gamma^1 = E_\gamma \frac{1 - \beta \cos \theta_1}{1 - \beta \cos \theta_2 + [E_\gamma (1 - \cos \theta) / E_e]} \quad (7.27)$$

Bul jerde β - elektron tezligi, θ_1 -elektron ha'm tusiwshi foton ha'reketi bag'itlari arasindag'i mu'yesh, θ_2 - elektron ha'm shashirag'an foton ha'reketi bag'itlari arasindag'i mu'yesh, θ - tu'sip atirg'an ha'm shashirag'an fotonlar arasindag'i mu'yesh, E_e - tepki elektron energiyasi.

Misali, gamma-kvant penen elektron qarama-qarsi bag'itta ha'reketlenip atirg'anda ($\theta_1=\pi$) artqa shashirag'an ($\theta=\pi$, $\theta_2=\pi$) bolsa, shashirag'an gamma-kvant maksimum energiyag'a erisedi:

$$(E_e)_{mak} \approx \frac{E_\gamma}{\left(\frac{m_e c^2}{2E_e} - 1\right)^2 + \frac{E_\gamma}{E_e}} \quad (7.28)$$

Keri Kompton effekti dep ataliwshi bul protsesste shashirag'an gamma-kvant energiyasi E_γ^1 onin' baslang'ish energiyasi E den u'lken boliwi mu'mkin.

Jaqtılıq nurinin' tezletkishler ja'rdeminde aling'an ul'trarelyativistiklik elektronlardan shashrawina keri Kompton efektine sa'ykes shashirag'an fotonlar energiyasi relyativistiklik elektron energiyasina shekem artip ketiwi mu'mkin. Bul bolsa jaqtılıq nuri, misali, lazer nurin joqari energiyali gamma nurlarg'a aylandiriw imkaniyatın jaratadi. Keri Kompton effekti ja'rdeminde kosmosta ushiraytug'in pozitron rentgen nurlaniwi ha'm gamma-fon dep atalg'an nurlaniwdin' kelip shig'iwın tusindiriw mu'mkin.

7.4. Elektron-pozitron juplig'inin' payda boliwi

Gamma-kvant energiyasi $E_\gamma=2m_e c^2$ bolg'anda fotoeffekt ha'm Kompton efektleri menen bir qatarda elektron-pozitron juplig'i da payda boladi. Elektron-pozitron jubi yadronin' elektr maydanında ju'z beredi ha'm bul protsess waqtında yadrog'a tepki energiya ko'rinisinde energiya beriledi. Elektron-pozitronnin' tinish halattag'ı massasına tuwrı keliwshi energiya $2m_e c^2=1,02$ MeV. Sonın' ushın gamma-kvant energiyasi 1,02 MeV dan u'lken bolg'andag'i elektron-pozitron jubi payda boliwi mumkin. Elektron-pozitron jubinin' payda bolıwında yadro

alg'an tepki energiyasi juda' kishi bolg'ani ushin $E_\gamma \approx 2m_e c^2$ tan baslap elektron-pozitron jubi payda boliwi mumkin. Elektronnin' elektr maydaninda da elektron-pozitron jubi payda boliwi mumkin. Biraq bul halda elektron juda' u'lken tepki energiya aladi. Sonin' ushin da, elektron maydaninda gamma-kvant energiyasi $E_\gamma \approx 4m_e c^2 = 2,04 \text{ MeV}$ ten', u'lken bolg'anda g'ana elektron-pozitron jubi payda boladi. Bosliqta elektron-pozitron jubi payda bolmaydi, sebebi energiya ha'm impul'sinin' saqlaniw nizami buziladi.

Elektron-pozitron jubi eki foton yamasa eki elektron soqlig'isiwinda payda boliwi mumkin. Birinshi halda soqlig'isiwshi fotonlar energiyalarinin' qosindisi $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} > 2m_e c^2$, ekinshi halda ha'reketegi elektronnin' energiyasi $E_e > 7m_e c^2$ boliwi sha'rt.

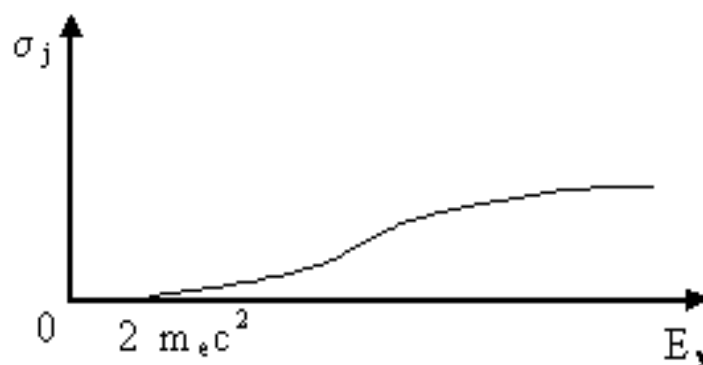
Elektron-pozitron jubi payda boliwi kese-kesiminin' energiyasina baylanislig'i juda' quramali ko'riniske iye. Elektronlardin' ekrang'a ta'siri esapqa alinbag'anda $m_e c^2 \ll E_\gamma \ll m_e c^2 Z^{-1/3}$ energiya intensivligi ushin;

$$\sigma_{\text{juf}} = \frac{z^2}{137} r_e^2 \left(\frac{28}{9} \ln \frac{2 E_\gamma}{m_e c^2} - \frac{218}{27} \right) \quad (7.29)$$

Elektronlardin' ekranlawshi ta'siri esapqa aling'anda ha'm $E_\gamma \gg 137 m_e c^2 Z^{-1}$ energiyasi ushin;

$$\sigma_{\text{juf}} = \frac{z^2}{137} r_e^2 \left[\frac{28}{9} \ln(183 z^{-1/3}) - \frac{2}{27} \right] \quad (7.30)$$

Elektron-pozitron jubi kese-kesiminin' energiyag'a baylanisli ra'wishte o'zgeriwinin' iymek sızig'i uliwmalasqan halda 7.3-su'wrette ko'rsetilgen.



7.3- su'wret.

Kishi energiya ha'm u'lken Z larda elektron-pozitron jubinin' yadro maydaninda payda boliw kese-kesimi, onin' elektron maydani payda boliwi kese-kesiminin' shama menen min' ese u'lken boladi.

Biraq awir elementlerde $E > 10 \text{ MeV}$ energiyali gamma-kvantlar ushin elektron maydani payda boliv kese-kesimi yadro maydaninda elektron-pozitron jubi payda boliv kese-kesiminin 1% in, jen'il elementlerde 10% ke jaqinin qurawin mumkin.

Elektron-pozitron jubi payda boliv protsessi zaryadlang'an bo'lekshelerdin' tormozlaniw yamasa radiatsion nurlaniw protsessi menen birgelikte kosmos nurlari quramindag'i elektron-fotonnin' payda bolivina sebepshi boladi. Elektron tormozlaniwi sebepli payda bolg'an gamma-kvant energiyasi $E_\gamma > 2m_e c^2$, bolsa, elektron-pozitron jubin payda etiw bul elektron-pozitron tormozlaniwi ha'm gamma-kvant payda etiw h. t.b., solay etip, kritikaliq energiyag'a shekem elektron-pozitron foton jaqtilig'in payda ete beriw mumkin.

Uliwma juwmaqlar. Joqarida gamma-kvantlarnin' ortalıq penen ta'sirlesiwinde fotoeffekt, Kompton effekti, elektron-pozitron jubinin' payda bolivi ha'm ortalıqta jutiliwin qarastirdiq. Gamma nurlarinin' ortalıqta toliq jutiliwi koeffitsienti joqaridag'i u'sh protsess esabınan olardın' jutiliw koeffitsientleri qosindisi minadan ibarat;

$$\mu = \mu_f + \mu_{komp} + \mu_{juft} \quad (7.31)$$

Jutiliw koeffi'tsienti menen kese-kesimi baylanisli bolg'ani ushin bilay jaziladi.

$$\mu = N\sigma_f + N\sigma_{komp} + N\sigma_{juft} \quad (7.32)$$

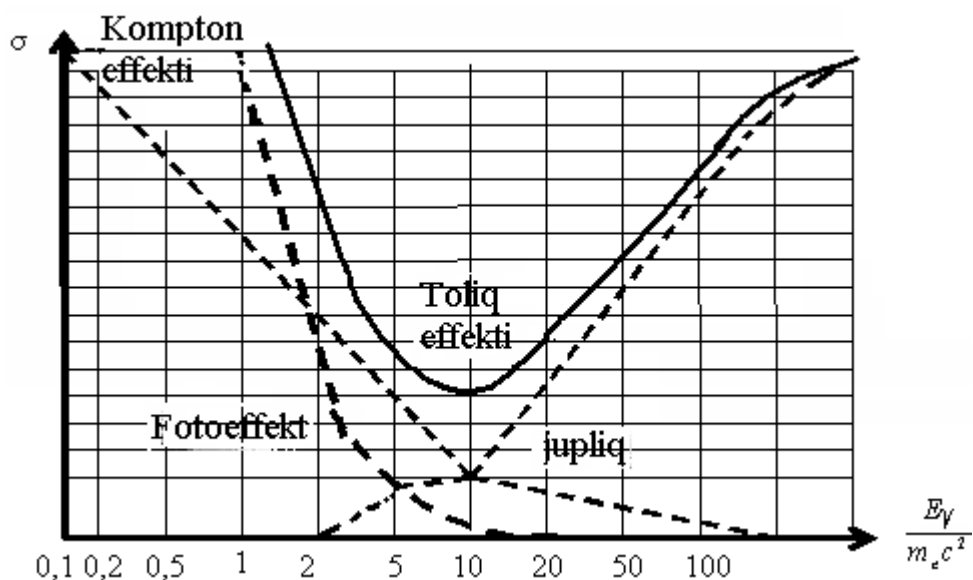
Bul jerde N -shashiwshi oraylar kontsentratsiyasi.

Fotoeffekt ha'm elektron-pozitron jubi payda bolivi ushin jutiwshi oraylar–atomlardan, Kompton effekti ushin bolsa elektronlardan ibarat bolivi kerek.

Solay etip, joqaridag'i u'sh protsesstin' toliq kese-kesimi:

$$\sigma = \sigma_f + \sigma_{komp} + \sigma_{juft} \quad (7.33)$$

Bul jerde $\sigma_f Z^5/E^{7/2}$ – kishi energiyalarda $\sigma \sim Z^5/E_\gamma$ - u'lken energiyalarda, $\sigma_{komp} \sim Z^5/E_\gamma$ ha'm $\sigma_f Z^2 \ln 2 E_\gamma$.



7.4-su`wret

Kishi energiyalar ($E_\gamma < E_1$) aralig`inda fotoeffekt, araliq energiya  $E_1 \leq E_\gamma < E_2$  arasında Kompton effekti joqari energiya  $E_\gamma > E_2$  aralig`inda elektron-pozitron jubi payda bolıwi tiykarg`i rol` oynaydı. E_1 ha`m  $E_2$  energiya shegaralari turli ortalıqlar ushın ha`r qiyli ma`niske iye boladı. Mısalı, alyuminiy ushın  $E_1=0,05$  ha`m $E_2=15$ MeV, qorg`asin ushın bolsa  $E_1=0,5$  ha`m $E_2=5$ MeV h.t.b.

Qorg`asin ushın fotoeffekt, Kompton effekti ha`m elektron-pozitron jubi payda bolıw kesiminin` gamma-kvant energiyasına baylanisli tu`rde o`zgeriw iymek sızıqları 7.4-su`wrette ko`rsetilgen.

VII BAP. ELEMENTAR BO'LEKSHELER FIZIKASI

8.1. Elementar bo'leksheler fizikasının' rawajlanıw tariyxı.

Elementar bo'leksheler fizikası ha'zirgi waqıtta o'zinin' rawajlanıwının' en' joqarg'ı da'rejesine jetken da'wir. Da'slep elementar bo'lekshe degen ne? Sonı qarastırayıq.

Bunnan 2500 jıl burın a'yemgi grek ilimpazlarinin' pikirlewinshe dun`yani tiykarin en' elementar to'rt na'rse qurag'an: hawa, jer, suw, ot. Bular bir-biri menen aralasıp ha'r qıylı zatlardı payda etken. Mine usılardı elementar na'rse dep atag'an. Adamzat ja'miyetinin' rawajlanıwı menen zatlardıń molekulalardan turatug'ınlıg'ı ma'lim boldı. Sol molekular zatlardıń qa'siyetin tusindiretug'in boldı. Keyin ala atom tusinigi payda boldı. Demek molekularardı atomlar quraytug'ınlıg'ı ma'lim boldı. Bulardıń barlıg'ı dun`yanı materiyalistlik ko'z-qarastan tusindiriw bolıp esaplandı.

XIX a'sirdin' aqirına kelip atomlardan da mayda bo'lekshelerdin' bar ekenligi, ma'selen 1895-jılı elektronnin' bar ekenligi ashıldı. Ko'plegen rentgen α, β ha'm γ nurlarına iye zatlardıń bar ekenligi anıqlandı ha'm bul propessler atomlıq propessler dep tusindirildi.

1911- jılı atom yadrosinin' bar ekenligi ashıldı. Sonnan keyin qa'legen atom orayında on' zaryadlang'an yadro ha'm onin' do'geregini elektronlar qorshaytug'in bir sistema turinde tusindirildi.

1919- jılı protonnin' bar ekenligi ashıldı, demek yadrolardin' quramında on' zaryadlang'an proton bo'lekshesi bar degen so'z.

1932- jılı yadronin' quramında neytronnin' bar ekenligi ashıldı. Mine usılardıń barlıg'i elementar bo'leksheler dep ataldi.

Biraq olardıń ta'biyatın tusiniw juda' an'sat emes. Yadronin' quramında g'ı proton menen neytronnin' ashılıwı zatlardıń ta'biyatın uyreniwde juda' ulken rol oynadı. Yadrolıq protsesste nurlanıw ha'm elektronnin' shıg'ıwı (β -protsess) pozitronnin' ha'm basqada awır bo'lekshelerinin' shıg'ıwı yadronin' ta'biyatınin' juda' quramalı Ekenligin ko'rsetedi. Ma'selen proton β ıdırawı protsessinde neytrong'a, pozitrong'a ha'm neytrinog'a ıdıraydı. Bul ıdıraw protsessinde proton yamasa neytron joqarıda g'ı ıdırag'an bo'lekshelerden turadı degen juwmaqqa keliwge bolmaydı. Ol payda bolg'an bo'leksheler ıdırawı momentinde g'ana payda boladı. Sonın' ushın ha'zirgi elementar bo'leksheler fizikasinin' kushli rawajlang'an

da'wirinde de bo'lekshelerdin' elementar ekenligine toliq da'lillew joq. Bul elementar bo'lekshelerdin' rawajlanıw da'wirin ekige bo'liwge boladi:

1. -1932-jılga deyin (6-elementar bo'lekshe belgili Edi: foton, elektron, pozitron, proton, neytron, neytrino ha'm antineytrino).

2. -1938-jıldan ha'zirgi kunge shekemgi da'wir.

1938- jılı μ -mezon ashıldı. Keyin ala bir qansha mezonlar giporonlar, rezonansli bo'leksheler, antiproton, neytron ha'm antiyadrolar ashıldı.

8.2.Birinshi elementar bo'leksheler ha'm olardın' qa'siyetleri

1895-jili Tomson ta'repinen 1-ret elektronnin' bar ekenligi ashıldı. Bul elektronnin' ashılıwı tiykarınan rentgen trubkadag'ı xarakteristikalıq nurlardı izertlew waqtında anıqlandı. Ol rentgen nurlari belgili bir bo'lekshenin' ag'ımı anodqa kelip urılq'anda, kelip urılq'an sonsha energiya izsiz jog'alıp ketpey rentgen nurlarına aylanadı. Demek, rentgen nurı payda bolıwı ushın elektronlar ag'ımı shıg'ıwı kerek eken.

Elektron elementar bo'lekshe, zaryadı teris, massasi juda' kishi bo'lekshe ekenligi anıqlandı. $e=4,8 \cdot 10^{-10}$ SGSE zaryad birligine yamasa, $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl g'a iye. Onı 1909-1913 jillarda Angliya fizigi R.Milliken anıq o'lshegen. Mısalı $m_e=9,1 \cdot 10^{-28}$ g. Bul vodorod yadrosının' massasınan 1836 ese kishi eken. Demek, elektronnin' ashılıwı bizin' zatlar tuwralı tusinigimizdi bunnan bilay teren'lestiredi. Zatlardın' infrasktrukturasın qattı denelerdin' atomlıq duzilisin, elektronnin' shashırawı ja'rdeminde uyreniw tez pa't penen rawajlandı.

Atomnın' duzilisindegi ha'm molekulalardin' bir-biri menen ximiyalıq baylanisin elektron arqalı jaqsı tusindirildi. Elektron elektromagnitlik qa'siyetke iye, sebebi zaryadı bar. Menshikli magnitlik momentke iye, yamasa spin ge iye. Elektronnin' spini $s_e = \frac{h}{2}$ Ge ten', bunda h Plank turaqlısı.

Magnit momenti Bor magnitonına ten'.

$$M_o = M_e = \frac{E}{mc} * \frac{h}{2} = 9.27 * 10^{-27} \text{ } \mathcal{P}^2 / \text{ } \text{ } c^2$$

Elektronnin' ashılıwı atomnın' birinshi modelin duziwge ja'rdem beredi. Ol 1904-jılı Tompson ta'repinen jaratıldı.

Tompson modeli boyinsha, atom ortasinda teris zaryadlang'an elektroni bar, onı on' zaryadlang'an bo'leksheler qorshap turadı degen model' usınadı. Bul model Tomsonnin' sha'kirti Rezerford ta'repinen durıs emesligi da'lillendi ha'm 1911-jılı O'zinin' modelin usinadi. Biraq Tomsonnin' aytqan modelinde atom 10^{-8} sm o'lshege iye degeni haqiyqatliqqa sa'ykes keledi.

FOTON. (Foton zaryadsiz, massası, spini, barionlıq zaryadı, izotoplıq spini nol'ge ten'.) Foton elektromagnitlik maydan kvantı bolıp, tınısh haldag'ı massası nol'ge ha'm spini birge ten' bolg'an elementar bo'lekshe. Foton barlıq elementar bo'leksheler ishindegi en' ken' taralg'ani. Ol ko'zge ko'rinetug'ın jaqtılıq ag'imında da, rentgen nurlaniwında da, radiotolqınlar tu'rında de ha'm lazer impulslarında da ushiraydı. 1964-jılı Amerikalıq astronomlar A.Penzias ha'm R.Vil'sonlar dun'ya fazası millimetrlik radiotolqınlar menen tolg'anlig'in aniqladı. Olardin' pikirinshe tempereraturadag'i suyuq fotonda gaz turinde qaraw mumkin. Ha'zirgi zaman tusinigwine sa'ykes bul nurlaniw (buni relikt nurlaniw dep ataladı.) kosmos rawajlanıwının' joqarg'i basqishlarında dene temperaturası ha'm basımı juda' joqari bolg'an waqıtta payda boladı. Relikt fotonlardin' ortasha tig'i'zlig'i 1 sm^3 ta 500 fotonlar boladı. Bul sanda bizdi qorshag'an a'lemde pratonlardin' tarqaliwi menen salıstırıwg'a boladı. Kosmosta 1 m^3 ko'lemge ortasha 1 proton sa'ykes keledi. Solay etip kosmosta fotonlarg'a qarag'anda milliard ese ko'birek ushiraydı. Fotondi teoriyalıq jaqtan M.Plank ashti. Ol 1900 jılı 14-dekabr Berlin fizika ja'miEtinde kvant tuwralı gipotezani aytqan. Usi waqıttan baslap fizikada kvant erası baslandı. Plank pikirın dawam Ettirip A.Eynshteyn 1905 jilda jaqtılıq kvant tek nurlanıw g'ana qoymay, o'z aldına portsilyar turin de jutılıw ha'm sol portsiyalardan turatug'i'nlig'i'n ko'rsetedi.

Plank gipotezasi fotoeffekt lyumenestsentsi ha'm basqada qubilislardin' nızamliqlardin' tusindiriwge mumkinshilik berdi. Elektromagnit nurlaniwinin' korpuskulyar qa'siyetleri A.Komptonnin' Erkin elektronlarda rentgen nurlarinin' shashırawın uyreniw boyınsha o'tkerilgen ta'jiriybelerinde en' juda' anıq ko'rindi. Kompton effekti elektromagnitlik nurlaniw kvant tusinigin tastıyqlaydı ha'm 1920 jıllar fizikasına foton dep atalatug'ın jan'a elementar bo'lekshe birotala kirdi.

Ha'r qanday basqa kvant bo'lekshege uqsap foton bir waqıttın' O'zinde ha'm tolqın, ha'm korpuskulyar qa'siyetlerge iye.

Fotonning tegis tolqinlari $E=h\nu$ energiyaga ha'm $p=h\nu/c$ impulsqa iye boladi. Fotonlar sani o'zgerip otiradi, ular o'z-ara ta'sirlashiwna'tiyjesinde payda bolishi ha'm joq bolishi mumkin. Ma'selen annigelyatsiya vaqtinda $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$. Bul jerde ha'm Kompton effektinde ha'm $(e^- + \gamma \rightarrow e^- + \gamma)$ fotonlar real kutiletug'in bo'leksheler turinde payda boladi. Bunnan basqa fotonlar ku'tilmegen vertual halda ha'm bolip, onda bular elektromagnitlik o'z-ara ta'sirlashiwlerdi ko'shirip otiradi.

Fotonning elementar bo'lekshe sipatidagi qa'siyetleri klassikaliq elektrodinamikaga barip taqaladi. Foton elektrlik tamaninan neytral bolip, zaryadi nol'ge ten'.

Fotonlarning elektronlar ha'm pozitronlar menen o'z-ara ta'sirlashiw maydanlari juda' jaqsi uyrenilgen. Buni tek kvantliq elektrodinamika u'yrenip, onin' aldin ala boljag'anlari eksprimentte u'lken aniqliqta tekserilgen.

Foton basqa bo'lekshelerga salistirg'anda ta'biyati boyinsha juda' a'piwayi ha'm jaqsi u'yrenilgen bo'lekshelerdin' biri. Fotonning ta'biyati ha'm mikrodunyadagi orni tuwrasindagi tusinigimizdi bunnan bilay teren'lestiruwimiz ushin barliq tiykarg'i o'z-ara ta'sirlashiwlerdi biriktirip, bir teoriyaning rawajlanishi menen a'lemge assa kerek. Biz soni tu'sindiruwimiz kerek boladi.

PROTON. Proton on' zaryadlang'an bo'lekshe bolip ol Rezerford ta'repinen 1919-jili ashildi. Rezerford o'z ta'jiriybesinde α bo'lekshe menen azot gazinin' atomin atqilag'an waqitta zaryadlang'an bo'lekshe, - protonning payda bolg'anin ta'jiriybede ko'rsetedi. Sonnan baslap turaqli yadroning bo'liniwining mu'mkin ekenligin da'lilleydi. Bul ta'jiriybe yadroliq reaksiyada tung'ish ta'jiriybe bolip esaplanadi. Bunday turaqli izotonlardan bo'lekshenin' shig'iwi ta'jiriybeni bunnan bilayda rawajlandiriwga alip keldi. Protonning zaryadi on', shamasijag'inan elektronning zardina ten'.

$$Z_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

$$Z_p = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE}$$

$$\text{Massasi; } M_p = 1,007276 \text{ a.b.m} = 937,637 \text{ MeV}$$

Anomalliq magnit momentke iye. onin' shamasijag'inan $\mu_0 = 2.79 \mu_B$ ga ten'.

Proton adronlar klasina tiyisli bo'lekshe bolip vodorod atominin' yadrosi. Proton neytronlar menen birge barliq ximiyaliq elementlarning

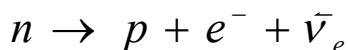
atom yadrolarin payda etedi. Bunda yadrodag'i protonlar sani elementtin' atomi nomerini belgileydi.

Ha'zirgi ko'z qarastan proton haqiqiy elementar bo'lekshe emas ol $+2/3$ elektr zaryadi /elementar zaryad birliklerinde/ eki u-kvarktan ha'm $-1/3$ Elektr zaryadi bir d kvarktan du'zilgen. Kvarklar bular qiyaliy bo'leksheler bolip kushli o'z-ara ta'sirlardi tasiwshi maydan kvantlari ionlar almasiwi jag'dayinda o'z-ara baylanisqan. Elektronlardin' protonlarda shashirawi protsessleri tekserilgen ta'jiriybeler haqiqqattan protonlar ishinde tochkaliq shashiratiwshi oraylardin' bar ekenligini tasdiqlaydi. Bul ta'jiriybeler atom yadrosinin' ashiliwina alip kelgen. Rezerford ta'jiriybelerine ma'nisi boyinsha juda' uqsas. Turaqli bo'lekshe bolg'an proton shegi 10^{-13} sm o'lshege iye, biraq oni qatti sharik dep esaplaw mu'mkin emas. Proton payda bolip yamasa joq bolip atirg'an virtual bo'lekshelerden ibarat yamasa sheksiz shegarag'a iye bolg'an bultqa ko'birek uqsaydi.

NEYTRON. Bul neytron 1932 jili Chedvik J.Kyuri ha'm F.Kyuri ta'repinen ashildi. Bul ta'jiriybe Rezerford ta'jiriybesinin' dawami bolip esaplanadi. Bunda α bo'lekshe menen Berilliy ha'm litiy atomin' atqilaydi. Protonnin' ornina zaryadsiz ha'm juda' qorg'asinnan da o'tiwshilik uqibina iye nurlardi bayqaydi. Bul nurlaniw neytron bo'lekshesi bolip esaplanadi.

Neytron zaryadsiz bo'lekshe, massasi protonnin' massasina jaqin ha'm $m_n = 1,008662$ a.m.b ne ten'. Orbitaliq momenti $l_n = 0$ ge ten'. Anomalliq magnitlik momentke iye. Onin' shamasini $M_n = -1,91 \mu_b$ nina ha'm spini $s = \frac{1}{2}$. Izotopliq spini $T_z(n) = \frac{1}{2}$ ge ten'. Barionliq zaryadi $B_n = 1$

Neytronnin' jasaw da'wiri. $T_{1/2} \approx 13$ min. Ol β -idiraw boyinsha,



Protong'a elektrong'a ha'm elektronliq antineytrong'a idiraydi.

Neytron - adronlar klassina kiretug'in neytral bo'lekshe. Proton menen birikken halda jasaw uqibina iye bolip, atom yadrosini payda etedi. Neytronlar ag'imin' ku'shli elektr maydani arqali o'tkeriw menen neytronnin' zaryadinin' joq ekenligini onin' boliw shegi $n_e < 10^{-20}$ e. Bunda; e-elektronnin' zaryadi esaplanadi'.

Proton ha'm basqa adronlarga uqsap neytronda shin elementar bo'lekshe emas. Ol elektr zaryadi $+2/3$ bolg'an bir u-kvarktan ha'm zaryadi $-1/3$ bolg'an eki d-kvarklardan turadi. Olar 100 N maydani menen birikken.

Neytronlar yadro ta'repinen kushli jutuliwi menen, zatlarda erkin halda jasay almaydi. Ol ja'ne erkin o'z aldina jasaw uqibina iye emes. Neytronlar ta'biyatta payda boladi yamasa laboratoriya jag'dayinda yadroliq reaksiyalarda alinadi.

Tu'rli yadro reaksiyalarinin' energiyasi' bolg'ani ushin neytron ha'm protonnin' massalarinin' ayirmasi boyinsha neytron masasinin' u'lkenligi aniqlanadi.

$$(M_n - M_p) = (129344 \pm 0,00007) MeV$$

Neytron barliq fundamental o'z-ara ta'sirlesiwge qatnasadi. Ku'shli o'z-ara ta'sirlesiwler, neytronlar ha'm protonlardi atom yadrolarinda uslap turadi. Ha'lsiz o'z-ara ta'sirlesiwge qatnasina Neytron o'zinin' ishki strukturasina iye bolip, onin' uliwma neytrallig'ina qaramay, tiykarinan neytronda magnitlik moment payda boliwg'a alip keliwshi elektr toklari bar. Basqasha aytqanda neytron magnit maydaninda o'zin kompos sipatinda uslaydi. Bunin' o'zi onin' elektromagnitlik o'z-ara ta'sirlesiwge qatnasatug'inlig'inin' bir da'lili bolip esaplanadi.

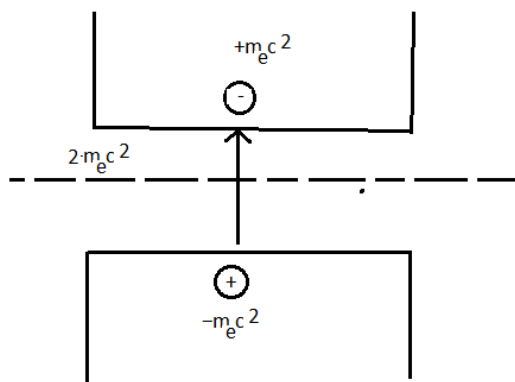
POZITRON. 1928-jili Dirak o'zinin' elektron tuwrali ha'm onin' qa'siyetlerin izertlew teoriyasinda elektrong'a uqsas tag'i bir bo'lekshenin' bar ekenligin formula ja'rdeminde ko'rsetti. Onin' formulasi boyinsha energiya,

$$E = \pm \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

formag'a iye.

Egerde bul energiya elektrong'a tiyisli bolsa, ol ten'lemenin' eki sheshimi bar.

Birinshisi $E_e = +m_e c^2$ ha'm ekinshisi $E_e = -m_e c^2$ (8.1-suwret).



8.1-suwret

Bunin' tiykarg'i maqseti massanin' ha'm zaryadtin' saqlaniw nizami boyinsha elektron bir orinnan 2-oring'a o'tkende burining'i jerinde

san'laq qaladi. Barip tusken jerine elektron impul's beriwı kerek. Olay bolsa;

$$\frac{-e}{-m} = \frac{+e}{+m}$$

Bul qatnas orinlaniwi tiyis. Eger usı qatnas orinlansa elektrong'a kerı bolg'an bo'lekshe bolıwı kerek. Ol pozitron dep ataldi. Demek, pozitron 1932-jılı kosmos nurlarinin' quramında ta'jiriybe jılı menen alındı ha'm Dirak ten'lemesinin' duris ekenligi da'lillendi. Pozitronnin' massası elektronnin' massası menen birdey. Zaryadı on';

$$+e = 1,6 \cdot 10^{-19} k$$

$$+e = 4,8 \cdot 10^{-10} sgse$$

Yamasa;

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} z$$

Pozitrondı birinshi ret Anderson ashtı. Spini 1/2 ge ten', leptonlıq zaryadqa iye ekenligi pozitronnin' β -idiraw protsessine qatnasatug'inlig'inan aniqlandı.

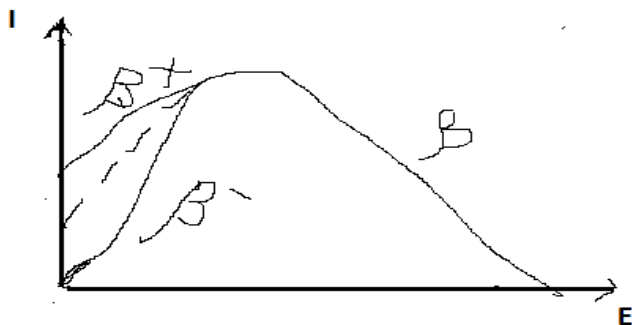
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$

Elektron menen pozitron belgili bir maydanda ta'sirleskende energiyası 1,02 MeV tan joqari bolg'an jag'dayda annigilyatsiyalıq birin-biri joq etiw payda boladı, yag'niy;

$$e^- + e^+ = \gamma + \gamma$$

8.3.Neytrino ha'm antineytrino

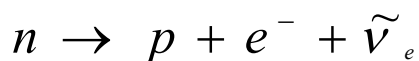
1931 jılı Pawlı pozitronnan basqa ja'nede elementar bo'lekshelerdin' bar ekenligin teoriyalıq jaqtan ko'rsetti. Ol bo'lekshe neytrino dep ataldi. Bul neytrinonin' bar ekenligi beta idiraw protsessin analizlegende aniqlandı. Massası no'lge ten'. Spini 1/2 ge ten'. Beta idi'rawdi'n' ush tu'ri bar. Beta teris yamasa beta on' idirawda tek elektron yamasa pozitron payda bolg'an bolsa, onda beta spektr pu'tin bolmag'an bolar edi(8.2-su'wret).



8.2-su'wret

Biraq beta spektri pu'tin bolg'anlig'i ushi'n beta idiraw protssesinde tag'i bir bo'lekshenin' bolatug'nlig'in boljadi.

Proton neytrong'a aynalg'anda neytrino al, neytron protong'a aynalg'anda antineytrino payda boladi. Bul idiraw protsesleri mi'na formulalar menen ko'rsetilgen;



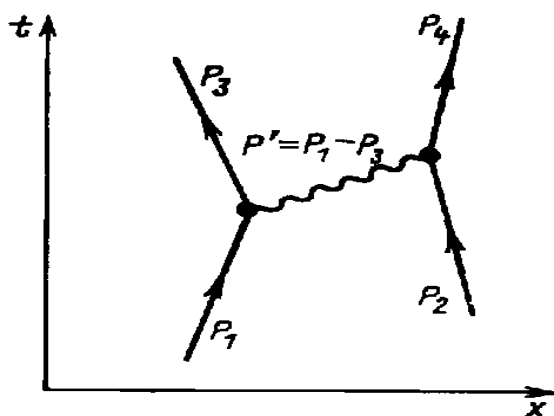
Bul neytrinolar elektronliq neytrinolar bolip esaplanadi.

IX-BAP

ANTIBO'LEKSHELER USHIN FEYNMAN DIAGRAMMASI

9.1. Antibo'leksheler ushin Feynman diagrammasi, elektronning magnitlik momenti

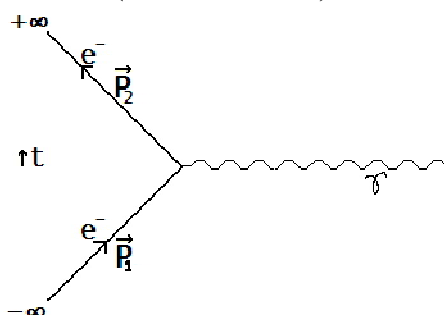
Elementar bo'leksheler fizikasida bo'lekshelerdin' o'z-ara ta'sirlesiw kvant mexanikalik formulalar ja'rdeminde xarakterlew juda' u'lken matematikalik protsess bolip esaplanadi. Usi matematikalik protsesslerdi jen'illestiriw maqsetinde Feynman o'zinin' diagrammasin usindi. Ha'r bir bo'lekshe o'zlerinin' qanday da qa'siyetlerine qaramastan 4 impul'sqa iye(9.1-suwret);.



9.1-su'wret

Bunda bo'lekshelerdin' bag'iti belgili bir intervali menen xarakterlenedi-(↑ t)

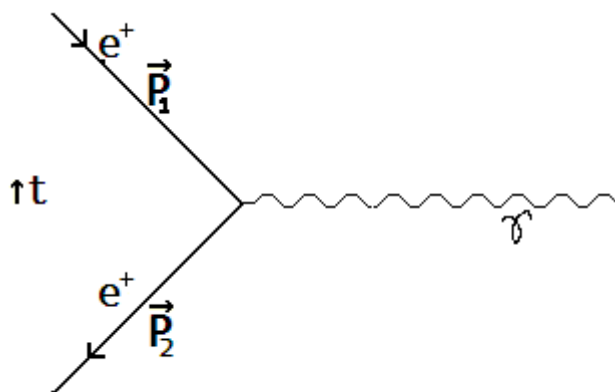
Ma'selen, elektron ushin(9.2-su'wret);



9.2-su'wret

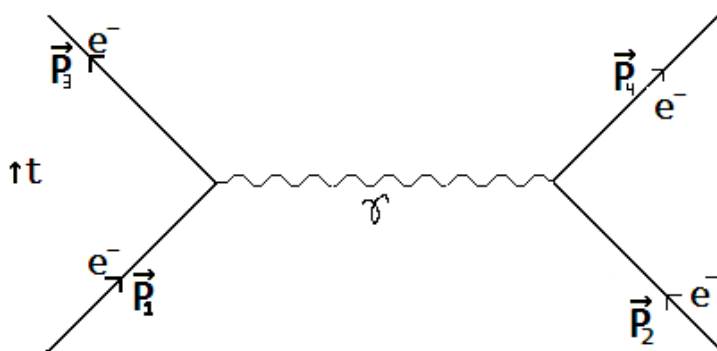
Bul diagrammanin' to'mengi bo'limi elektronning payda boliwin ko'rsetedi. Al joqari bo'limi elektronning joq boliwin ko'rsetedi. Elektronlardin' bag'iti waqittin' bag'iti menen birdey, sonliqtan oni on' dep qabil etken. Payda bolg'an elektron ortalik penen ta'sir etisse γ - kvantti payda etedi ha'm o'zinin' bag'itin o'zgertedi. Elektronning

antibo'lekshesi pozitron, onin' diagrammasi og'an qarama qarsi boladi(9.3-suwret).



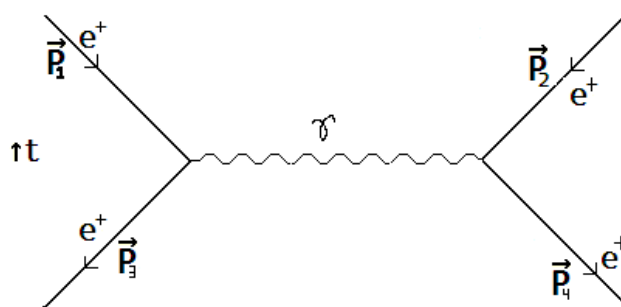
9.3-su'wret

Waqitqa keri, sonliqtan pozitronni elektronning antibo'lekshesi dep ataydi. Endi elektron menen elektronning ta'sirlesiwini qarastiramiz(9.4-su'wret).



