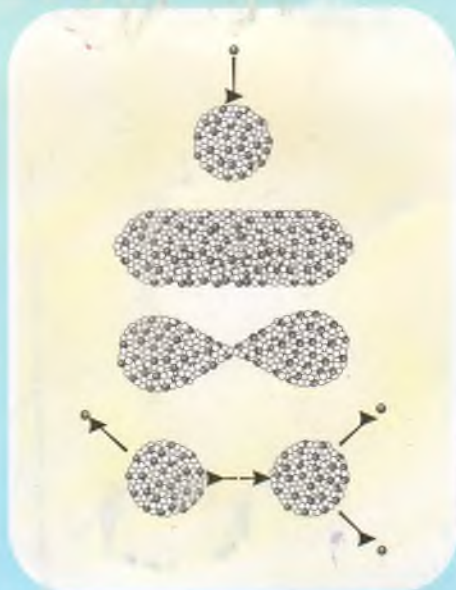


Ж.А. ТОШХОНОВА, Х.М. МАҲМУДОВА,
Б. НУРИЛЛАЕВ

УМУМИЙ ФИЗИКА КУРСИ

ЯДРО ВА ЭЛЕМЕНТАР
ЗАРРАЛАР ФИЗИКАСИ.
КВАРКЛАР



22.3.
7-71

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

НИЗОМИЙ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ
ПЕДАГОГИКА УНИВЕРСИТЕТИ

Ж.А.ТОШХОНОВА, Х.М. МАҲМУДОВА, Б.НУРИЛЛАЕВ

УМУМИЙ ФИЗИКА КУРСИ

ЯДРО ВА ЭЛЕМЕНТАР
ЗАРРАЛАР ФИЗИКАСИ.
КВАРКЛАР

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги
Ўқув методик Кенгаши Олий ўқув юртлири учун ўқув қўлланма
сифатида тавсия этган*



Тошкент
Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
“ФАН” нашриёти
2004

Ушбу «Ядро ва элементар зарралар физикаси. Кварклар» деб номланган ўқув қўлланма Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги Ўқув методик кенгашининг физика бўйича илмий комиссияси томонидан Олий ўқув юртларининг бакалавр босқичидаги талабалари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган.

Ўқув қўлланмадан физика, математика, табиий фанлар йўналишида таълим олувчи талабалар, шунингдек, академик лицей ва касб-хунар коллежлари (аниқ ва табиий фанлар йўналишидаги) ўқувчилари фойдаланишлари мумкин.

Тақризчилар:

доц. физ.-мат. фанлари номзоди З.Каноков

доц. физ.-мат. фанлари номзоди З.Ш.Каримов

Профессор Ж.А.Тошхонова таҳрири остида

Я $\frac{1604080000 - 3 - 820}{M355 (04) - 2004}$ Рез. 2004

© Ўзбекистон Республикаси
ФА «Фан» нашриёти, 2004.

ISBN 5-648-03031-2

Ўқув-таълим-тарбия даражасини юқори кўтариш учун янги ўқув адабиётларини яратиш биринчи даражали вазифа ҳисобланади. Шу нуқтаи назардан муаллифлар ўзларининг кўп йиллик иш тажрибалари асосида педагогика олий ўқув юртинининг физика ва математика йўналишлари бўйича таълим олувчи талабаларига мўлжалланган қатор ўқув қўлланмаларини яратмоқдалар. Шулардан бири «Ядро ва элементар зарралар физикаси. Кварклар» деб номланган ўқув қўлланмасидир.

Ушбу қўлланма олий ўқув юртинининг бакалавр босқичидаги талабалар учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этилади. Ундан физика, математика, табиий фанлар йўналишларида таълим олувчи талабалар, шунингдек, академик лицей ва касб-хунар коллежлари (аниқ ва табиий йўналишдаги) ўқувчи ва ўқитувчилари фойдаланишлари мумкин.

Муаллифлар, биринчидан, талабаларни ядро физикаси, элементар зарралар, кварклар бўйича махсус практикум, семинар машғулотлари учун ўзбек тилидаги қўлланма билан таъминланиши, иккинчидан, бўлажак бакалавр ўқитувчиларнинг ядро физикаси асослари, элементар зарралар, кварклар ва улар билан бевосита боғлиқ бўлган физик ҳодиса, қонун ва жараёнларни чуқурроқ ўрганишларига кўмаклашишни ўз олдидиларига мақсад қилиб кўйдилар.

Қўлланма тўққиз бобдан иборат бўлиб, унинг мазмуни Умумий физика курси дастурига мос келади.

Китобга махсус киритилган тўққизинчи бобда талабаларнинг «Ядро ва элементар зарралар физикаси ва кварклар» мавзусидаги билимларини назорат қилиш ва мустақамлаш мақсадида 130 дан ортиқ тест савол-жавобларининг намуналари келтирилган.

Тавсия этиладиган адабиётлар китобнинг охирида берилган.

Муаллифлар

СЎЗ БОШИ

Жамиятимиз ҳаётида содир бўлаётган жадал ўзгаришлар мустақил Республикамизнинг халқаро майдонга дадил кириб бораётганлиги ва иқтисодий баркамолликка интилиши таълим тизими ходимлари зиммасига ҳам қатор жиддий вазифаларни юкламоқда. Фан соҳаларининг ривожланиши, тадқиқотларнинг янги усул ва йўллари йилдан-йилга кўпайиши ахборотни узлуксиз ошириб боришга олиб келади. Бундай шароитда ўқув таълим-тарбия даражасини юқори кўтариш учун ўқувчи ва талабалар билим олишининг янги усул ва услубиятларини излаб топиш, янги ўқув адабиётларини яратиш лозим бўлади.

Шу нуқтаи назардан Низомий номли Тошкент Давлат Педагогика университети «Физика ва уни ўқитиш методикаси» кафедраси профессор-ўқитувчилари ўзларининг кўп йиллик иш тажрибалари асосида педагогика университети ва институтларининг физика ва математика йўналишлари бўйича таълим олувчи талабаларига мўлжалланган қатор ўқув қўлланмаларни яратмоқдалар. Шулардан бири «Ядро ва элементар зарралар физикаси. Кварклар» деб номланган қўлланма бўлиб, муаллифлар педагогика олий ўқув юртлари бакалавр ўқув дастурини асос қилиб олдилар. Бунда улар, биринчидан, талабаларни ядро физикаси, элементар зарралар, кварклар бўйича ўзбек тилидаги замонавий қўлланма билан таъминлашни, иккинчидан, бўлажак ўқитувчиларнинг ядро физикаси асослари, элементар зарралар, кварклар ва улар билан бевосита боғлиқ бўлган физик ҳодиса, қонун ва жараёнларни чуқурроқ ўрганишларига кўмаклашишни ўз олдиларига мақсад қилиб кўйдилар.

Қўлланма педагогика университети ва институтларининг физика-математика факультети талабалари учун мўлжалланган. Шунингдек, ушбу қўлланма кимё, биология, касб-таълим, факультетлари талабалари, аниқ ва табиий фанлар йўналишидаги академик лицей ва касб-хунар коллежларининг физика ўқитувчилари ва ўқувчилари ҳам фойдаланишлари учун тавсия этилади.

Қўлланма тўққиз бобдан иборат бўлиб, унинг мазмуни умумий физика курси дастурига мос келади.

Биринчи боб ядро физикасининг асосий тасаввурлари ва ядро таркиби ҳамда унинг асосий хоссаларига бағишланган.

Иккинчи боб радиоактивлик ҳодисаларига бағишланган.

Учинчи боб ядро реакцияларига тегишли барча ҳодисаларни ўз ичига олган.

Тўртинчи бобда ядро физикасининг экспериментал усуллари: санагичлар, қайд қилувчилар, масса-текширувчилар, дозиметрик асбоблар ва уларнинг қўлланилиши ҳақида ёзилган.

Қўлланманинг бешинчи бобида экспериментал ядро физикасига тегишли лаборатория ишларини бажаришга тавсиянома ёзилган бўлиб, унда дастлаб ишнинг мақсади сўнгра иш тўғрисида аниқ назарий маълумот баён этилади. Ишнинг назарияси унинг тавсифида етарли даражада тўла ёритилишига ҳаракат қилинган. Лекин талаба ишни бажаришда билиши зарур бўлган назарий билимларни, бу қўлланмадан ташқари ҳар бир лаборатория иши учун тавсия этилган дарслик ва ўқув қўлланмалардан фойдаланиб, ўзлаштириши мумкин.

Тавсия этиладиган адабиётлар китобнинг охирида келтирилган, уларга кўрсатма эса ҳар бир ишнинг тавсиянома-сида берилган. Лаборатория машқини бажариш учун керакли асбоб-анжомларнинг номлари, қурилманинг тавсифи, ишнинг бажарилиш тартиби ва ниҳоят, лаборатория ишининг охирида талаба ўзининг назарий ва амалий билимларини текшириб кўришлари учун назорат саволлари келтирилган.

Талабаларнинг вақтини тежаш мақсадида қўлланманинг охирида ядро физикаси бўлимида кўпроқ қўлланиладиган физик катталиклар қийматларининг жадваллари, уларнинг Халқаро системадаги ўлчов бирликлари келтирилган.

Таъкидлаб ўтмоқчимизки, ядро физикасидан қўйилган ва ишга туширилган лаборатория ишлари кафедрामизда илк бор қўйилиши. Бу ишларнинг қўйилишида Ўзбекистон ФАнинг Ядро физикаси институти «Радиацион физика» лабораторияси катта илмий ходими ф.м.ф. доктори Ф.О.Орифов раҳбарлигида кўпчилик ходимлар яқиндан ёрдам бердилар. Бу борада айниқса, ф.м.ф.н. катта илмий ходим Б.Қурбонов-

нинг қўшган хиссаси катта. У асбоб-ускуналарни ўрнатиб, ишга тушуришда ҳамда ишларни тавсифномасини ёзишда кўп хизмат қилган. Муаллифлар уларга ўз самимий миннатдорчиликларини билдирадилар.

Олтинчи бобда элементар зарралар тарихи қисқача баён этилади, шунингдек, зарралар, антизарралар, ўзаро таъсир кучлари ва сақланиш қонунлари қисқача таърифланади.

Еттинчи бобда ҳозирги замон назарий ва амалий физикасининг энг янги ютуқларини инобатга олган ҳолда элементар зарранинг тавсифи, ҳар бир элементар зарранинг хоссалари, квант сонлари ва тизимлари расм ҳамда шаклларда келтирилади.

Саккизинчи боб кваркларга бағишланган бўлиб, уларнинг систематикаси, кваркларнинг турлари, хоссалари ва квант сонлари кенг ёритилади. Шу билан бирга, нуклонларнинг ва мезонларнинг таркиби ва уларнинг «элементар» зарра эмаслиги кварк назарияси асосида ва мисоллар орқали тушунтирилади.

Тўққизинчи бобда ўқувчи ва талабаларнинг «Ядро ва элементар зарралар физикаси. Кварклар» мавзусидаги билимларини назорат қилиш, мустаҳкамлаш учун тест савол-жавоблари берилган.

Китобнинг охирида хулоса, илова ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати келтирилган.

1.1-§. Ядро физикаси ҳақида тушунча

Бугунги кунда атом физикаси кундалик ҳаётимизнинг сезиларли қисмига айланиб бормоқда. Табиий ва сунъий тайёрланган радиоактив элементлар (моддалар) нафақат илмий тадқиқотларда, балки медицина ва биологияда диагностика ва даволашда тобора кенгроқ қўлланилмоқда, зарядланган зарралар тезлатгичлари эса илмий тадқиқот ишларининг асосий қурилмаларидан бири ҳисобланади. Ядро энергиясидан фойдаланувчи атом электр иншоатлари ишлаб турибди. Бу илмий ва техникавий тафаккур ютуқлари олдида, атомистика ютуқларини кўриб, беихтиёр буларни ҳаммаси бирданига, тайёргарликсиз пайдо бўлганмикан деб ўйлаб қоласиз. Ваҳоланки, бундай эмас. Аслида эса бошланғич ноаниқ тасаввурлар, абстракт назария ва айтилган фикрларга мос келмаган тажрибалардан амалий натижалар ва техник ютуқларга эришиш учун дунё олимлари икки ёки уч авлодининг ярим асрдан ортиқ бетиним меҳнати зарур бўлди.

Олимлар биринчи бўлиб, 1896 йилда француз физиги Беккерель, радиоактивликнинг мавжудлигини кашф қилганда ядро физикасига тааллуқли жараёнларга дуч келдилар. Бирок, атом ядроси тушунчасининг ўзи эса кейинроқ пайдо бўлади. Радиоактивлик ҳодисасини кузатишларда бир қатор ноаниқликлар бор эди.

XIX аср кимё фани учун катта муваффақиятлар даври бўлди. Д.И.Менделеев (1834-1907) бизни ўраб турган оламдаги барча нарсаларни илк бор кимёвий элементларнинг тартибланган тизимига жойлаштирди. Шу давргача маълум бўлмаган элементлар Менделеевнинг даврий қонунидаги қондаларга асосланиб, кашф қилинди. Кимёгарлар жуда кўп янги органик ва аорганик моддаларни тайёрлашни, синтез қилишни ўрганиб олдилар. А.М.Бутлеров (1828-1886) кашф қилган органик бирикмаларнинг кимёвий тузилиши ҳақидаги назарияси борган сари ривожланиб борди. Бу ишларда кимёвий элементларнинг бошланғич зарраси – атомнинг мавжуд-

лиги асос бўлиб ҳисобланади. Уларнинг турли бирлашмалари натижасида барча турдаги кимёвий бирикмалар ҳосил қилинади. Бошқа томондан, ўша атомистик тасаввур М.В.Ломоносов (1711–1765) давридан бошланиб, физиклар томонидан газларнинг хусусиятлари ва газ қонунларини тушунтиришда қўлланилиб келинар эди. Кейинчалик ривожланган иссиқликнинг механик назарияси ҳам атом тасаввурига асосланар эди ва у жисмнинг исишини шу жисм таркибидаги атомларнинг катта тезликдаги ҳаракати туфайли юзага келади, деб тушунтирилар эди.

Бироқ, XX аср бошларигача физика ва кимё фанидаги бу барча ютуқлар ўзида алоҳида олинган атомнинг хусусиятларини ифодаловчи тажрибалар билан мустаҳкамланмаган эди. Атом ҳақидаги тасаввурлар ҳақиқатдан узоқ бўлиб, атомларнинг оғирлиги ва ўлчамлари ноаниқлигича қолган эди. Бир томчи сувнинг кўп сондаги H_2O молекулалардан ташкил топганлиги маълум бўлса ҳам аниқ қанча молекуладан иборатлиги маълум эмас эди. Атомларни ҳеч ким алоҳида ҳолда кузатмаган, уларнинг табиати ҳеч кимга маълум эмас эди. Ҳатто алоҳида атомнинг ички тузилиши ҳақидаги саволнинг ўзи ҳали пайдо бўлмаган эди.

Ниҳоят, атом оғирлиги ўлчанди, сони ва ўлчамлари аниқланди. Шунинг эслатиб ўтиш жоизки, атомларнинг ўлчами ва оғирлиги жуда кичик бўлиб, атомлар сони эса жисмнинг жуда кичик ҳажмида ҳам жуда кўп бўлган. Масалан, мис атомининг оғирлиги $10 \cdot 10^{-22}$ г, диаметри $1 \cdot 10^{-8}$ см бўлиб, 1 см^3 ҳажмда $8 \cdot 10^{22}$ та атом мавжуд бўлади.

Табиийки, атомларнинг сони ва ўлчамлари аниқлангандан кейин алоҳида атом қандай тузилган, унинг таркибий қисмлари қандай, у нималардан ташкил топган деган савол пайдо бўлади. Бу ерда ёруғлик ва электр соҳасидаги билимлар ёрдамга келади.

XIX асрнинг охиридаёқ ёруғликнинг электромагнит тебранишлардан иборатлиги аниқланган эди. Лекин электромагнит нурланиш чиқариш учун нурлантиригичда электр зарядлари ҳаракатланиши зарур.

Агар жуда кўп атомлардан тузилган бирор жисм ёруғлик чиқараётган бўлса, бу нурланаётган атомлар кичкинагина радиостанция каби ишлашлари ва улар электр зарядига эга бўлишлари керак. Атомдаги мусбат ва манфий зарядлар сони бир хил бўлиши керак, чунки одатдаги шароитда модда электр жиҳатидан нейтрал бўлади. Бу электр зарядлари микдори ҳақидаги маълумотларни электролиз ҳодисасини ўрганиш орқали олинди. Хар бир атом электролиз жараёнида бирор электр заряди микдорини олиб ўтади. Бу заряд микдори элементар заряд деб аталади ва у жуда кичик бўлиб, заряд микдори $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл ни ташкил этади.

Яккаланган (изоляцияланган) ҳолда фақат манфий зарядли зарралар, яъни биз ҳозирги вақтда уларни *электронлар* деб атайдиган зарралар мавжуд бўлади. Алоҳида олинган элементар мусбат зарядлар мавжуд бўлмайди ва улар доимо одатдаги атомлар билан боғланган бўлади.

Бу ерда XIX, XX асрлардаги атом физикасининг тажриба натижалари ҳақида гапирилаётганини эслатиб ўтамиз. Кейинчалик бу маълумотлар кенгайди, маълум маънода ўзгарди ҳам. Манфий электрондан ташқари мусбат электрон-позитроннинг мавжудлиги аниқланди; атом ичида зарядланган зарралардан ташқари зарядланмаган элементар зарра – *нейтрон* нинг бўлиши аниқланди.

Электрон кашф қилингандан сўнг, тез орада унинг массаси ўлчанди. Электроннинг массаси мавжуд бўлган атомларнинг энг енгили ҳисобланган водород атоми массасидан 1840 марта кичик эканлиги тажрибада аниқланган. Шундай қилиб атом ичида бир хил микдорда мусбат ва манфий зарядлар бўлади. Унда манфий зарядлар эркин ҳаракатлана олади, мусбатлари эса атомнинг асосий массасини ташкил қилади. Лекин, барибир атом қандай тузилган? Атомдаги мусбат ва манфий зарядлар текис аралашган ҳолда тақсимланганми ёки атомда бирор марказ бормикан, қандайдир тартибланган тузилиши мавжуд эканми? Бу саволларни XIX аср охири ва XX аср бошларигача инсон томонидан яратилган асбоблардан фарқли, аниқлиги юқори бўлган асбобга эга бўлиш керак эди. Бундай асбоб топилди. У радиоактив емирилиш ҳодисасини ўрганиш жараёнида топилди.

1.2-§. Ядро – мураккаб зарра. Ядронинг таркиби ва асосий хусусиятлари

Атомнинг ядро моделига биноан атом мусбат зарядланган жуда кичик ўлчамли (10^{-13} см) атомнинг марказидан ўрин олган *ядродан* ва ядро атрофида кобиқларга группалашиб, 10^{-8} см радиусли сферани тўлдириб ҳаракатланадиган манфий зарядланган электронлардан иборат.

Барча ядролар эса элементар зарралар деб аталувчи *протонлар* ва *нейтронлардан* ташкил топган. Бу зарралар *нуклонлар* деб ном олган. Ядродаги протонлар сони Z атом кобиқидаги электронлар сонига ва Менделеев жадвалидаги элементнинг тартиб номерига тенг бўлади. Ядродаги *протонлар* ва *нейтронларнинг* умумий сони A билан белгиланади ва *у масса сони* деб аталади. Бундан келиб чиқадики, ядродаги нейтронлар сони $N=A-Z$ бўлади. Масалан, Al нинг масса сони 27 га, Менделеев жадвалидаги тартиб номери 13 га тенг. Бундан келиб чиқадики, Al ядроси 13 та протондан ва $27-13=14$ та нейтрондан иборат. Барча ядролар учун $N \geq Z$ (${}_1H^1$, ${}_2He^3$ бундан истисно). Менделеев даврий системасининг биринчи ярмида жойлашган енгил ядролар учун $N/Z \approx 1$. Даврий системанинг охирида жойлашган элемент атомларининг ядроларида протонларга нисбатан нейтронлар кўп. Улар учун $N/Z \approx 1,6$.

Турли ядроларни белгилаш учун махсус символика қўлланилади: Кимёвий элемент ядроси берилган Z ва A орқали ${}_Z^AX$ ва ${}_Z^AX^A$ деб белгиланади (биз келажакда ${}_Z^AX^A$ кўринишдаги белгидан кўпроқ фойдаланамиз), бу ерда X – элемент символи. Масалан, ${}_{13}Al^{27}$ алюминий ядросини ифодалайди.

Ядродаги протонлар ва нейтронлар сони билан берилган атомни *нуклид* деб аташ қабул қилинган. Протонлар сони бир хил, нейтронлар сони ҳар хил бўлган нуклидлар *изотоплар* деб аталади. Масалан, водород учта изотопга эга:

${}_1H^1$, ${}_1H^2$ (дейтерий), ${}_1H^3$ (тритий), гелий изотоплари: ${}_2He^3$, ${}_2He^4$, уран изотоплари: ${}_{92}U^{235}$, ${}_{92}U^{238}$.

Барча маълум кимёвий элементларнинг 300 га яқин барқарор (стабил) ва 2000 га яқин радиоактив изотоплари мавжуд.

Ўз-ўзидан емирилувчи нуклидлар *радиоактивлар* дейилади. $Z \geq 84$ ҳамда $A \geq 210$ бўлганда стабил нуклидлар мавжуд бўлмайди. Радионуклидларнинг ядролари емирилиб, зарралар ва электромагнит нурланиш чиқаради. Емирилиш жараёнида ядрода атом номери Z ҳам, масса сони A ҳам ўзгариши мумкин. Барча ўзгаришлар энергия, импульс, импульс моменти, электр заряди ва бошқа катталикларнинг сақланиш қонунига биноан содир бўлади.

Масса сони бир хил бўлиб, заряд сони билан фарқ қиладиган нуклидлар *изобарлар* деб аталади. Масалан, ${}^1_1\text{H}^3$ ва ${}^2_2\text{He}^3$, ${}^4_2\text{Be}^7$ ва ${}^3_3\text{Li}^7$, ${}^5_5\text{B}^{11}$ ва ${}^6_6\text{C}^{11}$, ${}^6_6\text{C}^{13}$ ва ${}^7_7\text{N}^{13}$, ${}^7_7\text{N}^{15}$ ва ${}^8_8\text{O}^{15}$, ${}^{14}_{14}\text{Si}^{29}$ ва ${}^{15}_{15}\text{P}^{29}$ ва ҳ.к. – изобарлардир.

Атом ядросининг массаси амалда бир бутун атом масса-сига деярли тенг, чунки атомдаги электронларнинг массаси кичик. Электроннинг массаси m_e , протон массаси m_p нинг $1/1836$ ни ташкил этади.

Нейтрон массаси m_n ва протон массаси m_p атом масса-ларининг углерод массаси (м.а.б.) да:

$$m_n = 1,00865017 \text{ м.а.б.};$$

$$m_p = 1,007276470 \text{ м.а.б.};$$

Нейтрон ва протоннинг масса сонлари бир хил ва 1 га тенг. Ядро – спинга эга, хусусий ҳаракат микдорининг моменти (импульс моменти). У алоҳида олинган нуклонлар спинларининг қўшилишидан ташкил топади. Ҳар бир нуклоннинг спини $\hbar/2$ га тенг. Жуфт сондаги нуклонлардан ташкил топган ядро спинлари (\hbar бирликларида) бутун сон ёки ноль бўлади. Тоқ сондаги нуклонлардан ташкил топган ядро спинлари (\hbar бирликларида) яримталиқ сон бўлади.

Ядро ўлчами – асосий характеристикалардан бири ҳисобланади. Атом ядроси кескин белгиланган чегарага эга эмас. Бу ҳол нуклонларнинг тўлқин хоссага эга бўлишлари билан боғлиқ. Шунинг учун ядро ўлчами шартли маънога эга. Ядро ҳажми ядрогаги нуклонлар сони A га пропорционал. Агар ядрони радиуси R бўлган сфера деб қабул қилинса, R ни қуйидаги эмпирик формуладан ҳисоблаб топилади:

$$R = R_0 A^{1/3},$$

бундаги $R_0 = (1,3 \div 1,7) \cdot 10^{-15}$ м.

Энг оғир ядролар, масалан уран ядросининг радиуси 10^{-14} м га яқинлашади.

Ядро зичлиги ρ . Ядро моддасининг ўртача зичлиги

$$\rho = \frac{M_y}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

формуладан топилади. Бунда M_y – ядро массаси. Агар m_n – нуклон массаси деб олинса, унда $M_y = m_n \cdot A$ бўлади. Ядро массасининг ўртача зичлиги ўзгармас бўлиб, ядродаги нуклонларнинг A масса сонига боғлиқ эмас; $\rho = 1,3 \cdot 10^{17}$ кг/м³. Бу анча катта қиймат. Демак, ядронинг зичлигига яқин келадиган зичликнинг ўзи йўқ.

1.3-§. Ядро кучлари

Ядро таркибидаги иккита протон орасида Кулон қонунига асосан:

$$F = \frac{e e}{4\pi \epsilon_0 r^2} \approx 34 \text{ Н}$$

бўлган ўзаро итариш кучи таъсир қилади. Оғир ядроларда бир неча ўнлаб протонлар мавжуд. Шунинг учун уларда Кулон кучининг миқдори бир неча минг ньютонга етади. Бундай кучлар таъсирида ядродаги протонлар тарқаб кетиши лозим эди. Ваҳоланки, барқарор ядролар мавжуд. Балки ядролар барқарорлигининг сабабини нуклонлар орасидаги ўзаро тортишиш гравитацион кучларнинг таъсири билан тушунтириш мумкин. Бироқ, икки протон орасидаги гравитацион кучнинг миқдори

$$F_{\text{гп}} = \gamma \frac{m_p \cdot m_p}{r^2} \approx 28 \cdot 10^{-36} \text{ Н}$$

га тенг, яъни гравитацион куч Кулон кучидан тахминан 10^{36} марта кичик. Шунинг учун барқарор ядроларнинг мавжудлигини ядро ичида тортишиш характериға эға бўлган электромагнит кучларига нисбатан юзлаб марта қудратли ядровий кучлар билан тушунтирилади. *Ядро кучларининг хусусиятла-*

ри тажрибаларда яхшигина ўрганилган. Бу хусусиятларнинг асосийлари куйидагилардан иборат:

1) Нуклонлар орасидаги масофа $r = (1 \div 2) \cdot 10^{-15}$ м бўлганда ядро кучлари *тортишиш* характерига, $r < 1 \cdot 10^{-15}$ м масофаларда эса *итаришиш* характерига эга бўлади.

$r > 2 \cdot 10^{-15}$ м масофаларда ядровий кучларнинг таъсири деярли сезилмайди.

2) Ядро кучларининг миқдори ўзаро таъсирлашаётган нуклонларнинг зарядли ёки зарядсиз бўлишига боғлиқ эмас, яъни икки протон, икки нейтрон ёки протон ва нейтрон орасидаги ўзаро таъсирнинг катталиги бир хил бўлади.

3) Ядро кучлари ўзаро таъсирлашадиган нуклонлар *спинларининг йўналишига* боғлиқ. Бунга иккита нуклондан ташкил топган система мисол бўла олади. Нейтрон ва протоннинг спинлари фақат параллел бўлган тақдирдагина система боғлиқ бўлади, яъни дейтерий (${}_1\text{H}^2$) ҳосил бўлади. Спинлари антипараллел бўлган нейтрон ва протон ${}_1\text{H}^2$ ни ҳосил қилмайди.

4) Ядро кучлари тўйиниш хусусиятига эга, яъни ҳар бир нуклон ядрогаги барча нуклонлар билан эмас, балки ўзининг атрофидаги чекли сонли нуклонлар билан бир вақтнинг ўзида таъсирлаша олади. Ядро кучларининг тўйиниши – улар *алмашинувчи кучлар* эканлигидан далолат беради. Умуман, алмашинувчи кучлар квантмеханик тушунчадир. Бунда икки зарра бир-бири билан учинчи хил заррани доимо алмашиб туриш воситасида боғланган бўлади.

Замонавий тасаввурларга асосан, ядрогаги нуклонлар бир-бири билан π мезонлар алмашиб туради. π мезонлар уч хил бўлади: мусбат (π^+), манфий (π^-) ва нейтрал (π^0). Протон ва нейтроннинг ўзаро таъсирлашиши куйидагича амалга ошади: p-протон π^+ чиқариб, ўзи n-нейтронга айланади, π^+ ни нейтрон ютади ва у протонга айланади. Бу жараённи схематик тарзда



шаклида ёзиш мумкин. Бунда протон ва нейтрон орасида заряд алмашиниши рўй беради. Протон ва нейтрон орасидаги ўзаро таъсир π^0 воситасида ҳам рўй бериши мумкин, лекин бу ҳолда нуклонлар заряд алмашмайди:

$$p + n \leftrightarrow p + \pi^0 + n \leftrightarrow p + n$$

Протон ва протон ёки нейтрон ва нейтрон орасидаги ўзаро таъсир ҳам π^0 воситачилигида ўтади:

$$p + p \leftrightarrow p + \pi^0 + p \leftrightarrow p + p \quad \text{ёки}$$

$$n + n \leftrightarrow n + \pi^0 + n \leftrightarrow n + n$$

Шундай қилиб, нуклонлар доимо мезон чиқариб ва ютиб туради, яъни мезонлар булути билан қопланган бўлади. Хусусан, нейтрон ўз умрининг маълум қисмини $p + \pi^-$ ҳолатда (бундай ҳолат *виртуал ҳолат* дейилади) ўтказди. π^- нинг орбитал ҳаракати туфайли нейтрон манфий магнит моменти-га ($\mu_n = -1,91 \mu_n$ эканлигини эсланг) эга бўлади. Худди шуниндек, протон маълум муддат $n + \pi^+$ виртуал ҳолатда бўлади. Бу вақт ичида π^+ орбитал ҳаракатда қатнашади. Шунинг учун протоннинг магнит моменти μ_p га эмас, балки каттароқ қий-матга, яъни $2,79 \mu_n$ га тенг.

1.4-§. Ядронинг томчи ва қобик моделлари

Шу пайтгача атом ядросининг барча хоссаларини бирдай тушунтира оладиган бир бутун тугалланган назария пайдо бўлмаган. Бунинг сабаби:

1. Ядрода нуклонлар орасидаги таъсир кучларига тегишли билимларнинг етарли эмаслиги; 2) кўп сонли жисмлар (ядродаги A дона нуклонлар) квант механика масаласининг ҳаддан ташқари мураккаблигида-дир. Аҳвол яна шу билан мураккаблашадикки, нуклонлар орасидаги ўзаро таъсир кучлари фақат улар орасидаги *масофагагина* боғлиқ бўлиб қолмай, балки уларнинг ҳаракат *тезликларига*, шунингдек, спинлар йўналишига ҳам боғлиқдир.

Ҳатто, агар нуклонлар орасидаги ўзаро таъсир кучлари тўлалигича маълум бўлганда ҳам, ядро назариясида *кўп сон-даги жисмларнинг квант механик масаласини* ҳал қилиш керак бўларди.

Бундай масалани ҳозирги замон математикаси (ҳатто учта ўзаро таъсирлашувчи жисм учун ҳам) ҳал қилишга ожиз. Ма-

салан, агар ядро A та нуклонлардан ташкил топган бўлиб, уларнинг спинларини ҳисобга олмаганда ядро ҳолати $3A$ фазовий координаталарга боғлиқ бўлган $\psi(r_1, r_2, \dots, r_A)$ тўлқин функцияси билан аниқланади. Бу функция $3A$ эркин ўзгарувчилар Шредингер тенгламасидан аниқланган бўларди. Нуклонлар спинини ҳисобга олиш бу масалани кўз ўнгимизга келтириб бўлмайдиган даражада мураккаблаштирган бўларди. Шунинг учун ҳам ядро физикасида турли хил ядро моделларидан фойдаланилади. Уларнинг ҳар бири чегараланган ядро ҳодисаларинигина тушунтира олади. Ядро моделлари ядро ҳодисаларининг ҳақиқий назариясини бермайди, лекин ядро физикасининг турли соҳаларидаги ҳодисаларни системалаштиришга, энг асосийси янгиларини олдиндан кўрсатиш имконини беради. Уларнинг келтирадиган фойдалари ҳам ана шунда. Бу борада тажрибалардан маълум бўлган ҳодисаларни тушуниш янгиларини очилишини олдиндан хабар бериш бўйича ҳайратда қолдирадиган даражада кўп нарсага эришилган.

Ядро моделларини *бир заррали* (қобик), коллектив (томчи) ҳамда умумлашган моделларга ажратиш мумкин.

Ядронинг томчи модели

Энг оддий ва тарихан биринчи яратилган моделлардан бири *ядронинг томчи моделидир*. У 1939 йилда Я.И.Френкель томонидан таклиф қилинган эди. Нильс Бор ва бошқа олимлар уни ривожлантирган эдилар.

Томчи моделида ядро ўзини сиқилмайдиган зарядланган суюқлик томчисига ўхшаш тутади. Томчини сфера кўринишида деб ҳисоблаб унинг радиусини

$$R = r_0 A^{1/3} \quad (1.1)$$

дан топилади. Бу ерда r_0 ўзгармас катталиқ бўлиб, оғир ядролар учун

$$r_0 = (1,2 \div 1,5) \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad (1.2)$$

оралиқда деб олинади. Булардан «Ядро суюқлиги»нинг баъзи параметрларини аниқлаш учун фойдаланилади. Ядродаги нуклонлар концентрацияси учун:

$$n = \frac{A}{4\pi R^3/3} = \frac{3}{4\pi r_0^3} = 0,87 \cdot 10^{38} \approx 10^{38} \text{ см}^{-3}$$

ядродаги модда зичлиги учун

$$\rho = nm \approx 1,45 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3,$$

бунда m – нуклон массаси; $r_0 = 1,4 \cdot 10^{-13}$ см деб қабул қилинган. Нуклонлар орасидаги ўртача масофа

$$l = \sqrt[3]{\frac{4\pi R^3}{3A}} = \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}} \cdot r_0 \approx 2,3 \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

бўлади.

Энг энгил ядроларни ҳисобга олмаганда нуклонлар концентрацияси, модда зичлиги, нуклонлар орасидаги масофа амалда барча ядролар учун бир хил. Бу ҳол томчи моделида ядро худди суюқлик томчиси каби сиқилмайди деган тасаввурга асос бўла олади.

«Ядро суюқлигининг» сиқилувчанмаслиги ядро нуклонлари орасида жуда кучли ўзаро таъсир мавжудлигини кўрсатиб беради. Шунинг учун ҳам томчи модели коллектив модел қаторига киритилади. Томчи модели ядродаги зарраларнинг боғланиш энергияси учун ярим эмпирик формулани келтириб чиқариш имкониятини берди, яъни

$$E_{\text{бог}} = a_{\text{ядро}} A - a_{\text{сирт}} A^{2/3} - a_{\text{кул}} Z^2 A^{-1/3} - a_{\text{сим}} (A - 2Z)^2 A^{-1} + a_{\text{жуфт}} A^{-\epsilon} \delta \quad (1.3)$$

Вейцеккер формуласи деб аталувчи бу формуладан муваффақиятли фойдаланилади. Бундаги кўрсаткич ϵ учун турли адабиётларда $+1/3$ дан то 1 гача қиймат қабул қилинади. δ нинг қиймати:

$$\delta = \begin{cases} +1 & \text{жуфт-жуфт ядролар учун,} \\ 0 & \text{ток ядролар учун} \\ -1 & \text{ток-ток ядролар учун} \end{cases}$$

га тенг. (1.3) формуладаги коэффицентлар учун тажриба натижалари билан энг яхши шароит юзага келадиган қийматлар танланади:

Ҳозирги пайтда қуйидаги қийматлар қабул қилинган

$$\begin{aligned} a_{\text{ядро}} &= 15,75 \text{ МэВ}, a_{\text{сирт}} = 17,8 \text{ МэВ}, a_{\text{кул}} = 0,710 \text{ МэВ}, \\ a_{\text{сим}} &= 23,7 \text{ МэВ}, a_{\text{жуфт}} = 34 \text{ МэВ}, \varepsilon = 3/4. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Ядронинг томчи модели (1.3) формуланинг биринчи учта ҳадининг физик маъносини осонгина аниқлай олади.

(1.3) ва (1.4) даги коэффициент $a_{\text{ядро}}$ – ядронинг юзага келишидаги энергияни характерловчи катталиқ ҳисобланади.

Ядронинг томчи модели кейинги икки ҳад назарда тутилганда ядронинг боғланиш энергиясининг Z заряд сони ва A масса сонига боғлиқлигини яхшигина тушунтира олади.

Бу моделга асосан уйғонмаган ҳолатдаги ядро сферик шаклга эга деб ҳисобланади. Бу ҳол оғир ядроларнинг бўлиниш жараёни ва бошқа кўплаб ҳодисаларни тушунишга имкон берган.

Ядронинг қобиқ модели

Ядронинг қобиқ модели Мария Гепперт-Майер ва бошқа олимлар томонидан ривожлантирилган. Бу моделга асосан нуклонлар *бир-бирларига боғлиқ бўлмаган ҳолда марказий-симметрик майдонда ҳаракатланадилар* деб қабул қилинади. Бунга мувофиқ (атом энергияси сатҳига ўхшаш) *дискрет энергетик сатҳлар* мавжуд бўлиб, улар Паули принципини назарда тутган ҳолда нуклонлар билан тўлдирилган бўлади (нуклонларнинг спини $1/2$ га тенглигини эслатиб ўтамыз). Бу энергетик сатҳлар *қобиқларга* группалашадилар. Ҳар бир қобиқда муайян сондаги нуклонлар жойлашган бўлади. Нуклонлар билан тўлиқ тўлдирилган *қобиқ* алоҳида *мустақкам* бўлади. Тажрибалардан маълумки ё протонлар сони, ё нейтронлар сони, (ёки уларнинг иккаларининг сони) 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 га тенг бўлган ядролар алоҳида *мустақкам* ҳисобланади. Бундай ядролар *сеҳрли ядролар* деб ном олган.

Қобиклардаги энергетик сатҳларнинг жойлашиши Шредингер тенгласини ечиш билан аниқланади. Бу ҳол қуйидаги жадвалда кўрсатмали қилиб берилган.

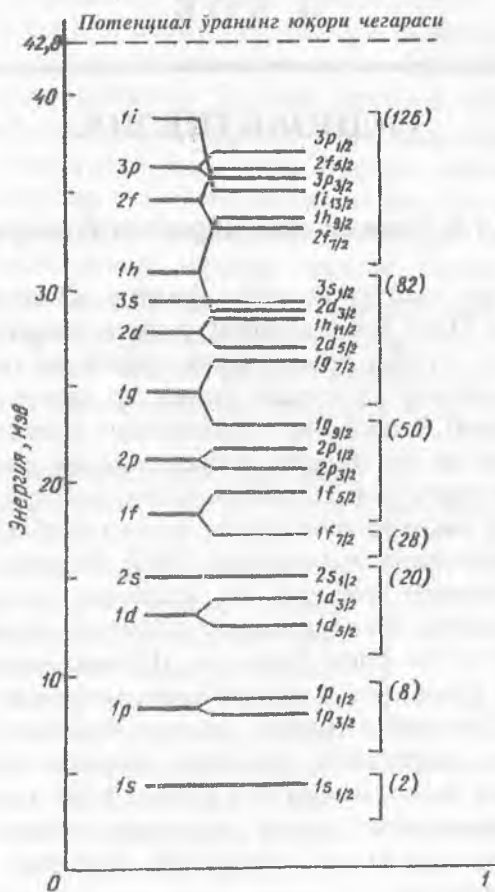
1.1-жадвал

Қобик	Ҳолатлар	Қобикдаги нуклонлар сони	Ядродаги нуклонлар сони
I	$1s_{1/2}$	2	2
II	$1p_{3/2} 1p_{1/2}$	$4 + 2 = 6$	8
III	$1d_{5/2} 1d_{3/2} 2s_{1/2}$	$6 + 4 + 2 = 12$	20
IV	$1f_{7/2} 1f_{5/2} 2p_{3/2} 2p_{1/2} 1g_{3/2}$	$8 + 6 + 4 + 2 + 10 = 30$	50
V	$1g_{7/2} 2d_{5/2} 1h_{11/2} 2d_{3/2} 3s_{1/2}$	$8 + 6 + 12 + 4 + 2 = 32$	82
VI	$2f_{7/2} 1h_{9/2} 1i_{13/2} 3p_{3/2} 2f_{5/2} 3p_{1/2}$	$8 + 10 + 14 + 4 + 6 + 2 = 44$	126

Ҳар бир қаторда муайян қобикқа кирувчи (тўғри келувчи) нуклонларнинг ҳолатлари келтирилган.

Қобикларни номерлаш I қобикдан бошланиб кейинги келувчи қобикларга қараб ортиб боради. Учинчи устунда ҳар бир ҳолатдаги (ҳар бир қобикдаги) нуклонлар сони келтирилган. Охириги устунда ядродаги нуклонларнинг (алоҳида протон, алоҳида нейтронларнинг) тўлиқ сони келтирилган.

Энергетик сатҳларнинг ва уларнинг қобикларга гуруллашиши шунингдек 1-расмда келтирилган. Жадвал ва расм истаган нуклон типига: протонларга ҳам, нейтронларга ҳам тўғри келади.



1-расм. Энергетик сатҳлар ва уларнинг қобикларга группалашishi.

РАДИОАКТИВЛИК

2.1-§. Радиоактив емирилиш турлари

1896 йилда машҳур француз физиги А.Беккерель, кейин эса Мария ва Пьер Кюриларнинг тадқиқотлари туфайли табиатда мавжуд бўлган уран, торий, радий ва полоний каби энг оғир элементлар ўз-ўзидан элементар зарралар ёки энгил ядролар чиқариб бошқа бир элементнинг изотопига айланиши кузатилган ва бу жараён *радиоактивлик ҳодисаси* деган ном олган. Фандаги ҳар қандай янгилик сингари, бу янгилик ҳам кўпчилик машҳур олимларни қизиқтириб қўйди. Олимларнинг изланишлари натижасида 1912 йилгача 30 га яқин радиоактив элемент топилди ва уларнинг хоссалари ўрганилди. Ўша пайтда Менделеевнинг элементлар даврий системасида фақат 12 та ўрин бўш эди. Шунинг учун янги 30 та элементни бу ўринларга жойлаштириш масаласи муаммо бўлиб қолди. Шу вақтда инглиз физиги Ф.Содди (1877-1956) изотопларнинг мавжудлиги ҳақидаги фаразни илгари сурди ва шундан сўнг бу муаммони ҳал қилиш йўли топилди.

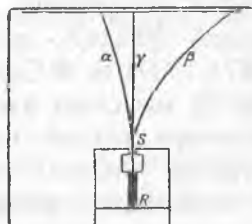
Радиоактивликнинг асосий хусусияти – бир элементнинг ташқи таъсирсиз ўз-ўзидан емирилиб, мустақил бошқа элементга айланишидир.

Уран ва баъзи бошқа оғир элементларнинг емирилиши кашф этилганидан сўнг орадан кўп вақт ўтмай, бу емирилишларда юзага келадиган нурланишларнинг мураккаблиги, уларнинг таркибида альфа, бета, гамма – нурлар деб аталувчи элементар зарралар ва ҳатто энгил ва ўрта ядролар борлиги аниқланди. Бу зарраларни магнит майдонида текшириш қулайдир. Улардаги мусбат зарралар бир томонга, манфий зарралар иккинчи томонга оғади, зарядсиз нурланишлар эса мутлақо бурилмайди.

2-расмда радиоактив моддани кучли магнит майдонига жойлаштирилганда рўй берадиган манзара тасвирланган. Бунда бир группа нурлар чап томонга оғган. Бу мусбат электр зарядли зарралар оқимидир. Бундай зарралар оқими *альфа* (α) зарралар деб аталади. α -зарралар бир хилда оғади, шунинг учун уларнинг энергияси бир хилда бўлади, дейиш мумкин. Бошқа группа нурлар эса, ўнг томонга оғади. Бу манфий зарядланган зарралар бўлиб, уларнинг дасталари бир-биридан анча фарқ қилади, демак, мазкур зарралар турли хил энергияда тарқалишар экан. Уларни *бета* (β) зарралар деб аталади. Текширишлар бу нурларнинг электронлар оқими эканлигини кўрсатади. Учиб чиқаётган электронлар хилма-хил тезликка эга бўлиб, тезликларининг қиймати $\approx 10^9$ см/с тартибда бўлади.

Юқоридаги мулоҳазалардан кўриниб турибдики, бета- зарралар энг тез электронлар экан.

Ниҳоят, магнит майдонда мутлако оғмай ўтадиган учинчи группа нурлар *гамма нурлар* деб аталади. Магнит майдонда ўзаро таъсирнинг мавжуд бўлмаслиги гамма нурлар ё электр зарядисиз зарралар оқими, ё соф тўлқин ҳодисаси – электромагнит нурланишдан иборатлигини англатади. Кейинчалик, гамма нурларнинг ёруғлик тўлқинларига ўхшаб интерференция ва дифракция ҳосил қилишлиги тажрибалар ёрдамида бевосита кўрсатиб берилди. Бу ҳол гамма нурларнинг табиати рентген нурларига ўхшаш бўлган электромагнит тўлқинлардан иборатлигини кўрсатади. Гамма нурларнинг рентген нурларидан асосий фарқи уларнинг тўлқин узунлиги рентген нурларининг тўлқин узунлигига қараганда қисқароқ бўлишидир. Лекин юқорида зикр этилган нурлар ўртасидаги асосий фарқ уларни юзага келтирувчи манбаларнинг турлилигидадир. Шунинг учун ҳам у номлар сақланади. Ядродан ташқарида вужудга келадиган нурларни *рентген нурлари* деб аталади. Гамма- нурлар ядродан чиқади. Гамма-нурларни радиоактив емирилишнинг



2-расм. Радиоактив нурланиш турларини аниқлашга доир схема.

иккинчи даражали маҳсули деб ҳисоблаш мумкин. Улар кўпинча альфа- ёки бета- зарралар билан бирга чиқади. Натижада радиоактив элемент ўзгаради. Кўпинча бундай ўзгаришдан вужудга келадиган изотоп уйғонган ҳолда бўлади. Бу ҳол уйғонган ядро энергияси нормал ҳолатдаги ядро энергиясига нисбатан кўпроқ эканидан далолат беради.

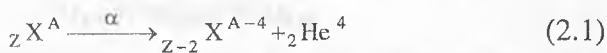
Мазкур ортикча энергия гамма нурлар деб аталувчи электромагнит нурланиш шаклида чиқиб кетади. Бу жараён уйғонган ҳолатдаги атомда содир бўладиган жараёнга ўхшашдир. Ядронинг нормал ҳолатга қайтиши ёруғлик чиқариши билан бирга юз беради. Ядродаги мавжуд энергия атомнинг сиртқи кобиғидаги энегиясидан қарийб миллион марта ортик бўлгани учун ҳам радиоактив моддалар тарқатадиган гамма- нурлар ўрта ҳисобда ёруғлик тўлқинлари энергиясидан деярли миллион марта зиёд энергияга эга бўлади.

Радиоактив моддаларнинг гелий ядроси ёки электронни ўзидан чиқаришини аниқлаб, бундай нурланишнинг натижаси қандай бўлади? - деган савол туғилиши мумкин. Э.Резерфорд (1871-1937) ва Ф.Содди бу борада биринчи тадқиқотчи эдилар: биз бу масалани ядронинг тузилиши ҳақидаги ҳозирги замон тасавури нуқтаи назаридан таҳлил қиламиз. Гапни альфа-зарралар чиқариб емириладиган *радийдан* бошлаган маъқул. Бу элементнинг атом номери 88 ва масса сони 226 дан иборат бўлгани учун унинг ядроси 88 та протон ва 138 та нейтрондан тузилган. Агар ядродан альфа- зарра, яъни 2 та протон ва 2 та нейтрон чиқса, қолган элементнинг атом номери 86 ва масса сони 222 бўлади. Даврий жадвалда 86 номерли элемент инерт газлар (гелий, неон, аргон, криптон ва ксенон) группасига киради ва у *радон* деб аталади.

Шундай қилиб, альфа- зарраларнинг нурланиши туфайли радий радонга айланади. Бу жараён шу билан тўхтаб қолмайди, у яна давом этади. Радон ҳам альфа- зарралар тарқатади. Бунинг натижасида атом номери 84 ва масса сони 218 бўлган *полоний* элементи ҳосил бўлади. Изотопларнинг мавжудлиги аниқланишига қадар бу модда радий-А деб аталар эди. Бу ядро ўз хусусиятига кўра радиоактив, шунинг учун у ўз навбатида альфа- зарралар чиқариб, номери 82 ҳамда масса сони 214 бўлган радий-В га айланади. Радий-В нинг ўзидан бета нурлар

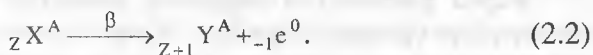
чиқариш йўли билан емирилиши аниқланган. Маълумки, нейтроннинг протонга айланиши туфайли ядро электрон чиқаради. Протон билан нейтроннинг массаси деярли тенг бўлгани учун ўзгариш туфайли олинадиган элемент ҳам айнан 214 масса сонига эга бўлади, бироқ нейтронлардан бири протонга айланиши сабабли ядро заряди бирга ортади ва демак, элементнинг атом номери 83 бўлади, бу эса *висмутдир*. Демак, радий-В нинг емирилиш маҳсули радий-С (висмут) изотопидир.

Барча радиоактив моддларнинг емирилиб ёки парчаланиб бошқа моддаларга айланишини худди шу йўсинда кузатиш мумкин. Ҳар гал, альфа- зарралар нурланганда элемент атомининг тартиб рақами 2 га, масса сони эса 4 га камаяди, ҳар бир бета емирилишда эса масса сони ўзгармайди, атомнинг тартиб рақами эса 1 га ортади. Масалан, ${}_Z X^A$ элементнинг α - зарра чиқариш йўли билан Y элементга айланишидаги ядро реакцияси қуйидагича ёзилади:



Бета емирилиш уч турда бўлиши мумкин: 1) *электронли ёки β^- емирилиш*; 2) *позитронли ёки β^+ емирилиш*; 3) электрон қамраш.