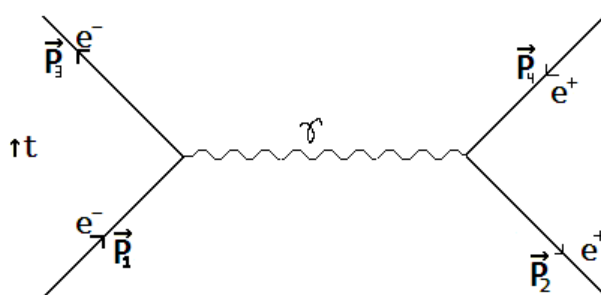
9.4-su'wret

Elektronlar belgili ortalikta bir-birine onsha jaqin bolmag'n araliqta ta'sirlesedi. Ol ta'sirlesiw a'lbette γ -kvant natijesinde beriledi. Bunda $p_1 \rightarrow p_2$ elektronlarning dastlepki payda bolg'andagi impulslari, al $p_3 \rightarrow p_4$ ha'm $p_4 \rightarrow p_3$ elektronlarning ta'sirlesip jog'aliw momentidagi impulslari. Bul protsess pozitron ushin da orinli boladi(9.5-su'wret).



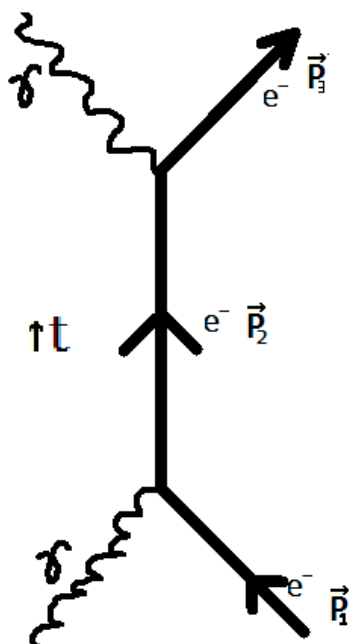
9.5-su'wret

Endi elektron menen fazitronnin' ta'sirlesiw 9.6-su'wrette berilgen.



9.6-su'wret

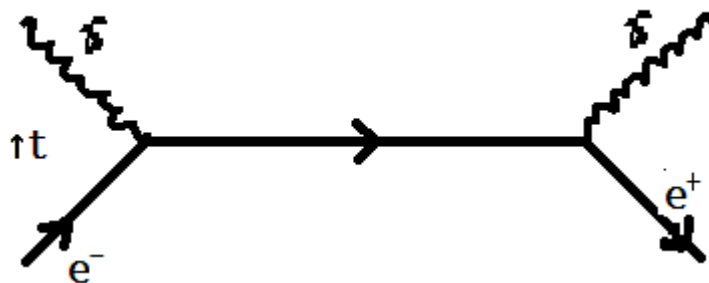
Kompton effektin Feynman diagrammasinda to'mendegishe ko'rsetiw mu'mkin(9.7-su'wret).



9.7-su'wret

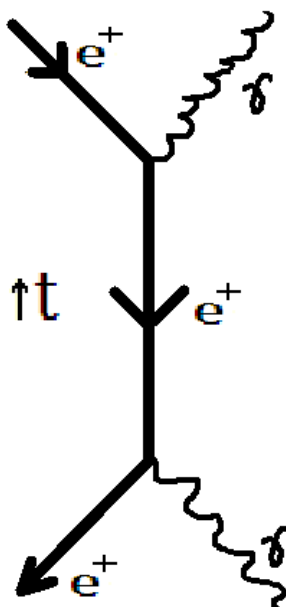
Belgili bir ortalik penen elektron ta'sirlesip energiyanin' bir bo'legi γ -kvantqa aylanip bag'itin o'zgerledi, yag'niy Kompton effekti bunda elektronnin' ortalik penen ta'sirlesiw protsessin xarakterleydi eken.

Bul su'wrette elektron ortalik penen ta'sir etiskende o'zining energiyasina baylanisli pozitrong'a da aylaniwi mumkin ekenligin ko'rsetedi(9.8-su'wret).



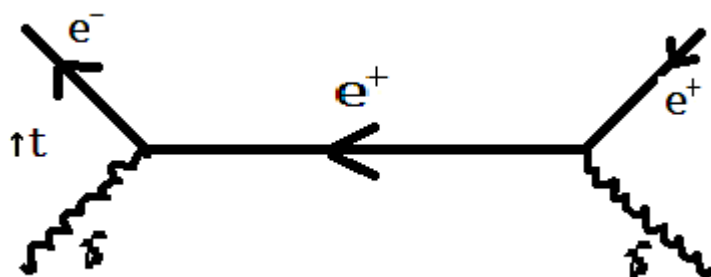
9.8-su'wret

Feynman diagrammasinda waqitqa qarama-qarsi bolg'an protsesslerdi antibo'lekshe dep ataladi(9.9-su'wret).



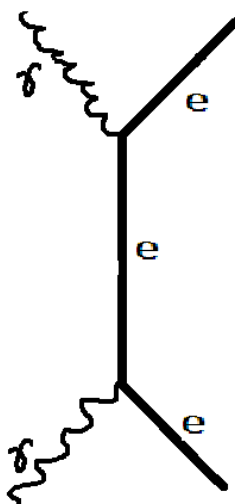
9.9-su'wret

9.9-diagrammadag'i elektronlardin' bag'iti waqittin' bag'iti menen sa'ykes kelgende pozitron payda bolmag'an bolar edi.



9.10-su'wret

Sonin' ushin 9.10-su'wrette pozitron elektrong'a aylanip atir. Payda bolg'an pozitron bag'itin o'zgertip waqittin' bag'iti menen sa'ykes keldi ha'm elektrong'a aylanadi. Bul uliwma elektron ha'm pozitron ushin Feynman diagrammasinin' uliwmalasqan tu'rin to'mendegishe siziwg'a boladi(9.11-su'wret).



9.11-su'wret

Usi Feynman diagrammasi bo'lekshelerdin' ta'sirlesiwini tek diagramma tu'rinde ko'rsetip qoymastan oni sapaliq jaqtan da xarakterleydi, yag'niy sol diagrammag'a qarap ta'sirlesedi, Ol joqari da'llikte aniqlawg'a mumkinshilik beredi. Ma'selen elektronning' magnit momentini aniqlawda to'mendegishe duzetiw kiritilgan.

$$M_e^{teoriya} = M_e \left(1 + \frac{\alpha}{2\pi} - 0,328 \frac{\alpha^2}{\pi^2} \right) = 1,001159615 MeV$$

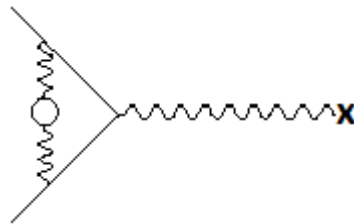
Ta'sirlesiwdi xarakterleytug'in γ -kvanttin' uzunlig'i belgili, ol ha'r bir ta'sirlesiw ushin turaqli koeffitsient bolip esaplanadi. Sonin' ushin da Feynman diagrammasi ta'sirlesiw din' fizikaliq qa'siyetini sapaliq jaqtan tusindiredi. Al ta'jiriybenin' san ma'nisi;

$$M_e^{\text{экспер}} = (1,001159622 \pm 27 \cdot 10^{-9}) \text{MeV}$$

elektronnin' magnit momenti;

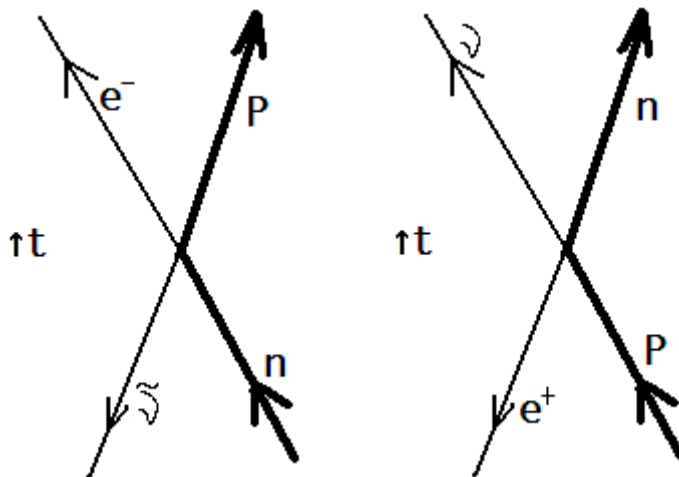
$$\mu_e = \mu_b = \frac{e\hbar}{2m_e c} \text{ ten' }.$$

Elektronnin' magnit momentlerin izertlegende Feynman diagrammasidan paydalansaq boladi. γ -kvant ketip baratirip o'z jolinda awir bo'leksheni payda etedi. /9.12-su'wrettegi do'ngelek/ Bular elektronlardin' magnit momentin aniqlaytug'in sizilmalar bolip esaplanadi.



9.12-su'wret

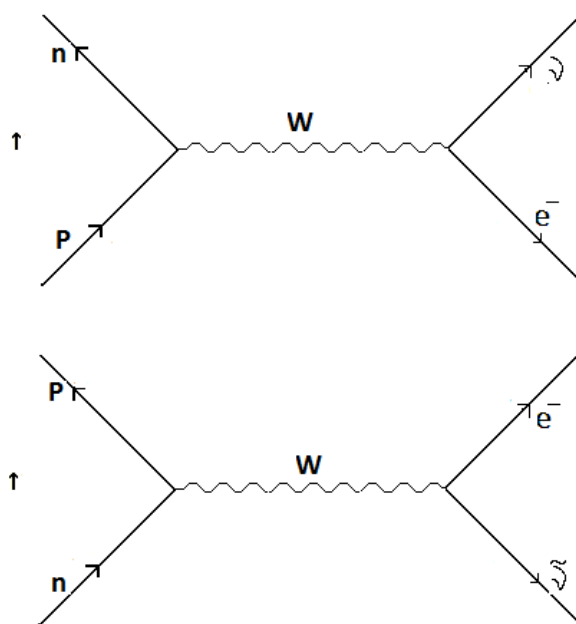
Feynman diyagrammasi elektromagnitlik ta'sirlesiw menen birge ha'lsiz ha'm ku'shli ta'sirlesiwdi de xarakterleydi(9.13-su'wret).



9.13-su'wret

Neytrino bo'lekshesi bul ju'da' ha'lsiz ta'sirlesiwge qatnasadi. Olay bolsa ha'lsiz ta'sirlesiw ko'effitsenti $\partial_{ha'lsiz}^2 = \frac{1}{137}$ shamasina ten'. Ha'lsiz ta'sirlesiw ko'effitsenti belgili bolg'annan keyin β -idiraw protsessinin' fizikaliq ma'nisin tu'sindiriw bir qancha jen'illesedi. Biz a'llette neytron ha'm protondi yadroliq bo'lekshe bolg'anlig'i sebepli kushli ta'sirlesiwge qatnasadi dep aytamiz. Kushli ta'sirlesiw din' tasiwshilari

π -mezonlar bolsa, al ha'lsiz ta'sirlesiwidin' tasiwshilari W-bozonlar boliwi kerek(9.14-su'wret).



9.14-su'wret

W- bozonnin' xarakteristikasi. $Z=\pm 1$, $m_W > 1000m_e$, $S_w=1$. Ol bo'lekshenin' zaryadin, massasi'n aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi.

X-BAP. ELEMENTAR BO'LEKSHELERDI IZERTLEW

10.1. Elementar bo'lekshelerdi izertlrawdın' ekinshi basqishi

Elementar bo'lekshelerdi izertlewđın' ekinshi basqishi 1938–jildan baslandi. Sog'an deyin mina bo'leksheler p , n , e^+ , e^- , ν , $\bar{\nu}$, ha'mmesi bolip alti bo'lekshe belgili edi. Al izertlewđın' ekinshi basqishi μ -mezonning ashiliwi menen baslandi. Elementar bo'leksheler fizikasining rawajlanishi ushin fiziklerding qolinda bo'lekshelerdi tezletetug'in tezletkishler joq edi. Ol tezletkishlerding ornina kosmos nurlarin qollanip olardi izertlewden basladi. Kosmosliq nur ulken tezlikke iye bo'leksheler ag'imi olarding ishinde zaryadlang'an ha'm zaryadlanbag'an bo'leksheler bar edi. Ol elementar bo'leksheler fizikasin u'yreniwde u'lken a'hmiyetke iye boldi ha'm tiykarg'i ro'ldi oynadi.

Yaponiya fizigi Yukawa teoriyalıq jol menen belgili magnitlik ortalıqta elektron menen protonning ortasında qandayda bir bo'lekshening bolatug'inlig'in da'lillegen. 1938-jili bul μ mezon(aralıq yamasa ortalıqtag'i degendi an'latadi) ekenligi aniqlandi, ol kosmos nurlarinin' quramında tabildi.

10.2. μ -Mezonning zatlar menen ta'sirlesiwı

μ -mezon on' ha'm teris zaryatqa, massag'a, magnitlik momentke iye bo'lekshe bolip ha'lsiz ta'sirlesiwge qatnasadi. μ - mezon turaqsız bo'lekshe. Al onin' jasaw da'wiri zatlardan o'tken waqıtta ha'r qiyli boladi.

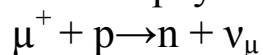
Ma'selen; $\tau_\mu = 2.15 \cdot 10^{-6}$ tan $\tau_\mu = 7 \cdot 10^{-8}$ sekuntqa deyin o'zgeredi.

μ -mezon;

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu ,$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

Idiraw protsseslerine qatnasadi. μ -mezonning jasaw da'wiri ta'sirlesip atirg'an zatlarding zaryadına baylanisli. Ma'selen, qorg'asında μ -mezonning jutiliw itimallig'i 30 ma'rte ko'p. Ol qorg'asında μ -mezonning jasaw da'wirinin' az ekenligin ko'rsetedi. μ -mezon qorg'asin atomlari menen ta'sirlesken waqıtta elektronnin' bir ornin iyeleydi. Na'tiyjede mezoatom payda boladi.



μ -mezonning' zatlar menen ta'sirlesiw u'yreniw sol zatlardi quraytug'in yadrolardin' radyusin aniqlawg'a mumkinshilik beredi. Bunday aniqlang'an radius elektronning' orbitasi boyinsha aniqlang'an radyustan da'lirek boladi. Qorg'asinnin' k orbitadag'i radyusi to'mendegishe aniqlanadi.

$$(r_k)_{Pb} = h / z m_\mu = 3 \cdot 10^{-13} \text{ sm} < R_{Pb}$$

$$(r_k)_{Pb} < R_{Pb}$$

Egerde μ -mezon yadro ta'repinen jutilsa ha'm jasaw da'wiri $7 \cdot 10^{-8}$ sekunt bolsa, onin' yadro menen ta'sirlesiw shaması yadroliq ta'sirlesiwden $10^{15} - 10^{16}$ da'rejesine deyin kishi boladi. Ol μ -mezonning' yadro menen ha'lsiz ta'sirlesiwining' kese-kesiminin' maydanin esaplawg'a boladi. Ol:

$$\sigma_\mu = 1/nl$$

bunda; n-zatlardag'i nuklonlardin' kontsentratsiyasi. L- μ -mezonning' zatlarda ushiw aralig'i. Ol $l = c \cdot \tau$ ten' boladi, c-jaqtılıq tezligi, τ - μ -mezonning' jasaw da'wiri.

$$\text{Eger; } n = 10^{38}$$

$$L = c \cdot \tau = 3 \cdot 10^{10} \text{ sm/s} \cdot 7 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$\sigma_\mu = 1 / 10^{38} \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 7 \cdot 10^{-8} \approx 10^{-41} \text{ sm}^2$$

Solay etip, μ -mezonning' kese-kesiminin' sxemasi onin' ha'lsiz ta'sirlesiwge qatnasatug'inlig'in ko'rsetedi. μ -mezonning' idiraw sxemasi,

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$$

Bul boyinsha leptonliq ha'm elektronliq zaryadlardin' saqlaniw nizamin 1-kestegе sa'ykes,

$$L_e \rightarrow 0 \rightarrow -1 + 1 + 0$$

			1-keste
Leptonliq bo'lekshe	L_e	Leptonliq bo'lekshe	L_μ
e^-	+1	μ^-	+1
e^+	-1	μ^+	-1
ν_e	+1	ν_μ	+1
$\bar{\nu}_e$	-1	$\bar{\nu}_\mu$	-1
$\mu^+, \mu^-, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	0	$e^-, e^+, \nu_e, \bar{\nu}_e$	0

Bunda elektronda toliq zaryad saqlanadi.

$$L_{\mu} - 1 \rightarrow 0 + 0 - 1$$

Mionliq leptonliq zariyadta saqlanadi. Endi biz eki neytronnin' eki protong'a, eki elektrong'a idiraw protsesinin' boliwin yamasa bolmawin qarastirayiq. Eki neytron eki proton ha'm elektrong'a aynalsa zaryad joqarilaydi, onda leptonliq zaryadtin' saqlaniw nizami boyansha,

$$\begin{aligned} 2n &\rightarrow 2p + 2e^- \\ 0 &\rightarrow 0 + 2 \end{aligned}$$

Bunday prossestin' boliwi itimallig'i joq ekenligin leptonliq zaryadtin' saqlaniw nizami aytip tur. μ -mezonnin' idirawinda da,

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + e^+ + e^-$$

zaryadtin' saqlaniw nizami orinlanbaydi. Sonin' ushin bunday protsestin' boliwi mu'mkin emes. Ha'lsiz ta'sirlesiwge qatnasatug'in bul μ -mezonlar, neytrinolar, elektron ha'm pozitronlar leptonlar dep ataladi. Leptonlar elektronliq ha'm mionliq bolip ekige bo'linedi. Leptonlardin' birinshi qa'siyeti; leptonlar qa'legen idiraw protsesinde jup bolip ju'redi. Ekinshi qa'siyeti; leptonliq bo'lekshe bir leptonlar gruppasina kiredi. U'shinshisi; qa'legen bo'lekshelerdin' kombinatsiysi berilgen leptonlar gruppasinda leptonliq jupti payda etedi. Leptonlardin' qa'siyetlerin xarakterleytug'in tag'i bir qa'siyeti onin' leptonliq zaryad bolip esaplanadi. Leptonliq zaryadta yadrodag'i barionliq ha'm elektr zariyadlardin' saqlaniw nizaminday saqlaniw nizamina iye. 1947 jili kosmos nurlarin u'yrengende spini, zaryadi ha'm massasi aniqlandi.

10.3. Leptonliq zaryadtin' saqlaniw nizami

μ -mezonnin' idirawi waqtindag'i payda bolatug'in neytrinolar $\square$ - idiraw protsesindegi payda bolatug'in neytrino menen birdey degen pikirde boldi. Olardin' idiraw sxemasi boyansha;

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_{\mu},$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_{\mu}$$

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

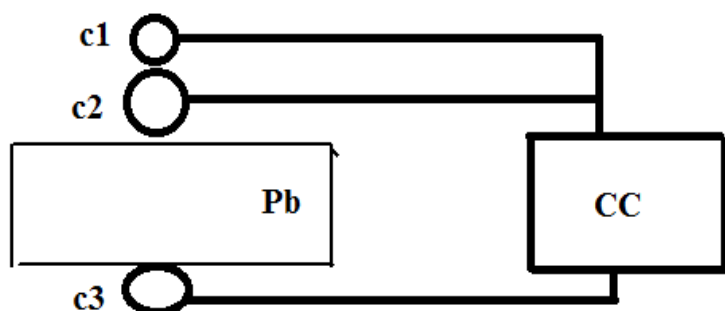
$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$$

$$e^- + p \rightarrow n + \nu$$

1962 jili ta'jiriybe ja'rdeminde bul neytrinolardin' ha'r qiyli ekenligi ma'lim boldi. $\square$ - idiraw protsesindegi payda bolatug'in neytrino elektronliq neytrino ekenligi ma'lim boldi. μ -mezonnin' idirawi waqtinda payda bolatug'in neytrinolar elektronliq ha'm mionliq neytrinolar ekenligi belgili boldi.

10.4. μ - mezon

Da'slepki waqitta kosmos nurlari to'mendegishe ta'jiriybe o'tkeriw joli menen aniqlandi. C1,C2,C3 esaplag'ishlarin' kosmos nurlarinin' jolina qoyip CC sa'ykesleniw sxemasina jalg'aw arqali esaplaw jurgizildi(10.1-su'wret).

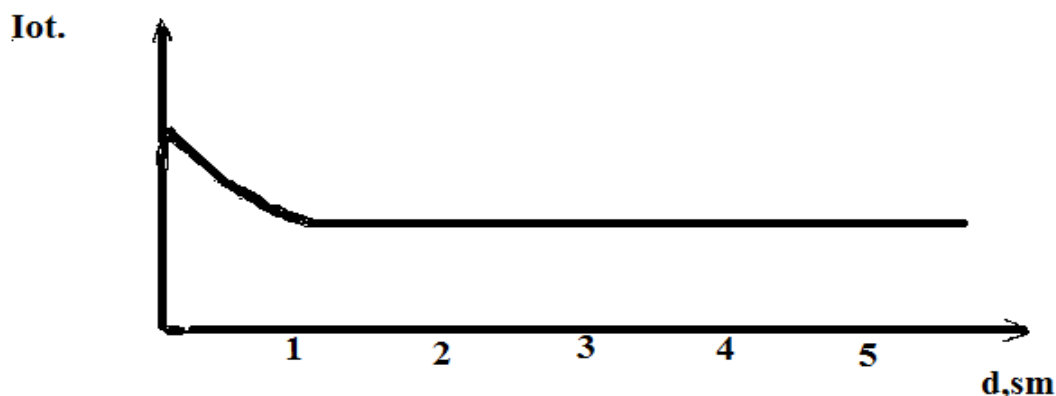


10.1-su'wret

Bunda sa'ykesleniw sxemasi sol waqitta isleydi, egerde, C1 ha'm C2 sanag'ishtan o'tken bo'lekshe belgili waqittan keyin C3 esaplag'ishtan o'tse. C3 ke kelip tusken bo'lekshelerdin' ag'imi C1 ha'm C2 lerge kelip tusken bo'lekshelerdin' ag'iminan kishi boladi. Sebebi qorg'asi'n belgili bir bo'leksheler ag'imin jutip qaladi. Kosmos bo'leksheler ag'imi eki turli boladi.

1. Da'slepki ag'im, bul, bo'leksheler ag'iminin' ko'pshilik bo'limi protonlar boliwi mymkin.

2. Sol protonlar atmosferag'a kelgennen keyin ortalik benen ta'sirlesip jan'a bo'leksheler ag'imin payda etedi. Ha'lsiz bo'leksheler ag'imi filtrde jutip qalinadi, son'nan jutiliw turaqli bolip qaladi(10.2-su'wret).



10.2-su'wret

O'tken nur gamma kvant bolip onin' ha'lsirewi az boladi. Gamma kvant protonlar atmosferag'a kelip tuskende birden payda boladi. Gamma kvant energiyasi $2m_e c^2$ tan u'lken bolg'anda, ol elektron-pozitron jubina aynaladi. Bul protsess elektron-positronliq ag'im dep ataladi. Usunday kosmostan kelgen nurlardi ha'r qiyli kamerelarda izertlew na'tiyjesinde olardin' turaqsiz bo'leksheler ekenligi ma'lim boldi. Sonin' bir da'lili 1938 jili Bilson kamerasinda Anderson menen Mendelmaer massasi $200m_e$ shamalas bolg'an bo'lekshenin' izin aniqladi. Mine bul bo'lekshe μ -mezon dep ataldi. Bilson kamerasin magnit maydanina qoyip onin' zariyadlari aniqlandi. onin' massasi; $m_\mu = (206,767 \pm 0,007)m_e$ ten'. Bul keyingi juwmaqlardan edi.

10.5. Kosmosliq bo'lekshelerdi izertlew usillari μ -mezonin' jasaw waqti

μ - mezonin' ashiliwi menen onin' turaqsiz bo'lekshe ekenligi ma'lim boldi. Oni fizikler ta'jiriybe ja'rdeminde aniqlawg'a kiristi. Olar tawdin' basina ha'm to'menge sanag'ishlar qoydi. Ekewinin' de islew rejimi birdey bolip, joqaridag'i sanag'ishtan o'tken bo'leksheler ag'imi menen to'mendegi sanag'ishtag'i bo'lekshelerdi esaplaydi (10.3-su'wret). Bunda H biyiklikten tu'semen degenshe belgili bo'leksheler idiraytug'in bolsa, onda;

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Nizami boyinsha i'diraydi. Bunda; N -to'mendegi bo'leksheler ag'iminin' intensivliligi, N_0 -joqaridag'i bo'leksheler ag'im'inin' intensivliligi, t - tawdin' basinan jerge deyin bo'lekshenin' kelip tu'siw waqti, al,

$$t = \frac{N}{g} = \frac{H}{C}$$

τ -bo'lekshenin' yarim idiraw dawiri.

Joqaridan to'menge kelemen degenshe bo'leksheler ag'imi ha'lsireydi, ol $e = 2,7$ ge ten' dep qabil etilgen.

Yarim idiraw dawiri;

$$\tau = 10^{-5} \text{ s}$$

Salistirmaliliq teoriyasi boyinsha,

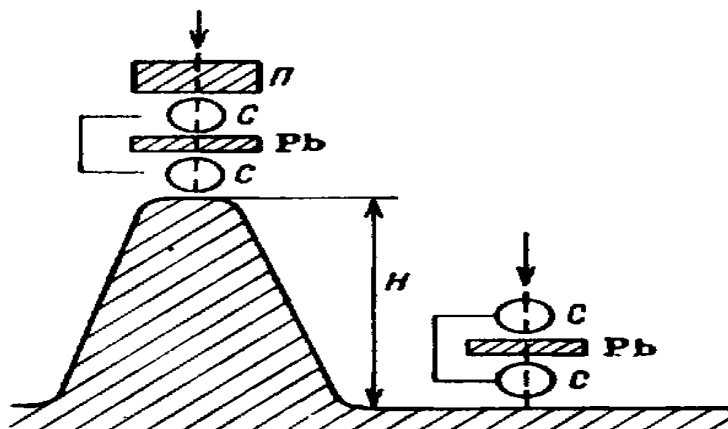
$$\tau = \frac{\tau_e}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

ge ten' boladi. Bunda;

$$\beta = \frac{v}{C}$$

Bo'lekshenin' energiyasi,

$$E = \frac{M_0 C^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$



10.3-su'wret

Kosmos nurlarinin' energiyasi $E \approx 10^9 \text{ eV}$ qa ten'. Al M - mezonnin' tinishliqtag'i energiyasi,

$$M_M C^2 \approx 100 \text{ MeV} = 10^8 \text{ эВ}$$

$$\sqrt{1 - \beta^2} = \frac{m_0 C^2}{E} = \frac{10^8 \text{ эВ}}{10^9 \text{ эВ}} = 0,1$$

Olay bolsa, τ - mezonnin' jasaw dawirine to'mendegishe baha beriw mumkin.

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - \beta^2} = 10^{-5} * 0,1 = 10^{-6} \text{ c}$$

$|\tau_0|_{\text{teor.}} = 10^{-6} \text{ sek}$ boliwi kerek. $|\tau_0|$ - eksperimentte aniqlaw boyinsha ta'jiriybe to'mendegishe o'tkerilgen. $C_1 C_2 C_3 C_4$ esaplag'ishlari bir sa'ykesleniw sxemasina biriktiriledi.

Joqarg'i energiyag'a iye kosmos nurlari C_1 esaplag'ishlardan o'tkennen keyin filtrde ha'lsiz komponentallari jutilip qaladi da, C_2 esaplag'ishinan bir qansha joqarg'i bo'limi o'tedi. C_2 esaplag'ishtan keyin bo'leksheler filtrde irkiledi. Bul qurilmada, egerde kosmostan kelip tu'sip atirg'an nurlar $C_1 C_2 C_3$ esaplag'i'shlarinda esaplanatug'in bolsa, onda biz qarap atirg'an bo'lekshe uzaq jasaytug'in bo'lekshe bolip esaplanadi. $C_1 C_2 C_4$ esaplag'ishlarinda esaplanatug'in bo'leksheler C_3 esaplag'ishta esaplanbaydi. Eger bizin' qarap atirg'an bo'lekshemiz filtrde irkilip jasaw dawirin o'tkergennen keyin o'zinin' da'slepki bag'itin o'zgertedi. Al, o'zgergen nurlaniw C_4 esaplag'ishi arqali

o'tpeydi. Demek $C_1 C_2 C_4$ esaplag'ishlar menen C_3 esaplag'ishi esaplawi boyinsha belgili bir waqitqa jilistirip qoyiladi. Sol waqit to'mendegi shamag'a ten'.

$$|\tau_\mu|_{\text{tajr}} = (2,15 - 0,07) * 10^{-6} \text{ sek}$$

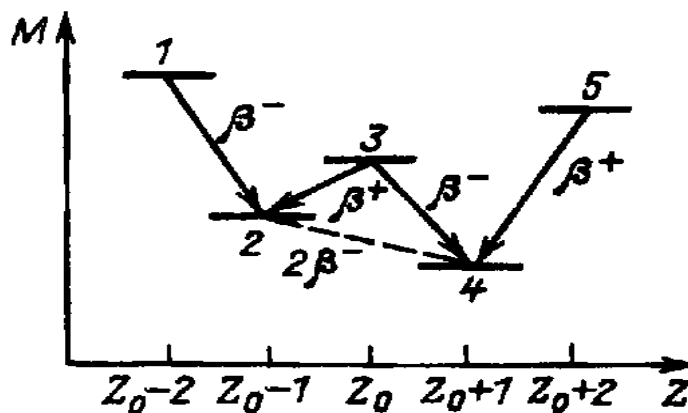
μ -bo'lekshe radioaktiv bo'lekshe.

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$$

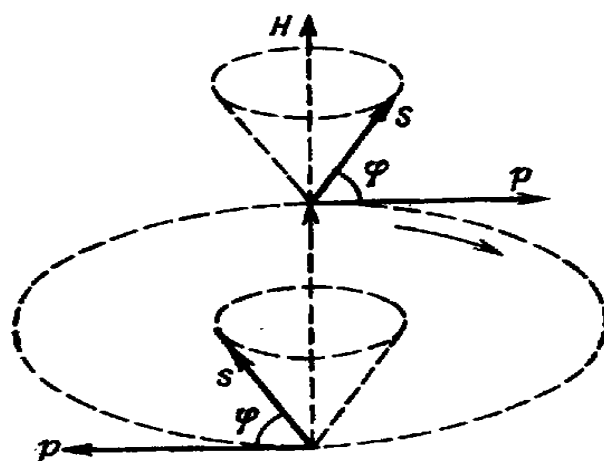
$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

10.6. $(\mu - e)$ Idiraw protsessinde jupliqtin' saqlaniw nızaminin' buziliwi.

β - idiraw (19-su'wret) protsessinde jupliqtin' saqlaniw nızaminin' orinlanbaytug'inlig'in 1957-jili Bu ta'repinen da'lillengen. Ol to'mendegishe ta'jiriybe islegen. β -idirawshi yadroni to'men temperaturada uslap magnit maydani ta'repinen yadronin' spinlerin polyarizatsiyalaydi(10.4-su'wret).

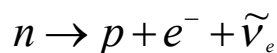


10.4-su'wret

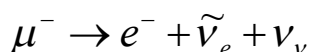


10.5-su'wret

Egerde β -idiraw protsessinde jupliqtin' saqlaniw nizami orinlanatug'in bolsa, onda yadronin' spininin' bag'itinda, β -idiraw protsessinde payda bolg'an elektronlardin' ushiwi ko'p boliwi kerek. Al, ta'jiriybe kerisin ko'rsetedi, yag'niy qarama-qarsi bag'itta elektronlardin' ushiwinin' ko'p ekenligin ko'rsetedi. Bul jupliqtin' saqlaniw nizaminin' orinlanbaytug'inlig'in da'lilleydi. β -idiraw protsessinde to'mendegishe,



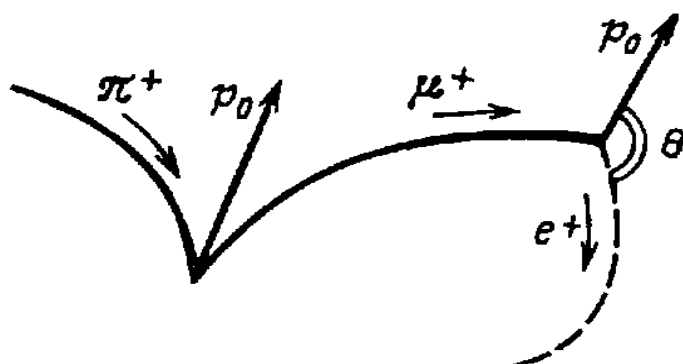
Al, μ -mezonnin' zatlar menen ta'sirlesiwindegi kese-kesiminin' shamasi $\delta_\mu = 10^{-41} \text{ sm}^2 \text{ ten'}$. μ -mezonnin' idiraw sxemasi;



Ol, μ - mezon π -mezonnin' idirawinan payda boladi(10.6-su'wret).



Ma'selen π^+ mezon fotoplastinkada to'mendegishe jol jurdi deyik.



10.6-su'wret

Onin' jasaw dawiri 10^{-8} s. μ^{+} mezon'ga aylanadi. Impul's p_0 boladi. μ^{+} mezon plastinkada jasawin tawisqanda o'zini' da'slepki bag'itin esleydi, al ν_{μ} neytrinnin' bag'iti ker ketedi, pozitron e^{+} to'men ketedi (10.6-su'wret). $(\mu - e)$ Idiraw protsessinde de jupliqtin' saqlaniw protsessi orinlanbaydi.

$$\mu^{+} \rightarrow e^{+} + \nu_e + \bar{\nu}_{\mu}$$

$$dN \approx (1 - \alpha \cos \theta)$$

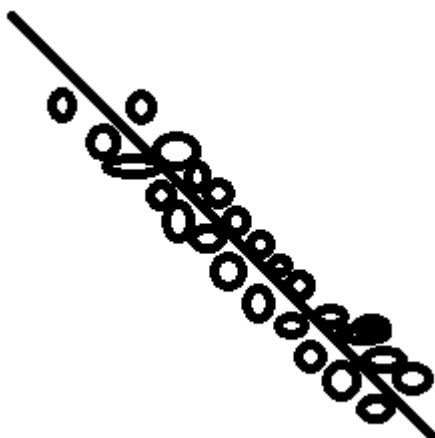
Bul pozitronnin' ushiw sani, θ mu'yeshke baylanisli ekenin ko'rsetedi.

XI –BAP. ELEMENTAR BO'LEKSHELERDI IZERTLEWDIN' FOTOEMULSIYALIQ USILI

11.1. Elementar bo'lekshelerdi izertlewdin' fotoemulsiyaliq usili

1940 – jillardin' aqirinda elementar bo'lekshelerdi izertlewdin' jan'a fotoimul'tsiyaliq metodi payda boldi. Ol birinshi ma'rte ulli fizikler Jdanov ha'm Misoyskiy ta'repinen usinildi. A'piwayi shiyshe plastinkag'a fotosuyiqliq tegis etip 5 mkm -50 mkm qalin'liqta quyildi. Bul fotoemul'siyanin' quramina tez aktivlesetug'i'n element qosiladi.

Bul plastinkag'a elementar bo'leksheler kelip tuskende bo'lekshe menen Gumis atomlari o'z-ara ta'sirlesedi ha'm iz qaldiradi(11.1-su'wret). Bul izdi plastinkani qayta islew(proyavit) arqali juda' ko'zge ko'rinbeytug'in mayda da'nesheler payda bolg'anin, mikroskop ja'rdeminde Olardi 500-1000 ma'rte u'lkeytiw arqali bayqaw mu'mkin boladi.



11.1-su'wret

Plastinkada zaryadlang'an bo'lekshelerdin' qaldirg'an izin esaplaw bo'lekshe toqtag'an jerden keyin qaray baslanadi. Ol qaldirq iz dep ataladi. Plastinkag'a kelip tu'sip atirg'an bo'lekshenin' kinetikaliq energiyasi,

$$T = \alpha R^n$$

Formulasi menen aniqlanadi.

Eger biz izertlep atirg'an bo'lekshe proton bolsa,

$$T_p = \alpha R_p^n$$

bunda, T_p -protonnin' kinetikaliq energiyasi, α – n- koeffitsentler, R_p - protonnin' qalldiq izi,

$$\alpha = 0,25$$

$$n = 0,58$$

Ha'r qiyli energiyag'a, massaga iye bo'leksheler ushin α ha'm n nin' ma'nisleri o'zgerip otiradi. Ha'r qiyli energiyag'a iye bo'leksheler plastinkada ha'r qiyli iz qalldiradi.

Ma'selen;

$$1 \text{ MeV} \quad - \quad 15 \text{ mkm}$$

$$5 \text{ MeV} \quad - \quad 170 \text{ mkm}$$

$$6 \text{ MeV} \quad - \quad 230 \text{ mkm}$$

iz qalldiradi.

1 MeV qa iye bo'lekshe 5 mkm de o'zinin' energiyasin joyiltadi.

Al 6 MeV qa iye bo'lekshe o'zinin' 1 MeV energiyasin

$$230 \text{ mkm} - 170 \text{ mkm} = 60 \text{ mkm}$$

Araliqta joytadi degen so'z.

Plastinkada bo'lekshenin' qalldiratug'in izin, bo'lekshenin' ionizatsiyalaw uqiqlig'i dep ataladi.

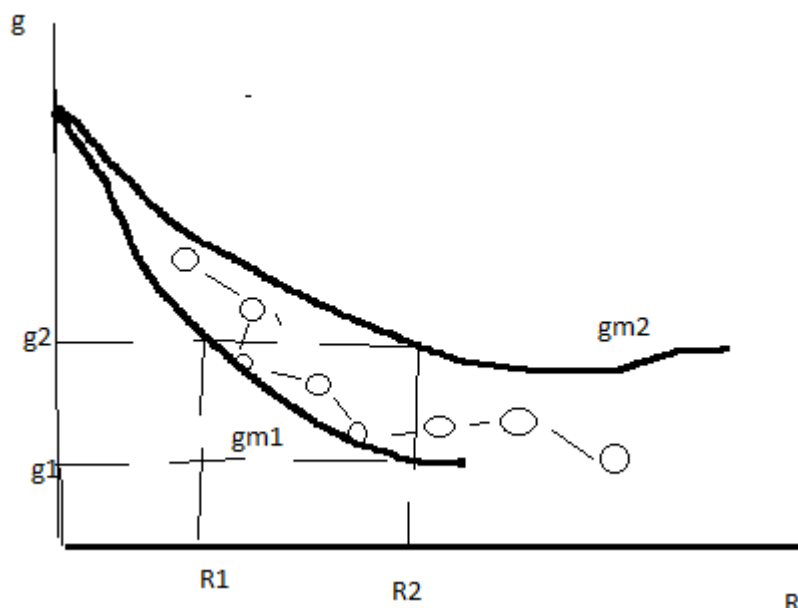
Ol,

$$\frac{dT}{dR} = Z^2 f(v) \frac{Z^2}{v^2}$$

Bo'lekshenin' ionizatsiya uqiqlilig'i qansha ko'p bolsa, plastinkada qalldiratug'in izi sonsha ko'p, yag'nuy da'neshelerdin' sani ko'p boladi.

$$g = \frac{dN}{dR} - \frac{dT}{dR} = Z^2 f(g) - \frac{Z^2}{g^2}$$

Endi massalari ha'r qiyli bolg'an 2 bo'lekshenin' plasinkada qalldirg'an izinin' massasina baylanisli ekenligin qarayiq(11.2-su'wret).



11.2-su'wret

$R = 0$ bolg'anda, $g_{\min}$ g'a iye boladi.

$$R = g_{\min}$$

Usi metod orqali bo'lekshelerdin' massasin aniqlawg'a boladi.
Zaryadi $Z=1$ bolg'an bo'lekshenin' ionizatsiya uqiqlilig'i;

$$\frac{dT}{dR} = Z^2 f(g)$$

Bo'lekshenin' kenetikaliq energiyasi;

$$T = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}} \right)$$

Bunnan, R-boyinsha tuwindi alsaq,

$$\frac{dT}{dR} = \frac{m g}{\left(1 - \frac{g^2}{c^2}\right)^3} \frac{dg}{dR} = Z^2 f(g)$$

$$\frac{m g}{\left(1 - \frac{g^2}{c^2}\right)^{3/2}} \frac{dg}{dR} = Z^2 f(g)$$

$$dR = \frac{m g dg}{\left(1 - \frac{g^2}{c^2}\right)^{3/2} \cdot Z^2 f(g)}$$

Bunnan tezlikke baylanisli ag'zalardi to'mendegishe jazsaq,

$$\varphi(g) = \frac{g}{\left(1 - \frac{g^2}{c^2}\right)^{3/2} \cdot Z^2 f(g)}$$

Onda;

$$dR = \frac{m}{Z^2} \varphi(\vartheta) d\vartheta$$

$$R = \frac{m}{Z^2} \varphi(\vartheta)$$

Qaldirq iz massag'a ha'm zaryadqa baylanisli ekenligi kelip shig'adi. Bunnan, eger bo'lekshenin' zariyadi, tezligi turaqli bolsa, onda,

$$\frac{R_1}{R_2} \vartheta = \text{const} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$z = \text{const}$$

Ekenligi kelip shig'adi.

$$\frac{dT}{dR} = \frac{dN}{dR}$$

Ge ten' bolatug'in bolsa, onda, N_1 – bo'lekshenin' R_1 araliqta payda Etken da'neshelerinin' toliq sani.

N_2 – bo'lekshenin' R_2 araliqta payda etken da'neshelerdin' toliq sani.

$$g = \frac{dN}{dR} = f(\vartheta)$$

Joqaridag'i formulalarg'a sa'ykes to'mendegishe jaziwg'a boladi.

$$\frac{dN}{dR} = \varphi\left(\frac{R}{m}\right)$$

$$dN = \varphi\left(\frac{R}{m}\right) dR = m \varphi\left(\frac{R}{m}\right) d\left(\frac{R}{m}\right)$$

$$N = m \varphi\left(\frac{R}{m}\right) = m \chi(\vartheta)$$

Bunnan zaryadlang'an bo'lekshelerdin' payda etken da'neshelerinin' toliq massag'a ha'm tezlikke baylanisli ekenligin mina funktsiya arqali jaziwg'a boladi,

$$N = m \chi(\vartheta)$$

Ushiw aralig'inin' massag'a baylanislig'in bilay jaziwg'a boladi.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$R_1 : R_2 = \frac{m_1}{Z_1^2} : \frac{m_2}{Z_2^2}$$

Kinetikaliq energiyanin' massag'a baylanislig'i mina formula menen jaziladi.

$$T = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}} \right) - 1$$

Bunnan;

$$T_1 : T_2 = m_1 : m_2$$

Qatnaslari kelip shig'adi.

Da'slepki jazilg'an formula boyinsha edi. onnan qa'legen belgisiz bo'lekshenin' massasin ha'm energiyasin aniqlaw ushin formula aliwg'a boladi.

$$T_x \frac{m_p}{m_x} = \alpha \left(R_x \frac{m_p}{m_x} Z_x^2 \right)^n$$

$$T_x = \alpha \left(\frac{m_x}{m_p} \right)^{1-n} Z_x^{2n} \cdot R_x^x$$

Bul formulalardan paydalanip qa'legen zaryadlang'an bo'lekshe ushin kinetikaliq energiyasin, massasin ha'm ushiw aralig'in aniqlawg'a boladi.

Bo'leksheler plastinkadan o'tken waqitta o'zlerinin' bag'itin bir neshe ma'rte o'zgertiw mu'mkin, oni ko'p ma'rte shashiraw dep ataladi. Bul shashiraw formuladag'i α -koeffitsienti menen aniqlanadi.

$$\alpha = \frac{2,5\sqrt{X}}{P\beta C}$$

Bunda; X -shashirag'annan keyingi bo'lekshenin' izinin' u'zik bo'limi.

$$\beta = \frac{g}{c}$$

c –jaqtiliq tezligi.

T, M –MeV ta o'lshenedi.

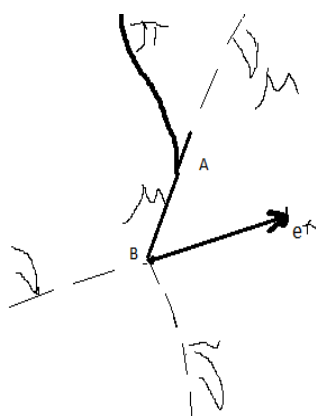
α – ni ko'binese shashiraw mu'yeshi dep te ataydi, ol graduslarda o'lshenedi.

XI BAP. π - MEZONLAR

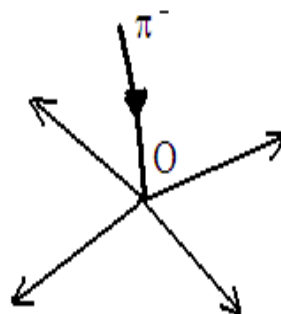
12.1. π - mezonlar ha'm onin' ashiliwlari

1947-jili anglichan fizigi Paul` o'zinin' xizmetkerleri menen birge joqari tawdin' basinda kosmos nurlari menen fotoplastinkani nurlandirdi. Solay etip plastinkada awir bo'lekshe bolg'an protonnin' izinen basqa massasi (200-300) m_e ge ten' bolg'an bo'lekshenin' izin bayqaydi(12.1-a su'wret).

Da'slep ol bo'leksheni μ -mezon dep atag'an, biraqta jaqsilap analizlew din' ja'rdeminde ol bo'lekshenin' bir qansha awirraq ekenin bayqaydi. Shama menen $300m_e$ ge ten' dep qabil etildi. A tochkada π - mezonnin' jasaw dawiri tawsiladi. Keyin bir qansha waqittan keyin B tochkada μ - mezonnin' jasaw dawiri tawsiladi. Bul kosmos nurlarinin' fotoemul'tsida qaldirg'an izlerinen zariyadlang'an bo'lekshelerde bar ekenliginen derek beredi. Zaryadsiz bo'leksheler, bul jerdegi 2 turli neytrino – mionliq ha'm elektronliq neyrino.



a



b

12.1-su'wret

$(\pi - \mu)$ Idiraw sxemasinda mionnin' (μ - mezonnin') kinetikaliq energiyasi shama menen $T \approx 4MeV$ qa ten'. Bul energiya $(\pi - \mu)$ Idiraw sxemasindag'i energiyaning azg'ana bo'limin quraydi. Energiyasi boyinsha,

$$(m_{\pi} - m_{\mu})c^2 = (273m_e - 207m_e)c^2 \approx 66m_e c^2 = 33MeV$$

qa ten'. Bunda - m_e - elektronnin' massasi. Barliq elementar bo'leksheler elektronnin' massasina salistirip o'lshenedi. $(m_{\pi} - m_{\mu})$

Idiraw sxemasındag'i 33 MeV tin' 4 MeV energisi μ -mezong'a tiyisli, al qalg'an 29 MeV energiya basqa bo'lekshenin' kinetikaliq energiyasi bolip esaplanadi. Keyingi waqitlarda π -mezon 0 tochkada birden jog'alatug'inlig'i fotoplastinkada ko'rildi (5.1-b su'wret). Bunday qa'siyetke iye π^+ -mezonlar π^- -mezong'a iye ekenligi da'lillendi.

Bunin' ta'biyati to'mendegishe: π -mezon fotoemul'tsiyada qozg'alip o'zinin' jasaw da'wirin toqtatqan momentte yadro ta'repinen jutiladi ha'm o'zinin' energiyasin tolig'i menen yadrog'a beredi.

π^- -mezonnin' yadroda jutiliwinin' sebebi onin' teris zaryadqa iye boliwinda. Ol jerde hesh qanday Kulonliq iyterisiw ku'shi bolmaydi.

Bul π^- -mezonnin' fotoemul'tsiya da jutiliwi ha'm yadrog'a beriliw energiyasi boyinsha onin' massasi $\approx 300 m_e$ ge ten'. Bunnan;

π^- -mezon massasi boyinsha, μ^- -mezonnan u'lken ekenligi ko'rinedi. Sonin' ushin plastinkada payda bolg'an π^- -mezon, ol μ^- -mezon boliwi mu'mkin emes degen juwmaq shig'adi. Keyin ala bul π^- -mezonnin' massasi jasalma jol menen aling'annan keyin aniq o'lishendi.

$$m_\pi = 273m_e$$

Endi, π^+ -mezon, μ^+ -mezong'a ha'm ν_μ neytrinog'a idiraydi.

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

Al μ^+ -mezon elektrong'a ν_e -elektronliq neytrinog'a ha'm mionliq ν_μ -antineytrinog'a idiraydi.

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$$

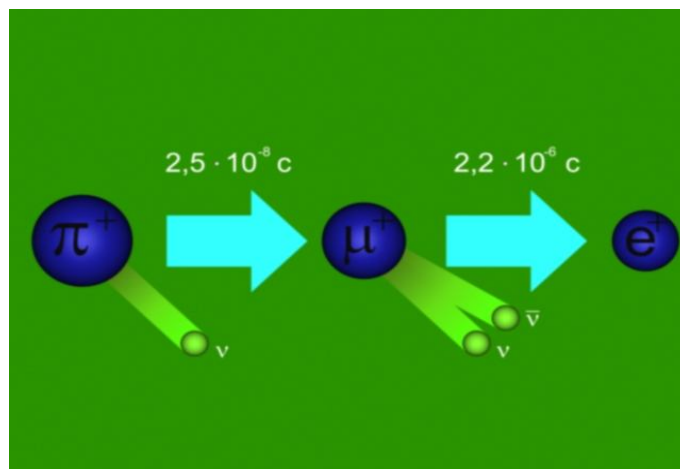
$$\pi^+ \text{-mezonnin' leptonliq zaryadi } L_{\pi^+} = 0$$

12.2. π - mezonnin' jasaw waqti.

Ko'pshilik ta'jiriybeler $(\pi - \mu)$ -idiraw sxemasinin' fotoplastikada qaldiratug'in izi $\pi^+\pi^-$ mezonlardin' belgili waqit jasaytug'ininan derek beredi.

π^+ -mezonnin' fotoempul'siyani ionizatsiyalap tormozlaniwi $10^{-11} - 10^{-12}$ sek-qa ten'. Demek bunnan qanday juwmaq shig'adi, μ mezonnin' jasaw waqtina qarag'anda, π^- mezonnin' jasaw waqti bir qansha aziraq ekenligi belgili boldi.

$\tau_{\mu} = 10^{-6} \text{ sek}$, al $(\pi - \mu)$ -idiraw sxemasinin' fotoplastinkada iz qaldiriw waqiti $10^{-11} \text{ sek} - 10^{-12} \text{ sek}$ bolsa, onda $\tau_{\pi} = 10^{-8} \text{ sek}$ eken degen boljaw kiritiledi(25-su'wret)



12.2-su'wret

Jerden uzaqlag'an sayin π - mezonnin' fotoplastinkani ionizatsiyalaw uqiylilig'i kemeyip baradi. Sebebi jerge jaqinlag'anda mezonnin' energiyasi azayadi, al uzaqlasqan sayin energiyasi artip baradi. Demek energiyasi az bolsa, Ol ushin fotoplastinkada ko'birek iz qaldiradi, al enegriyasi ko'p bolsa plastinkada az iz qaldiradi.

12.3. π - mezonlardi jasalma jol menen payda etew jollari

50-jillardan keyin yadro fizikasinin' rawajlanıwında texnikanın' ro'li ju'da' ku'shli boldi. Da'slep joqari tezlikke iye bo'lekshelerdi ha'm olardin' o'z-ara ta'sirlesiwın u'yreniw ushin kosmosliq bo'lekshelerden (nurlaniwdan) paydalanatug'in bolsaq ha'zir u'lken energiyag'a iye bo'lekshelerdi tezletkishlerde aliw mu'mkin.

Energiyanın' impul'stin' yadroliq zaryadlardin' saqlaniw nizamlarinin' orinlaniwi ushin ha'm olardin' orinlaniw protsesslerin tekseriw ushin jasalma jol menen ko'pshilik bo'lekshelerdi aliw maqsetke muwapiq boladi.

Ma'selen;

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_{\mu} \\ \mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_{\mu} \end{array} \right\}$$

bul jerde zaryadtin`, impul'stin` ha`m energiyanin` saqlaniw nizamlari orinlanad'1. Yadroliq yamasa barionliq zaryad;

$$B_{\nu_e} = B_{\nu_\mu} = B_{\bar{\nu}_\mu} = B_{\bar{\nu}_e} = 0$$

Bul bo`leksheler ushin nol'ge ten`.

Elektron ushin da $B_e=0$. $B_\mu=0$ μ -mezon ushin barionliq zaryadtin` saqlaniw nizami orinlanadi.

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

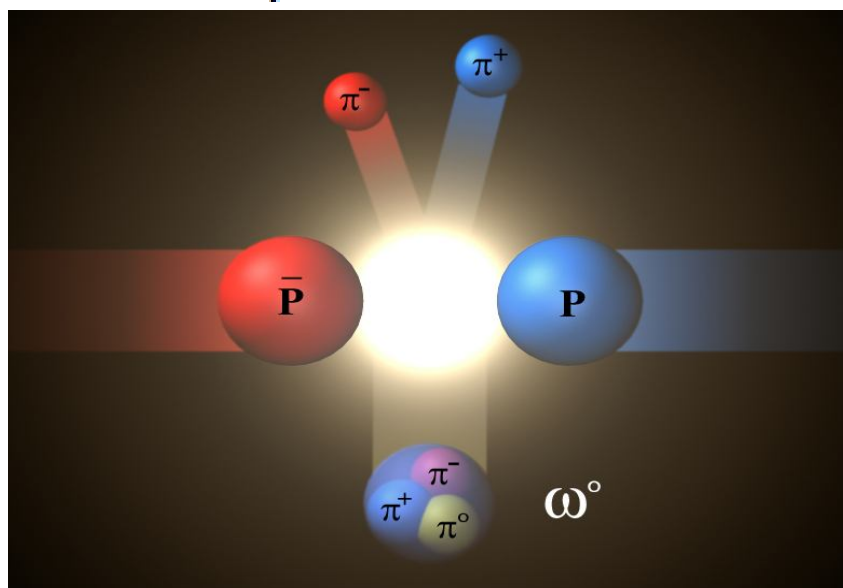
Bunda da zaryadtin` saqlaniw nizami, energiyanin` saqlaniw nizami orinlanadi. Bul jerde tek yadroliq yamasa barionliq zaryad $B_n=0$ ge ten`. Reaktsiya ushin saqlaniw nizamlari orinlanadi.

Biz bilemiz, π^+ , π^- mezonlar ku'shli ta'sirlesiw din` tasiwshisi, Olay bolsa joqari energiyag'a iye proton antiproton(12.3-su'wret) menen ta'sirleskende yamasa proton neytron menen ta'sirleskende vertual'liq  $\pi^+$  ha`m π^- -mezonnin` payda boliwi kerek.

$$p + p \rightarrow p + n + \pi^+$$

$$p + n \rightarrow p + p + \pi^-$$

$$p + n \rightarrow n + n + \pi^+$$



12.3-su'wret

Bunday reaktsiya ushin zaryadtin` saqlaniwin qaraymiz. Proton, neytron ha`m π mezonlar ushin barionliq zaryad to'mendegishe ma'nislerge iye,

$$B_p = 0; \quad B_n = 1; \quad B_\pi = 0;$$

Bul ten'lemege sa'ykes tezletilgen neytronlar ushin da sonday reaktsiya jaziwg'a boladi:

$$n + n \rightarrow n + p + \pi^-$$

$$n + p \rightarrow n + n + \pi^+$$

$$n + p \rightarrow p + \pi^- + p$$

Neytron o'zining zaryadinin joqlig'ina qaramastan ku'shli ta'sirlesiwlerge qatnasadi. Olay bolsa $n + n$, $p + n$ nın o'z-ara ku'shli ta'sirlesiwinde π^+ ha'm π^- -mezonlar payda boladi.

Impul'stin saqlaniw nizami boyinsha;

$$n \rightarrow p + \pi^-$$

$$p \rightarrow n + \pi^+$$

qa idiraydi.

Bul jerde impul'stin saqlaniw nizami orinlanadi. Bul bo'leksheler u'lken kinetikaliq energiyag'a iye bolsa,

$$T_n > m_\pi c^2$$

$$T_p > m_\pi c^2$$

Ko'pshilik reaktsiyalarda impul'stin saqlaniw nizami orinlanbayda qaliwi mu'mkin. Sonin ushin:

$$E^2 - m^2 c^4 = inV$$

Invariantliq sha'rtinen paydalanamiz.

Bul jerdegi massani impul's boyinsha jaziw kerek:

$$E^2 - p^2 c^2 = inV$$

Proton ushin:

$$(2m_p c^2 + T_p)^2 - p^2 c^2 = (2m_p c^2 + m_\pi c^2)^2$$

Bunda; $m_p c^2$ ha'm $m_\pi c^2$ lar proton ha'm π -mezonning tinishliqtag'i energiyalari bolip esaplanadi.

Bul ten'lemeni sheshiw arqali protonning kinetikaliq energiyasi:

$$(T_p)_{min} = 2m_\pi c^2 \left(1 + \frac{m_\pi}{4m_p} \right)$$

Bul ten'leme nuklonlarning o'z-ara ta'sirlesiwinde vertualliq π -mezonlarning payda boliwinin minimum energiyasin beradi, yamasa bul energiyani reaktsiyaning payda boliwinin to'mengi bosag'asi dep ataydi. Bul ten'lemedegi shamalarning ma'nislerin orinlarina qoysaq;

$$(T_p)_{min} = 2 * 273m_e c^2 \left(1 + \frac{273m_e}{4 * 1836m_e} \right) = 566m_e c^2 = 290MeV$$

Biz eger usinday energiya menen 2 protondi soqlig'istirsaq π -mezondi ala aladi ekenbiz degendi bildiredi. π -mezonning bir biri menen soqlig'isiwi waqtinda payda bolgan u'shinshi bo'lekshenin energiyasi:

$$T_{min} = \frac{m_2^2 c^4 - m_1^2 c^4}{2m c^2}$$

m_2 -payda bolg'an bo'lekshenin' massasi;
 m_1 -kelip urilg'an bo'lekshenin' massasi;
 M -mishenonin massasi.

Egerde $T_{\min}$ nan paydalanip π -mezonin' payda boliwi ushin γ -kvanttin' energiyasi to'mendegishe boliwi mu'mkin:

$$E_{\gamma} = m_{\pi}c^2(1 + \frac{m_{\pi}c^2}{2m_N}) \approx m_{\pi}c^2$$

bul ten'leme orinlang'anda π -mezon payda boladi. Solay eken $\pi^{\pm}$ ha'm $\mu^{\pm}$ mezonlardin' massalari ha'm jasaw waqitlari jasalma jol menen aniqlandi. Olar to'mendegishe:

$$\begin{aligned} m_{\pi^{\pm}} &= 273.15m_e \\ m_{\mu^{\pm}} &= 206.767m_e \\ \tau_{\pi^{\pm}} &= 2.6 \cdot 10^{-8}c \\ \tau_{\mu^{\pm}} &= 2.198 \cdot 10^{-6}c \end{aligned}$$

Jasalma jol menen π -mezonlardi aliwdin' to'mendegi u'sh sha'rtin qarastirayiq;

1. π -mezondi payda etiw ushin bosag'aliq energiya 290 MeV tan joqari boliwi kerek.
2. π -mezonlardi payda etiwshi γ kvanttin' energiyasi' $E_{\gamma}=m_{\pi}c^2$ qa ten' yamasa u'lken boliwi kerek.
3. Tezletkishlerde nuklon menen nuklonnin' soqlig'isiw energiyasi π -mezonlardi payda etiw ushin nuklon menen yadronin' ta'sirlesiw energiyasidan u'lken boliwi kerek.

12.4. Neytral π -mezon

Yaponiya fizigi Yukova yadrodag'i nuklonlardin' o'z-ara ta'sirlesiwini esapqa alip ol ta'sirlesiwden π^+ ha'm π^- - mezonlardan basqa π^0 mezonin' boliwi mu'mkin dep boljadi. Ko'pshilik esaplawlar neytral π^0 mezonin' qa'siyeti π^+ ha'm π^- - mezonlarg'a jaqin boliwi kerek degen juwmaqqa alip keledi. Biz bilemiz atom yadrosi fizikasinda nuklonlardin' o'z-ara ta'sirlesiwini olardin' zariyadina baylanissiz ekenligin. Nuklonlardin' oz ara ta'sirlesiwini olardin' protonliq spini xarakterleydi. Yukovanin' tiykarg'i boljawi to'mendegiden ibarat; Egerde zaryadlang'an bo'lekshe menen zariyadi joq bo'lekshenin' ta'sirlesiw zaryad almasiw menen bolip o'tetug'in bolsa, ol zaryadsiz bo'lekshelerdin' ta'sir etisiwinde zaryad almaspaytug'in protsesslerde boliwi mu'mkin.

n+n, p+p;

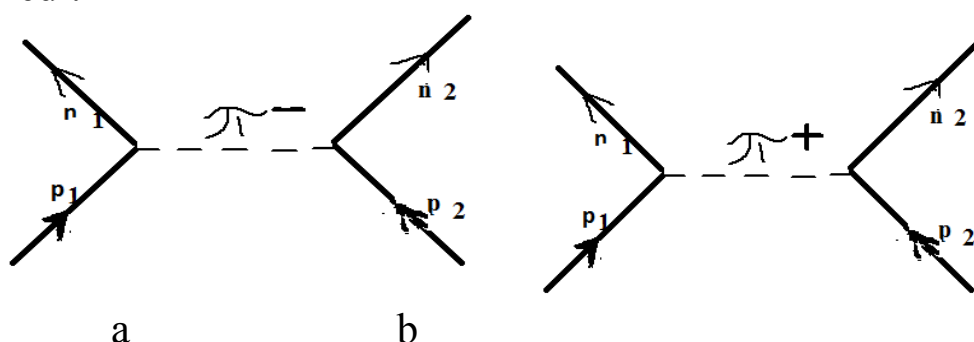
$$n_1 + p_1 \rightarrow (p'_1 + \pi^-) + p_1 \rightarrow p'_1 + (\pi^- + p_1) \rightarrow p'_1 + n'_1.$$

n ha'm p kushli ta'sirleskende bulardin' tasiwshilari π^- - mezonlar boladi.

$$p_1 + n_1 \rightarrow (n'_1 + \pi^+) + n_1 \rightarrow n'_1 + (\pi^+ + n_1) \rightarrow n'_1 + p'_1$$

Demek zaryadli ha'm zaryadsiz nuklonlardin' arasinda zaryad almasiw protsessi orinlanip π^+ ha'm π^- -mezonlar payda bolatug'in bolsa, al zaryadsiz nuklonlar arasinda da zaryad almaspaytug'in protsessler boliwi mumkin. Ol waqittag'i ta'sirlesiwdi alip ju'retug'in bo'lekshe neytral π^0 - mezon bolip esaplanadi.

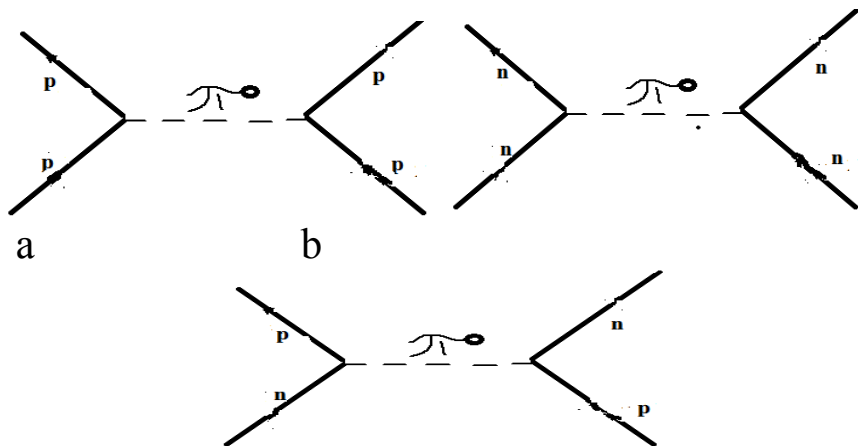
Feynman diagrammasi joqaridag'i ten'likler ushi'n bilay ko'rsetiledi.



12.4-a.b.su'wret

$$\left. \begin{aligned} n_1 + n_2 &\rightarrow (n'_1 + \pi^0) + n_2 \rightarrow n'_1 + (\pi^0 + n_2) \rightarrow n'_1 + n'_2; \\ p_1 + p_2 &\rightarrow (p'_1 + \pi^0) + p_2 \rightarrow p'_1 + (\pi^0 + p_2) \rightarrow p'_1 + p'_2; \\ n_1 + p_1 &\rightarrow (n'_1 + \pi^0) + p_1 \rightarrow n'_1 + (\pi^0 + p_1) \rightarrow n'_1 + p'_1. \end{aligned} \right\}$$

Bul u'sh ten'lemeler boyinsha Feynman diyagrammasi bilay 12.5 abv-su'wrette ko'rsetiledi.

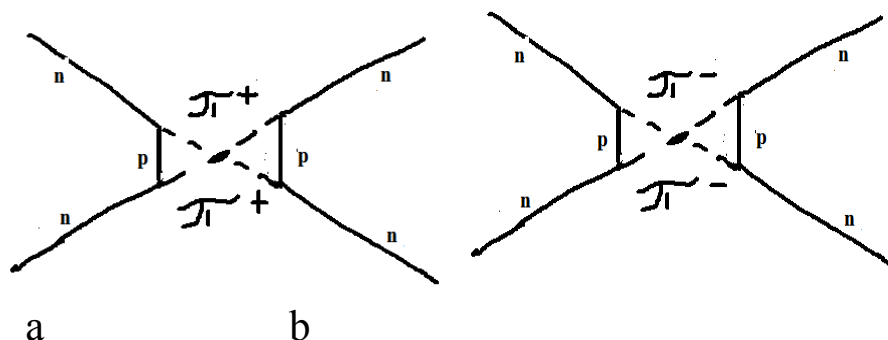


v

12.5 abv-su'wret

Bul reaksiyalar ta'jiriybede aniqlandi.

Nuklonlar arasindag'i o'z – ara ta'sirlesiw ayirim waqitlarda 2 pionlar ja'rdeminde beriledi. Ol 12.6 ab – su'wretlerde berilgen.



12.6 ab – su'wret

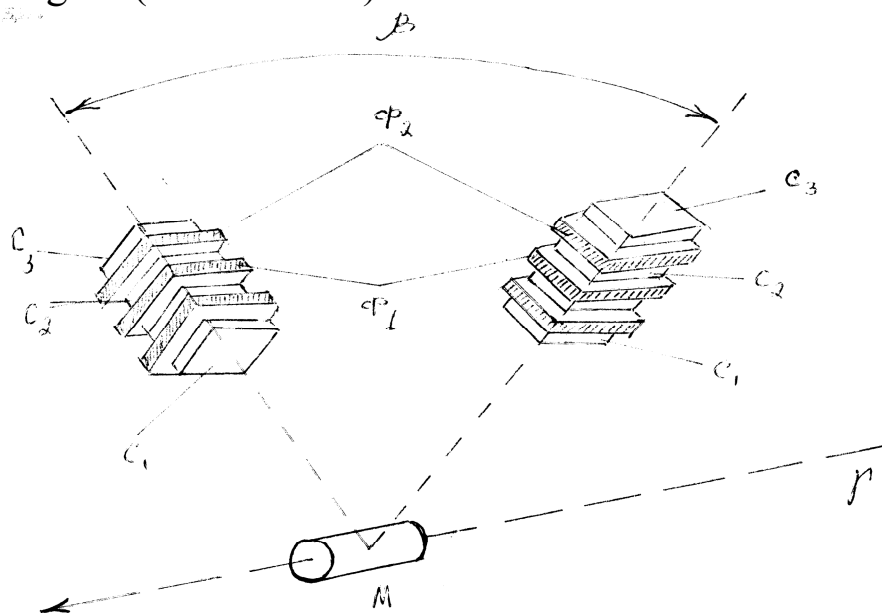
Nuklonlardin' zaryad almasiw momentindegi radiusi;

$$r = 2h/m_{\pi}c.$$

Eki pionliq almasiw waqtinda ta'sirlesiw ara qashiq'lig'i,

$$r_{2\pi} = h/m_{\pi}c \text{ g'a ten'.$$

π^0 - mezonnin' bar ekenligin ta'jiriybede aniqlag'an ilimpaz Panovskiy edi. onin' ta'jiribesin qarastirayiq; ol 2 teleskoptan ha'm 3 liymensentsiyali sanag'ishlardan turadi. Sanag'ishlardin' aralig'i filtrler menen ajratilg'an (12.7-su'wret).



12.7-su'wret

Bul qurilmanin' C1 esaplag'ishi qalg'an C2 ha'm C3-esaplag'ishlar menen keri sa'ykesleniw sxemasina jalg'ang'an, sebebi bunday etip jalg'aw neytral π^0 -mezonnin' payda etken nurlarin ani'qlawg'a mu'mkinshilik beredi. Ulken energiyag'a iye gamma kvant M mishen

menen kushli ta'sirlesip, π^0 mezonlar ag'imin payda etedi. Bul payda bolg'an π^0 mezon o'z na'wbetinde 2π -kvantqa aynaladi. 1-filtirde gamma kvant filtr menen ta'sirlesiw na'tiyjesinde konversiyaliq elektronin' payda boliwina alip keledi ha'm sol elektrondi esaplag'ish esaplaydi. 2-filtr sol konversiyani payda etken gamma kvanttin' energiyasin esaplaydi. Na'tiyjede bul ta'jiriybede 4-da'rejeli impulsliq sa'ykesleniwge iye C2 ha'm C3 sanag'ishlari gamma kvanttin' energiyalarin esaplaydi. Demek, $\pi^0 \rightarrow 2\pi$ qa aynaladi, ekewinin' energiyalarinin' qosindisi π^0 mezonnin' energiyasina ten' boladi. Bul C1, C2, C3 sanag'ishlarinin' 2 teleskopti bir-birine qarag'anda kerisaykesleniwge jalg'aniwi o'lshenip atirg'an gamma kvanttin' intensivligi eki teleskop arasi'ndag'i mu'yesh $\alpha = 90^\circ$ bolg'anda bayqaladi. Yag'niy $\alpha = 90^\circ$ bolg'anda gamma kvant intensivligi I_α maksimumg'a ten' boladi. Bul ko'rsetedi gamma kvanttin' bunday mu'yeshte payda boli'wi, massasi $m_\pi \neq 0$ bo'lekshenin' saldarinan. M-mishenge kelip urilip atirg'an bo'lekshenin' tezligi $v=0.7c$ bolsa π^0 mezon eki gamma kvantqa ajiraladi.

π^0 mezonnin' energiyasi;

$$E(\pi^0) = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} = E_{\pi 1} + E_{\pi 2} \text{ ge ten' boladi.}$$

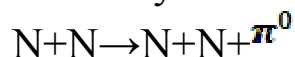
Al, π^0 mezonnin' impulsi;

$$p(\pi^0) = (E_{\pi 1}/c + E_{\pi 2}/c) \cos \alpha / 2 \text{ ge ten' .}$$

Bul qarap atirg'an protsessetegi energiyanin' ha'm impulstin' saqlaniw nizami boladi. Bul nizamlar orinlanadi, Egerde,

$$m(\pi^0) \neq 0 \text{ ha'm } \cos \alpha / 2 = p(\pi^0) * c / E_{\pi^0} = \beta_{\pi^0}$$

$\beta_{\pi^0} = v/c$, $\beta_{\pi^0} = 0,7$ bolsa, bul Panovskiydin' ta'jiriybesin analizlep qarag'animizda neytral π^0 mezonnin' jasaw da'wiri 10^{-10} sek tan kishi ekenligine isenemiz. Bul bizin' da'slepki nuklonlardin' ta'sirlesiw reyaktsiyasin qarag'animizda zaryad almaspaytug'in protseste π^0 mezonnin' payda boliwi mu'mkin degendi ko'rsetedi. Olay bolatug'in bolsa π^0 -mezonnin' payda boliw reaksiyasin

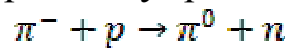


tu'rinde jaziwg'a boladi.

12.5. π^0 -mezonnin' massasi.

π^0 -mezonnin' massasin aniqlaw ushin nuklon menen nuklonnin' o'z-ara ta'sirlesiw energiyasinin' bosag'aliq ma'nisin aniqlaw kerek.

Bul ma'nisti aniqlaw ushin zaryadlang'an π -mezonlar menen nuklonlardin ta'sirlesiwini qarastirayiq. Ma'selen;



Bul reaksiyani aliw ushin to'mendegi ta'jiriybelik du'zilisten paydalanamiz (12.8-su'wret). Kamera vodorod gazi menen toltirilgan. Protonnin energiyasi:

$$E_p = 330 \text{ MeV}.$$

Suyitilgan vodorodtin ballondagi basimi 200 atm.

M-nishana;

P-proton;

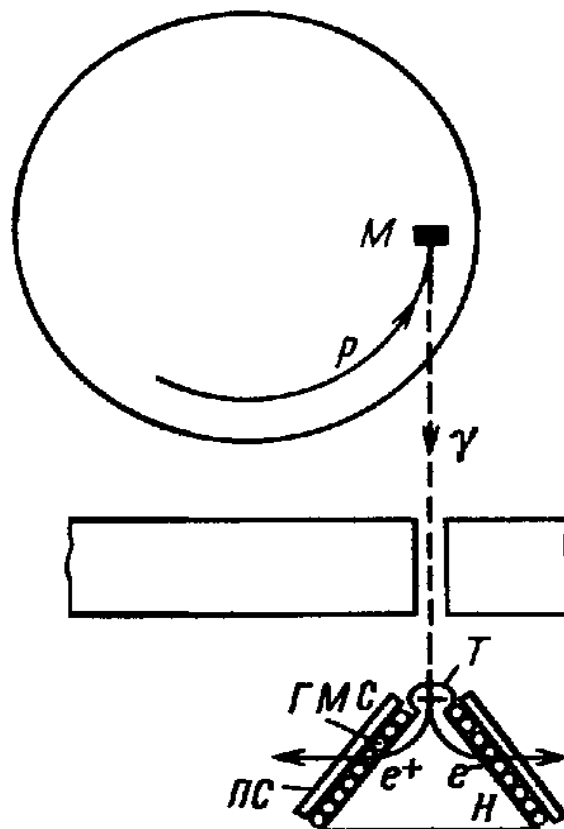
K-kolimator;

Z-qorg'ag'ish.

To'mende esaplag'ishlar ornalasqan:

1-proportsionalliq esaplag'ishi;

2-Geyger-Myuller esaplag'ishi.



12.8-su'wret

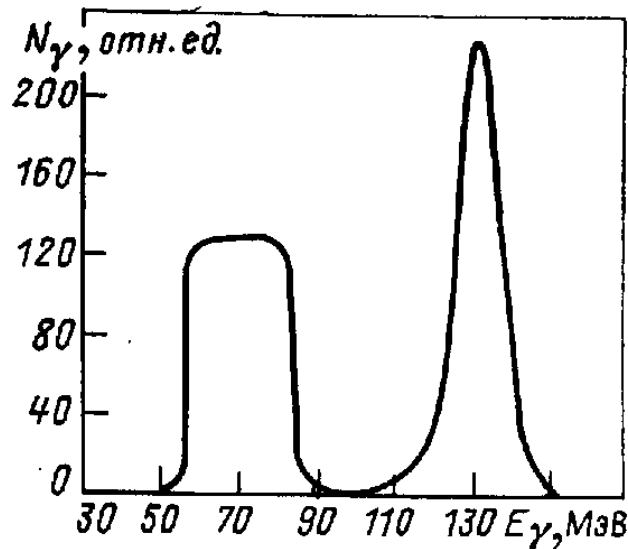
Proton mishenge urilg'anda π^0 -mezon ha'm neytron payda boladi (12.8-su'wret). γ -kvant qorg'ag'ishqa kelip elektron ha'm pozitrong'a ajiraladi:

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

payda bolg'an neytron bilayinsha idiraydi:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}.$$

γ - kvant energiyasi $E_\gamma = 1.02 \text{ MэВ}$ bolg'anda γ - kvant elektron ha'm pozitrong'a aynaladi. Bul protsesste 2 pik bayqaladi (12.9-su'wret). Energiyasi 60 MeV ke



12.9-su'wret

ten' bolg'an shin':

$$\pi^- + p \rightarrow p^0 + n$$

Al, 131 MeV ke ten' bolg'an shin':

$$\pi^- + p \rightarrow \gamma + n$$

ge sa'ykes keledi. Bul ta'jiriybeni analizlew π^0 -mezonnin' massasin aniqlawg'a ja'rdem beredi.

$$m_{\pi^\pm} = (275.0 \pm 2.5)m_e$$

π - mezonnin' massasi bunday bolsa 200 MeV bolsa, onnan basqa bo'lekshenin', neytronnin' massalari ushin impul'stin' saqlaniw nizami orinlaniwi kerek.