Биринчи тур емирилиш учун ядро реакциясининг кўриниши қуйидагича:

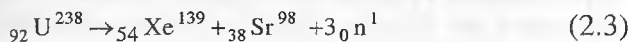


Позитронли радиоактивлик 1934 йилда Ирен ва Фредерик Жолио-Кюрилар томонидан (амалда бир вақтда *сунбий радиоактивлик* ҳодисаси ҳам) очилди. Электрон қамрашда ядро атомнинг электрон қобиғидан электронни ўзига тортиб олади; заряд сони худди β^+ емирилишдагига ўхшаб бир бирликка камаяди, масса сони эса ўзгармайди. Агар электрон атомнинг K қобиғидан тортиб олинган бўлса, бу ҳолдаги электрон қамрашни *K-қамраш* деб аташ қабул қилинган.

Умуман олганда радиоактив жараёнга: 1) α -емирилиш; 2) β -емирилиш (электрон қамраш ҳам шунга киради); 3) ядроларнинг γ -нурланишларидан ташқари яна 4) оғир ядролар-

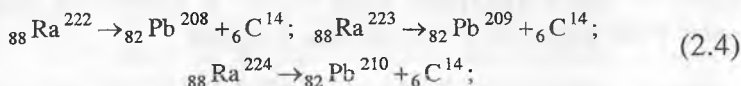
нинг спонтан бўлиниши ҳамда; 5) протон радиоактивликлар киради.

1940 йилда Г.Н.Флеров ва К.А.Петржаклар уран ядросининг спонтан бўлинишини очган. Бунга мисол



Протонлари ортиқ бўлган ядроларда протонли ва ҳатто *иқкинпротонли радиоактивлик* юзага келиш имконияти бор, лекин бу жараёнларни α ва β^+ емирилишлар фонида жуда қийинчилик билан кузатилади.

Ядродан α -зарра (${}^4_2\text{He}$) лардан ташқари йирикроқ зарраларнинг, масалан, углерод ядросининг ҳам учиб чиқиши кузатилади. 1984 йилда Оксфорд университетига радийнинг радиоактив изотопларининг ўз-ўзидан қўрғошинга айланиш жараёни кузатилган. Бу жараёнда C^{14} ажралиб чиққан:



2.2-§. Радиоактив қаторлар (оилалар). Силжиш қонуни

Барча радиоактив моддалар табиатда кўпинча энг оғир элементлар орасида учрайди. Улар тўртта алоҳида радиоактив оилани ташкил этади. Булардан учтаси табиий радиоактив оила ва тўртинчиси сунъий радиоактив оила деб номланган. Табиатда радиоактив моддаларнинг γ -нурларни мустақил радиоактив нурланиш сифатида чиқармасдан, кўпинча α - ёки β -нурлар билан бирга чиқариши кузатилади.

Нурланиш натижасида радиоактив моддалар ўзининг кимёвий табиатини ўзгартиради. α - ёки β -нурларни чиқариб, улар маълум бир радиоактив элементнинг изотопларига айланади. Радиоактив айланиши натижасида ҳосил бўлган янги изотоп ҳам кўпинча радиоактив бўлади.

Менделеев элементлар даврий системасининг охирида жойлашган барча радиоактив элементларнинг изотоплари учун бошланғич моддалар (кўпинча уларни «она» элементлар деб атайдилар) уран, торий ва актиноуран (U^{235}) бўлган. Бошқа радиоактив изотоплар эса, уларнинг ҳосилалари («қизлари»)дир. 3-расмда уран, нептун, торий ва актиноураннинг айланиш кетма-кетлиги келтирилган.

Бу схемада радиоактив изотопнинг масса сони ва атом номери кўрсатилган. Расмдаги стрелкаларнинг узунлиги ва қисқалари радиоактив айланиш характери билдиради. Бир она (бош) модданинг кетма-кет айланиши натижасида ҳосил бўлган изотопларнинг тўпламини *радиоактив қатор (оила)* деб аташ қабул қилинган.

(2.4) даги уччала табиий радиоактив оиланинг ҳар бири (тўртинчи сунъий оила ҳам) ўзининг бошланғич емирилиувчи «она» элементининг номи билан юритилади.

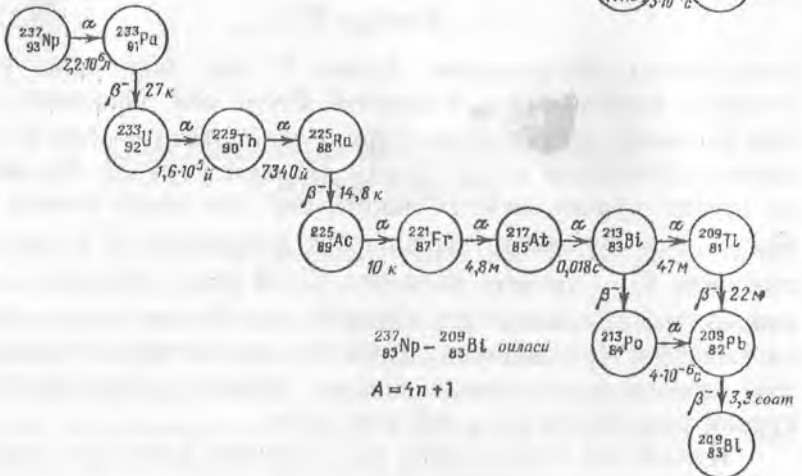
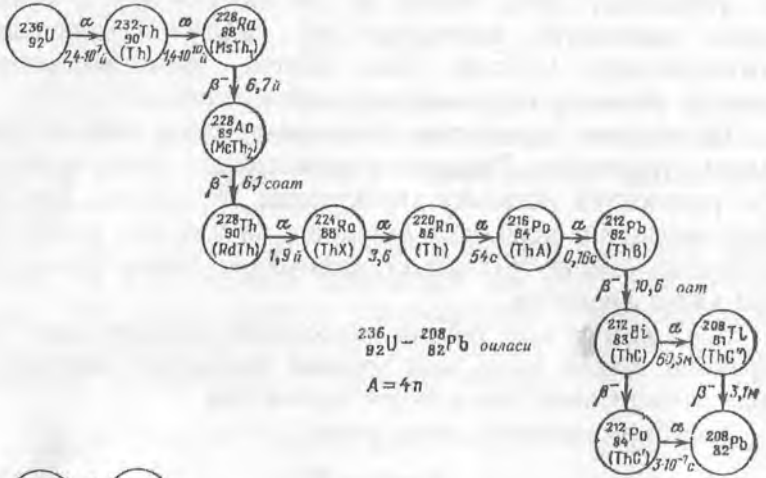
Ҳар бир оила учун масса сони A :

$$A = 4n + C \quad (2.5)$$

сон билан ифодаланади. Бунда C ҳар бир оила учун ўзгармас катталиқ. n – ўзгарувчи бутун сон. Оиланинг ҳар бир элементи ўзидан олдин турган элементдан α - ёки β - айланиш натижасида ҳосил бўлади. Шунинг учун ҳар бир оилада иккита қўшни элемент иккита бир хил масса сонига эга бўлади ёки бу сонлар тўртга фарқ қиладилар. $C = 0$ *торий* оиласига, $C = 1$ *нептун* оиласига, $C = 2$ *уран* оиласига, $C = 3$ *актино уран* оиласига мос. $C = 1$ га мос бўлган нептун оиласи табиатда учрамайдиган, лекин сунъий йўл билан олинадиган изотоплардан ташкил топган. Шунинг учун бу оила сунъий радиоактив оила деб ном олган.

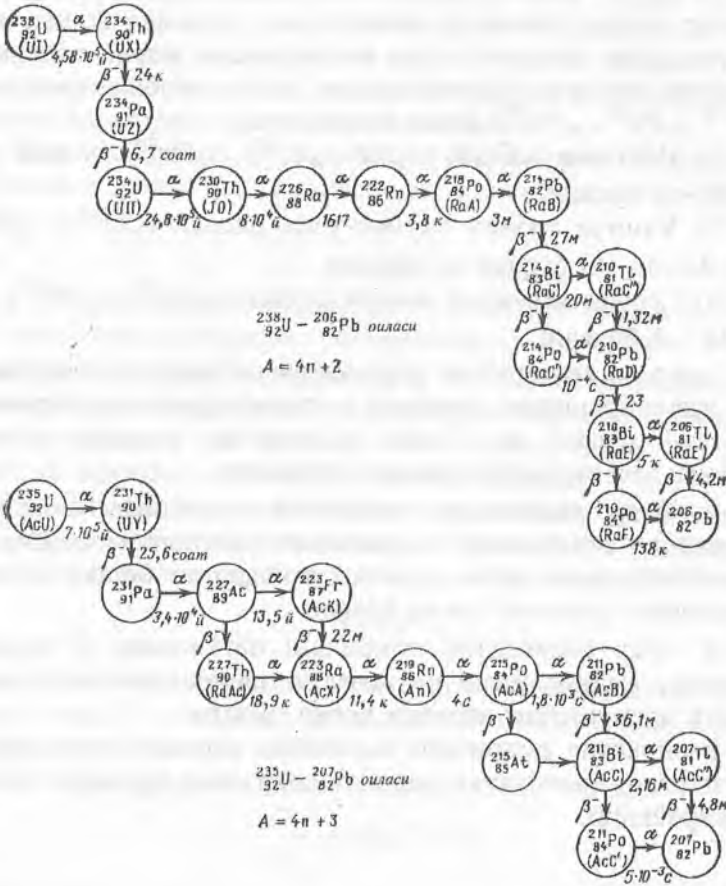
Қуйида шу оилаларнинг ҳар бирининг кетма-кет емирилиш схемасини келтирамыз.

Радиоактив оилалар



(Давоми кейинги бетда)

(давими)



3-расм. Радиоактив оилалар учун тузилган схема.

Схемадан кўринадики, оила α -радиоактив $^{92}\text{U}^{238}$ изотопдан бошланади. α -емирилишдан кейин ҳосил бўлган изотоп торийнинг β^- радиоактив $^{90}\text{Th}^{234}$ изотопига ўтади. Кетма-кет келадиган 2 та β^- емирилишдан кейин ураннынг бошқа $^{92}\text{U}^{234}$ радиоактив изотопига айланади. У кетма-кет битта α - айлангандан сўнг, яна радиоактив изотоп ($^{82}\text{Pb}^{212}$) ҳосил бўлади ва

ҳ.к. айланишлар юзага келиб, бора-бора уран оиласи қўрғошиннинг ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ барқарор (стабил) изотопи билан тугайди. Бу ${}_{92}\text{U}^{238} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}^{208}$ оила учун $A = 4n$. Бошқа қолган радиоактив оилалар шунга ўхшаш тузилишга эга. 3-расмда бошқа оилалар учун ҳам тузилган схема келтирилади. Барча табиий радиоактив оилалар қўрғошиннинг турли стабил изотоплари (${}_{82}\text{Pb}^{208}$, ${}_{82}\text{Pb}^{206}$, ${}_{82}\text{Pb}^{207}$) билан тугалланади.

2) Иккинчи табиий торий (${}_{92}\text{U}^{238} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}^{206}$) оиласи учун $A = 4n + 2$ бўлади.

3) Учинчи табиий актино-уран оиласи (${}_{92}\text{U}^{235} \rightarrow {}_{82}\text{Pb}^{207}$) учун $A = 4n + 3$ бўлади ва ниҳоят,

4) Тўртинчи сунъий нептун оиласи (${}_{93}\text{Np}^{237} \rightarrow {}_{83}\text{Bi}^{209}$) учун $A = 4n + 1$ бўлади.

3-расмда келтирилган радиоактив оилаларнинг бош ва ҳосила элементларининг кимёвий хусусиятларини текшириш натижасида Фаянс ва Содди радиоактив *силжиш қондаси* (қонуни) деб аталувчи қондани топганлар:

1. Агар радиоактив емирилиш жараёнида α -зарралар чиқарилса, Менделеев жадвалидаги берилган радиоактив элементдан икки катак олдинда жойлашган бошқа кимёвий элементнинг изотопи ҳосил бўлади.

2. Агар радиоактив емирилиш натижасида β^- -зарралар нурланса, емириляётган радиоактив элементдан кейинги катакдаги элементнинг изотопи ҳосил бўлади.

Радиоактив емирилиш жараёнида ядродаги зарралар сони ўзгаради. Радиоактив емирилишлар атом ядросида бўладиган жараёндир.

2.3-§. Радиоактив емирилиш қонуни. Ярим емирилиш даври

Атом номери ва масса сонидан ташқари ҳар бир радиоактив модда ўз атомининг емирилиш тезлиги билан характерланади. Муайян радиоактив моддалардаги барча атомлар айна бир вақтда емирилмайди; уларнинг баъзиларида емирилиш жуда узоқ вақт давомида содир бўлади. Модда кўпгина

беқарор атомларга эга бўлар экан, бунда емирилиш статистик қонунга амал қилади. Бу қонуннинг моҳияти шундаки – тенг вақт давомида умумий атомларнинг тенг улуши емирилади. Одатда, барча атомларнинг ярми емириладиган вақт *емирилиш тезлигининг ўлчови* бўлиб хизмат қилади. Уни *ярым емирилиш даври* деб аталади ва муайян радиоактив изотопнинг характерли хусусияти ҳисобланади.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, моддаларнинг радиоактив емирилиши ҳамма вақт куйидаги экспоненциал қонун бўйича амалга ошади:

$$I = I_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.6)$$

бунда I_0 - радиоактив модданинг бошланғич вақтдаги, яъни $t=0$ даги нурланишининг интенсивлиги, I - унинг t вақт ўтгандаги нурланиш интенсивлиги, λ - берилган радиоактив изотопга характерли бўлиб, *радиоактив емирилиш доимийси ёки константаси* деб аталади ва у радиоактив изотопнинг физик ва кимёвий хоссаларига боғлиқ бўлмайди.

Радиоактив нурланиш интенсивлиги радиоактив модданинг миқдорига пропорционалдир. Шунинг учун радиоактив емирилиш қонунини куйидаги шаклда ёзиш мумкин:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.7)$$

бунда N_0 – берилган радиоактив изотоп атомларининг бошланғич сони, N эса t вақт ўтгандан кейинги сақланиб қолган атомлар сони.

(2.7) формуладан куйидаги ифода келиб чиқади:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N \quad (2.8)$$

$\frac{dN}{dt}$ бир секунд вақт давомида емирилувчи ядролар сонидир.

Демак, вақтнинг маълум бир momentiда радиоактив модданинг ҳамма атомларидан фақат айримлари емирилади-лар, жараённинг ўзи эса статистикдир. (2.8) ифодадан

$$\lambda = -\frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \quad (2.9)$$

эканлиги келиб чиқади.

Демак, емирилиш доимийси λ бир секунд давомида емирилувчи радиоактив модда атомлари сонининг t вақт ўтгандан кейинги қолган радиоактив модда атомлари сонига нисбатидир.

Радиоактив емирилиш тезлигини характерлаш учун ярим емирилиш даври деб аталувчи катталиқдан фойдаланилади. Радиоактив модданинг тўлиқ емирилиш даврини аниқлаш маънога эга эмас, чунки (2.7) ифодага биноан тўлиқ емирилиш $t=\infty$ вақтда амалга ошади.

Ярим емирилиш даври $T_{1/2}$ шундай вақтки, бу вақт давомида радиоактив модданинг ярми емирилади.

$$e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}, \quad (2.9-a)$$

$T_{1/2}$ ва λ орасида қуйидаги муносабат мавжуд:

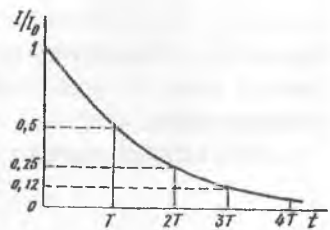
$$T_{1/2} = \frac{0,695}{\lambda}, \quad (2.10)$$

λ катталиқ константа бўлганлиги учун, $T_{1/2}$ катталиқ ҳам константадир.

Демак, радиоактив модда миқдори қанча бўлишидан қатъий назар, унинг ярми бир хил вақтда емирилади. Емирилиш доимийси радиоактив емирилиш чизиғидан ҳисоблаб топилади (4-расмга қаранг). 4-расмдаги эгри чизиқни ярим логарифмик масштабларда чизиш қулайроқ. Бундай координаталарда радиоактив емирилиш чизиғи тўғри чизиқдан иборат бўлади. Бу тўғри чизиқнинг X ўқи билан ҳосил қилган бурчагининг тангенси радиоактив емирилиш доимийсини ифодалайди.

4-расмда кўрсатилган радиоактив емирилиш чизиғини баъзан экспоненциал чизиқ деб ҳам юритилади.

Табиий радиоактив моддаларнинг ярим емирилиш даври миллиард йиллардан бошлаб секунднинг миллиондан бир



4-расм. Радиоактив емирилиш қонунининг график кўринишида тасвирланиши.

улушигача бўлган ораликда ётади. Энг тез альфа- зарраларни нурулайдиган изотоп-торий – С нинг ярим емирилиш даври гоят қисқа бўлиб, у $3 \cdot 10^{-10}$ секундга тенг, кичик энергияли альфа-зарраларни тарқатадиган торий-232 нинг ярим емирилиш даври анча катта бўлиб, у $1,4 \cdot 10^{10}$ йилга тенг.

2.4-§. Барқарор ядролар

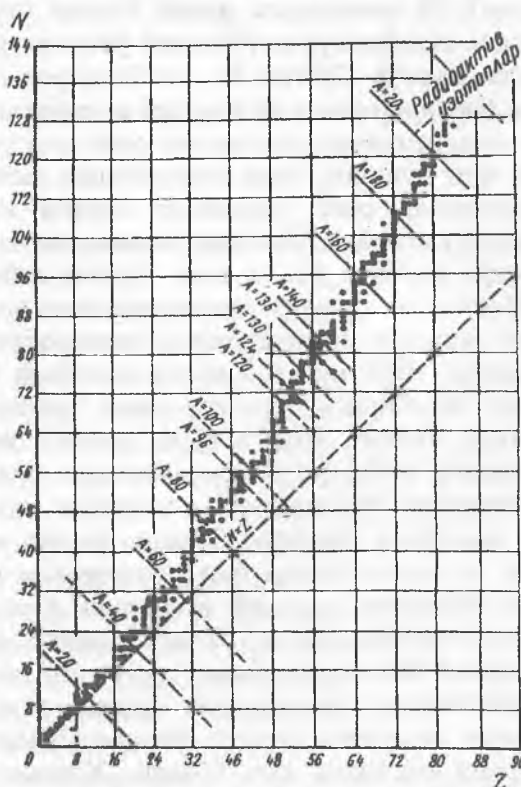
Нима учун баъзи элементлар барқарор эмас? Нима учун баъзи моддалар альфа- зарралар, бошқалари эса, бета- зарралар тарқатади? Бу саволларга жавоб бериш учун *барқарор ядролар* ҳақида яна бирмунча тўхталиб ўтишга тўғри келади.

Табиатда мавжуд бўлган 81 та барқарор элементнинг атиги 275 та барқарор изотопи бор деб ҳисобланади.

Энгил элементлардаги протонлар сони нейтронлар сонига тахминан тенг бўлиши, оғир элементларга яқинлашган сари эса, нейтронлар сони протонлар сонига нисбатан тез ортиб бориши кузатилади. Ўта оғир элементларда нейтрон ва протон сонлари нисбати 1,6 га тенг. Бунинг сабабини аниқлаш осон. Нуклонлар орасида таъсир қилувчи ядронинг тортиш кучидан ташқари протонларнинг электростатик итариш кучи ҳам мавжуд. Ядро кучлари қисқа масофада таъсир этгани учун улар бир-бирига бевосита яқин бўлган нуклонлар орасида мавжуд бўлади. Шунга кўра, умумий тортиш кучи ядродаги зарралар миқдорига пропорционал бўлиши керак. Иккинчи томондан, протонларни итарувчи электростатик кучлар узоқ масофада таъсирда бўлади: бу ҳар қандай протон ядродаги исталган бошқа бир протонни итаради, деган сўз. Маълум бўлишича умумий итарилиш кучи протонлар сони квадратига пропорционал бўлади. Ядродаги протонлар сонининг ошиши билан итарилиш кучи тортишиш кучига нисбатан орта боради, мувозанатни сақлаш учун талайгина нейтронларнинг зарурлиги тақоза этилади. Демак, нейтронлар протонларга нисбатан кўп бўлади. Ҳақиқатан ҳам, 5-расмда барқарор изотопларнинг кўпгинаси графикнинг жуда тор қисмини эгаллаган.

Барқарорлик соҳасидан юқорида ёки пастда ётувчи ядро ҳосил бўлса, қандай ҳол рўй беради? Бундай ядро барқарор бўлиб, у протоннинг нейтронга ёки, аксинча, нейтроннинг протонга айланишидан ҳосил бўлган ҳолатга ўтишга мойил бўлади. Бундай жараён натижасида электрон ва нейтрино юзага келади. Электрон ядрода яшай олмагани учун ҳам у аста-секин ядродан ташқарига чиқариб ташланади. Бунда бета-емирилиш (айланиш) ҳодисаси кузатилади.

Маълум изотопларнинг радиоактивлиги ва бета-емирилишга маҳкумлиги энди тушунарли. Бироқ альфа-емирилиш ҳодисасини ҳам тушунтириш керак.



5-расм. Нейтрон ва протон диаграммаси.

2.5-§. Масса дефекти. Ядронинг боғланиш энергияси

Нима учун бета-емирилишга нисбатан барқарор бўлган баъзи изотоплар альфа- зарралар чиқариб емирилади? Альфа-зарра элементар зарра бўлмай, балки тўрт нуклоннинг мажмуидан иборат бўлгани учун бу ходиса ғалати туюлади. Буни тушунтириш учун ядронинг энергетик балансини кўриб чиқиш керак.

Альфа- ёки бета- емирилиш йўли билан ядронинг ўзгаришида маълум энергия, яъни альфа- ёки бета- зарралар энергияси ҳамда гамма нурларга хос бўлган қолдиқ энергия ғоят юқори – бир неча миллион электрон-вольт бўлиши мумкинлигини юқорида айтиб ўтган эдик. Бу энергия қаердан келади? Бу саволга жавоб бериш учун изотопларнинг атом оғирликлари микдорини синчковлик билан ўрганиш керак. Маълумки, барча изотопларнинг оғирликлари қарийб яхлит сонларга яқин. Ҳа, яқинликка яқинку-я, аммо бутун сон эмас. Ҳамма гап шунда. Шу кичик бўлиб кўринган фарқ ҳам муҳим аҳамият касб этади.

Альфа- зарраларнинг тузилишига эътибор қаратайлик. У гелий атомининг ядросидан иборат бўлиб, икки протон ва икки нейтрондан тузилганлиги сабабли гелий ядроси оғирлиги икки протон ва икки нейтрон оғирликларининг йиғиндисига тенг бўлади, деб ўйлаш табиий. Амалда бундай эмас. Агар биз водороднинг қўшсак, 4,0342248 м. а.б. келиб чиқади. Гелийнинг атом оғирлиги эса 4,003873 м. а.б. дан иборат. «Йўқолган фарқнинг ҳоли нима кечади? А.Эйнштейннинг масса ва энергиянинг эквивалентлиги принципига мувофиқ у энергияга айланган. Протон ва нейтронлардан ядро тузилганда маълум микдорда энергия ва шунга мос равишда ΔM масса ажралиб чиқади. Одатда, ΔM ни *масса дефекти* («етишмовчилиги») деб юритилади. У нейтрон ва протонлар массалари йиғиндисидан ядро массасининг айирилганига тенг:

$$\Delta M(Z,A)=Z \cdot m_p+(A-Z)m_n - M_y(Z,A) \quad (2.11)$$

бу ерда m_p – протон массаси, m_n – нейтрон массаси, $M_y(Z,A)$ эса ${}_Z X^A$ – изотопнинг массаси.

Масса дефекти барча маълум изотопларда мусбат қий-
матга эга.

Ядролар нейтрон ва протонлардан синтез қилинганда
масса дефектига эквивалент бўлган ядронинг боғланиш энер-
гияси пайдо бўлади. Агар масса дефекти маълум бўлса, яд-
ронинг боғланиш энергиясини, яъни ядрони ташкил этувчи
зарраларга ажратиб юбориш учун сарф қилинадиган энергия-
ни ҳисоблаш қийин эмас:

$$E_{\text{б.эп}} = \Delta M \cdot c^2 \quad (2.12)$$

Ядро ўзининг таркибий қисмларидан ташкил топишида
маълум энергия ажралиб чиқади ва бу энергия мазкур ядро
барқарорлигининг ўлчови бўлиб ҳизмат қилади. Демак, хуло-
са шуки, мураккаб ядро массаси уни ташкил этувчи тарки-
бий қисмлари массаларининг йиғиндисидан кам; бошқача
қилиб айтганда, массалар айирмаси, яъни масса дефекти яд-
роларнинг боғланиш энергиясидан иборат.

Гелий ядроси учун боғланиш энергияси масса атом бир-
лиги (м.а.б.)нинг 0,030 қисмидан иборат бўлади. Бу миқдор,
одатда, энергия бирликларида, масалан, электрон-вольт ҳисо-
бида ифодаланadi. Масса ва энергия орасидаги Эйнштейн
муносабатидан шу нарса келиб чиқадики, массанинг атом
бирлиги 931 миллион электрон-вольт (931 МэВ) га эквива-
лентдир. Демак, гелий ядросининг боғланиш энергияси 28
миллион электрон-вольт (28 МэВ) га тенг. Бу альфа- зарра-
ларнинг ҳосил бўлишида ажралиб чиқадиган энергия миқдо-
ридир. Боғланиш энергиясининг шунчалик катта бўлиши Ге-
лий ядросининг ғоят барқарор структурага эга эканлигидан
далолат беради.

Боғланиш энергиясининг экспериментал натижалар би-
лан жуда яқин қиладиган ифодасини биринчи марта Вайцзе-
кер аниқлаган. У беш ҳадли тенгламадан иборат (13-бетдаги
(1.3) формулага қаранг).

Бу ифоданинг биринчи ҳади тўйиниш ядро кучларига боғ-
лиқ бўлган ядронинг ҳажмий энергиясига тегишли. Иккинчи
ҳади ядро сиртига пропорционал бўлган боғланиш энергия-
сининг камайишига тузатиш киритади ($4\pi R^2 \delta = a_{\text{сирт}} A^{2/3}$).
Сиртдаги нуклонлар унчалик тўйинган бўлмайди. Шунинг

учун уларнинг боғланиш энергиясига қўшадиган ҳиссаси унчалик катта эмас. Учинчи ҳади протонларнинг электростатик итарилиш энергиясини ҳисобга олади:

$$E_{\text{кул}} = \frac{3}{5} \cdot \frac{Z^2 e^2}{R} = a_{\text{кул}} \cdot Z^2 \cdot A^{-1/3}$$

Тўртинчи ҳад учинчи ҳад каби ядро зарядига боғлиқ бўлиб, у классик талқинга эга эмас. Жуфт-жуфт ядроларнинг барқарор изотоплари табиатда жуда кам учрайдиган тоқ-тоқ ядроларга нисбатан турғун. Шу ҳолни ҳисобга олиб, нуклонларнинг жуфтлашиш эффектини ҳисобга олувчи ҳад δ киритилган. Тажрибаларнинг кўрсатишича, у $A^{-3/4}$ га пропорционалдир ($\delta = a_{\text{жуфт}} A^{-3/4}$).

Яқинда америкалик физик Грин тажриба натижаларини пухта ўрганиб, боғланиш энергияси учун қоникарли натижаларни берувчи коэффицентлар қийматини аниқлади:

$$\begin{aligned} a_{\text{ядро}} &= 15,75 \text{ МэВ}; \\ a_{\text{сирт}} &= 17,8 \text{ МэВ}; \\ a_{\text{кул}} &= 0,71 \text{ МэВ}; \\ a_{\text{симм}} &= 23,7 \text{ МэВ}; \\ a_{\text{жуфт}} &= 34 \text{ МэВ}; \end{aligned} \quad \delta = \begin{cases} +(\delta) & \text{- жуфт-жуфт ядролар учун} \\ 0 & \text{- тоқ ядролар учун} \\ -(\delta) & \text{- тоқ-тоқ ядролар учун.} \end{cases}$$

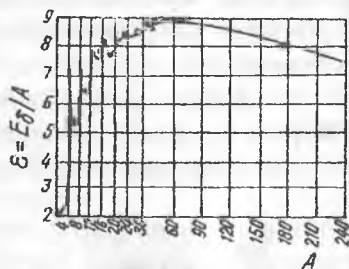
Енгил ядроларда битта нуклонга тўғри келадиган энергиянинг ўсиши ва масса сони катта бўлган ядролар учун E/A нинг ўсиши Вайцзекер ифодасидан равшан кўриниб турибди. Дарҳақиқат, коэффицентларнинг юқорида келтирилган қийматларидан фойдаланиб ва ифодадаги охириги ҳадни ҳисобга олмасак, битта нуклонга тўғри келадиган энергияни куйидагича ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} -E_a/A &= -15,75 + 17,8A^{-1/3} + 0,71Z^2A^{-4/3} + \\ &+ 23,7\left(\frac{A}{2} - Z\right)^2 \cdot A^{-2} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Енгил ядролар учун бу ифоданинг охириги ҳади нолга тенг, ундан олдинги ҳади эса жуда кичик. Шунинг учун эгри чизикнинг енгил ядролар учун кескин ортиши $17,8A^{-1/3}$ ҳадга

боғлиқ. Бу хад ядро суюқлигининг сирт таранглигини ҳисобга олади. Оғир ядролар учун бу эгри чизикнинг (6-расм) кескин ўзгариш сабаби Z^2 га пропорционал бўлган учинчи хаднинг ортишига боғлиқ, яъни даврий система охиридаги ядроларнинг битта нуклонга тўғри келадиган боғланиш энергиясининг камайиши протонлар орасидаги итариш кучларининг ортишига боғлиқ. 6-расмда тасвирланган график ядродан битта заррани ажратиб олиш учун зарур бўлган энергиянинг ўртача миқдорини билдиради.

Энди ўта оғир элементларда юз берадиган альфа-емирилиш муаммосига тўхталиб ўтамиз. Бунда ҳар бир нуклонга қарийб 7,5 МэВ энергия тўғри келади, бироқ 6-расмдаги эгри чизикнинг оғишига қараб, ҳар бир заррага қарийб 5,5 МэВ боғланиш энергияси тўғри келади, дейиш мумкин. Бу оғир ядродан бир протон ёки бир нейтронни ажратиб олиш учун ядрога 5,5 МэВ энергия бериш зарур, демакдир. Агар икки протон билан икки нейтронни биттадан ажратиб олиш лозим бўлса, ядрога тахминан 22 МэВ энергия беришга тўғри келади. Иккинчи томондан, маълумки, альфа-зарраларнинг боғланиш энергияси 28 МэВ дан иборат. Бордию, бу зарралар биттадан эмас, балки бириккан ҳолда, альфа-зарралар шаклида чиқса, у ҳолда 6 МэВ соф энергия чиққан бўлар эди, чунки биз 22 МэВ энергия кўшиб, 28 МэВ энергия олишимиз керак эди. Шундай қилиб, гарчи бундай ядро протон ёки нейтрон чиқаришга кўра барқарорлик эҳтимолига эга бўлишига қарамай, альфа-зарралар чиқариши хусусида ҳали ҳам аниқлик йўқ, чунки альфа-зарралар чиққанда, ҳар доим қарийб 6 МэВ мусбат энергия ажралиб чиқади. Барқарор оғир элементларнинг 4 дан 9 МэВ гача энергияли альфа-зарралар чиқариб емирилишининг сабаби ҳам шунда.

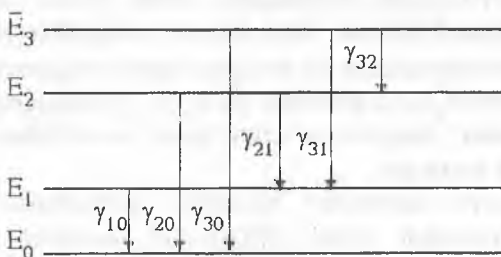


6-расм. Нуклонларнинг боғланиш энергияси.

2.6-§. Ядронинг энергетик сатҳлари. Радиоактив емирилиш схемаси

Атом ядроси квант механика қонунларига бўйсунувчи системадир. Ихтиёрий квант механик система фақат аниқ бир энергетик ҳолатда бўлиши мумкин. Минимал энергиядаги ҳолат *асосий ҳолат* ёки *асосий сатҳ* деб аталади. Ядронинг бошқа барча бўлиши мумкин бўлган энергетик ҳолатлари *уйғотилган сатҳлар* деб аталади. Тажрибада тасдиқланишича, уйғотилган сатҳлар энергияси (энергетик спектри) турли ядроларда турлича бўлади, лекин дискрет спектрнинг мавжуд бўлиш шарти барча ядролар учун умумийдир.

Радиоактив емирилишни кўриб чиқиш учун энергетик диаграммалар жуда қулайдир. Системанинг энергетик ҳолатларини горизонтал чизиклар билан фарқлайдилар, бу чизикларнинг жойлашиш баландлиги ҳолатлар энергияси фарқини мегаэлектронвольт (МэВ) ларда характерлайди. Қулайлик учун нолинчи энергия қилиб ядрони асосий ҳолатидаги энергияси қабул қилинади (7- расмга қаранг).



7-расм. ${}^A_Z X$ ядронинг энергетик сатҳлари схемаси:
 E_0 – ядронинг асосий сатҳи; E_1 , E_2 , E_3 - уйғотилган ҳолатлар сатҳи.

Ядролар ўз ҳолатлари билан характерланишдан ташқари бошқа хусусиятлари (спин, магнит момент ва ҳоказо) билан ҳам характерланиб, улар ҳам қатъий аниқланган (дискрет) ҳолатда иштирок этади.

Ядронинг уйғотилган ҳолатдан камроқ энергияли ҳолатга ўтиши, одатда γ -нурланиш билан бирга содир бўлиб, γ -

квантнинг энергияси $h\nu$ амалий жиҳатдан ўтиш содир бўлаётган сатҳларнинг энергиялари фарқига тенг бўлади:

$$h\nu = E_n - E_m \quad (2.14)$$

γ -нурланишнинг спектри ҳар доим дискрет ва уларнинг сонига ва бошқа сабабларга кўра бу спектр озми-кўпми мураккаб бўлиши мумкин.

${}_Z X^A$ ядронинг энергетик спектри E_0, E_1, E_2, E_3 (7-расм) сатҳлардан иборат деб тахмин қилайлик. У ҳолда бундай энергетик сатҳлар структураси учун γ -нурланишнинг қуйидаги «спекрал чизиқлари» мавжуд бўлиши мумкин.

$$\begin{aligned} E_{\gamma 10} &= E_1 - E_0, & E_{\gamma 30} &= E_3 - E_0, & E_{\gamma 31} &= E_3 - E_1, \\ E_{\gamma 20} &= E_2 - E_0, & E_{\gamma 21} &= E_2 - E_1, & E_{\gamma 32} &= E_3 - E_2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Бироқ бу ўтишларнинг барчаси ҳам амалга ошавермайди, чунки уларнинг мавжуд бўлишини «танлаш қоидаси» деб аталувчи қоида аниқлаб беради ва қандай ўтишлар барча сақланиш қонунларига мувофиқ рухсат этилишини кўрсатиб беради.

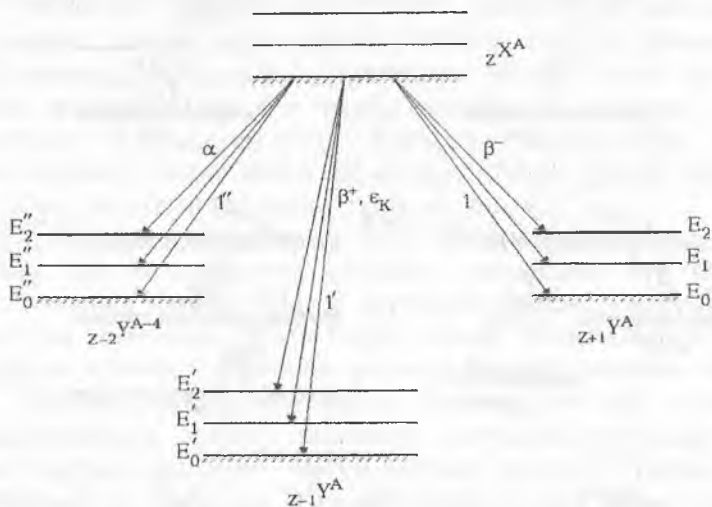
γ -нурланиш орқали уйғотилган ҳолатдан нормал ҳолатга ўтиш энг эҳтимолли усуллардан бири бўлса ҳам, лекин бу ягона усул эмас. Масалан, агар жараён энергетик жиҳатдан мумкин бўлса, α -зарраларни ва нуклонларни чиқариш мумкин.

Радиоактив емирилишни ва ядро реакцияларини тадқиқ қилиб ядронинг энергетик спектрини экспериментал жиҳатдан аниқлаш мумкин.

Радиоактив ядронинг айланиш жараёнини радиоактив емирилиш ёрдамида жуда кўргазмали намоиш қилиш мумкин (8-а расм).

Емирилатган (бошланғич она) ядронинг ва маҳсулот (қиз) ядронинг асосий ҳолатларини горизонтал чизиқлар билан тасвирланади, бу ерда бошланғич ядрога мос келувчи сатҳларни юқорироқ жойлаштирилади. Ядронинг асосий ҳолатлари яқинига мос ядронинг симболи қўйилади. Бошланғич ва натижавий ядронинг уйғотилган ҳолатлари мос ядронинг асосий ҳолатидан юқорида жойлашган бўлади. Бу сатҳларнинг ёнига уларга мос энергия МэВ ларда ёзилади. β^+ , α -емирилишлар, E_κ – қамраб олиш (забт этиш) жараёнларини юқори сатҳдан пастга чап томонга қараб (Менделеев систе-

масининг кичик Z га томон) йўналган стрелкали чизик билан белгиланади. β^- - жараёни пастга, ўнг томонга йўналган ё асосий, ё уйғотилган ҳолатни ҳосил қиладиган стрелка билан тасвирланади. Буни асосий (I , I' , I'' ўтишлар) ёки мос уйғотилган ҳолатларда тугайдиган стрелкалар ёрдамида кўрсатилади. Вертикал стрелкалар билан (Z ўзгармайди) γ -квантларнинг нурланиши кўрсатилади. Одатда, стрелка ёнида нурланаётган зарранинг симболи, унинг энергияси кўрсатилади (β^+ ва β^- ўтишлар юзага келганда β -зарранинг чегаравий энергияси кўрсатилади, яна шу мос ўтишларнинг интенсивлиги), яъни емирилиш умумий сонининг сатҳга ўтишлар ҳисасини фоизлардаги қиймати ёзилади.

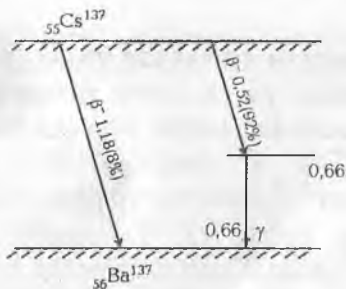


8-а расм. zX^A ядронинг емирилиш схемаси.

Мисол тариқасида ${}_{55}\text{Cs}^{137}$ ядросининг емирилиш схемасини кўриб чиқамиз (8-б расм). ${}_{55}\text{Cs}^{137}$ икки хил йўл билан:

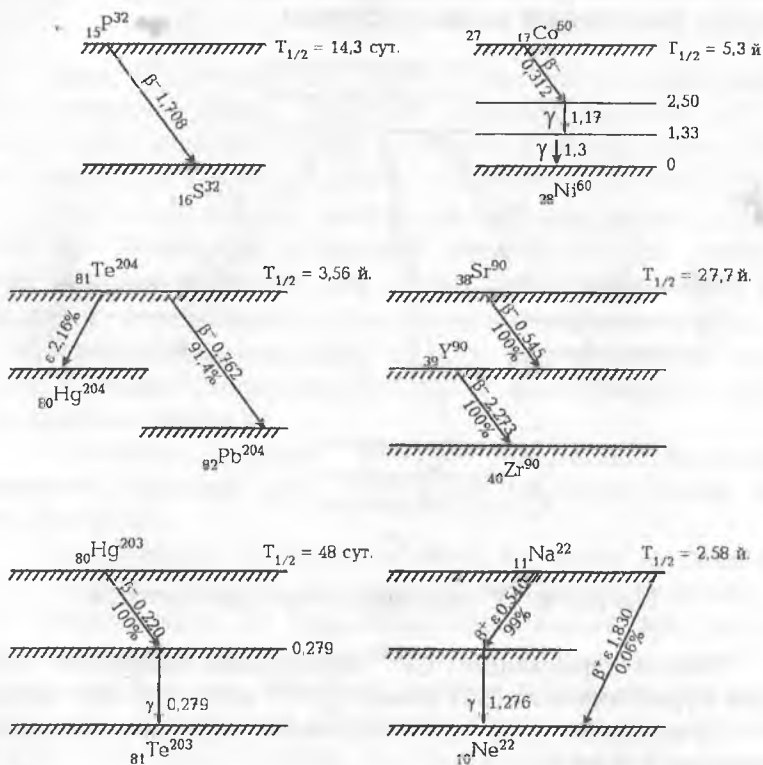
1) максимал 11,8 МэВ энергияли (умумий емирилишлар сонининг 8% и) ёки

2) β^- -зарралар чиқариб ёки аввалги ҳолга нисбатан кичикроқ максимал энергияли β^- -зарралар ва γ -квант (бу ҳолда барча емирилишларнинг 92%и) чиқариб емирилиши мумкин.



Емирилиш натижасида $^{56}\text{Ba}^{137}$ ҳосил бўлади. Амалиёт-да тез-тез ишлатилиб туриладиган бошқа ядроларнинг емирилиш схемаси 8-в расмда келтирилган.

8-б расм. $^{55}\text{Cs}^{137}$ ядросининг емирилиш схемаси.



8-в расм. Баъзи радионуклидларнинг емирилиш схемалари. (β^- , γ -нурланишларнинг энергияси МэВ ларда берилган.)

2.7-§. Альфа-емирилиш назарияси ва тажриба натижалари

Альфа-зарралар ядронинг тузилишини ўрганишдаги роли жиҳатидан муҳим аҳамият касб этади. Резерфорд альфа-зарралар атом тузилишини ўрганишда энг қудратли омил эканини жуда эрта кўра билди. У ўзининг кўпгина ишларида айнан шу зарраларга асосланади. Резерфорд зарраларнинг электр ва магнит майдонларида четга бурилишини кузатиб, альфа зарралар тезлигини ва заряднинг массага нисбатини ўлчашга муваффақ бўлди. Альфа-зарраларнинг умумий зарядини ўлчаш бўйича ўтказган тажрибалар асосида, айрим зарралар зарядларини ҳам ўлчаш имкони туғилган.

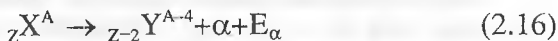
Ўтказилган тажрибалар барча радиоактив моддалар чиқарадиган альфа- зарраларнинг табиати бир хил эканлигини кўрсатади. Улар мусбат зарядга эга бўлиб, иккита протон (иккита электрон зарядига тенг), массаси эса водород атом массасидан тўрт марта кўп. Хозирги тушунчаларга кўра, альфа-зарралар гелий атоми ядросидан иборат бўлиб, иккита протон ва иккита нейтрондан ташкил топган.

Бироқ ўша пайтларда ядролар ҳақида бирор нарса маълум эмас эди ва атомнинг, айтайлик, радийнинг нур тарқатиши борасида тахмин қилиш шунчалик ғайритабиий эдики, бу фикрни айтишдан олдин бирор далил бўлиши зарур эди. Резерфорд қуйидаги тажриба асосида бундай далилни ярата олди. Маълум миқдордаги радон (радиоактив газ) найчага жойлаштирилади. Мазкур найчанинг деворлари радондан тарқалган альфа-зарраларни сиртқи найчага бемалол ўтказа оладиган даражада юпқа эди. Тажриба бошлангунга қадар ташқи найча ичидаги ҳаво шундай сўриб олинган эдики, хатто спектроскопик анализда ҳам унда гелий қолдиғи топилмаган. Орадан бир неча кун ўтгач, ташқи найча ичида қандайдир газ тўплана бошлаган. Босим орта бошлаган сари бу газ разрядли найчага қамалган. Мазкур найчадаги газ спектроскопик анализ қилинган ва олинган спектр гелийнинг тўлиқ спектри экани аниқланган. Шундай қилиб, альфа- зарраларнинг гелий билан ўхшашлиги ҳамда радондан гелий олишнинг мумкинлиги бевосита исботланган.

Юқорида қайд этиб ўтилгандек, муайян радиоактив изотопдан чиқарилган барча альфа-зарралар бир хил энергияга эгадир. Бунга магнит майдонда альфа-зарралар дастасининг четга бурилишини кузатиш, шунингдек бевосита ўлчаш ёки Вильсон камерасида альфа- зарраларнинг изларини расмга олиш билан ишонч ҳосил қилиш мумкин. Альфа-зарралар изи деярли барчаси тўғри чизикдан иборат, бу эса, альфа-зарраларнинг умуман ўз йўналишини ўзгартирмагани ҳолда ҳаво қатламидан ўта олиш хусусиятига эга эканлигини кўрсатади. Альфа- зарралар ўтадиган оралиқ унинг *эркин югуриш йўли узунлиги* дейилади. Ҳар бир радиоактив модда ўзига хос эркин югуриш йўли узунлигига эга бўлган альфа- зарраларни чиқаради. Умуман бу узунлик энергияга боғлиқ; зарралар энергияси қанчалик катта бўлса, у шунчалик узоққа бора олади. Эркин югуриш йўли узунлигини ўлчаш асосида зарралар энергиясини аниқлаш мумкин.

Табиий α -нурланувчи (емирилувчи) элементлар кўпроқ Менделеев даврий ситемасининг охирида жойлашган. Альфа-актив изотоплар мажмуасида 40 та табиий ва 100 та сунъий α -нурланувчи изотоплар мавжуд.

α -емирилиш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:



α - емирилишнинг энергетик шarti:

$$M(Z, A) \geq M(Z - 2, A - 4) + M({}_2\text{He}^4) + E_\alpha/c^2 \quad (2.17)$$

Емирилиш энергияси $E \geq 0$ бўлгани учун α -емирилиш она (бош) изотопнинг массаси маҳсул изотоп ва ${}_2\text{He}^4$ изотопи массалар йиғиндисидан катта ёки тенг бўлгандагина вужудга келади.

α -емирилиш жараёни тажрибада топилган қуйидаги иккита хусусиятга эга.

Биринчидан, α -нурланувчи элементларнинг емирилиш доимийси λ ва α -зарраларнинг энергияси E_α турли чегарада ўзгаради. Масалан, уран оиласида α -емирилиш энергияси 2 мартадан бир оз кўпроқ ўзгаргани ҳолда (4-9 МэВ), иккинчидан емирилиш доимийси 10^{-18} дан 10^{-6} с^{-1} гача оралиқда

ўзгаради. λ ва E_α катталикларнинг ўзгаришида бундай катта фарқ бўлишига қарамай, улар ўзаро Гейгер-Неттол қонунига бўйсунди:

$$\ln \lambda = A \ln E_\alpha + B, \quad (2.18)$$

бу ерда A ва B – заряд сони ва атом оғирлигига боғлиқ бўлган константалардир. Учиб чиқаётган α -зарранинг энергияси ортиши билан емирилиш эҳтимоллиги тез ортиб бориши (2.18) ифодадан кўриниб турибди. E_α 9 МэВ га яқинлашганда ядронинг α -емирилишига нисбатан яшаш вақти секунднинг жуда кичик бўлакларини ташкил этади ва энергия 9 МэВ ва ундан катта бўлганда емирилиш, одатда бир онда ўтади.

Гейгер-Неттол эмпирик қонуни (2.18) альфа емирилиш назарияси яратилгунга (1928 йилга) қадар шарҳланмаган эди. Мазкур назария барча фактларни сифат томонидан эмас, балки миқдор жиҳатидан ҳам изоҳлайди. Улардан оғир бўлган элементларнинг альфа-зарралари энергияси анча юқори, демак, бундай элементларнинг ярим емирилиш даври қисқа бўлиб, улар бизнинг давримизгача сақланмаган.

Альфа-емирилиш табиати квант механика асосида тўғри тушунтирилган. Классик механиканинг, агар альфа- зарралар энергияси тўсиқ баландлигидан кичик бўлса, у тўсиқдан мутлақо ўта олмаслиги ҳақидаги таълимотига қарама-қарши ўлароқ, квант механикаси баъзи альфа-зарраларнинг тўсиқ орқали «сизиб ўтиши» мумкинлигини кўрсатди (туннель эффекти). Бу квант механикасининг ядро физикасидаги биринчи муваффақиятли қўлланилиши бўлди. Квант механикага кўра, нурланиш кўпинча модда тарзида, модда эса нурланиш тарзида намоён бўлади. Бу назарияга мувофиқ, альфа- зарралар ҳаракати тўлқин ҳаракати сифатида, потенциал тўсиқ доирасидаги бўшлиқ эса тўлқин кириб борадиган ношаффоф муҳит тарзида таърифланиши мумкин. Агар ядро атрофида тўсиқ мавжуд деб фараз қилсак, у ҳолда бу тўсиқ девори ичида у ёқдан бу ёққа ҳаракат қилаётган ва тўсиқ деворига урилаётган альфа- зарраларни кўришга муяссар бўлар эдик. Мазкур тўқнашувларнинг кўпчилигида альфа-зарралар орқага қайтарилади, бироқ ҳар ҳолда $1 \cdot 10^{14}$ та альфа зарра тўсиқдан ўтиб, ташқарига чиқади. Шундай қилиб, альфа- зарранинг

тўсиқни енгиб ўтиши тасодифий бўлиб, муайян моддадаги баъзи атомлар жуда тез, бошқалари эса ғоят узоқ вақт давомида емирилишининг сабаби ҳам шунда. Тўсиқ орқали альфа-зарралар ўтиши шу тўсиқнинг қалинлигига боғлиқ. Катта энергияли альфа- зарралар юқори девордан осонгина ўтади. Бу мулоҳазаларга асосан, юқори энергияли альфа зарраларни чиқарадиган радиоактив моддаларнинг ярим емирилиш даври анча узоқ бўлади, дейиш мумкин. Ҳақиқатан ҳам, альфа-зарралар энергияси билан муайян модданинг ярим емирилиш даври орасида шундай муносабат мавжудки, у «Гейгер-Неттол қоидаси» номи билан юритилади (2.18-ифодага қ.).