En' joqarg'isi 60 MeV qa iye piktin' to'mendi ha'm joqarg'i ma'nislerin esaplasaq bul:

$$E_{\gamma_1} = E_{\gamma_2} = \frac{M_{\pi^0} * c^2}{2};$$

$$E_{\gamma_1} \neq E_{\gamma_2} = M_{\pi^0} * c^2;$$

$$(E_\gamma)_{min} \leq E_\gamma \leq (E_\gamma)_{max};$$

$$(E_\gamma)_{min} = \frac{\varepsilon}{2} (1 - \beta);$$

$$(E_\gamma)_{max} = \frac{\varepsilon}{2} (1 + \beta);$$

$$\varepsilon = \frac{m_{\pi^0} * c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}};$$

$$(E_\gamma)_{min} (E_\gamma)_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4} (1 - \beta^2) = \frac{m_{\pi^0}^2 * c^4}{4};$$

Bunnan;

$$m_{\pi^0} * c^2 = 2 \sqrt{(E_\gamma)_{min} * (E_\gamma)_{max}};$$

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n \rightarrow 2\gamma + n;$$

π^- -mezonnin` massasi belgili desek:

$$M_{\pi^-} - M_{\pi^0} = (10.6 \pm 2.0) m_e;$$

Demek $M_{\pi^0} = (265 \pm 3) m_e$ ge ten`.

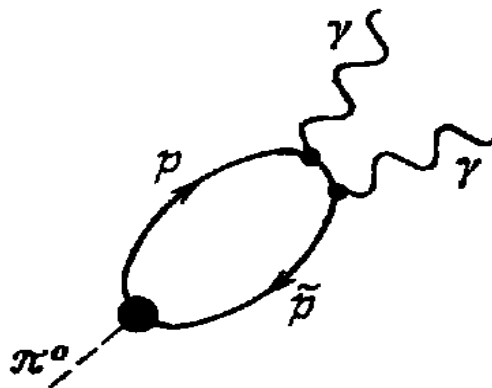
Son`g`i aling`an da`l ma`nisi 1954-jili basqa metod ja`rdeminde $M_{\pi^-} - M_{\pi^0} = (8.8 \pm 0.6) m_e$; Ekenligi ha`m  $\pi^0$ -mezonnin` da`l ma`nisi $M_{\pi^0} = (264 \pm 1) m_e$ ge ten` dep alindi. Ha`zirgi waqitta π^0 -mezonnin` da`l ma`nisi  $M_{\pi^0} = (265.14 \pm 0.03) m_e$  ge ten`.

12.6. π^0 -mezonnin` jasaw da`wiri.

π^0 -mezon zaryadsiz bolip, massasi $\pi^\pm$ -mezonnin` massasidan $10m_e$ ge kem.

π^0 -mezon bul zaryad almaspaytug`in protsesste awir bo`lekshelerdin` ku`shli ta`sirlesiwinin` tasiwshi`si ro`lin atqaradi.

π^0 -mezonnin` jasaw da`wirin shama menen 12.10-su`wrettegi diagrammadan ko`riwge boladi.



12.10-su`wret

Bul diagrammada bir ku'shli ha'm 2 elektromagnitlik shin' bar. Ku'shli ta'sirlesiw turaqlisi $g=1$, al ha'lsiz ta'sirlesiw turaqlisi:

$$g_{e.m.} = \frac{1}{\sqrt{137}}$$

ge ten'.

Eger bul eki ta'sirlesiw din' turaqlisinin' ayirmashilig'i u'lken bolsa, onda

$$\tau_{\pi^0} > \frac{\hbar}{\alpha^2} \approx 10^{-19} \text{ sek}$$

Boliwi kerek.

π^0 –mezonnin' 2γ - kvantqa ajralatug'in sebebinen fotoemul'tsiya metodi menen γ -kvantti aniqlaw mu'mkin emes, biraq π^0 –mezonnin' jasaw da'wirin aniqlaw usi metod ja'rdeminde aniqlanadi.

Plastinkada qaldirg'an iz boyinsha aniqlang'an energiya $E=70 \text{ MeV}$ qa ten'. Bul π^0 g'a tiyisli energiya.

π^0 –mezon 2γ kvantqa ajralatug'in bolsa γ -kvantlar o'z na'wbetinde plastinkanin' quramindag'i atomlar menen atomliq maydanda ta'sirlesip elektron

-pozitron jupti payda etedi;

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + e^- + e^+$$

Usi sxemadan π^0 -mezonnin' jasaw da'wiri;

$$\tau_{\pi^0} = (0,76 \pm 0,15) * 10^{-16} \text{ sek}$$

qa ten' ekenligi aniqlandi.

12.7. π -mezonlar-izotopliq triplet.

π^+ , π^- , π^0 -mezonlardin' qa'siyetin u'yreniw olardin' xarakteristikasi boyinsha bir-birine jaqin ekenin ko'rsetti. 1-den olar zatlar menen ta'sirleskende, ku'shli o'z-ara ta'sirlesedi. 2-den olardin' massalari bir-birine jaqin. 3-den π -mezonlar pu'tin spinge iye. Al π -mezon ku'shli nuklon-nuklonliq soqlig'isiwda payda boladi. π^+ mezonnin' spini 0 ge ten'. π^- -mezonnin' spini $S=0$, al π^0 -mezonnin' spini 1 ge emes, al 2 yamasa 3 boliwi mu'mkin. Bunin' da'lili spini 1 ge ten' bolg'an bo'leksheler hesh waqitta 2γ kvantqa ajiralmaydi. 4-den π^+ ha'm π^- -mezonnin' jasaw da'wiri birdey, al π^0 -mezon a'dewir az jasaydi, onin' sebebi ku'shli ta'sirlesiw waqtinda 2γ kvantqa ajiraliwi bolip esaplanadi.

π^+ , π^- ha'm π^0 -mezonlardin' qa'siyetlerinin' uqsaslig'i hesh olardin' ku'shli ta'sirlesiwinde qatnasiwi π -mezonlardin' o'z-ara ta'sirlesiw protsessindeki elektromagnitlik o'z-ara ta'sirlesiwde izotopliq invariantliq buziladi. Ol izotopliq triplettin' bo'liniwine alip keledi. Sonin' menen birge massaliq, jasaw da'wirinin' ha'm π^+ ha'm π^0 -mezonlardin' idiraw sxemalarinin' o'zgeriwine alip keledi.

π - mezonlardin' izotopliq tripletin du'ziwdin' aniq emes sxemasi nuklonlardin' dubletlik du'zilisine uqsas. π - mezonlardin' u'sh tu'rinin' boliwi $2T+1=3$ ke ten'. Ol $|\vec{T}|=1$ bolg'anda π^+ -mezong'a izotopliq spinnin' proektsiyasi $+1$, π^- mezong'a -1 ha'm π^0 -mezong'a nol' sa'ykes keledi.

Nuklonlar ushin duris bolg'an elektrlik zaryadti, barionliq zaryadti ha'm izotopliq spindi biriktiretug'in qatnastin' π -mezonlar ushin jaziwg'a boladi:

$$Z = T_\zeta + B/2$$

Bul ko'rsetedi qa'legen π -mezonnin' tu'rleri ushin $T_\zeta = Z_\pi$, $B_\pi = 0$. Sonday-aq ku'shli ha'm elektromagnitlik o'z-ara ta'sirlesiwlerde Z ha'm B saqlanadi. Bul formuladan π -mezonlar ha'm neytronlar ushin izotopliq spinnin' proektsiyasi T saqlanatug'inlig'in ko'rsetedi.

Solay etip nuklonlardin' ha'm π -mezonlardin' ku'shli ta'sirlesiwinde izotopliq spinnin' toliq vektori ha'm proektsiyasi T_ζ saqlanadi. Soni aytiw kerek bunda en' jaqsi jan'aliq π -mezonlar ushin izotopliq invariantliqtin' taraliwi bolip esaplanadi.

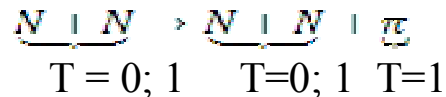
π -mezonlar ushin izotopliq invariantliliqtin' gipotezasinin' duris Ekenligin tekseriw ushin nuklonlar menen π -mezonlardin' o'z-ara ta'sirlesiwindeki yadroliq invariantliliqtin' orinlaniwi kerek. 2-Kestede nuklonlardin' ha'm π -mezonlardin' ha'r qiyli proektsiyalardin' konbinatsiyalari ushin ushirasqan protsesslerde payda boliwinin' yamasa mezonliq shashirawdag'i ma'nisleri berilgen.

2-keste

o'z-ara ta'sirlesiwshi bo'leksheler	n+n	p+p	n+p	π^+ +p	π^- +p	π^+ +n	π^- +n
T_ζ	-1	+1	0	+3/2	-1/2	+1/2	-3/2
$ \vec{T} $	1	1	0.1	3/2	1/2;3/2	1/2;3/2	3/2

2-Kesteden ko`ringenindey nuklon-nuklonliq soqlig`isiwdin`  $\pi$ -mezonlardin` jutiliw protsessi tek g`ana izotopliq spinnin` jiyindisi $T=1$ bolg`an hallarda, eki izotoplardin` yamasa eki neytronlardin` soqlig`isiwi jag`dayinda bul hallarda  $T=0$ , neytron menen protonnin` o`z-ara ta`sirlesiwinde $T=1$ jag`dayinda boliwi mu`mkin.

π -mezonnin` tuwiliw protsessin sxema tu`rinde bilay jaziwg`a boladi:

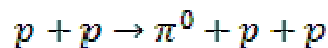


Bunda π -mezon ha`mme waqitta  $T=1$  bolg`an izotopliq spin alip ju`redi.

Bul sxemadan ko`rinedi  $\pi$ -mezonnin` tuwiliw protsessi eki nuklonlardin` to`mendegi jiyindi izotopliq spinlerin payda etedi.

$$\begin{aligned} T_{das} = 1; \quad T_{aqir} = 1 \quad (T_{N+N+\pi} = 1) \\ T_{das} = 0; \quad T_{aqir} = 1 \quad (T_{N+N+\pi} = 0) \\ T_{das} = 1; \quad T_{aqir} = 0 \quad (T_{N+N+\pi} = 1) \end{aligned}$$

0-0-o`tiw qadag`an, sonday-aq, π -mezon $T=1$ izotopliq spin alip ju`redi. Ha`r bir bul o`tiwler  $\pi$ -mezonlardin` payda boliw reaksiyasinda tosiq σ_{11} , σ_{12} , σ_{10} sa`ykes kelse kesimler menen xarakterlenedi. Misal ushin;



reaktsiyada da $\sigma = \sigma_{11}$ kese kesimge iE boladi. Sonday-aq eki proton $T=1$ bolg`anda o`z-ara ta`sirlesiw mu`mkin.

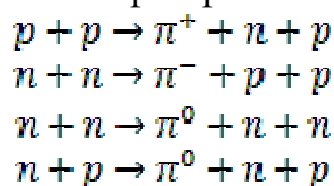


reaktsiyada kese-kesim

$$\sigma = (\sigma_{01} + \sigma_n) / 2$$

boladi. Sonin` ushin (n-p) o`z-ara ta`sirlesiw  $T=0$  ha`m $T=1$ bolg`anda birdey itimalliqqa iye boladi, al (n-n) ha`m (p-p) o`z-ara ta`sirlesiwde ten` $T=1$ boliwi kerek.

π -mezonlardin` tuwiliwi ushin qarastirilg`an joqaridag`i reaksiyalardan basqa bir neshe uqsas protsessler belgili:



İzotopliq invariantliliq gipotezasi haqiqiy boliv ushin qarastirilg'an reaksiyalardin' kese-kesimleri σ_{11} , σ_{01} , σ_{10} usi u'sh shamalar menen aniqlaniwi kerek. Solay etip real protsessler ushin kese-kesimler bir-biri menen belgili qatnaslar menen baylanisqan bolivi za'ru'r. Bul qatnaslardi tekseriw izotopliq invariantliliq gipotezasinin' duris ekenligine iseniw bolip esaplanadi. Usi ku'nge deyin bul gipotezag'a qarsi keletug'in birde jag'day esapqa aling'an joq.

Onlag'an ha'r qiyli (π -N) shashiraw protsesslerde de kese-kesimler uqsas:

$$\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$$

$$\pi^+ + n < \frac{\pi^+ + n}{\pi^0 + p}$$

$$\pi^- + p < \frac{\pi^- + p}{\pi^0 + n}$$

$$\pi^- + n \rightarrow \pi^- + n$$

$$\pi^0 + p < \frac{\pi^0 + p}{\pi^+ + n}$$

$$\pi^0 + p < \frac{\pi^0 + n}{\pi^- + p}$$

Bul jag'dayda izotoptin' invariantliq gipotezasi orinlaniw ushin eki $\sigma_{1/2}$ ha'm $\sigma_{3/2}$ shamalar mu'mkin bolg'an (π -N) sistemalar izospinlerine sa'ykes keliwi mu'mkin.

π^+ - ha'm π^- - mezonlardin' protonlardan shashirawindag'i juwmaqlardi bir qansha teren'irek qarastirayiq.

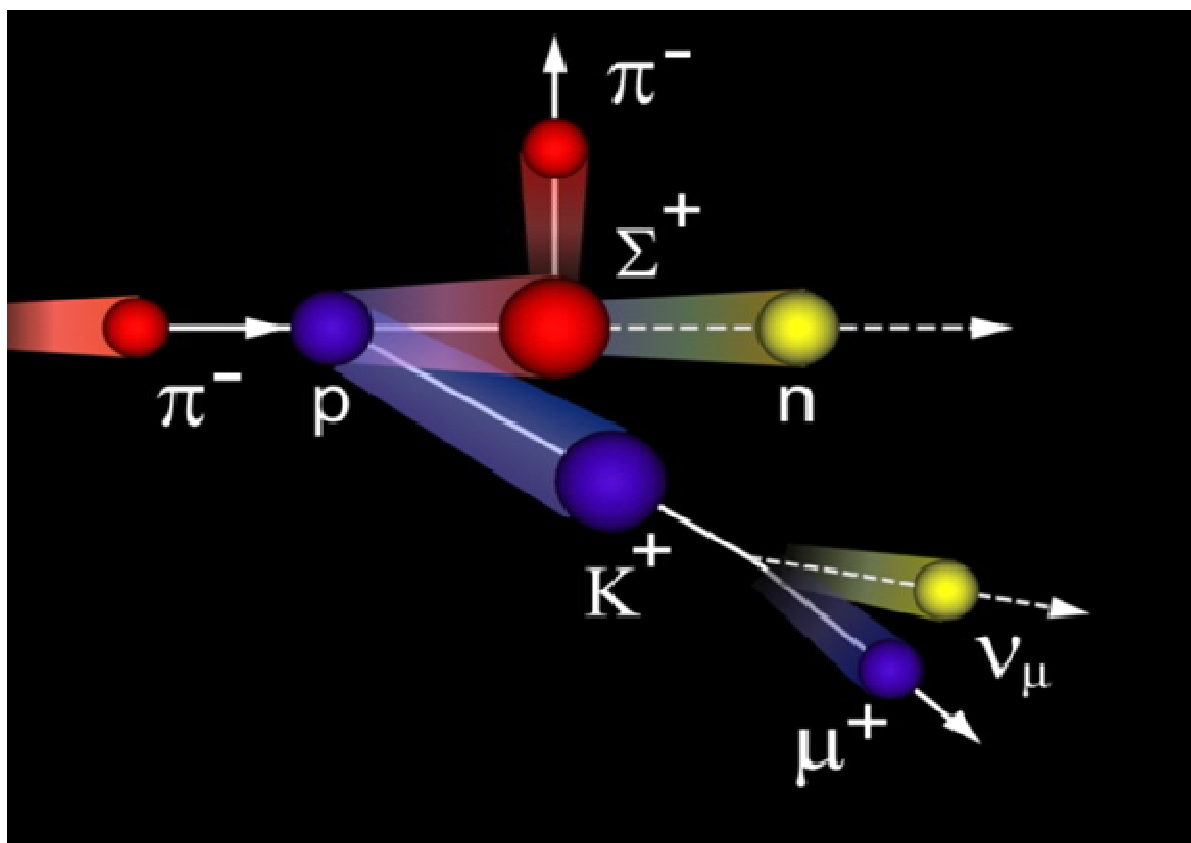
π^+ - mezonnin' protonnan shashirawin mina reaksiya tu'rinde jaziwg'a boladi:

$$\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p.$$

π^- - mezonnin' protonnan shashirawinan sog'an uqsas sxema tu'rinde jaziwg'a boladi: $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$;

ha'm de π -mezonnin' zaryadsizlaniwin da mina sxema tu'rinde jazsa boladi: $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$.

12.11-su'wrette energiyasi 20 GeV bolg'an $\pi^\pm$ - mezonlardin' protonlarda shashirawin izertlegendegi kese-kesimi juwmaqlari ko'rsetilgen. π^+ - mezonlardin' protonnan shashirawinda su'wrette ko'ringenindey energiyanin' 190 MeV a'tirapinda en' u'lken maksimum bayqaldi ha'm bir kishirek tek 1,3 GeV ko'rindi. Olay bolsa π^- - mezonnin' shashirawinda 190; 600 ha'm 900 MeV energiyada kese-kesim baqlandi.



12.11-su`wret

Solay etip π^- -mezonlardin` protonlardan shashirawi itimallig`i energiyasi $T < 300$ MeV bolg`an aymaqta eki ese ko`p bolg`ani menen kese-kesimi  $\pi^+$  -mezonlardin` shashirawi protsesslerinen ko`p boladi.

Bul juwmaqtı joqaridag`i keste boyınsha qarag`animızda tu`sinıwge boladı, yag`niy π^+ - mezonlardin` protonnan shashirawi tek g`ana izotopliq spini $T=3/2$, bolg`anda, al  $\pi^-$  - mezonnin` izotopinan shashirawi $T=3/2$ de ha`m  $T=1/2$  boliwi mu`mkin. İzotopliq spini $T=3/2$ bolg`andag`i kese-kesimdi $\sigma_{3/2}$ dep, al, izotopliq spini $T=1/2$, $\sigma_{1/2}$ arqali belgileymiz. Olay bolsa ta`jiriybede baqlanatug`in protsesslerdegi kese-kesimlerdi $\sigma_{1/2}$ ha`m $\sigma_{3/2}$ dep qarastiramiz:

$$\sigma(\pi^+ + p) = \sigma_{3/2}$$

$$\sigma(\pi^- + p) = \frac{1}{3}(\sigma_{3/2} + 2\sigma_{1/2})$$

Bul birinshi qatnasta ko`ringenindey  $\pi^+$  -mezonnin` o`z-ara ta`sirlesiwı tek g`ana izotopliq spini  $T=3/2$  bolg`anda bayqaladı. Al, π^- mezonnin` protonnan shashirawi izotopliq spinleri  $T=3/2$  ha`m $T=1/2$ bolg`anda, sonin` ishinde $T=1/2$ halda $T=3/2$ ge qarag`anda kese-kesim eki ese ko`p.

Keyingi qatnastan ko'rinedi ($\pi^- + p$) sistemasi ushin izotopliq spinnin' proektsiyalari:

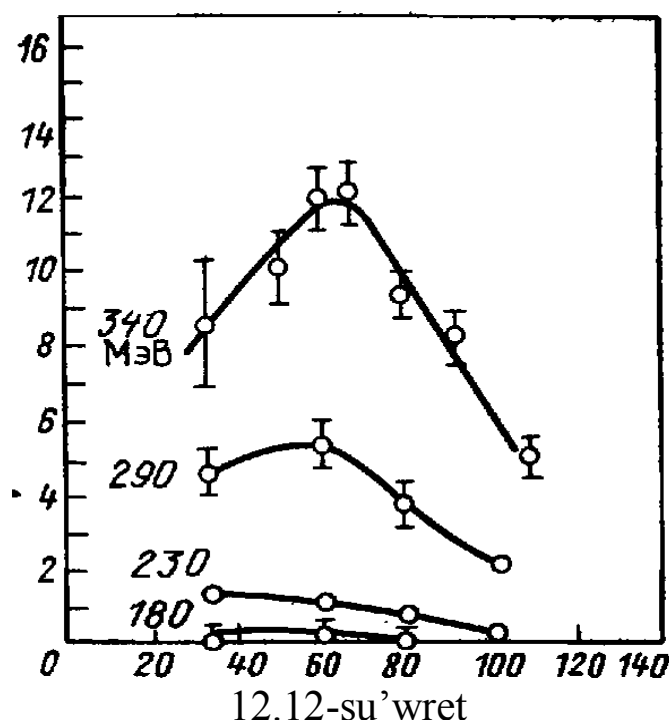
$$-\frac{1}{2}(-1 + \frac{1}{2} = -\frac{1}{2}),$$

Bul ko'rsetedi mu'mkin bolg'an izotopliq spinnin' proektsiyalarinin' jartisi ($+\frac{1}{2}$ xom $-\frac{1}{2}$) vektori $\vec{T} = \frac{1}{2}$ bolg'an, al to'rtten bir bo'leginin' mu'mkin bolg'an ma'nislerinin' proektsiyalari ($+3/2$; $-3/2$; $+1/2$; $-1/2$) vektori $\vec{T} = \frac{3}{2}$ ekenligi kelip shig'adi.

Bul ten'lemeler sistemasin sheshe otirip $\sigma_{1/2}$ ge qarata mina qatnasti alamiz:

$$\sigma_{1/2} = \frac{3}{2}\sigma(\pi^- + p) - \frac{1}{2}\sigma(\pi^+ + p)$$

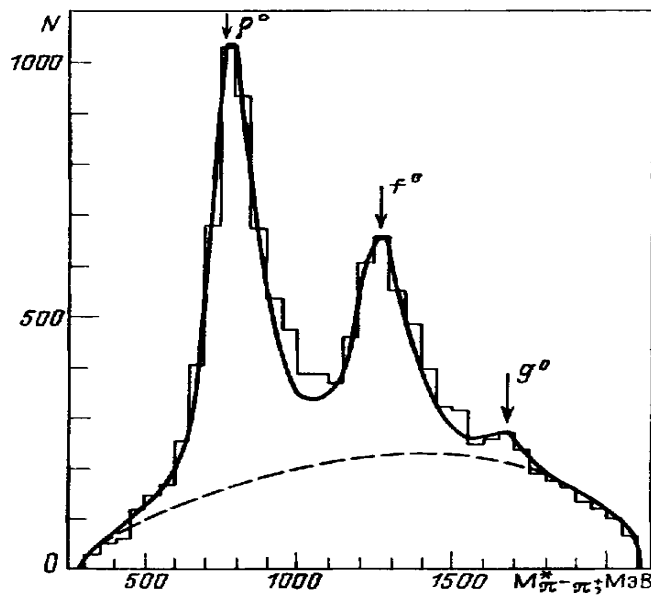
$\sigma_{1/2}$ kese-kesimnin' boliwi 12.12-su'wrette ko'rsetilgen. 12.12-su'wretten ko'ringenindey $\sigma_{1/2}$ shamasi $\sigma_{3/2}$ den energiyaning' 300 MeV a'tirapinda ju'da' az, al 1GeV energiya a'tirapinda $\sigma_{1/2}$ nin' shamasi bir qansha ko'p.



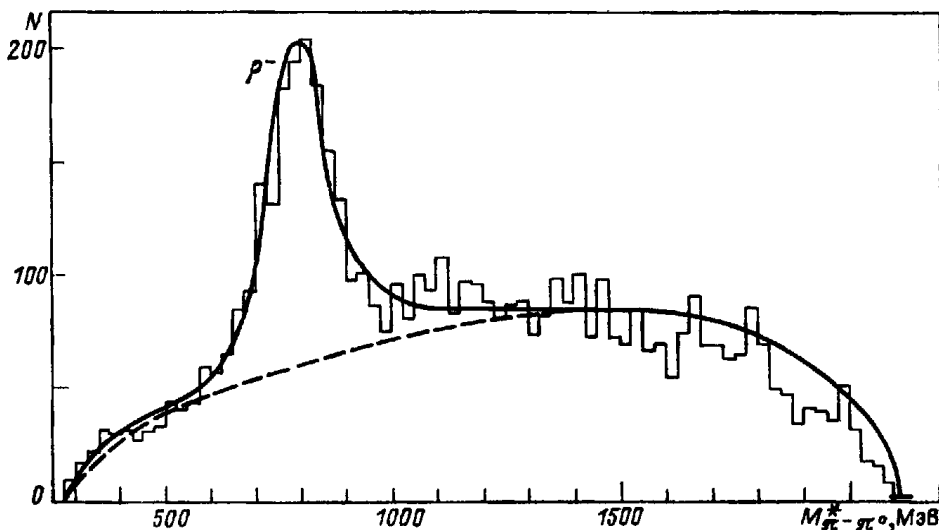
Solay etip energiyaning' $T_\pi \leq 1\Gamma\text{ЭВ}$ aymag'inda (π -p) o'z-ara ta'sirlesiwiz izotopliq spinge, yag'niy joqari spinligi bayqaladi. Energiyaning' u'lken ma'nislerinde bul baylanislilik a'ste tuwrilanadi ha'm $T_\pi > 2\Gamma\text{ЭВ}$ bolg'anda $\sigma_{3/2} = \sigma_{1/2}$ kese-kesimler bir-birine ten'.

π -mezonning energiyasi $T_\pi = 200 \text{ MeV}$ bo'lganda kese-kesimlarning $\sigma_{3/2}$ ha'm $\sigma_{1/2}$ ma'nislarining salishtirib o'tirib birinchi maksimum σ izotopliq spinini $T=3/2$ bo'lganda payda boladi. Qosimsha analizlarning ko'rsatganidey sol bo'lekshening qozg'alis mug'darinin ma'lim tipinin ma'niside $3/2$ ten'.

π -mezonlarning nuklonlardan shashiraw kese-kesimlarining maksimumlari energiyalari 190, 600, 900 ha'm 1300 MeV bo'lganda nuklonli rezonanslar dep ataladi (12.13-12.14-su'wretler).



12.13-su'wret



12.14-su'wret

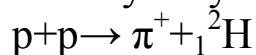
Nuklonli rezonanslar energiyaning, spinnin, izotopliq spinnin belgili ma'nislariga iye boladi. onnan basqa ular ha'r qiyli protsesslerde payda boladi.

Rezonansli protsesslardin' izertlewler juwmag'i ko'plegen bo'lekshelerdin' ashiliwina alip keldi. Ha'zirgi waqitta rezonanslardi izertlew elementar bo'lekshler fizikasinin' a'hmiyetli problemalarinin' biri.

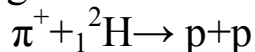
π -mezonlardin' qa'siyetlerin qarastiriwdin' juwmag'ında, usi waqitqa deyingi aling'an ta'jiriybe na'tiyjelerinin' ba'ri yadroliq ku'shlerdin' izotopliq invariantliq printsipinin' saqlanatug'inlig'in ko'rsetedi. Bul barliq π -mezonlardin' (π^+ , π^- ha'm π^0) psevdoskalyar, yag'nıy nollik spinge ha'm teris spinge iye ekenligin da'lillewge mu'mkinshilik beredi. Izotopliq invariantliq printsipinin' du'ris ekenligin ko'rsetti. Usi gepotezag'a muwapiq π -mezonlar nuklonlar siyaqli izotopliq triplet (π^+ , π^- , π^0) payda etiw kerek, birdey izotopliq spinlerge T_s , ha'm birdey qa'siyetlerge; massa, spin, ishki shetnostlar, jasaw waqti, ku'shli yadroliq o'z-ara ta'sirlesiwge iye boliwi kerek. Yadrolardin' o'z-ara ta'sirlesiwinde izotopliq spin T saqlanadi.

12.8. π -mezonlardin' spini ha'm juplig'i

π -mezonlardin' aliniw jollarin teren' u'yrengende jan'a reaksiyanin' payda bolg'ani ma'lim boldi. Ol proton menen protonnin' soqlig'isiwinda π^+ mezon menen deytון yadrosi payda boldi.



Bul reyaksiyada tek eki bo'lekshe payda boladi. Sonin' ushin bunin' keri ta'repinde ko'riwge boladi.



Usi eki protsestin' boliw itimallig'in salıstiriw joli menen π mezonnin' spinin aniqlawg'a boladi. Durisindada aniq ten' salmaqliq printsipi boyinsha tuwri ha'm keri reyaksiyalardin' kese-kesimlerinin' qatnaslari' bir-biri menen to'mendegishe baylanisqan;

$$(2s_p+1)^2 p_p^2 d\sigma_p(\theta)/dw = (2I_D+1)(2s_\pi+1) p_\pi^2 d\sigma_{\pi D}/dw$$

Bunda p_p - tuwri reyaksiyada protonnin' impulsi; p_π - keri reyaksiyada π^+ -mezonnin' impulse. s_p , s_D , s_π lar sa'ykes proton, deytון, π^+ -mezonlardin' spinleri.

Usi'nnan,

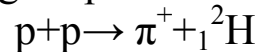
$$s_\pi = 1/2(4/3 p_p^2 / p_\pi^2 d\sigma_{pp}(\theta)/dw / d\sigma_{\pi D}(\theta)/dw - 1)$$

Usig'an uqsas te n'leme integralliq kese-kesim ushinda alinadi.

Solay etip, π -mezonlardin' payda boliwindag'i reaksiyanin' tu'rinen ko'rinedi, π^+ -mezonnin' spini pu'tin boliwi kerek, reaksiyanin' kese-kesimin aniqlaw ju'da' da'l emes, sonin' ushin π -

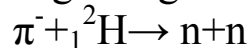
mezonin' spini mumkin bolg'an 0,1 yamasa 2 ma'nislerin qabil etiwu mumkin.

Energyasi 340 MeV bolg'an protonlar ushin



reaktsiyasinin' kese-kesimi alindi. π -mezonin' energiyasi 25 MeV ke ten'. Olay bolsa π -mezonin' spini $s_\pi=0$ ge sa'ykes keledi. Solay etip π^+ -mezonin' spini no'lge ten'.

π -mezonlardin' deyttonlar menen bolg'an basqa reyaktsiyasin izertlegende π -mezonin' shetnostin aniqlawg'a mumkinshilik beredi. A'stelengen π -mezonlardin' ag'imi menen deyteriydi aniqlag'anda to'mendegi reaksiyanin' alinatug'i'nlig'i ko'rsetildi.



Deyton ta'repinen π^- mezonin' jutiliwi s halda boladi ($l_\pi=0$). Sonin' ushin $\pi^- + {}^2_1\text{H}$ sistemasi ushin toliq moment;

$$I_{\pi,1} {}^2_1\text{H} = s_{\pi^-} + I_1 {}^2_1\text{H} + l_\pi = 0 + 1 + 0 = 1 \text{ ge,}$$

$$P_{\pi^-,1} {}^2_1\text{H} = P_{\pi^-} * P_1 {}^2_1\text{H} (-1)^{l_\pi} = P_{\pi^-} * 1 * 1 = P_{\pi^-} \text{ g'a ten' boladi.}$$

Ten'lemenin' on' jag'inda turg'an eki neytron ushin spin ha'm shetnostlar to'mendegishe boladi.

$$I_{nn} = s_n + s_n + l_n = 1$$

$$P_{nn} = p_n^2 (-1)^{l_n} = P_{\pi^-}$$

Meyli neytron s halda payda ($l_\pi=0$) bolsin deyik, olay bolsa, Pauli printsipi boyinsha spinnin' bag'iti bir-birine qarama-qarsi boliwi kerek ha'm onin' toliq momenti minag'an ten' boliwi kerek.

$$I_{nn} = 1/2 - 1/2 + 0 = 0 \square I_{\pi^-,1} {}^2_1\text{H}$$

Bul boyinsha s ahwal neytron ushin qadag'an neytronnin' p ahwalda boliwi ($l_n=1$) qozg'alis mug'darinin' saqlaniw nizaminin' orinlaniwina alip keledi ha'm ma'nisi $l_n=1$ bolg'anda π -mezonin' shetnostin aniqlawg'a qollaniwg'a boladi.

$$P_{\pi^-} = (-1)^{l_n} = -1$$

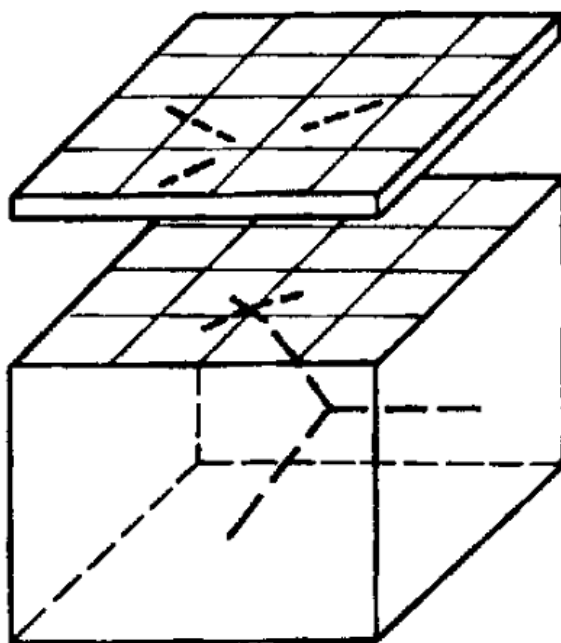
L_n nin' basqa ma'nisi ($l_n \geq 2$) bolmaydi. Solay etip π^- mezon teris shetnostqa iye.

Barliq no'llik spinge ha'm teris shetnostqa iye bo'leksheler psevdoskalyarlar dep ataladi. Olay bolsa barliq π mezonlar psevdoskalyar bolip esaplanadi.

XIII-BAP. K MEZONLAR HA'M GIPERONLAR

13.1. K mezonlar ha'm giperonlardin' qa'siyetleri

Elementar bo'lekshelerdi izertlewde fotoplastinka ju'da' jaqsi effektiv na'tiyje bere almadı. Sebebi fotoplastinkadag'i imulsiyanin' qalin'lig'i kishi, ha'm ha'r qiyli qa'siyetke iye suyuqliqlardi flastinka betine jabi'stiriwg'a bolmaydi. Sonin' ushin fotoplastinkanin' ornina ha'r qiyli kameralar jaratildi. 1948 jili sovet fizigi Alpers (keyinirek shet Eldin' ilimpazlari O.Dellom, Pauellom, Lalom h.t.b.) emulsiyali kamera islep shiqti (13.1-su'wret).



13.1-su'wret

Bul kamera izli detektor bolip, onda bo'lekshe iz qaldiradi. Bunnan basqa izli detektorlardin' ja'ne bir tu'ri 1952- jili Glezerdin' ko'bikli kamerasi boldi. Bul kamerada jumis suyuqlig'i sipatında ha'r qiyli gazlar ha'm suyuqliqlar menen toltiriwg'a boladi. Bunda bo'leksheler ag'imi fotoplastinkani nurlandirmaydi, al qalin' imulsiyaliq qabatlardi nurladiradi. Ol qabatlar o'z aldina su'wretke alinatug'in emulsiyalar bolip esaplanadi. Ol emulsiya qabatlar 300-600 mm qalin'liqqa iye bolip bo'lekshelerdin' qa'siyetlerin aniqlawg'a ju'da' qolay. Fotoplastinkadan ayirmashilig'i, bunda gorizontaal bag'it penen birge bir neshe mu'yeshler menende burilg'an bo'lekshelerdin' de izlerin aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi. Bul qabatlasqan emulsiyaliq

qatlamlarda bo'lekshelerdin' qaldirg'an izleri koordinatalari boyinsha bir-birine sa'ykes keledi. Izlerdin' koordinatalarin tabiw ushin optikaliq metod penen yamasa rentgen nurlari menen bir-birinin' aralig'i bir neshe millimeter bolg'an tuwri siziqli ko'zgenekler islenedi. Ol ko'zgenekler bo'lekshelerdin' massalarin, energiyalarin ha'm basqada qa'siyetlerin aniqlawg'a mu'mkinshilik beredi.

13.2. K-mezonnin' ashiliwi

K-mezonlardin' toparina bir neshe mezonlar kiredi.

Olardin' biri τ -mezon. 1949 jili tawdin' basinda fotoplastinkani kosmos bo'lekshelerdin' ag'imina jaylastiradi. Sol plastinkani analizlew din' na'tiyjesinde τ -mezonnin' bar ekenligi aniqlandi. Fotoplastinkada juldızsha bayqalip, ol to'rt turli iz qaldirg'an. Sol izlerdi ha'r qiyli metodlar menen o'lshew zariyadi $Z=1$ bolg'an bir qansha awir bo'lekshe ekenligi aniqalanip ha'm onin' massasi $m=1000m_e$ ten'. 13.2-su'wrettegi tarmaqtin' basindag'i τ -mezon, al onnan payda bolatug'in u'sh tarmaqlang'an ekileniwshi bo'leksheler ekenligi ma'lim boldi. onin' idiraw sxemasi to'mendegishe.

$$\tau \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

$$\tau \rightarrow \pi^- + \pi^- + \pi^+$$

τ -mezonnin' energiyasi $Q=75 \text{ MeV}$ qa ten'.