2.8-§. Бета-айланишнинг назарияси

Бета- айланиш назарияси анча бошқача, чунки бунда ядро зарралари ташқарига чиқмайди, балки бир нуклон бошқа нуклонга айланади ва натижада электрон ва нейтрино чиқади.

Бета- айланишда ядролар ўз-ўзидан электронлар, позитронлар чиқариш ёки ўз атомининг К-қобиғидаги электронларни қамраб олиш йўли билан ўзгаради. Бета- зарралар билан электронларнинг айнан бир хиллиги тажрибаларда тасдиқланган.

Бета- айланиш ҳодисасини тушунтириш бир оз қийин. Радиоактив силжиш қоидасига асосан β - емирилишда ядронинг заряди бир бирликка ортади, масса сони эса ўзгармай қолади.

β - айланиш атом ядросида бўладиган жараён. Иккинчи томондан, маълумки, β - нурлар электронлар оқимидан иборат. Бироқ ядрога электрон йўқ.

Нейтроннинг мавжудлиги аниқлангунга қадар ядрони протонлардан ва электронлардан ташкил топган, деб ҳисобланар эди. Бу нуқтаи назардан β -айланиш жуда оддий тушунилади. β -зарра ядро электрони деб ҳисобланар эди ва β -емирилиш ядродан битта электроннинг чиқиши билан тушунтирилар эди. Бироқ ядронинг протон- электрон модели қатор қийинчиликларга дуч келди ва шунинг учун ундан фойдаланилмай қўйилди.

Агар β^- - электрон ядродан чиқмаса, β^- -емирилишни қандай қилиб тушунтириш мумкин? β^- -зарра қаердан пайдо бўлади? Равшанки, β^- -зарра атом қобиғидаги электрон эмас, ваҳоланки, электроннинг қобикдан чиқарилиши атомнинг кимёвий табиати ўзгаришига олиб келмайдиган атом ионла-нишидир.

β^- -электронлар ядрога юз берадиган жараёнлар натижа-сида ядрога ҳосил бўлади деб ҳисоблаб, бу жараёнлар реак-циясини қуйидагича ёзиш мумкин:



β^- -айланишда ядро зарядининг бир бирликка ортиши ядрога протонлар сонининг бир бирликка ортишини ва яд-ронинг масса сони ўзгармаганлиги учун нейтронлар сони ($N=A-Z$) бир бирликка камайишини кўрсатади. Демак, яд-рода содир бўладиган β^- -айланиш ядрогаги нейтронлардан би-рининг протонга айланишининг натижасидир, яъни $n \rightarrow p + \beta^-$. Агар ядрога протонлар сони нейтронга нисбатан кўп бўлса, протоннинг нейтронга айланиши юз беради:



(2.20) айланиш фақат ядронинг ичидагина ўринли бўлиб, эркин ҳолда протон мутлоқ барқарор заррадир. (2.20) жараён *позитрон айланиш* деб аталади. Бунда ядро массаси ўзгармайди, эаряди эса бир бирликка камаяди.

Умуман олганда, заряди Z ва масса сони A бўлган ядро учун β^- -айланиш шарти қуйидагича ёзилади:

$$M(Z,A) > M(Z+1,A) + m_e, \quad (2.21)$$

яъни β^- -радиоактив ядронинг массаси ҳосила ядро $(Z+1,A)$ ҳамда электрон массаларининг йиғиндисидан катта. β^- -айланиш шартини атомларнинг массалари орқали ифодалаш қулай. Бунинг учун (2.21) тенгсизликнинг ўнг ва чап томони-га Zm_e қўшилувчини қўйиш кифоя. У ҳолда

$$M_{\text{ат}}(Z,A) > M_{\text{ат}}(Z+1,A) \quad (2.22)$$

ҳосил бўлади. Мазкур айланишда

$$E_{\beta} = [M_{\text{ат}}(Z, A) - M_{\text{ат}}(Z+1, A)] \cdot c^2 \quad (2.23)$$

энергия ажралиб чиқади.

Позитрон айланиш учун (2.21), (2.22), (2.23) ифодалар мос равишда куйидаги кўринишни оладилар:

$$M(Z, A) = M(Z-1, A) + m_e \quad (2.24)$$

$$M_{\text{ат}}(Z, A) > M_{\text{ат}}(Z-1, A) + 2m_e \quad (2.25)$$

$$E_{\beta^+} = [M_{\text{ат}}(Z, A) - M_{\text{ат}}(Z-1, A) - 2m_e] \cdot c^2 \quad (2.26)$$

1938 йилда бета-айланишнинг учинчи тури электрон қамраш мавжудлиги аниқланади. Протонлари нисбатан ортиқча бўлган «она» ядро баъзан атомнинг электрон қобикларидан бир электронни қамраб олади — «ютади». Бу ҳолда ҳам, позитрон-айланишда бўлганидек, битта протон нейтронга айланади:



Электрон атомнинг қайси қобиғидан ютилса, шу қобикнинг номи билан К-электрон, L-электрон ва ҳоказо ютилиш деб юритилади. Электрон ютилганда ядронинг тартиб номери бирга камаяди. Электрон қамрашнинг энергия шарти куйидагича ёзилади:

$$M(Z, A) > M(Z-1, A) - m_e \quad (2.28)$$

К-қамраш «она» изобарнинг массаси ҳосила изобарнинг массасидан кўпроқ бўлганда кузатилади. Бу жараёнда

$$E_{\kappa} = [M_{\text{ат}}(Z, A) - M_{\text{ат}}(Z-1, A)] \cdot c^2 \quad (2.29)$$

энергия ажралиб чиқади. Электрон қамраб олиш жараёни нейтрони камчил ядролар учун анча кенг тарқалган.

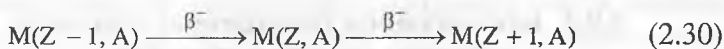
(2.26) ва (2.29) га кўра позитрон-айланиш бошланғич ва охириги атомлар массаларининг фарқи $2m_e c^2$ дан катта бўлгандагина, электрон-қамраш ҳодисаси эса $2m_e c^2$ дан кам бўлганда ҳам рўй беради. Айланиш энергияси $2m_e c^2$ қанчалик юқори бўлса, позитрон чиқариш жараёни билан шунчалик кучли рақобат қилади. Энг оғир элементлар орасида позитрон-айланиш жуда кам учрайди. β^+ -айланиш жараёни мумкин бўлганда К-қамраш ҳам бўлиши мумкин. Лекин К-

қамраш ҳар доим ҳам β^+ -айланиш билан бирга кузатилавермайди. Электрон К-қобикларнинг радиуси кичик бўлган оғир атомларда К-қамрашнинг ўтиш эҳтимоли каттарок.

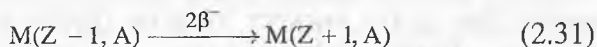
Агар (2.24) шарт бажарилмаса, у ҳолда β^+ -айланиш энергия жиҳатидан мумкин бўлмайди ва емирилишнинг ягона йўли К-қамраш жараёни бўлиб қолади.

Баъзи бир (Z,A) ядролар учун бир вақтнинг ўзида β -айланишнинг барча – (2.20), (2.24) ва (2.28) шартларини энергия жиҳатидан қаноатлантирадиган ҳоллари ҳам учрайди. Бунга Cu^{64} нинг айланиши мисол бўла олади. Бу ядрода β -айланишнинг учала кўриниши ҳам бир вақтда рўй беради: Cu^{64} 40% ҳолда электрон чиқариш, 40% ҳолда электрон қамраш ҳамда 20% ҳолда позитрон чиқариш йўллари билан Ni^{64} ва Zn^{64} ядроларига айланади.

β -айланишнинг (2.21),(2.24) ҳамда (2.28) шартларидан зарядлари бир бирликка фарқ қилувчи, яъни $M(Z,A)$ ва $M(Z+1,A)$ бўлган иккита барқарор изобарнинг бир вақтда мавжуд бўлиши мумкин эмаслиги келиб чиқади. Ҳақиқатан, бу ҳолда агар $M(Z,A) > M(Z+1,A)$ бўлса, у ҳолда β^- -айланиш рўй бериши мумкин; $M(Z,A) < M(Z+1,A)$ бўлганда эса К-қамраш рўй беради. Шундай қилиб, улардан бири радиоактив бўлади. Шундай изобар $(Z-1,A)$, (Z,A) ва $(Z+1,A)$ ядролар мавжудки, уларда кетма-кет β -айланиш



тасдиқланган, лекин энергия жиҳатидан қуйидаги ўтиш бўлиши мумкин:

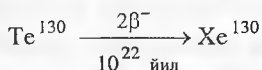


Бу ҳолда қўш β^- -айланиш содир бўлиб, ядро заряди икки бирликка ўзгаради.

Зарядлари икки бирликка фарқ қилувчи икки жуфт (Z^1 ва Z) барқарор изобарлар учун энергия нуқтаи назардан бета-айланиш имконияти мавжуд. Агар бу ҳолда кичик Z га эга бўлган ядро массаси $M(Z,A) > M(Z^1,A)$ бўлса, у қўш β -айланиш йўли билан айланиши мумкин, агар борди-ю,

$M(Z, A) < M(Z^1, A)$ бўлса, Z^1 ли ядрога иккита электрон қамраш ёки битта K -қамраш ва битта β^+ -айланиш, ёки иккита β^- -айланиш рўй бериши мумкин.

Қўш β -айланиш эҳтимоллиги жуда кичик бўлиб, унинг ярим емирилиш даври камида 10^{16} йилни ташкил қилади. Ораларида қўш β -айланиши мумкин бўлган 58 та барқарор изобарлар жуфти мавжуд. Лекин қўш β -айланишнинг фақат биттагина ишончли ҳоли маълум:



Кўпгина бошқа ҳоллар учун ярим айланиш даврининг қуйи чегараси аниқланган. Уларнинг ичида энг яхши ўрғанилганлари қуйидагилар:

$$T(\text{Sn}^{124}) > 3 \cdot 10^{17} \text{ йил},$$

$$T(\text{Ca}^{48}) > 6 \cdot 10^{18} \text{ йил},$$

$$T(\text{Nd}^{230}) > 2 \cdot 10^{18} \text{ йил}$$

$$T(\text{U}^{238}) > 6 \cdot 10^{18} \text{ йил}.$$

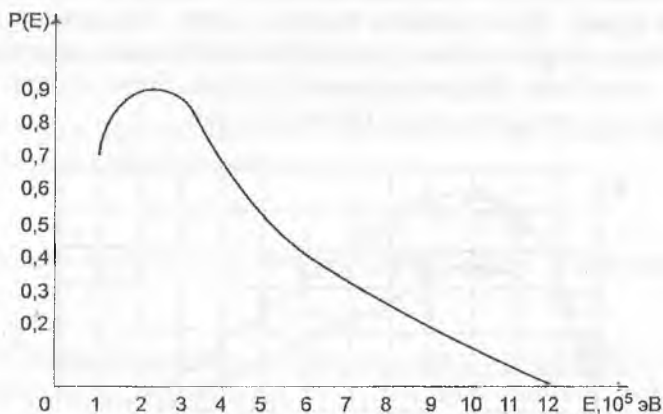
Қолганлари учун қуйи чегаралар 10^{16} йил дан 10^{17} йилгача бўлган даврни ташкил қилади. Бундай ярим яшаш даврларини ўлчаш анча мушкул иш.

2.9-§. Бета-айланиш спектрининг шакли ва нейтрино ҳақидаги гипотеза

Бета- айланишда ҳам альфа- емирилишдагидек электронларнинг бир нечта дискрет энергия группаси кузатилиши керак эди. Бироқ бета-айланиш тажрибада текширилганда бета- зарралар 9-расмда тасвирлангандек, узлуксиз энергияга эга эканлиги маълум бўлди.

Бордию, нейтронлардан бири протонга айланса, зарядлар мувозанатини сақлаш учун ҳосил бўлган электрон ядрога тура олмайди ва ундан тезликда чиқиб кетади. Бу ҳолда бета-нурланиш юз беради. Шунга ўхшаш, агар ядрога ортиқча протонлар бўлса, улардан бири нейтронга айланиши мумкин.

Бунда мусбат электрон ҳосил бўлади ва тезда ядродан чиқиб кетади. Баъзи бир радиоактив элементларнинг мусбат электронлар тарқатиши ана шундай изоҳланади.



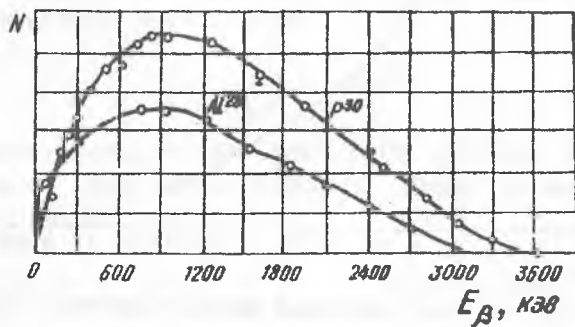
9-расм. Бета-зарраларнинг энергия спектри. (Te^{40})

Шуни айтиш керакки, нейтроннинг ўзи беқарор заррадир. У узоқ вақт ядродан ташқарида бўлса, ўз ҳолича протон ва электронга ажралади.

Умуман олганда, бета-айланиш қатор мураккаб муаммоларни ечишни тақоза этади. Булардан бири ядродан ажралиб чиқаётган электрон энергияси масаласидир. Радиоактив атом бета-нурлар тарқатиб емирилганда электронлар катта энергия билан отилиб чиқади. Бу энергияни турли усул билан, масалан, магнит майдонида электронларнинг оғишини ўлчаш йўли билан аниқлаш мумкин. Квант назариясининг асосий қонунларига мувофиқ, ядрога муайян миқдордагина энергия бўлади.

Ҳақикатан ҳам, ядро доим муайян дискрет миқдорда энергияга эга бўлган альфа- зарралар ва гамма- нурлар тарқатади. Шу сабабли бета-нурланишда ҳам айнан шу ҳолни кузатиш мумкин. Аниқланишича, муайян изотоп ядроси чиқарадиган электронлар ноҳдан то маълум бир максимал миқдоргача бўлган узлуксиз энергия спектрига эга бўлади. 10-расмдаги эгри чизик Al^{28} ва P^{30} нинг бета-нурлар учун хос бўлган энергия тақсимланишини кўрсатади.

Абцисса ўқида энергия, ордината ўқида эса электронлар сони кўрсатилган. Демак, муайян дискрет миқдор ўрнига энергиянинг узлуксиз тақсимланиши кузатилади. Бироқ гап энергия спектрининг узлуксизлигидагина эмас, балки энергиянинг исроф бўлаётганида ҳамдир. Бета- айланишда ажралиб чиққан энергия миқдорини, кўпинча бошқа маълумотлар асосида ҳисоблаб чиқиш мумкин бўлади. Бета-нурлар энергияси ана шу миқдорга тенг бўлиши керак.

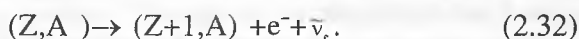


10-расм. Бета- спектрнинг кўриниши.

Аслида тўлиқ ажралиб чиққан энергияни ҳар гал ҳисоблаганда у спектрнинг юқори қийматига тенг бўлиб чиқади ва барча электронлар мазкур қийматдан кам энергия билан тарқалади. Шундай экан, қолган энергия қаёққа йўқолади? - деган саволнинг туғилиши табиий. Физиканинг асосий қонуни бўлмиш энергиянинг сақланиш қонуни бета-айланиш шароитида бузилади. Ҳаракат миқдори моментининг сақланиши ёки спин қонуни ҳам йўқолгандек бўлади.

Бу икки асосий қонуннинг мустаҳкамланишига эришиш учун хоссалари бета-айланишни шарҳловчи фикрни тасдиқлашга имкон бера оладиган заррани «ўйлаб топиш» талаб қилинади. Бу борада швейцариялик физик Вольфганг Паули қуйидагича мулоҳаза юритади. Агар бета-айланиш хусусиятлари сақланиш қонунларига тўғри келмас экан, демак, бу жараён нотўғри талқин этилган. Айланиш вақтида энергияси ва ҳаракат миқдори кам бўлган кўзга кўринмас нейтрал зарра ҳам иштирок этади. Лекин бу зарра тажриба давомида сезилмайди.

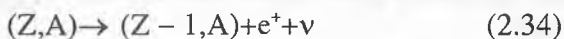
Шундай қилиб, бета-айланишда $n \rightarrow p + e^-$ эмас, балки $n \rightarrow p + e^- + x$ кузатилади, бунда x – бирор нейтрал зарра. Энрико Ферми бу заррани *нейтрино* деб атади. Бу италянча «нейтралча» демакдир. В.Паули тушинтирган зарра ҳозирги замон классификацияси бўйича электрон антинейтриноси дейилади ва $\bar{\nu}_e$ ёки $\bar{\nu}$ кўринишда белгиланади. Шунинг учун Паули гипотезасига асосан ядронинг β -айланиш реакциясини қуйидагича ёзиш қабул қилинган:



Нейтроннинг айланиши юқоридагига мос равишда

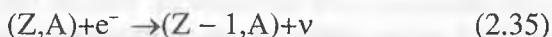


схема бўйича ўтади агар протонлар сони ортикча бўлса, улар сонининг бирга камайиши, нейтронлар сонининг эса бирга ортиши β^+ -айланишда рўй беради:



Бу ҳолда ядро позитрон ва нейтрино чиқаради.

Атом электронининг ядро томонидан ютилиши ўринли бўлган ҳол



кўринишда ифодаланади. В.Паулининг β -айланиш вақтида электрон (позитрон) дан ташқари спини $1/2$ га тенг, электр жиҳатдан нейтрал бўлган *нейтрино* деб аталувчи яна бир зарра ҳам ажралиб чиқади, деб қилган тахмини табиат қонунларини деярли бузмасдан тажриба натижаларини тушунтиришга имкон беради.

Демак, энди ҳаммаси мантиқий ва қатъийдир. Элементар зарралар сонининг ортиши ҳисобига сақланиш қонунлари ўзгармай қолди. Аммо нейтрино ҳам «шунчаки» кашф этилгандир. Назарий жиҳатдан олганда унинг хоссалари тажрибага асосланмай, балки исботсиз қоидалаштирилган. «Нейтралча»нинг мавжудлигини тажриба йўли билан қайд қилиш лозим эди. Қандай қилиб? Нейтрино - ажойиб зарра. Ядронинг ички структураси ҳақидаги ҳамма билимларимиз қанча-

лик кам бўлмасин, бироқ у нейтрино ҳақидаги маълумотларимизга нисбатан жуда бойдир. Нейтринонинг ички структурасини деярли билмаймиз. Нейтрино ва антинейтрино электрон ва позитрон каби турли зарраларми ёки айна бир зарранинг ўзими? - деган мунозара ҳозирга қадар давом этмокда. Бу зарранинг сезилмаслиги фақат ҳаракатсизлик (тинчликдаги) массаси ва заряднинг йўқлигидан эмас, балки унинг ниҳоят даражада сингиш қобилиятидир. Бу хусусда микродунёда нейтринога тенг келадигани йўқ. У ўта қалин жисмлардан ҳам ўта олади.

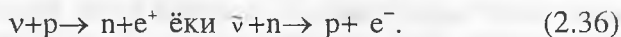
Нейтринонинг «назарий» жиҳатдан пайдо бўлиши билан мазкур зарранинг мавжудлиги тажрибада исботлангунга қадар орадан йигирма беш йил ўтди. 1948 йилга келиб, Аллен бу нозик тажрибани амалга оширишга муваффақ бўлди.

Нейтринонинг ҳақиқатан ҳам мавжудлигини узил-кесил ҳал этиш учун нейтрино ва антинейтрино турли хил зарраларми, деган масалани ҳал этиш лозим эди. Б.М.Понтекорво буни оригинал йўл билан ҳал қилиш мумкин, деган фикрни айтди.

Хўш, антинейтрино ва нейтрино деганда нимани тушуномок керак? Ҳозирга қадар антинейтрино – бу бета-айланишда электрон билан тарқаладиган заррадир, деб қаралади. β^+ -айланиш деб аталадиган бошқа бир айланиш протоннинг ўз-ўзидан нейтрон ва нейтринога айланиши билан характерланади (2.34, 2.35-схемаларга қаранг).

Нейтринони антинейтринодан ажратдик-ку, аммо бу зарралар бир хилми ёки қандайдир физик хоссалари жиҳатдан бир-биридан фарқланадими? – деган саволга жавоб берганимизча йўқ. Ҳозир «нейтрино заряди» устида тўхтаб ўтамиз. Агар нейтрино ва антинейтрино қарама-қарши «нейтрино зарядлари» га эга бўлса, у вақтда уларни бири иккинчисига ўхшамаган мустақил зарралар деб, агар улар нейтрал бўлса, бунда уни айна бир зарра, деб талқин қилиш мумкин.

Қуйидаги реакциядан тажриба принципини билиб олса бўлади:



Кўриниб турибдики, иккала реакция ҳам нейтринонинг антинейтриноси билан ва аксинча, антинейтринонинг нейтрино билан оддий алмашинувидан содир бўлган. Агар зарра ўртасида фарқ юзаки бўлса, табиийки, реакция бемалол амалга оширилаверади. Агар нейтрино ўз ички хоссаларига кўра антинейтринодан кескин фарқ қилса, бундай реакцияларни амалга ошириб бўлмайди. Бу масалани ҳал қилиш учун реакциялардан бирини текшириб кўриш кифоя қилади. Нейтринонинг бой манбаи бўлмагани учун иккинчи реакцияни кўришга тўғри келади. Яқинда антинейтринонинг хлор-37 ядроси билан ўзаро таъсирини ўрганиш устида иш олиб бораётган америкалик олим Девис бу тажрибани синаб кўрди. Аниқланишича, $\nu + \text{Cl}^{37} \rightarrow \text{Ar}^{37} + e^-$ ни амалга ошириб бўлмас экан.

Бундан нейтрино ва антинейтрино «нейтрино заряди» қарама-қарши ишораларга эга бўлган мустақил зарралардир, деган хулосага келиш мумкин. Нейтрино муаммосини ҳал этиш давом этмоқда.

2.10-§. Гамма-нурланиш. Ички конверсия. Ядро изомерияси

Табиий радиоактив изотопларни ўрганишда альфа ва бета- зарралар билан бирга гамма-нурлар, яъни гамма-квантлари, тинч ҳолатдаги массага эга бўлмаган нейтрал электромагнит нур пайқалган эди. Гамма-нурни оддий кўз билан кўриб бўлмайди; унинг энергияси рентген нурининг энергиясига қараганда анча катта (юзлаб марта ортиқ) бўлиб, улар қисқа тўлқинлардир. Элементдан гамма-нурнинг нурланиши уни бошқа элементга айланишига олиб келмайди. У фақат уйғонган ядронинг бир энергетик сатҳдан бошқа пастроқ жойлашган сатҳга ўтишидаги энергиянинг ўзгаришига боғлиқ. Одатда, альфа ва бета-емирилишда гамма-квантлар нурланади, чунки радиоактив емирилиш вақтида ҳосил бўладиган ядро уйғонган ҳолатда бўлади.

Ядронинг гамма-квантларни нурлаши ички электрон конверсия жараёни билан боғлиқ. Бу жараён шундан иборат-

ки, уйғонган ядро гамма-квантларни нурламасдан, ўз энергиясини ядрога яқинроқ жойлашган кобиқдаги электронлардан бирига бевосита беради, натижада электрон атомдан узилиб чиқади.

Ички конверсиядан сўнг характеристик рентген нурланиши ва оптик қайта нурланиш бошланади, чунки атом кобиғидаги электрондан бири ядро яқинида бўшаган жойга ўтади, бошқа электрон «қочоқ» электрон ўрнига ўтади ва ҳоказо.

Ички конверсия ҳодисасида ядронинг уйғониш энергияси электроннинг ядро билан боғланиш энергияси ϵ_c ни енгишга ва унинг кинетик энергияси E_c га сарф бўлади:

$$h\nu = E_c - \epsilon_c \quad (2.37)$$

Ядронинг уйғониш энергияси ҳамда атом кобиғидаги боғланиш энергиялари фақат муайян қийматларга эга бўлганлиги учун ички конверсия вақтида электронларнинг дискрет энергетик спектри ҳосил бўлади. β -айланишнинг ички конверсиядан асосий фарқи ҳам мана шунда.

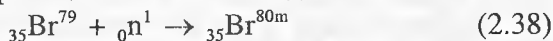
Радиоактив изотопнинг альфа-ёки бета-емирилишида ёки турли ядро реакцияларида ҳосил бўлувчи атом ядролари уйғонган ҳолатларининг яшаш даври, одатда, жуда кичик бўлиб, $10^{-15} \div 10^{-12}$ секундгача боради. Баъзи ҳолларда эса ана шундай ҳолат анча узоқ (ўнлаб йилларга) давом этиши ҳам мумкин. Яшаш вақти 10^{-9} секунддан ортиқ бўлган тургун ёки радиоактив ядронинг уйғонган ҳолати *ядро изомери* деб аталади. Изомер емирилишининг икки тури мавжуд. Бир турида изомер ядроси асосий ҳолатдаги ядро каби емирилади (масалан, β^- ёки β^+ айланиш, электрон қамраш), бунда ярим емирилиш даври ва чиқарадиган зарра энергияси бошқача бўлади. Изомер емирилишнинг бошқа тури шундан иборатки, изомер ядроси гамма-нурни чиқариб, асосий изотоп ядросига айланади. Баъзида изомер ядронинг бу икки емирилиш тури бирга учрайди.

Бета-айланиш вақтида Ra^{234} дан Th^{234} пайдо бўлади. Бундай айланиш вақтида Ra^{234} билан биргаликда уйғониш энергияси 0,4 МэВ га яқин бўлган Ra^{234} изотопнинг яна бошқа уйғониш ҳолати юзага келади. Ra^{234} изотопи ярим емирилиш

даври 6,7 соат бўлган β^- -айланишга дуч келса, уйғонган бета-радиоактив ядронинг ярим емирилиш даври бошқача бўлади. Унинг энергияси эса 1,15 МэВ га тенг. Шунинг учун Ra^{234} нинг уйғонган ҳолати мустақил изомер номини олди. Буни 1921 йилда О.Ган аниқлаган. Изомер ҳолатининг аниқланиши ядро изомерининг топилиши билан боғлиқ. Заряд ва масса сони бир хил бўлиб, радиоактив емирилиш механизми ва тезлиги турлича бўлган ядроларнинг мавжудлик ҳодисаси *ядро изомерияси* деб аталади.

Бирок, табиий радиоактив изотоплар орасида Ra^{234} изомерияси ягона мисолдир. 1935 йилда И.В.Курчатов, Л.В.Миловский ва Л.И.Русиновлар томонидан Br^{79} ядроси нейтронни қамраганда ҳосил бўладиган Br^{80} радиоактив изомерини олганларидан сўнг ядро изомериясига қизиқиш ва сунъий радиоактив изомерларни чуқур текшириш бошланди. Изомер ядролар, одатда, ядронинг кимёвий белгиси ёнига m ҳарфи кўйиб белгиланади, жумладан, метастабил ҳолатдаги бром изомери Br^{80m} кўринишда ёзилади. Шу ядронинг ўзи асосий ҳолатда Br^{80} .

Табиий бромни нейтронлар оқими билан нурлантирилганда қуйидаги ядро реакцияси юзага келади.



Юлдузча (*) билан белгиланган ядро ${}_{35}\text{Br}^{80*}$ уйғонган ҳолатда бўлади. Агар нейтрон энергияси жуда кам ёки нолга яқин бўлса, Br^{80} ядросининг уйғониш энергияси нейтроннинг шу ядрогаги боғланиш энергиясига тенг бўлади. Уйғонган ядроларнинг бир қисми ўзидан гамма-квантлар чиқариб, метастабил (пастроқ уйғонган) ҳолатларга ўтиб қолади, қолганлари эса, асосий ҳолатга ўтади. Br^{80} изомерининг ярим яшаш даври 18 мин. Шунинг учун ядро реакцияси натижасида олинган Br^{80} ядролари нисбатан қисқа вақтда йўқолиб кетади. Метастабил ядро Br^{80m} (ярим яшаш даври 4,4 соат) гамма нур чиқариб, Br^{80} изомерига айланади, сўнг 18 минутли ярим яшаш даврида β^- -айланиб, K^{80} изотопига айланади.

Ҳозирги вақтда турғун ва радиоактив ядроларнинг икки юз эллиқдан ортиқ изомери маълум.

2.11-§. Ионлаштирувчи нурланишнинг биологик таъсири хақида тушунча. Дозиметрия элементлари. Нурланиш дозасини ўлчаш бирликлари

Тирик организмларда ионланишни юзага келтирувчи нурланишнинг модда билан ўзаро таъсирланиш жараёнлари специфик биологик таъсирга олиб келади.

Модда билан кучсиз ўзаро таъсирланувчи зарралар, масалан, нейтрино биологик таъсир кўрсатмайди. Солиштирма ионизация йўқолишлари катта бўлган зарралар ҳам организмга кучсиз таъсир кўрсатади, шунинг учун улар ҳатто сиртқи қатламдан ҳам ўта олмайди, α - зарралар шулар жумласидандир.

Бу акт бирламчи таъсирда молекулаларнинг уйғотилиши ва ионланишидир, бунинг натижасида эркин электронлар пайдо бўлади. Нурланиш таъсирида организм таркибидаги сувнинг кимёвий ўзгариши (*радиолиз*) бошланади ва ўзгаришнинг маҳсули (ОН радикал, водород пероксиди ва бошқалар) биологик система малекулалари билан кимёвий реакцияга киришади, бу акт нурланишнинг билвосита таъсири ҳисобланади.

Ионловчи нурланишнинг биологик таъсири учун характерли бўлган баъзи умумий қонуниятларни кўриб чиқамиз.

Нурланишнинг жуда кам миқдордаги энергиясининг ютилиши анча катта биологик шикастланишларга олиб келиши мумкин. Биологик таъсир фақат бевосита ионловчи нурланишга дуч келган объектлардагина юз бермай, балки инсоннинг кейинги авлодига ҳам ўтиши мумкин. Бу ҳолат, шунингдек, уни шартли прогноз қила билиш, организмларни нурланишидан ҳимоялаш масаласини алоҳида жиддий қилиб қўяди.

Нурланиш ҳужайра ядросига кўпроқ зиён келтиради. Ҳужайра функцияларидан радиацияга энг кўп сезгири унинг бўлиниш қобилятидир, нурланиш вақтида энг аввал ўсувчи тўқималар зарарланади. Нурланиш айрим ҳужайралари кам яшайдиган тўқималарга: меъда ва ичакларнинг шиллик қатламлари, қон яратиш системаси, жинсий ҳужайралар ва бошқаларга, айниқса нобуд қиладиган даражада таъсир қиладди. Катта миқдордаги нурланишларда «нур остида ўлим» юз бериши мумкин, камроқ миқдордаги нурланишларда эса қатор касалликлар (нур касаллиги) пайдо бўлади.

Жонли ва жонсиз табиатнинг турли моддаларига ионловчи нурланиш таъсирини миқдорий баҳолаш зарурияти *дозиметриянинг* пайдо бўлишига сабаб бўлади.

Дозиметрия деб ядро физикасининг ва ўлчов техникасининг тегишли бўлимига айтилиб, мазкур бўлимда ионловчи нурланишнинг моддага таъсирини характерловчи катталиклар, шунингдек, уларни ўлчаш методлари ва асбоблари ўрганилади.

Дозиметриянинг дастлабки ривожланишига рентген нурларининг одамга таъсир этишини ҳисоблаш зарурияти туғилиши сабаб бўлади.

Ионлаштирувчи нурланишнинг моддага таъсири фақат шу модда таркибига кирувчи зарралар билан ўзаро таъсирлашганда рўй бериши илгари таъкидланган эди.

Активлик. Радиоактив манбанинг активлиги A деб емирилган ядролар сони ΔN нинг емирилиш рўй бераётган Δt вақт оралиғига нисбатига айтилади:

$$A = \Delta N / \Delta t \quad (2.39)$$

Активликнинг бирлиги – беккерель (Бк); бир беккерель шундай манбанинг активлигига тенгки, унда 1 с мобайнида битта ядро емирилиши рўй беради. Активлиги 1Бк бўлган радиоактив манбанинг массасини куйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

$$M = 2,4110^{-27} \cdot A_n \cdot T, \quad (2.40)$$

бу ерда M - масса (кг), T - емирилиш даври (с), A_n - радиоактив модда ядросининг масса сони.

Ионлаштирувчи нурланишнинг табиатидан қатъий назар, унинг ўзаро таъсири миқдор жиҳатидан модда массаси бирлигининг ютган энергияси билан баҳоланиши мумкин. Бу характеристика *нурланишнинг ютилган дозаси* - $D_{\text{ю}}$ дейилади. Ионлаштирувчи нурланишнинг турли эффектлари биринчи навбатда ютилган доза билан белгиланади. Бу доза ионлаштирувчи нурланишнинг тури, унинг зарарли энергияси, нурланувчи модданинг таркиби билан мураккаб боғланади ва нурланиш вақтига пропорционал бўлади. Вақт бирлигига нисбатан олинган доза *доза қуввати* деб аталади.

Халқаро бирликлар системасида ютилган дозанинг ўлчаш бирлиги *грей* (Гр), доза қувватиники эса 1 Гр/с. Ютилган дозанинг системадан ташқари бирлиги – рад= 10^{-2} Гр, унинг қуввати – 1 рад/с.

Ютилган дозани топиш учун жисмга тушган ионловчи нурланишнинг энергиясини, жисм оркали ўтган энергиясини ўлчаш ва уларнинг айирмасини жисм массасига бўлиш керак бўлгандай кўринади:

$$D_{\text{ю}} = \frac{dE}{dm}.$$

Бироқ амалда буни бажариш қийин, чунки жисм кўпинча бир жинслимас бўлади, энергия жисм томонидан ҳар хил йўналишлар бўйича сочилди. Шунинг учун аниқ «ютилган доза» тушунчаси тажрибада кам фойдали бўлар экан. Лекин жисм ютган дозани нурланишнинг жисм атрофидаги ҳавони ионлаштириш таъсири бўйича баҳолаш мумкин.

Шунга кўра рентген ва γ -нурланиш учун дозанинг яна бир тушунчаси – *экспозицион доза* – X тушунчаси киритилди; бу ўлчов рентген ва γ -нурлари томонидан ҳаво ионлаштишининг ўлчови бўлади.

Халқаро бирликлар системасида экспозицион дозанинг бирлиги қилиб 1 Кл/кг қабул қилинган. Лекин амалда *рентген* деб аталувчи бирлик ишлатилади. Рентген (р) γ -нурланиш экспозицион дозасининг бирлиги бўлиб, бундай дозада 1 см³ қуруқ ҳавонинг тўла ионлаштиши натижасида (0 °С ва 760 мм. сим.уст. бўлган вақтда) бир электростатик электр миқдорича ҳар бир ишорадаги заряд ташувчи ионлар ҳосил бўлади. 1 р экспозицион дозанинг 0,001293 г қуруқ ҳавода $2,08 \cdot 10^9$ жуфт ионлар ҳосил бўлишига мос эканлигини ҳисоблаб, аниқлаш қийин эмас:

$$1 \text{ р} = 2,08 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

Халқаро бирликлар системасида экспозицион доза қувватининг бирлиги 1 А/кг бўлиб, системадан ташқари бирлиги – 1 р/с бўлади.

Ютилган доза тушувчи ионлаштирувчи нурланишга пропорционал бўлгани учун ютилган ноэкспозицион дозалар орасида пропорционал муносабат бўлиши керак, яъни

$$D_0 = f \cdot X, \quad (2.41)$$

бу ерда f - бирор ўтиш коэффициентини бўлиб, у қатор сабабларга, аввало, нурланаётган модда турига ва фотонлар энергиясига боғлиқдир.

Сув ва одам танасининг юмшоқ тўқималари учун $f=1$, демак, рад ларда ҳисобланган ютилган доза сон жиҳатидан рентгенларда ифодаланган экспозицион дозага тенгдир. Бу ҳол системадан ташқари бўлган бирликлар рад ва рентгендан фойдаланишга қулайлик туғдиради. Суяк тўқимаси учун f -коэффициент фотон энергияси оширилиши билан 4,5 дан 1 гача камаяди.

Берилган турдаги нурланиш учун, одатда, ютилган доза қанча бўлса, биологик таъсир ҳам шунча кўп бўлади. Лекин турли нурланишлар ҳатто бирдай ютилган дозада ҳам ҳар хил таъсир кўрсатишлари мумкин.

Дозиметрияда турли нурланишларнинг биологик эффектини рентген ва γ -нурлар юзага келтирадиган эффектлар билан солиштириш қабул қилинган.

Тўқималарда ютилган доза бирдай бўлганда берилган нурланиш турининг биологик таъсири эффективлигининг рентген ёки γ -нурланиш эффективлигидан неча марта катталигини кўрсатувчи K -коэффициент *сифат коэффициенти* деб аталади. Радиобиологияда уни *нисбий биологик эффективлик* деб ҳам атайдилар.

Сифат коэффициентини тажрибавий маълумотларга асосан белгиладилар. У фақат зарра туригагина эмас, балки унинг энергиясига ҳам боғлиқ. Баъзи нурланишлар учун K нинг тахминий қийматларини келтирамиз (қавс ичида зарралар энергияси кўрсатилган):

Рентген ва γ - нурлар, β -зарралар	1
Иссиқлик нейтронлари (0,01 эВ)	3
Нейтронлар (5 МэВ)	7
Нейтронлар (0,5 МэВ), протонлар	10
α -зарралар	20

Ютилган доза сифат коэффициенти билан биргаликда ионловчи нурланишнинг биологик таъсири тўғрисида маълумот беради, шунинг учун $D_{10} \cdot K$ кўпайтмани бу таъсирнинг умумий бирлиги сифатида ишлатадилар ва *эквивалент доза* H деб атайдилар:

$$H = D_{10} \cdot K. \quad (2.42)$$

Халқаро бирликлар системасида эквивалент дозанинг бирлиги – *зиверт* (зв). Нурланишнинг сифат коэффициенти $K=1$ бўлганда ютилган доза 1 грей бўлса, эквивалент доза 1 зиверт бўлади.

Бундан ташқари эквивалент дозанинг системадан ташқари бирлиги - бэр (биологический эквивалент рентгена – рентгеннинг биологик эквиваленти) ишлатилади. 1 бэр=0,01 зв.

«Бэр»ларда ҳисобланган эквивалент доза «рад»ларда ҳисобланган ютилган доза билан сифат коэффициенти кўпайтмасига тенг. Табиий радиоактив (космик нурлар, ер бағри, сув радиоактивлиги, одам гавдаси таркибидаги ядролар активлиги ва ҳоказо) тахминан 125 мбэр эквивалент дозага мос фон ҳосил қилади. Нисбий нурланиш вақтида рухсат этилган чегаравий эквивалент доза бир йил учун 5 бэр ҳисобланади, ү-нурланишнинг минимал дозаси тахминан 600 бэр.

Ш Б О Б

ЯДРО РЕАКЦИЯЛАРИ

3.1-§. Ядро реакцияларининг асосий қонуниятлари

Ядролар устида олиб бориладиган экспериментларнинг кўпчилиги қисми элементар зарралар, энгил ядролар ёки фотонларнинг ядроларда сочилиш жараёнидир. Масалан, нейтронларнинг, протонларнинг ва α -зарраларнинг (${}^4_2\text{He}$ ядроси) ҳар хил ядролар билан тўқнашув жараёни. Агар бу тур тўқнашувларда нишон-ядронинг ҳолати ўзгарса, у ҳолда бундай жараёнга *ядро реакцияси* дейилади, акс ҳолда эластик сочилиш юз беради. Нишон - ядро билан зарраларнинг тўқнашувида ўзаро таъсирлашув жараёнининг вақти ядро реакциялари учун, одатда, 10^{-12} с га яқин бўлади. Нишон – ядронинг бошланғич ҳолатининг ўзгариши реакция натижасида бир ёки бир неча ядроларнинг ҳосил бўлишига олиб келиши мумкин.

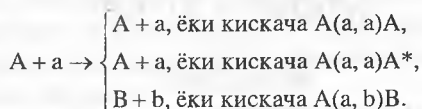
Одатда, ядро реакциялари қуйидагича қисқа ёзув билан бериледи. Масалан, α -зарранинг A нишон-ядро билан тўқнашув реакцияси натижасида B ядро ва b зарра ҳосил бўлсин дейлик. У ҳолда бу реакция қисқача шундай ёзилади:



ёки



Қавс ичида реакцияда иштирок этувчи энгил зарралар олдин реакцияга киришувчи, сўнг реакция натижасида ажралиб чиқувчи зарра кўрсатилади. Умуман қуйидаги жараёнлар юз бериши мумкин:



Биринчи жараён, албатта эластик сочилишга киради, чунки бу жараёнда дастлабки ядронинг ҳолати ўзгармайди.

$A(a, a)A^*$ жараён ноэластик сочилиш ҳисобланади, бунда A ядронинг ички ҳолати ўзгаради.

Учинчи $A(a, b)B$ жараёнда нишон - ядронинг a зарра билан тўқнашувида бошқа B ядро ва b зарра пайдо бўлади. Худди шу хил жараёнларни *ядро реакциялари* деб юритилади.

Ядро реакциялари энергия ажралиши ёки энергия ютилиши билан содир бўлиши мумкин. Энергия ажралиши билан содир бўладиган ядро реакцияларини *экзотермик*, энергия ютилиши билан содир бўладиган ядро реакцияларини *эндотермик реакциялар* деб аташ қабул қилинган. Экзотермик ядро реакциялари катта амалий аҳамиятга эга. Барча ядро реакцияларида қуйидаги сақланиш қонунлари амал қилади:

1) *электр зарядининг сақланиш қонуни*. Ядро реакциясига киришувчи зарраларнинг умумий заряди реакцияда вужудга келган зарраларнинг умумий зарядига тенг;

2) *нуклонлар сонининг сақланиш қондаси*. Ядро реакциясига киришаётган зарралардаги нуклонларнинг тўлиқ сони реакциядан кейин ҳам сақланади.

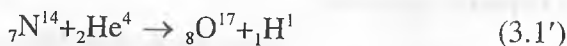
Бундан ташқари:

3) *энергиянинг сақланиш қонуни*;

4) *импульснинг сақланиш қонуни*;

5) *импульс моментининг сақланиш қонунлари* ҳам ўринлидир.

α -зарралари таъсирида юз берадиган ядро реакциялари тарихан биринчилардан эди. Мисол тариқасида 1919 йилда Резерфорд амалга оширган биринчи ядро реакциясини келтиришимиз мумкин. Бунда азотни α -зарралар билан бомбардимон қилиш натижасида кислород ${}_8\text{O}^{17}$ ва протон ${}_1\text{H}^1$ ҳосил бўлган. Юқорида баён этилган ядро реакцияларини ёзиш усулига асосланиб:



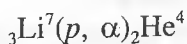
ёки ихчамроқ



кўринишларда ифодалаш мумкин.

Резерфорд атом ядросини *парчалаш* учун табиий радио-актив емирилиш натижасида юзага келган α - зарралар оқимидан фойдаланган.

Сунъий тезлаштирилган зарралар таъсирида юз берган биринчи ядро реакцияси 1932 йилда Кокрофт ва Уолтенлар томонидан амалга оширилган. Улар протонларни 0,8 МэВ энергиягача тезлаштириб қуйидаги реакцияни кузатганлар:



Кейинчалик зарядланган зарраларни тезлатиш техникаси ривожланиши натижасида сунъий йўл билан жуда кўп сондаги ядро реакциялари кузатилган.

Ядро физикасида *ядровий вақт* тушунчасидан фойдаланиш одат бўлган. Ядровий вақт деганда энергияси 1 МэВ бўлган нуклон ($v \sim 10^9$ см/с га мос келади) ядронинг диаметрига ($\sim 10^{-12}$ см) тенг масофани босиб ўтиши учун кетган вақт

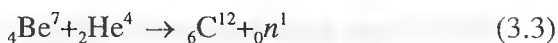
$$\tau_{\text{я}} = \frac{10^{-12} \text{ см}}{10^9 \text{ см/с}} = 10^{-21} \text{ с}$$

тушунилади.

3.2-§. Нейтрон. Кашф қилиниши. Нейтроннинг модда билан ўзаро таъсири

Энг кўп аҳамиятга эга бўлган ядро реакциялари – бу *нейтронлар* таъсирида амалга ошириладиган реакциялардир. Зарядланган зарралар (p , d , α) дан фарқли равишда нейтронлар Кулон итарилиш кучига эга эмас. Натижада жуда кичик энергияга эга бўлганда ҳам нейтронлар ядро ичига кириб бо-ра оладилар.

Барча атом ядроси таркибига кира оладиган энг муҳим элементар зарра – нейтрондир. 1932 йилда Д.Чедвик α -зарра билан бериллий металини бомбардимон қилиш тажрибасида заряди йўқ, массаси протоннинг массасига яқин бўлган янги элементар заррани қуйидаги ядро реакциясидан топди ва унга *нейтрон* деб ном берилди:



Бу реакциядан то шу кунгача нейтронлар манбаи сифатида фойдаланилади. Бундай манбаларни бериллий металига α -нурланиш чиқарадиган препарат аралаштириб ҳосил қилинади.

Нейтронлар тезлиги бўйича шартли равишда *тез* ва *секин* нейтронларга ажратилади:

1) 0,1÷50 МэВ ораликдаги энергияга эга бўлган нейтронлар *тез нейтронлар* деб аталади;

2) энергиялари 0,1 МэВ дан кичик бўлган нейтронлар *секин нейтронлар* деб номланади. Кўпинча секин нейтронларнинг энергияси 100 кэВ дан ошмайди. Энергиялари 0,025 эВдан то 0,5 эВ гача бўлган секин нейтронлар *иссиқлик нейтронлари* деб аталади. Энергиялари 0,025 эВ дан кичик бўлган нейтронларни *совуқ* ва *ультрасовуқ* нейтронларга ажратадилар.

Нейтронларнинг ядролар билан ўзаро таъсири, асосан, ядроларда *сочилишидан* иборат. Бундан ташқари нейтронлар ядроларга ютилиши мумкин, яъни улар эртароқ ёки кечроқ ядро ичига кириб боради ва ядро реакциясини амалга оширади.

Нейтронларнинг ядро сочилиши икки хил бўлади.

1. Нейтрон ядро билан *эластик тўқнашганда* унга ўз кинетик энергиясининг бир қисмини беради. Бериладиган энергия ядро ва нейтрон массаларининг нисбатига боғлиқ. Шунинг учун енгил ядролар билан тўқнашганида нейтроннинг энергияси анчагина камаяди.

Секинлатгич деб аталадиган моддалар (графит, оғир сув D_2O , HDO , бериллий қотишмалари)да тез нейтронлар ядроларда сочиладилар ва энергиялари секинлатгич атомларининг иссиқлик ҳаракат энергияларига айланади. Натижادا нейтронлар иссиқлик нейтронларига айланиб қоладилар. Уларнинг энергияси уй температурасида тахминан 0,025 эВ ни ташкил этади.

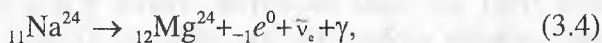
2. Нейтронларнинг ядро билан *ноэластик тўқнашуви* содир бўлганда нейтрон энергиясининг бир қисми ядрони *уйгонган ҳолатга* ўтказишга сарф бўлади. Бу ядро асосий ҳолатга қайтиш жараёнида γ -нурланиш чиқаради. Енгил яд-

роларда биринчи уйғонган сатҳ энергияси бир неча МэВга тенг. Шунинг учун енгил ядроларда нейтронларнинг ноэластик сочилиши хисобга олинмайдиган даражада кичик бўлади. Лекин оғир ядроларда биринчи уйғонган энергетик сатҳ асосий сатҳга анча яқин. Уларнинг фарқи 100 кэВлар чамасида. Шунинг учун бу ҳолларда ноэластик сочилиш кузатилади.

3.3-§. Сунъий радиоактивлик

Ядро реакцияси туфайли ҳосил қилинган изотопларнинг радиоактивлиги *сунъий радиоактивлик* деб ном олган. Сунъий радиоактивлик атом ядросининг барқарорлик (стабиллик) шартининг бузилиши билан боғлиқ.

Енгил ядро ($A < 50$) ларда сунъий равишда нейтронларнинг сонини протонлар сонига нисбатан орттирилиши натижасида стабиллик шарти бузилади. Натижада β^- радиоактивлик юзага келади. β^- -радиоактивлик деганда ядролардан электронлар чиқиши тушунилади. Бунга типик мисол натрий ${}_{11}\text{Na}^{23}$ стабил изотопининг нейтронлар таъсирида натрийнинг ${}_{11}\text{Na}^{24}$ радиоактив изотопига айланиб қолишидир. Бу изотоп β^- -радиоактив, шунинг учун у ўз-ўзидан емирилиб, магнийнинг ${}_{12}\text{Mg}^{24}$ стабил изотопига айланиб қолади. Бу жараён куйидагича кечади:



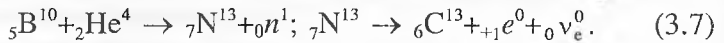
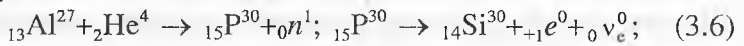
бу ерда $\bar{\nu}_e$ – электронли антинейтрино деб ном олган.

Стабил ядрога ортиқча протон киритилганда унинг мустақамлиги бузилади. Бу ҳолда ядронинг энергияси ортади, ядронинг мустақамлик шарти бузилади ва сунъий β^+ -радиоактивлик юзага келади. β^+ -радиоактивликда *позитрон* деб аталувчи зарра пайдо бўлади. Позитроннинг заряди мусбат, қиймати электрон зарядига тенг, фақат ишораси билан фарқ қилади. Массаси электроннинг массасига тенг, спини $\hbar/2$ га тенг. β^+ -емирилиш ядрогаги ортиқча протоннинг нейтронга айланиши натижасида содир бўлади:



бу тур реакцияда тинчликдаги массаси нолга тенг бўлган зарядсиз зарра – электронли нейтрино деб аталувчи зарра позитрон (${}_{+1}e^0$) билан бирга чиқади.

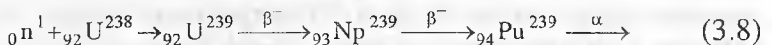
Сунъий β^+ -радиоактивликка қуйидаги ядро реакциялари мисол бўла олади:



3.4-§. Трансуран элементлар

Уран ядроларининг нейтронлар билан реакциялари заряд сони $Z=92$ дан катта бўлган кимёвий элементларни очишига олиб келади. Бундай кимёвий элементлар (урандан кейинги) ёки бошқача *трансуран элементлар* деб ном олган. Уларнинг барчаси у ёки бу оғир элемент турли ядро зарралари билан нурлантирилганда ёки бомбардимон қилинганда турли ядро реакциялари натижасида сунъий йўл билан олинади.

Уран ядросининг U^{238} изотопини нейтронлар оқими билан нурлантирилганда оралиқ ядро U^{239} ҳосил бўлади. Ортиқча нейтронга эга бўлган бу ядро β^- -емирилишга дучор бўлади ва $Z=93$ га эга бўлган трансуран элементга айланади. Бу элементга Куёш системасидаги сайёраларга ўхшатиб *нептун* (Np) деб ном берилган, чунки Куёш системасида Уран сайёрасидан кейин Нептун сайёраси туради. Нептун радиоактив элемент. У ўз ўрнида β^- емирилиб, анча муҳим бўлган сунъий $Z=94$ бўлган трансуран элементга айланади. Уни яна Куёш системасига ўхшатиб плутоний (Pu) деб атадилар, чунки Нептун сайёрасидан кейин Плутон сайёраси келади. Бу ядро реакцияларининг кўриниши:



Ҳозирги пайтда нептунийнинг 12 дан кам бўлмаган масса сонлари 230 дан 241 гача бўлган изотоплари мавжуд. Нептуннинг ${}_{93}\text{Np}^{239}$ изотопи оғир кумушранг металл бўлиб, ҳавода секин оксидланиб боради. Унинг эриш температураси 640°C , зичлиги эса $\rho=19,5 \text{ г/см}^3$; плутонийни эса масса сони 232

дан 246 гача бўлган 15 дан кам бўлмаган изотопи мавжуд. У ҳаворанг кўринишга эга бўлиб, ялтираш хусусиятга эга бўлган металл. Унинг зичлиги турли модификацияда 15,9 дан то 19,8 г/см³ гача ўзгаради. Эриш температураси 640 °С. Чизиқли кенгайиш коэффициентлари манфий.

Нейтронлар билан плутонийни нурлантириш натижасида $Z=95$ бўлган трансурани элемент олинган. У АҚШда олинган бўлиб, *америций* (Am) деб ном олган. Ядро реакторида олиниш реакцияси:

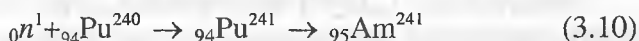
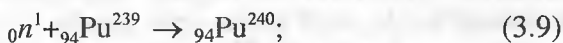
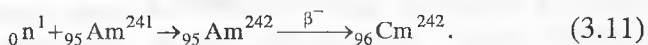


схема бўйича амалга оширилади. Америций ${}_{95}\text{Am}^{241}$ кумушранг металл бўлиб, унинг зичлиги 11,7 г/см³.

Нейтронлар билан ${}_{95}\text{Am}^{241}$ ни нурлантириш натижасида ${}_{95}\text{Am}^{242}$ оралик изотоп юзага келади. Бу радиоактив ядронинг β^- – емирилиши натижасида янги $Z=96$ трансурани элемент юзага келади. У қуйидаги ядро реакциялари схемаси асосида юзага келади:



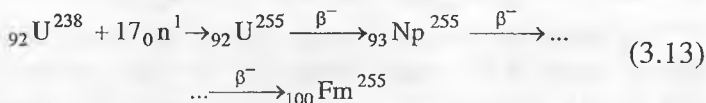
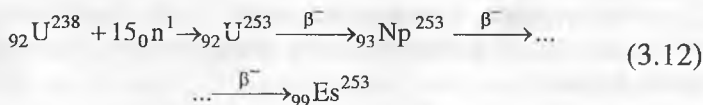
Бу олинган янги элементга Мария ва Пьер Кюрилар ша-рафига *кюри* (Cm) номи берилган. Бу ҳам кумушсимон металл бўлиб, зичлиги 7 г/см³. У α -радиоактив элемент. Ярим емирилиш даври 160 кун.

Шуни таъкидлаб ўтмоқ жоизки, 97 ва 98-элементлар плутоний ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ ни ядро реакторларида нейтронлар билан узоқ вақт давомида нурлантирилиш йўли билан олинади. Улар мос равишда *беркли* (Bk) ва *калифорний* (Cf) деб номланган эдилар. Бу номлар АҚШдаги Беркли шахри ҳамда Калифорния Университетининг номларидан келиб чиққан, чунки улар ўша ерда биринчи бўлиб олинган эди. Беркли ва калифорнийни олишнинг худди америций ва кюриларга ўхшаш бир неча усуллари мавжуд. Бироқ барча бу элементларни кўп миқдорда олиш фақат реактор усули билан амалга оширилади. Ҳозирги вақтда америцийнинг масса сонлари 237 дан 247 гача бўлган 11 та изотопи, кюрининг 13 та изотопи ($238 \leq A \leq 252$),

бекрлийнинг 9 та изотопи ($243 \leq A \leq 251$) ҳамда калифорнийнинг 16 та изотопи ($240 \leq A \leq 255$) мавжуд.

Реактор усули трансурани элементларини кўп миқдорда олишнинг ягона усули бўлса ҳам уни ҳар доим ҳам қўллаб бўлмайди. Калифорний ($Z=98$) дан кейинги ($Z=99$), ($Z=100$) элементларни 1952 йилда АҚШда водород бомбасини портлатиш натижасида олимлар жуда катта қийинчиликлар орқали жуда кам миқдорда олишга муяссар бўлганлар. Уларни олимлар Эйнштейн ва Ферми шарафига мос равишда *эйнштейний* ва *фермий* деб атаган эдилар.

Эйнштейний (${}_{99}\text{Es}^{253}$) ва фермий (${}_{100}\text{Fm}^{255}$) изотоплар қуйидаги жараёнлар натижасида олинган: водород бомбасининг портлаш натижасида уранинг баъзи ядролари бир вақтнинг ўзида 15 ёки 17 та нейтронни тортиб оладилар. Сўнг қатор β^- -емирилишлар занжири янги трансурани элементларининг юзага келишига олиб келади:



Ҳозирги вақтда эйнштейнийнинг 14 та изотопи ($243 \leq A \leq 256$), фермийнинг 16 та изотопи ($242 \leq A \leq 258$) маълум. Бу изотоплар ҳам радиоактив. Уларнинг ярим емирилиш давлари ўзларидан аввалги трансураниларга нисбатан кичик бўлиши билан характерланади. Эйнштейнийлар орасида энг узоқ яшайдиган ${}_{99}\text{Es}^{254}$ бўлиб, унинг ярим емирилиш даври 480 кун, фермий ${}_{100}\text{Fm}^{257}$ изотопининг ярим емирилиш даври 80 кун, ${}_{100}\text{Fm}^{256}$ изотопининг ярим емирилиш даври ҳаммаси бўлиб 160 минутни ташкил этади.

Юқорида баён этилган усуллар ёрдамида $Z > 100$ бўлган ядроларни ҳосил қилиб бўлмас экан. Сабаблари – нейтронлар оқим зичлигини етарли эмаслиги, кўп сондаги нейтронларни тортиб олиш эҳтимоллигининг кичиклиги ва энг муҳими $Z > 100$ ядроларнинг радиоактив емирилишининг тезлигидир.

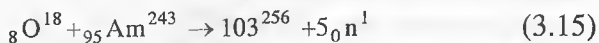
АҚШда энгил ядролар (${}_1\text{H}^1$, ${}_1\text{H}^2$, шунингдек, ${}_2\text{He}^4$ – α -зарра) билан олдиндан реакторда ҳосил қилинган энг оғир трансурани элементларни бомбардимон қилиш йўли билан 1940, 1944, 1949, 1950 йилларда ${}_{94}\text{Pu}^{238}$, ${}_{96}\text{Cm}^{242}$, ${}_{97}\text{Bk}^{243}$ ва ${}_{99}\text{Cf}^{245}$ изотоплар ҳосил қилинди. Шу йўл билан 1955 йилда охириги янги 101-элемент биринчи бўлиб АҚШнинг Беркли шаҳрида ҳосил қилинди:



Бу 101-элементга буюк рус кимёғари Д.И.Менделеев шарафига *менделевий* деб ном берилган.

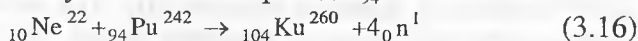
Шундан сўнг бутун дунёда янги $Z \geq 102$ элементларни ҳосил қилиш йўлида оғир ядроларни бомбардимон қилувчи зарралар *тезлаткичларини* мукаммалаштириш лозимлиги кўриниб қолди. Бу борада турли мамлакатларда турли хил тезлаткичлар майдонга келди. 1966 йилда Москва шаҳридан узоқ бўлмаган Дубна шаҳарчасида янги У-200 циклотрон қурилдики, унда биринчи бўлиб 106- ва 107- элементлар олинган. 1956 йилдан бошлаб Стокгольмда, Берклидаги Калифорний институтида ҳамда Москвадаги атом энергияси институтларида 102-элементни олишга киришилган. Лекин ишончли натижа 1963 йилда Дубнада олинган. Дубна олимлари ${}_{92}\text{U}^{238}$ ни ${}_{10}\text{Ne}^{22}$ ионлари билан бомбардимон қилиш натижасида ${}_{102}^{254}$ изотопини олишган. Унинг ярим емирилиш даври 55 с бўлиб чиққан. Кейинчалик Дубнада бу элементнинг барча изотоплари бўйича олинган натижалар Берклида олинган натижалар билан солиштирилган. Бу янги элементни олим Альфред Нобель шарафига *нобелий* деб аташ қабул қилинган.

1961 йилда Берклидан ${}_{103}^{257}$ элементнинг топилганлиги ҳақида хабар келган. Бу элементга циклотронни кашф қилган Лоуренс шарафига *лоуренсий* деб ном берилган. Лекин ${}_{103}^{257}$ изотоп ҳақидаги хабарнинг хато эканлиги аниқланган. 1965 йилда Дубнада ишончли ${}_{103}^{256}$ изотоп куйидаги ядро реакция натижасида олинган:



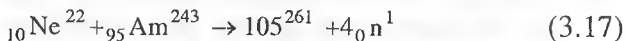
1964 йилда Дубнада У-300 циклотронидида 104-элемент (аникроғи ${}_{104}^{260}$ изотоп) кашф қилинди. У кўзга кўринган

физик И.В.Курчатов шарафига *курчатовий* (Ku) деб аталган. Бу элементни юзага келтириш учун бомбардимон қилувчи 115 МэВли энергияга эга бўлган зарралар $_{10}\text{Ne}^{22}$ нинг ионлари, бомбардимон қилинувчи модда сифатида $_{94}\text{Pu}^{242}$ олинган:



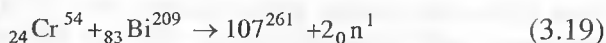
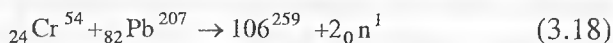
Ҳозирги вақтда курчатовийнинг ҳаммаси бўлиб 8 та изотопи олинган.

1970 йилда Дубнада биринчи бўлиб



ядро реакцияси натижасида $A=105$ элемент ҳосил қилинди ва у Нильс Бор шарафига нильсборий (Ns) деб номланди.

1974 йилда Дубнада 106- ва 1976 йилда 107-элементлар топилган. Уларни ҳосил бўлиш реакциялари:



Менделеев элементлар даврий системасидаги 108, 109, 110-элементларни мавжудлиги ҳақидаги экспериментаторларнинг хабарлари илмий адабиётларда учраб туради. Ҳозирги замон назарийчилари эса 110-114 номерли элементларнинг мавжудлиги ҳақида олдиндан башорат қилмоқдалар. Бу соҳада ҳам назарий ҳам амалий изланишлар интенсив давом этмоқда ва яқин келажакда янги-янги трансурани элементларнинг кашф қилиниши кутилмоқда.

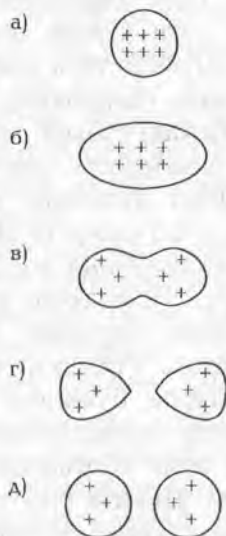
3.5-§. Атом ядроларининг бўлиниши. Занжир ядро бўлиниш реакциялари. Ядро реакторлари

Атом ядроларининг бўлиниши – энг муҳим фундаментал кашфиётлардан бири бўлиб, кўп сондаги илмий-техник қўлланишларга эга. Бу кашфиётнинг тарихи 1934 йилларга бориб тақалади. Италиялик олим Э.Ферми ўз ходимлари билан янги кимёвий элементларни олиш мақсадида атом ядроларини нейтронлар билан нурлантиришни бошлаган эди. Улар ҳақиқатан ҳам урани нейтронлар билан нурлантирган-

да янги радиоактив ядролар ҳосил бўлишини кузатганлар. И.Кюри ва П.Савич (Франция), О.Ган ва Ф.Штрассман (Германия), О.Фриш ва Л.Мейтнер (Австрия)ларнинг экспериментал ва назарий изланишлари туфайли нейтронлар билан бомбардимон қилинган оғир ядролар (масалан, уран)ни *икки бўлакка бўлиниши* аниқланади. Буларга қўшимча нейтронлар, электронлар ва γ -нурланишларнинг ҳам вужудга келиши кузатилади. Бу ҳодиса *ядроларнинг бўлиниши* деб ном олди. Бўлиниш жараёнида вужудга келган ядролар эса *бўлиниш парчалари* деб аталди. Тадқиқотларнинг кўрсатишича ${}_{92}\text{U}^{235}$ ядро истаган, шулар қаторида секин, нейтронларни тутиб (қамраб) олгандан сўнг бўлинишга дучор бўлади. ${}_{92}\text{U}^{238}$ уран ядроси учун нейтронни ютгандан сўнг энергияси 1 МэВдан катта бўлган тез нейтронлар керак бўлади.

Ядроларнинг ҳеч қандай ташқи таъсирсиз, *спонтан бўлиниши* ҳам мумкин. Уран ядросининг спонтан бўлинишини К.А.Петржак ва Г.Н.Флеров биринчи бўлиб кузатганлар. Лекин спонтан бўлинишнинг тажрибада аниқланган эҳтимоллиги жуда кичик, яъни ярим емирилиш даври ниҳоят катта. Масалан, уран учун $0,8 \cdot 10^{16}$ йилга тенг.

Ядронинг томчи моделига кўра атом ядроси суюқлик томчисига ўхшатиладики, шунинг учун ядронинг бўлиниш жараёнини қуйидагича кўз ўнгимизга келтириш мумкин. Агар томчига етарлича катта бўлган туртки берилса, томчининг бошланғич сферасимон шаклига қайтиш имконияти йўқолади. Шунинг учун у бир неча босқичлардан (11-расмга қ.) ўтиб, иккига ажралади.



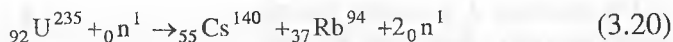
11-расм. Томчи моделига кўра ядронинг бўлиниш жараёнини схематик тасвирланиши.

Ядронинг бўлиниши ҳам томчиникига ўхшаш бўлади. Нейтрон ядро ичига кириб, ўзининг кинетик ва боғланиш энергияларининг йиғиндисига тенг миқдордаги энергия беради. Ядрога берилган бу энергия таъсирида ядро ўзининг сферасимон шаклини тиклай олмайди. Натижада ядронинг икки чегаралари орасидаги масофаларда ядро кучлари тортилиш эмас, аксинча итариш характерига эга бўлади. Шунинг учун бу ҳолдаги ядро кучлари ядронинг бўлинишига кўмаклашади. Натижада ядро икки ядрога – бўлиниш парчаларига ажралади. Ядронинг бўлиниши учун етарли бўлган энергиянинг қиймати *бўлинишнинг критик энергияси* $W_{кр}$ (ёки *активлаш энергияси*) деб аталади. Енгил ядроларда ядро кучларининг энергияси устунлик қилади. Шунинг учун уларнинг бўлиниши жуда кам содир бўлади. $A \approx 100$ бўлган ядролар учун $W_{кр}$ нинг қиймати 50 МэВларга етади. Оғир ядроларда, масалан, масса сони $A=230$ бўлган ядролар учун критик энергиянинг қиймати бир неча МэВларга тенг. Шунинг учун оғир ядроларнинг бўлинишини амалга ошириш анча осонроқдир. $A=260$ бўлган ядролар учун $W_{кр}$ нолга тенг. Демак, сунъий равишда ҳосил қилинган оғир ядролар узок яшай олмайдилар, улар спонтан бўлинади.

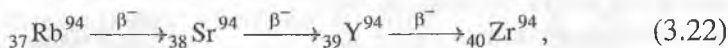
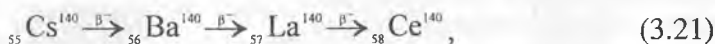
Ядро бўлиниш ҳодисасининг назариясини 1939 йилда Н.Бор, Ж.Уиллер ва Я.И.Френкель яратди. Улар яратган назария механизмини соддалаштирган тарзда ядрони томчи моделига ўхшатган ҳолда юқорида баён қилдик.

Энди, ядронинг бўлинишида кузатиладиган қонуниятга тўхтаймиз. Ураннын 60 га яқин бўлиниши кузатилади, 80 га яқин турли бўлиниш парчалари ҳосил бўлади. Улар ичида бўлиниш парчаларининг масса сонлари нисбати A_1/A_2 нинг $2/3$ га яқин бўлганларининг катта эҳтимолликка эга бўлиши маълум. Иккита бир хил массага эга бўлган бўлиниш парчаларининг ҳосил бўлиши $10^{-2}\%$ ни ташкил қилади, масса сонлари 95 ва 140 ($95 : 140 \approx 2 : 3$) тартибида бўлган бўлиниш парчаларининг ҳосил бўлиши 7% ҳолда кузатилади.

Бўлиниш реакцияларида ҳосил бўладиган парчалар кўпчилик ҳолларда радиоактив бўлишлари кузатилади. Улар β^- айланиш занжирига дучор бўладилар, бундай β^- -емирилишларда γ -квантлар бирга чиқадилар. Бунга мисол келтирамиз:



Бўлиниш парчалари – цезий ва Rb радиоактив бўлганлари учун бир неча β^- емириладилар:



Охирги маҳсулотлар – церий Ce^{140} ва цирконий Zr^{94} лар стабилдирлар.

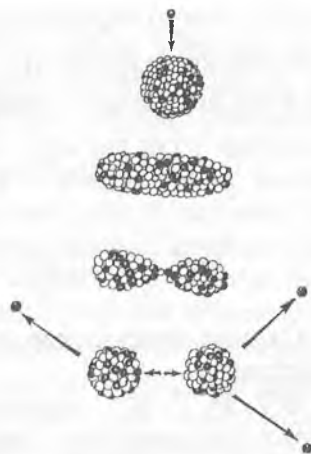
U^{235} , Pu^{239} , U^{233} ядроларининг бўлинишида бир нечталаб нейтрон чиқаришлари *занжир ядро реакцияларини* амалга ошириш имкониятини яратади. Ҳар бир ядро бўлинишида юзага келган нейтронлар сони геометрик прогрессия йўли билан орта боради. U^{235} ядросининг бўлинишида юзага келади-ган нейтронлар ўртача ~ 2 МэВ энергияга эга, бу $\sim 2 \cdot 10^9$ см/с тезликка тўғри келади. Шунинг учун нейтрон чиқариш билан уни янги бўлинаётган ядрога ютилиш (қамраб олиниш) вақти жуда кичик. Демак, бўлинаётган моддада нейтронларнинг кўпайиш жараёни ҳаддан ташқари тез кечади.

Уранда занжир ядро реакцияси иккита усул билан амалга оширилади. Биринчи усул табиий урандан бўлинадиган U^{235} – изотопни ажратишдир. Бу ҳол жуда қийинчилик билан амалга оширилади, чунки уларни кимёвий фарклаб бўлмайди.

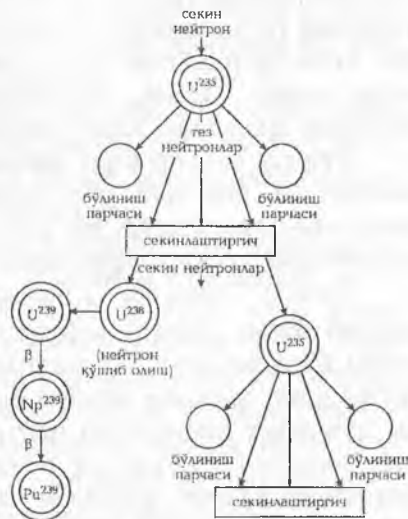
Тоза U^{235} (ёки Pu^{239}) парчаси (бўлаги)да ядронинг ҳар бир қамраб олган (ютган) нейтрон $\sim 2,5$ янги нейтрон ҳосил қилувчи бўлинишни юзага келтиради. Бироқ, агар бундай парча (бўлак)нинг массаси маълум бир *критик қийматдан* кам бўлса, кўпчилик чиқарилган нейтронлар ташқарига кетиб, бўлиниш амалга ошмайди, ва демак, занжир реакция ҳам ҳосил бўлмайди. Критик массадан катта бўлган ҳолларда, нейтронлар тезда кучаядилар ва ядро реакцияси *портлаш* характери-га эга бўлади (12-а, 12-б расмларга қ.). *Атом бомбасининг* таъсири шунга асосланган. Бундай бомбанинг ядро заряди (бўлинувчи ядро массаси) соф U^{235} ёки Pu^{239} дан икки ёки ундан кўп бўлак (парча)ни ташкил этади

(12-в расмда 1 рақами билан белгиланган). Хар бир бўлакнинг массаси критик массадан кичик, натижада занжир реакция амалга ошмайди. Лекин уларни бирлаштирилса, массалари биргаликда критик массадан катта бўлади ва тезда занжир реакция юзага келади. Уларни бирлаштириш учун одатдаги портловчи модда 2 дан фойдаланилади. Унинг ёрдамида ядро зарядининг бир қисми иккинчи қисми билан бирлашади. Буларнинг ҳаммаси катта зичликка эга бўлган 3 массив қобиқ билан қопланган бўлади. Қобиқ нейтронларни қайтариб туради ва бундан ташқари, ядро зарядини буғланиб кетишдан сақлаб туради. Атом бомбасидаги занжир реакция тез нейтронларда амалга ошади ва бу реакция *бошқарилмайдиган* ядро реакцияси номи билан юритилади.

Ядро реакторларида занжир реакцияни юзага келтиришнинг бошқа усулидан фойдаланилади. Уларда *бошқариладиган* ядро реакциялари амалга оширилади. Реакторларда бўлинувчи модда сифатида табиий (ёки ураннынг U^{235} изотопи билан бойитилган) уран олинади. Ядро реакторининг асосий қисмлари:

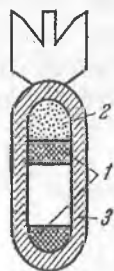


12-а расм. Ядронинг нейтрон таъсирида ядро бўлакларига ажралиб кетиш схемаси.



12-б расм. Нейтрон таъсирида U^{235} нинг бўлиниш схемаси.

бўлинувчи модда, нейтронларни секинлаткич ва қайтаргич реакторда ҳосил бўлган иссиқликни олиб кеткич, бўлиниш занжир реакциясини бориш тезлигини бошқариб тургичлардан иборат бўлади. Секин (иссиқлик) ва тез нейтронларда ишлайдиган реакторлар бўлади. Реакторларда нейтронларнинг кўпайиш коэффициенти $k=1$ дан озгина катта қийматларида занжир реакцияни бошлаш имконияти мавжуд бўлади. Бу ҳолда реакторнинг актив зонасидаги нейтронлар концентрацияси ва реакторнинг қуввати орта бошлайди. Керакли қувватга эришилганда $k=1$ қилиб туриш имконияти бўлиши керак.



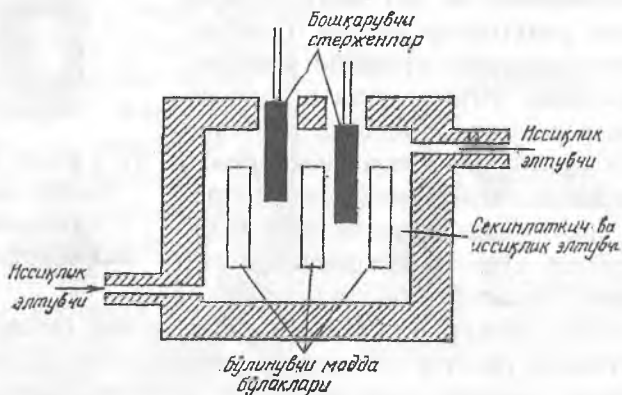
12-в расм. Атом бомбасининг схематик тасвирланиши

Бу ҳолда занжир реакция ўзгармас тезлик билан давом этади, натижада реактор *стационар режимда* ишлай бошлайди. Бўлиниш занжир реакциясининг анчагина вариантлари мавжуд. Биз ҳозирги замон энергетикасида кенг фойдаланилаётган иссиқлик нейтронлар таъсирида ишлайдиган реакторлар хақида гап юритамиз. Иссиқлик нейтронлар U^{235} ни эффе́ктив равишда бўлинишига сабабчи бўлади.

Шунинг учун бўлиниш реакциясида вужудга келган тез нейтронларни секинлаткичлар ёрдамида секинлатиш йўли билан иссиқлик нейтронларга айлантирилади. Одатда, секинлаткичлар сифатида графит ёки оғир сув (D_2O) дан, баъзан эса оддий сув (H_2O) дан ҳам фойдаланилади. 13-расмда реактор актив зонасининг соддалаштирилган схемаси тасвирланган.

Реакторнинг актив зонаси секинлаткич билан тўлдирилган. Секинлаткич ичига стержен ёки пластинка шаклида бўлинувчи модда бўлаклари жойлаштирилади. Занжир реакция тезлигини бошқарувчи стерженлар ёрдамида ўзгартириш мумкин. Бу стерженлар нейтронларни интенсив равишда ютадиган материаллар (масалан, бор ёки кадмий)дан тайёрланади. Бошқарувчи стерженларнинг кўпроқ ёки камроқ қисмини актив зона ичига киритиш йўли билан коэффициент k ни ўзгартиришга эришилади. Ядро энергиясидан фойдаланишга асосланган қурилмаларнинг асосий қисми ядро

реакторидир. Атом электр станция (АЭС)ларининг ишлаш принципи реакторларда содир бўладиган занжир бўлиниш реакцияси натижасида ажраладиган энергиядан фойдаланишга асосланган. АЭСларда ядро энергиясини электр энергиясига айлантирилади.



13-расм. Реактор актив зонасининг содалаштирилган схемаси.

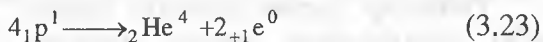
Атом электр станцияларининг қуввати ядро реакторларининг қуввати билан аниқланади. Етарли қувватга эга бўлган реакторлар сув ости кемаларида энергия манбаи бўлиб хизмат қиладилар. АЭС энергияларидан денгиз сувларини чуқулаштириш учун фойдаланилади. Бу сувлар қурғоқ ерларни суғоришга ишлатилади. Булардан ташқари реакторлардан турли кимёвий элементларнинг радиоактив изотопларини ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Булар ҳақида кейинги бобларда батафсил тўхтаб ўтамиз.

3.6-§. Термоядро реакциялар

Термоядро реакцияси деб, енгил ядроларнинг ўзаро бирикиши (синтези) натижасида ўзларидан оғирроқ ядроларга айланашидаги экзотермик ядро реакцияларига айтилади. Термоядро реакциялар жуда юқори 10^7 – 10^9 К тартибдаги тем-

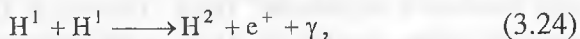
ператураларда эффектив юз беради. Термоядро реакцияларда жуда катта энергия ажралади. У оғир ядроларнинг бўлинишидаги ажраладиган энергияга қараганда анча катта бўлади. Масалан, дейтерий ${}_1\text{D}^2$ ядроси билан тритий ${}_1\text{T}^3$ ядросининг бирикиб, ${}_2\text{He}^4$ ядросини ҳосил қилишидаги ажраладиган энергия битта нуклон учун 3,5 МэВга тўғри келади.

Тўртта протон ${}_1\text{p}^1$ ўзаро бирикиб битта ${}_2\text{He}^4$ ядросини ҳосил қилиш синтез реакцияси:

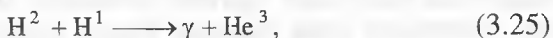


да ажраладиган энергиясида битта заррага тўғри келадиган қиймати 6,7 МэВга тенг. Ядролар синтези амалга ошиши учун ядро кучларининг таъсири сезиладиган масофа ($r \sim 10^{-15}$ м) гача яқинлашиши керак. Лекин ядроларнинг бу даражада яқинлашишига Кулон итарилиш кучлари қаршилик кўрсатади. Бундай потенциал тўсиқни енгиш учун ${}_1\text{D}^2$ ва ${}_1\text{T}^3$ ларнинг синтез реакциясида ядролар $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \approx 0,1$ МэВ энергияга эга

бўлишлари керак. Бунинг учун ядролар иссиқлик ҳаракатининг энергияси $\frac{2}{3} kT$ га кўра $T = 2 \cdot 10^9$ К гача қиздирилган бўлишлари керак. Қатор сабаблар (масалан, туннель эффект ва ҳ.к.)га кўра термоядро реакциялари 10^9 К эмас, балки 10^7 К тартибидаги температураларда амалга ошади. Ядролар синтези юқори температураларда содир бўлганлиги учун уни *термоядро* реакция деб ҳам айтилади. Бу қадар юқори температура юлдузларда, жумладан, Қуёшда мавжуд. Қуёш нурланиш спектрини ўрганиш асосида юлдузлар таркиби, асосан водород (~80% гача) ва гелий (~20% гача) ҳамда озгина миқдордаги (~1% гача) углерод, азот ва кислороддан иборат, деган хулосага келинган. Қуёш энергияси, асосан унинг таркибидаги ядроларнинг синтези, яъни термоядро реакциялар тўғрисида ажралади. Бу реакцияларнинг вариантларидан бири (*pp*) циклидир. Бу циклдаги биринчи реакцияда икки протон бирикиб, дейтонни ҳосил қилади:



иккинчи босқичда:



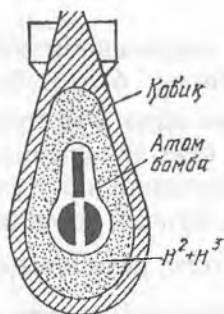
реакция амалга ошади. Шундан сўнг



реакцияда гелий ядроси ва иккита протон ҳосил бўлади. Бундан ташқари Бете таклиф этган углерод цикли ҳам амалга ошади. Бу циклда ҳам гелий ядроси ҳосил бўлади. Замоनावий тасаввурларга асосан Куёш энергиясининг манбаи асосан *pp*-циклдир.

Олимлар сунъий равишда термоядро реакциясини амалга ошириш усулини топдилар. Бунинг учун термоядро реакцияда қатнашиши лозим бўлган модда (масалан, H^2 ва H^3 аралашмаси) ичида махсус жойлаштирилган атом бомба (14-расм) портлатилса бас. Атом бомба портлаганда ғоят қисқа вақт ичида температура $\sim 10^7$ К га етиб, дейтерий ва тритий бирикади, бунда энергия ажралиб чиқиши янада кучлироқ портлаш тарзида намоён бўлади. Портлашда водород изотоплари қатнашганлигидан баён этилган принципда ишлайдиган қуролга *водород бомба* деб ном берилган. Агар водород бомбанинг деворларига U^{238} изотоп қопланса, термоядро реакцияда ажралиб чиқадиган тез нейтронлар U^{238} ядроларининг бўлинишига сабабчи бўлади. Бунинг натижасида бомбанинг портлаш куввати янада ортади.

Ядро синтез реакцияси, ҳозирча, бошқарилмайдиган тарзда амалга оширилиши мумкин. Бошқариладиган термоядро реакцияни амалга ошириш учун, асосан, икки қийинчиликни енгиш керак. Биринчидан, термоядро ёқилғининг температурасини $\sim 10^8$ К гача кўтариш усулини топиш лозим. «Термоядро ёқилғи» бундай юқори температураларда термоядро плазмага айланади. Берк ҳажмдаги плазма камера деворлари билан контактга киради ва унга иссиқлик бериб совийди ёки камерани эритиб юборади. Шунинг учун термоядро плазмани берк ҳажмда бирор муддат давомида сақлаб



14-расм. Водород бомбасининг схематик тасвири.

туриш муаммоси туғилади. Бу иккинчи қийинчиликдир. И.Е.Тамм ва унинг ходимлари 1950 йилда плазмани магнит майдон ёрдамида изоляциялаш мумкин, деган фикрни илгари сурдилар. Бу фикрга асосланиб бир қанча қурилмалар ясалган. Улар ичида Россия олимлари ясаган ва «Токомак» номи билан юритиладиган қурилмалар эътиборга лойикдир. «Токомак»лар ёрдамида Халқаро ҳамкорлик асосида бошқариладиган термоядро реакциясини амалга ошириш бўйича изланишлар олиб борилмоқда.

3.7-§. Зарядланган зарраларни тезлатиш усуллари. Тезлаткичлар

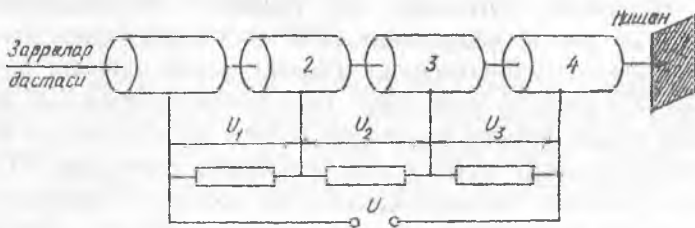
Зарядланган зарраларни тезлатиш учун қўлланиладиган қурилмалар *тезлаткичлар* деб ном олган. Уларда зарядланган зарраларга электр ва магнит майдонларнинг таъсиридан фойдаланилади.

Тезлатилаётган зарранинг траекторияси тўғри чизикқа яқин бўлган тезлаткичлар *чизикли тезлаткичлар* деб ном олган. Улар иккига бўлинади:

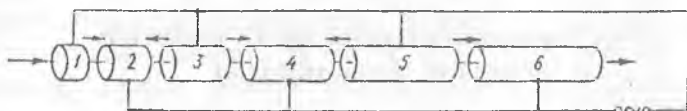
1) зарраларни тезлатиш учун ўзгармас электр майдондан фойдаланилган қурилмалар *чизикли электростатик тезлаткич* деб аталади;

2) *чизикли резонанс тезлаткичларда* эса зарралар *ўзгарувчан юқори частотали* электр майдон таъсирида тезлатилади.

Чизикли электростатик тезлаткичларда (15-расм) ўқлари бир тўғри чизик бўйича жойлашган бир неча цилиндрсимон халқалар кетма-кет жойлашган бўлади. Бу халқалар тезлатувчи электродлар вазифасини ўтайди. Электродлар потенциалларининг қиймати халқалар номерига мос равишда ортиб боради, манбадан чиққан зарралар электродлар орасидаги ўзгармас электростатик майдонларда тезлашади. Халқалар ичида эса инерцияси бўйича ҳаракатланади. Шу тарзда тезлатилган зарралар оқими нишонга бориб тушади.



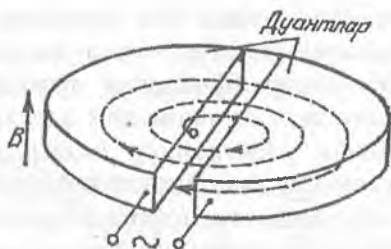
15-расм. Чизикли электростатик тезлаткич схемаси.



16-расм. Чизикли резонанс тезлаткич схемаси.

Чизикли резонанс тезлаткичда тоқ номерли (1, 3, 5, ...) халқалар юқори частотали ўзгарувчан ток генераторининг бир кутби билан, жуфт номерли (2, 4, 6, ...) халқалар эса иккинчи кутби билан уланган (16-расм). Халқалар оралиқларидаги электр майдоннинг оний йўналишлари расмда стрелкалар билан кўрсатилган. Халқаларнинг узунликлари шундай танланб олинадики, натижада зарралар халқаларнинг навбатдаги оралиғига ўзгарувчан токнинг ярим даврига тенг вақтда етиб келади. Бу вақт ичида электр майдон йўналиши тескарсисига ўзгарган бўлади. Шунинг учун бу халқалар оралиғида ҳам электр майдон зарраларга тезланиш беради. Шу тарзда зарралар халқаларнинг ҳар бир навбатдаги оралиғида тезлашаверади. Чизикли электростатик тезлаткичда зарра эришиши мумкин бўлган энергиянинг қиймати юқори потенциаллар айирмасини ҳосил қилиш қийинчилигига дуч келади. Чизикли резонанс тезлаткичда эса заррага юқори энергия берилмоқчи бўлса тезлаткич ўлчамлари катталаниб кетади. Бундай қийинчиликлардан ҳоли бўлиш учун Лоуренс го-ясидан фойдаланилади. Бу ғоядан фойдаланиладиган тезлаткичларда зарядланган зарра электр майдонида тезлантилади (17-расм) ва магнит майдон ёрдамида ярим айланавий тра-

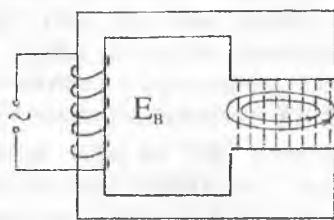
ектория бўйича ҳаракатланиб яна тезлатиладиган ораликқа қайтади, яна электр майдон томонидан тезланиш олади ва х.к. Ана шу ғояга асосланган биринчи тезлаткичлар *циклотронлар* деб номланган. Бироқ циклотрон ёрдамида заррага берилиши мумкин бўлган энергиянинг қиймати ҳам чегараланган. Бунинг сабаби циклотронда магнит майдонининг катталиги шундай танланадики, бу майдон таъсирида зарра *дуантлар* орасидаги ўзгарувчан электр майдоннинг ярим даврига тенг вақт ичида яна дуантлар оралиғига қайтиб етиб келиши керак. Бошқача қилиб айтганда, зарранинг ҳаракати ва тезлатувчи майдон бир-бири билан *синхрон* (бир вақтгли) бўлиши керак. Лекин зарра тезлиги ортган сари, нисбийлик назариясига асосан, унинг массаси ҳам ортади. Натижада зарранинг магнит майдонда айланиш даври ҳам ортади, шунинг учун дуантлар оралиғига зарра кечикиб етиб келади. Бу вақт оралиғида заррани тезлатиш лозим бўлган ўзгарувчан электр майдоннинг фазаси 180° га эмас, балки каттароқ қийматга ўзгарган бўлади. Зарранинг бундай кечикиши борган сари шу қадар катталашиб кетадики, натижада электр майдон заррани тезлатиш ўрнига унга тормозловчи таъсир кўрсатадиган бўлиб қолади.



17-расм. Циклотроннинг принципиал схемаси.

Циклик тезлаткичларни такомиллаштиришда Векслер (собик СССР) ва Мак-Милан (АҚШ) ғояларидан фойдаланилади. Улар зарра массасининг ўзгарувини магнит майдонни кучайтириш йўли билан ёки тезлатувчи электр майдоннинг даврини катталаштириш йўли билан компенсациялашни таклиф этдилар. *Синхроциклотрон* (фазотрон) деб аталадиган

тезлаткичда магнит майдон индукцияси худди циклотрондагидек ўзгармаслигича сақланади, лекин тезлатувчи майдоннинг даври аста ошириб борилади. Синхроциклотронда ҳам зарра энергияси ортган сари унинг траекторияси *спиралсимон* кенгайиб боради. Шунинг учун Бирлашган ядро тадқиқотлари институтидаги (Дубна шаҳри) синхроциклотрон магнитининг оғирлиги 7000 тонна бўлиб, протонлар унда 680 МэВгача тезлатилади. Электронни тезлатиш учун *бетатрон* деб аталадиган қурилмалардан фойдаланилади. Бетатронда электронлар уюрмавий электр майдон таъсирида тезлашади. Электроннинг тезланишини тушуниш учун оддий икки ўрамли трансформаторни тасаввур қилинг (18-расм).

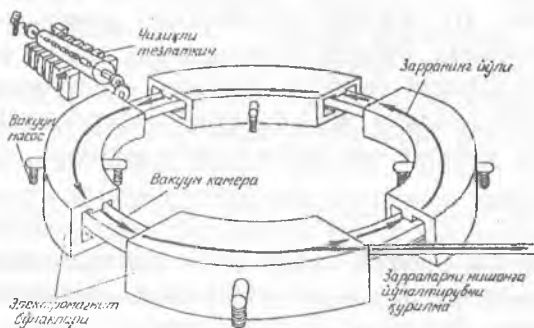


18-расм. Трансформаторнинг иккинчи ўрами вазифасини бетатронга киритилган электронлар бажаради.

Биринчи ўрам ўзгарувчан ток манбаига уланади. Натижада ўзгарувчан магнит майдон юзага келади. Магнит майдоннинг ўзгариши содир бўладиган фазода электромагнит индукция ҳодисасига асосан уюрмавий электр майдон вужудга келади. Бу соҳага электронлар оқими киритилса, улар уюрмавий электр майдон кучланганлик чизиқлари бўйлаб айланади. бошқача айтганда, трансформаторнинг иккинчи ўрами вазифасини ўзгармас радиусли айланма орбиталар бўйича ҳаракатланадиган электронлар бажаради. Бетатрондаги электронларни тезлатишнинг ҳам чегараси мавжуд. Бунинг сабаби шундаки, тезланиш билан ҳаракатланаётган электрон электромагнит тўлқин нурлантиради. Унинг энергияси бир неча юз МэВ гача етганда нурланиш ҳисобига йўқотадиган энергияси сезиларли бўлиб қолади. Натижада электроннинг траекторияси айлана эмас, балки ичкари томонга қайрилган

спирал шаклига ўтади. Демак, электронни бошқа тезлатиб бўлмайди.

Ўзида бетатрон ва синхроциклотроннинг ишлаш принципларини мужассамлаштирган қурилмалар ҳам мавжуд. Электронларни тезлатиш учун қўлланиладиган бундай қурилмалар *синхротрон* деб аталади. Оғирроқ зарраларни, масалан, протонларни тезлатиш мақсадида қўлланиладиган бундай қурилма синхрофазотрон деб номланган. Уларда зарралар битта айланма орбита бўйлаб ҳаракатланганлиги учун камера катта тороид шаклида ясалади. Бу ўз навбатида катта электромагнит ясашдан қутқаради. Бу эса электромагнитни яхлит шаклда эмас, балки бир неча бўлақлардан иборат қилиб яшаш имкониятини яратади (19-расм). Бу бўлақларни жойлаштириш ниҳоят катта аниқлик билан бажарилади. Протонлар, аввал, чизикли тезлаткичда 50 МэВгача тезлатилади. Сўнг синхрофазотрон камерасига киритилади. Кучайиб борувчи магнит майдонда бу протонлар айланма орбита бўйлаб ҳаракат қилади. Даври ортиб борадиган электр майдон протонларга тезланиш беради. Бу тарзда бир неча ўн ГэВгача протонларни тезлатишга эришилади. 1972 йилгача Серпуховда қурилган синхрофазотрон дунёда энг катта протонлар тезлаткичи сифатида машҳур бўлиб келган. 1980 йилга келиб синхрофазотрондаги максимал энергия 500 ГэВга етган (Батавия, АҚШ ва Церн). 500 ГэВ энергия берадиган тезлаткичлар (Церн) асосида W^{\pm} , Z^0 -бозонлар очилган. 1985 йилда Батавияда 1000 ГэВ берадиган тезлаткич ишга туширилган.



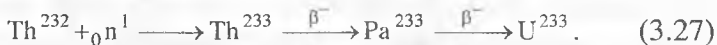
19-расм. Синхрофазотроннинг принципиал схемаси.

3.8-§. Ядро физикаси ютуқларидан тинчлик мақсадларида фойдаланиш

Ядро физикаси ўзининг қисқа вақтли тарихи ичида кўпгина ютуқларга эришдики, улар фан-техника ва саноатнинг кўпгина соҳаларида қўлланилмоқда.

Шуларнинг баъзилари ҳақида тўхталиб ўтамыз.

1. *Ядро энергетикаси ҳақида.* Ядро энергияси Хиросима ва Нагасаки фожиаларидан сўнг кенг жамоатчиликка аён бўлди. Ядро энергиясидан тинчлик мақсадларида фойдаланиш собиқ СССРда 1954 йил июлда биринчи атом электростанциясини ишга тушириш билан бошланди. Ҳозирги вақтда Дуненинг 16 мамлакатида 100 дан ортиқ атом электростанция (АЭС)лар ишлаб турибди. Уларнинг умумий электр қуввати $4 \cdot 10^7$ кВт дан ортиқ. Бундан буён энергетик балансида ядро энергетикасининг улуши ортиб боради. Бунинг сабаби шундаки, дунёда ишлатилаётган энергиянинг тахминан 70% и нефть ва газни ёқиш ҳисобига олинмоқда. Борган сари ошиб бораётган энергияга бўлган эҳтиёжларни ҳисобга олсак, нефть ва табиий газ запаслари узоғи билан 50 йилга етади. Кўмирни ёқиш ҳисобига эса энергия эҳтиёжларини узоғи билан 500 йил давомида қондириб туриш мумкин. Бу рақамлар инсониятнинг энергия таъминотида вужудга келган муаммони характерлайди. Бу муаммони ҳал қилишда ядро энергетикасига муҳим роль ажратилган. Ҳозирги вақтда АЭСларнинг реакторларида, асосан U^{235} дан фойдаланилмоқда. Лекин U^{238} дан тез нейтронлар таъсирида Pu^{239} ҳосил қилиш мумкин. Бу жараён кўпайтиргич реакторларда амалга ошади. Натижада бундай реакторларда икки жараён, яъни ядронинг бўлиниши ва янги «ёқилғи» – плутонийнинг ҳосил бўлиши амалга ошади. Кўпайтиргич реакторлардан фойдаланиб яна бир «ёқилғи»ни ҳосил қилиш мумкин:

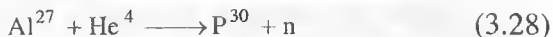


U^{233} ва Pu^{239} ларда худди U^{235} га ўхшаш иссиқлик нейтронлар таъсирида бўлиниш реакцияси амалга ошади. Мутахассисларнинг фикрича, бошқариладиган занжир реакциялари учун керак бўладиган «ёқилғи»лардан шу тарзда фойдала-

нилса, улар инсоният энергия эҳтиёжларини бир неча юз йил давомида кондира олар экан.

Термоядро реакциясини бошқариш муаммоси ҳал бўлган тақдирда инсоният учун энергия танқислиги хавфи бутунлай йўқолган бўлади, чунки океан сувларида «термоядро ёқилғи»нинг запаслари жуда катта.

2. *Сунъий радиоактивликдан фойдаланиш.* 1934 йилда Ирен ва Фредерик Жолио-Кюрилар алюминийни α -зарралар билан нурладилар. Нурлаш тўхтатилгандан сўнг ҳам нишондан позитронларни ажралиб чиқаётганлиги аниқланди. Вақт ўтиши билан позитронларнинг активлиги экспоненциал қонун бўйича камайиб борди. Бу ҳодиса сунъий радиоактивлик эди. Тажрибада



ядро реакцияси туфайли ҳосил бўлган P^{30} -ярим емирилиш даври 150 с га тенг бўлган радиоактив ядродир. Ана шу P^{30} ядроларини емирилиши туфайли позитронлар кузатилган. Ҳозирги вақтда сунъий радиоактивлик ҳосил бўладиган реакциялар яхши ўрганилган. Бу соҳада, айниқса, жисмларни нейтронлар оқими билан нурлаш туфайли сунъий радиоактивлик ҳосил қилиш кенг қўлланилади. Масалан, бирор жисм таркибидаги аралашма миқдорини аниқлаш лозим бўлсин. Бунини *радиоактивацион анализ* деб аталувчи усул ёрдамида аниқланади.

Радиоактив изотоплардан, масалан C^{14} дан антропологияда фойдаланадилар. C^{14} концентрациясини ўлчаш йўли билан ҳаёт тугагандан кейинги вақтни ҳисоблаб топиш мумкин. Тиббиётда эса ташхис учун фойдаланилади. Масалан, радиоактив иоддан қалқонсимон безнинг функционал ҳолатини аниқлашда фойдаланиш мумкин. Мазкур усулни ишлаб чиққанликлари учун республикамиз олимлари Ё.Х.Тўрақулов ва Р.К.Исломбеков давлат мукофоти билан тақдирланганлар.

Саноатнинг турли соҳаларида гамма-дефектоскопия, технологик жараёнларни контрол қилиш усулларида фойдаланилмоқда.