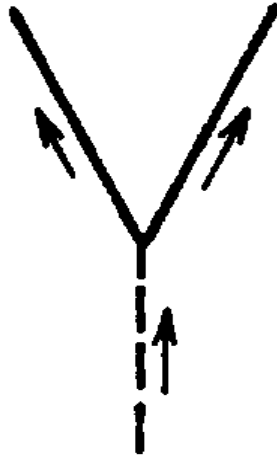
Onda;

$$m_\tau = 3m_\pi + Q = 966m_e \text{ boladi.}$$

Onin' jasaw da'wiri Vilson kamerasında aniqlandi. Vilson kamerasi ishine ha'r qanday suyuqliqlar toltirilip kosmos nurlari aldina qoyiladi. τ -mezonnin' kamerada qaldirg'an izi boyi'nsha aniqlang'an jasaw da'wiri $T=10^{-10}$ sek.qa ten'.

13.3. θ^0 -mezon

1951-jili magnit maydanında jaylastirilg'an Bilson kamerasinin' ja'rdeminde kosmos nurlarin izertlegende V formag'a iye bo'lekshelerdin' izi bayqaladi (13.2-su'wret). Bul izlerdin' biri V_1^0 -giperon bolip, onin' payda boliw energiyasi $Q=37 \text{ MeV}$ ke ten'. Al V_2^0 -bo'lekshe θ^0 -mezon dep atalip, Ol ushin $Q=220 \text{ MeV}$ energiya bo'linedi. Ol jen'il eki bo'lekshege idiraydi.



13.2-su'wret

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

V_1^0 ha'm V_2^0 lar neytral turaqsiz bo'leksheler boladi. θ^0 mezonnin' massasi

$m_{\theta^0} = 2m_{\pi} + Q = 965m_e$, al onin' jasaw da'wiri $\tau_{\theta^0} = 10^{-10}$ sek qa ten'.

13.4. X-mezon ha'm basqada K mezonlar.

1951 jili $(\pi-\mu)$ Idirawda payda boliwshi μ -mezondi izertlew waqtinda $(\pi-\mu)$ g'a uqsas, biraq μ -mezong'a qarag'anda izi 600 mkm ge uziniraq bolg'an bo'lekshe bayqalg'an. Massasin u'yreniw menen bul bo'lekshenin' χ - mezon ekenligi ani'qlandi. onin' massasi $m_{\chi} = 1000m_e$ ge ten'. Al idiraw sxemasi;

$$\chi \rightarrow \mu + 2$$

neytral bo'lekshe $(\chi-\mu)$ idirawinda bul sxema;

$$\chi^+ \rightarrow \mu + \pi^0 + \nu$$

Idiraw energiyasi; $Q = 250$ MeV, massasi; $m_{\chi^+} = (966 \pm 1)m_e$ ge ten'. Kosmosliq bo'lekshelerdin' toparinda, tezletkishlerde izertlew waqtinda idiraw sxemasi uqsas bolg'an bo'leksheler aniqlandi. Biraq zariyadlari basqasha.

1. $\tau^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^+ - \pi^0$ $Q = 75$ MeV ($K_{\pi 3}^0$)
2. $\theta^{+-} \rightarrow \pi^{+-} + \pi^0$ $Q = 220$ MeV ($K_{\pi 2}^{+-}$)
3. $\chi^0 \rightarrow \mu^{+-} + \pi^{+-} + \nu$ $Q = 250$ MeV ($K_{\mu 2}^{+-}$)

Bul K bo'lekshelerdin' massalari $(965-975)m_e$ do'gereginde. K^{+-} - mezonnin' jasaw da'wiri 10^{-8} sek, K^0 -mezonnin' jasaw da'wiri 10^{-10} sek. Bul K bo'leksheler ju'da' qi'sqa jasaw waqitqa iye bolip, ular radioaktiv bo'leksheler bolip esaplanadi. K mezong'a tiyisli bo'lekshelerdin' massalari bir birine jaqin.

13.5. (Θ - τ) mashqalasi

K bo'lekshelerdin' qa'siyetin u'yreniwde en' tiykarg'isi olardin' qozg'alis mug'darinin' momentin ha'm zariyadtin', jupliqtin' saqlaniw nizamini u'yreniw bolip esaplanadi. Ma'selen: θ ha'm τ bo'lekshe o'zinin' ta'biyati boyinsha ha'r qiyli qa'siyetke iye. Θ bo'lekshe idirag'anda 2π mezondi payda etedi. Al τ bo'lekshe idirag'anda 2 zariyadli π mezondi ha'm neytral π mezondi payda etedi.

$$\Theta \rightarrow \pi^{+-} + \pi^0$$

Usi (Θ - τ) bo'lekshenin' qozg'alis mug'dari momentlerin qarastirayiq. Da'slep Θ^+ mezonnin' juplig'in ko'reyik.

Jupliqlari;

$$\begin{aligned} p_{\Theta^+} &= p_{\pi^+} p_{\pi^0} (-1)^1 \\ p_{\pi^+} &= (-1) \\ p_{\pi^0} &= (-1) \end{aligned}$$

ge ten'.

Orinlarina qoysaq;

$$p_{\Theta^+} = (-1)(-1)(-1)^1 = (-1)^1$$

boladi ten' eken.

Bunnan p_{Θ^+} juplig'1, egerde usi Θ^+ -mezonnin' spini

$$S_{\Theta^+} = s_{\pi^+} + s_{\pi^0} + 1$$

bolsa onda,

$$p_{\Theta^+} = (-1)^{S_{\Theta^+}}$$

Bunnan Θ^+ mezonnin' spini ha'm juplig'i 0^+ , 1^- , 2^+ h.t.b. boliwi mu'mkin (yag'niy putin sanlar).

Al τ mezonnin' spini; $s_{\tau^+} = s_{\pi^+} + s_{\pi^+} + s_{\pi^-} L + 1 = L + 1$

Bunnan τ mezonnin' juplig'i;

$$p_{\tau^+} = p_{\pi^+}^3 (-1)^{L+1} = (-1)^3 (-1)^{L+1} = (-1)^{L+1}$$

bunda, $L-2\pi$ mezonnin' orbitaliq momenti, al 1π mezonnin' orbital momenti.

Joqaridag'i ten'lemelerdi bir-birine salistiriw arqali τ mezonnin' spini ha'm shetnoctin aniqlaw mumkin, 0 , 1 , 0^- , 1^+ , 2^+ , 3^+ ma'nislerdi qabil etiw mu'mkin. 0 , 1 , 2 , 3 –sanlar spinlerin, “-“, “+” belgileri shethosti ko'rsetedi. Ko'plegen izertlewler τ mezonnin' spini 0^- ekenligin ko'rsetedi. Bular ishki xarakteristikalar dep ataladi.

Θ^+ mezonnin' spini ha'm shetnosti 0^+ bolg'anliqtan olardin' ishki xarakteristikalari o'zgeshe boladi. Olardin' birinshisinin' shetnosti “-“, al ekinshisniki “+” bolg'anliqtan.

13.6. K- Idiraw jag'dayinda jupliqtin' saqlanbawi

Uliwma ta'biyattag'i barliq jag'daylardin' orinlaniwi ushin energriyanin', impulstin', zariyadtin', jupliqtin' saqlaniw nizamleri saqlaniwi kerek. Biz bilemiz $CPT=1$ boliwi kerek.

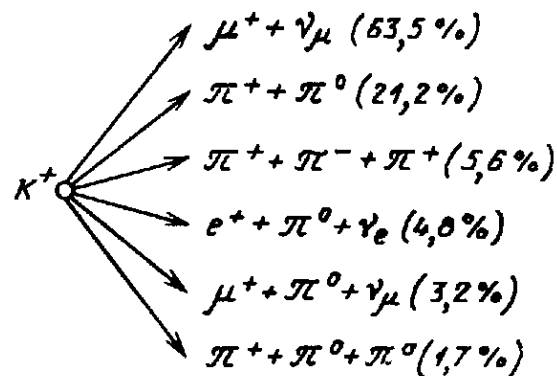
Bizge ma'lim, ko'pshilik yadrolardin' idiraw jag'daylari 2 turli kushtin' o'z-ara ta'sirlesiw na'tiyjesinde bolip o'tedi. Kushli ta'sirlesiwde zaryadtin' ha'm jupliqtin' saqlaniw nizami toliq orinlanadi. Ol ta'jiriybede tastiyqlang'an. Al, ha'lsiz ta'sirlesiwde zaryadtin' ha'm jupliqtin' saqlaniw nizami orinlanbaydi. Buni' 1956 jili Li ha'm Yanglar da'lillegen.

θ ha'm τ bo'leksheler K mezong'a kiredi. Massalari ha'm jasaw da'wirleri,

$$m_{K^-} = (966,041 \pm 0,018) m_e;$$

$$\tau_{K^-} = (1,2371 \pm 0,0028) \cdot 10^{-8} \text{ c.}$$

Mina ma'nislerge iye bolip ha'r qiyli idiraw sxemalarina iye. K-mezonlardin' idiraw sxemasi to'mendegishe.



Ta'jiriybelerde idiraw sxemalarin u'yreniw ol bo'lekshelerdin' ushiw bag'itin spinnin' bag'iti menen salistirg'anda spinnin' bag'itina kerri bag'itta ushatug'inlig'in ko'rsetedi. Bul jupliqtin' saqlanbaytug'inlig'in ko'rsetedi. K-mezonlardin' ortaligta juti'liw itimallig'i ha'm olardin' idiraw qa'siyetleri ta'jiriybede az u'yrenilgen. K-mezong'a $K\pi3$, $K\pi2$, $K\mu2$ ha'm $K \square 3$ mezonlar kiredi.

$$m_{K^-}/m_{K^+} = 0,9990 \pm 0,0010,$$

al jasaw da'wirinin' qatnasi,

$$\tau_{K^-}/\tau_{K^+} = 0.97 \pm 0,09$$

Bul qatnaslardin' bir-birine jaqin boli'winin' sebebi K- mezonnin' spini de 0 ge ten' degen juwmaqqa keliwge boladi.

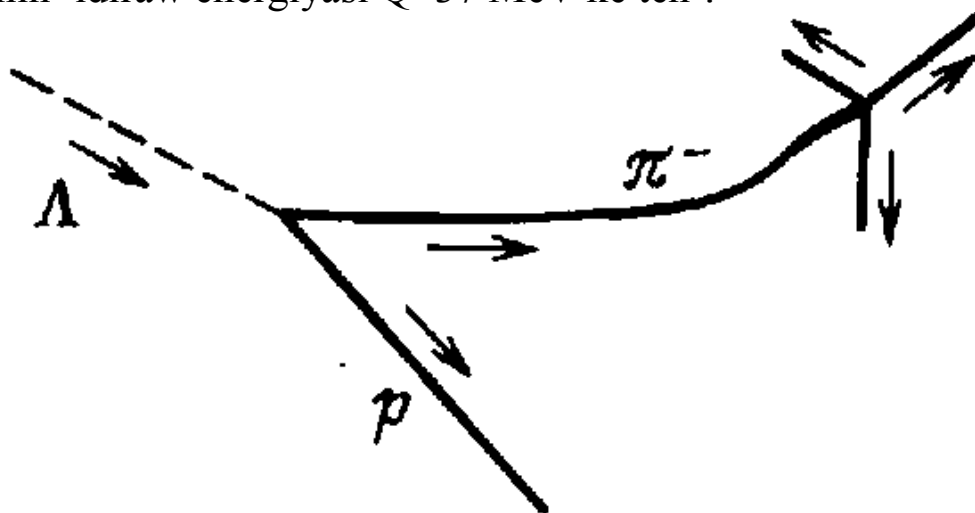
XIV -BAP. GIPERONLAR

14.1. Giperonlardin' ashiliwi

1951-jılı Bilson kamerası ja'rdeminde kosmoslıq bo'lekshelerdin' qaldırg'an izlerin analizlew waqtında V formag'a iye iz bayqalg'an. V2 vilkasi θ^0 -din' idirawinan payda bolg'an bo'lekshe ha'm onın' turaqsız ekenligi ma'lim boldı (14.1-su'wret). 2-vilka V_1^0 bo'lekshe. Onı giperon dep atadı ha'm λ menen belgiledi. Λ giperon turaqsız bo'lekshe ha'm massası boyınsha juda' awır ekenligi ma'lim boldı. Onın' ıdıraw sxeması to'mendegishe;

$$\lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

onın' ıdıraw energiyası $Q=37 \text{ MeV}$ ke ten'.



14.1-su'wret

Protonnıń ha'm π^- mezonlardin' fotoplastinkada qaldırg'an izi boyınsha energiyasın anıqlaw onın' massasın anıqlawg'a mumkinshilik beredi. λ^0 giperonnın' massası mınag'an ten'. $m_\Lambda = (2183,23 \pm 0,10) m_e$. λ^0 giperonnın' ıdıraw sxemaları ha'm olardin' energiyaları to'mendegishe;

$$\Lambda \rightarrow n + \pi^0; \quad Q = 39,05 \text{ MeV}$$

$$\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e; \quad \Lambda \rightarrow p + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

λ^0 bo'lekshe neytral giperon yag'niy zaryadı joq. Bul giperonnan basqa zariyadlı giperonlar da anıqlandı. Bul giperondı sigma giperon dep atadı. Olardin' ıdıraw sxemaları, energiyaları ha'm massalarının' ma'nisleri to'mendegishe;

$$\begin{aligned}\Sigma^+ & \begin{cases} \rightarrow p + \pi^0, & Q = 116 \text{ MэВ}, \\ \rightarrow n + \pi^+, & Q = 110 \text{ MэВ}, \end{cases}\end{aligned}$$

$$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-, \quad Q = 117 \text{ MэВ};$$

$$\begin{aligned}m_{\Sigma^+} &= (2327,5 \pm 0,1) m_e, \quad m_{\Sigma^-} = (2343,3 \pm 0,1) m_e, \\ \tau_{\Sigma^+} &= (0,800 \pm 0,004) \cdot 10^{-10} \text{ s}, \quad \tau_{\Sigma^-} = (1,48 \pm 0,01) \cdot 10^{-10} \text{ s}\end{aligned}$$

1952 hılı bul giperonlardan basqa kaskadlı giperonlar ashıldı. Olar to'mendegishe;

$$\begin{aligned}\Xi^- & \rightarrow \Lambda + \pi^-; \quad \Lambda \rightarrow p + \pi^-, \\ m_{\Xi^-} &= (2585,75 \pm 0,25) m_e, \\ \tau_{\Xi^-} &= (1,64 \pm 0,02) \cdot 10^{-10} \text{ s}\end{aligned}$$

Keyinirek Σ^0 , Ξ^0 - bo'leksheleri ashıldı, olardın' massaları, ıdıraw sxemalari ha'm jasaw waqitlari to'mendegishe.

$$\left. \begin{aligned}m_{\Sigma^0} &= (2333,76 \pm 0,18) m_e; \quad \tau_{\Sigma^0} = (7,4 \pm 0,7) \cdot 10^{-20} \text{ s}; \\ \Sigma^0 &\rightarrow \Lambda + \gamma; \quad Q \approx 77 \text{ MэВ}; \\ m_{\Xi^0} &= (2573,19 \pm 1,2) m_e; \quad \tau_{\Xi^0} = (2,90 \pm 0,10) \cdot 10^{-10} \text{ s}; \\ \Xi^0 &\rightarrow \Lambda + \pi^0; \quad Q \approx 64,1 \text{ MэВ}.\end{aligned} \right\}$$

Bulardın' o'zine sa'ykes spinleri ha'm juplıqları bar. Spinleri pu'tin san ha'm Boze Eiynshteyn statistikasina bag'ınadı. 1964- jıldan usı kunge deyin ashılğ'an bo'lekshelerdin' en' awırı vodorodli ko'bikli kamerada esapqa alındı. Oni Ω -giperon dep atadı. onın' ıdıraw sxemaları to'mendegishe;

$$\left. \begin{aligned}\Omega^- & \rightarrow \pi^- + \Xi^0, \quad \Xi^0 \rightarrow \pi^0 + \Lambda, \quad \Lambda \rightarrow p + \pi^-, \\ \pi^0 & \begin{cases} \rightarrow \gamma \rightarrow e^+ + e^- \\ \rightarrow \gamma \rightarrow e^+ + e^- \end{cases}\end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}\Omega^- & \begin{cases} \rightarrow \Xi^- + \pi^0, \\ \rightarrow \Lambda + K^-.\end{cases}\end{aligned}$$

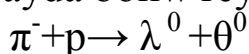
Ω -giperon massası; $m_{\Omega} = (3273 \pm 1)$, jasaw da'wiri; $\tau_{\Omega} = (1.3 \pm 0.4) 10^{-10}$ s, zariyadı; $Z = -1$.

λ , Σ , Ξ giperonlardın' spinleri olardın' ıdırawınan payda bolatug'ın bo'lekshelerdin' mu'yeshlik bo'listiriliwinen anıqlanadı. Barlıq giperonlar ushın ishki juplıg'ı +1 ge ten'.

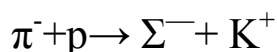
14.2.K-mezonlar ha'm giperonlar sistematikasi

K-mezonlar ha'm giperonlardi izertlew tan' qalarliq qa'siyetlerge sonin' menen birge bir-birine qarsı keletug'in xarakteristikalar'ga iye ekenligin ta'jiriybeler ko'rsetti. Misalg'a, barliq K mezonlar ha'm giperonlar yadrolıq waqıtqa(10^{-22} - 10^{-23} sek) salıstırg'anda u'lken jasaw waqtına(10^{-8} - 10^{-10} sek) iye. Usınday jasaw waqtında giperonlarda k mezonlarda yadro aktivli bo'lekshelerge ıdıraydı. (Misalg'a $\lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$, $\tau \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ h.t.b.). Solay etip, k-mezonlar ha'm giperonlar o'zlerin yadrolıq passivli bo'lekshelerdey etip ko'rsetedi. Sonin' menen birge k-mezonlar ha'm giperonlar yadrolıq o'z-ara ta'sirlesiwden ko'birek payda boladı. Bular radioaktivli bo'lekshelerdin' qa'siyetlerin beredi. Misalg'a k-mezonlardın' ha'm giperonlardın' payda bolıw kese-kesimi π -p o'z-ara ta'sirlesiwde 10^{-27} sm² shamasında, al, N-N o'z-ara ta'sirlesiwde geometriyası boyınsha 1 prosent a'tirapında.

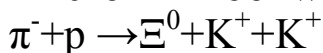
N-N ha'm π -p o'z-ara ta'sirlesiwlerde k-mezonlardın' yamasa giperonlardın' o'z aldına tegis bolmay bir neshe gruppada ekew, ushew turinde payda bolıwları o'zine bir qansha dıqqat awdaradı. Misalg'a λ^0 ha'm θ^0 -mezonların' birlikte payda bolıw reyaksiyası bayqaldı.



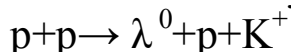
Σ^- giperon menen K^+ mezonların' bolıw reaksiyası;



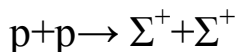
Ξ^0 -giperon ha'm eki K^+ mezonların' bolıw reiyaksiyası;



λ^0 - giperon ha'm K^+ mezonların' bolıw reyaksiyası;



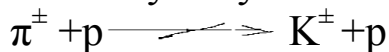
reyaksiyalarda eki Σ^+ -giperonların' birdey payda bolıwı hesh qashan baqlanbaydı.



yamasa λ^0 - giperonların' bir o'zinin' payda bolıw sxeması boyınsha;

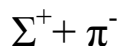
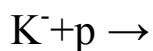
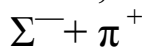


ha'm de $K^\pm$ -mezonlardın' reiyaksiyada bir o'zinin' bayqalıwı



mu'mkin emes.

K^- -mezonlar menen nuklonlardın' o'z-ara ta'sirlesiwinde bir giperonlardın' jeke payda bolıwı mu'mkin;



K^+ ha'm K^- mezonlarning payda bolishida o'z-ara ta'sirlashida payda bolatug'ini ha'r qiyli xarakterdagi qat'iyatlarini ku'shli simmetriyalı emes ekanligi bayqaldi. Energiyasi 1-2 GeV bolg'anda K^+ -mezonlarning payda bolishi K^- -mezonlarga qarag'anda 100 ese ko'p. K^- -mezonlar tek K^+ -mezonlar menen birge jup tu'rde payda boladi. $K^\pm$ -mezonlar giperonlar menen jup tu'rinde de bayqaladi. Aqirinda K^+ mezonlar nuklonlar menen o'z-ara ta'sirlashkenda tek shashiraw ha'm zaryadlari o'zgeredi. K^- -mezonlar giperonlarning payda bolish reaksiasini beredi. Demek, bul K mezonlar ha'm giperonlarning qat'iyatleri boyinsha ju'da ha'r qiyli, sonin' ushin olar tan' qalarliq bo'leksheler dep te ataladi. Biraqta olarning ayriqshalıq qat'iyatleri bir-birine baylanisli ha'm uliwma teoryalıq du'zilis penen tu'sindiriledi. Bul protseslerdi bir qansha da'lirek qarastirayiq. Aynalıq qat'iyatke iye yadrolardi u'yrenenimizde birinshiden nuklon-nuklonliq shashirawda, ekinshiden nuklonlarning o'z-ara ta'sirlashwlerinde ha'r bir turdegi nuklonlar bir qiyli ha'm spinlik hallarda boladi. Esletip o'temiz bul jag'dayda en' da'slep bir s hal ushin yadroliq kushlerdin' zaryadqa baylanissızlıg'ı gipoteza turinde qabil etilgen edi. Keyin ala ko'pshilik ta'jiriybeler buni tasiyqladi. Gipotezag'a sa'ykes proton ha'm neytron bir qiyli yadroliq qat'iyatlerge iye, yag'nıy ku'shli yadroliq o'z -ara ta'sirlashw ko'z qarasinan bir-birine ju'da ten' bo'leksheler bolip esaplanadi. Protonnin' neytronnan ayirmashılıg'ı (zaryadi, magnitlik momenti ha'm massasi boyinsha) kushli ta'sirlashw menen birge elektromagnitlik ta'sirlashwdi esapqa alg'an jag'dayda bayqaladi. Elektromagnitlik o'z -ara ta'sirlashw bolmag'anda zaryad nuklonlar ushin tek belgi funktsiasın atqaradi.

Solay etip, eki nuklonda bir qiyli kvant mexanikalıq shama bolg'an izotopliq spini $T=1/2$ menen xarakterlenedi. Eki nuklonnin' da zaryadlıq ayirmashılıg'ı izotopliq spinnin' proeksiasında ha'r qiyli bag'ıtta, yag'nıy $T=+1/2$ ha'm $T=-1/2$ bolıwı mu'mkin. Kvantlıq vector T nin' mu'mkin bolg'an sanı $2T+1=2$ ge ten', yag'nıy ha'r qiyli tiptegi nuklonlar sanin beredi. Solay etip shama menen proton ha'm neytron nuklonliq juplardı payda etedi dep aytsa boladi.

Eksperiment ja'rdeminde da'lillengen yadroliq ku'shlerdin', nuklonlarning zaryadına baylanissızlıg'ı kushli o'z -ara ta'sirlashwde izotopliq spinnin' saqlanıw nızamının' forması tuwralı ko'rsetpe beriw mu'mkin. O'z-ara ta'sirlashw xarakteri izotopliq spinnin' proeksiasına emes, al onın' toliq izotopliq spininin' shamasına baylanisli. Onı izotopliq spinnin' invariyanlıg'ı dep ataydı.

π^+ , π^- ha'm π^0 - mezonlardin' uqsaslig'ı π - mezonlıq triplet tu'rinde qarastırıladi. Olardin' protonlıq spinleri $T=1$ ge ten', al proeksiyalari $2T+1=3$, yag'nıy 1;0;-1: Olar sa'ykes π^+ , π^- ha'm π^0 - mezonlarg'a tiyisli. Sonı aytıw kerek nuklonlıq dublettin' ortasha zaryadı bir-birine elektr zariyadı arqalı, al $\frac{1}{2}$ ge ten', yag'nıy $Z_N=(Z_p+Z_n)/2=(1+0)/2=1/2$, al π - mezonlıq triplettin' ortasha zariyadı nolge ten'.

$$Z_\pi=(Z_{\pi^+}+Z_{\pi^-}+Z_{\pi^0})/3=(1+0-1)/3=0$$

14.3. Tan` qalarlıqtın` saqlanıw nızamlılıg'ı

Elektromagnitlik ha'm ku'shli ta'sirlesiwlerde zaryadtın`, energiyanın`, juplıqtın`, barionlıq zaryadtın` saqlanıw nızamlari orinlanadi. Juplıqtın` saqlanıw nızami ha'lsiz ta'sirlesiwde orınlanbaydı.

Egerde elektromagnitlik ha'm ku'shli ta'sirlesiwde ayılğ'an nızamlıqlar anıq orınlansa;

$$Z = T_s + \frac{B+S}{2}$$

ten`lemesi orınlanıwı kerek.

Bunda, Z -izotoplıq spinnin` simmetriya ko'sherine proektsiyası.

B -barionlıq zaryad;

S -tan` qalarlıq (juplıq).

Mine, usı tan` qalarlıqtın` saqlanıw nızamlılıg'ı ku'shli ha'm elektromagnitlik o'z-ara ta'sirlesiwde izolyatsiyalang'an sistema ushın orınlanadi. Nuklonlar ha'm π -mezonlar ushın $S=0$ ge ten', al giperonlar ha'm K -mezonlar ushın tan` qalarlıq nol'den o'zgeshe  $S \neq 0$ . Usı tan` qalarlıq nızamının` orınlanıwı ushın to'mendegi 2 jag'daydı qarastırıw kerek:

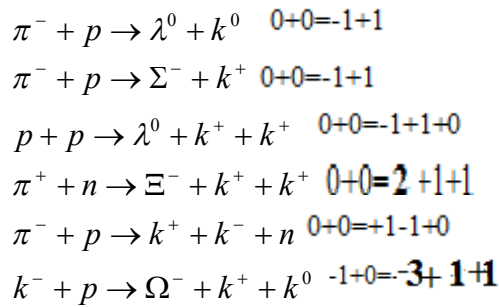
1. π -mezon menen nuklonnın` o'z-ara ta'sirlesiwinde tan` qalarlıq bo'lekshelerdin` bir o'zi bolıwı mu'mkin emes, ol elementar bo'lekshe jup bolsın. Bular ushın tan` qalarlıq $S=0$.

2. Bul tan` qalarlıq bo'leksheler ju'da` qisqa waqıt ishinde a'piwayı bo'lekshelerge ıdırıp u'lgeredi.

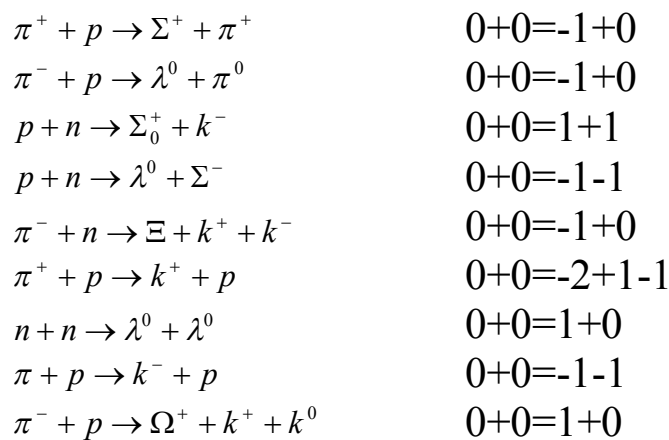
K - mezonlardın`, giperonlardın` tan` qalarlıq xarakteristikasının` nege ten` ekenin qarastırayıq:

$$\begin{aligned} S_{\pi^\pm} &= 0; \quad S_{k^+} = +1; \quad S_k = -1; \quad S_{\lambda^0} = -1; \quad S_{\Xi^0} = -2; \\ S_{p,n} &= 0; \quad S_{k^0} = +1; \quad S_{k^0} = -1; \quad S_{\xi_0^\pm} = -1; \quad S_\Omega = -3; \end{aligned}$$

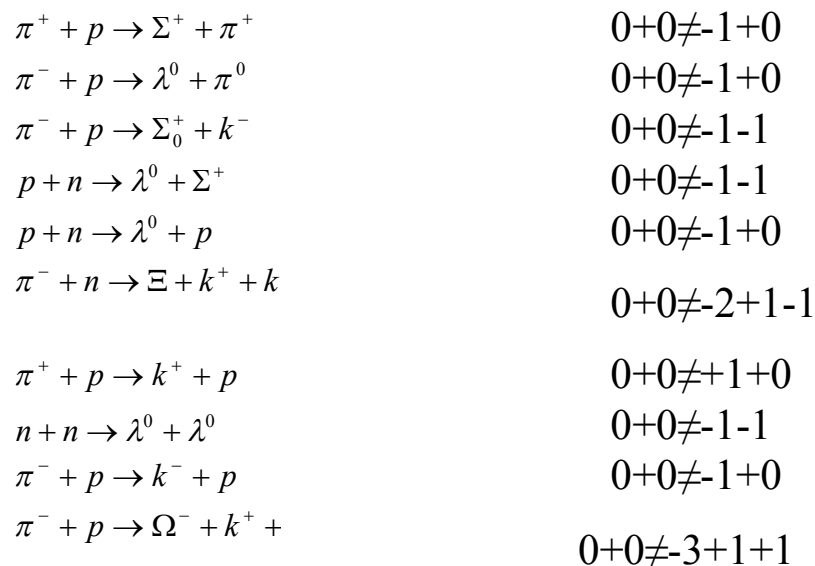
Keri antibo`lekshelelerin` tan` qalarlıg`ı belgisi menen xarakterlenedi. orınlanıw nızamın to`mendegi reaksiyalardan ko`rinedi:



Endi usı reaksiyalarg`a tan` qalarlıqtın` orınlanıwin ko`reyik. Bul protsesslerdin` ba`rinde $\Delta S=0$ ge ten`.  $\Delta S \neq 0$  tan` qalarlıqtın` saqlanıw nızamı orınlanbaydı:

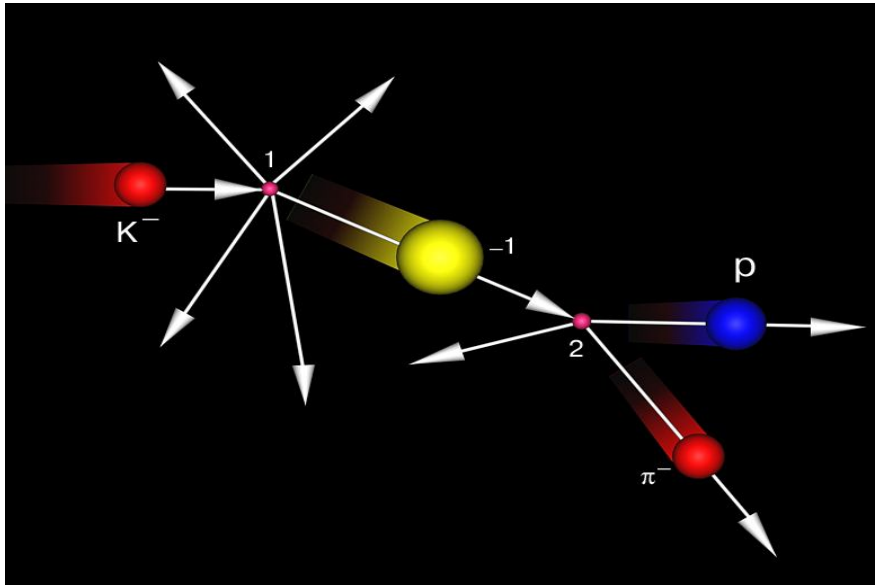


Keri jag`day ushın to`mendegi reaksiyalardı qarastırayıq:



Bunda, $\Delta S \neq 0$ emes, olay bolsa tan` qalarlıqtın` saqlanıw nızamı qadag`an. Tan` qalarlıqtın` saqlanıw nızamın ko`rsetetug`ın anıq da`lil k-mezon ha`m  $\Sigma$ -giperonnın` payda bolıwındag`ı eki simmetriyalıq protsess bolıp esaplanadı (14.2-su`wret).

$$\begin{array}{lll} \pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-; & 0+0=+1-1; & \Delta S=0; \\ \pi^- + p \rightarrow K^- + \Sigma^+; & 0+0 \neq -1-1; & \Delta S=-2; \end{array}$$



14.2-su'wret

Bul protsesslardin` birinshisinde tan`qalarlıqtın` saqlanıw nızamı boyınsha ruxsat etilgen, al, ekinshisi boyınsha protsess qadag`an. Sog`an uqsas ma`sele reaksiya:

$$\begin{array}{ll} K^- + n \rightarrow \Xi^- + k^0; & -1+0=-2+1 \\ K^- + n \neq \Xi^0 + K^-; & -1+0 \neq -2-1 \end{array}$$

ha`mde:

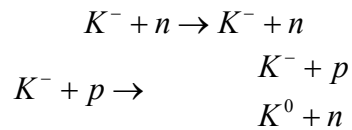
$$\begin{array}{ll} K^- + p \rightarrow \Xi^- + K^+ + \pi^0; & (-1+0=-+1+0) \\ K^- + p \neq \Xi^0 + K^- + \pi^+; & (-1+0 \neq -2-1+0) \end{array}$$

Solay etip, barlıq giperonlar kerı tan` qalarlıqqa iye.  $K^-$  mezon reaksiyanın` a`piwayı tu`rinde (antigiperonlar payda bolmag`an jag`dayda) K^+ yamasa K^0 –mezonlardin` jupları payda bolıwı mu`mkin.

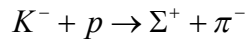
Tan` qalarlıqtın` saqlanıwı zatlar menen tan` qalarlıq bo`lekshelerdin` o`z-ara ta`sirlesiw xarakteri anıqlanadı. Misalg`a K^+ -mezonlar nuklonlar menen o`z-ara ta`sirleskende shashıraw ha`m qayta zaryadlanıw menen sheklenedi (sonın` ushında barlıq giperonlar kerı tan` qalarlıqqa iye).

$$\begin{array}{l} K^+ + p \rightarrow K^+ + p \\ K^+ + n \\ K^+ + n \cdot \\ K^+ + p \end{array}$$

Sunday-aq, K^- -mezonlar ushında uqsas protsesslerden basqa:



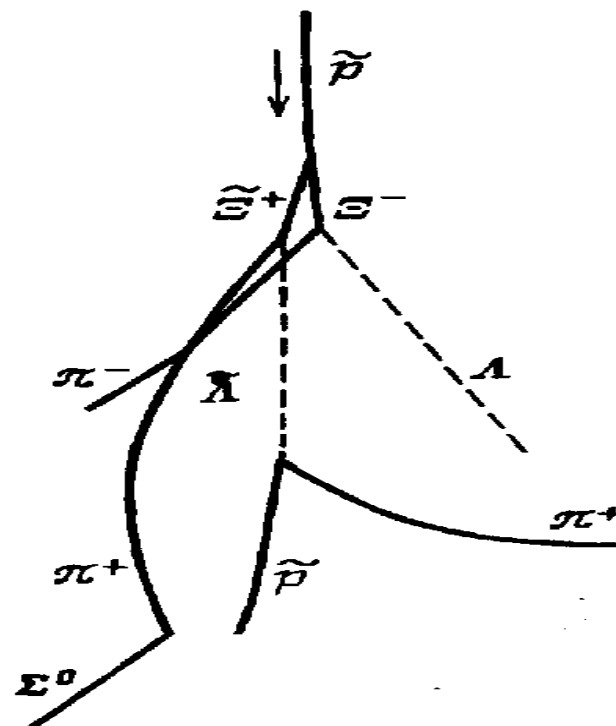
boladı ha'mde giperonlardın' payda bolıw protsessi bolıwı mu'mkin, mısalg'a sxema boyınsha:



Qarastırılğ'an tan' qalarlıqtın' saqlanıw nızamın ko'rsetetug'in protsesslerdin' ko'pshiligi eksperimentte bayqalg'an. Usı waqıtqa shekemgi eksperimentlerde ku'shli ha'm elektromagnitlik o'z-ara ta'sirlesiwlerde nızamlardın' saqlanıwının' buzılıwın ko'rsetetug'in da'lliller bayqalg'an joq.

Endi a'piwayı ha'm tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' ıdıraw protsesslerin qarastırayıq. Bul protsesslerde, tan' qalarlıq o'zgeriwi mu'mkin, olar ku'shlide elektromagnitli o'z-ara ta'sirlesiwde emes, al, ha'lsiz gruppag'a yamasa ju'da' a'sten bolıp o'tetug'in gruppag'a kiriwi mu'mkin. Tan' qalarlıqtın' o'zgeriwi ± 1 menen xarakterlenedi ha'm ıdıraw waqıtı 10^{-10} - 10^{-9} sek qa ten'.

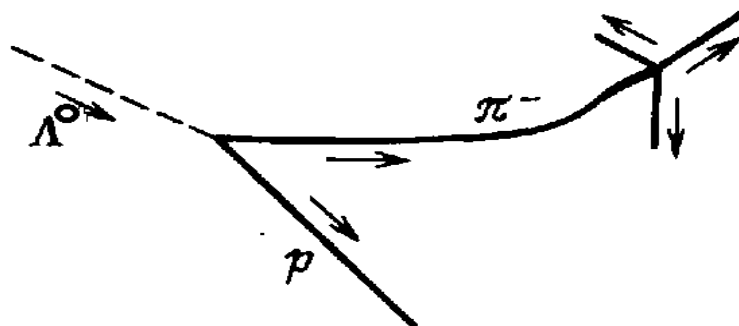
Ξ -giperonlar a'piwayı bo'lekshelerge ıdıramaydı. Biraq 10^{-10} sek ishinde λ^0 -giperong'a ha'm π -mezong'a ıdıraydı, bul jag'dayda $\Delta S=1$ ge ten'(14.3-su'wret).



14.3-su'wret

Bunday $\Delta S=1$ ahwal Ω -giperon ($S=-3$), Ξ -giperong'a ($S=-2$) ha'm π -mezong'a ($S=0$) idiraw protsessinde de alınadı. Bul jag`dayda da Ω^- -giperon 10^{-10} sek ta ıdıraydı.

14.4-su`wretlerde  $\lambda^0$ -giperonnin` to`mendegi ıdıraw sxeması boyınsha a`piwayı diagramması ko`rsetilgen:



14.4-su`wret

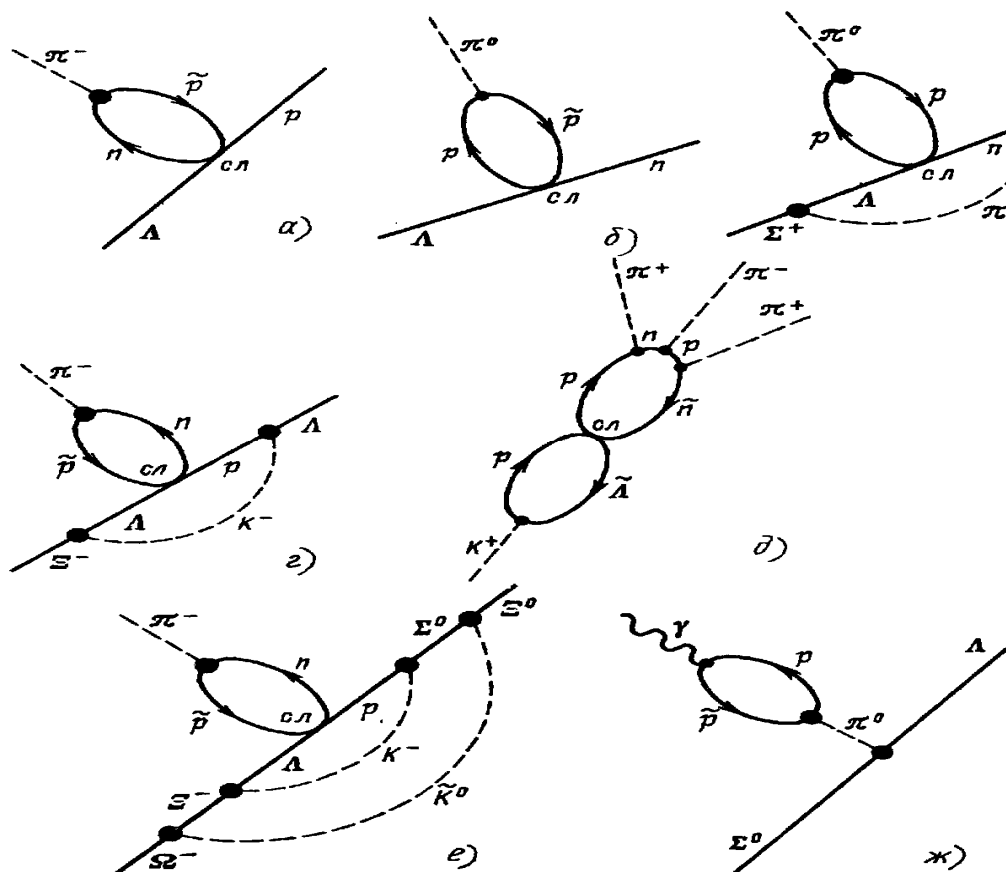
$$\lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

$$\lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$$

14.5-su`wret su`wretlerde ko`rsetilgendey ha`r bir diagrammada bir-birden ku`shli shin` bar (qara tochka menen belgilengen). Ol, u`zliksiz barionlıq siziqlar bolıp,  $\pi$ -mezonnnin` izi bolıp esaplanadı. Olardın` ha`r biri ju`da` tez bolatug`ın ( $\tau=10^{-23}$  sek) protsessi xarakterleydi. Sonın` ushında λ^0 -giperonnin` a`ste ıdıraw protsessinin` itimallıg`ına ta`sir etpeydi.

Diagrammada ku`shli shin`nan basqa bir-birden ha`lsiz to`rt fermionli turge kiretug`ın ta`sirlesiwlerde bar. Olar ushin tan` qalarlıq kvantlıq xarakteristika birge o`zgeredi ($\Delta S=1$). Bul shin`lar o`z-ara ta`sirlesiw dın` ha`lsiz turaqlısın xarakterleydi ha`m λ^0 -giperonnin` a`ste ıdıraw protsessinin` itimallıg`ın (10^{-10} sek) anıqlaydı. Ξ -giperonlar ıdıraw sxeması boyınsha bir qansha quramalı ko`rinedi:

Olar joqarıdag`ı su`wretlerden alınadı. Onın` barionlıq sizig`ınan vertuallıq $\pi^\pm$ -mezonlar sizig`ı payda boladı. Mısalg`a 14.6-su`wrette  $\Sigma^\pm$ -giperonnin` ıdıraw sxeması formula boyınsha berilgen. Bul su`wrette u`sh ku`shli shin` $\Delta S=0$ ha`r biri ku`shli protsess ($\tau_{\text{yad}}=10^{-23}$ sek) bosın, $\Sigma^\pm$ -giperonnin` ıdıraw itimallıg`ına ta`sir jasamaydı. ıdırawdın` a`ste bolatug`ın protsessi tek ha`lsiz bir shin` boyınsha $\Delta S=1$ anıqlanadı. 14.5-su`wretlerdegi ha`lsiz shin`lardin` birdey boliwi λ^0 ha`m  $\Xi^+$ -giperonlardın` ıdıraw waqtının` bir ekenligin ko`rsetedi.



14.5-su'wret

Ξ -giperonlardin' ıdıraw sxeması joqarıdag'ıg'a uqsas bilay jazıladı:

Bunda, 14.6-su'wrettegi barionlıq sızıqta iyilgen bo'limi π^+ - mezon emes, tek g'ana k^- -mezon bolıp esaplanadı. k^- - mezonnın' payda bolatug'ın ku'shli shin'ı π -mezonnın' payda bolatug'ın shin'ınan to'men emes. Bul eki jag'dayda da tan' qalarlıq saqlanadı ($\Delta S=0$). Ha'mde bul shin'lar tez bolıp o'tetug'ın protsesslerdi ($\tau_{\text{yad}}=10^{-23}$ sek) xarakterleydide, giperonlardin' ıdıraw itimallıg'ına ta'sirin tiygizbeydi. Solay etip, bul jag'daylarda bir g'ana ha'lsiz ta'sirlesiw shin'ı bar. Sonın' ushin Ξ -giperonnnın' jasaw waqtı 10^{-10} sek.

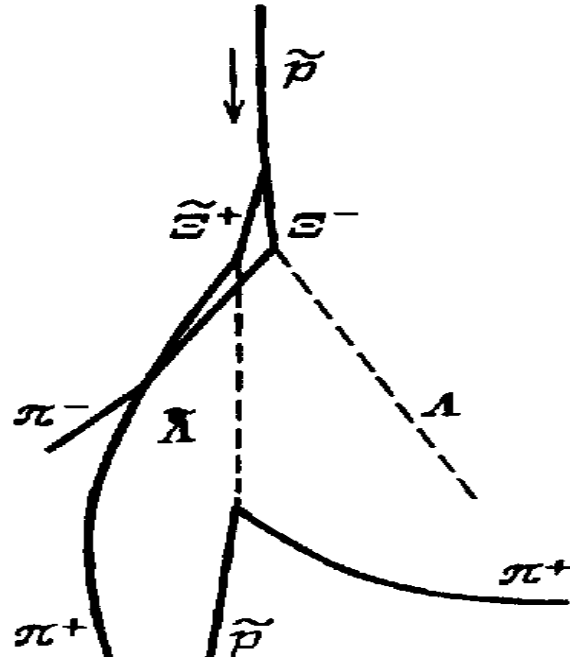
Aqında k^+ -mezonnnın' ıdıraw diagrammasın mına sxema boyınsha kiritemiz(14.5 d- su'wret):

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

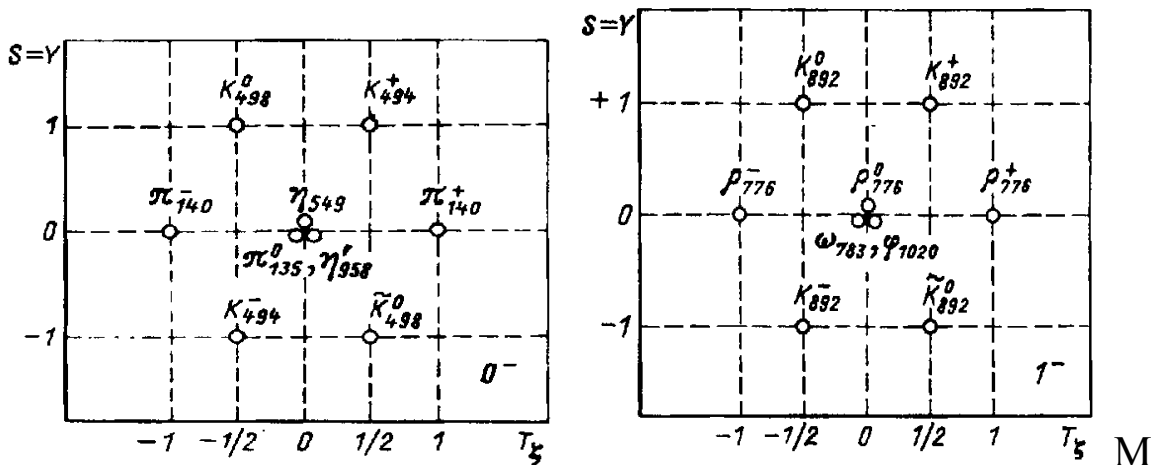
14.5 e- su'wrette Ω^- -giperonnnın' ıdırawı;

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$$

14.5-su'wrettin d sinda to'rt al e sinde bes ku'shli shin' bar. Biraqta buring'ı jag'daylarda bulardın' ıdırawı bir ha'lsiz shin' menen xarakterlenedi ha'm onda tan' qalarlıq o'zgerip otıradı.



14.6-su'wret.



14.7-su'wret

14.7-su'wrette K, \$\Omega\$, \$\Xi\$, \$\Lambda\$ giperonlardin'spinleri, izotoplıq spinleri, tan' qalarlıq spinleri boyınsha sistematiykası berilgen.

14.4. K_1^0 ha'm K_2^0 -mezonlar. Biriktirilgen juplıqtın' saqlanıw nızamı.

Neytral K-mezonlar sonday ha'r qıylı qa'siyetlerge iye, yag'nıy tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' ayrıqsha qa'siyetlerinin' fonında jan'a paydalı na'rse aytıw ju'da' qıyın. Gell-Mann ha'm Nishidjimlardin' sxemalarına sa'ykes eki zaryadlı uqsaslı neytral K-mezonlardin' bar ekenligi, K_1^0 ha'm $\bar{K}^0$. Bul ha'r qıyli bo'leksheler, sonday-aq, olar ha'r qıylı

strannostqa iye ($S_{K^0} = \pm 1$, $S_{\bar{K}^0} = -1$). Olay bolsa, olardın' payda bolıwı ha'm zatlar menen o'z-ara ta'sirlesiwinde ha'r qıylı bolıwı kerek. Yag'nıy misalg'a K^0 mezon payda bolıw protsessi juplıqtın' saqlanıw nızamı boyınsha to'mendegishe boladı.

$$\pi^- + P \rightarrow \lambda^0 + K^0, \Delta S = 0$$

O'z na'wbetinde $\bar{K}^0$ mezon ushın bunday protsess qadag'an.

$$\pi^- + P \rightarrow \lambda^0 + \bar{K}^0, \Delta S \neq 2$$

Sol nizamg'a sa'ykes K^0 mezon proton menen o'z-ara ta'sirleskende tek g'ana shashırawg'a yamasa zaryad almasıwg'a alıp keledi.

$$K^0 + P \rightarrow K^+ + n$$

Al $\bar{K}^0$ mezon menen proton ta'sirleskende giperonlardın' payda bolıwı mu'mkin.

$$\bar{K}^0 + P \rightarrow \lambda^0 + \pi^+, \quad \bar{K}^0 + P \rightarrow \Sigma^0 + \pi^+, \quad \bar{K}^0 + P \rightarrow \Sigma^+ + \pi^0$$

Salıstırmaytug'ın tan' qalarlıq tuwralı K^0 ha'm $\bar{K}^0$ bo'lekshelerdin' o'zgeshelik eksperimentte da'lillense, onda;

$$n + n \rightarrow \lambda^0 + \lambda^0$$

Reaksiyanın' ta'biyatta bolmawın tastıyıqlaydı. Durısında da, egerde $\bar{K}^0 \equiv K^0$ bolsa, onda K^0 ruxsat etilgen protsesste payda bolıp;

$$n + n \rightarrow \lambda^0 + K^0 + n$$

$\bar{K}^0 \equiv K^0$ neytral menen o'z-ara ta'sirlesip mına sxema boyınsha,

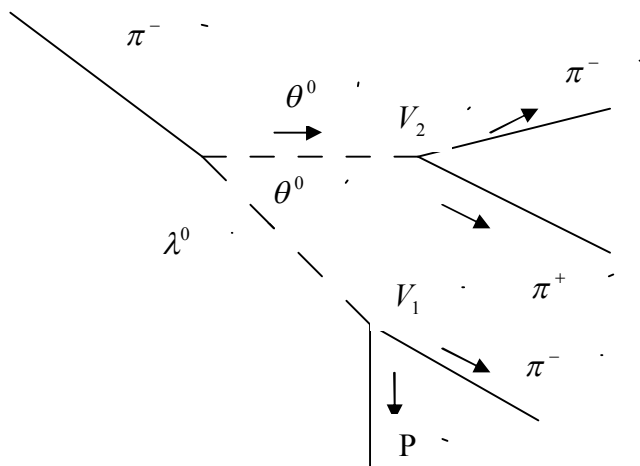
$$\bar{K}^0 + P \rightarrow \lambda^0$$

Aqırında eki λ^0 giperon payda bolıwı mu'mkin.

$$n + n \rightarrow \lambda^0 + (K^0 + n) \rightarrow \lambda^0 + (\bar{K}^0 + n) \rightarrow \lambda^0 + \lambda^0$$

Bunday ta'jiriybede Ponteporvo ta'repinen "Yadrolıq izertlewlerdin' birlesken institutında" qoyıldı. Na'tiyje keri juwmaq berdi.

Solay etip bir ta'repten ta'biyatta eki neytral K-mezon K^0 ha'm $\bar{K}^0$ bolıwı kerek. Al ekinshi ta'repten tek g'ana bir awır neytral mezon θ bolıp, ol to'mendegi ıdıraw sxemasına iye(14.8-su'wret).



14.8-su'wret

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

Bunun ıdıraw energiyası $Q=220 \text{ MeV}$ qa ten'.

Demek, bunday jag'dayda soraw tuwıladı, bul eki neytral bo'lekshelerdin' qaysisi Gell-Mann ha'm Nishidjim sxemasına sa'ykes keledi (K^0 ma yamasa $\bar{K}^0$ ma θ^0 -mezong'a sa'ykes keletug'in). Ne ushin ekinshi neytral bo'lekshe tabilmaydı? Bug'an juwap θ^0 -mezonnin' proton menen π^- mezon o'z-ara ta'sirleskende payda boliwinan keyin ma'lim boldi. Usı aytilg'an idiraw sxeması joqarida ko'rsetilgen. Bunda π^- -tu'sip atirg'an π -mezonin' izi o'z-ara ta'sirlesiw toshkasi: λ^0 ha'm θ^0 -mezonladın' payda bolg'an izi: V_1 ha'm V_2 olardıń ıdıraw tarmaqları. Bul aling'an sxemanı analizlew sonı ko'rsetti, onın' bir tarmag'ı proton ha'm π^- mezonnan ha'm energiyanın' bo'liniwi $Q=37 \text{ MeV}$ qa ten'. Bul λ^0 -giperon bolıp esaplanadı. Ekinshi tarmag'ı π^+ ha'm π^- mezonlardın' izlerinen turadı ha'm onın' energiyası $Q \approx 220 \text{ MeV}$ qa ten', yag'nıy θ^0 -bo'lekshenin' parametrleri menen sa'ykes keledi. Solay etip, aling'an sxemanı mina reaksiya tu'rinde jazıwg'a boladı.

$$\pi^- + P \rightarrow \lambda^0 + Q$$

Bunnan θ^0 -mezonnin' juplig'ı $S_{\theta^0} = +1$ ge ten'. Olay bolsa θ^0 mezondı Gell-Mann Ha'm Nishidjim sistematikası boyınsha K^0 bo'lekshe dep identifikatsiyalaw kerek. Endi tek $\bar{K}^0$ -mezondı yag'nıy tan'qalarlıqtı $S_{\bar{K}^0} = -1$ bolg'an bo'leksheni tabıw kerek, Ol ju'da' u'lken qiyinshılıqlar tuwdıradı.

Birinshi qiyinshılıqlardan ko'plegen jup λ -giperonlardın' mezonlar menen birge aralasıp payda boliwinan.

XV-BAP. TAN' QALARLIQ BO'LEKSHELER

15.1. Tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' yadrolar, nuklonlar ha'm mezonlar menen o'z-ara ta'sirlesiwleri. Giperyadrolardin' qa'siyetleri.

Tan' qalarlıq bo'leksheler menen a'piwayı ku'shli ta'sirlesiwshi bo'leksheler ha'm yadrolar arasındag'ı o'z-ara ta'sirlesiwdi izertlewın bir qansha usılları bar.

Birinshisi: Bir qansha tuwrıdan tuwrı izzertlew usılı bolıp tan' qalarlıq bo'leksheler ag'ımının' vadarodlıq yamasa yadrolıq nishanalar menen o'z-ara ta'sirlesiwın u'yreniw. Bul usıl $K^+ K^-$ -mezonlardin' o'z-ara ta'sirlesiwın izzertlew ushin ken'nen qollaniladi. Bul usıl menen aling'an juwmaqlar, $(\pi - n)$ shashirawdan aling'an juwmaqlar menen sa'ykes keledi.

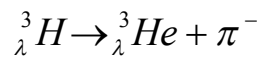
Tillekke qarsi bul usıl giperonlar menen yadrolar ha'm nuklonlardin' o'z-ara ta'sirlesiwlerin u'yreniw ushin qollanılıwın tapqan joq. Jasaw da'wirinin' azlıg'ına (10^{-10} sekund) baylanıslı giperonnın' ag'ımdı alıw ju'da' qıying'a tu'sti. Giperonlardin' tezletkishten nıshanag'a deyingi ortasha ushıw aralıg'ı $l = \tau_0 v_0 \gamma \approx 1m$ den aspaydı. Giperon ag'ımı Batavadag'ı ($T_p = 400 \cdot 10^9$) tezletkishlerde g'ana alınıwı mu'mkin. Ha'zirshe giperonlardin' ko'bikli kamerada "tuwrı" jan'a usıllar menen o'z-ara ta'sirlesiwı u'yrenilip atır. 15.1-su'wrette giperonlardin' tuwıwı, shashırawı ha'm λ^0 giperonnın' ıdırawları ko'rinbekte.

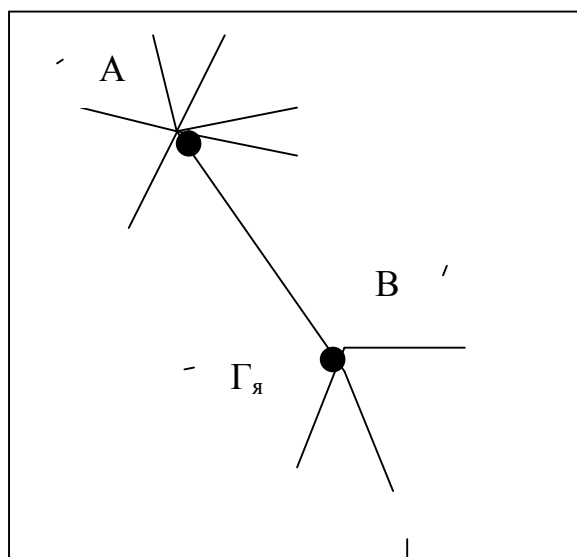
1973-jılı fransuz fizikleri Tsernde (Evropalıq Broyda) giperonlar ag'ımı aling'alı tuwralı xabar baspa so'zde ja'riyalandı.

Ekinshi usıl bunda rezonanslı bo'leksheler menen birge tan' qalarlıq bo'lekshelerdi aıw bolıp esaplanadı. Bul usıl eki ha'r qiyli tu'rge iye. K-mezonlardin' o'z-ara ta'sirlesiw kese-kesimi iymekliginen rezonanslardı ayırım tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' o'z-ara ta'sirlesiwın statistikalıq analizlew jolı menen ayırıw. Ekinshi usıl giperonlarg'a ha'm K-mezonlarg'a da birdey qollaniladı. Sonın' ishinde ol tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' nuklonlar menen o'z-ara ta'sirlesiwın u'yrenip qoymay mezonlar menen ta'sirlesiwı u'yreniledi.

U'shinshi usılda tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' nuklonlar ha'm yadrolar menen o'z-ara ta'sirlesiwı u'yrenilgende tek g'ana giperonlar qollaniladı. Bul usıl tiykarinan giperonlardin' qa'siyetlerin u'yreniwge tiykarlang'an.

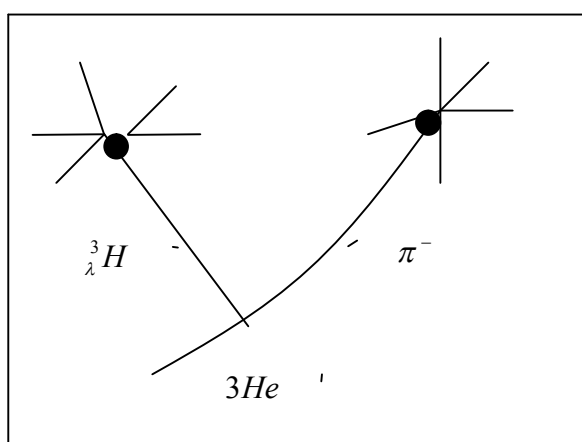
Tan' qalarlıq bo'leksheler ku'shli elektromagnitlik ta'sirlesiwlerge qatnasip, olardı izzertlew ha'r qiyli ta'silesiwlerde a'melge asiriliwi mu'mkin. Ma'selen, u'lken tezletkishten shig'atug'in π -mezonlar vadarod atomı menen ha'm K-mezonlardın' yadrolıq mishenler menen ta'sirlesiwın ha'r qiyli kameralarda u'yreniw mu'mkin. Bul tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' ıdırawı waqında payda bolatug'in bo'lekshelerdin' rezonanslıq qa'siyetlerin u'yreniw bolıp esaplanadı. Izzertlewın tag'ı bir usılı tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' nuklonlar, yadrolar menen ta'sirlestirip giperonlardın' payda bolıwın ta'miyinlep, olardıń strukturaların izzertlew bolıp esaplanadı. Egerde yadro o'zine a'stelengen giperonı jutsa bul yadro giperyadro bolıp esaplanadı. Jasaw da'wiri giperonın' jasaw da'wiri menen baylanıslı. Giperyadro 1953-jili ashıladi. Ko'bikli kamerag'a giperonlar ag'ımı jiberip 10^{-12} sekundqa ten' bolg'an yadronın' izi baqlandı. onın' zaryadı 5 ke ten'. Foto imulsiyada qaldırg'an izine qarap (15.1-su'wret) A noqtası mgiperyadronın' payda bolıw noqtası, B toshkası giperyadronın' jog'aliw noqtası. Egerde zaryadı $z=5$ ke te bolsa Bor elementinin' yadrosı bolıp 2α bo'lekshege ha'm π -mezon'ga idiraydı. onın' fotoplastinkada qaldırg'an izine qaray otıp energiyasının' 40 MeV tan joqarı yamasa ten' ekenligin esaplawg'a boladı. Bor elementinin' yadrosında 1 neytronın' ornına λ^0 giperon o'tiriwi kerek. Ol bor yadrosının' B giperyadrosı bolıp esaplanadı. Keyinrek ta'jriybede basqada giperonlar ashıldı. Solardıń bir 3_1H tritil giperyadrosı bolıp ol;



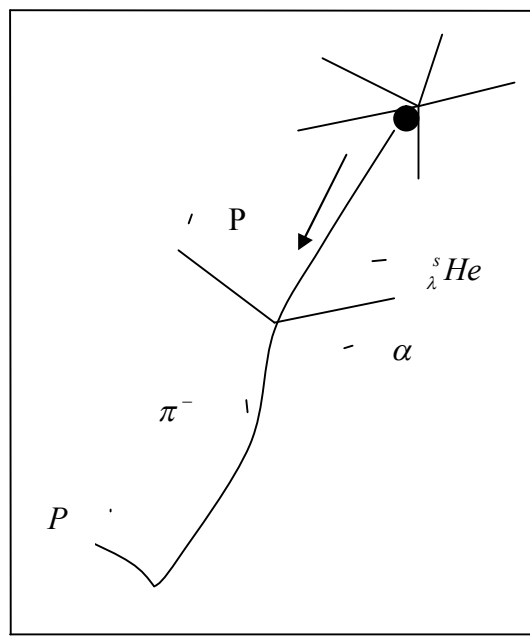


15.1-su'wret

ıdıraw sxemasına iye. ıdıraw energiyası $Q=41.5$ MeV ke, al massası $M_{\lambda H} = 5500m_e$ ge ten'. Fotoplastinkada alıng'an izi 15.2-a,b-su'wrette ko'rsetilgen.



A



B

15.2-su'wret

Ja'ne de bir giperyadronın' fotoplastinkada qaldırg'an izi 15.2b-su'wret boyınsha λ yadro λHe alındı. Ol protong'a, α -bo'lekshege ha'm π^- mezonig'a ıdıraydı.

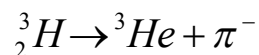
Ha'zirgi waqıtta qa'legen giperyadrolar belgili, olardın' zaryadı Z jasaw waqtı τ , ıdıraw energiyası Q , massası M , λ bo'lekshelerdin' λ yadrodan bo'liniw energiyası ε_1 esaplanıldı.

Giperyadronın' zaryadı Z ionizatsiyalaw da'rejesi boyınsha jasaw da'wiri yadronın' ushiwı waqtındag'ı ionizatsiyalıq a'steleniwi arqalı anıqlanadı. Ha'r qıylı giperyadrolardın' jasaw da'wirleri $10^{-11} < \tau < 10^{-10}$ sek interbalında ekenligi ma'lim boldı. ıdıraw energiyası Q bo'lekshelerdin' kinetikalıq energiyası menen anıqlanadı. π^- - mezonlardın' uship shig'ıwı menen boladtug'ın ıdıraw sxemasında energiyanın' ortasha ma'nisi shama menen 40 MeV qa ten'.

Giperyadrolardın' mezonlıq ıdırawınan basqa mezonsız ıdıraw protsesslerinde baqlandı. Bunday jag'day ko'binese awır yadro jag'dayında ushrasadı. Mezonsız ıdıraw energiyası mezonlıq ıdırawdan shama menen $m_\pi c^2 = 140 \text{ MeV}$ tey u'lken.

λ -yadronın' massası ha'm λ - bo'lekshenin' λ -yadrodan bo'liniw energiyası ε_1 a'piwayı usıl menen anıqlanadı.

Meyli;



ıdıraw sxemasi ushin massanı ha'm energiyanı anıqlawdı qarastırayıq.

$$M_{yad}({}^3_2H) = M_{yad}({}^3He) + m_{\pi^-} + Q$$

$$\varepsilon_1({}^3_2H) = m_1 + M_{yad}({}^2_1H) - M_{yad}({}^3_2H)$$

Bunday esaplawlardın' bir neshe ma'nislerdi ortashalaw jolı menen aling'an juwmag'ı 3-kestede ha'm 15.1-su'wrette ko'rsetilgen.

Sonı aytıw kerek λ bo'lekshelerdin' baylanis energiyası ε_1 teoryalıq jol menende esaplanadı. Ol yadronın' o'z-ara kelisilgen nuklonlıq maydanda λ giperonnın' jaylasıwı tu'sindiriledi. Bul deytron teoriyasındag'ı ma'selege uqsap sheshiledi. 15.3-su'wrette eksperimentallıq iymeklik penen sa'ykes sheshiwshi R radius ha'm shuqirdin' teren'ligi V_0 minalarg'a ten' sa'ykes.

$$R = (1.1A^{1/3} + 0.5) \cdot 10^{-13} \text{ sm} \quad V_0 = 18.5 \text{ MeV}$$

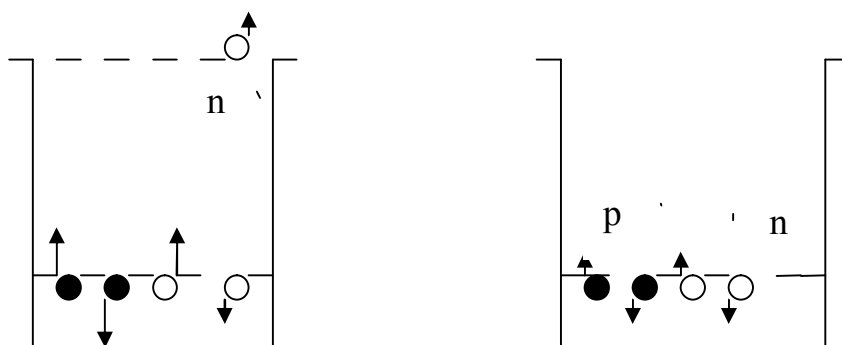
Aling'an V_0 din' ma'nisi deytron ushi'n (π -p) baylani'sqan hali jag'dayında bir qansha az. Sonnan (λ -N) o'z-ara ta'sirlesetug'ın (N-N) O'z-ara ta'sirlesiwge qarag'anda ha'lsizlew ekeni ma'lim boldı. Usınday juwmaqqa ε_λ menen ε_N lerdi salısıra otırıp iseniw mu'mkin.

3-Keste

λ - yadro	ε_1 , MeV	λ - yadro	ε_1 , MeV	λ - yadro	ε_1 , MeV	λ - yadro	ε_1 , MeV
${}^3_{\lambda}H$	$0,07 \pm 0,07$	${}^6_{\lambda}He$	4.28 ± 0.15	${}^8_{\lambda}Li$	6.80 ± 0.05	${}^{11}_{\lambda}B$	10.2 ± 0.1
${}^4_{\lambda}H$	2.15 ± 0.10	${}^7_{\lambda}He$	$4 - 6$	${}^8_{\lambda}Be$	6.83 ± 0.07	${}^{12}_{\lambda}B$	11.1 ± 0.1
${}^4_{\lambda}H$	$2,30 \pm 0,03$	${}^7_{\lambda}Li$	5.60 ± 0.06	${}^9_{\lambda}Li$	8.25 ± 0.13	${}^{13}_{\lambda}C$	11.4 ± 0.15
${}^5_{\lambda}H$	$3,08 \pm 0,02$	${}^7_{\lambda}Be$	4.90 ± 0.16	${}^9_{\lambda}Be$	6.5 ± 0.1		

$$\varepsilon_{\lambda} < \varepsilon_N$$

ε_{λ} - λ yadrodan λ giperonnin' ajiraliwindag'ı baylanıs energiyası, al ε_N a'piwayı yadrodan nuklonlardın' bo'liniwindegi baylanıs energiyası. Ko'pshilik jen'il λ -yadrolardın' λ -bo'lekshelerdin' ajiraliw energiyasi deyton λ -yadrosi ushin teriste bolıwı mu'mkin. Sonday-aq bul λ -yadro ha'zirge shekem ta'biyatta tabilg'an joq. Onın' ornına giper yadrolardın' ishinde ${}^4_{\lambda}H, {}^5_{\lambda}He$ ge usag'anlari payda boldı. Olar bir qıylı nuklonlardan payda bolmaydı. Giper yadrolar ushin Pauli prinsipi orınlanbaydı. 15.3-su'wrettegidey neytral bo'lekshe bir halda jasawı mu'mkin. Mısalı, 5_2He yadrosının' payda bolıwı.

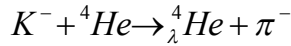


15.3-su'wret.

ε_{λ} teoriyalıq esaplaw ta'jiriye menen sa'ykes keledi, bunda singletlik $(\lambda-N)$ o'z-ara ta'sirlesiw, tripletlik $(\overset{\uparrow}{\lambda}-\overset{\uparrow}{N})$ o'z-ara

ta'sirlesiwden ku'shlirek boladı. Sonday-aq tritiydin' λ -yadrosinin' spini $\frac{1}{2}$ ge ten' boliwi kerek, al ${}^4_2\text{He}$ ha'm ${}^4_\lambda\text{H}$ yadrolardin' spinleri no'lge ten' boliwi kerek. Egerde ${}^4_2\text{He}$ yadrosi ushin aytilg'an spin tuwri bolsa, onda onı K^- mezonnin' juplig'ın λ giperong'a salistira otırıp anıqlaw ushin qollaniwg'a boladı.

Galiley ko'bikshe kamerada anıqlaw na'tiyjesinde to'mendegi reaksiya esapqa alindi.



Sonday-aq bul protsess ku'shli ($\Delta S = 0$) juplig'ı saqlanıw kerek, yag'niy mina ten'leme orınlanıwı sha'rt.

$$P_k - P({}^4\text{He})(-1)^{ek} = P({}^4_\lambda\text{He})P_{\pi^-}(-1)^{e\pi}$$

Bunda; P_n ha'm P_{π^-} K ha'm π mezonlardi'n' ishki jupliqlari $P({}^4\text{He}) - \text{He}$ yadrosinin' juplig'ı: $P({}^4_\lambda\text{He}) - {}^4_\lambda\text{He}$ giperyadrosinin' juplig'ı $e_k, e_\pi - k$ ha'm π mezonlardın' orbitalıq momentleri. Bul ten'lemenı qozg'alıs mu'g'darının' saqlanıw nızamı boyınsha a'piwayılastıramız.

$$S_{k^-} + I({}^4\text{He}) + I_k = I({}^4_\lambda\text{He}) + S_\pi + I_\pi$$

$$0 + 0 + e_k = 0 + 0 + e_\pi$$

Bunnan; $e_{k^-} = e$ ekeni kelip shig'adı, solay bolsa $(-1)^{e_\pi}$ altınshı ten'lemedegi ko'beytiwshileri ten'likten tu'sip qaladı. Keyin ${}^4_1\text{He}$ yadrosinin' juplig'ı mina formada jazıladı.

$$P({}^4_\lambda\text{He}) = P_\lambda P({}^3\text{He})(-1)^{e_\lambda}$$

Bunda; $P_\lambda - \lambda$ - giperonnın' ishki juplig'ı. $P({}^3\text{He}) - {}^3\text{He}$ yadrosinin' juplig'ı. $e_\lambda - {}^4_\lambda\text{He}$ yadrosindag'i baylanisqan λ giperondi xarakterleytug'in moment. Egerde λ giperon, λ yadroda S halda jasaydı desek ($e_\lambda = 0$), onda mina ten'lemenı alamız.

$$P({}^4_\lambda\text{He}) = P_\lambda P({}^3\text{He})$$

Endi;

$$P({}^4\text{He}) = P({}^3\text{He}) = 1 \text{ desek,}$$

En' aqirında minag'an iye bolamız.

$$P_{k^-} = P_\lambda, P_{\pi^-} = -P_\lambda$$

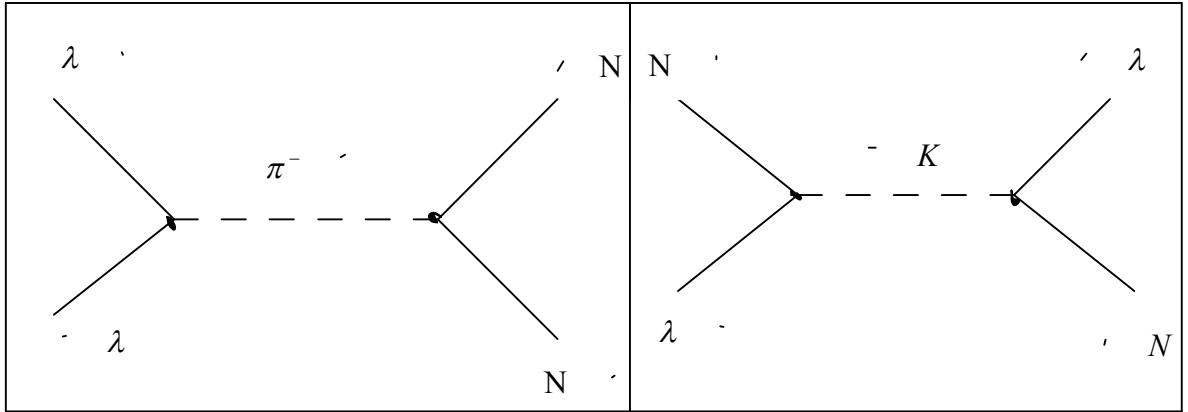
Solay etip K^- mezonnin' juplig'ı λ -giperonnın' shetnostına salistirg'anda teris eken. Tag'ıda (λ -N) o'z-ara ta'sirlesiwdin' qa'siyetleri tuwralı bir qansha pikirler aytiw mu'mkin. (λ -N) o'z-ara ta'sirlesiwdin' zaryadqa baylanissizlig'i;

$$\varepsilon_\lambda({}^4_\lambda\text{He}) \approx \varepsilon_\lambda({}^4_\lambda\text{H})$$

ten'lemesinen shama menen $c \approx 10\%$ dallik penen alinadi.

$$\lambda P = \lambda n$$

(λ -N) o'z-ara ta'sirlesiwdi bir pionliq diagramma tu'rinde jazıw mu'mkin emes, 15.4-su'wret ko'rsetilgende, sonday-aq shep qaptaldag'ı



15.4-su'wret

15.5-su'wret

iyinde izospinnin' saqlanıw nızamı orınlanbaydı ($CT_\lambda^1 = 0, T_\pi = 1$). onin' mu'mkin bolg'an variantı 15.5-su'wrette ko'rsetilgen. Solay etip (λ -N) o'z-ara ta'sir etisiw radiusi (N-N) o'z-ara ta'sir etisiw radiusinan kishi bolıwı mu'mkin. Bul aytilg'an pikirler tek g'ana ta'jiriybeden aling'an juwmaqlar emes, al onda teoriyalıq boljawlarda bar. Ol waqıt talabına juwap bermeyde qalıwı mu'mkin.