IV БОБ

ЯДРО ФИЗИКАСИНИНГ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ УСУЛЛАРИ

Маълумки, бир муҳитга тушаётган зарядланган зарранинг шу муҳитдаги атом ядросига яқинлашиш эҳтимоли жуда кам бўлганлигидан зарра дастлаб атомнинг электронлари билан ўзаро таъсирлашади. Шундай таъсирдан кейин атомнинг уйғониш ва ионланиш ҳодисалари содир бўлади. Муҳитга тушаётган зарра изи атрофида ионланиш рўй бериб, мусбат ва манфий ионлардан иборат ион жуфтлари пайдо бўлади.

Ядро нурланиши таъсирида муҳитда ҳосил бўлган нурларнинг таркиби, энергия спектри ва интенсивлиги ҳақида тегишли маълумот оламиз.

Ядро нурланишларини текширишда қўлланиладиган асбоблар – *детекторлар* ўзидан ўтаётган заррани қайд қилади. Баъзи детекторлар ёрдамида бевосита зарраларнинг тўла оқимини, уларнинг массасини, заряди, тезлиги, энергияси ва шу кабиларни аниқлаш мумкин.

Зарралар детекторининг кўпгина турли типлари мавжуд бўлиб, улар тўртта асосий гуруҳларга бўлинган.

1. Счетчиклар (санагичлар).
2. Зарралар «изи» ни кузатишга мўлжалланган детекторлар.
3. Годоскопик камералар.
4. Масс-анализаторлар.

4.1-§. Санагичлар

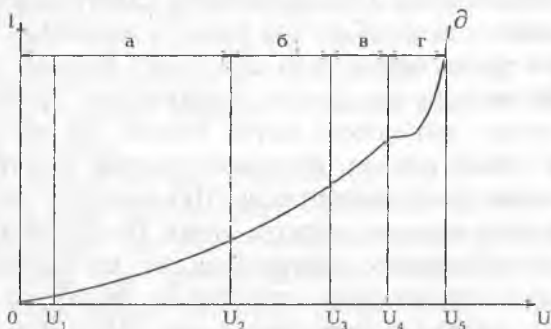
Санагичлар фазонинг макроскопик қисмидан ўтаётган заррани жуда қисқа вақтда ($10^{-4} \div 10^{-9}$ с ораликларида) қайд қилади. Турли санагичлар турли мақсадлар учун мўлжалланган. Улар зарраларни санаши мумкин, уларнинг энергияси ва тезлигини ўлчаши, зарраларни массалари бўйича ажратиши, зарралар оқимининг тўла энергиясини ўлчаши мумкин.

Газ тўлдирилган санагичларда қайд қилинадиган зарралар юқори кучланиш қўйилган газ малекулаларини ионлаштиради. Натижада зарралар ўз йўлида асбоб занжирини Беркитадиган, чиқишда эса кучланиш импульсини юзага келтирадиган электронлар ва мусбат ионларни ҳосил қилади.

Детекторда кучланиш ҳосил қилган мусбат ва манфий ионлар электр майдони таъсирида бир-биридан ажралиб, мусбат ионлар катодга ва манфий ионлар анодга қараб йўналади, натижада электр занжирида ток ҳосил бўлади. Газга тушаётган нурланиш тўғрисида шу токнинг қийматига қараб хулоса чиқарилади. Ионланиш токининг газдан оқиб ўтишига *газ разряди ҳодисаси* дейилади. Бу ҳодиса газнинг хусусиятига, таъсир этаётган нурланишга ва электронларга берилаётган кучланишга боғлиқ.

Газ разрядининг вольт-ампер характеристикаси деганда, газлардаги ионланиш токи I билан электродлардаги кучланиш U орасидаги боғланиш тушунилади. Кучланишни ошира борсак, ток аввалига ошади, кейин маълум бир меёрда тўхтайдди, сўнг яна ошади. I ва U ўртасидаги шундай мураккаб боғланиш 20-расмда кўрсатилган.

Бу боғланишнинг ҳар бир соҳаси ўзига хос хусусиятга эга. Ядро нурланишини текширишда қўлланиладиган асбобларнинг баъзилари вольт-ампер характеристиканинг маълум бир соҳаси хусусиятига мослаб яратилади.



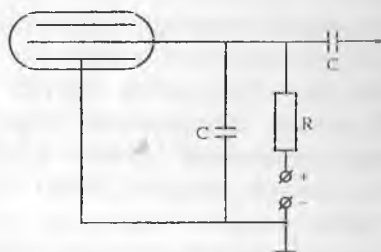
20-расм. Газ разрядининг вольт-ампер характеристикаси: а – ионлаштирувчи камера соҳаси; б – пропорционал санагич соҳаси; в – чекланган пропорционал соҳа; г – Гейгер–Мюллер санагичи соҳаси; д – бевосита разряд соҳаси.

Нисбатан кичик кучланиш $100 \div 1000$ В ларда санагич тўйиниш токи режимда ишлайди. Бу *ионлаштирувчи камера* бўлиб, у зарраларнинг йиғинди энергияси билан боғлиқ бўлган ва улар ҳосил қиладиган тўла ионизацияни қайд қилади. Юқори кучланишларда иккиламчи ионизация юзага келади, лекин газда номустақил разряд давом этади. Бу режимда *пропорционал санагич* ишлайди. Бунда чиқиш импульси бирламчи ионизацияга, яъни қайд қилинаётган зарра энергиясига пропорционал бўлади. Бу асбоб зарраларни санабгина қолмасдан, балки уларнинг энергиясини ҳам ўлчайди. Яна ҳам юқори кучланишларда мустақил разряд вужудга келади. Бу шароитда Гейгер-Мюллер санагичи ишлайди ва у бирламчи ионизацияга боғлиқ бўлмаган, тож разрядининг чакнашларини қайд қилади.

Санагичга тушган зарядли зарралар электрон тўдасини юзага келтиради; бу тўда ўз навбатида мусбат электродга урилиб, ундан фотонлар чиқаради, фотонлар эса иккиламчи электронларни уриб чиқаради ва ҳоказо. Жараён шу йўсинда давом этиб, бирламчи ионланиш (сўнмас) газ разрядини ҳосил қилади. Лекин бу типдаги Гейгер-Мюллер санагичини бу ҳолда ишлатиб бўлмайди, чунки у ташқаридан тушаётган янги зарраларга алоҳида разряд бермайди ва уларга бефарқ бўлиб қолади. Бундай санагичлардан фойдаланиш мумкин бўлиши учун газ разрядини ўчириш керак. Газ разрядини ўчириш усулига қараб, Гейгер-Мюллер санагичлари икки гуруҳга бўлинади: *ўзи ўчар ва ўзи ўчмас санагичлар*. Ўзи ўчар санагичларни аргон билан ҳаво ёки спирт буғлари аралашмаси каби кўп атомли газ билан тўлдирилади. Натижада, биринчидан, ютиш имконияти катта бўлган газ молекулалари фотонларни тутиб қолади, фотоэлектронлар фақат аноддаги юпқа қатламдан уриб чиқарилади. Иккинчидан, мусбат ионлар катод томон ҳаракатланганда спирт буғларининг молекулалари билан тўқнашиб, нейтраллашади, шу сабабдан электрон эмиссияни ҳосил қила олмайди ва фақат уйғонган ҳолатда қолади, кейин эса диссоцияланади. Шу тариқа ўзи ўчар санагичларда разряд бир босқичли характерда бўлиб, тахминан $10^{-4} \div 10^{-5}$ с ларда ўчади.

Ўзи ўчмас санагичларда разрядни R қаршилиқ (21-расмга қаранг) ва унга қўйилган кучланиш ёрдамида ўчирилади. Шундай

қаршилик олинадики, бунда вақт доимийси $\tau=RC$ мусбат ионларнинг аноддан катодга қараб учиш вақтидан тахминан юз барабар катта бўлади. Газ разряди бошлангандан кейин қаршиликдаги кучланиш камайиб, бошланғич кучланишдан ҳам кам бўлиб қолади: $U < U_0$. Йиғувчи электроднинг бу кучланиши тахминан 10^{-2} с сақланиб туради. Биринчи тўданинг



21-расм. Ўзи ўчмас санагични улаш схемаси.

мусбат ионлари катодга томон 10^{-1} с да етиб келиб, газда ўчувчи газ разряди вужудга келиб, санагичдаги разряд 10^{-2} с да ўчади ва санагич янги заррани қабул қилишга тайёр бўлади.

Ўзи ўчмас санагичларга гелий, неон, аргон ва бошқа газлар, ўзи ўчар счетчикларга эса, одатда, аргонга метан, этан ва спирт буглари қўшиб тўлдирилади. Гейгер-Мюллер санагичининг бошланғич кучланиши газнинг табиатига ва босимига боғлиқ. Босим ортиши билан электронларнинг газдаги ўтиш йўли қисқаради. Натижада электрон газ молекулалари билан икки тўқнашиш оралиғида электр майдонидан кам энергия олади. Энергияни ошириш учун кучланиш керак бўлади.

Гейгер-Мюллер санагичининг бошланғич кучланиши ҳар хил газлар ва ўлчамлар учун ҳар хил бўлиб, $600 \div 1300$ В оралиғидадир. Бу счетчикдан фойдаланилганда электродлар орасидаги кучланишга катта аҳамият бериш керак, чунки санагичнинг санаш тезлиги берилган кучланишнинг қийматиغا боғлиқ бўлади.

Қаттиқ жисмли санагичларнинг ишчи элементи бўлиб қарама-қарши қирраларига кучланиш қўйилган монокристалл ҳисобланади. Кристалл санагичда фотоўтказувчанликка ўхшаш ҳодисадан фойдаланилади, яъни зарядли зарра электронларни валент зонадан ўтказувчанлик зонасига олиб ўтиб берк занжир ҳосил қилади. Ярим ўтказгичли санагич худди ярим ўтказгичли диод каби ишлайди. Кремний ёки германийдан ясалган монокристалл пластинанинг бир томони донор киришма (n-қатлам), бошқа томони эса акцептор ки-

ришма (р-қатлам) билан легирланади, яъни пластина сиртига киришма атомлари киритилади. Бу томонларга диодни беркитувчи ва ўтиш қатламини катталаштириб, эркин электронлар ва тешиқларни тортиб олувчи қарама-қарши кучланиш берилади. Зарядланган зарра р-п ўтиш соҳасига киради ва у ерда ионизация туфайли қўшимча электрон – тешиқли булутлар ҳосил қилади. Ҳосил бўлган номувозанатли ташувчилар ташқи майдон таъсирида электродлар томон кўчадилар ва ташқи занжирда кучланиш импульсини юзага келтирадилар.

Оптик санагичларда зарядли зарра ишчи моддаларда фотонни ҳосил қилади. Бу ҳосил бўлган фотон кўпгина фотоэлектрон кўпайтиргич (ФЭУ) ёрдамида қайд қилинади. *Чақнашли санагичларда* ишчи қисм бўлиб модданинг фақат сирти эмас, балки модданинг бутун ҳажми ҳисобланади ва ёруғлик чақнашларини кўз билан кузатмасдан, бунинг учун ФЭУ лардан фойдаланилади. Бундай санагичларда ишчи қисмда ҳажми бир неча ўн минг литргача етадиган актив суюқ моддалар ҳам ишлатилади.

Черенков санагичининг ишлаши П.А. Черенков (1934 йил) томонидан ечилган ҳамда И.Е.Тамм ва И.М. Франк томонидан тушунтирилган зарядли заррани нурланишини қайд қилишга асосланган. Маълумки, зарядли зарра, ҳатто у п синдириш кўрсаткичли муҳитда $v > c/n$ тезлик билан текис ҳаракат қилса ҳам нур чиқарар экан. Барча нурланиш зарра тезлигига боғлиқ бўлган конус сиртининг кичик доирасида жамланган. Конус сиртининг бурчагини ўлчаб тезликни аниқлаш мумкин, кейин эса масса (энергия)ни билган ҳолда унинг энергия (масса) сани аниқлаш мумкин.

4.2-§. Зарралар «изини» кузатишга мўлжалланган қайд қилувчилар (детекторлар)

Трекли («из»ли) детекторлар зарраларни ишчи моддада қолдирадиган изи- трекини визиуал (бевосита кўз билан) ёки фотографик ва электромагнит методлар билан қайд қилишга имкон беради. Бирламчи ахборотларни қайта ишлаш жараёнида қуйидаги маълумотларни олиш мумкин.

Трек геометрияси бўйича реакцияда иштирок этган зарядли зарралар сони ва уларни ҳаракат йўналиши аниқланади.

Трекнинг характерига қараб узунлик бирлигидаги энергия сарфи аниқланади ва бу билан зарра тезлиги аниқланади. Зарранинг энергияси ва тезлигини билган ҳолда унинг массасини аниқлаш мумкин. Агар трекли детекторни кучли магнит майдонга жойлаштирилса, зарядли зарранинг траекторияси эгилади. Эгрилигига қараб зарранинг заряд ишораси ва унинг импульси аниқланади.

Вильсон камерасининг ишчи ҳажми суюқлик буғи билан тўлдирилган бўлиб, кескин кенгайиш ҳисобига совутилиб тўйинган ҳолатда бўлади. Учиб ўтаётган зарра ўз траекторияси атрофида конденсация марказини ўтовчи ионлар занжирини ҳосил қилади. Вильсон камерасининг асосий камчилиги – ишчи модданинг кичик зичлигида бўлиб, шу сабабли зарра асбоб орқали унда тўхтамасдан ва бизни кам қизиқтирадиган айланишларни ҳосил қилиб ўтади.

Бу камчилик ўта қиздирилган суюқлик фойдаланиладиган *пуфакли камерада* бартараф этилган. Ҳаракатланаётган зарядли зарра суюқлик пуфакларини юзага келтирадиган ионларни ҳосил қилади. Булар ҳам Вильсон камерасидаги каби қайд қилинади. Пуфакли камералар ёрдамида муҳим аҳамиятга эга бўлган кашфиётлар қилинган, лекин уларни тайёрлаш қийин ва уларни ишлатиш қийин ва қимматдир. Бундай детекторлар шахсий номлар билан аталади. Масалан, «Люди-мила», «Мирабель», «Скат», «Гаргамель» (Женева) ларни санаб ўтиш мумкин. Уларнинг ишчи ҳажми, масалан «Скат» ники 7500 л, ФНАЛ (АҚШ) ники 33000 л. Кучли магнит майдонни ҳосил қилиш учун эса массаси 2-3 т бўлган ўта-ўтказувчи магнитлардан фойдаланилади.

4.3-§. Годоскопик қайд қилувчилар

Годоскопик камералар трекли санагичлар билан трекли детекторлар ўртасидаги оралиқ ҳолатни эгаллайди. Улар худди кўпгина майда санагичлардан тузилгандек бўлиб, қайд қилишни зудлик билан боришини ва трекли камераларда ахборотнинг тўлалигини таъминлаётгандек бўлади. Масалан, бир-бири билан учкун орқали бирлашган қалин ясси параллел электродлар мавжуд бўлиб, улар газга киритилган бўлади.

Уларнинг ярми ерга уланган, иккинчи ярмига эса қайд қилинадиган зарранинг ўзи уланган бўлиб, ишга туширадиган электрон мосламадан юқори вольтли импульс олади. Камеранинг шу ерида зарра ионланади, учкун разряди ривожланиб, фотографик ёки акустик метод билан қайд қилинади.

4.4-§. Зарраларни массалари бўйича ажратувчилар (масса-анализаторлар)

Бу асбоблар кичик энергияли ядро физикасида қўлланилади ва улар атом ядроси массасини ўлчаш (масса-спектрографлар), элементларнинг изотопик таркибини ўрганиш (масса-спектрометрлар), изотопларни массасига кўра ажратиш (масса-сепаратори) учун ишлатилади.

Барча масса-анализаторларнинг асосий таркибий элементлари ионли манба, анализатор ва қайд қилувчи қурилма ҳисобланади. Ионли манба текширилайётган модданинг ионларини ҳосил қилади ва бу зарранинг кучсиз тарқалиб кетадиган дастасини шакллантиради. Асбобнинг асосий қисми – анализатор, яъни у ёки бу шаклдаги электромагнит майдондир. Анализатор ионларнинг дастасини бир хил солиштирма зарядли дасталарга ажратади. Бундан ташқари у бу дасталарни фокуслайди. Натижада бир хил массали ионлар қайд қилувчи қурилманинг аниқ бир жойида тўпланади. Массаспектрографларда қайд қилувчи қурилма сифатида, одатда фотопластинка, массаспектрометр ва массасепараторларда электрометр қўлланилади. Замонавий массаспектрографлар масса фарқини $10^{-7} \div 10^{-6}$ м.а.б. дан ошмаган хатолик билан ўлчайдилар. Массани ўлчашда нисбий хатолик $10^{-8} \div 10^{-7}$ ни ташкил қилади. Энг яхши замонавий массасепараторларда ажратиш вақти 10^{-6} с гача етказилган. Бу ядро реакциялари маҳсулотлари орасидан яшаш вақти жуда кичик бўлган, жуда кам сонли ядроларни олишга имкон беради.

4.5-§. Дозиметрик асбоблар ва уларнинг қўлланилиши

Дозиметрик асбоблар ёки *дозиметрлар* деб, ионловчи нурланишлар дозаларини ёки дозалар билан боғланган катталарни ўлчовчи қурилмаларга айтилади.

Конструктив жиҳатдан дозиметрлар ядровий нурланиш детектори ва ўлчагич қурилмаларидан иборат. Одатда, улар доза ёки доза қуввати бирликларида даражаланади. Баъзи ҳолларда берилган доза қувватининг оширилганини сигнализациялаш ҳам назарда тутилади.

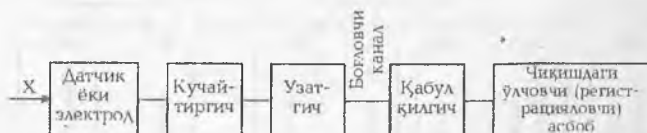
Детекторларнинг турларига кўра дозиметрларни ионизацион, люминесцент, ярим ўтказгичли, фотодозиметрлар ва бошқаларга ажратадилар. Дозиметрлар бирорта маълум нурланишни қайд қилишга мослантирилиб ясалган бўлиши мумкин.

Рентген ва γ -нурланишнинг экспозицион дозасини ёки унинг қувватини ўлчашга мосланган дозиметрларга *рентгенметрлар* дейилади. Одатда, уларда детектор сифатида ионизацион камера хизмат қилади. Камера занжиридан ўтувчи заряд экспозицион дозага, ток эса унинг қувватига пропорционалдор.

Ютилган дозани ўлчайдиган дозиметрик асбобларга ДРГ-0,5М, ДКС-04, «Белла» кабилар кириши мумкин. Булардан ташқари индивидуал дозиметрлар ҳам мавжуд. Бундай дозиметрларга ДК-0,2 ни мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Ҳар бир индивидуал дозиметр олдиндан зарядланган цилиндрик ионизацион камерадан ташкил топган. Ионланиш натижасида камера разрядланади, буни камера ичига монтаж қилинган электрометр ёрдамида қайд қилинади. Унинг кўрсаткишлари ионловчи нурланишнинг экспозицион дозасига боғлиқ.

Детекторлари газ разряд санагичлардан иборат дозиметрлар ҳам мавжуд.

Радиоактив изотоплар активлигини, концентрациясини, электромагнит нурланишнинг унинг иссиқлик таъсирига қараб энергиясини ўлчайдиган асбоблар *радиометрлар* деб аталади. Уларнинг ишлаш принципи узлуксиз ишловчи ионизацион камеранинг ишлаш принципи кабилдир. Қуйида барча дозиметрларнинг умумий схемаси 22-расмда кўрсатилган схемага ўхшаш бўлишини кўрсатиб ўтамиз.

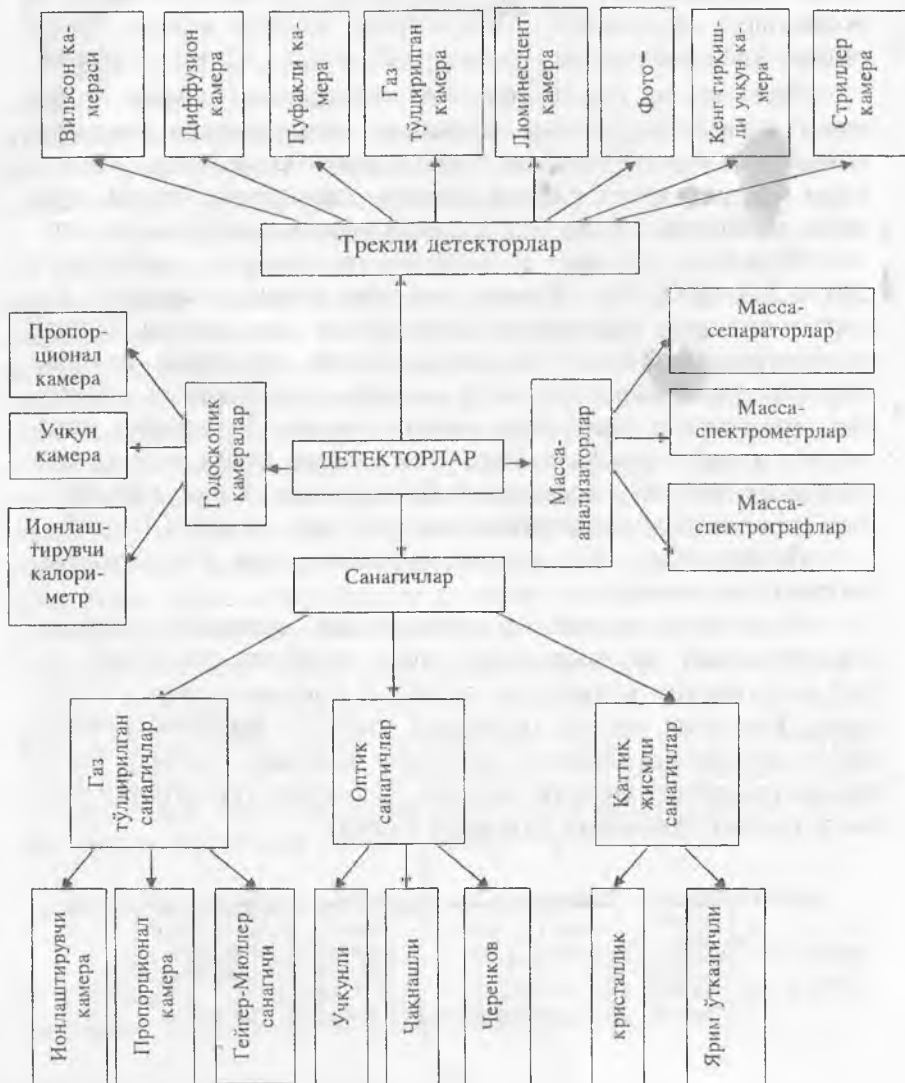


22-расм. Дозиметрларнинг умумий схемаси.

Датчик вазифасини ядровий нурланишлар детектори ба-
жаради. Чиқиш қурилмалари сифатида стрелкали асбоблар,
ўзи ёзгичлар, электромеханик санагичлар, товуш ва ёруғлик
сигнализаторлари ва шунга ўхшашлар ишлатилиши мумкин.

4.1-жадвал

Детекторларнинг асосий турлари



ДОЗИМЕТРИК ЎЛЧАШЛАРГА ДОИР ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИ

1-лаборатория иши

γ-нурлари ютилишининг моддалар атом номерлари (z) га боғлиқлигини ўрганиш

Керакли асбоблар: Na(J)Te – сцинтилляцион детектор ва паст кучланиш (1200 В ва 12 В) манбаи – «ПИ-2,5», γ-нурланиш манбаи – Co^{60} , бир хил қалинликдаги турли атом номерли материаллар (орғишиша, ёғоч, мис, темир, кўрғошин ва висмут тахтачалари).

Назарий қисм

γ-нурлари турли хил муҳитлардан ўтганда шу муҳит моддалари билан ўзаро таъсир натижасида уларнинг сусайиши (ютилиши) содир бўлади.

γ-нурланишнинг сусайиш қонунияти қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$J = J_0 e^{-\mu x}, \quad (5.1)$$

бу ерда:

J_0 – ютувчи модда бўлмаган вақтдаги γ-нурларининг интенсивлиги;

J – ютувчи модда бўлган ҳолдаги γ-нурларнинг интенсивлиги;

x – ютувчи модданинг қалинлиги;

μ – ютилишнинг чизиқли коэффициенти.

μ қуйидаги 4 та катталиқнинг йиғиндисидан иборат:

$$\mu = \mu_a + \mu_f + \mu_k + \mu_j, \quad (5.2)$$

бу ерда:

μ_a – γ-нурларнинг атом ядроси билан ўзаро ноэластик таъсири натижасидаги ютилиш билан боғлиқ бўлган коэффициент;

$\mu_{\text{ф}}$ – фотоэффект ҳодисаси билан боғлиқ бўлган γ -нурларнинг ютилиш коэффициентини;

$\mu_{\text{к}}$ – Комптон эффект билан боғлиқ бўлган γ -нурларнинг ютилиш коэффициентини;

$\mu_{\text{ж}}$ – электрон–позитрон жуфтнинг ҳосил бўлиши билан боғлиқ бўлган ютилиш коэффициентини.

Энди қисқача бу ҳодисанинг юзага келиш эҳтимоллари кўриб чиқамиз:

1. *Гамма-нурларнинг* эластик сочилишида Z атом электронлари группаси томонидан сочилган тўлиқ қувват J_s , агарда бу электрон группасининг ўлчами γ -нурлари тўлқин узунлиги λ дан кичик бўлса, қуйидагига тенг:

$$J_s = \Phi_0 J_0 Z^2, \quad (5.3)$$

бу ерда $\Phi_0 = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2$ – сочилишнинг Томсон кесими (e ва m электрон заряди ва массаси); J_0 - бирлик юзага мос келувчи бошланғич қувват; Z – ютувчи модданинг атом номери.

2. *Фотоэлектрик ютилиш.*

γ -нурланишдаги фотоннинг $h\nu_0$ энергиясининг қиймати атом электрон қобиғидаги унга мос келувчи электронларнинг боғланиш энергиясидан катта бўлган ҳолларда фотоннинг ютилиши юз беради. Фотоэффектнинг тўлиқ кесими (σ) қуйидагиларга тўғри пропорционал:

$$\sigma \sim \Phi_0, Z, \alpha^4, \gamma, \quad (5.4)$$

бу ерда: Z – ютувчи модданинг атом номери; α - коэффициент ($\alpha = \frac{Z}{137}$); Φ_0 - сочилишнинг Томсон кесими; $\gamma = h\nu_0$ нинг mc^2 га нисбати ($\frac{h\nu_0}{mc^2}$).

3. *Комптон сочилиши.* Бир дона эркин электроннинг Комптон сочилиш кесими (σ) қуйидаги

$$\sigma = \Phi_0 \frac{3}{8\gamma} \left\{ \left[1 - \frac{2(\gamma+1)}{\gamma^2} \right] \ln(2\gamma+1) + \frac{1}{2} + \frac{4}{\gamma} - \frac{1}{2(2\gamma+1)^2} \right\} \quad (5.5)$$

кўринишга эга бўлган Клейн–Нишин формуласидан аниқ топилади.

4. *Электрон – позитрон жуфтнинг ҳосил бўлиши.*

Электрон-позитрон жуфти етарлича юкори энергияда фотонларнинг ядронинг электр майдони билан ўзаро таъсирини натижасида юзага келади. Жуфт ҳосил бўлишининг энергияси куйидагига тенг:

$$2mc^2 (E = 1,022 \text{ МэВ})$$

Ядро майдонида ҳар бир атомга мос келувчи электрон-позитрон жуфтнинг ҳосил бўлиш кесимини Бете ва Гайтлер тенгламасидан аниқлаш мумкин:

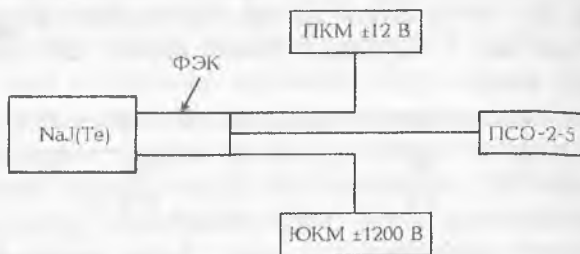
$$B_{e\pm} = \Phi_0 \sigma_{e\pm} = \Phi_0 \frac{Z^2}{4\pi \cdot 137} \left[\frac{14}{3} \ln(2\gamma) - \frac{109}{9} \right] \quad (5.6)$$

Юқорида кўриб ўтилган барча ҳоллардан кўриниб турибдики, бу ҳодисаларнинг содир бўлиш эҳтимоли (яъни кесими), асосан атом номерига боғлиқ.

Ушбу лаборатория ишидан мақсад талабаларнинг ядро физикасидан элементар вазифаларни мустақил равишда амалий бажаришларига қаратилган. Талаба ўнурланиши юғиллишининг атом номери (Z) га боғлиқлигини тажриба йўли билан аниқлайди.

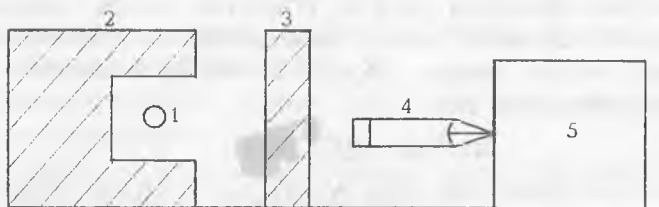
Ишни бажариш тартиби

1. Сцинтилляцион NaI(Te)-детекторнинг ишлаш принципи ва қоидалари билан танишиб чиқинг (23-расмга қarang).



23-расм. Сцинтилляцион NaI(Te)-детекторнинг экспериментал қурилма схемаси.

2. 24-расмда кўрсатилган схема бўйича экспериментал қурилмани йиғиб чиқинг.



24-расм. Ўлчашга оид тажриба мосламаси

3. Барча асбобларнинг ерга уланишини текшириб чиқинг ва шундан сўнг уларни 220 В кучланишли ўзгарувчан ток манбаига уланг.

4. Детекторнинг фотоэлектрон кучайтиргичи ФЭУ га «ПИ-2,5» асбобидан 12 В ва 1200 В кучланиш беринг.

5. ПСО-2-5 ҳисоблаш асбобининг ишлашини текшириб кўринг. Бунинг учун ишлаш принципи билан танишиб чиқиш керак.

6. Co^{60} γ -нурланиш манбаи (1) ни кўрғошин коллиматор (2) ичига жойлаштиринг (24-расм).

7. γ -нурланиш манбаи (1) билан детектор (4) орасига ютувчи модда (3) ни қўймасдан туриб 3 марта импульслар сонини аниқланг. Ўлчаш вақти 1 минут.

8. γ -нурланиш манбаи билан детектор орасига навбатма-навбат ютувчи моддалар (органик шиша, ёғоч тахтачалар, Al, Fe, Cu, Pb ва Bi) ни ўрнатинг ва ҳар бир ютувчи модда учун импульслар сонини 3 мартадан ўлчаб олинг. Бу ерда ҳам ўлчаш вақти 1 минут.

9. Ўлчаш натижаларини қуйидаги жадвалга ёзинг.

№ т/н	N_1	Z_1	№ т/н	N_2	Z_2	№ т/н	N_3	Z_3
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		

10. Қайд қилинган импульслар сони (N) нинг ютувчи модда атом номери (Z) га боғланиш графигини чизинг.

11. γ -нурланишнинг ютилиши ютувчи модда номери (Z) билан қандай боғланишда эканлигини аниқланг.

Назорат саволлари

1. Фотоэффект, Комптон эффекти ва электрон-позитрон жуфти ҳосил бўлиш ҳодисаларини тушунтиринг.
2. Ютилиш коэффициентининг физик маъносини айтиб беринг.
3. γ -нурланишнинг модда билан ўзаро таъсири сусайишининг асосий қонунияти қандай кўринишга эга бўлади?

2-лаборатория иши

α -зарраларнинг ҳавода эркин югуриш йўлининг узунлигини аниқлаш

Керакли асбоб ва мосламалар: Сцинтиляцион детектор, юқори ($\pm 1200\text{В}$) ва паст ($\pm 12\text{В}$) кучланиш манбаи – “ПИ-2,5”, α -нурланиш манбаи (Pu^{238}), аравача.

Назарий қисм

Радиоактив нурланиш жуфтларидан бири, радиоактив ядронинг бўлиниш жараёнида юзага келадиган α - зарралари ҳисобланади.

α -зарралар гелий изотопи ${}^4_2\text{He}$ нинг ядосидан иборат. Кўплаб радиоактив моддалар норелятивистик энергияли (10 МэВ гача) α -зарралар нурлайди. Зарра модда орқали ўтганда бу энергия муҳит билан ўзаро таъсирга сарфланади. α - зарралар модда орқали ўтганда муҳит атоми орбитал электронлари билан эластик ёки ноэластик тўқнашиши мумкин. α - зарралар электронларнинг атом ядролари билан ўзаро таъсирларини енгиб, уларнинг ҳаракатини тезлаштиради. Бу эса атом ва молекулаларнинг ионланиш ва уйғониш жараёнига олиб келади, натижада α -зарралар ўз энергияларини йўқотадилар. Норелятивистик энергияли α -зарралар учун йўл узунлигининг бир бирлигига тўғри келган атомларни ионлатиш ва уйғотиш учун сарфланадиган ўртача энергия куйидаги Бете формуласи асосида топилади:

$$-\left(\frac{dE_{\alpha}}{dx}\right)_{\text{ион}} = \frac{4\pi e^4 Z^4}{m_{\alpha} v^2} Z' n_{\Lambda} e \frac{2m_0 v^2}{w}, \quad (5.7)$$

бу ерда: E_{α} - α -зарраларнинг кинетик энергияси;

eZ - α -зарра заряди;

e - электрон заряди;

Z' - ютувчи модданинг атом номери;

n_{Λ} - 1 см^3 ҳажмли моддадаги атомлар сони;

m_0 - электроннинг тинчликдаги массаси;

v - зарраларнинг тезлиги, см/с ;

\bar{w} - атом уйғонишининг ўртача энергияси;

m_{α} - α -зарра массаси.

(5.7) формулани қўллаганда қуйидаги шарт билан чегараланишга тўғри келади:

$$\frac{Ze^2}{\hbar v} \ll 1 \text{ ва } E_{\alpha} \gg \frac{m_{\alpha}}{m_0} E_i, \quad (5.8)$$

бу ерда $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; h - Планк доимийси; E_i - ионланиш энергияси.

(5.7) формуладан кўриниб турибдики, зарядланган зарранинг атомини ионлаштириш учун сарфланган солиштирма энергияси зарра зарядининг квадратиغا, муҳитдаги электронлар концентрациясига, тезликка боғлиқ бўлган бирор бир функция $\varphi(v)$ га тўғри пропорционал бўлиб, зарранинг массасига эса боғлиқ эмас:

$$\frac{dE_{\alpha}}{dx} \sim Zn_e \varphi(v). \quad (5.9)$$

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, электроннинг массаси α -зарра массасидан анча кичик бўлганлиги учун энергия йўқолиши унча катта бўлмайди:

$$0 < \Delta E_{\alpha} < 4 \frac{m_0}{m_{\alpha}} E, \quad (5.10)$$

бу ерда m_0 - электрон массаси; m_{α} - α -зарра массаси.

Бу ҳол α -зарра йўлининг фотоэмульсияда ёки Вильсон камерасида кузатганда йўлнинг тўғри чизикли характери билан тасдиқланади. Энергия сарфи миқдорини билсак, эркин югуриш йўлини ҳисоблаш мумкин:

$$R = \int \left(\frac{dE_\alpha}{d\alpha} \right) \quad (5.11)$$

Лекин α -зарра энергиясининг сарфланишининг бошқа каналларини (α -зарра муҳит электронларини тортиб олиши натижасида унинг заряди камаяди ва бунинг натижасида эркин югуриш йўли ортади) ҳисобга олмаганимиз учун эркин югуриш йўли узунлигини аниқ топа олмаймиз.

Шунинг учун α -зарранинг эркин югуриш йўли узунлигини фақат тажриба йўли билан аниқлаш мумкин.

4 МэВ дан 8 МэВ гача энергияли α -зарранинг ҳаводаги эркин югуриш йўлини топиш учун қуйидаги эмпирик формуладан фойдаланиш мумкин:

$$R = k\sqrt{E_\alpha^3}, \text{ см}, \quad (5.12)$$

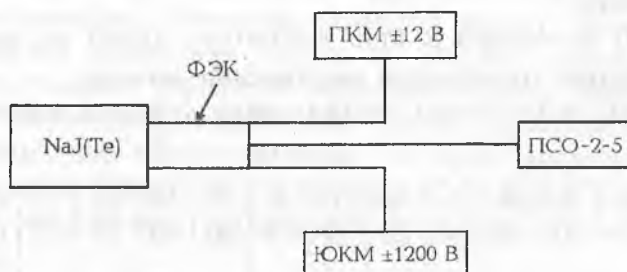
бу ерда: E_α - α -зарра энергияси, МэВ;

k - пропорционаллик коэффиценти, ҳаво учун $k = 0,318$.

Ишни бажариш тартиби

1. NaJ(Te) сцинтилляцион детекторнинг ишлаш принциплари ва қоидалари билан танишинг.

2. 25-расмда келтирилган блок схема бўйича ўлчаш асбобларини тайёрланг.



25-расм. NaJ(Te) сцинтилляцион детекторнинг блок схемаси.

3. Барча асбобларнинг ерга уланишини текширинг.
4. Ўлчов асбобларини 220 В ўзгарувчан ток манбаига уланг. 10-15 минут ораллиғида қизисин.
5. Фотозлектрон кўпайтиргич (ФЭК) га паст кучланиш манбаини (ПКМ) дан 12 В ва юқори кучланиш манбаи (ЮКМ) дан 1200 В кучланиш берилади.
6. $t=10$ мин. давомида «фон»ни ўлчанг.
7. α -зарралар манбаини 26-расмда кўрсатилгандек қилиб аравачага жойлаштиринг.



26-расм. Тажриба мосламалари.

8. α -нурланиш манбаи билан детектор орасидаги масофа R ни энг кичик қийматидан то асбоб нурланиш манбаи сезмай қолганга (6-пунктда ўлчанган «фон» нинг қийматини кўрсатгунга) қадар ўзгартириб, ўлчашни хар бир нукта учун 3 мартадан бажаринг.
9. Импульслар сони N нинг R масофага боғлиқлик графигини чизинг. Графикда α -зарраларнинг R_α эркин югуриш йўлини аниқланг.
10. (5.12) формулага R нинг қийматини қўйиб шу нурланиш манбаининг α -зарралари энергиясини аниқанг.
11. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижаларини қуйидаги жадвалга киритинг.

т/н	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R , мм	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
N_α													
R_α													
E_α													

Назорат саволлари

1. Зарядланган зарранинг ионлаштиришдаги йўқотган энергияси ҳақида нима дея оласиз?
2. α -зарра югуриш йўлининг унинг энергиясига боғлиқлиги қандай бўлади?
3. α -зарранинг физик характеристикалари ҳақида гапиринг.
4. α -зарраларнинг қандай манбаларини биласиз?

3-лаборатория иши

Изотопларнинг α , β , γ - активлигини нисбий метод билан аниқлаш

Керакли асбоб ва мосламалар: α , β , γ - ҳисоблаш асбоблари, эталон ва номаълум активликдаги нурларнинг радионуклид манбалари; ПСО-2-5 ҳисоблаш асбоби, кўрғошин уйча.

Назарий қисм

Ностабил ва уйғонган ҳолатдаги ядролар ўз таркибини ва ички энергиясини ўзгартирадиган спонтан ўтишларга (айланишларга) дучор бўлади. Бундай ядролар реактив ядролар дейилади.

Табиий ва сунъий радиоактив изотоплар ядро ичидаги жараёнларнинг турига қараб α , β ва γ нурлар чиқаради. Бу нурлар мос равишда гелий ядроси, электронлар ва қисқа электромагнит тўлқинлар оқимидан иборат. Радиоактив моддалардан фойдалана билиш ва улардан химоялана билиш учун уларнинг характеристикаларини билиш лозим.

Радиоактив моддаларнинг асосий характеристикалари қуйидагилардан иборат: активлик – A , ярим емирилиш даври – T , емирилиш доимийси – λ , шунингдек нурланиш энергияси – E .

Агар dt вақт оралиғида N та ядродан dN таеи емирилса, унда

$$dN = -\lambda N dt, \quad (5.13)$$

бу ерда λ – емирилиш доимийси бўлиб, ядронинг бирлик вақт оралиғидаги емирилиш эҳтимолини характерлайди.

(5.13) дан радиоактив ядролар сонининг вақтга қараб ўзгариш қонуниятини топсак:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (5.14)$$

бўлади, бу ерда N_0 – вақт $t=0$ бўлгандаги ядролар сони. Бошланғич ядроларнинг тенг ярми емирилиши учун кетган вақт ярим емирилиш даври дейилади. Ярим емирилиш даври T емирилиш доимийси билан боғлиқ:

$$\lambda = \frac{0,693}{T} \quad (5.15)$$

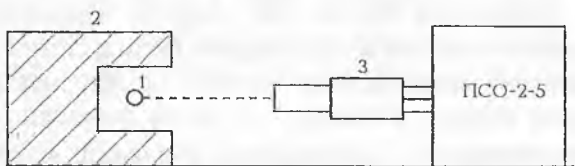
Радиоактив ядроларнинг ярим емирилиш даври вақтнинг жуда кенг интервалини эгаллайди: (10^{-9} с дан 10^{12} йилгача). Моддаларнинг активлигини ионизацион, калориметрик, фотометрик ва бошқа методлар билан ўлчаш мумкин. Ионизацион эффект асосида ишлайдиган асбобларга ионизацион камера, пропорционал санагич, сцинтиляцион санагич, Вильсон камераси киради.

Ушбу лаборатория ишидан мақсад, Pu^{238} , Na^{22} , Sr^{90} , Co^{60} радионуклидларнинг α , β^{\pm} , γ активлигини эталон нурланиш манбаига таққослаб ўлчашдан иборат.

Ишни бажариш тартиби

1. $\text{NaJ}(\text{Te})$ сцинтилляцион детекторнинг ишлаш принципи ва қоидалари билан танишинг (ДКС-04, ДРГ-05, дозиметрик асбоблар ва ҳоказо).

2. 27-расмда кўрсатилгандек қилиб тажриба мосламасини йиғинг.



27-расм. Тажриба мосламаси.

3. Na^{22} , Co^{60} , Sr^{90} , Pu^{238} , радионуклид манбалари (1) ни навбат билан қўрғошин уйча (2) га жойлаштириб, детектор (3) ёрдамида мос равишда эталон ва активлиги номаълум нурланиш манбаларининг активлиги ўлчанади.

4. Хонадаги «фон»ни ўлчанг (хонадаги «фон» нурланиш манбалари сейфда турган вақтда ўлчанади) ва олинган натижалардан «фон»нинг қийматини чиқариб ташланг.

5. ПСО-2-5 ҳисоблаш асбобидан олинган натижаларни қуйидаги жадвалга ёзинг.

6. Эталон ва активлиги номаълум манбалар учун олинган натижалар мос равишда солиштирилади ва активлиги номаълум манбанинг активлиги пропорция орқали топилади.

Манба	т/н	Н им-пульс	Эталон манба	т/н	Н им-пульс	A=мк Ки
Na ²² (β ⁺)	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5			5		
Co ⁶⁰ (γ)	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5			5		
Sr ⁹⁰ (β ⁻)	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5			5		
Pu ²³⁸ (α)	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5			5		

Назорат саволлари

1. Радиоактив емирилиш қонунини тушунтиринг.
2. Радиоактив модданинг активлиги деганда нимани тушунаси? Уларнинг ўлчов бирликлари нимага тенг?
3. α ва β-емирилиш нима? Силжиш қондасини тушунтиринг.
4. Ионлаштириш нурланишини қайд қилиш методларини тушунтириб беринг.

4-лаборатория иши

Эталон манбалардан чиқайтган нурланиш дозасини аниқлаш

Керакли асбоб ва ускуналар:

1. Ютилган дозани ўлчайдиган дозиметрик асбоблар ДКС-04, ДРГ-05М, «Белла» ва бошқалар.
2. α , β , γ -нурларнинг эталон манбалари (Na^{22} , Co^{60} , Sr^{90} , Pu^{238}).
3. Ўлчашлар учун керак бўладиган мосламалар.

Назарий қисм

Радиоактив моддалар ва нурланиш манбалари билан ишлаётган вақтда нурланишнинг биологик таъсирини ҳисобга олиш керак. Ионлаштирувчи нурланишнинг организмга таъсири биринчи навбатда энергияга боғлиқ, нурланиш вақтида тирик организмнинг нурланишни ютувчининг бирлик ҳажмига, нурланишнинг сифат коэффициенти Q га пропорционал ва атом номери Z га боғлиқ:

Нурланиш дозаси қуйидаги характеристикаларга эга:

1. *Нурланишнинг ютилган дозаси* асосий дозиметрик катталиқ бўлиб, элементар ҳажмдаги dm массали моддага, ионлаштирувчи нурланиш берган dE ўртача энергияга тенг:

$$D_D = \frac{dE}{dm} \quad (5.16)$$

ютилган дозанинг бирлиги – рад.

1 рад=0,01 Ж/кг, СИ да грей (Гр); 1 Гр=100 рад.

2. *Нурланишнинг экспозицион дозаси* X – элементар ҳажмда фотонлар юзага келтирган электрон ва позитронларнинг тўлиқ тормозланишида юзага келадиган бир хил ишорали барча ионларнинг зарядининг орттирмаси dQ нинг шу элементар ҳажмдаги ҳавонинг dm массасига нисбати билан ўлчанадиган катталиқ:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (5.17)$$

Нурланишнинг экспозицион дозасининг бирлиги Кл/кг. Экспозицион дозанинг махсус бирлиги қилиб *рентген* (р) қабул қилинган:

$$1 \text{ р} = 0,258 \text{ мКл/кг.}$$

3. *Нурланишнинг эквивалент дозаси* Н - радиацион ҳавфсизлик соҳасида асосий дозиметрик катталиқ бўлиб, Н нинг қиймати бир календарь йилда 5ПДД (предельно допустимая доза – рухсат этилган дозаларнинг лимити - чегараси) дан кўп бўлмаган ионлаштирувчи нурланишларнинг узок муддатли таъсири натижасида инсон саломатлигига етказадиган зарарини баҳолаш учун киритилган.

Эквивалент доза (Н) ютилган доза (Д)нинг биологик тўқима ҳажми элементидаги ионлаштирувчи нурланишнинг ўртача сифат коэффициенти Q га кўпайтмасига тенг:

$$H = D \cdot Q. \quad (5.18)$$

Эквивалент дозанинг бирлиги – б.э.р (биологический эквивалент рентгена – рентгеннинг биологик эквиваленти) бўлиб, 1 бэр = 0,01 Ж/кг.

Халқаро бирликлар системасида эквивалент дозанинг бирлиги – *зиверт* (зв).

$$1 \text{ зв} = 100 \text{ бэр.}$$

ПДД – персонал (А категория), яъни радиоактив нурланиш манбаи билан бевосита ишлайдиган одамлар учун асосий доза чегараси.

ПДД – календарь йилда олинган индивидуал эквивалент дозаларнинг шундай юқори чегарасики, 50 йил ичида олинган (тенг таксимланган) нурланишлар инсон соғлиғида замонавий усуллар билан аниқланган нохуш ўзгаришларга олиб келмайди.

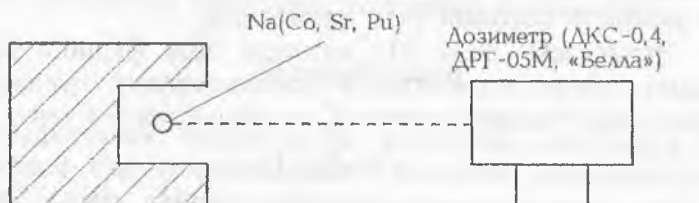
Q - *нурланишнинг сифат коэффициенти* – нурланишнинг организм (тана) га биологик зарарини ҳисобга оладиган ўлчамсиз коэффициент. Ушбу лаборатория ишининг мақсади радионуклид манбаларнинг α , β , ва γ -нурланишларини ўлчашдаги дозиметрия методлари билан таништиришдан иборат.

Ишни бажариш тартиби

1. ДКС-04, ДРГ-05 М, «Белла» дозиметрик асбобларининг тавсифномаларидан уларнинг ишлаш принципи ва фойдаланиш қоидалари билан танишиб чиқинг.

2. Хонадаги «фон» ни ўлчанг. Бунинг учун радиоактив манбалар йўқ вақтдаги дозиметрик асбоблар кўрсатиши ёзилади.

3. Активлиги аниқ бўлган нурланиш манбалари ($\text{Na}^{22}\text{-}\beta^+$, $\text{Co}^{60}\text{-}\gamma$, $\text{Si}^{90}\text{-}\beta^-$, $\text{Pu}^{238}\text{-}\alpha$)ни навбатма-навбат 28-расмда кўрсатилган тажриба мосламасига жойлаштиринг.



28-расм. Тажриба мосламаси.

4. Ҳар бир нурланиш манбаларидан чиқаётган дозани уч мартадан ўлчанг. Ўлчаш вақти $t=1$ минут бўлсин.

5. Олинган натижаларни қуйидаги жадвалга киритинг.

Манбалар Асбоблар	Na^{22}, β^+	Co^{60}, γ	Si^{90}, β^-	Pu^{238}, α
ДКС-04				
ДРГ-05М				
«Белла»				

Назорат саволлари

1. Нурланишнинг ютилган дозаси деб нимани тушунасиз?
2. Нурланишнинг экспозицион дозаси деб нимани тушунасиз?
3. Нурланишнинг эквивалент дозаси деб нимани тушунасиз?
4. Нурланишнинг – ПДД си нимани билдиради?
5. Ядро нурланишлари α , β , γ нинг асосий физик харақтеристикаларини айтиб беринг.

ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР

6.1-§. Элементар зарраларнинг пайдо бўлиш тарихи

XX асрнинг 30-йилларида барча атомлар *нейтрон*, *протон* ва *электронлардан* тузилганлиги аниқланган.

1940 йилларга келиб ўнлаб турли субъядро зарралар очилди. Уларнинг хоссалари, ўзаро таъсирлари қандайлиги, қайси бири *фундаментал*, қайси бири эса *элементар зарралар* эканлигини аниқлаш керак эди. Шу йўсинда физика фанининг «*элементар зарралар физикаси*» бўлими пайдо бўлди.

1930 йилда физик – назариётчи В. Паули жуда кичик массали электр жиҳатидан нейтрал зарралар бўлиши кераклиги ҳақида гапириб ўтган эди. 1932 й. Чедвиг протон массасига тенг бўлган нейтрал заррани «нейтрон» деб атади, Ферми бўлса, жуда кичик массали нейтрал заррани «*нейтрино*» деб атади. Кейинчалик, *икки хил нейтрино* борлиги аниқланди.

Электрон ва протон оралиғидаги массага тенг массали қандайдир зарра бўлиши кераклиги ҳақида 1935 йилда айтиб ўтилган эди. 1947 йилда эса Пауэлл, Оккиалини, Лэттез ўтказган тажрибалар ажойиб натижалар берди. Янги зарралар – *мезонлар* борлиги аниқланди. Кейинчалик, юзлаб мезонлар топилади. Энг оғир мезон – К-мезон ҳам топилди. Физиклар унинг хоссаларини ўрганиб, бу мезонни «*галати*» зарралар таркибига кўшиб қўйди. К-мезон очилгандан сўнг, ундан ҳам оғирроқ элементар зарралар борлиги аниқланди. Булар – *гиперонлар* эди. Физиклар бундай оғир барқарормас зарраларни ўрганиб боришди. Шу нарса аниқландики, К-мезон, Λ, Σ- гиперонлар ажойиб, бир ғалати хусусиятга эга экан. Улар доимо жуфт-жуфт бўлиб туғилишади.

Гиперон ва мезонларнинг хоссалари ва ўзаро таъсирларини ўрганиш шуни кўрсатадики, улар биз ўйлаганча «элементар» эмас экан. Улар мураккаб, оғир зарралар бўлиб,

кварклар деб номланган элементар зарралардан таркиб топган экан. Бу ҳақида янада кенгроқ ва тушунарли қилиб кейинги бобларда гапириб ўтамиз.

6.2-§. Зарралар ва антизарралар

Бизга маълумки, *позитрон* – мусбат зарядланган электронни билдиради. Бошқача айтганда, позитрон ўзининг кўпгина хусусиятлари билан электронга ўхшайди, масалан, позитрон массаси тахминан элетронникидек. Улар фақат қарама-қарши зарядланганлиги билан фарқ қилади. Шунинг учун позитронни электроннинг *антизарраси* деб аташади. Позитрон очилгандан сўнг, 1932 йилда антизарралар бошқа зарралар учун ҳам борлиги аниқланди. 1955 йилда протоннинг антизарраси борлиги аниқланди, яъни антипротон \bar{p} (р-протоннинг тепасидаги чизиқ антизарралигини билдиради). Протон ва антипротон массалари тенгдир.

Тез орада n -нейтроннинг антизарраси – \bar{n} – *антинейтрон* топилди. Кўпгина элементар зарраларнинг антизарралари бор. Лекин γ -фотон, π^0 -мезон ва бошқа бир қанча зарраларнинг антизарралари йўқ. Улар ўз антизарралари билан мутлақо бир хилдир деб тушунтириш мумкин. Антизарра ўз зарраси билан тўқнашганда *аннигиляция* ҳодисаси юз беради.

Антизарралар жуда катта энергияли ядро реакциялар натижасида туғилади, лекин моддада улар жуда кўп вақт яшамайди. Позитрон билан электрон аннигиляцияланганда, уларнинг массаси ва кинетик энергияси γ -квант энергиясига ёки бошқа зарраларга айланади.

6.3-§. Ўзаро таъсирлар ва сақланиш қонунлари

Табиатда тўртта фундаментал ўзаро таъсир ёки тўрт хил куч борлиги аниқланган. 6.1-жадвалда тўрт хил ўзаро таъсирлар интенсивлиги ва квант майдонлари келтирилган.

Фундаментал ўзаро таъсирлар

Ўзаро таъсир турлари	Нисбий интенсивлик (тахминан)	Майдон кванти
I. Кучли	1	Мезонлар, глюонлар
II. Электромагнит	10^{-2}	Фотон
III. Кучсиз	10^{-13}	W^+ ва Z^0
IV. Гравитацион	10^{-40}	Гравитон

Кучсиз ўзаро таъсирларда иштирок этувчи зарралар W^+ , W^- , Z^0 -зарра деган ном олишди. Интенсив қидиришлардан сўнг, 1983 йилда Карло Руббиа W^- -заррани топди. Булар *бозонлар* деб номланади.

Гравитацион майдон кванти – *гравитон* ҳали экспериментал топилмаган. Кундалик ҳаётимизда гравитация (Ернинг катта массасига кўра) сезиларли бўлса ҳам, ядро масштабларида гравитацион ўзаро таъсир энг кучсиз экан.

Электромагнит ўзаро таъсир нисбатан яхшироқ ўрганилган. Зарраларнинг ўзаро электромагнит таъсирлашув кучи кучли ўзаро таъсирга қараганда анча суст, бошқа таъсир кучларига қараганда эса ўта кучлидир. Электромагнит таъсир доираси 10^{-12} см дан тортиб космик масофаларгача давом этади.

Электромагнит ўзаро таъсир ҳар хил зарраларда турли шиддат билан намоён бўлади. Электр зарядига эга бўлган зарраларда энг катта электромагнит ўзаро таъсир кучлари вужудга келади. Массаси ва спини нолга тенг бўлмаган зарядсиз зарралар ўзаро кучсизроқ электромагнит таъсирда бўладилар. Энг кучсиз электромагнит ўзаро таъсирга нейтрал, спинсиз зарралар, масалан, нейтрал π (π^0) мезон эгадир. Зарралардан нейтрино электромагнит таъсирни деярли сезмайди.

Кучли ўзаро таъсирлар ядро физикасида жуда кўп ҳодисаларга жавоб берувчи, энг асосий ўзаро таъсирдир. Кучли ўзаро таъсирлардаги реакциялар рўёбга чиқиши учун 10^{-23} с вақт керак.

Кучли ўзаро таъсирлар ядрогаги нуклонлар оралиғини эгаллайди. Ядро тўқнашишларида пайдо бўлган гиперонлар, мезонлар улар орқали аниқланади.

Кучли ўзаро таъсирларда қуйидаги сақланиш қонунлари бажарилади: 1) электр заряд; 2) барион заряд; 3) ҳаракат миқдори моменти – спин; 4) изотопик спин; 5) изотопик спин проекцияси; 6) энергия; 7) галатилик.

Бу сақланиш қонунлари ҳақида VII бобда тўла тўхтаб ўтилади.

Ҳамма элементар зарралар ё *бозон*, ёки *фермион* бўлади. Бозонлар Бозе–Эйнштейн статистикасига бўйсунди ва уларнинг спини нол ёки бутун сондан иборат бўлади. Фермионлар эса қасрли спинга эга бўлиб (масалан, $1/2$; $3/2$; $5/2$), Ферми–Дирак статистикасига бўйсунди.

Бозонларга гравитон (спини 2), фотон (спини 1), глюонлар (спини 1), мезонлар, шунингдек, барча санаб ўтилган зарраларнинг антизарралари киради.

Фермионларга лептонлар, барионлар, кварклар (спини $1/2$), шунингдек, уларнинг антизарралари киради..

Энди, кейинги бобда элементар зарраларни учта оилага (Фотонлар, лептонлар ва адронлар оиласига) бўлиб, ҳар бир оилани алоҳида кўриб чиқамиз.

VII БОБ

ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР КЛАССЛАРИ

Элементар зарралар уч асосий классга бўлинади. Биринчи классга фақат битта зарра — фотон (ёруғлик кванти) киради.

Иккинчи классни *лептонлар* ташкил этади. Лептонларга олтита зарра: электрон, электрон нейтриноси, мюон, мюон нейтриноси киради. τ – лептон ва τ – нейтриноси.

Учинчи класс – *адронлар* (грекча – йирик) деб аталувчи зарралардан ташкил топган. Адронларга мезонлар ва барионлар гуруҳидаги зарралар киради. Улардан ташқари бир неча юз *резонанслар* деб аталувчи зарралар ҳам киради.

Зарраларнинг ушбу класслари уларнинг ўзаро таъсирини характерлайди. Масалан, фотон фақат электромагнит ўзаро таъсирдагина бўлади. Лептонлар кучсиз ва гравитацион ўзаро таъсирда, адронлар эса гравитацион, кучсиз, электромагнит ва кучли (ядровий) ўзаро таъсирларда бўла олади.

Ҳар бир элементар зарра ўзининг тинчликдаги массасига эга. Бу уларнинг асосий характеристикаси. Буни билган ҳолда биз элементар зарраларни массасига қараб классларга ажратишимиз мумкин. Элементар зарраларнинг тинчликдаги массаси, одатда электрон ва протон массаси бирликларида ёки энергия бирликларида (масалан, электрон – вольтларда, қисқача эВ да) ўлчанади. 7.1–жадвалда элементар зарралар классификацияси келтирилган.

7.1-жадвал

Зарралар классификацияси	Тинчликдаги массаси, МэВ
Фотонлар	0
Лептонлар	0 дан 106 гача, τ -лептон учун $m_\tau = 1,8 \cdot 10^3$
Мезонлар	135-888
Барионлар	938 ва ундан юқори

Бу бобда биз ҳар бир класс билан тўла танишиб чиқамиз. Уларга кирувчи элементар зарраларнинг хоссаларини ўрганамиз.

Ҳар бир заррани *квант сонлари* деб аталувчи физик белгилар тўплами характерлайди. Куйида элементар зарраларни классларга ажратишда асосий характеристика ҳисобланган ҳар бир квант сони ва уларнинг физик маъноси устида алоҳида тўхталиб ўтамиз. Шундай характеристикалардан бири Q электр зарядидир. У электрон заряди бирлигида ўлчади. Зарраларнинг электр заряди бутун сон бўлиб, 0 га ёки ± 1 га тенг.

Резонанслар деб аталувчи зарралар гуруҳида ± 2 зарядли зарралар ҳам маълум фундаментал фермионлар деб аталувчи кварклар $+\frac{2}{3}e$ ёки $-\frac{1}{2}e$ га тенг каср қийматли зарядга эга.

Элементар зарралар иштироки билан бўладиган жараёнларда энергиянинг сақланиш қонуни каби заряднинг сақланиш қонуни ҳам мавжуд. Заряднинг сақланиши баъзи зарраларнинг барқарорлигини таъминлайди.

Элементар зарраларни характерлайдиган яна бир физик белги зарраларнинг B *барион зарядидир*. Протон ва ундан оғир ҳамма зарралар барионлар деб аталади ва уларнинг ҳар бири ± 1 барион зарядига эга. Антибарионлар эса -1 барион зарядига эга бўлади.

Ҳар қандай барион протон ва бошқа зарраларга парчаланди. Протон барча реакцияларда барионнинг асосий «оғирлик» хусусиятини ўзида сақлаши билан ажралиб туради. Шунга кўра барион зарядининг сақланиш қонуни катта аниқликда бажарилади. Энг енгил зарралар лептон заряди (L_e) га эга. Электрон (e^-) ва электрон нейтриноси (ν_e) $+1$ лептон зарядига эга, позитрон (e^+) ва электрон антинейтриноси ($\bar{\nu}_e$) эса -1 лептон зарядига эга ($L_e = -1$). Бошқа ҳамма зарралар учун $L_e = 0$; мюон μ^- ва мюон нейтриноси ν_μ учун мюон лептон заряди $L_\mu = +1$, мусбат μ^+ мюон ва мюон антинейтриноси учун $L_\mu = -1$; бошқа ҳамма зарраларнинг мюон лептон заряди 0 га тенг: $L_\mu = 0$.

Элементар зарралар орасида шундайлари борки, улар (К-мезонлар ва Λ , Σ , Ξ гиперонлар) бошқа зарраларда учра- мийдиган ғалатилик (ажиблик) хоссасига эгадирлар. Ғалати- никни S-квант белгиси орқали аниқланади. Бу ғалати таррлар учун $S \neq 0$ бўлиб, $S = \pm 1, \pm 2, \pm 3$ қийматларни қабул қиладилар. Ғалатилиги $S = 0$ бўлган зарралар одатдаги хи- собланадилар, улар ғалатилик хоссасига эга эмаслар.

Гелл-Манн ва Нишиджималар ғалатиликни заряд мультитиплетини ҳосил қилувчи зарраларнинг ўртача электр заряди $\langle Q \rangle$ ҳамда барион заряди B билан қуйидагича боғланганлар:

$$S = 2 \langle Q \rangle - B.$$

Кўпчилик мультитиплетлар учун ўртача заряд $\langle Q \rangle$ ярим бутун бўлади. Каср сонлар билан иш кўрмаслик учун янги *гиперзаряд* – Y квант сони киритилган бўлиб, у

$$Y = 2 \langle Q \rangle$$

га тенгдир. U вақтда бу уччала (S, Y, B) квант белгилари ўзаро қуйидагича боғланишда бўладилар:

$$Y = B + S.$$

Бу белгилар орасида энг қулайи Y – гиперзаряд. Шунинг учун, одатда S ни ўрнига Y дан фойдаланадилар.

Мезонлар ва барионлар классига кирувчи элементар зарралар ҳақиқатан ҳам «элементар»-ми? Лептонлар-чи? Улардан ҳам бошқа «суперэлементар» зарралар борми?

Бу ва бошқа шунга ўхшаш кўпгина саволларга мана шу боб жавоб беради. Ҳар бир класс билан алоҳида танишиб чиқамиз.

7.1-§. Фотонлар

Фотон тинчликдаги массаси нолга тенг бўлган заррадир. Уни лептонлар оиласига киритиш ҳам мумкин эди, бироқ фотон бошқа элементар зарралардан алоҳида кўрилади. Фотоннинг тинчликдаги массаси m_0 қатъиян нолга тенг бўлгани сабабли зарранинг энергияси ϵ ва импульси p ни боғловчи.

$$\epsilon = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 = m^2 c^4 \quad (7.1)$$

формула фотон учун қуйидаги содда қўринишга келади:

$$\varepsilon = pc = mc^2 \quad (7.2)$$

бу формулада: ε - фотон энергияси, МэВ ларда ўлчанади;

p - фотон импульси, МэВ/с;

m - фотон массаси, МэВ/с²;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – ёруғлик тезлиги.

(7.2) формуладан фотоннинг импульси қуйидагига тенг бўлади:

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = mc \quad (7.3)$$

Юқорида келтирилган ҳамма формулалар фотоннинг корпускулярлик хусусиятидан топилган. Фотон дуалистик (икки ёқлама) характерга эга бўлиб, унинг энергияси ва импульсини тўлқин хусусиятидан ҳам топиш мумкин:

$$\varepsilon = h\nu \quad (7.4)$$

(7.4) формулада:

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Ж · с – Планк доимийси;

ν – фотонга боғлиқ бўлган электромагнит тўлқин частотаси.

(7.2) ва (7.4) формулалардан фотоннинг массаси қуйидагича бўлади:

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (7.5)$$

Фотон электромагнит майдон кванти бўлиб, одатда γ билан белгиланади. Фотон Бозе-Эйнштейн статистикасига бўйсунди. Демак, у бозон экан. Ҳамма бозонларнинг спини ё нолга, ёки бутун сонга тенг бўлади. Фотоннинг спини 1 га тенг. Фотоннинг ўзи электр жихатдан нейтрал бўлса ҳам, у зарядлар орасидаги ўзаро таъсир кучини «ташиш» вазифасини бажаради. Фотон статик электр майдон учун виртуал (мавжуд бўлиши мумкин) зарра бўлиб, нурланиш майдони учун эса реал зарра бўлиб ҳисобланади.

Фотон барқарор зарра бўлиб, бошқа зарраларга спонтан равишда парчаланмайди. Фотоннинг яшаш вақти чексиз, бошқа зарра ёки зарралар билан ўзаро таъсирда бўлганда йўқолиб кетади.

Фотон «маълумот бериш» вазифасини ўтайди. Бизни ураб турган табиат ҳақидаги ахборотларнинг энг кўп қисми фотон орқали берилади. Масалан, атом ва молекула энергетик ҳолатлари ҳақидаги маълумотни улар ютаётган ёки сочаётган нурнинг рангига қараб билиш мумкин. Атом ядроларининг спини ҳақидаги маълумотни шу ядроларнинг ташқи электромагнит майдон билан ўзаро таъсиридан, уйғонган энергетик сатҳлари ҳақидаги маълумотни эса чиқараётган γ -нурланишдан биламиз. Куёш системасидаги сайёралар, юлдузлар, галактикалар ҳақидаги барча астрономик ахборотларни нурланиш детектори орқали радио- ва оптик- диапазонларда биламиз.

Эркин фотонлар коинотда энг кўп тарқалган зарралар. Улар бошқа зарралар билан электромагнит ва гравитацион ўзаро таъсирларда бўлади.

7.2-§. Лептонлар

Фермионларнинг энг энгили – лептонлардир. Лептонлар Ферми-Дирак статистикасига бўйсунди. Лептонлар оиласига 6 та зарра ва уларнинг 6 та антизарраси киради. Бу зарралар электрон e , мюон μ , τ мезон ва учта нейтрино: ν_e , ν_μ ва ν_τ .

Нейтрино

Нейтрино лептонлар орасида энг энгил ҳисобланади. Худди фотонга ўхшаш, нейтринонинг ҳам тинчликдаги массаси нолга тенг. Шунинг учун ҳам юқорида келтирилган (7.2)-(7.5) формулалар нейтрино учун ҳам ўринлидир.

Икки хил нейтрино мавжуд: электронли нейтрино ν_e ва мюонли нейтрино ν_μ . Бу иккала нейтринонинг ўзига мос антизарраси мавжуд. Уларнинг спини $\frac{1}{2}$ га тенг бўлиб, электр заряди йўқдир.

Электроннинг элементар зарралар билан бўладиган ўзаро таъсири электронли, мюоннинг элементар зарралар билан бўладиган ўзаро таъсири жараёнида эса мюонли нейтрино ҳосил бўлади ва шу билан улар бир- биридан фарқ

қилади. Бунда гап фақат кучсиз ўзаро таъсир жараёнлари ҳақида юритилади. Бирор-бир кучсиз ўзаро таъсир жараёнларида электрон иштирок этаётган бўлса, албатта, унда электронли нейтрино ҳам иштирок этади.

Электрон ва электронли нейтрино иштирок этаётган кучсиз жараёнларга β айланиш реакцияси мисол бўлади:



ва уларга тесқари бўлган реакциялар:



бу реакцияларда: n – нейтрон; p – протон; e^- – электрон; e^+ – позитрон; ν_e – электронли нейтрино ва унинг $\bar{\nu}_e$ – антизарраси.

Худди шундай жараёнларни пионлар емирилишида қатнашган мюон ва мюонли нейтрино учун ҳам ёзиш мумкин, яъни:



Шунингдек, мусбат мюонларни ҳосил қилиш реакцияси:



(7.8) ва (7.9) реакцияларда:

π^- - манфий пион;

π^+ - мусбат пион;

μ^- - манфий мюон;

μ^+ - мусбат мюон;

ν_μ - мюонли нейтрино ва унинг $\bar{\nu}_\mu$ – антизарраси.

Энди юқорида келтирилган реакцияларга диққат билан эътибор берамиз. Реакциянинг битта томонида (масалан, (7.6) реакциянинг ўнг томонида) электрон билан бир вақтнинг ўзида антинейтрино иштирок этади. Агар электрон ва нейтрино реакциянинг турли қисмларида бўлса, у ҳолда

электрон билан бирга энди антинеитрино эмас, балки нейтрино ҳосил бўлади ((7.7) реакцияларда).

Мюон ва мюонли нейтрино ҳам (7.8) ва (7.9) реакцияларда ўзларини худди юқорида айтгандек тутади. Бунга сабаб – зарраларнинг сақланиш қонунидадир. Биз кўраётган ҳолда зарраларнинг *лептон* сони сақланади.

Агар ҳар бир лептон зарраларнинг лептон сони 1 ва уларнинг антизарралари учун лептон сони -1 га тенг деб қаралса, у ҳолда ихтиёрий кучсиз ўзаро таъсир реакцияларининг бошида ва охирида лептонларнинг алгебраик сони бир хил бўлади.

Нейтрино бошқа зарралар билан кучсиз ўзаро таъсирда бўлади. Нейтрино қатнашган барча жараёнлар учун эффектив кесим жуда кичик бўлади, шунга кўра нейтринонинг ҳар қандай жисмдаги эркин югуриш йўли жуда катта бўлади.

Нейтрино барча шароитларда тўлиқ қутбланган ягона зарра. Унинг спини импульс вектори бўйлаб ёки унга қарама-қарши томонга қатъий йўналган.

Электрон ва мюон

Электрон ва мюон – зарядланган зарралар. Улар физик табиатига кўра бир хил зарралар бўлиб, фақат тинчликдаги массалари турлича бўлиши билан фарқ қилади. Электроннинг тинчликдаги массаси 0,510 МэВ га тенг, мюонники эса ундан 20 марта катта бўлиб, 105,66 МэВ га тенгдир.

Электрон ҳам, мюон ҳам бир хил $\frac{1}{2}$ спинга эга бўлиб, электр зарядлари манфийдир. Антизарралари эса мусбат электр зарядга эга.

Электрон – барқарор зарра. Мюон эса, аксинча, барқарор бўлмай, электрон ва 2 та нейтринога парчаланеди:



Мюоннинг антизарраси мусбат мюон эса қуйидагиларга парчаланеди:



Бу реакцияда ҳам лептон сони сақланади. Бундай жараёнлар учун мюоннинг ўртача яшаш вақти $2,2 \cdot 10^{-6}$ с га тенг.

Элементар зарралар орасида электрон энг биринчи топилган заррадир. Ҳозирги давр элементар зарралар физикасида мюоннинг ажойиб, бизга унча тушунарли бўлмаган бир сирини мавжуд.

Унинг массаси электрон ва протон массалари орасида ётади. Барча жараёнларда мюон ўзини худди оғир электрон сифатида тутати. Бунда эса, мюон электроннинг уйғонган ҳолати эмасмикан, деган фикр тугилади. 1970 йилда ўтказилган баъзи тажрибаларда мюоннинг протон ва пионлар билан бўлган реакцияларида резонанс ҳолатлар мавжуд бўлиши мумкинлиги аниқланди. Бу масала устида ҳали кўп ишлаш керак. Агар ҳақиқатдан ҳам шундай резонанслар мавжуд бўлса, улар электронлар учун ҳам бормикан? Бу резонансларни қидириш пайтида, балки яна бир янги фундаментал ўзаро таъсир очилар ва у кучли ва кучсиз ўзаро таъсирлар орасида бўлар.

Водород атомига ўхшаш мюон водородлари (мезоатомлар) очилган. Водород атомининг боғланиш энергияси массасига пропорционал. Шунинг учун мюон мюонли водородда протон билан электроннинг боғланиш энергияси (13,6 эВ)дан 200 марта катта энергия билан боғлиқ. Яна бир қизиқ нарса шуки, мюонли водород худди оддий водород каби яна битта протонни ўзига қўшиб олиб мюонли водород молекуласини ҳосил қилади. Бу ҳол тажрибада ҳам аниқланган.

7.3-§. Адронлар

Адронлар электромагнит кучли ва кучсиз ўзаро таъсирларда иштирок этувчи элементар зарраларнинг энг катта гуруҳини ташкил этадилар. Уларнинг сони 400 га яқин бўлиб, иккита катта оилага бўлинадилар. Булар спини бутун сон (0, 1, ...) га тенг бўлган *мезонлар* оиласи ва спини ярим бутун сон ($1/2$, $1/3$, ...) дан иборат бўлган *барионлар* оиласини ташкил қилади. «Адрон» сўзи «кучли ўзаро таъсирловчи зарра» деган маънони англатади.

1. Мезонлар

Мезонлар зарядланган ёки нейтрал адронлар бўлиб, улар спинлари 0 ёки бутун сонларга тенг бўлгани учун бозонлар синфига мансубдир.

Ҳозирги вақтга келиб ўнлаб турли типдаги мезонлар очилган. Улар бир-биридан массалари ва бошқа хусусиятлари билан фарқ қилади. Оилада энг енгил, нуклон таркибига кирувчи мезон π -мезондир. Бунга π^0 ва π^\pm мезон киради. Зарядланган пионларнинг массалари бир хил 140 МэВ, π^0 мезоннинг массаси 135 МэВ га тенг. Уларнинг учқовининг спини 0 га тенг ва барқарор эмас. π^\pm ларнинг яшаш вақти $\sim 10^{-8}$ с, π^0 мезонники эса $\sim 10^{-16}$ с. Булардан ташқари яна K^\pm -мезонлар ҳам борки, физиклар уларни *галати* зарралар қаторига киритишган. Бу зарраларнинг галатилик хоссалари уларнинг юзага келиши ва парчаланишида намоён бўлади. K -мезоннинг массаси нуклон массасидан кичик бўлиб, улар нуклон-нуклон ва пион-нуклон тўқнашишларида пайдо бўлади. Улар фақат жуфт ёки учлик ҳолида пайдо бўлиб, бирор марта ҳам якка ҳолда пайдо бўлгани кузатилмаган. Бу зарралардан айримларини нуклонлар ва пионларга парчаланиши аниқланган. Уларнинг пайдо бўлиши каби, парчаланиши ҳам кучли ўзаро таъсир натижаси (яшаш вақтлари 10^{-23} – 10^{-22} с тартибида бўлиши лозим) деб қаралганда, уларнинг яшаш вақтлари бир неча тартибга катта (10^{-10} – 10^{-8} с) бўлиб чиққан. Бу ҳол кучли ўзаро таъсирга ҳеч ҳам тўғри келмайди. Уларнинг массалари деярли тенг. K^+ ва K^- -мезонларнинг бошқа адронлар билан ўзаро таъсирида галати асимметрия кузатилади. K -мезонларнинг уч ва икки пионли парчаланишларини аниқлаш кучсиз ўзаро таъсирда жуфтликнинг сақланмаслигини кашф қилишга олиб келди.

Каонларнинг айрим хоссалари аниқланган. Масалан:

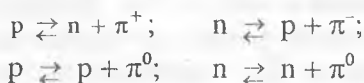
1) K^0 , K^+ : заряди $Q = 0, 1$; изоспини $I_z = \frac{1}{2}$; спини $s = 0$; $m \approx 500$ мэВ.

2) K^-, K^0 : заряди $Q = -1, 0$; изоспини $I_z = \frac{1}{2}$; $m \approx 500$ мэВ.

Кейинчалик анча оғир бўлган D^{\pm} , D^0 , F^{\pm} -мезонлар ҳам очилдики, уларнинг массаси протон массасидан катта. Булардан ташқари яшаш вақтлари 10^{-23} с тартибида бўлган кўпгина мезонлар очилган.

Дастлабки вақтларда μ^{\pm} -мюонлар μ -мезонлар деб аталарди, бироқ уларнинг мезонлар синфига кирмасликлари аниқлангандан кейин (чунки уларнинг спини $1/2$, кучли ўзаро таъсирда иштирок этмайдилар) мюон деб аталадиган (μ - мезонлар деб аталмайдиган) бўлдилар. Нейтрал мюонлар мавжуд эмас. Мюон массаси 106 МэВ ($207m_e$).

Нуклонларнинг ўзаро таъсирланишларига тўхталсак, улар қуйидаги схемалар бўйича амалга оширилади:



Бу мезонларнинг бошқа нуклонларга ютилиши нуклонлар орасида кучли ўзаро таъсирга олиб келади. Натижада энергиясига қараб бир қанча мезонлар ҳосил бўлиши мумкин:



ёки янада катта энергияларда



реакция юз беради. π^{\pm} -мезонларнинг ўзлари эса кўпинча (7.8) схема бўйича емириладилар. Нейтрал π -мезонлар (π^0 -мезонлар) катта энергияга эга бўлган иккита фотонга емирилади:



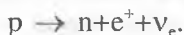
Бу реакцияда модда қисқа тўлқинли электромагнит нурланишга айланади.

2. Бариионлар

Бариионлар деб ярим бутун спин сони ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, ...) га эга бўлган ва массаси протоннинг массасидан кичик бўлмаган

адронларга айтилади. Уларга нуклонлар (протонлар ва нейтронлар), гиперонлар ва бошқалар киради. Протон ва нейтрон – энг энгил барионлар. Протон ягона барқарор барион, бошқа қолган барионлар барқарор эмас, кетма-кет емирилишлар йўли билан нуклонларга ва энгил зарралар (π -мезонлар, электронлар, нейтрино, γ -квантлар)га айланадилар. Нейтрон эркин ҳолатда барқарор бўлмаган зарра, яшаш вақти ~ 16 мин, лекин ядронинг ичида боғланган ҳолатда, β -емирилиш юзага келмаган (${}_Z M^A < {}_{Z+1} M^A + m_e$) пайтда у барқарор. Нейтроннинг ядрога барқарор бўлишига сабаб унинг протон билан кучли ўзаро таъсирда бўлишидир. У ядрога протон билан ўзаро π -мезонлар билан алмашиб туради.

Агар ${}_Z M^A > {}_{Z-1} M^A + m_e$ бўлса, протон стабил бўлмайди ва β^+ емирилиш содир бўлади:



Нуклон массасидан катта бўлган ва ядровий вақт ($\sim 10^{23}$ с) дан катта яшаш вақтига эга бўлган ностабил барионлар *гиперонлар* деб аталади. Биринчи гиперон (Λ) лар космик нурларда очилган. Гиперонларнинг бир нечта турлари маълум:

1) лямбда (Λ^0) – заряди $Q = 0$, изоспини $I_z = 0$, спини $s = \frac{1}{2}$, массаси $m \approx 1100$ МэВ;

2) сигма ($\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$) – $Q = \pm 1, 0$; $I_z = 1$, $s = \frac{1}{2}$, массаси $m \approx 1200$ МэВ;

3) кси (Ξ^-, Ξ^0) – $Q = -1$; $I_z = \frac{1}{2}$, $s = \frac{1}{2}$, $m \approx 1300$ МэВ;

4) омега (Ω^-, Ξ^0) – $Q = -1$; $I_z = 0$, $s = \frac{3}{2}$, $m \approx 1700$ МэВ.

Гиперонлар барча барионлар каби фермионлардир. Улар барқарор бўлмаган жуда оғир зарралар бўлиб, яшаш вақтлари $\tau \sim 10^{-10}$ с (лекин Σ^0, Λ^0 -гиперонларнинг яшаш вақтлари мос ҳолда $\tau \sim 10^{-19}$ с ва 10^{-13} с). Бу вақт оралиғида улар нуклонларга ва энгил зарралар (π -мезонлар, электронлар, нейтрино, γ -квантлар)га емириладилар:

$$\begin{aligned}\Sigma_1^+ &\rightarrow p + \pi^0, \\ \Sigma_2^+ &\rightarrow p + \pi^+\end{aligned}\quad (7.15)$$

Λ^0 - гиперон эса қуйидагича емирилади:

$$\begin{aligned}\Lambda^0 &\rightarrow p + \pi^- \\ \Lambda^0 &\rightarrow n + \pi^0.\end{aligned}\quad (7.16)$$

Биз биламизки, табиатда барион заряди сақланади. Аммо пион нуклонлар билан тўқнашганда, нуклон йўқ бўлиб кетади. Ҳосил бўлган К-мезоннинг заряди йўқ бўлади, чунки у пионларга парчаланиб кетади. Шунинг учун барион заряд фақат янги заррага ўтиши керак бўлиб қолади, яъни

$$p + \pi \rightarrow H + K \quad (7.17)$$

Бунда барион заряд ($1+0=1+0$) сақланади.

Н ҳарфи билан янги зарра – гиперонни белгилайлик. Демак, гиперонлар ҳар хил бўлар экан.

Каонларнинг ҳам заряди ҳар хил бўлади. Бунга қуйидаги жараёнлар мисол бўлади:

$$\begin{aligned}p + \pi^- &\rightarrow \Lambda^0 + K^0 \\ p + \pi^+ &\rightarrow \Sigma^+ + K^+ \\ n + \pi^- &\rightarrow \Sigma^- + K^0\end{aligned}\quad (7.18)$$

Бу жараёнларда икки турдаги гиперонлар ҳосил бўлади: Λ^0 - гиперон ва деярли массаси бир хил бўлган Σ^+ , Σ^- гиперонлар. Уларнинг парчаланиш схемаси қуйидагича ҳам бўлиши мумкин:

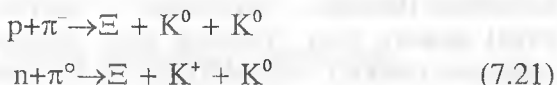
$$\begin{aligned}\Sigma^+ &\rightarrow p + n + \pi^- \quad (\text{яшаш вақти} = 0,8 \cdot 10^{-10} \text{ с}) \\ \Sigma^- &\rightarrow \begin{matrix} n + \pi^- \\ p + \pi^+ \end{matrix} \quad (= 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ с})\end{aligned}\quad (7.19)$$

Кси (Ξ)-гиперонларнинг емирилиши қуйидагича:

$$\begin{aligned}\Xi^0 &\rightarrow \Lambda^0 + \pi^- \quad (\text{яшаш вақти} = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ с}) \\ \Xi^0 &\rightarrow \Lambda^0 + \pi^0 \quad (= 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ с})\end{aligned}\quad (7.20)$$

Бу реакцияларнинг ғалатилиги шундаки, кси-гиперонлар тўғридан-тўғри дарров нуклонларга парчаланмай, балки шу йўлда албатта Λ -гиперонга айланади. Яна ғалатилиги шундаки, Ξ -кси гиперонларнинг мусбат зарядланган шериги йўқ. Улар кўпроқ жуфт нуклонга ўхшайди, учта ўртоқ сигма-гиперонга ўхшамайди.

Кси гиперонларнинг пайдо бўлиши ҳам жуда ғалати. Улар доим иккита каон билан бирга туғилади:



Барионлар оиласига кирувчи энг оғир гипероннинг очилиши сенсация бўлди. Унинг массаси 1672 МэВ бўлиб, яшаш вақти эса 10^{-10} с га тенг. Бундай гипероннинг шериклари йўқ. У учта каон билан бирга туғилади. Уни Ω (омега) гиперон деб аташди.



Мана ҳамма гиперонларни ҳам санаб чикдик. Улар 8 та. Нуклонларнинг оддий манзарасидан ҳеч нарса қолмади. Аслида манзара жуда мураккаб экан.

7.4-§. Изотопик спин ва изотопик инвариантлик

Элементар зарралар физикасида нуклонлар орасида бўладиган ядровий ўзаро таъсирларни ифодалаш учун *изотопик спин* деган тушунча киритилган. Унинг на изотоп ва на спин тушунчаларига боғлиқлиги бор. Бу тушунчани 1932 йилда В. Гейзенберг киритган. Унга кўра хоссалари бир-бирига яқин зарралар бошқа бир зарранинг ҳар хил ҳолатлари деб қаралади.

Протон ва нейтрон жуда кўп хоссаларига кўра бир-бирига ўхшайди. Шунинг учун физиклар, уларни битта нуклон заррасининг икки хил кўриниши, - деб қарашади. Уларнинг спини ва массаси бир-бирига яқин бўлиб, кучли ядровий ўзаро таъсирларда электр кучи ҳеч қандай роль ўйнамайди.

Ядровий ўзаро таъсир зарраларнинг ҳар бир заряд мультиплетига маълум изотопик спин (изоспин) қиймати (I) ни қўйишни тақозо қилади.

Агар заряд мультиплети битта заррадан иборат бўлса, бу зарра (заряд мультиплети)нинг I – изотопик спини 0 га тенг ҳисобланади. Масалан, битта мезоннинг изоспини $I = 0$ бўлади. Икки заррадан ташкил топган заряд мультиплетининг изоспини (масалан, нуклонлар – протон ва нейтрон дублети учун) яримга тенг. Умуман, агар зарядлар мультиплети i та заррадан ташкил топган бўлса, унинг изотопик спини I қуйидагидан топилади:

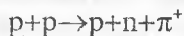
$$I = \frac{(i-1)}{2}.$$

Нуклонлар ҳолатлари изоспин дублетини, мезонлар ҳолати изоспин триплетини, Δ -резонанс ($\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}$) лар эса изоспинлар квартетини ҳосил қилади.

Атом ядролари учун изоспин қийматини шу атомни ташкил этган нуклонларни изоспинларининг вектор йиғиндисини орқали ифодалаш мумкин.

Изоспин тушунча жуда чуқур маънога эга. Механикада импульс моменти қандай сақланса, квант механикада изоспин ҳам шундай сақланади.

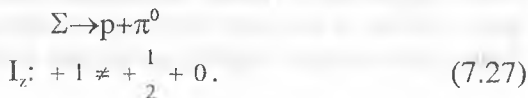
Изоспинларнинг сақланиши – изотопик инвариантлик дейилади. Кучли ядровий реакциялар учун изотопик спин сақланиш қонунини қуйидаги мисолда кўриш мумкин.



Бунда I нинг z ўқига проекцияси:

$$I_z: +\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = +\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 1. \quad (7.26)$$

(7.26) ифодада изотопик спин сақланади. Бироқ баъзи жараёнларда заиф кучлар иштирок этса, у ҳолда изоспин сақланмайди. Бунга Σ гипероннинг емирилиши мисол бўлади:



(7.27) ифодада изотопик спин сақланмади.

Q – зарядни, I_z – изоспин проекциясини ва B – барион зарядини қуйидагича ўзаро боғлаш мумкин:

$$Q = I_z + \frac{B}{2}. \quad (7.28)$$

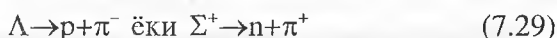
Кучли ўзаро таъсирларда заряд Q , изоспин I ва барион заряди B сақланади. Демак, изоспин проекцияси I_z ҳам сақланади.

7.5-§. Ғалати зарралар. Гиперзаряд

1951 йилда олимлар ғалати физик хусусиятларга эга бўлган зарраларни кашф қилдилар. Мюррей Гелл-Манн ва япон физиги Кацухико Нишиджима ғалати зарраларни бошқа одатдаги зарралардан фарқлаш учун S – *галатилик* деб номланган квант белгисини киритдилар. Фақатгина шу ғалати зарралар учун ғалатилик 0 дан фарқли бўлиб, $S = \pm 1, \pm 2, \pm 3$ га тенг. Одатда, S нинг ўрнига эквивалент катталиқ Y – *гиперзаряд* деб аталувчи квант белгиси ишлатилади ($Y = S + B$).

Энергетик нуқтаи назардан барча шароитлар мавжуд бўлганда ҳам битгалаб ҳосил бўлмайдиган кучли ўзаро таъсир этувчи элементар зарралар *галати зарралардир*. Бунга мисол гиперонлар ва каонлар бўлади.

Бу зарраларнинг ғалатилиги шундаки, улар назарий ҳисоблар берган вақтга қараганда 10^{14} марта кўп яшайди. Масалан, Λ -гиперонларнинг яшаш вақти 10^{10} с, сўнг у емирилади ва



жараён юз беради. Бунга тескари бўлган жараён эса жуда қисқа вақт (10^{-23} с тартибда) давом этади:



Элементар зарралар дунёсида фундаментал принцип бор. У ҳам бўлса қайтувчанлик принциpidир. Бу принципга кўра тўғри ва тескари жараёнларнинг яшаш вақти бир хилдир.

(7.29) ва (7.30) жараёнлар учун эса бу принцип бажарилмаяпти. Гипероннинг яшаш вақти унинг ҳосил бўлиш

вақтидан 10^{13} марта катта бўлиб чикди. Агар гипероннинг ҳосил бўлиш вақти 1 с десак, у ҳолда гипероннинг емирилишини кузатиш учун 300000 йил керак. Бу зарраларнинг ғалатилиги яна шундаки, улар доимо жуфт бўлиб туғиладилар (7.30) реакцияда ҳам Λ -гиперон К-каон билан биргаликда ҳосил бўлади.

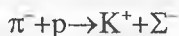
Куйидаги жадвалда гиперонлар ва каонлар учун ғалатиликнинг қийматлари келтирилган.

7.2-жадвал

	S=-3	S=-2	S=-1	S=0	S=+1	S=+2	S=+3
	Ω^-	Ξ^- Ξ^0	Λ, Σ^+ Σ^0, Σ^- K^-, K^0	p, n $\pi^+, \pi^0,$ π^-, η	Λ^-, Σ^- Σ^-, K^+ K^0	Ξ^- Ξ^0	$\bar{\Omega}^-$

S-квант сони учун сақланиш қонуни бор: кучли ўзаро таъсирдаги жараёнлар учун ғалатилик сонининг йиғиндиси ўзгармайди.

Масалан, куйидаги жараён учун



$$S: 0+0=+1+(-1)$$

$$Y: 0+1=+1+0, \quad (7.31)$$

бу ерда Y - гиперзаряд.

Агар S-ғалатиликни B-барион зарядга қўшсак Y-гиперзаряд ҳосил бўлади:

$$Y=B+S \quad (7.32)$$

Барион заряди сақлангани учун гиперзаряд ҳам сақланади. Янги квант сони - Y-гиперзаряд билан жуда кўп жараёнларни микдорий тасвирлаш мумкин.

Элементар зарраларни характерловчи катталиклар: Q - заряд, I_z - изоспиннинг ташкил этувчиси (z ўқига проекцияси) ва Y - гиперзарядни бир-бири билан боғлаш мумкин. Бу боғланиш куйидаги формула билан ифодаланеди:

$$Q = \left(I_z + \frac{Y}{2} \right) |e|. \quad (7.33)$$

(7.33) формулани Гелл-Манн ва Нишиджима топган. Бу ифода зарраларнинг янги тизимини яратишга олиб келди, у эса ўз навбатида «элементар» зарра (адрон)ларнинг мураккаблигини, уларни анча оддий бўлган зарралар – *кварклардан* тузилган, деган ғояга олиб келади.

Бундай қараш элементар зарраларнинг бутунлай янги систематикасини берди. Бу худди Менделеевнинг элементлар даврий системасига ўхшаб кетади.

7.6-§. Элементар зарралар классификацияси (Гелл-Манн ва Неeman бўйича)

Ҳозирги пайтда элементар зарраларнинг барча хоссаларини ва улар орасидаги туб фарқларни тушунтира оладиган тўла назария йўқ. Шунинг учун ҳам фақат бир йўл қолди. У ҳам бўлса элементар зарралар ҳақидаги барча маълум бўлган ахборотни тўплаш ва уларни тартибга солиш: маълумотларни қанча тартибга солсак, шунчалик ҳақиқатга яқинлашамиз.

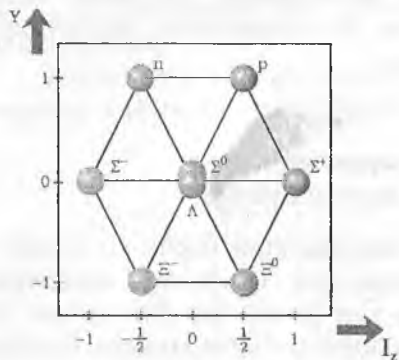
Агар элементар зарралар назариясини атом назарияси ривожланишлари билан қиёсласак, кўп ўхшашликларни кўрамиз. Ўша даврда кимёвий элементларнинг асосий аломатларига қараб атом хоссаларини акс эттирувчи қонуниятларни қидиришга уринишлар бўлган. Бу уринишлар зое кетмади, натижада элементларнинг даврий системаси очилди.

Элементар зарралар учун ҳам, ҳозирги пайтда ана шундай хусусиятларни топиш борасида интенсив ишлар олиб борилмоқда. Шу йўлда жуда кўп ишлар олиб борган М. Гелл-Манн ва Неeman бир-бирлари билан боғлиқ бўлмаган ҳолда ана шундай схемани ишлаб чиқдилар. Биз бу ерда схеманинг математик йўлларини бермаймиз, фақат қўлга киритилган натижалар ҳақида батафсил тўхталиб ўтамиз.

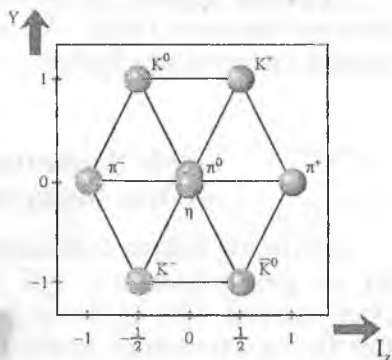
Элементар зарралар схемасини тузишдаги дастлабки натижаларни эсингизга соламиз, у ҳам бўлса зарраларни изоспин квант сони бўйича мультиплетлар гуруҳига бўлишдир. Нуклонлар дублетни, мезонлар эса триплетни ҳосил қилади. Гелл-Манн ва Неemanлар шу гуруҳлар асосида супермультиплетлар тузишга ҳаракат қилишди ва ўз мақсадларига эришишди.

Гелл-Маннинг барионлар ва мезонлар учун яратган схемаси 29 ва 30-расмларда тасвирланган.

Барион октети. 29-расмда 8 та бариондан ташкил топган гуруҳ- октет кўрсатилган.



29-расм. Барион октети.



30-расм. Мезон октети.

Расмга диққат билан эътибор берсангиз қуйидаги қонуниятларни сезасиз: 6 та зарра барион октетининг ташқи учларида жойлашган бўлиб, ҳар бир учбурчак учларида 3 та зарра бор.

Шу октетнинг чўққиларида ётган ҳар бир зарранинг барча хоссаларини (квант сонларини) абцисса ва ордината ўқларида келтирилган изоспин ва гиперзаряд қийматлари орқали топиш мумкин. Масалан, схемадан кўринадики, октетдаги Σ^- -гипероннинг гиперзаряди $Y=0$, изоспиннинг ташкил этувчиси $I_z=-1$. Энди $Q = \left(I_z + \frac{1}{2}Y\right) |e|$ формула ёрдамида унинг заряди $Q=-1$ эканлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин. Бу ерда $|e|$ – электрон заряди.

Бу бир систематика.

Мезон октети. Барион октетига ўхшаш октетни мезонлар учун ҳам қўллаш мумкин экан. 30-расмда мезон октети тасвирланган бўлиб, унинг ёрдамида мезон зарраларининг квант сонлари худди юқорида айtilгандек топилади.

Мезон схемаси тузилган пайтда манзара ҳосил қилиш учун битта зарра етишмас эди. Бу зарра ва унинг барча хусу-

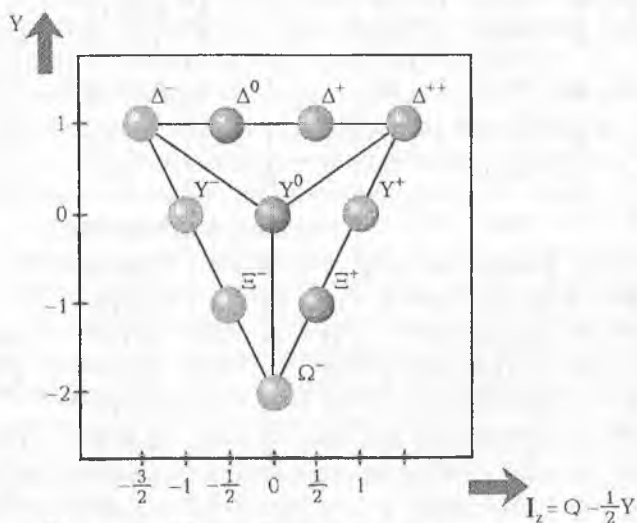
сиятлари назарий жиҳатдан айтиб берилди. Бу η -мезон эди (30-расмга қаранг). Ниҳоят, 1961 йилда бу зарра тажрибада топилди. Бу Гелл-Манн системасининг жуда катта ютуғи эди.

Гелл-Манн ва Нееманнинг 29 ва 30-расмларда кўрсатилган систематикаси ўзининг аниқлиги, тушунарлилиги, шунингдек, соддалиги билан инсонга қандайдир эстетик қувонч бағишлайди.

Барион резонансининг декуплети. 31-расмда 10 та барион зарраларидан ташкил топган гуруҳ - декуплет схемаси берилган. Бу схема ҳам Гелл-Манн-Нееман систематикасига тўла тушади. Схеманинг энг юқори қаторида жойлашган Δ -зарралар – нуклонларнинг уйғонган ҳолатларидир.

Расмдаги зарралар манзарасида ғалатилик квант сони $S=-3$ бўлган Ω^- -зарра назарий жиҳатдан олдиндан айtilган эди. Бу зарранинг тажрибада топилиши декуплетнинг ҳақиқатан ҳам тўғри систематика эканлигини кўрсатади. Декуплетдаги барча зарраларнинг квант сонларини топиш мумкин. Бу ҳақиқатдан ҳам, жуда қизиқ.

Ўз схемасини янада соддалаштиришга интилган Гелл-Манн зарраларнинг мукамал систематикасини яратди. Бу ҳақида кейинги бобда гаплашамиз.



31-расм. 10 та бариондан тузилган декуплет.