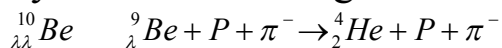
Juwmag'ında ekzotikalıq giperyadrolarg'a bir qansha toqtap o'teyik. Ta'biyatta qag'ıydag'a sa'ykes giperyadro bolıwı mu'mkin emes, quramında qandayda bir giperonı bar, tek g'ana λ^0 -dan basqa, bunday juwmaq mınag'an tiykarlanadı yag'nıy qa'legen giperonnan basqa yadrog'a tu'sip nuklonlar menen to'mendegishe formada ku'shli o'z ara ta'sirlesedi.

$$\begin{aligned} \sum^+ + n &\rightarrow \lambda^0 + P, & \sum^- + P &\rightarrow \lambda^0 + n \\ \Xi^0 + n &\rightarrow \lambda^0 + \lambda^0, & \Xi^- + P &\rightarrow \lambda^0 + \lambda^0 \\ \Omega^- + n + P &\rightarrow \Xi^- + \lambda + P \rightarrow \lambda^0 + \lambda^0 + \lambda^0 \end{aligned}$$

biraq mına eki yadrodan basqa $\sum^+ P$ ha'm $\sum^- n$ lar ku'shli ta'sirlesiw tu'ri elektr zaryadının' saqlanıw nızamı boyınsha qadag'an. Biraqta bul yadrolar ta'biyatta ele belgisiz ha'm tabılg'an joq.

Joqarıdag'ı formuladan eki λ -yadronin' bolıwı, onin' Ξ giperonlar menen yadrolardın' o'z-ara ta'sirlesiwinen payda bolıw mu'mkinligi

ko'rinadi. Durisinda da 1963-jili Donish ha'm basqalar, impulsi 1.5 GEV/S bolg'an K^- -mezonlar menen fotoemulsiyani nurlandirg'anda Eki λ -yadronin' payda bolg'anlig'in ha'm ıdırag'anlig'in bayqadi. Esapqa aling'an waqiyalardi interpretaciyalaw ju'da' da'l emes, biraqta joqari itimallıq penen aytıw mu'mkin, giperyadro $^{10}_{\lambda\lambda}Be$ din' payda bolıwı uglerod yadrosında Ξ^- -giperonnın' jutılıwınan (joqari tezliktegi K^- mezonnan payda bolg'an) dep esaplasa boladı. Bir qansha eki λ -yadronin' payda bolıw itimallıg'ı mina formada boladı.



Keyinirek eki λ -yadro tabıldı. Payda bolıw jag'dayin ha'm eki λ -yadrolardin' ıdırawın analizlegende $(\lambda - \lambda)$ o'z-ara ta'sirlesiwler tuwralı mag'lıwmat aliwg'a boladı. Biraqta bug'an jeterli ta'jiriybe materialları az.

15.2. Antinuklonlar ha'm antiyadro

Bizge ma'lim elektronın', pozitronnıń magnitlik momentleri Bor magnetonına ten'. Bul magnitlik momentler Diraktin' teoriyası boyınsha aling'an ju'da' jaqin, al nuklonlar ushın Dirak ten'lemesi bir qansha sa'ykes kelmeydi, sebebi Dirak ten'lemesi boyınsha aling'an proton ha'm neytronnıń magnit momentleri birge ten' bolıwı kerek, al spinleri $\frac{1}{2}$.

Dirak ten'lemesi boyınsha spinleri $\frac{1}{2}$ ge ten' bolg'an barlıq bo'lekshelerdin' magnit momentleri birge ten' bolıwı kerek. Biraq protonnıń magnit momentleri

$$M_p = +2.79 M_b \quad M_n = -1.91 M_b$$

Sonın' ushın proton menen neytronnıń magnit momentlerin magnit moment dep ataladı. Dirak o'zinin' teoriyasın bunnan bılayda rawajlandırıp nuklonlardin' zaryadlıq uqsaslıq protsesslerin qarastıradı. Mine, bunday protsessti ha'r bir bo'lekshenin' antibo'lekshesi bolıwı kerek degen juwmaqqa keledi. Mine, usı teoriyag'a tiykarlanıp antibo'lekshelerdi izertlew ushın eksperiment baslandı. Bul ta'jiriybelerdin' tiykarg'ı maqseti nuklonlardin' kerisi bolg'an antinuklonı tawıp, olardin' annigilyatsiyalıq protsessin u'yreniw bolıp tabıladı.

Annigilyatsiyalıq protsess – nuklon antinuklon menen ta'sirlesip birin-biri jutıw. Ol jutılğ'an energiya ekinshi bir ku'shli protsesslerdi payda etiwı kerek.

Annigilyatsiya protsessi waqtında ku'shli energiya bo'linip shig'adi.

Ma'selen, P menen $\bar{P}$, n menen $\bar{n}$ soqlig'isqanda bo'linip shig'atug'in energiyasi $2m_N c^2$ qa ten' bolıwı kerek. Bul energiya π -mezon'ga yamasa kushli γ -kvantqa aylanıwı mu'mkin.

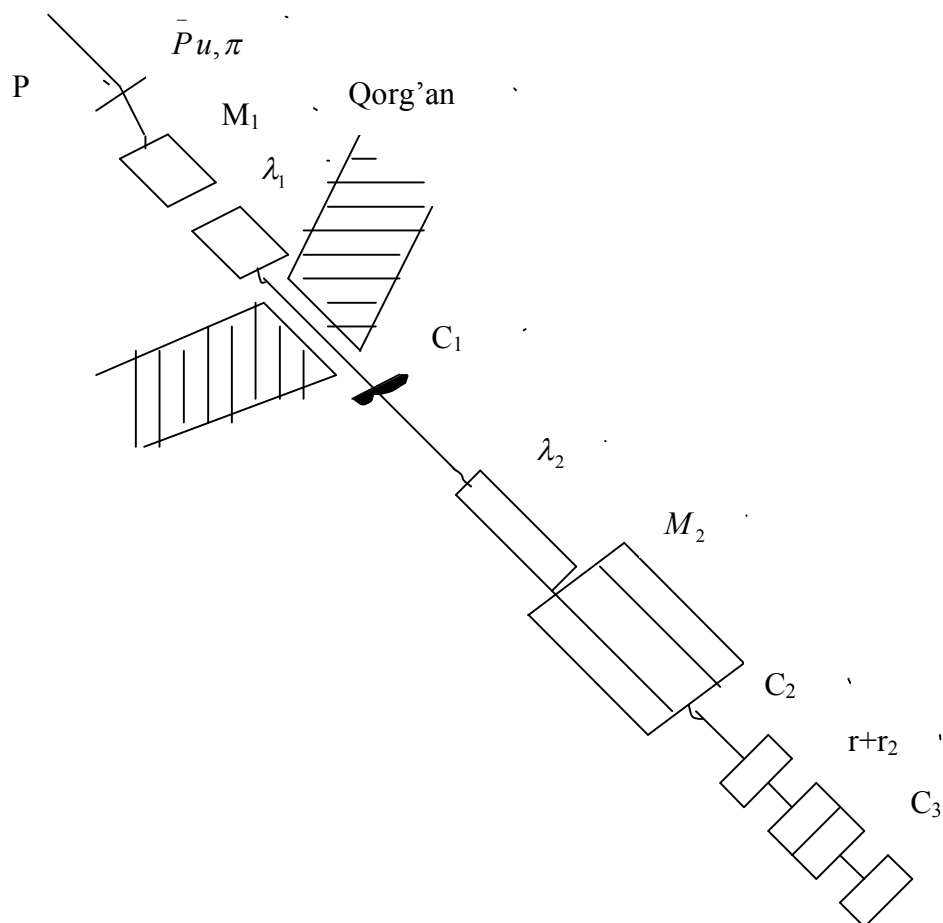
Usi antinuklonı payda etiw ushın, onın' tınıshlıqtag'ı energiyası

$$T_{\min} = \frac{(N_2 c^2) - (M_1 c^2)}{2M c^2} = \frac{(4m_p c^2)^2 - (2m_p c^2)^2}{2m_p c^2} = 6M_p c^2$$

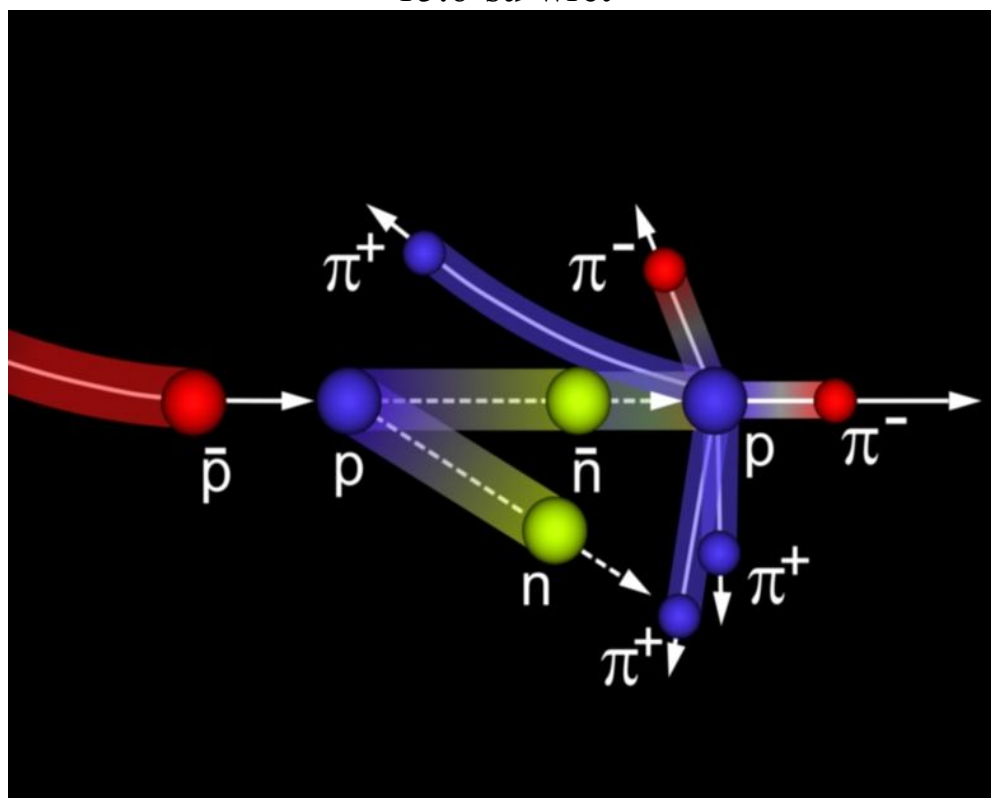
Bul energiya nuklon ha'm antinuklon jubının' payda bolıwı ushın kerekli bolg'an minimum energiyası $6M_p c^2 = 5.6 \text{ GeV}$ qa ten'. Ko'pshilik jag'dayda proton menen antiproton jubin payda etiw ushın 5.6 GeV qa ten' energiya bergende de, baqlanbaytug'in jag'daylar ushirasqan, sebebi ha'r bir nuklonlardin', ha'r bir yadrolıq mishennin' ishki qozg'alıs energiyasin esapqa alınbag'an. Egerde ol energiyanı esapqa alsa, onda nuklon-antinuklon jubının' payda bolıwı energiyası 5.6 GeV tan kishi boladı. Ha'r bir nuklonnın' ishki energiyası 28 MeV ke ten'.

15.3. Antiproton

1955-jılı Amerikalıq fizikleri Segre h.t.b. ja'rdeminde antiproton tabıldı. Olardın' qurılmasının' du'zilisi menen tanisayıq. U'lken energiyag'a iye proton ag'ımı mishenge urıladı (15.6-su'wret). Mishennen $\bar{P}$ ha'm π -mezonlar payda boladı. M_1 magnit tek g'ana teris zaryadlang'an bo'leksheni quradı. λ_1 -linza arqalı o'tip u'lkeytileği. Qorg'asinnın' arasınan o'tip c_1 sanag'ishqa tu'sedi. Bunnan o'tip teris zaryadlang'an bo'lekshelerdi λ_2 beredi. c_2 , c_3 sanag'ishlarg'a tu'sedi. Bul jerde proton mishen menen soqlig'isqanda ju'da' ko'p mug'darda π -mezonlar payda boladı (15.7-su'wret). Al antiproton bul jerde ju'da' az sanda, ma'selen 60 min' π -mezon payda bolg'anda 1 antiproton payda boladı. Endi usı payda bolg'an teris zaryadlardin' implusı $P=1.19 \text{ GeV/sek}$ bolıwı kerek. Usınday implusqa iye teris zaryadlang'an bo'lekshelerdi λ_1 , λ_2 linzaları ha'm M_1 , M_2 magnit maydani o'tkeredi.



15.6-su'wret



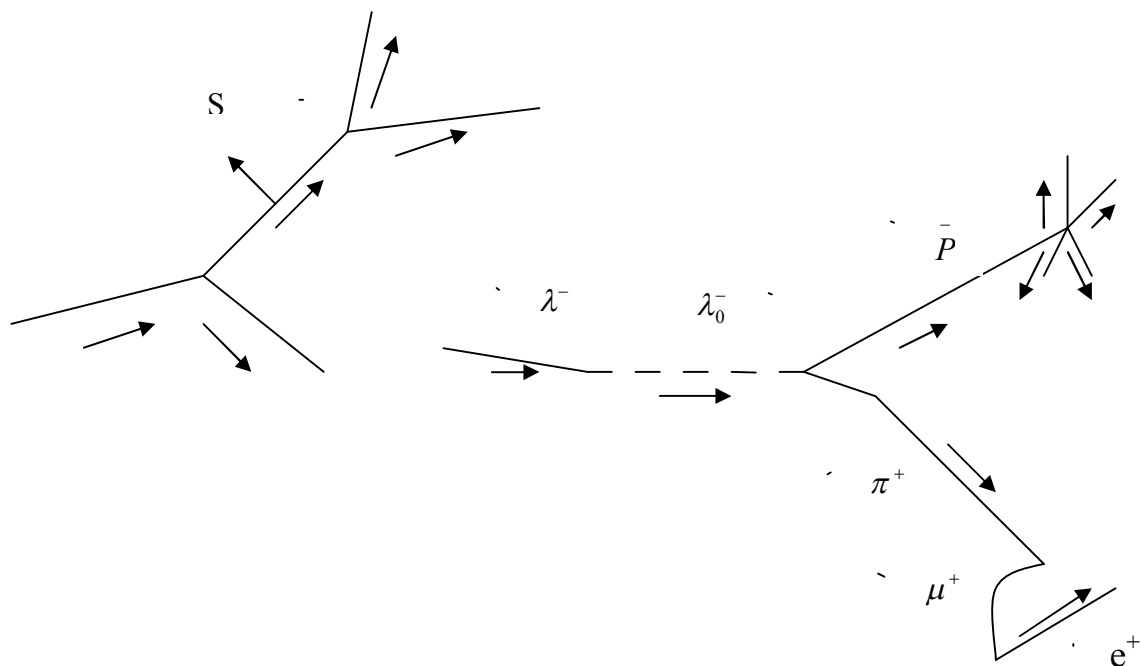
15.7-su'wret

Protonnıń kinetikalıq energiyası $T_p = 6.2 \text{ GeV}$ qa ten'. c_1, c_2 sanag'ıshlarınń aralarındag'ı aralıq 12 m. Uşı 12 metr aralıqtaǵı c_1 sanag'ıstın esaplaw waqtı $51 \cdot 10^{-9} \text{ s}, 41 \cdot 10^{-9} \text{ s}$.

Bunday qısqa waqt antiproton menen π -mezonda bir-birinen ayırıwǵa mu'mkinshilik beredi (15,7-su'wretler). Onıń ushın keri sa'ykesleniw jag'dayında Sherenkov sanag'ıshlarında esapqa alınadı. Endi antiprotonnıń magnit momentinde esaplang'an, Ol $M_n = -M_p$ boladı. $M_p = -2.79 M_B$ g'a ten' degen so'z.

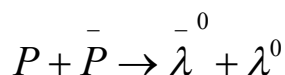
Bul jerde magnit momentin tabıw ushın Larmor jiyiligin paydalang'an

$$W_L = \frac{e}{2m_p c} \cdot \hbar k$$



15.8-su'wret

Antiprotonnıń spininiń baǵıtı protonnıń spininiń baǵıtına perpendikulyar boladı. Proton menen antiproton soqlıǵısıp annigilyatsiyalang'anda



giperonlar payda boladı. Bunday reaksiyalarda giperonlardıń massaları an'sat o'lishenedi.

$$m_{\lambda} \approx 2260 m_e$$

$$Q = 35 \text{ MeV}$$

$$m_{\lambda^0} \approx 2180 m_e \quad Q = 37 MeV$$

$$\tau_{\pi^0} = (2.8 + 1.1) \cdot 10^{-10} sek \quad \tau_{\pi^0} = (2.8 - 0,7) \cdot 10^{-10} sek$$

Bul λ^0 -antigiperonnin' jasaw da'wiri.

15.4 Antineytron.

Antineytronda annigilyatsiya protsessine qatnasadı. n ha'm $\bar{n}$ menen soqlıg'ısıp annigilyatsiya protsessi bolsa, bunnan da u'lken energiya bo'linip shıg'adı. Spinnin' bag'ıtı neytronnın' spininin' bag'ıtı menen sa'ykes keledi. Barion zaryadı $B_n = -1$ ge ten', al energiyası $E = 2m_N C^2 \approx 1900 MeV$ ke ten'. Bunday annigilyatsiya waqtında payda bolg'an energiya π -mezonlardın', k-mezonlardın' payda bolıwına alıp keledi ha'm γ kvantta payda bolıwı mu'mkin.

Antineytronnın' bar ekenligi 1956-jılı Amerikada eksperiment ja'rdeminde aniqlandı:



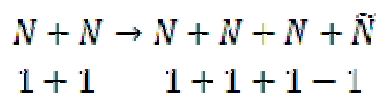
Bul keri zaryadqa iye. $\bar{P}$ dı P menen zaryadlasaq neytron ha'm antineytron payda boladı:



15.5. Antinuklonlardın' zatlar menen o'z-ara ta'sirlesiwı.

Antiproton ha'm antineytronlardın' ashılıwı menen olardıń zatlar menen ta'sirlesiwı u'yrenile basladı.

Bul elementar bo'leksheler fizikasında jan'a izertlew oblastların payda etti. Antinuklonlardın' zatlar menen ta'sirlesiwinde ha'r qıylı protsesslerdi u'yretiw baslandı. Ma'selen antigiperonlardın' payda bolıwı, zatlardın' shashiraw protsessleri ha'm zatlardı zaryadsızlaw, sonday-aq ha'r qıylı annigilyatsiyalıq protsessler ha'm t.b. Nuklonlar menen nuklonlardın' ta'sirlesiwinde ha'r qıylı antinuklonlar payda boladı.



Bular ushin barionlıq zaryadtın' saqlanıw nızamın orınlaw kerek:

$$2=2 \quad \Delta B=0$$

ja`ne basqada  $\pi$ -mezonlar menen nuklonlardın` ta`sirlesiwinde  $2N + \bar{N}$  payda boladı, yag`nıy:



Bul protsesstin` bolıp o`tiwi ushın kerek bolg`an energiya 5,6 GeV, al joqarıdag`ı protsess ushın 3,6 GeV energiya kerek boladı.

15.6. Antiyadro.

1965-jılı AKSH ta massaspektrometr ja`rdeminde antiyadronın` bar ekenligi anıqlandı. Bul birinshi anıqlang`an antiyadro-antideytron bolıp esaplanadı.



Zaryadı -1 ge ten`, barion zaryadı  $B_d = -2$ , al onın` massası deytronnın` massası menen birdey.

Bunin` tiykarg`ı fizikalıq ma`nisi yadronın` antiyadrosı boladı, yag`niy qa`legen fizikalıq sistemanın` antisisteması boladı degendi ko`rsetedi. Usı maqsette yadronın` ko`pshiliginin` antiyadroları izertlenedi.

Bul antiyadrolar yadrog`a uqsap ku`shli elektromagnitlik ta`sirlesiwge qatnasadı:

$$Pn \Rightarrow d \quad Z_d = +1$$

$$\bar{P}\bar{n} \Rightarrow \bar{d} \quad Z_d = -1$$

$$1+1=2$$

$$B_d = 2$$

15.7. Antigiperon.

Antigiperonlardın` ashılıwı zaryadlı uqsaslıq nızamının` ashılıwına alıp keldi. Bul nızam boyınsha ha`r-bir elementar bo`lekshenin` antibo`lekshesi bolıwı kerek degendi ko`rsetedi. Bizge ma`lim ko`plegen awır elementar bo`lekshelerdin`, sonın` ishinde giperonlardın` ashılıwı, zaryadlıq uqsaslıq nızamı boyınsha giperonnnın` antigiperonı bolıwı kerek. Sonın` ushın ko`pshilik nuklon-nuklonlıq o`z-ara ku`shli ta`sirlesiwlerde giperonlardın` ha`m antigiperonlardın` payda bolıwı bayqaladı:



$$T_{min} = 7.1 \text{ GeV}$$



$$T_{min} = 4.7 \text{ GeV}$$

Usınday reaksiyalar ja`rdeminde ko`plegen antigiperonlar ashıldı.

$$\bar{\lambda}^0 \rightarrow \bar{P} + \pi^+$$

$$\pi^- + P \rightarrow \bar{\lambda}^0 + \lambda^0 + n$$

XVI –BAP. GLYUONLAR

16.1. Glyuonlardin' qa'siyeti

Materiyanın' en' kishkene gerbishleri esaplang'an elementar bo'leksheler quramalı bo'lekshege iye ekenligi belgili bolg'annan son', materiyanın' haqiqattan en' kishkene gerbishlerin izlew mashqalası payda boldı. Eger usınday bo'leksheler bar bolsa, ha'zirge shekem bizge belgili bolg'an ha'm quramalı du'ziliske iye bolg'an barlıq bo'leksheler olardan quralg'an bolıwı kerek. 1964-jili Amerikalı fizik M. Gell-Man ha'm D. J. Tsveyglar mezonlar ha'm barionlar kvarklar dep atalatug'in a'piwayı bo'lekshelerden quralg'anlig'i haqqındag'i gepotezani usınadı. Bul gepotezag'a muwapıq barionlar u'sh: u, d, s, kvarklardan, antibarionlar bolsa antikvarklardan quralg'an. Bul kvarklar yarım spinge iye bolıwı, al zaryadları elektron zaryadinin' $\frac{1}{3}$ ha'm $\frac{2}{3}$ bo'limine ten' bolıwı kerek. Keyin ala ja'ne eki: c << O'zine tartatug'in>> anglishansha (charm) ha'm b <<gozzal>> anglishansha (beauty) kvarkları antikvarkları menen birge kirgizilgen. Zamanago'y gipotezalar boyınsha kvarklar da leptonlar siyaqlı altaw bolıwı kerek. Lekin t <<haqiqıy>> anglishansha (truth) kvarkin tabıw maqsetinde islenip atırg'an barlıq urınıwlar ha'zirshe hesh qanday na'tije bermedi. Sonın' menen birge, kvark ha'm antikvarklardin' kombinatsiyaları bar mezonlardin' barlıg'in payda bolıwın tu'sindirip bere aldi. Usı ko'z qarastan qarag'anda kvarklar hesh qanday ishki du'ziliske iye emes ha'm olardı shin ma'niste elementar bo'leksheler dep esaplaw mu'mkin.

16.2. Antikvarklar

Antivarklar kvant sanlarının' (spin I ha'm izotrop spin T dan tısqarı) belgisi menen o'z kvarklarinan parıqlanadı. Kvark modeli, mezonlar, kvark ha'm antikvark $q, \bar{q}$ juplıg'ınan du'zilgen. Ma'selen, π^+ -mezon, U-kvark ha'm d-antikvarktan du'zilgen bolıwı kerek. π^+ -zaryadı onı du'ziwshi kvark-antikvark zaryadının' qosındısına ten', $+\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = 1$, onın' barion zaryadı bolsa, $\frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$

Kvark modeline sa'ykes, barionlar u'sh kvarktan du'ziledi. Mısalı:

proton $p(uud)$, elektr zaryadı $+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$, barion zaryadı $\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1$,

bir tu'rliligi $S=0$ ha'm tap sonday;

$$n(udd) \quad \Lambda^0(uds), \Sigma^-(uus), \Xi^-(dss) \quad \Xi^0(uss).$$

yamasa orbital qozg'alıwları na'tijesinde massaları artıp spin ha'mde ju'plıqlar o'zgeriwi mu'mkin. Na'tiyjede olar okkuplet yamasa dekuplet sistemaların payda etedi. Kvarkların' massaları to'mendegishe:

$$m_u \approx 3,5 \div 5 \text{ MeV}, m_d \approx 6,5 \div 10 \text{ MeV}, m_s \approx 100 \div 250 \text{ MeV},$$

$$m_c \sim 1,35 \text{ GeV}, m_b \sim 4,7 \text{ GeV}, m_z > 22 \text{ GeV}.$$

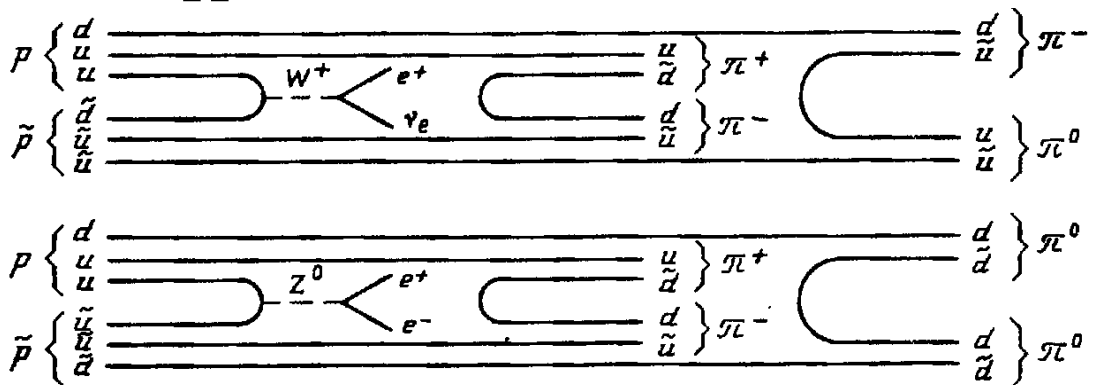
Barionlar spini $I=1/2$ bolıwı ushın bariondı du'ziwde u'sh kvarklardan spinleri ekewi parallel, birewi antiparallel dep qaraladı. $I=3/2$ bolıwı ushın bolsa u'sh kvarkların' spinleri parallel bolıwı kerek, ma'selen, $3/2$ spinli barion dekuplet;

$$\Delta^- = ddd \quad \Delta^0 = udd \quad \Delta^+ = uud \quad \Delta^{++} = uuu \quad 1232 \text{ MeV}$$

$$\Sigma^- = dss \quad \Sigma^0 = uds \quad \Sigma^+ = uus \quad 1385 \text{ MeV}$$

$$\Xi^- = dss \quad \Xi^0 = uss \quad 1530 \text{ MeV}$$

$$\Omega^- = sss \quad 1672 \text{ MeV}$$

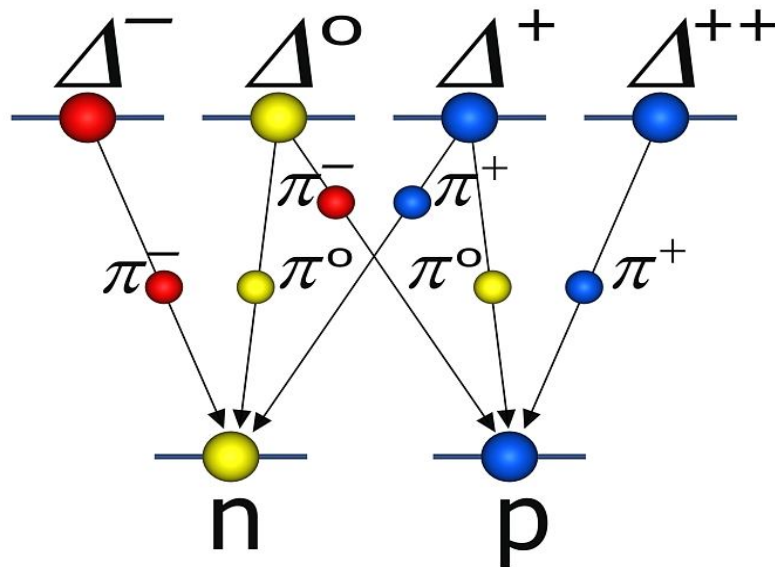


16.1-su'wret

Kvarkların' o'z-ara glyuonlar arqalı ta'sirlesiwiniń baylanısları 16.1-16.2 su'wretlerde ko'rsetilgen.

Kvarklar o'z-ara massasız, spini 1 ge ten' bolg'an glyuonlar (glue-anglishansha kley) menen ta'sirlesedi. Kvarkların' glyuonlar almasıwında kvarkların' ren'i o'zgeredi, tu'ri bolsa o'zgermeydi, qalg'an kvant sanları saqlanadı. Ma'selen, u -kvark glyuon berip

yamasa glyuon alıp, u -kvarktıń basqa ren'de payda boladı. Glyuonlar kvarksız da o'z-ara ta'sirlesiwi mu'mkin. Lekin, elektromagnit maydan fatonları bunday qa'siyetke iye emes.



16.2-su'wret

Kvark teoriyasında, kvark a'tirapında payda bolg'an ren' zaryadı kvarktan uzaqlasqanda o'zgermey qalıwıda yamasa artıwıda mu'mkin. Bunın' na'tiyjesinde kvarklar arasında aralıqtın' artıwı menen olardıń o'z-ara ta'sir energiyası artıp baradı. Kvarklar adron ishinde, bir-birine ju'da' jaqın jaylasqanlıg'ı ushın olar arasındag'ı o'z-ara ta'siri az ha'm kvarklar bo'lekshe ishinde o'zlerin erkin bo'lekshelerdey tutadı. Kvarklar arasındag'ı aralıqtın' artıwı menen sistemanın' ren' zaryadı artıp ketip, olar arasındag'ı ta'sir energiyasında artadı. Sonın' ushın kvarklardı oraydan shette bolsa <<qullıqta>> dew mu'mkin. Ba'lkı kvarklardı erkin halda baqlanbawı da sonnan bolıwı mu'mkin. Adronlar ishinde kvarklardın' o'z-ara ku'shli bolmag'an bolıwı ushın aralıq artıwı menen kvark ren'i zaryadının' sheksiz artıwı za'rur emes. Ren' zaryadının' artıwı energiyanın' jan'adan kvark ha'm antikvark jubi payda bolıwına jeterli bolg'an darejesinde o'zgeriwine sebep bolsa, jeterli bolıwı mu'mkin. Ren' zaryadı sol ma'niske eriskende jan'adan kvark- antikvark jubi payda boladı. Adron ishinde tez elektron urıp shıg'arg'an kvark ornın jan'adan payda bolga'n kvarklar iyeleydi. Urıp shıg'arılga'n kvark bolsa jan'adan payda bolg'an antikvark penen qosılıp mezondı payda qıladı. Kvarklardın' adronlar ishinde erkin shıg'a almaslıg'ın tusindiriwshi bir neshe energiya bar, tiykarınan tor modelinde, tor sozılga'nda onın' keriliw energiyası artqan sayın bir-birinen uzaqlastırılga'n eki kvark arasındag'ı glyuon maydani artadı.

Kvarklar glyuon maydanna quralg'an tor sebepli bir-biri menen baylang'an boladı. Kvark arasındag'ı aralıg'ı ja'nede artqanda torda toplanıwshı glyuon energiyası kvark-antikvark ju'plıg'ın payda qılıwda jeterli bolıp qalsa tor u'ziledi. Tor uzilgen jerde jan'adan kvark ha'm antikvark payda boladı. Sonday qılıp, erkin kvarklar payda bolıwı ornına mezonlar payda boladı.

Bul haldı tuwrı magnitti ekige bo'lganımızde ja'ne eki polyusli magnit payda bolıwına uqsatıw mu'mkin. Nuklonlar ortasındag'ı ku'shli o'z-ara ta'sirdi mezonlar arqalı dep tu'sindiriledi. Endi kvant xromodinamikasına kvarklar arqalı a'melge asırıladı dep qaraladı. Ku'shli o'z-ara ta'sirlesiw glyuonlar, glyuon ren'i almasıwı menen a'melge asırıladı dep qaraymız. Lepton, foton, bazonlar o'zleri menen ren' alıp o'tpeydi, sonın' ushın kushli ta'sirlesiwge qatnaspaydı. Adron bo'lekshelerdi va'lentli, tokli kvarklar ha'm a'tirapında glyuonlar <<ten'izi>> ha'r qıylı ren'li kvark ha'm antikvarklar qaplap alg'an dep oylaw mu'mkin. Va'lentli kvarklar andronlar quramın du'ziwde qatnasadı, tokli kvarklar glyuonlardı jutadı yamasa shig'aradı, olar ku'shli ta'sirlesiwdi a'melge asıradı.

Ja'ne aytıw mu'mkin, virtual kvarklar antikvarklar glyuonlar menen birgelikte protonlardı du'zedi. Nuklonlar arasındag'ı o'z-ara ta'sirde birinshi nuklondag'ı kvark ekinshisine, ekinshi nuklondag'ı kvark birinshi nuklong'a o'tedi. Na'tiyjede kvark-antikvark $q-q\bar{q}$ ju'plıg'ı menen, yag'niy pion menen almasıw ju'z beredi.

A'piwayı barion ha'm mezonlardı da'slep u'sh kvarklardın' kombinaciyasın du'ziw mu'mkin ha'm bug'an tuwra keletug'ın barlıq kvarklar sanın keltirip shıg'arıw mu'mkin. A'piwayı bolmag'an barion ha'm mezonlardı bolsa, qalg'an kvarklardı itiba'rg'a alıw arqalı du'ziw mu'mkin. Bul Gell-Mann kvarklar teoriyasın' jetiskenligi edi. Biraq sog'an qaramay bunın' o'zi elementar bo'lekshelerdin' barlıq fizikalıq qa'siyetlerin tolıq tu'sindirip bere almaytu'gın edi. Na'tiyjede teoriyag'a kvarklardın' iyisi, ren'i degen jan'a tu'sinikler kiritildi.

1964-jili M. Gell-Mann ha'm J. Tsveyglar neytronlar ha'm protonlar 3-u, d, s kvarklar dep atalatug'ın a'piwayı bo'lekshelerden quralg'anlıg'ı haqqındag'ı gipotezanı ko'terip shıqtı. Kvarklar ishki du'ziliske iye emes ha'm usı mag'anada haqıqiy elementar bo'leksheler esaplanadı. Keyin ala ja'ne 2-ko'zge tartatug'ın c ha'm go'zzalıq.

Go'zzal b kvarklar kirgizildi. Haqıqiy kvarktın' da bolıwı itimaldan alıs emes. Solay etip, zatlar molekula ha'm atomlardan du'zilgen. Al, atom o'z na'wbetinde yadro ha'm onı qorshap turg'an elektronlardan,

yadro bolsa neytronlardan ha'm protonlardan ibarat. Protonlar ha'm neytronlar kvarklardan du'zilgen. Joqarıda atap o'tilgenindey, bo'leksheler - bul du'nyanın' en' kishi gerbishleri. Yadrolar, atomlar, molekulalar, ximiyalıq birikpeler, biologiyalıq toqimalar, planetalar, u'lken juldizlar, kosmos deneleri, sonın' ishinde bizin' o'zimiz de usı bo'lekshelerden quralg'anbiz. Lekin, bul bo'lekshelerdi qanday ku'shler baylanistirip turadı degen soraw tuwıladı. Elementar bo'lekshe arasinda to'rt tu'rli fundamental ta'sirlesiw bar bolıp bular: tartısıw (gravitaciyalıq); elektromagnit; ku'shli (yadro) ha'm ku'shsiz ta'sirlesiwler. Tiykarinan ku'shli ta'sirlesiwde glyuonlar almasıwı na'tiyjesinde bolıp o'tedi. Glyuon tu'sinigi anglishansha (jelim) kley so'zden aling'an. Kvark bo'leksheler glyuonlar arqali a'melge asırıladı. Ren' tu'sinigin kiritiw, kvarklardin' tu'rin go'zzal, o'zine tartatug'ın dep atala baslandı. Yag'niy kvarklar u, d, s go'zzallıqqa iye delinedi. Ha'r qiyli go'zallıqlı kvarklar massalari boyınsha bir-birinen parqlanadı, biraq ren'i bir qiyli go'zzallıqqa iye bolg'an kvarklar bir-birinen ren'i menen parqlanadı. Kvark teoriyasına ren' tu'sinigin kvark statistikası mashqalasin sheshiw ushin kiritilgen edi. Kvarklardi adronlar ishinde bir-biri menen baylap, uslap turiwshı ku'sh sol ren' sebepli ju'zege keledi dep qaraladı. Kvarklar o'z-ara massasız, spini 1 ge ten' bolg'an glyuonlar menen ta'sirlesedi. Kvarklardin' glyuonlar almasıwında kvarklardin' ren'i o'zgeredi, tu'ri bolsa o'zgermeydi, qalg'an kvant sanları saqlanadı. Mısalı, u-kvark glyuon berip yamasa alıp, u-kvark basqa ren'de payda boladı. Glyuonlar kvarksız da o'z-ara ta'sirlesiwı mu'mkin. Lekin, elektromagnit maydan fatonlari bunday qa'siyetke iye emes.

Tiykarg'ı formulalar

1.