Барқарор ва барқарор бўлмаган элементар зарралар оилалари

Зарралар	Белгиси		Массаси, МеВ	Спини, s	I	Y	Ғалати- лик, S	P	Ўртача яшаш вақти, с ларда	Ассий емирилиш схемаси
	зарра	анти- зарра								
I. Фотонлар. Фотон	γ	γ	0	1	-	0	0	-1	Барқарор	
II. Лептонлар. Электрон	e^-	e^+	0,511	1/2	-	0	0	1	Барқарор	
Электронли нейтрино	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0?	1/2	+1	0	0	-	Барқарор	
Мюон	μ^-	μ^+	105,8	1/2	+1	0	0	1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$e^+ + \nu_\mu + \nu_e$
Мюонли нейтрино	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0?	1/2	+1	0	0	-	Барқарор	
τ -лептон			1784,0				0		$4 \cdot 10^{-13}$	$\mu^-, \nu_\mu,$ $\nu_e, e,$ $\bar{\nu}_e$
τ -нейтрино	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	< 250				0		Барқарор	
III. Адронлар										
1. Мезонлар. Пион	π^+	π^-	139,6	0	1	0	0	-1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu_\mu$
	π^0	π^0	135,0	0	0	0	0	-1	$0,83 \cdot 10^{-16}$	$\gamma + \gamma$
Каон	K^+	K^-	493,7	0	1/2	1	1	-1	$1,24 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ + \pi^0$
	K^0	\bar{K}^0	497,7	0	1/2		1	-1	$0,89 \cdot 10^{-10}$	$\pi^+ \pi^-$ $, 2\pi^0$
	K_L	K_L	497,7	0	1/2	1	1	-1	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ e^+ \bar{\nu}_e$
Мезон	η^0	η^0	548,8	-	0	-	0		10^{-8}	$2\gamma, 3\pi$
2. Барион- лар, протон	p	\bar{p}	938,3	1/2	-	+1	0	1	Барқарор	
Нейтрон	n	\bar{n}	939,6	1/2	-1/2	1	0	1	$1,6 \cdot 10^3$	
Λ -гиперон	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	1115,6	1/2	0	0	+1	1	$2,6 \cdot 10^{-10}$	
Σ -гиперон	Σ^-	Σ^+	1189,4	1/2	1	0	+1	1	$8 \cdot 10^{-11}$	$\pi + \pi^0$
	Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	1192,5	1/2	0	0	-1	1	$6 \cdot 10^{-20}$	$\lambda^0 + \gamma$
	Σ	$\bar{\Sigma}$	1197,3	1/2	-1	0	-1	1	$1,6 \cdot 10^{-10}$	
Ξ -гиперон	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	1312,5	1/2	1/2	+1	-2	1	$2,9 \cdot 10^{10}$	$\lambda^0 + \pi^0$
	Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	1321	1/2	-1/2	-1	-2	1	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$\lambda^0 + \pi^-$
Ω -гиперон	Ω	$\bar{\Omega}$	1672	3/2	0	-2	-3	1	$0,8 \cdot 10^{-10}$	$\lambda^0 + \kappa^-$

Бу жадвалда: s – спин, I – изоспин, Y – гиперзаряд, S – Ғалатилик, P – жуфтлик.

VIII БОБ

КВАРКЛАР

8.1-§. Кварклар ҳақидаги гипотезанинг майдонга келиши

VII бобда элементар зарралар ва уларнинг оилалари ҳақида гаплашган эдик. Элементар зарраларни классларга ажратиш билан бирга қуйидаги асосий хулосаларга келиш мумкин: деярли барча элементар зарралар 2 та оиланинг бирига мансуб бўлади; ё лептонлар оиласига, ёки адронлар оиласига.

Келинг, аввал лептонлар билан адронлар орасидаги туб фарқни эслатиб ўтайлик.

Адронлар кучли ўзаро таъсирларда қатнашадилар, лептонлар эса аксинча, кучсиз ўзаро таъсирларда иштирок этиб, кучли ўзаро таъсирларда умуман қатнашмайдилар. Бу – улар орасидаги фарқнинг биринчиси.

Иккинчидан, лептонларга кирувчи элементар зарралар (e^- , μ^- , τ^- , ν_μ , ν_e , ν_τ) сони 6 тага тенг (бунда лептонларнинг антизарралари эътиборга олинмайди). Адронлар (антиадронлар эътиборга олинмаганда) сони юздан ошиқ.

Учинчидан, энг асосий фарқи шуки, лептонлар, том маънода айтганда элементар зарралар ҳисобланади: уларнинг таркиби мутлақо номаълум; улар ўзидан майдароқ зарралардан ташкил топмаган; ички структурага эга эмас; ўлчамлари аниқ ўлчанмаган зарралардир.

Адронларнинг хоссалари эса лептонлар хоссаларидан тубдан фарқ қилади. Адронлар элементар зарралар орасида энг оғири ҳисобланади. Ҳозирги замон тажрибалари адронларнинг мураккаб зарралар эканлигини кўрсатади. Бунга барион резонансларининг декуплетти (31-расм)ни эслатиш Ки-фоя. Биз бу расмда юқори қаватдаги резонанслар (Δ^- , Δ^0 , Δ^+ , Δ^{++})ни нуклонларнинг уйғонган ҳоли деб қараган эдик. Бундан кўринадики, нуклонлар ички структурага эга ва ўзидан майдароқ зарралардан ташкил топган. Адронлар сонининг

кўплиги, ички структурага эга эканлиги, янада майдароқ зарралардан ташкил топганлиги, буларнинг ҳаммаси адронларнинг мураккаб зарра эканлигидан далолат беради. Демак, адронларни «элементар» зарралар дейиш нотўғри, улар элементар эмас.

Адронлар ҳақидаги бу фикрлар М.Гелл-Манн ва Неманларнинг юқоридаги бобда айтилган системасида ҳам батафсил кўрсатилган. Адронларнинг мураккаб зарралигини ва уларнинг ўзидан ҳам элементарроқ зарралардан ташкил топганлигини биринчи бўлиб Гелл-Манн ва Г.Цвейглар сезишди.

1964 йил Гелл-Манн ўз схемасидан ҳаяжонли натижалар олди. У ўзининг схемасини янада оддийроқ объектлардан тузишга интилди ва бунинг натижасида $SU(3)$ -симметрия деб аталган фундаментал мультиплетни очди, яъни нуклонлар учта нуктавий объектдан иборат деган тушунчага келди. У ўта гипотетик зарралардан ташкил топган бошқа барион триплетни қўллашни таклиф этди. М. Гелл-Манн ўзи очган зарраларни *кварклар* деб атади. «Кварк» деган ном ирландиялик ёзувчи Джеймснинг «Finnegan's wake» (Viking, New, York) романидан олинган бўлиб, бунда ёввойи қушлар кема атрофида айланиб учишиб «мастер Марк учта кварк» деб қичқиришади.

Худди шу вақтда. М.Гелл-Манндан алоҳида, унга боғлиқ бўлмаган ҳолда Г.Цвейг ҳам ўз барион триплетини таклиф қилди. Г.Цвейг ўзининг зарраларини *асалар* деб атаган эди. Лекин Гелл-Манннинг «кварк» термини ғалаба қозонди.

Ҳозирги пайтда элементар зарраларнинг кварк модели элементар зарраларнинг жуда кўп хоссаларини яхши тушунтириб берди.

Элементар зарралар кварк моделининг энг муҳим гипотезалари қуйидагилардан иборат:

1. Элементар зарралар 2 хил: фермион (спини каср сондан иборат) ва бозон (спини бугун сондан иборат) бўлади. Бундан кўринадики, кварклар фермион бўлиши керак, чунки фақат фермионлардангина фермион ва бозонларни куриши мумкин.

2. Ферми-Янгнинг бошланғич ғоясига кўра бозонларни кварк-антикварк жуфтидан тузилган, деб фараз қиламиз:

$$\text{Бозон} = q\bar{q} \quad (8.1)$$

Худди шунга ўхшаш, ҳар қандай фермион ҳеч бўлмаганда учта кваркдан тузилган, деб фараз қиламиз:

$$\text{Фермион} = qqq \quad (8.2)$$

Табиатда булардан ҳам кўпроқ кварклардан тузилган зарралар ҳам бўлиши мумкин. Масалан, бозонлар икки жуфт кварк ва антикварклардан ($qq\bar{q}\bar{q}$), фермионлар эса бешта кваркдан ($qqq\bar{q}\bar{q}$) тузилган бўлиши мумкин.

3. Электр заряди 0 ва ± 1 «ғалати» бўлмаган зарраларни тузиш учун ҳеч бўлмаганда иккита кварк керак. Ғалати мезон ва ғалати барионларни тузиш учун эса ҳеч бўлмаганда битта ғалати кварк керак. Ғалати ва ғалати бўлмаган адронларни қуриш учун энг камида учта кварк керак бўлади. Ҳақиқатан ҳам учта кварк ва учта антикваркдан барча элементар зарраларни қуриш мумкин экан.

4. p , n , Λ^0 зарраларга эътибор берсак, B , S ва P квант сонлари уччала кваркларнинг ҳар бири учун бир хил. У ҳолда (8.1) ва (8.2) формулалардан қуйидагига эга бўламиз:

$$B(q) = -B(\bar{q}) = \frac{1}{3}. \quad (8.3)$$

Кварклар - фермион бўлгани учун, уларнинг спини яримга тенг, ҳар бир кваркнинг жуфтлигини мусбат деб қаралади:

$$S(q) = \frac{1}{2}, P(q) = +1. \quad (8.4)$$

5. Энди кваркларнинг электр зарядини Гелл-Манн-Нишиджима муносабатидан топамиз:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{1}{2}e + \frac{1}{2 \cdot 3}e = \frac{2}{3}e \\ Q_2 &= -\frac{1}{2}e + \frac{1}{2 \cdot 3}e = -\frac{1}{3}e \\ Q_3 &= -\frac{1}{3}e. \end{aligned} \quad (8.5)$$

Кваркларнинг энг ажойиб хусусияти уларнинг электр заряди ва барион сонларининг бутун эмаслигидир. Бу - кваркларнинг уникал хусусияти бўлиб, бошқа элементар зарралардан кескин ажралиб туради. Агар кваркларни қачон бўлса

ҳам топиш имкони яратилса, уларни бошқа ҳеч қандай зарралар билан адаштиришмайди.

Демак, шу фаразларга биноан барча элементар зарраларни учта кварк ва учта антикварк орқали тузиш мумкин.

8.2-§. Кваркларнинг номлари ва асосий хоссалари

Инсон табиатдаги барча ўзи билган нарсаларга ном беришга одатланган. Янги туғилган чақалокқа исм қўйганимиз каби, янги очилган зарраларга ҳам ном қўямиз.

Янги адронларнинг очилиши, лептонларнинг топилиши, лептонлар билан кварклар орасидаги симметрияни сақлаш учун яна янги кваркларни ясашга тўғри келади.

Шундай қилиб, 4-, 5- ва 6-нчи кваркларни киритиш зарур бўлиб қолди (Биз олдинги бобдан биламизки, лептонлар сони 6 та).

Ҳозирги пайтда олти кварк ва олти антикварк бўлиши кераклиги айtilган.

(8.1) жадвалда кваркларнинг номлари ва асосий хосса-теристикалари келтирилган.

8.1-жадвал

Кваркларнинг хоссалари

Анг	up	down	strange	charm	bottom (beauty)	top (truth)
Ўзбек	усти	ости	ғалати	мафтункор	паст (чиройли)	юқори (хақиқий)
Русча	вверх	вниз	стран-ный	очеро-ванный	низ	верх
Белгиси	u	d	s	c	b	t
Матем. бел-ги.	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
Спини, s	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Заряди, Q	2e/3	-1e/3	-1e/3	2e/3	+2e/3	-e/3
Бар зар., B	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Ғалати., S	0	0	-1	0	0	0
Мафтункор, c	0	0	0	1	0	0

Худди шундай схема антикварклар учун (8.2) жадвалда берилган.

8.2-жадвал

Антикваркларнинг асосий хоссалари

Исми	u-анти кварк	d-анти кварк	ғалати анти кварк	c-анти кварк	b-анти кварк	t- ан- ти кварк
Физик бел- ги	\bar{u}	\bar{d}	\bar{s}	\bar{c}	\bar{b}	\bar{t}
Матем. белги	\bar{q}_1	\bar{q}_2	\bar{q}_3	\bar{q}_4	\bar{q}_5	\bar{q}_6
Спини, s	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Заряди, Q	$-\frac{2e}{3}$	$\frac{1}{3}e$	$\frac{1}{3}e$	$-\frac{2e}{3}$	$\frac{1}{3}e$	$-\frac{2e}{3}$
Барион заряди, B	-1/3	-1/3	-1/3	-1/3	-1/3	-1/3
Ғалатилик, S	0	0	1	0	0	0
Мафтун- кор, c	0	0	0	-1	0	0

Оддий барион ва мезонларни дастлаб учта кваркларнинг комбинациясидан тузиш мумкин ва бунга мосланиб барча уларнинг квант сонларини келтириб чиқариш мумкин. Оддий бўлмаган барион ва мезонларни эса қолган кваркларни эътиборга олиш орқали тузиш мумкин. Бу Гелл-Манн кварклар назариясининг ютуғи эди. Лекин шунга қарамай бунинг ўзи элементар зарраларнинг барча физик хоссаларини тўла тушунтириб беролмас эди. Натижада назарияга кваркларнинг «ҳиди», «ранги» деган янги тушунчалар киритилади.

8.3-§. Кваркларнинг «ранги» ва «ҳиди» («хушбўйлиги»).

Глюонлар

Кварклар модели яратилгандан сўнг орада кварклар яна бир хоссага эга бўлиши керак, деган тахмин айтилди. Кварклар учун уч хил қийматни қабул қилувчи янги квант сони киритилди. Ана шу квант сонини ранглилик деб атади-

лар. Бунга кўра кваркларнинг ҳар бири уч хил ранга: қизил, яшил, кўк ранга эга.

Физиклар олтига кварк (u, d, s, c, b, t) ни бир-биридан ўз хидлари (хушбўйликлари) билан фарқ қилади, деб кўрсатганлар.

Зарраларни кварклардан қурилаётганда, уларни зарралар ичида ихтиёрий равишда жойлаштириб бўлмайди. Улар учун, худди театрдаги томошабинлардек, қатъий номерланган, ҳар бири учун аниқланган «квант ўрин (жой)» лар ажратилган. Шу нарса аниқланганки, баъзи бир зарралар ичида бир хил номерли билетни бирданига бир қанча кварклар олар экан. Тартиб ўрнатиш учун, физиклар қуйидаги нарсаларга эътибор бериш кераклигини таъкидлашди. Залдаги креслолар етарли, лекин улар бир-бирларидан фақатгина ўз номерлари билан эмас, балки ўз ранглари билан ҳам фарқ қилар экан: битта номерга уч хил – кўк, қизил ва яшил ранглар мос келади. Шунга кўра ҳар бир билетни ҳам уч хил ранга бўяб қўйиш керак. Демак, кваркларнинг олтига ҳолатларининг ҳар бири яна учтага бўлинар экан. Рус ва япон физиклари томонидан айtilган рангли кварклар ҳақидаги гипотеза мана шундай пайдо бўлган.

Кваркнинг ранги деганда унинг ҳақиқатдан ҳам рангли экан, деб тушуниш нотўғри бўлади. Кваркларда «ранг» - бу физиклар томонидан айtilган, ҳаммага осон ва тушунарли бўлиш учун қулай бўлган терминдир, холос. Бу термин билан физиклар зарраларнинг хоссаларини тушунтиришади.

Антикварклар рангини мос равишда «антиқизил» – ҳаворанг, «антикўк» – сариқ ва «антияшил» – кўк қизил деб номлашади.

Кваркларнинг ранги ҳақидаги гипотезанинг очилиши жуда катта ютуқ эди. Тез орада ранг ҳақидаги тасаввур назариянинг маркази бўлиб қолди. Кваркларнинг адрондаги тутиб турувчи ўзаро таъсирни ранга боғлай бошлашди. Худди электр зарядига ўхшаш, ҳар бир кварк ҳам рангли зарядга эга ва кварклар орасидаги кучли ўзаро таъсирларни *рангли ўзаро таъсир* дейилади.

Кучли ўзаро таъсир ҳақидаги янги назарияга квант хромодинамикаси (КХД) деган ном беришди («хромос» - грекча

ранг дегани). Бу назарияга кўра, ҳозирда олти хил: u, d, s, c, b, t кварк, уларнинг олтита антикварклари ва уларнинг ҳар бирининг уч хил ранги мавжудлиги эътироф этилган.

Кучли ўзаро таъсирларни ташувчи зарралар (электромагнит ўзаро таъсирлардаги фотонларга ўхшаш) - глюонлар (анг. «glue» - клей, елим) деб аталади.

Глюонлар ҳам кварклар каби рангга бўялган. Глюонлар кварклар ўртасида ўзаро таъсирни амалга оширади, уларни бир-бирига қандай елимлаб жипсласа, худди шундай, глюонлар билан алмашуви ранг билан алмашишига олиб келади. Кваркларнинг глюонлар алмашувида кваркларнинг ранги ўзгаради, тури эса ўзгармайди, яъни масалан, u -кварк глюон бериб ёки глюон олиб, u -кваркнинг бошқа рангида намоён бўлади.

Назарияга кўра, саккизта глюон мавжуд бўлиб, уларнинг ҳаммасининг тинчликдаги массаси 0, спини 1 га тенг, улар рангли зарядга эга.

Шундай қилиб, мезонлар ўрнини нуклонларда кучли ўзаро таъсирларни ташувчи зарра сифатида глюонлар эгаллайди.

Физиклар кваркларни ўз «ҳидлари» – «хушбўйликлари» билан фарқланадилар, деган фикрни билдириб, u, d, s, c, b, t кварклар бир-бирларидан ўз хушбўйликларининг ҳар хиллиги билан фарқ қилади, дейишган.

8.3-жадвалда кварклар ва антикварклар ҳидлари, жуфтнинг хоссалари келтирилган.

32-расмда кваркларнинг ва антикваркларнинг триплети тасвирланган.

Гелл-Манн ўз систематикасини осонлаштиришга киришиб, бунинг натижасида жуда ажойиб натижаларга эришади. У фундаментал $SU(3)$ мультиплетни яратди. Мультиплет геометрик шакли жиҳатидан учбурчак бўлиб, учларида q_1, q_2, q_3 билан белгиланган кварклар жойлашган. Уларнинг зарядини топиш мумкин. Расмдан:

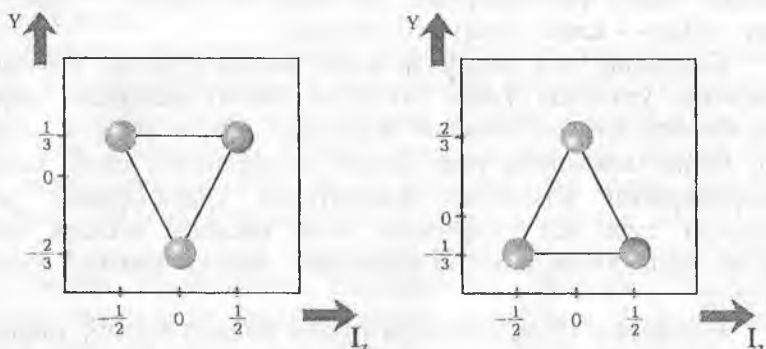
$$Q = I_z + \frac{Y}{2}$$

формуладан

$$Q_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 3} = \frac{2}{3},$$

$$Q_2 = -\frac{1}{3} + \frac{1}{2 \cdot 3} = -\frac{1}{3}, \quad (8.6)$$

$$Q_3 = -\frac{1}{3},$$



32-расм. Кварк ва антикваркнинг триплети.

8.3-жадвал

хидлар жуфти	Кварклар		Антикварклар	
	ранг триплети	электр заряди	антиранг триплети	электр заряди
устки	u_k, u_y, u_k	$+\frac{2}{3}e$	$\bar{u}_k, \bar{u}_y, \bar{u}_e$	$-\frac{2}{3}e$
остки	d_k, d_y, d_k	$-\frac{1}{3}e$	$\bar{d}_k, \bar{d}_y, \bar{d}_e$	$+\frac{1}{3}e$
ғалати	s_k, s_y, s_k	$+\frac{2}{3}e$	$\bar{s}_k, \bar{s}_y, \bar{s}_e$	$-\frac{2}{3}e$
мафтун- кор	c_k, c_y, c_k	$-\frac{1}{3}e$	$\bar{c}_k, \bar{c}_y, \bar{c}_e$	$+\frac{1}{3}e$
гўзал	b_k, b_y, b_k	$-\frac{1}{3}e$	$\bar{b}_k, \bar{b}_y, \bar{b}_e$	$+\frac{1}{3}e$
ҳақиқий	t_k, t_y, t_k	$+\frac{2}{3}e$	$\bar{t}_k, \bar{t}_y, \bar{t}_e$	$-\frac{2}{3}e$

Бу ерда: к - кўк, я - яшил, қ - қизил.

8.4-§. Рангнинг мавжудлигига доир далиллар

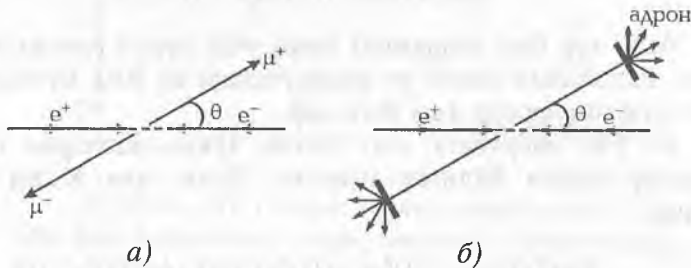
Юқорида кварклар учта ранга бўялган деган гипотеза билан танишиб чиқдик. Бу тахминни e ва e^- ларнинг аннигиляция жараёни тасдиқлайди. Бу жараён тажрибада икки типда кузатилган:

$$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^- \quad (8.7)$$

ва

$$e^+e^- \rightarrow (\text{адроналар}) \quad (8.8)$$

33-расмда электрон-позитрон аннигиляциясининг схемаси келтирилган.



33-расм. Электрон-позитрон аннигиляциясининг схемаси.

а) мюон жуфтлари (μ^+ , μ^-)нинг туғилиши; б) адроналарнинг туғилиши (оралиқларда кварк жуфтлари $q\bar{q}$ ҳосил бўлади).

Биринчи жараён учун (квант хромо динамикасига асосан) туғилган мюонларнинг бурчак тақсимооти ($1+\cos^2\theta$) кўринишда бўлади; бу ерда θ - мюонлар ҳаракати йўналиши билан аннигиляцияни вужудга келтирувчи e^+e^- жуфтлар йўналиши орасидаги бурчак (масса марказлари санок системасида).

Иккинчи жараёнда эса бир-бирига қарама-қарши йўналишда иккита «оқим» юзага келади. Бу жараён 2 босқичда юз беради: аввал кварк-антикварк пайдо бўлади, сўнг эса кваркларнинг бирлашиш жараёни юз бериб, адронлар ҳосил бўлади, дейиш мумкин.

Кваркларнинг бирлашиш механизми ҳозирча номаълум.

Адронларнинг туғилишида ҳосил бўлган реакциянинг кесими мюонлар жуфтлари ҳосил бўлган реакция кесимига нисбати R қуйидагига тенг бўлади:

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow q\bar{q} \rightarrow \text{адронлар})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} = \frac{\sum(Q_i^2)}{1}. \quad (8.9)$$

$\sum(Q_i^2)$ - σ_i типдаги кваркларнинг кўндаланг кесимлари бўйича олинган йиғиндиси.

Энергияси 4 ГэВ дан юқори бўлмаган тўқнашишларда $u\bar{u}$, $d\bar{d}$, $s\bar{s}$ кварклар туғилиши мумкин. У ҳолда

$$R = (2/3)^2 + (-1/3)^2 + (-1/3)^2 = 2/3 \quad (8.10)$$

Агар ҳар бир кваркнинг ҳиди учта турли рангда келса, у ҳолда натижавий ҳолат уч марта ошади ва $R=2$ бўлади. Тажриба кузатишларида ҳам $R=2$ дир.

10 ГэВ энергияга эга бўлган тўқнашишларда $c\bar{c}$, $b\bar{b}$ кварклар ҳосил бўлиши мумкин. Энди, яна R ни ҳисоблайлик:

$$R = (2/3)^2 + (-1/3)^2 + (-1/3)^2 + (2/3)^2 + (-1/3)^2 = 11/9 \quad (8.11)$$

Агар бунда рангни эътиборга олмасак, $R = \frac{11}{3}$ бўлади.

Экспериментал натижалар эса $R = \frac{11}{9}$ чиқишини кўрсатади.

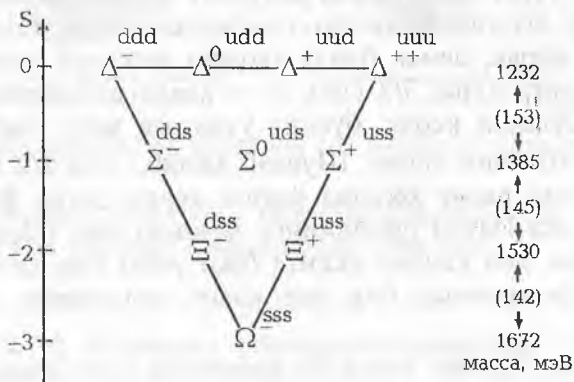
Булардан кўринадики, кваркларнинг ранги бор экан. Рангнинг киритилиши Паули принципининг бузилмаслигига ҳам олиб келади.

8.5-§. Барионларнинг кварклардан иборат эканлиги

Барион декуплети – бу кварклар мажмуидир. 34-расмда $3/2$ спинга эга бўлган барион декуплети тасвирланган.

Бу декуплет Ω -зарранинг очилиши билан яқунланади. Бу Ω -зарра барионларнинг кварк модели асосида олдиндан айтилган эди. Уни 1964 йилда экспериментда топдилар. Унинг хоссалари: массаси, ғалатилиги, яшаш вақти, булар-

нинг ҳаммаси олдиндан айtilган эди. Буларнинг ҳаммаси тажрибада тасдиқланган. Унинг ғалатилиги -3 га тенг. Бу зарранинг очилиши адронлар учун симметрия схемасини тузишда асос бўлди (Гелл-Манн схемасига қаранг) ва унинг кварк модели вужудга келди.



34-расм. $3/2$ спинли барион декуплет.
 Ҳар бир барионнинг кварк таркиби кўрсатилган.

Қаралаётган декуплет ғалатилиги $S=0$ бўлган триплет, $S=-2$ бўлган дублет, $S=-3$ бўлган синглетдан иборат.

Битта заряд мультиплетига кирган зарранинг массаси бошқаларга жуда яқин. Бир мультиплетдан иккинчи мультиплетга ўтишда масса доимо тахминан 150 МэВ га ўзгаради.

Барионларнинг кварк таркибини расмдагидай ёзсак, тушунтириш осон бўлади. Ғалатилиги $S=0$ Δ -мультиплетга кировчи ҳолатлар u ва d кварклардан ташкил топган.

$S=-1$ бўлган Σ -гиперонга кировчи ҳолатлар u , s кварклардан ҳосил бўлиб, Ξ -гипероннинг ҳолатлари эса икки u кваркнинг s кваркка алмашилишидан ҳосил бўлади, ва ниҳоят Ω ҳолатга учта s кварк киради.

Барион массалари орасидаги доимийлик ($m_s - m_{u,d}$) ни s , u ёки d кварклар орасидаги массалар фарқи орқали ифода-лаш мумкин.

Схемада бу хоссалар чиройли тушунтирилади, лекин Δ^{++} ҳолатни таҳлил қилишда бир мунча қийинчиликлар туғилади. Декуплетга кирувчи ҳамма ҳолатлар $3/2$ спинга эга, шунингдек ҳамма қолган ($3/2$ спинли) барионлар катта массага эга. Шунинг учун, бу берилган декуплет ҳолатлари энг кам энергияга эга бўлган кварклар комбинациясидан ташкил топган бўлиши керак, демак бунда ҳаракат миқдори моменти нолга тенг. Шунга кўра, $3/2$ спин 3 та кварк спинларидан ташкил топган бўлиши керак, бунинг учун эса улар ўзаро параллел ($\uparrow\uparrow\uparrow$) бўлиши керак. Шундай қилиб, 3 та $1/2$ спинли зарра бир хил квант ҳолатда ётиши керак, деган фикрга келамиз. Бу эса Паули принципига тамоман зид. (Паули принципига кўра, ҳеч қандай иккита (ёки учта) бир хил спинга эга бўлган фермионлар бир хил квант ҳолатларни эгаллай олмайди).

Лекин «ранг» хосса бу муаммони осон ечади, яъни Δ^{++} ҳолатга кирувчи ва уни характерловчи 3 та кварк бир хил зарралар эмас.

8.6-§. Протон ва нейтрон-кваркларнинг боғланган ҳолати

Учта кваркнинг изоспини I_z ва Y ни оддий қўшиш билан нуклонларни куриш мумкин.

Протоннинг курилиш схемаси:

$$p = (q_1 + q_1 + q_3) \quad (8.12)$$

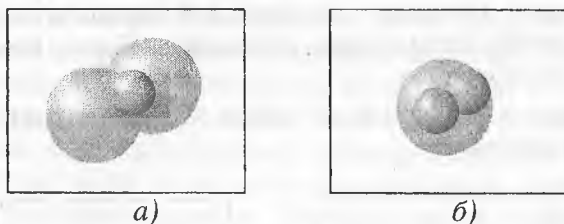
(бошқача $p \rightarrow uud$ деб ёзиш мумкин) ва нейтроннинг курилиш схемаси:

$$n = (q_1 + q_2 + q_2) \quad (8.13)$$

(бошқача $n \rightarrow udd$ деб ёзиш мумкин). Уларнинг антизарралари эса антикварклардан курилади, яъни ($\bar{p} \rightarrow \bar{u}\bar{u}\bar{d}$, $\bar{n} \rightarrow \bar{u}\bar{d}\bar{d}$) бўлади.

Гелл-Манн ва Нишиджима ифодаси орқали зарядларни ҳисоблаб, протон учун $Q=e$ нейтрон учун эса $Q=0$ эканлиги осон топилади. 35-расмда кварк зарядларидан қандай қилиб

протон (а) ва нейтрон (б) ларнинг зарядларини ҳосил қилиш мумкинлиги кўрсатилган.



35-расм. Протон (а) ва нейтрон (б) ларнинг кварк ҳолати.

Кваркларнинг нуклонда геометрик жойлашиш шаклига келсак, 35-расм бизнинг фаразимида чизилган.

8.7-§. Мезонлар – боғланган кварклар

(8.1) формулага кўра, мезонлар кварк-антикварклар жуфтидан ташкил топган. q_p, \bar{q}_n иккита кварк спинлари $1/2$ га тенг $^1S_0, ^3S_1$ ҳолатлардан бирида бўлиши мумкин. Шунинг учун уларнинг барион сонлари 0 га тенг.

Ҳозирги давр тахминларига кўра кваркларнинг массалари қуйидагича: $m_u \approx 5$ МэВ; $m_d \approx 7$ МэВ; $m_s \approx 150$ МэВ; $m_c \approx 1,3$ ГэВ; $m_b \approx 5$ МэВ; $m_t \approx 22$ ГэВ.

Кварклардан қуйидаги комбинациялар олиш мумкин.

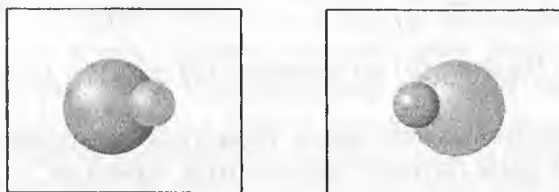
$$\begin{array}{lll}
 q_p \bar{q}_p & q_n \bar{q}_p & q_\lambda \bar{q}_p \\
 q_p \bar{q}_n & q_n \bar{q}_n & q_\lambda \bar{q}_n \\
 q_p \bar{q}_\lambda & q_n \bar{q}_\lambda & q_\lambda \bar{q}_\lambda
 \end{array} \quad (8.14)$$

(8.14) ифодадан кўринадики, тўққизта, турли мезонларни олиш мумкин. Бу комбинацияда кваркларнинг квант сонлари тартибга келтирилмаган, шунинг учун ҳам улар тажрибада кузатилган ҳақиқатга тўғри келмаслиги мумкин.

(8.14) комбинация U ва I_3 координаталар системасида тартибли жойлашган. Унда мезонларнинг кварк структурасини кўриш мумкин.

Бу 8.4-жадвалда π мезонлардан ташқари барча мезонларни иккита кваркдан тузилган деб қараш мумкин. Кучсиз ўзаротаъсирлар натижасида жадвалдаги барча мезонлар лептонларга парчаланadi.

Куйидаги 36-расмда π - мезон ҳолатларининг кварк таркиби кўрсатилган.



36-расм. π - мезонларнинг кварк таркиби ҳолатлари.

36-расм кварклардан қандай қилиб ёрдамчи мезонлар ҳосил бўлишини тушунтиради. Масалан, схемага кўра

$$\begin{aligned}\pi^+ &= (q_1 + \bar{q}_2), \text{ бошқача } \pi^+ = ud \text{ ёки} \\ \pi^- &= (\bar{q}_1 + q_2), \text{ бошқача } \pi^- = d\bar{u}.\end{aligned}\quad (8.15)$$

K мезонлар эса s -кварк ва \bar{s} -антикварклардан ташкил топадилар:

$$K^+ = u\bar{s}; K^0 = d\bar{s}; \bar{K}^0 = s\bar{d}; K^- = s\bar{u}.\quad (8.16)$$

Бу ердаги K^0 ва \bar{K}^0 -мезонлар худди K^+ ва K^- ларга ўхшаш бир-бирларига антизарра ҳисобландилар. K^0 -мезон ўзининг антизарраси \bar{K}^0 дан ғалатилиги билан фарқ қилади. \bar{K}^0 да ғалатилик $+1$, K^0 -мезонда эса ғалатилик -1 .

Демак, адронлар - кваркларнинг боғланган ҳолати экан. Биз бу бобда адронлар - барион ва мезонларнинг «элементар» эмаслигини кўриб чиқдик. Бу элементар зарралардан элементарроқ, «супер-элементар» зарра борлигига ишонч ҳосил қилдик. Барча барионлар ва барча мезонлар мана шу «супер элементар» зарра – кварклардан таркиб топган. Демак адронлар мураккаб зарралар – деган хулосага келамиз.

8.8-§. Кваркларни қидириш. Уларни боғловчи кучлар

Кваркларни 2 та америкалик олим Мюррей Гелл-Манн ва Джорж Цвейглар ўйлаб топишган эди. Аввалига кваркларнинг реаллигига жуда камчилик ишонган эди. Уларнинг хоссалари бошқа зарраларникига ўхшамас эди. Кутилмаганда шу нарса аниқландики, кварклар ёрдамида ҳар хил экспериментал фактлар жуда осон тушунтирилар экан, назарий ҳисоблашлар ҳам осонлашаркан. Ҳозирги пайтда худди кимё атом ва молекуласиз бўлмаганлигидек, элементар зарралар физикасини кварксиз тасаввур қилиб бўлмайди. Шуниси қизиқарлики, кваркларни ўйлаб топишганига чорак аср ўтган бўлса ҳам, уларни реал ҳолатда ҳеч ким кўрмаган. Юрий Тыняновнинг фикрига кўра кварклар «бор, лекин шаклга эга эмас».

Гап нимада экан? Керакли тажриба ҳали аниқланмаганми? Ёки, балки худди магнитни иккита боғланмаган магнит зарядга ажратиб бўлмаганидек кваркларни ҳам элементар зарралардан ажратиб бўлмайми?

Кварклар ўзи, мавжудмикан?

1964 йилдан кваркларни қидириш борасида жуда кўп экспериментал гуруҳлар қатнашди. Массаси номаълум бўлгани учун, уларни қидириш жуда қийин эди. Уларни топиш учун бутун имкониятлардан фойдаланилди. Лекин ҳамма уринишлар бефойда бўлди.

Кваркларни ҳозирги замон тезлаткичларида, космик нурларда қидирилди. Балки кварк ва антикваркларни элементар зарраларда боғловчи кучлар жуда ҳам каттадирки, уларни ажратиб олиш учун замонавий тезлаткичларнинг энергияси камлик қилар. Шунинг учун ҳеч ким эркин кваркларни кўра олмас?

Кваркларни океанларда қидиришди. Бу тажрибалар ҳам яхши натижалар бермади.

Кўпгина физиклар эркин изоляцияланган кваркларни табиатда йўқ деб ҳисоблашади. Кварклар элементар зарралар ичида бириктирилган бўлиб, уларни ҳеч қандай куч билан у ердан чиқариб бўлмайди. Нима сабабдан бундайлигини ҳали ҳеч ким билмайди, лекин назариётчилар кваркларнинг бундай ажойиб хусусиятига жавоб топдилар. Бу ҳодиса улар орасида ўзаро таъсирни ўтказувчи майдонга боғлиқдир. Бу

майдон кванти – глюонлар. Улар ҳақида кварклардагидан ортиқроқ маълумот йўқ. Уларни ҳам ҳеч ким эркин ҳолатда қузатмаган.

Глюонларнинг массаси йўқ. Спини 1. Глюонларнинг бу хоссалари тажрибада тасдиқланган. Мана шу ва бошқа бир қанча хусусиятлари билан улар фотонларга ўхшайди. Лекин глюон фотондан «ўзидан кўпаювчанлиги» билан фарқ қилади. Улар, кваркларга боғлиқ бўлмаган ҳолда, ўз атрофида янги глюон майдонини ҳосил қилади.

Глюонлар, юқорида айтиб ўтилгандек, зарядланган зарралар бўлиб, «ранг» деган специфик кварк зарядига эга, улар янги глюонларни, янгилари эса яна янги глюонларни ва ҳақозо, ҳосил қилади.

Бундан кўринадики, янги пайдо бўлган глюон майдон кваркдан узоқлашган сари кучлироқ бўлади. Демак, кварклар бир-бирига жуда яқин жойлашганда, жуда ожиз боғланган бўлади. Агар кварклар бир-биридан узоқлашгудек бўлса, тезда улар орасидаги тортишиш кучлари ошиб кетади. Бошқача айтганда, кварклар элементар зарралар сиртларида эмас, балки чуқур ичкарасида эркин бўлади. Бу жуда қизиқ хоссадир. Улар бу хусусиятларга кўра элементар зарраларга зид келади.

Агар хромодинамика ёрдамида кваркларни жуда яқин масофаларда улар эркин бўлганда массасини ҳисобласак, кутилмаган натижага эришамиз. Ўзаро таъсирлашмайдиган кварклар жуда ҳам енгил экан: улар нуклондан 100 марта енгил экан. Ғалати кварк нуклондан 10 марта енгил. Фақат «мафтункор» ва «чиройли» кваркларнинг массаси нуклонниқидан каттароқ. Лекин бундай кварклар жуда кам бўлади.

Шундай қилиб, кварклар билан ҳам танишиб чикдик. Демак, кварклар ҳали ҳам эркин ҳолда топилмаган экан. Ҳозирги пайтда ҳам уларни қидириш учун ишлар олиб борилмокда. Уларнинг натижаларини келажак кўрсатади.

ХОТИМА

Мустақил мамлакатимизда етук малакали, Ватанга сидкидилдан хизмат қилувчи фидойи мутахассислар етказиб беришда олий ўқув юртларининг хизмати беқиёсдир. Бу борада олиб борилаётган ишлар, изланишлар ўз самарасини бераётир. Талабалар ва ўқувчиларни нурланиш ва ядро зарраларининг биологик организмга таъсири, инсонни ва табиатни муҳофаза қилишга эътиборини кучайтириш ва бу соҳада уларнинг билим даражаларини ошириш, бефарқликни улар психологиясидан олиб ташлаш қўлланманинг асосий мақсадларидан биридир. Чунки инсон саломатлиги, табиат, атроф-муҳит, бутун мавжудотнинг муҳофазаси масалалари ҳозирги куннинг энг долзарб муаммоларидан бири бўлиб, албатта, бу борадаги муаммоларнинг ечими келажак авлоднинг қўлидадир. Шунинг учун экологик тарбия масалаларини бошланғич таълим-тарбия маскани - мактабдан бошлаш керак.

Элементар зарраларга келсак, улар ички структурага эга бўлмаган, бўлинмайдиган зарралардир. Кўпчилик элементар зарраларнинг антизарралари мавжуд. Антизарралар ўз хоссаларига кўра худди ўзининг асосий заррасидек бўлиб, фақат қарама-қарши йўналганлиги билан фарқ қилади.

Барча элементар зарралар бозонлар ёки фермионлар синфига киради. Уларнинг спинлари ҳар хил бўлади.

Элементар зарраларни тинчликдаги массасига қараб классларга ажратиш мумкин. Улар 3 та катта оилага бўлинади: 1. Фотонлар; 2. Лептонлар; 3. Адронлар.

Фотонлар оиласига фотон киради. Унинг тинчликдаги массаси нолга тенг бўлиб, электр жиҳатдан нейтралдир. Фотон – бозон (спини бутун сондан иборат) дир.

Лептонлар – Ферми-Дирак статистикасига бўйсунди. Улар фермионлардир. Улар енгил зарралар бўлиб, спини $1/2$ га тенг. Табиатда олти та лептон мавжуд. Улар e -электрон, μ -мюон, τ -мезон, ν_e -нейтрино, ν_τ ва ν_μ -нейтрино. Ҳар бир лептоннинг антизарраси бор. Нейтриноларнинг тинчликдаги массаси ноль бўлиб, электр зарядланмаган.

Элементар зарраларнинг учинчи оиласи – адронлардир. Адронлар икки хил бўлади: 1) барионлар; 2) мезонлар. Ме-

зонлар спини бутун сонлардан, барионлар спини эса каср сонлардан иборат.

Адронлар кучли ўзаро таъсирларда қатнашади. Адронларга пионлар, каон, нуклон, гиперонлар киради. Ҳозирги пайтга келиб юзлаб адронлар топилган. Кучли ўзаротаъсирлар учун қуйидаги сақланиш қонунлари характерлидир: 1) электр заряд; 2) барион заряд; 3) изотопик спин; 4) спин; 5) изотопик спин проекцияси; 6) ғалатилик; 7) энергия.

К-мезон, Ω -гиперонлар ғалати зарралар таркибига киради. Улар доим жуфт бўлиб туғилади. Ω -зарра – энг оғир гиперондир. Барча зарраларнинг квант сонлари - спини, барион заряди, гипер заряди, жуфтлиги изоспини, ғалатилиги ва бошқа хоссалари 7.3-жадвалда келтирилган.

Барча зарралар икки оиланинг бирига тегишли: лептонлар ёки адронлар. Бу икки оила бир-биридан тубдан фарқ қилади: адронлар кучли ўзаро таъсирларда иштирок этса, лептонлар эса иштирок этмайди; табиатда 6 та лептон бор, адронлар эса юзлаб топилган.

Лептонлар том маънода «элементар» ҳисобланади, улар ҳеч қандай майдароқ қисмларга бўлинмайди, ички тузилиши номаълум.

Адронларга келсак, уларнинг мураккаб зарра эканлиги аниқланган.

Экспериментлар адроналар ички структурага эга эканлигини, бу эса уларнинг элементар зарралар эмаслигини кўрсатади. Бу муаммони 1964 йилда М.Гелл-Манн ва Г.Цвейглар бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда ҳал қилишди. Улар ҳамма адронлар учта фундаменталроқ нуктавий объект – кваркдан тузилганлиги ҳақидаги гипотезани айтишади. Кейинчалик лептонлар сони 6 та бўлгани учун, кварклар ҳам 6 та бўлиши кераклиги айтилади ва яна учта кварк назарий аниқланди.

Кварклар бир-биридан ўзининг ҳиди (хушбўйлиги) билан фарқ қилади. Ҳар бир кваркнинг антикварки мавжуд.

Кваркларнинг заряди касрлидир. Барионлар уч хил кварклардан, мезонлар эса кварк ва антикварк жуфтидан тузилган.

Кварклар «ранг» деган хоссага эга, бу фақат терминдир. Квант хромодинамикасига кўра рангдор зарядлар орасида кучли ўзаро таъсирлар мавжуд, рангдор ўзаро таъсирларнинг

ташувчиси бўлиб, глюонлар хизмат қилади. Назарияга кўра 8 та глюон мавжуд, уларнинг ҳаммасининг тинчликдаги массаси ноль бўлиб, олтитаси рангдор зарядга эга.

Кваклар ҳозиргача тажрибаларда топилмаган. Уларни ерда, космик нурларда, замонавий тезлаткичларда қидиришган, бироқ ҳаммаси бефойда бўлган.

Кварклар бир-бирига яқин жойлашганда уларнинг боғланиши энг суст бўлади. Агар бир-биридан узоклашгудек бўлса, уларнинг тортишиш кучлари шу заҳотиёқ ошиб кетади. Атом ва унинг ядросида ички қатламларнинг боғланиши энг катта бўлса, кваркларда эса аксинча экан.

Кварклар массаси нуклонниқидан 100 марта, ғалати кваркнинг массаси эса 10 марта енгил. Фақат «мафтункор» ва «чиройли» кварклар нуклондан оғирроқ ҳисобланади.

Демак, *фотонлар, лептонлар ва кварклар, том маънода элементар, бўлинмас зарралардир.*

IX БОБ

ЯДРО ВА ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР ФИЗИКАСИ БЎЙИЧА ОЛГАН БИЛИМЛАРНИ НАЗОРАТ ҚИЛИШГА ТЕСТ СИНОВИДАН НАМУНАЛАР

Ядро ва элементар зарралар физикаси бўйича тузилган тест намуналари асосан ядро ва унинг таркиби, радиоактивлик, радиоактив емирилиш турлари, боғланиш энергияси, экспериментал усуллар, дозиметрик ўлчовлар ва ўлчов birlikлари ҳамда элементар зарраларга тегишли. Ҳар бир савол учун тўртта жавоб келтирилган.

9.1-§. Ядро-физикаси бўйича тест савол-жавоблари

1-савол. Резерфорд тажрибасида баъзи шароитда альфа-зарралар ... катта бурчакка оғади.

Жавоблар: а) атомдаги электронга яқин келгани учун;
б) нейтрон атропофига яқин келгани учун;
в) атом ичига кириб, атом ядроси билан ўзаро таъсирлашгани учун;
г) атомга яқин келгани учун.

2-савол. Ядронинг ўлчами (радиуси) унинг масса сони билан қандай боғланган?

Жавоблар: а) $r_y \sim M$;
б) $r_y \sim M^2$;
в) $r_y \sim M^{1/3}$;
г) $r_y \sim M^{1/2}$.

3-савол. Масса сони билан фарқланадиган ядроларни белгиланг.

Жавоблар: а) изобаралар;
б) изотоплар;
в) изомерлар;
г) оғир ядролар.

4-савол. Заряд сони билан фарқланадиган ядроларни белгиланг.

Жавоблар: а) изобарлар;
б) изомерлар;
в) изотоплар;
г) трансурани элементларнинг ядролари.

5-савол. Қандай ядролар стабил бўлади?

Жавоблар: а) протони нейтронидан кўп бўлган ядролар;
б) нейтрон протонидан кўп бўлган ядролар;
в) нейтронларининг сони протонлар сонига тенг бўлган ядролар;
г) электронларининг сони протонлар сонига тенг бўлган ядролар.

6-савол. Атом ядросининг таркибига қандай зарралар киради?

Жавоблар: а) протон, нейтрон;
б) протон, электрон;
в) позитрон, электрон;
г) протон, позитрон.

7-савол. Ядронинг масса сони деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) протонлар ва нейтронлар сони йиғиндисига;
б) атом ядросидаги нуклонларнинг умумий массасига;
в) атом массасининг яхлитлаб олинган қийматига;
г) ядродаги протонлар ва электронларнинг умумий массасига.

8-савол. ${}_Z X^A$ белгиланишда Z нимани ифодалайди?

Жавоблар: а) элементнинг тартиб номерини;
б) ядро таркибидаги нейтронлар сонини;
в) атом таркибидаги электронлар сонини;
г) ядро таркибидаги протонлар масса сонини.

9-савол. Берилган элементнинг ядроси таркибидаги нейтронлар сони қандай аниқланади?

Жавоблар: а) нейтронлар сони элементнинг тартиб номерига тенг бўлади;
б) нейтронлар сони ядронинг масса сонидан протонлар сонини айрилганига тенг бўлади;
в) нейтронлар сони масса сонидан электронлар сонини айрилганига тенг;
г) нейтронлар сони атомдаги электронлар сонига тенг.

10-савол. Қандай элементлар изотоплар дейилади?

Жавоблар: а) кимёвий элемент атомининг ядро массалари бўйича фарқланадиган элементлар;
б) ядро таркибидаги нейтронлар сони билан фарқланадиган элементлар;
в) нейтронлар сони бир хил, протонлар сони ҳар хил бўлган элементлар;
г) яшаш даври билан фарқ қиладиган элементлар.

11-савол. Водород ядросининг изотоплари (${}_1\text{H}^1$, ${}_1\text{H}^2$, ${}_1\text{H}^3$) нималари билан фарқ қилади?

Жавоблар: а) ядросининг таркиби билан;
б) нейтронлар сони билан;
в) протонлар сони билан;
г) нейтрон ва протонлар сони билан.

12-савол. Қандай моддалар табиий радиоактив моддалар деб аталади?

Жавоблар: а) ўз-ўзидан емирилувчи нуклидлар;
б) ташқи таъсирсиз ўз-ўзидан нурланувчи моддалар;
в) ўзидан маълум бир турдаги зарраларни чиқариб, бошқа турдаги элементга айланувчи моддалар;
г) ўзидан электронларни нурловчи моддалар.

13-савол. Радиоактивлик ҳодисаси нима?

Жавоблар: а) ядроларнинг емирилиш ҳодисаси;
б) ядроларнинг ўз-ўзидан емирилиш жараёни;
в) элемент ядросининг ўз-ўзидан емирилиб, бошқа турдаги элементга айланиш жараёни;
г) элемент ядросининг ўзидан электронларни нурлаш жараёни.

14-савол. Нима учун радиоактив моддани кучли магнит майдонга жойлаштириб кузатилади?

Жавоблар: а) радиоактив нурланиш таркибини аниқлаш учун;
б) радиоактив нурлар таркибининг мураккаблигини исботлаш учун;
в) радиоактив нурланишнинг турларини фотопластинкага тушириш учун;
г) радиоактив нурланиш таркибидаги зарралар зарядини аниқлаш учун;

15-савол. Агар ядро альфа-емирилишга дучор бўлса, натижавий ядронинг масса сони қандай бўлади?

Жавоблар: а) масса сони ўзгармайди;
б) масса сони тўрт бирликка камаяди;
в) масса сони бир бирликка ортади;
г) масса сони икки бирликка камаяди.