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = mc^2 \gamma = mc^2 + T, \quad E_0 = mc^2,$$

Bunda; E-toliq energiya, E_0 -tinishliqtag'ı energiya,

$$m = \frac{1}{c^2} \sqrt{E^2 - p^2 c^2} \quad \text{-massa,}$$

$$p = \frac{vE}{c^2} = mv\gamma = \frac{m\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \text{- reliyativistlik impuls,}$$

$$T = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) = mc^2 (\gamma - 1) \quad \text{-reliativistlik kinetikaliq energiya.}$$

$$2. \quad p^2 c^2 = T(2mc^2 + T).$$

$$3. \quad \tau = \tau_0 / \sqrt{1-\beta^2} \quad \text{-bo'lekshenin' jasaw waqtı.}$$

$$4. \quad E^2 - P^2 c^2 = \text{inv},$$

$$5. \quad T = 2mc^2 [(1 + T'/mc^2)^2 - 1] \quad \text{- eki bo'lekshenin' ekvivalent energiyası.}$$

$$6. \quad \Delta E \Delta t \approx \hbar; \quad \Delta r \Delta p \approx \hbar \quad \text{-belgisizlik qatnasları.}$$

$$7. \quad \lambda_N = 4,5 \cdot 10^{-13} / \sqrt{T}, \quad \text{- Nyklonlar ushın De-broil tolqın uzınlıg'ı.}$$

$$8. \quad \alpha = e^2 / (\hbar c) = r_e / \lambda_{\text{компт}}^e \approx 1/137 \quad \text{- juqa du'zilis turaqlısı.}$$

$$9. \quad B_r = Zze^2 / R \approx Zz / A^{1/3} \quad \text{- zariyadı Z bolg'an bo'lekshenin', yadronın' zariyadı Z ke qatnası ushın kulonlıq barierdin' biyikligi.}$$

$$10. \quad B_u = \hbar^2 l(l+1) / (2mR^2) \approx 10l(l+1) / A^{2/3} \quad \text{-oraydan qashıwshı barierdin' biyikligi.}$$

$$11. \quad N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad \text{-Radiyoaktivlikattin' ıdıraw nızamı.}$$

$$12. \quad T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \approx 0,69\tau \quad \text{-Radiyoaktiv yadronın' yarım ıdıraw waqtı.}$$

$$13. \quad \Delta W = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \zeta \frac{\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2}{A} + \delta A^{-3/4} \quad \text{- Vadzeker formulasi,}$$

bunda- $\alpha = 15,75 \text{ MэВ}$; $\beta = 17,8 \text{ MэВ}$; $\gamma = 0,71 \text{ MэВ}$; $\zeta = 94,8 \text{ MэВ}$; $|\delta| = 34 \text{ MэВ}$;

$$\delta = \begin{cases} +|\delta| & \text{jup-jup yadro ushin} \\ 0 & \text{taq yadro ushin} \\ -|\delta| & \text{taq-taq yadro ushin} \end{cases}$$

$$14. \sigma(n, \gamma) = A \pi \lambda^2 \frac{\Gamma_n \Gamma_\gamma}{(T - T_0)^2 + (\Gamma/2)^2}; \quad \sigma(n, n) = A \pi \lambda^2 \frac{\Gamma_n^2}{(T - T_0)^2 + (\Gamma/2)^2},$$

Radiyatsiyaliq jutılıwshı ha'm shashirawshı neytronlar ushın

Breita-Vigner formulası. Bunda; $A = \frac{2J+1}{(2I+1)(2s+1)}$;

$$15. R = r_0 A^{1/3} \text{ -yadronın' radiusı, bunda; } r_0 = (1,2 \div 1,4) \cdot 10^{-13} \text{ sm.}$$

$$16. T_{\text{min}} = \frac{M+m}{M} |Q|, \text{ -endoenergetikalıq reiyaksiyanın' bosag'ası.}$$

17.

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix};$$

$$\hat{1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \hat{0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

-Pawli matritsası.

18. Kvarklardın' kvantlıq sanları.

Kvarklardın' atları	z	T	T_z	S	c	b	t
u	$+2/3$	$1/2$	$+1/2$	0	0	0	0
d	$-1/3$	$1/2$	$-1/2$	0	0	0	0
s	$-1/3$	0	0	-1	0	0	0
c	$+2/3$	0	0	0	$+1$	0	0
b	$-1/3$	0	0	0	0	-1	0
t^*	$+2/3$	0	0	0	0	0	$+1$

Tiykarg'ı turaqlılıqlar ha'm birlikler

$$1. r_e = e^2 / (m_e c^2) = 2,8 \cdot 10^{-13} \text{ sm -elektronnın' klassikalıq radiusı.}$$

$$2. \lambda_e^{\text{kompt}} = h / (m_e c) = 3,85 \cdot 10^{-11} \text{ sm- elektronnın' komptonlıq tolqın uzınlıg'ı.}$$

$$3. \lambda_\pi^{\text{kompt}} = h / (m_\pi c) \approx 1,4 \cdot 10^{-13} \text{ sm -}\pi\text{-mezonnın' kompton tolqın uzınlıg'ı.}$$

$$4. \lambda_N^{\text{kompt}} = h / (m_N c) = 0,2 \cdot 10^{-13} \text{ sm.-nuklonnın' kompton tolqın uzınlıg'ı.}$$

$$5. \tau_{\text{яд}} \approx a / c = 1,4 \cdot 10^{-13} / 3 \cdot 10^{10} \approx 0,5 \cdot 10^{-23} \text{ s.-Yadro waqtı.}$$

6. Plank turaqlısı.

$$\hbar \approx 1,054 \cdot 10^{-27} \text{ erg*s} = 6,6 \cdot 10^{-16} \text{ eV*s}$$

7. Vakkumdag'ı jaqtılıq tezligi;

$$c \approx 3 \cdot 10^{10} \text{ sm*s}^{-1}$$

8. Ha'lsiz o'z-ara ta'sirlesiw koefficienti;
 $G \approx 1,4 \cdot 10^{-49} \text{ erg} \cdot \text{sm}^3$

9. Atomnin' radiusi;

$$R_{\text{at}} \approx 10^{-8} \text{ sm.}$$

10. Yadronin' radiusi;

$$R_{\text{yad}} \approx (2 \div 8) 10^{-13} \text{ sm.}$$

11. Bor magnetoni;

$$M_B = \frac{e \hbar}{m_e c} = 9,27 \cdot 10^{-21} \text{ erg} / G_s = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Dj} / \text{TI}$$

12. Bordin' yadrolıq magnetoni;

$$\mu_B = \frac{e \hbar}{m_p c} = \frac{M_B}{1836} = 5,05 \cdot 10^{-24} \text{ erg} / G_s = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ Dj} / \text{TI}$$

Klebsha-Gardon koeffitsientleri

$1/2 \times 1/2$

$T_{\zeta}^{(1)}$	$T_{\zeta}^{(2)}$	$\frac{T}{T_{\zeta}}$			
		$\begin{smallmatrix} 1 \\ +1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} -1 \\ -1 \end{smallmatrix}$
$\begin{smallmatrix} +1/2 \\ +1/2 \\ -1/2 \\ -1/2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +1/2 \\ -1/2 \\ +1/2 \\ -1/2 \end{smallmatrix}$	1	$\begin{smallmatrix} \sqrt{1/2} \\ \sqrt{1/2} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} \sqrt{1/2} \\ -\sqrt{1/2} \end{smallmatrix}$	1

$1 \times 1/2$

$T_{\zeta}^{(1)}$	$T_{\zeta}^{(2)}$	$\frac{T}{T_{\zeta}}$					
		$\begin{smallmatrix} 3/2 \\ +3/2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 3/2 \\ +1/2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1/2 \\ +1/2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 3/2 \\ -1/2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1/2 \\ -1/2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 3/2 \\ -3/2 \end{smallmatrix}$
$\begin{smallmatrix} +1 \\ +1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +1/2 \\ -1/2 \\ +1/2 \\ -1/2 \\ +1/2 \\ -1/2 \end{smallmatrix}$	1	$\begin{smallmatrix} \sqrt{1/3} \\ \sqrt{2/3} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} \sqrt{2/3} \\ -\sqrt{1/3} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} \sqrt{2/3} \\ \sqrt{1/3} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} \sqrt{1/3} \\ -\sqrt{2/3} \end{smallmatrix}$	1

1 × 1

$T_{\zeta}^{(1)}$	$T_{\zeta}^{(2)}$	$\frac{T}{T_{\zeta}}$									
		$\begin{smallmatrix} 2 \\ +2 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 2 \\ +1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1 \\ +1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 2 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 1 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} -2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} -1 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} -2 \\ -2 \end{smallmatrix}$	
+1	+1	1	$\sqrt{1/2}$	$-\sqrt{1/2}$	$\sqrt{1/6}$	$\sqrt{1/2}$	$\sqrt{1/3}$	$-\sqrt{1/3}$	$\sqrt{1/2}$	$-\sqrt{1/2}$	1
+1	0										
0	+1										
+1	-1										
0	0										
-1	+1										
0	-1										
-1	0										
-1	-1										

Bo'lekshe	n, Δ^0	p, Δ^+	Λ	Σ^-	Σ^+
z	0	1	0	-1	1
B	1	1	1	1	1
S	0	0	-1	-1	-1
$Y = B + S$	1	1	0	0	0
Kvarklar qurami	$q_p q_n q_n$ udd	$q_p q_p q_n$ uud	$q_p q_n q_\Lambda$ uds	$q_n q_n q_\Lambda$ dds	$q_p q_p q_\Lambda$ uus

Kvarklar ha'm olardin' belgilniwi	Massa MeV	B	z	s	T	T_{ζ}	S	c	b	t
q_p, u, up	0,004	1/3	+2/3	1/2	1/2	+1/2	0	0	0	0
$q_n, d, down$	0,007	1/3	-1/3	1/2	1/2	-1/2	0	0	0	0
$q_\Lambda, s, strange$	0,15	1/3	-1/3	1/2	0	0	-1	0	0	0
$q_c, c, charm$	1,3	1/3	+2/3	1/2	0	0	0	+1	0	0
$q_b, b, beauty (bottom)$	4,75	1/3	-1/3	1/2	0	0	0	0	-1	0
$q_t, t, truth (top)$	?	1/3	+2/3	1/2	0	0	0	0	0	+1

Bo'lekshe	Ξ^-	Ξ^0	Δ^{++}	Δ^-	Ω^-
z	-1	0	2	-1	-1
B	1	1	1	1	1
S	-2	-2	0	0	-3
$Y = B + S$	-1	-1	1	1	-2
Kvarklar qurami	$q_n q_\Lambda q_\Lambda$ dss	$q_p q_\Lambda q_\Lambda$ uss	$q_p q_p q_p$ uuu	$q_n q_n q_n$ ddd	$q_\Lambda q_\Lambda q_\Lambda$ sss

Bo'lekshe	Zariyad	Massa, MeV	Spin	Magnit momenti M_B	Leptonliq zariyad			Spiralliq	Jasaw waqti	Idiraw sxemasi
					L_e	L_μ	L_τ			
e^-	-1	0,51	1/2	-1	+1	0	0	-1	$> 2 \cdot 10^{22}$ ju	—
e^+	$+1$		1/2	+1	-1	0	0	+1	$> 2 \cdot 10^{22}$ ju	—
ν_e	0	1) $< 18 \text{ эВ}$	1/2	0	+1	0	0	-1	turaqli	—
$\bar{\nu}_e$	0	2) $17 < m_e \leq 40 \text{ эВ}$	1/2	0	-1	0	0	+1	»	—
μ^-	-1	105,66	1/2	$-m_e/m_\mu$	0	+1	0	+1	$2,197 \cdot 10^{-6}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
μ^+	$+1$		1/2	$+m_e/m_\mu$	0	-1	0	-1	$2,197 \cdot 10^{-6}$	$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
ν_μ	0	$< 0,25$	1/2	0	0	+1	0	-1	turaqli	—
$\bar{\nu}_\mu$	0		1/2	0	0	-1	0	+1	»	—
τ^-	-1	1784 ± 3	1/2	?	0	0	+1	?	$3 \cdot 10^{-13}$	$\tau^- \rightarrow \rho^- \nu_\tau (e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau, \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau)$
τ^+	$+1$		1/2	?	0	0	-1	?	$3 \cdot 10^{-13}$	$\tau^+ \rightarrow \rho^+ \bar{\nu}_\tau (e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau, \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau)$
ν_τ	0	< 35	1/2	0	0	0	+1	-1?	turaqli	—
$\bar{\nu}_\tau$	0		1/2	0	0	0	-1	+1?	»	—

Bo'lekshe ha'm antibo'lekshelerdin' atlari	Massasi(MeV)	Jasaw waqti(s)	Idirawdin' tiykarg'i kanallari
Kalibrovkali bozonlar			
Foton, $\square$	$< 3 \cdot 10^{33}$		
Araliq vektorliq bozonlar Zariyadlang'an $W^\pm$ Neytral Z^0	$81,0 \pm 1,3 \text{ MeV}$ $92,4 \pm 1,8 \text{ MeV}$	$G < 6,5 \text{ GeV}$ $G < 5,6 \text{ GeV}$	$W^+ \rightarrow e^+ \nu_e, \mu^+ \nu_\mu$ $\tau^+ \nu_\tau$ $Z^0 \rightarrow e^+ e^-, \mu^+ \mu^-$
Leptonlar			
Elektronliq neytrino(ν_e) ha'm antineytrino($\bar{\nu}_e$)	$m < 18 \text{ eV}$	Turaqli	
Miyonliq neytrino (ν_μ) ha'm miyonli'q antineytrino($\bar{\nu}_\mu$)	$< 0,25$	Turaqli	
Taw-neytrino(ν_τ) ha'm antineytrino($\bar{\nu}_\tau$)	$< 0,35$	Turaqli	

Elektron (e^-), positron (e^+)	$0,51099906 \pm 15 \cdot 10^{-8}$	$\tau_{\text{eksp}} \geq 2 \cdot 10^{22}$	
Miyonlar (μ^+, μ^-) Taw-leptonlar (τ^+, τ^-)	$105,65839 \pm 6 \cdot 10^{-5}$ $1784,1 \pm 3,2$	$(2,19703 \pm 0,00004) \cdot 10^{-6}$ $(3,04 \pm 0,09) \cdot 10^{-13}$	$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ $\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau, \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau, \pi^- \nu_\tau, \dots$
Jen'il mezonlar $\pi^+ = u\bar{d}, \pi^- = \bar{u}d, \pi^0 = \frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}}, \eta = c_1(u\bar{u} + d\bar{d}) + c_2 s\bar{s}$			
Zariyadlang'an π - mezonlar Neytral π -mezon Eta-mezon (η)	$139,56755 \pm 0,00033$ $134,9734 \pm 0,0025$ $548,8 \pm 0,6$	$(2,6029 \pm 0,0023) \cdot 10^{-8}$ $(0,84 \pm 0,06) \cdot 10^{-16}$ $\Gamma = (1,08 \pm 0,19) \text{ КэВ}$	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu (100\%)$ $\pi^0 \rightarrow 2\gamma (98,8\%), \gamma e^+ e^- (1,2\%)$ $2\gamma (38,9\%), 3\pi^0 (31,9\%), \pi^+ \pi^- \pi^0 (23,7\%)$ $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma (4,9\%), e^+ e^- \gamma (0,5\%)$
Tan'qalarliq mezonlar ($K^+ = u\bar{s}, K^0 = d\bar{s}, \bar{K}^0 = \bar{d}s, K^- = \bar{u}s$)			
Zariyadlang'an K- mezonlar Neytral K-mezonlar	$493,646 \pm 0,009$ $497,671 \pm 0,030$	$(1,2371 \pm 0,0028) \cdot 10^{-8}$ $K_s^0: (0,8922 \pm 0,0020) \cdot 10^{-10}$ $K_L^0: (5,18 \pm 0,04) \cdot 10^{-8}$	$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu (63,5\%), 2\pi (21,2\%), 3\pi (7,3\%)$ $\searrow \pi^0 e^+ \nu_e (4,8\%), \pi^0 \mu^+ \nu_\mu (3,2\%)$ $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- (68,6\%), \pi^0 \pi^0 (31,4\%)$ $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \nu_e (38,6\%), \pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu (27\%)$ $\searrow 3\pi^0 (21,7\%), \pi^+ \pi^- \pi^0 (12,4\%)$
Ayriqsha tan' qalarliq emes mezonlar ($D^+ = c\bar{d}, D^0 = c\bar{u}, D^- = \bar{c}d, \bar{D}^0 = \bar{c}u$)			
Zariyadlang'an D- mezonlar Neytral D-mezonlar	$1869,3 \pm 0,6$ $1864,5 \pm 0,6$	$(10,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-13}$ $(4,28 \pm 0,11) \cdot 10^{-13}$	$D^+ \rightarrow e^+ X, K^+ X, K^0 \bar{K}^0 X^{***}$ $D^0 \rightarrow K^- X, K^0 \bar{K}^0 X, K^- \pi^+ \pi^0$
Ayriqsha tan' qalarliq mezonlar			
D_s^+ ha'm D_s^- mezonlar D_s^{*+} ha'm D_s^{*-} mezonlar	$1969,3 \pm 1,1$ $2112,7 \pm 2,3$	$(4,36 \pm 0,35) \cdot 10^{-13}$ $< 22 \text{ МэВ}$	$D_s^+ \rightarrow \varphi \pi^+, K_{892}^0 K^+, \varphi 3$ $\bar{D}_s^{*+} \rightarrow D_s^+ \gamma$

YADRO FIZIKASINA TIYISLI FIZIKALIY SHAMALAR HA'M OLARDIN' MA'NISLERI

1-keste

Ayrım bo'leksheler massalari

Bo'lekshe	Kg	MeV
<i>Elektron</i>	$9,10953 \cdot 10^{-31}$	<i>0,511</i>
<i>Proton</i>	$1,67265 \cdot 10^{-27}$	<i>938,23</i>
<i>Neytron</i>	$1,6748 \cdot 10^{-27}$	<i>938,53</i>
<i>A-bo'lekshe</i>	$6,6444 \cdot 10^{-27}$	<i>3726,2</i>

2-keste

Energiya birlikleri ortasindag'ı qatnaslar

Birlikler	eV	Erg	DJoul'	Kall
<i>1 eV</i>	<i>1</i>	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$3,83 \cdot 10^{-20}$
<i>1 erg</i>	$6,25 \cdot 10^{11}$	<i>1</i>	10^{-7}	$2,39 \cdot 10^{-8}$
<i>1 DJoul'</i>	$6,25 \cdot 10^{18}$	10^7	<i>1</i>	<i>0,239</i>
<i>1 kall</i>	$2,61 \cdot 10^{19}$	$4,18 \cdot 10^7$	<i>4,18</i>	<i>1</i>

Uzunliq birlikleri ortasindag'ı qatnas:

$10^{-3} \text{ km} = 1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 10^2 \text{ sm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ mkm (mikrometr)}$
 $= 10^9 \text{ nm (nanometr)} = 10^{12} \text{ pm (pikometr)}$.

Waqit birlikleri ortasindag'ı qatnas:

$1 \text{ sutka} = 24 \text{ saat} = 1440 \text{ minut (min)} = 86400 \text{ sekund (s)}$

$1 \text{ saat} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$.

3-keste

Ayrım zatlardın' tig'izliqlari

Zat	Tig'izliq 10^3 kg/m^3	Zat	Tig'izliq 10^3 kg/m^3	Zat	Tig'izliq 10^3 kg/m^3
<i>Alyuminiy</i>	<i>2,7</i>	<i>Altin</i>	<i>19,3</i>	<i>Natriy</i>	<i>0,97</i>
<i>Berilliy</i>	<i>1,85</i>	<i>Indiy</i>	<i>7,28</i>	<i>Nikel'</i>	<i>8,9</i>
<i>Bor</i>	<i>2,45</i>	<i>Kadmiy</i>	<i>8,65</i>	<i>Kaliy</i>	<i>7,4</i>
<i>Vismut</i>	<i>9,8</i>	<i>Kaliy</i>	<i>0,86</i>	<i>Platina</i>	<i>21,5</i>
<i>Hawa</i>	<i>1,293</i>	<i>Kobal't</i>	<i>8,9</i>	<i>Sinap</i>	<i>13,6</i>
<i>Vol'fram</i>	<i>1,91</i>	<i>Litiy</i>	<i>0,53</i>	<i>Qarg'asin</i>	<i>11,3</i>
<i>Grafit</i>	<i>1,6</i>	<i>Magniy</i>	<i>1,74</i>	<i>Gu'mis</i>	<i>10,5</i>
<i>Temir</i>	<i>7,8</i>	<i>Mis</i>	<i>8,9</i>	<i>Rux</i>	<i>7,0</i>

Materialları tu'rlishe antikatod ushın rentgen nurları
K-seriyasının` shegarası (10^{-8} m da)

<i>Vol`fram.....0,178</i>	<i>Platina.....0,158</i>
<i>Altın.....0,153</i>	<i>Gu`mis.....0,484</i>
<i>Mis.....1,38</i>	<i>Alyuminiy.....7,936</i>

Fundamental fizikalıq shamalar (SI birlikler sistemasında)

Turaqlı shamalar	Belgileniwi	San ma`nisi
<i>Massanın` atom birligi (<math>10^{-3}</math> kg/mol`)</i>	<i>m.a.b</i>	<i>$1,6605655(86) \cdot 10^{-27}$ kg</i>
<i>Elementar zaryad</i>	<i>e</i>	<i>$1,6021829(46) \cdot 10^{-19}$ Kl</i>
<i>Elektronnin` salıstırma zaryadı</i>	<i>e/m</i>	<i>$1,5388047(49) \cdot 10^{11}$ Kl/kg</i>
<i>Neytronnin` Kompton tolqın uzınlıg`ı</i>	<i>$\lambda_{c,n}=h/m_n c$</i>	<i>$1,31955909(22) \cdot 10^{-15}$ m</i>
<i>Protonnin` Kompton tolqın uzınlıg`ı</i>	<i>$\lambda_{c,p}=h/m_p c$</i>	<i>$1,3214099(22) \cdot 10^{-15}$ m</i>
<i>Elektronnin` Kompton tolqın uzınlıg`ı</i>	<i>$\lambda_c=\alpha^2/2R_\infty$</i>	<i>$2,4263089(40) \cdot 10^{-12}$ m</i>
<i>Bor magnetoni</i>	<i>$\mu_B=eh/4\pi m_e$</i>	<i>$9,274078(36) \cdot 10^{-24}$ J · T⁻¹</i>
<i>Yadro magnetoni</i>	<i>$\mu_N=eh/4\pi m_p$</i>	<i>$5,050824(20) \cdot 10^{-1}$ J · T⁻¹</i>
<i>Protonnin` magnit momenti</i>	<i>μ_r</i>	<i>$1,4106171(55) \cdot 10^{-26}$ J · T⁻¹</i>
<i>Miyunnın` magnit momenti</i>	<i>μ_μ</i>	<i>$4,490474(18) \cdot 10^{-26}$ J · T⁻¹</i>
<i>Elektronnin` magnit momenti</i>	<i>μ_e</i>	<i>$9,284832(36) \cdot 10^{-24}$ J · T⁻¹</i>
<i>Elektron magnit momentinin` proton magnit momentine qatnası</i>	<i>μ_e/μ_r</i>	<i>658,2106880(66)</i>
<i>Miyuon magnit momentinin` proton magnit momentine qatnası</i>	<i>μ_μ/μ_r</i>	<i>3,1833402(72)</i>
<i>Erkin elektronnin` g- faktori</i>	<i>$g_e=2(\mu_e/\mu_B)$</i>	<i>$2 \cdot 1,0011596567(35)$</i>
<i>Erkin myunnın` g-faktori</i>	<i>G_μ</i>	<i>$2 \cdot 1,00116616(31)$</i>

<i>Protonnin` giromagnit qatnasi</i>	$\nu_p = g_e/2m_p$	$2,6751987(75) \cdot 10^8 s^{-1} T^{-1}$
<i>Elektronnin` tinish xalattag`i massasi</i>	m_e	$9,109534(47) \cdot 10^{-31} kg$
<i>Protonnin` tinish halindag`i massasi</i>	m_p	$1,6726485(86) \cdot 10^{-27} kg$ $1,007276470(11) m.a.b$
<i>Neytronnin` tinish halindag`i massasi</i>	m_n	$1,6749543(86) \cdot 10^{-27} kg$ $1,008665012(37) m.a.b$
<i>Myuonnnin` tinish halindag`i massasi</i>	M_μ	$1,883566(11) \cdot 10^{-28} kg$ $0,11342920(26) m.a.b.$
<i>Proton massasının` elektron massasına qatnasi</i>	m_p/m_e	$1836,15152(70)$
<i>Miyun massasının` elektron massasına qatnasi</i>	m_μ/m_e	$206,768(47)$
<i>o`zgermes shamalar</i>	Belgileniwi	San ma`nisi
<i>Vod. Atomi mas.g elek. mas.qat.</i>	M_H/m_e	$1837,5$
<i>Vodorod atomının` massasi</i>	M_H	$1,6737 \cdot 10^{-27} kg$
Atom massalari :m. a. b. de		
<i>Vodorod</i>	1H	$1,007825036(11)$
<i>Deyteriy</i>	2H	$2,014101795(21)$
<i>Geliy</i>	4He	$4,002603267(48)$
<i>Avogadro turaqlisi</i>	N_A	$6,022045(31) \cdot 10^{23} mol^{-1}$
<i>Loshmid turaqlisi</i>	N_0	$2,687 \cdot 10^{19}$
<i>Faradey turaqlisi</i>	$F=N_Ae$	$96484,56(27) Kl \cdot mol^{-1}$
<i>Universal gaz turaqlisi</i>	R	$8,31441(26) J \cdot mol^{-1} K^{-1}$
<i>İdeal gazdın` molyar ko`lemi</i>	$V_m=RT_0/p_0$	$22,41383(70) \cdot 10^{-3} m^3 mol^{-1}$
<i>Boltsman turaqlisi</i>	$k=R/N_A$	$1,380662(44) \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$
<i>Gravitaciya turaqlisi</i>	G	$6,6720(41) \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$
<i>Jaqtılıqtın` vakkumdag`i tezligi</i>	C	$299792458(1,2) m \cdot s^{-1}$
<i>Elektr turaqlisi</i>	$\epsilon_0=(\mu_0 c^2)^{-1}$	$8,85418782(7) \cdot 10^{-12} F \cdot m^{-1}$
<i>Plank turaqlisi</i>	h $h/2\pi$	$6,626176(36) \cdot 10^{-34} J \cdot Gs^{-1}$ $1,0545887(57) \cdot 10^{-34} J \cdot s$

Stefan-Bol'tsman turaqlısı	$\sigma=(\pi^5/60)k^4/h^3c^2$	$5,67032(71) \cdot 10^{-8} \text{ Vt} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Vinnin`julıw nızamı turaqlısı	$b=\lambda_m T$	$0,0028978 \text{ m} \cdot \text{K}$
Ridberg turaqlısı	$R_\infty=me^4/8\varepsilon_1^2 h^3 c$	$10973731,77 (83) \cdot \text{m}^{-1}$
Vodorod ushın	R_H	10967760 m^{-1}
Deyteriy ushın	R_D	10970742 m^{-1}
İonlasqan geliy ushın	R_{He}	1097223 m^{-1}
Na`zik struktura turaqlısı	$\alpha=\mu_0 ce^2/2h\alpha^{-1}$	$0,0072973506(60)$ $137,03604(11)$
Bor radiusı	$\alpha_0=\varepsilon_0 h^2/\pi m e^2$	$0,52917706(44) \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Elektron radiusi mumtaz ma`nisi	$r_e=e^2/4\pi\varepsilon_0 m c^2$	$2,8179380(70) \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Tomsan shashrawı kesimi	$\sigma_T=8\pi r_e/3$	$6,65 \cdot 10^{-29} \text{ m}^2$

6-keste

Elementlerdin` ayırım qa`siyetleri

Element	Belgisi	Atom no'meri	Atom awirlig'i	Elektron konfiguratsiyasi	Tiykarg'i hal	Ionizatsiya potentsiali (vol'tlarda)	Eriw t°S		
Vodorod	N	1	1,008	1s	² S _{1/2}	13,595	-	-	-259,2
Geliy	He	2	4,003	1s ²	¹ S ₀	24,58	54,40	-	-271,4
Litiy	Li	3	6,940	2s	² S _{1/2}	5,39	75,62	122,42	180
Berilliy	Be	4	9,013	2s ²	¹ S ₀	9,32	18,21	153,85	1280
Bor	B	5	10,82	2s ² 2p	² P _{1/2}	8,30	25,15	37,92	2030
Uglerod	C	6	12,011	2s ² 2p ²	³ P ₀	11,26	24,38	47,87	>3500
Azot	N	7	14,008	2s ² 2p ³	⁴ P _{3/2}	14,53	29,59	47,37	-210
Kislorod	O	8	16,0	2s ² 2p ⁴	³ P ₂	13,61	35,11	54,89	-218,8
Ftor	F	9	19,00	2s ² 2p ⁵	² P _{3/2}	17,42	34,98	62,65	-219,6
Neon	Ne	10	20,183	2s ² 2p ⁶	¹ S ₀	21,56	41,07	63,5	-248,6
Natriy	Na	11	22,991	3s	² S _{1/2}	5,14	47,29	71,65	97,8
Magniy	Mg	12	24,32	3s ²	¹ S ₀	7,64	15,03	80,12	650

Paydalang'an a'debiyatlar

1. Yu.M.Shirokov, N.P.Yudin. Yadernaya fizika. M.1980.
2. A.İ.Naumov. Fizika atomnogo yadro i elementarnix chastits. M. 1984.
3. R.B.Bekjonov. Atom yadrosi ha'm zarralar fizikasi T.1995.
4. K.T.Teshaboev. Yadro va elementar zarralar fizikasi. T.1992.
5. K. N. Muxin. Eksperimentalnaya yadernaya fizika. V dvux tomax. Moskva. Energoatomizdat. 1998.
6. M.Ismoilov, P.Xabibullaev, M.Xaliulin. Fizika kursi. Toshkent, O'zbekiston, 2000y.
7. A. I. Naumov. Fizika atomnogo yadra i elementarnix chastits. Moskva. Prosveshenie. 2000.
8. A.B.Xolikulov, T.M.Muminov, Sh.X.Xushmurodov. Yadro va zarralar fizikasi. Samarkand, 2001 y.
9. E. Rasulov. U. Begimqulov Kvant fizika elektron O'quv qo'llanma I - qism.329 bet, 2005 y TDPU portalida: www.pedagog.uz yoki tdpu-INTRANET ped.
10. O. Qodirov, A. Boydedaev. Kvant fizika. Toshkent. O'zbekiston Milliy Kutubxonasi. 2005.
11. www.Ziyonet.uz sayti.
12. Alfa-,beta- I gamma spektroskopfiya(Pod red.K.Zigbana;Perevod s angl. M.; Atomizdat,1969. Bip 1-4.
13. Belkov A.A.,Bunyatov S.A.,Muxin K.N., Patariyakin O.O. Pion-pionniE vzaymodeystvie. M.; Energoatomizdat, 1985.
14. Karnawqov B.A., Petrov L.A. Yadro, udalionnie ot beta stsbilnosti. Energoatomizdat, 1981.
15. Okun L.B. Leptoni I kvarki. 2-izdanie. Pererabotan I dop.M.; Nauka-1990.
16. Perkins D. Vvedenie v fiziku viysokix energiy. 3-izdanie. Pererabotan I dop. Perevod s angliyskogo. M.; Energoatomizdat-1990.
17. Fizika elementarnix shastits I atomnogo yadra(EChAYa),T-10,Vipusk 4, Moskva-Atomizdat.1979.
18. Jumamuratov A. Yadro fizikasi (oqi w qollanba) No'kis-2013. NGPI.registr №11-3084.

MAZMUNI

Kirisiw.....	3
1 -bap. Atom yadrosının` qa`siyetleri.....	11
1.1 Yadronın` du`zilisi ha`m massası.....	11
1.2. Yadrolıq ku`shler.....	17
1.3. Paulidin` uliwmalasqan principi.....	22
II bap. Yadronın` massasın o`lshew usılları.....	24
2.1. Massalıq spektrometriya usılı.....	24
2.2. Yadrolıq reakciyalardıń` energetikalıq balansı.....	26
2.3. α - ıdıraw balansı.....	27
2.4. β -ıdıraw balansı.....	28
2.5 Qısqa tolqınlı radiospektroskopiya usılı.....	28
2.6. Neytronnıń` massasın o`lshew.....	29
III -bap. Yadro modelleri.....	32
3.1 Yadro modelleri.....	32
3.2 Tamshi modeli.....	35
3.3 Yadronın` baylanıs energiyası ushın Veytszekkerdin` yarım empirikalıq formulası.....	37
3.4 Fermi gaz modeli.....	40
IV-bap. Radioaktivlik qubılısı.....	43
4.1. Radioaktivlik.....	43
4.2 Gamma nurlanıw processı.....	46
4.3. Alfa nurlanıwshi yadrolardıń` qa`siyetleri.....	48
4.4. Veta nurlanıw ha`m onıń` payda bolıw sha`rtleri.....	52
4.4.1. Veta ıdırawlarda energiya qatnasların tu`sindiriw.....	54
4.4.2. Veta-turaqlılıq sha`rti ha`m ıdıraw tu`rlerin tu`sindiriw....	55
4.4.3 Veta-spektr ha`m neytrino.....	57
V-bap. Yadrolıq reakciyalar.....	62
5.1 Yadrolıq reakciyanıń` bolıw sha`rtleri.....	62
5.2. Yadro reakciyalari kesimi.....	66
5.3 Yadro reaksiyalarınıń` shıg`ıwı.....	68
5.4 Awır yadrolardıń` bo`liniwi. Shinjırlı reakciya.....	69
5.5. Neytronlardıń` ko`beyiw koefficienti. Prutoniydin` payda bolıwı..	73
5.6. Termoyadrolıq sintez reakciyası.....	75
VI-bap. Yadrolıq nurlanıwlardıń` zatlar menen o`z-ara ta`sirlesiwı.....	84
6.1 İonizacialıq energiya jog`altıw. Zaryadlang`an bo`lekshelerdin` ortalıqtan o`tiwi.....	84
6.2. Bo`lekshenin` ortalıqtı basıp o`tken joli.....	91

6.3	Radiatsiyalıq nurlanıw.....	92
6.4	Vavilov – Sherenkov nurlanıwı.....	94
VII-bap. Gamma nurlardıń ortalıqtan o'tıwı.....		99
7.1	Gamma-nurlardıń zatlar menen ta'sirlesiwı.....	99
7.2	Fotoeffekt qubılısı.....	100
7.3.	Kompton effekti qubılısı.....	103
7.4.	Elektron-pozitron jubınıń payda bolıwı.....	108
VIII- Bap. Elementar bo'leksheler fizikası.....		112
8.1.	Elementar bo'leksheler fizikasınıń rawajlanıw tariyxı.....	112
8.2	Birinshi elementar bo'leksheler ha'm olardıń qa'siyetleri	113
8.3	Neytrino ha'm antineytrino	118
IX-Bap. Antibo'leksheler ushın Feynman diagramması		120
9.1	Antibo'leksheler ushın Feynman diagramması, elektronnıń magnetlik momenti	120
X- Bap. Elementar bo'lekshelerdi izertlew		127
10.1	Elementar bo'lekshelerdi izertlewdiń ekinshi basqısı.....	127
10.2	μ -Mezonnıń zatlar menen ta'sirlesiwı	127
10.3	Leptonlıq zaryadtıń saqlanıw nızamı.....	129
10.4	μ -mezon	130
10.5	Kosmoslıq bo'lekshelerdi izertlew usılları. μ -mezonnıń jasaw waqtı.....	131
10.6	$(\mu - e)$ Idıraw processinde juplıqtıń saqlanıw nızamınıń bu'zılıwı.....	133
XI Bap. Elementar bo'lekshelerdi izertlewdiń fotoemulsiyalıq usılı		136
11.1	Elementar bo'lekshelerdi izertlewdiń fotoemulsiyalıq usılı.....	136
XII-Bap. π - mezonlar.		141
12.1	π - mezonlar ha'm onıń ashılıwları	141
12.2	π – mezonnıń jasaw waqtı.....	142
12.3	π – mezonlardı jasalma jol menen payda etiw jolları.....	143
12.4	Neytral π -mezon	146
12.5	π^0 -mezonnıń massası.....	149
12.6	π^0 –mezonnıń jasaw da'wiri.....	152
12.7	π -mezonlar-izotoplıq triplet.....	153
12.8	π -mezonlardıń spini ha'm juplıg'ı	160
XIII-Bap. K – mezonlar.		162
13.1	K – mezonlardıń qa'siyetleri.....	162
13.2	K-mezonnıń ashiliwi.....	163

13.3	θ^0 -mezon	163
13.4	X-mezon ha'm basqada K mezonlar.....	164
13.5	$(\Theta - \tau)$ mashqalası.....	165
13.6	K- Idıraw jag'dayında juplıqtın' saqlanbawı.....	166
XIV -Bap. Giperonlar.		167
14.1	Giperonlardin' ashiliwi.....	167
14.2	K-mezonlar ha'm giperonlar sistematiķası.....	169
14.3	Tan' qalarlıqtın' saqlanıw nızamlılıg'ı.....	171
14.4	K_1^0 ha'm K_2^0 -mezonlar. Biriktirilgen juplıqtın' saqlanıw nızamı..	177
XV -Bap. Tan' qalarlıq bo'leksheler		180
15.1	Tan' qalarlıq bo'lekshelerdin' yadrolar, nuklonlar ha'm mezonlar menen o'z-ara ta'sirlesiwleri. Giperyadrolardin' qa'siyetleri.....	180
15.2	Antinuklonlar ha'm antiyadro.....	187
15.3	Antiproton	188
15.4	Antineytron.....	190
15.5	Antinuklonlardin' zatlar menen o'z-ara ta'sirlesiwı.....	190
15.6	Antiyadro.....	192
15.7	Antigiperon.....	192
XVI-Bap. Glyuonlar		194
16.1	Glyuonlar qa'siyeti.....	194
16.2	Antikvarklar	194
Yadro fizikasına tiyisli fizikalıq shamalar ha'm olardin' san ma'nisleri		199
Paydalang'an a'debiyatlar.....		209
Mazmunı.....		210

ATOM YADROSİ HA'M ELEMENTAR BO'LEKSHELER FİZİKASI

**A.Jumamuratov,
M.A.Jumamuratov**

Oqıw qollanba A'jiniyaz atındag'ı No'kis ma'mleketlik pedagogikalıq institutı Oqıw-metodiykalıq Ken'esinin' 11.03.2016. N -9. qararı menen baspadan shıg'arıwg'a usınılg'an.
O'zbekistan Respublikası Joqarı ha'm orta arnawlı ta'lim wa'zirliginin' muwapıqlastırıwshı ken'esi ta'repinen baspadan shıg'arıwg'a usınıldı.

Basiwg'a ruxsat etilgen waqtı 15.09.2016 i.
Format 60x84 1/16. Ofset usılında basıldı.
Garniturası – «Times New Roman». Ko'lemi 13 b.t.
Ja'mi 500 nusqada. Buyırtpa № 32