16-савол. Альфа-зарранинг эркин йўли узунлиги қайси жавобда тўғри кўрсатилган?

- Жавоблар:* а) ўз йўналишини ўзгартирмасдан ҳаво қатла-
мидан ўта олиш қобилияти;
б) ўз йўналишини ўзгартирмасдан ҳаво қатла-
мини ўтган масофаси;
в) зарраларнинг энергия сарфлаш учун босиб ўт-
ган йўли;
г) ўз йўналишини ўзгартирмасдан ўтган масофаси.

17-савол. Гейгер-Неттол қонуни нимани ифодалайди?

- Жавоблар:* а) λ билан E ларни ўзаро боғлайди;
б) ярим емирилиш даврининг узок ёки қисқа
бўлишини ифодалайди;
в) ярим емирилиш даврининг альфа-зарранинг
энергиясига боғлиқлигини ифодалайди;
г) ярим емирилиш даврининг критик массага
боғлиқлигини ифодалайди;

18-савол. Емирилиш доимийси λ нима?

- Жавоблар:* а) бир секунд давомида емирилувчи радиоактив
модда атомлари сонининг t вақт моментидаги
атомлари сонига нисбатига тенг бўлган катталиқ;
б) вақт бирлиги давомида радиоактив модда
атомлари сонининг нисбий ўзгариши;
в) бир секунд давомида радиоактив модда атомла-
рининг қанча улуши емирилганлиги;
г) λ ярим емирилиш даври;

19-савол. Альфа-емирилиш рўй бериши учун қандай энер-
гетик шарт бажарилиши керак?

- Жавоблар:* а) «она» ядронинг массаси ҳосилавий ядро ҳамда
альфа-зарра массалари ёки энергиялари йигинди-
сидан катта бўлиши керак;
б) альфа-зарранинг боғланиш энергияси манфий
бўлиши керак;

в) «она» ядронинг массаси ҳосилавий ядро ҳамда альфа-зарра массалари (энергиялари) йиғиндисидан катта ёки тенг бўлиши керак;

г) «она» ядронинг массаси ҳосилавий ядро ҳамда «альфа» зарра массалари (энергиялари) йиғиндисидан кичик бўлиши керак.

20-савол. Радиоактив оила (қатор) деб ... айтилади?

Жавоблар: а) емирилишга мойил бўлган изотоплар тўпламига;

б) радиоактив элементлар тўпламига;

в) «она» элементининг емирилиши натижасида кетма-кет емирилиш ҳисобига юзага келган изотоплар тўпламига;

г) «она» элементининг емирилиши ҳисобига юзага келган стабиль элементгача бўлган ядровий емирилишлар тўпламига.

21-савол. Ярим емирилиш даври деб ... айтилади?

Жавоблар: а) радиоактив модданинг ярим емириладиган вақт оралиғига;

б) радиоактив модда активлигининг икки марта камаядиган вақт оралиғига;

в) радиоактив модда ядроларининг сони икки марта камаядиган вақт оралиғига;

г) ярим емирилиш даври деб емирилиш доимийси λ га тенг бўлган катталиқка.

22-савол. Нима учун ўта оғир элементларда нейтронлар сони протонлар сонидан 1,6 марта кўп бўлади?

Жавоблар: а) итариш ва тортишиш кучларини мувозанатда сақлаш учун;

б) ядро таркибидаги нуклонларнинг ўзаро таъсир кучларини мувозанатда сақлаш учун;

в) ядро таркибидаги протонларнинг итариш кучларини мувозанатда сақлаш учун;

г) изотопик инвариантликни сақлаш учун.

23-савол. Агар $N_n/N_p < 1,6$ бўлса, ядро қандай ўзгариш содир бўлади?

Жавоблар: а) протоннинг нейтронга айланиши;
б) протоннинг нейтронга айланиши ва бир катак чада турган элемент изотопи ҳосил бўлиши;
в) бир катак ўнгда турган элемент изотопи ҳосил бўлиши;
г) ядро ҳеч қандай ўзгариш юз бермайди.

24-савол. Агар $N_n/N_p > 1,6$ бўлса, ядро қандай ўзгариш содир бўлади?

Жавоблар: а) нейтроннинг протонга айланиши содир бўлади;
б) нейтрон протон, электрон ва антинейтринога айланади;
в) элементлар даврий системасида бир катак ўнгда турган элемент изотопи ҳосил бўлади;
г) Менделеев элементлар даврий системасида бир катак чада турган элемент изотопи ҳосил бўлади;

25-савол. Масса дефекти деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) нейтронлар ва протонлар массалари йиғиндисидан ядро массасининг айрилганига тенг бўлган катталиққа;
б) ядро таркибидаги нейтронлар ва протонлар сони билан аниқланадиган массалар йиғиндисидан шу ядронинг Менделеев элементлар даврий системасида кўрсатилган массасининг айирмасига тенг бўлган катталиққа;
в) протонлар ва нейтронлардан ядро тузилганда маълум миқдорда ажралиб чиқадиган массага;
г) ядронинг боғланиш энергиясига эквивалент бўлган масса миқдори.

26-савол. Боғланиш энергияси деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) ядро таркибидаги нуклонларни барқарорлигини сақлаб турадиган энергияга;
б) ядрони ташкил этувчиларга ажратиб юбориш учун сарф қилинадиган энергияга;
в) масса дефектининг энергия бирликларидаги ифодасига;
г) протонни нейтронга айланишига сарф бўлувчи энергияга.

27-савол. Асосий энергетик сатҳ деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) минимал энергияли сатҳга;
б) аниқ қийматга эга бўлган сатҳга;
в) система энергетик ҳолатларини фарқлайдиган горизантал чизиқларга;
г) ядронинг қабул қила оладиган энг кичик энергия қийматига.

28-савол. Куйидаги формулалардан қайси бири ядронинг боғланиш энергиясини тўғри ифодалайди?

Жавоблар: а) $Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - m_\alpha c^2$;
б) $Zm_p + Nm_n - m_\alpha$;
в) $Z(m_p + m_n)c^2 - m_\alpha c^2$;
г) $N(m_\alpha + m_n)c^2 - m_\alpha c^2$.

29-савол. Ядронинг уйғонган ҳолати деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) ядронинг катта энергияли сатҳга ўтиб қолишига айтилади;
б) ядронинг бошқа энергетик сатҳга ўтишига айтилади;
в) ядронинг минимал энергиядан ортиқча энергияга эга бўлиб қолишига айтилади;
г) ядронинг ташқи таъсир остида ўз ҳолатини ўзгартиришига айтилади.

30-савол. Қандай ядроларда β^- айланиш содир бўлади?

Жавоблар: а) нейтронлар сони кўп бўлган беқарор ядроларда;
б) оғир беқарор ядроларда нейтрон протонга айланганда;
в) $(N_n/Z_p) < 1,6$ бўлганда;
г) $(N_n/Z_p) > 1,6$ бўлганда.

31-савол. β^- айланишда масса сони ўзгарадими?

Жавоблар: а) ўзгаради;
б) битта бирликка ортади;
в) умуман олганда ўзгармайди, лекин протонлар сони биттага ортади, нейтронлар сони эса биттага камаяди.
г) битта бирликка камаяди.

32-савол. Позитрон парчаланиш нима?

Жавоблар: а) ядро таркибидаги протоннинг нейтронга айланиш жараёни;
б) ядро таркибидаги ўзгаришлар туфайли позитроннинг ҳосил бўлиши;
в) ядрода масса сони ўзгармасдан заряд сони бир бирликка камаядиган жараён;
г) ядро таркибида нейтроннинг протонга айланиши.

33-савол. β^- -айланиш шарти нимадан иборат?

Жавоблар: а) $M(Z,A) > M(Z+1,A)+m_e$;
б) $M(Z,A) > M(Z-1,A)+m_e$;
в) $M(Z,A) = M(Z+1,A)+m_e$;
г) $M(Z,A) \geq M(Z+1,A)+m_e$.

34-савол. Агар $M(Z,A) > M(Z-1,A)+m_e$ шарт бажарилса, қандай жараён юз беради?

Жавоблар: а) электрон қамраш жараёни;
б) β^+ айланиш жараёни;

- в) протон нейтронга айланиш жараёни;
- г) нейтрон протонга айланиш жараёни.

35-савол. Нима учун бета-айланиш жараёнида нейтринонинг мавжудлигини асбоблар қайд қилмайди?

- Жавоблар:*
- а) нейтринининг модда билан таъсирлашуви деярли йўқ;
 - б) нейтринининг моддадан ўтиш даражаси юқори;
 - в) нейтрино зарядсиз заррадир;
 - г) нейтринининг массаси жуда кичик.

36-савол. Нима учун бета-спектр узлуксиз чизикдан иборат?

- Жавоблар:*
- а) бета-зарра билан бирга нейтрино ҳам чиқади;
 - б) ажралган энергия йиғиндиси зарралар орасида ихтиёрий тақсимланади ва электронга турли шароитда ҳар хил улуш тўғри келади;
 - в) электронга турли шароитда ҳар хил қийматли энергия тўғри келади.
 - г) β -айланишда электронлар турли энергияларни қабул қилади.

37-савол. γ -нурланишда ядро таркибида қандай ўзгаришлар содир бўлади?

- Жавоблар:*
- а) ўзгариш содир бўлмайди;
 - б) ядро уйғонган ҳолатдан нормал ҳолатга ўтади;
 - в) энергия ўзгариши содир бўлади;
 - г) ядро юқори бир энергетик ҳолатдан пастки бирор энергетик ҳолатга ўтади, ядро таркибида ҳеч қандай ўзгариш содир бўлмайди.

38-савол. Ички электрон конверсия деб нимага айтилади?

- Жавоблар:*
- а) уйғонган ядро γ -квантларни нурламасдан ўз энергиясини яқинроқ қобикдаги электронга беришига ва бу электроннинг атомни ташлаб чиқиб кетишига;
 - б) чиқиб кетган электрон ўрнига бошқа электрон ўтишига;

- в) уйғонган ядродан γ -квант нурланмасдан атомдан электрон чиқишига;
- г) уйғонган ядронинг ўзига яқин электрон қобиққа энергия узатишига.

39-савол. Ядро изомери деб нимага айтилади?

- Жавоблар:*
- а) яшаш вақти 10^{-9} с дан ортиқ бўлган радиоактив ядрога;
 - б) яшаш вақти катта бўлган ядрога;
 - в) радиоактив емирилиш механизми ва тезлиги турлича бўлган ядроларга;
 - г) бир хил ядролардан таркиб топган, ammo ҳар хил бўлган ядроларга;

40-савол. Радиоактив манбанинг активлиги деб нимага айтилади?

- Жавоблар:*
- а) вақт бирлигида радиоактив емирилишлар сонини ифодаловчи катталиқка;
 - б) 1 с ораллиғида нечта ядро емирилишини ифодаловчи катталиқка;
 - в) модданинг ўз-ўзидан емирилиш тезлигини ифодаловчи катталиқка;
 - г) $A = \frac{dN}{dt}$ катталиқка, бунда dN бир секундда емирилган ядролар сони.

41-савол. Нима учун радиоактив манбалар билан узоқ масофада туриб ишлаш талаб қилинади?

- Жавоблар:*
- а) масофага қараб радиоактив манбанинг таъсири сусаяди;
 - б) радиоактив манбадан чиқаётган нурланишлар муҳитдан ўтаётганда энергиясининг бир қисмини йўқотади, натижада таъсир камаяди;
 - в) умумий хавфсизлик учун;
 - г) узоқ масофада таъсир камаяди.

42-савол. Радиоактивликнинг СИ бирликлар системасидаги ўлчов бирлигини белгиланг.

Жавоблар: а) Рентген (р);
б) Беккерель (Бк);
в) Кюри (Ки);
г) Зиверт (Зв);

43-савол. Доза сўзи қандай маънони англатади?

Жавоблар: а) улуш, порция;
б) қисм;
в) масса бирлигига тўғри келган энергия миқдорини;
г) заряд бирлигига тўғри келган энергия миқдорини.

44-савол. Ютилган доза деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) нурланишни ютган модданинг атоми уйғонган ҳолатга ўтиши учун етарли бўлган энергия миқдори;
б) нурлантирилаётган модданинг бирлик массасига тўғри келган ютилган энергия миқдори;
в) масса бирлигига тўғри келган энергия миқдори;
г) энергиянинг ютилган улуши.

45-савол. Ютилган доза нималарга сарф бўлади?

Жавоблар: а) модда атомини уйғонган ҳолатга ўтказди;
б) моддани қизитиш учун;
в) моддани қизитиш ва уни қимёвий, физик тузилишини ўзгартиришга сарф бўлади;
г) модданинг кристалл панжараларига тақсимланади.

46-савол. СИ бирликлар системасида ютилган доза бирлиги нимага тенг?

Жавоблар: а) Рентген;
б) Грей;
в) Бэр;
г) Кюри.

47-савол. Экспозицион доза деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) заряд микдорининг ҳаво массасига нисбатига;
б) бирлик ҳажмда нурланиш туфайли ҳосил бўлган бир хил ишорали йиғинди заряднинг шу ҳажмдаги ҳаво массасига нисбатига;
в) рентген, γ -нурланишнинг ҳавони ионлаштиришдаги дозасини ифодалайдиган катталиқка;
г) рентген нурланишининг организмга таъсирини аниқлаб берувчи катталиқка.

48-савол. Экспозицион дозанинг СИ бирликлар системасидаги бирлиги нимага тенг?

Жавоблар: а) Кл/кг;
б) Рентген (р), $1 \text{ р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$;
в) Беккерель (Бк), $1 \text{ Бк} = 1 \text{ яд. емир/с}$;
г) Грей.

49-савол. Сифат коэффиценти деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) радиацион хавфнинг неча марта катта эканлигини ифодалайдиган катталиқка;
б) одам суринкали нурланганда радиацион хавфнинг оддий нурланишга нисбатан неча марта катта эканлигини ифодалайдиган катталиқка;
в) рентген, γ -нурланишни ҳавони ионлаштиришдаги дозасини ифодалайдиган катталиқка;
г) аниқ жавоб йўқ.

50-савол. Эквивалент дозанинг СИ бирликлар системасидаги бирлиги нимага тенг?

Жавоблар: а) Бэр;
б) Зиверт (зв);
в) Грей (гр);
г) Рентген (р).

51-савол. Дозиметр деб ... айтилади.

Жавоблар: а) ионлаштиручи нурларнинг дозаси ва уларнинг кувватини ўлчовчи қурилмага;
б) нурланиш дозасини ўлчайдиган асбобга;
в) нурланишнинг мавжудлигини кўрсатувчи асбобга;
г) зарядли зарралар юзага келтирган чакнашларни қайд қилувчи асбобга.

52-савол. Гейгер–Мюллер сўтчиғи нимага мўлжалланган?

Жавоблар: а) зарядли зарраларнинг мавжудлигини белгилаб беришга;
б) зарядли зарраларнинг мустақил газ разряди шароитида ҳосил қилган импульсларини санашга;
в) зарядли зарралар ҳосил қилган чакнашларни қайд қилишга;
г) нурланиш дозасини ўлчашга.

53-савол. Радиометр деб ... айтилади.

Жавоблар: а) зарядли зарраларнинг мавжудлигини кўрсатувчи асбобга;
б) радиоактив изотопларнинг активлигини ўлчайдиган асбобга;
в) зарралар концентрациясини уларнинг иссиқлик таъсирига биноан энергиясини ўлчайдиган асбобларга;
г) радиоактив нурланишдаги зарралар концентрациясини ўлчовчи асбобга.

54-савол. Дозиметрларда датчик вазифасини нима бажаради?

Жавоблар: а) ядро нурланишлари детектори;
б) Гейгер-Мюллер счётчиги;
в) Вильсон камераси;
г) пуфакли камера.

55-савол. Ионизацион камера қандай соҳада ишлайди?

Жавоблар: а) 100–1000 В кучланиш бўлган соҳада ишлайди;
б) тўйиниш токи шароитида зарралар ҳосил қилган тўла ионизацияни қайд қилади;
в) газда мустақил разряд бўлган шароитда ишлайди;
г) газда мустақил бўлмаган разряд шароитида ишлайди.

56-савол. Пропорционал санагичнинг вазифаси нимадан иборат?

Жавоблар: а) газда номустақил разряд бўлган шароитда зарраларни санайди;
б) чиқиш импульси бирламчи ионланишга, яъни қайд қилинадиган зарра энергиясига пропорционал бўлган шароитда ишлайди ва энергиясини ўлчайди;
в) зарралар сони ва энергиясини мустақил разряд бўлган шароитда аниқлайди;
г) номустақил разряд шароитида зарра импульсини ўлчайди.

57-савол. Ўзи ўчар ва ўзи ўчмас Гейгер-Мюллер санагичдан фойдаланишдан мақсад нима?

Жавоблар: а) санагични янги заррага бефарқлигини бартараф қилиш;
б) газ разрядини ўчириш;
в) зарраларни қайд қилишни тезлаштириш;
г) зарраларни қайд қилишни секинлаштириш.

58-савол. Ўзи ўчар санагичлар қандай модда билан тўлдирилади?

Жавоблар: а) аргон гази билан тўлдирилади;
б) аргон ва ҳаво ёки спирт буғи билан тўлдирилади;
в) гелий, неон, аргон газлари билан тўлдирилади;
г) неон гази билан тўлдирилади.

59-савол. Ўзи ўчмас санагичларда қаршилик қандай танланади?

Жавоблар: а) бунда вақт доимийси $\tau = RC$ мусбат ионларнинг аноддан катодга қараб юриш вақтидан тахминан 100 марта катта бўлиши керак;
б) вақт доимийси ионларнинг учиш вақтидан катта бўлиши керак;
в) газ разряди бошлангандан кейин қаршиликдаги кучланиш бошланғич кучланишдан ҳам камайиб кетадиган қилиб танланади;
г) аниқ жавоб йўқ.

60-савол. Вильсон камерасининг камчилиги нимадан иборат?

Жавоблар: а) аниқ маълумот олиш қийин;
б) ишчи модданинг кичик зичликда бўлиши;
в) зарралар «изи»нинг аниқ кўринишини олиш мушкул;
г) ишчи модданинг бирдай зичлигини сақлаб туриш қийин.

61-савол. Пуфакли камеранинг вазифаси нимадан иборат?

Жавоблар: а) Вильсон камерасининг камчиликларини барта-
раф қилишдан иборат;
б) зарралар «изи»нинг аниқлигини оширишдан иборат;
в) зарраларни қайд қилишдан иборат;
г) ишчи модданинг зичлигини бирдай сақлаб туришдан иборат.

62-савол. Масс-спектрографларнинг вазифаси нимадан иборат?

Жавоблар: а) атом ядроси массасини ўлчашдан;
б) кичик энергияли ядроларнинг массасини ўлчашдан;
в) элементларнинг изотопик таркибини ўрганишдан;
г) ядронинг масса таркибини расмга олишдан.

63-савол. Масс-сепараторлар деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) изотопларни массасига кўра ажратадиган асбобга;
б) атом ядроси массасини ўлчайдиган асбобга;
в) ядроларнинг изотопик таркибини ўрганадиган асбобга;
г) ядроларни бир-биридан массасига қараб ажратадиган асбобга.

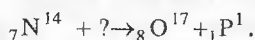
64-савол. Масс-спектрографларда зарраларни қайд қилувчи асбоб сифатида нима қўлланилади?

Жавоблар: а) фотапластинка;
б) электрометр;
в) Вильсон камераси;
г) Гейгер-Мюллер санагичи.

65-савол. β^- -айланишнинг ички конверсиядан фарқи нимада?

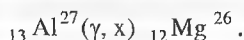
Жавоблар: а) ички конверсия вақтида электронларнинг дискрет энергетик спектри ҳосил бўлишида;
б) β^- -айланиш ва ички конверсия энергетик спектрларининг турлича бўлиши билан фарқ қилишида;
в) β^- -айланишда электрон ядродан чиқади, ички конверсияда эса электрон ядро атрофидаги қобикдан чиқишида;
г) β^- -айланиш билан ички конверсия бир хил жаён.

66-савол. Куйидаги ядро реакциясида етишмаган элементни ёзиб, уни тўлдириг:



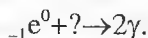
Жавоблар: а) ${}_1\text{H}^1$; б) ${}_1\text{H}^2$; в) ${}_1\text{H}^3$; г) ${}_2\text{He}^4$.

67-савол. Куйидаги ядро реакциясида етишмаган зарра белгисини ёзиб, уни тўлдириг:



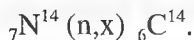
Жавоблар: а) ${}_1\text{p}^1$; б) ${}_0\text{n}^1$; в) ${}_2\text{He}^4$; г) ${}_1\text{e}^0$.

68-савол. Куйидаги ядро реакциясида етишмаган зарра белгисини ёзиб, уни тўлдириг:



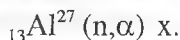
Жавоблар: а) ${}_1\text{p}^1$; б) ${}_0\text{n}^1$; в) ${}_{+1}\text{e}^0$; г) ${}_{-1}\text{e}^0$.

69-савол. Куйидаги ядро реакциясида етишмаган зарра белгисини ёзиб, уни тўлдириг:



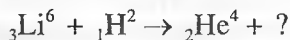
Жавоблар: а) ${}_1\text{p}^1$; б) ${}_0\text{n}^1$; в) ${}_{+1}\text{e}^0$; г) ${}_{-1}\text{e}^0$.

70-савол. Куйидаги ядро реакциясида етишмаган зарра белгисини ёзиб, уни тўлдириг:



Жавоблар: а) ${}_{12}\text{Mg}^{24}$; б) ${}_{12}\text{Mg}^{25}$; в) ${}_{14}\text{Si}^{28}$; г) ${}_{11}\text{Na}^{24}$.

71-савол. Куйидаги ядро реакциясида етишмаган белгини ёзиб, уни тўлдириг.



Жавоблар: а) ${}_1\text{p}^1$; б) ${}_2\text{He}^3$; в) ${}_2\text{He}^4$; г) ${}_0\text{n}^1$.

72-савол. α -зарра В (бор) ядросига урилиши туфайли ядровий реакция амалга ошди, натижада икки янги ядро вужудга келди. Уларнинг бири водород атомининг ядроси, иккинчи ядро қуйидагилардан қайси бири эканлигини аниқланг.

Жавоблар: а) ${}_4\text{Be}^9$; б) ${}_5\text{B}^{11}$; в) ${}_6\text{C}^{13}$; г) ${}_7\text{N}^{13}$.

73-савол. Агар ядро α -емирилишга дучор бўлса, ҳосил бўлган ядронинг масса сони қандай бўлади?

Жавоблар: а) масса сони ўзгармайди;
б) масса сони тўрт бирликка камаяди;
в) масса сони бир бирликка ортади;
г) масса сони икки бирликка камаяди.

74-савол. Қуйидаги ${}_Z\text{X}^A \rightarrow {}_{Z-2}\text{Y}^{A-4} + {}_2\text{He}^4$ муносабатда радиоактив емирилишнинг қайси тури ифодаланган?

Жавоблар: а) α -емирилиш;
б) β -айланиш;
в) γ -нурланиш;
г) сунъий емирилиш.

75-савол. Ядронинг уйғонган ҳолати деб нимага айтилади?

Жавоблар: а) нормал ҳолатдаги ядронинг катта энергияли сатҳга ўтишига;
б) ядронинг бир энергетик сатҳдан иккинчи энергетик сатҳга ўтишига;
в) ядронинг ортиқча энергияга эга бўлишига;
г) ядронинг кичик энергетик сатҳдан катта энергетик сатҳга ўтишига.

76-савол. Масс-спектрометрларнинг вазифаси ... иборат.

Жавоблар: а) атом ядроси массасини ўлчашдан;
б) изотопларнинг массасига кўра ажратишдан;
в) элементларнинг изотопик таркибини ўрганишдан;
г) кичик энергияли ядроларнинг массасини ўлчашдан.

9.2-§. Элементар зарралар физикаси бўйича тест савол-жавоблари

Ҳозирги замон назарий ва амалий физикасининг сўнгги маълумотларига асосланган ҳолда элементар зарраларни гуруҳлаш, гуруҳга кирган ҳар бир элементар зарранинг хоссаларини квант сонлари орқали таҳлил қилиш ва тавсифлаш мантиқий яхлитликни ва ўқитиш услубиятини эътиборга олган ҳолда амалга оширилди.

Гелл-Манн ва Нееманнинг элементар зарралар систематикасига таянган ҳолда кваркларнинг очилиши, уларнинг турлари, хоссаларига эътибор қаратилди.

Мезонлар ва барионларнинг «мураккаб зарра» эканлиги кварклар асосида мисоллар орқали савол-жавоб тарзида берилди. Баён этилган маълумотлар асосида ўқувчи ва талабаларнинг билимларини назорат қилиш ва мустаҳкамлаш учун турли шаклдаги тест-синовининг усуллари баён қилинди.

I тестнинг 1-та савол, 4-та жавоб усули.

II тестнинг «ҳа-йўқ» жавобли усули. Бунга 40 хил матн тузилди.

III тестнинг қолдирилган нуқталарнинг ўрнини тўлдириш усули. Бунга ҳам тест синов савол-жавоблари тузилди.

А) Тестнинг 1-N (1-та савол, N та жавоб) усулига намуналар

1-савол. Элементар зарралар қандай хоссаларига қараб классларга ажратилади?

Жавоблар: а) спинига;
б) массасига;
в) зарядига;
г) яшаш даврига.

2-савол. Қайси бир зарра электромагнит майдон кванти деб ҳисобланади?

Жавоблар: а) мезон; в) фотон;
б) глюон; г) гравитон.

3-савол. Қуйидаги қайси бир зарранинг антизарраси йўқ?

Жавоблар: а) нейтрон; б) фотон; в) протон; г) электрон.

4-савол. Аннигиляция ҳодисаси ... юз беради.

Жавоблар: а) бир хил зарядли зарралар тўқнашганда;
б) иккита зарра тўқнашганда;
в) антизарра ўз зарраси билан тўқнашганда;
г) позитрон билан электрон тўқнашганда.

5-савол. Қуйидаги зарралардан қайси бирини фермион дейиш мумкин?

Жавоблар: а) фотон;
б) электрон;
в) пион;
г) каон.

6-савол. Телевизорнинг ишлаш жараёнида қайси зарра иштирок этади?

Жавоблар: а) электрон;
б) протон;
в) гравитон;
г) нейтрино.

7-савол. Қайси зарра лептонлар оиласига мансуб?

Жавоблар: а) электрон;
б) протон;
в) нейтрон;
г) фотон.

8-савол. Ғалати зарралар таркибига ... киради.

Жавоблар: а) пион;
б) каон;
в) нейтрино;
г) мюон.

9-савол. Фотон қанча вақт яшайди?

- Жавоблар:* а) $1,6 \cdot 10^{-10}$ с;
б) чексиз;
в) $1,7 \cdot 10^{11}$ с;
г) $3,4 \cdot 10^{-4}$ с.

10-савол. Қайси олим элементар зарраларнинг янги систематикасини очди?

- Жавоблар:* а) Эйнштейн; в) Гелл-Манн;
б) Нишиджима; г) Резерфорд.

11-савол. Қуйидаги зарралардан қайси бир гуруҳ барионлар оиласига мансуб?

- Жавоблар:* а) фотон, протон, мюон;
б) электрон, нейтрино, каон;
в) протон, нейтрон, гиперон;
г) гиперон, пион, мюон.

12-савол. Барион заряди деганда нимани тушунаси?

- Жавоблар:* а) бу электр зарядига ўхшаган тушунча;
б) у фақат барионларга хос бўлиб, барионлар учун -1 га тенг бўлади, берк системада сақланади;
в) у барча элементар зарраларга хос бўлиб, ҳар хил зарралар учун турлича қиймат қабул қилади;
г) бу квант сон бўлиб, лептонларга хос бўлган тушунча, у доимо сақланади.

13-савол. Қайси жараёнларда барион заряди сақланади?

- Жавоблар:* а) $\pi^- \rightarrow \mu + \nu_\mu$;
б) $\mu^+ + e^- \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_\mu$;
в) $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$;
г) $p + n \rightarrow p + n + \pi^- + \pi^+$.

14 савол. Қуйидаги муон емирилишининг қайси схемалари ўринли?

- Жавоблар:* а) $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$;
б) $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e$;
в) $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_e$;
г) $\mu^- \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e$.

15-савол. Ғалати зарралар деганда нима тушунилади?

- Жавоблар:* а) улар шундай зарраларки, бошқа элементар зарралардан кўриниши жиҳатидан фарқ қилиб, «ғалати» деган номни олади;
б) кучли ўзаро таъсирларда қатнашувчи зарралар бўлиб, етарли энергетик шароитларда ҳам биттадан юзага келмайди ва назарий ҳисобларга кўра 10^{14} марта узоқроқ вақт яшайди;
в) ғалатилик барча барионларга хос бўлган хусусият бўлиб, доимо сақланади;
г) ғалати зарраларда электр заряди оддий зарраларникидан фарқ қилиб, касрли бўлади.

16-савол. Қайси жараёнларда ғалатилик сақланади?

- Жавоблар:* а) $p+n \rightarrow p+n+\bar{p}+p$;
б) $\mu^-+p \rightarrow n+\nu$;
в) $\mu^+ \rightarrow e^++\nu+\bar{\nu}$;
г) $\pi+n \rightarrow \Sigma+K^++K^+$.

17-савол. Қайси зарра учун ғалатилик сони 3 га тенг бўлади?

- Жавоблар:* а) K^+ б) $\bar{\Lambda}$; в) Σ^0 ; г) Ω .

18-савол. Табиатда қанча лептон бор?

- Жавоблар:* а) 4; б) 5; в) 6; г) 7.

19-савол. Қайси катталиқ зарранинг инертлигини характерлайди?

Жавоблар: а) спин;
б) масса;
в) радиус;
г) заряд.

20-савол. Қайси зарра гравитацион ўзаро таъсир ташувчиси бўлиб хизмат қилади?

Жавоблар: а) гравитон;
б) фотон;
в) электрон;
г) глюон.

21-савол. Пион заррасининг қандай антизарралари мавжуд?

Жавоблар: а) π^+ ; б) π^+ , π^- ; в) π^0 , π^+ , π^- ; г) π^0 , $\bar{\pi}^0$.

22-савол. Қуйидаги қайси зарра лептонлар оиласига мансуб?

Жавоблар: а) пион; в) нейтрон;
б) электрон; г) протон.

23-савол. Қайси оилага мансуб бўлган зарраларнинг элементар эмаслиги аниқланди?

Жавоблар: а) фотонлар; в) мезонлар;
б) лептонлар; г) барионлар.

24-савол. Қуйидаги зарралардан қайси бирининг ғалатилиги катта?

Жавоблар: а) протон; в) Ω -гиперон;
б) каон; г) Λ -гиперон.

25-савол. Қуйидаги $\pi+n \rightarrow \Sigma+K^++K^+$ жараён учун қайси квант сонининг сақланиши кузатилади?

Жавоблар: а) лептон заряди; в) барион заряди;
б) электр заряди; г) ғалатилик сони.

26-савол. Гелл-Манн элементар зарралар физикасига қандай хисса қўшди?

Жавоблар: а) элементар зарраларни классификациялади;
б) зарраларнинг ғалатилик хоссасига эга эканлигини топди;
в) элементар зарраларнинг янги систематикасини яратди, биринчи бўлиб кварклар ҳақидаги гипотезани айтди;
г) элементар зарраларнинг янги-янги хоссаларини аниқлади.

27-савол. Ғалатилик қайси ўзаро таъсирда сақланади?

Жавоблар: а) кучсиз; в) гравитацион;
б) кучли; г) электромагнит.

28-савол. Кварклар ҳақидаги гипотеза ким томонидан айтилган?

Жавоблар: а) Гелл-Манн; в) Дирак;
б) Ферми; г) Юкава.

29-савол. Олимлар табиатда қанча кварк мавжуд деб тахмин қиладилар?

Жавоблар: а) 4 та; б) 6 та; в) 3 та; г) 12 та.

30-савол. Барионлар нечта кваркдан тузилган?

Жавоблар: а) 2 та; б) 3 та; в) 4 та; г) 5 та.

31-савол. Мезонлар нечта кваркдан тузилган?

Жавоблар: а) 2 та; б) 3 та; в) 4 та; г) 5 та.

32-савол. Кваркларнинг қандай ажойиб хусусиятга эга эканлиги рус ва япон физиклари томонидан аниқланди?

Жавоблар: а) кварклар-фермион;
б) кваркларнинг элементар заряди ва барион сони бугун эмас;

- в) кваркларнинг антизарраси мавжуд;
- г) кварклар уч хил рангга эга.

33-савол. Куйидаги зарраларнинг қайси бири мураккаб тузилишга эга?

- Жавоблар:* а) фотон; в) протон;
б) мюон; г) электрон.

34-савол. Гелл-Маннинг элементар зарралар систематикаси қайси зарралар учун тузилган?

- Жавоблар:* а) фотонлар; в) барионлар;
б) лептонлар; г) мезонлар.

35-савол. Элементар зарралар класслари қайси жавобда тўғри кўрсатилган?

- Жавоблар:* а) фотонлар, лептонлар, адронлар;
б) лептонлар, мезонлар;
в) фотонлар, лептонлар, кварклар;
г) кварклар, адронлар.

36-савол. Энг оғир зарралар қайси оилага тўпланган?

- Жавоблар:* а) фотонлар; в) мезонлар;
б) барионлар; г) лептонлар.

37-савол. Қайси зарралар ядровий ўзаро таъсир ташувчиси ҳисобланади?

- Жавоблар:* а) фотонлар; в) π -мезонлар;
б) μ -мезонлар; г) K -мезонлар.

38-савол. Қайси зарраларни кварклардан яшаш мумкин?

- Жавоблар:* а) протон; в) мюон;
б) электрон; г) фотон.

39-савол. Кваркларнинг электр заряди қандай?

Жавоблар: а) 0; в) манфий;
 б) бутун сон; г) каср сон.

40-савол. Кваркларнинг барион заряди қанча?

Жавоблар: а) 0; б) 1; в) 1/2; г) 1/3.

41-савол. Энг оғир зарралар қандай номланади?

Жавоблар: а) лептонлар; в) пионлар;
 б) мезонлар; г) барионлар.

42-савол. Нейтрино зарраси қайси оиллага мансуб?

Жавоблар: а) лептонлар; в) пионлар;
 б) мезонлар; г) барионлар.

43-савол. Қайси зарра космик нурларда топилган?

Жавоблар: а) электрон; в) мюон;
 б) гравитон; г) каон.

44-савол. Менделеев даврий системасидаги элементлар таркибида қандай зарралар бор?

Жавоблар: а) протон, нейтрон, мюон;
 б) позитрон, протон, глюон;
 в) протон, электрон, нейтрон;
 г) нейтрон, электрон, фотон.

А) Тестнинг N-K (N та савол K та жавоб) шаклига намуналар

Қуйидаги зарралар жавоб тарзида берилган:

1. Электрон. 2. Фотон. 3. Нейтрон. 4. Мюон.

Ушбу саволлар рақамига мос жавоблар рақами ёзилади.

1. 1937 йилда қайси элементар зарра космик нурларда топилган?
2. Қайси элементар зарранинг антизарраси позитрон хисобланади?
3. Қуйидаги зарралардан қайси иккитаси лептонлар оиласига киради?

4. Қайси зарранинг ички структурага эга эканлиги топилди?
5. Қайси зарра ёруғлик кванти ҳисобланади?
6. Қайси зарранинг массаси протон массасига яқин?
7. Барионлар оиласига қайси зарра киради?
8. Қуйидаги зарралардан қайси бири бозон?
9. Зарралар ичида энг оғирини танланг?
10. Қайси зарра энг биринчи топилган?
11. Қайси заррани кварклардан қуриш мумкин?
12. Қайси зарра барион зарядига эга?
13. Электромагнит майдон кванти бўлиб қайси зарра хизмат қилади?
14. Қайси зарралар лептон зарядга эга?
15. Қайси бир зарра нуклон ҳисобланади?
16. Қайси зарра ўзининг антизарраси билан бир хил?

Б) Тестнинг нуқталар ўрнини тўлдириш усулига намуналар

А группанинг ҳар бир саволи учун А группадан тўғри жавобни аниқланг.

А группанинг саволлари

1. Элементар зарралар
2. Турли элементларнинг атомлари таркибига ҳозирги замон назарияси бўйича ... элементар зарралар киради.
3. ... элементар зарра субатом физикасида асосий birlik қилиб қабул қилинган энг кичик тинчлик массасига эга.
4. ... элементар зарра электрда асосий birlik қилиб қабул қилинган энг кичик манфий электр зарядига эга.
5. ... элементар зарралар барқарор ҳисобланади.
6. Нейтрино

А группанинг жавоблари

1. Фотон, нейтрон, электрон, протон ва уларнинг анти зарралари.
2. Бўлинмайдиган майда зарралар.
3. Тинчлик массасига эга бўлмаган лептон заряди билан зарядланган ва бошқа зарралар билан жуда кучсиз ўзаро таъсирлашадиган барқарор электр жихатдан нейтрал зарра.
4. Электронлар.
5. Фотон, нейтрино, электрон ва антизарралар.
6. Протон.
7. Ҳозирги вақтда ички структураси ҳақида аниқ маълумотга эга бўлинмаган зарралар.
8. Электрон, позитрон, нейтрон.

Б - группанинг саволлари

1. Енгил элементар зарралар синфи ... деб аталади.
2. Ўртача элементар зарралар синфи ... деб аталади.
3. Оғир элементар зарралар синфи ... деб аталади.
4. Барион заряди деб
5. Лептон деб

Б - группанинг жавоблари

1. Барионлар.
2. Барионларнинг сақланишини характерловчи катталikka айтилади.
3. Мезонлар.
4. Барионларнинг ўзаро таъсирини характерловчи катталikka айтилади.
5. Лептонлар.
6. Лептонларнинг ўзаро таъсирини характерловчи катталikka айтилади.
7. Лептонларнинг сақланишини характерловчи катталikka айтилади.

**В) «Ха – йўх» жавобли тест саволларига
намуналар**

1. Мюон – барқарор зарра.
2. Электрон ҳам, мюон ҳам бир хил спинга эга.
3. Зарра ўзининг антизарраси билан тўкнашганда аннигиляция ҳодисаси рўй беради.
4. Лептонлар оиласига электрон, протон, нейтрон ва нейтрино киради.
5. Нейтрино ўзининг тинчликдаги массасига кўра фотонга ўхшаб кетади.
6. Лептонлар оиласига оғир элементар зарралар киради.
7. Спин – микрзарраларнинг орбита бўйича айланиш натижасида содир бўладиган ҳаракат миқдор моменти.
8. Элементар зарралар учта асосий оилаларга ажралади:
 1. Фотонлар.
 2. Лептонлар.
 3. Кварклар.
9. Протон ва нейтрон – битта нуклон заррасининг икки хил кўринишидир.
10. Барионлар бу – бозонлардир.
11. Пион заррасининг учта антизарраси мавжуд.
12. Гелл-Манн ва Неeman кашф қилган систематика орқали барча адронлар хоссалари тўлиқ тушунтирилди.
13. Адронлар элементар зарралар эмас.
14. Протон ва нейтрон барқарор зарралардир.
15. Лептонларни кварклар орқали тузиш мумкин.
16. Гиперонлар – энг оғир зарралар.
17. Нейтрон элементар зарра эмас.
18. Кварклар ҳақидаги гипотезани биринчи бўлиб Гелл-Манн яратди.
19. Элементар зарралар деганда ички структурага эга бўлмаган, бўлинмайдиган зарралар тушунилади.
20. Кварклар тўғрисидаги гипотеза 1863 йилда айтилган.
21. Лептонлар оиласига юздан ортиқ элементар зарралар мансуб.

22. Кварклар электр зарядга эга бўлиб, у каср сондан иборатдир.
23. Кваркларнинг антизарралари йўқ.
24. Табиатда қанча кварк бўлса, шунча лептон бўлиши керак, деб тахмин қилишади.
25. Ғалати зарраларнинг ғалатилиги шундаки, уларда қайтувчанлик принципи бузилади, яъни тўғри ва тескари жараёнларнинг юз бериш вақти бир хил бўлмайди.
26. Мезонлар, протон ва каон – ғалати зарралардир.
27. Кваркларни ҳеч ким тажрибада кузатмаган, улар назарий топилган.
28. Кваркларнинг ҳиди ва ранги деганда улар турли хил рангда ва ўзига хос ҳидга эга бўлиши тушунилади.
29. Мезонлар ва барионларни кваркларнинг комбинациясидан тузиш мумкин.
30. Кваркларни элементар зарралардан тузиш мумкин.
31. Ғалати зарралар билан юз берадиган жараёнларда ғалатилик – квант сони сақланади.
32. Мезонлар – бозон, фермионлар, барионлардир.
33. Ҳар бир кварк уч хил рангда бўлади.
34. Протон – энг биринчи топилган элементар зарра.
35. Мюон – космик нурларда топилган зарра.
36. Мезонлар 4 та кваркдан тузилган.
37. Кварклар барион зарядига эга бўлиб, у $1/3$ га тенг.
38. Ғалати зарралар доим бир нечтадан тугилади.
39. Ғалатилик кучсиз ўзаро таъсирларда сақланади.
40. Табиатда тўртта фундаментал ўзаро таъсир мавжуд:
 - а) Кучсиз ўзаро таъсир.
 - б) Кучли ўзаро таъсир.
 - в) Электромагнит ўзаро таъсир.
 - г) Гравитацион ўзаро таъсир.

**9.3-§. Ядро физикасидан тайёрланган
тест саволларининг тўғри жавоблари**

1 - в	21 - б	41 - б	61 - г
2 - в	22 - а	42 - в	62 - в
3 - б	23 - а	43 - в	63 - а
4 - а	24 - а	44 - б	64 - а
5 - в	25 - в	45 - в	65 - в
6 - а	26 - а	46 - б	66 - г
7 - а	27 - г	47 - б	67 - а
8 - а	28 - а	48 - г	68 - в
9 - б	29 - в	49 - б	69 - а
10 - б	30 - б	50 - б	70 - г
11 - б	31 - в	51 - а	71 - в
12 - б	32 - в	52 - в	72 - в
13 - в	33 - в	53 - г	73 - б
14 - в	34 - в	54 - а	74 - а
15 - б	35 - а	55 - в	75 - а
16 - б	36 - б	56 - б	76 - а
17 - в	37 - г	57 - а	
18 - в	38 - а	58 - б	
19 - в	39 - г	59 - а	
20 - в	40 - а	60 - а	

**9.4-§. Элементар зарралар физикаси, кварклар
бўйича тайёрланган тест саволларининг
тўғри жавоблари**

1 - б	11 - в	21 - г	31 - а	41 - г
2 - в	12 - б	22 - б	32 - г	42 - а
3 - б	13 - г	23 - г	33 - в	43 - в
4 - г	14 - в	24 - в	34 - в	44 - а
5 - б	15 - б	25 - г	35 - а	
6 - а	16 - г	26 - в	36 - б	
7 - а	17 - г	27 - б	37 - в	
8 - б	18 - в	28 - а	38 - а	
9 - б	19 - б	29 - б	39 - г	
10 - в	20 - а	30 - б	40 - г	

И Л О В А

1-жадвал

Асосий физик доимийлар. Атом ва спектрал доимийлар

Физик катталиклар	Белгиси	Сон қиймати
Гравитация доимийси	γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
1 моль. даги молекулалар сони (Авагадро сони)	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$
Нормал шароитда 1к моль идеал газнинг моляр ҳажми	V_0	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{мол}$
Универсал газ доимийси	R	$8,31 \text{ Ж/мол} \cdot \text{К}$
Больцман доимийси	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К}$
Фарадей сони	F	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/мол}$
Стефан-Больцман доимийси	G	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$
Планк доимийси	h	$6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$
Электроннинг заряди	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Тинч ҳолатдаги масса:		
- элэрон	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} =$ $= 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ м.а.б.}$
- прэтон	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг} =$ $= 1,00759 \text{ м.а.б.}$
- нейтрон	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} =$ $= 1,00899 \text{ м.а.б.}$
Массанинг атом бирлиги	М.а.б	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} =$ $= 931,4 \text{ МэВ}$
Электронларнинг солиштирма заряди	e/m_e	$1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Водород атомининг массаси	m_H	$1,6733 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
α -зарранинг массаси	m_α	$6,6444 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Еруғликнинг вакуумдаги тезлиги	c	$2,99793 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Электр доимийси	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнит доимийси	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Ридберг доимийси	R	10973730 м^{-1}
Бор магнетони	μ_B	$9,2727 \cdot 10^{-21} \text{ эрг/Гс}$
Ядровий бор магнетони	μ_N	$5,0504 \cdot 10^{-24} \text{ эрг/Гс}$
Биринчи бор радиуси	r_0	$0,5292 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптон тўлқин узунлиги (электрон учун)	λ_c	$0,02426 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Электроннинг (классик) радиуси	r_e	$2,818 \cdot 10^{-15} \text{ м}$

Баъзи ядроларнинг ва улардаги ҳар бир нуклонга
тўғри келадиган боғланиш энергиялари

Изотоп	Масса М, (у.м.а.б.)	Масса ортиқлиги, М-А (у.м.а.б.) · 10 ⁻³	Боғланиш энергияси, Е, Мэв	Ҳар бир нуклонга тўғри келадиган боғланиш энергияси, Е/А
1_0n	1,00866544 (±43)*	8665,44±0,43		
${}^1_1\text{H}$	1,00782522(±08)	7825,22±0,08		
${}^2_1\text{H}$	2,01410219(±11)	14102,19±0,11	2,22471(±40)	1,1123
${}^3_1\text{H}$	3,01604940(±23)	16049,40±0,23	8,4824(±8)	2,8274
${}^3_2\text{He}$	3,01602994(±23)	16029,94±0,23	7,71787(±44)	2,5726
${}^4_2\text{He}$	4,002260361(±37)	2603,61±0,37	28,2950(±09)	7,0740
${}^5_2\text{He}$	5,012296(±21)	12296±21	27,338(±20)	5,4676
${}^6_2\text{He}$	6,018960(±18)	18900±18	29,259(±17)	4,8765
${}^5_3\text{Li}$	5,012541(±40)	12541±40	26,328(±37)	5,2656
${}^6_3\text{Li}$	6,0151263(±1)	16126,3±1,0	31,9910(±15)	5,3318
${}^7_3\text{Li}$	7,0160053(±11)	16005,3±1,1	39,2436(±18)	5,6062
${}^8_3\text{Li}$	8,0224884(±16)	22488,4±1,6	41,2763(±24)	5,1596
${}^{11}_6\text{C}$	11,0114313(±15)	11431,3±1,5	73,4413(±20)	6,6765
${}^{12}_6\text{C}$	12,0	0±0	92,1605(±27)	7,6800
${}^{13}_6\text{C}$	13,0033543(±7)	3354,3±0,7	97,1075(±31)	7,4698
${}^{14}_6\text{C}$	14,00324193(±41)	3241,93±41	105,2835(±33)	7,5202
${}^{14}_8\text{O}$	14,0085970(±7)	8597,0±0,7	98,7303(±28)	7,0522
${}^{15}_8\text{O}$	15,0030719(±19)	3071,9±1,9	111,9480(±39)	7,4632
${}^{16}_8\text{O}$	15,99491494(±28)	5087,06±0,28	127,6170(±35)	7,9761
${}^{17}_8\text{O}$	16,9991134(±9)	-886,6±0,9	131,7591(±41)	7,7505
${}^{18}_8\text{O}$	17,99915983(±34)	-840,17±0,34	139,8059(±49)	7,7670

* Қавс ичида сўнги рақамлар хатолиги берилган.

Изотопларнинг масса жадвали

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Масса	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Масса
1	H	1	1,008131	10	Ne	19	19,00798
	H	2	2,01472		Ne	20	19,99889
	H	3	3,01700		Ne	21	21,00002
2	He	3	3,017032		Ne	22	21,99853
	He	4	4,00386	11	Na	22	22,00032
	He	6	6,0209		Na	23	22,99644
3	Li	6	6,01692		Na	24	23,99774
	Li	7	7,01816	12	Mg	23	23,00055
	Li	8	8,02497		Mg	24	23,99300
4	Be	7	7,01909		Mg	25	24,99462
	Be	9	9,01496		Mg	26	25,99012
	Be	10	10,01662	Mg	27	26,99256	
5	B	10	10,01617	13	Al	26	25,99446
	B	11	11,01290		Al	27	26,99069
	B	12	12,0168		Al	28	27,99077
6	C	10	10,02086		Al	29	28,9890
	C	11	11,01502	14	Si	27	26,99711
	C	12	12,00388		Si	28	27,98727
	C	13	13,00756		Si	29	28,98635
	C	14	14,00774		Si	30	29,98399
Si	31	30,9866					
7	N	13	13,00990	15	P	29	28,9135
	N	14	14,00753		P	30	29,9885
	N	15	15,00487		P	31	30,98441
	N	16	16,00645		P	32	31,98436
8	O	15	15,0078	16	S	31	30,98965
	O	16	16,00000		S	32	31,98252
	O	17	17,00450		S	33	32,98200
	O	18	18,00485		S	34	33,97981
9	F	17	17,00758	17	Cl	33	32,9875
	F	18	18,00670		Cl	34	33,981
	F	19	19,00454		Cl	35	34,9788
	F	20	20,00654		Cl	36	35,9799
	Cl	37	36,9777				
Cl	38	37,9800					

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Масса	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Масса
18	Ar	35	34,9865	41	Cb	93	92,926
	Ar	36	35,977				
	Ar	38	37,97473				
	Ar	40	39,9755				
	Ar	41	40,97740				
19	K	41	40,9731	50	Sn	120	119,912
20	Ca	40	39,975	52	Te	126	125,937
		42	41,971				
		43	42,972				
21	Sc	45	44,96977	52	Te	128	127,936
		46	45,96909				
22	Ti	48	47,963	53	I	127	126,932
23	V	51	50,96035	54	Xe	134	133,929
		52	51,95857				
24	Cr	52	51,959	55	Cs	133	132,933
26	Fe	56	55,9571	56	Ba	138	137,916
28	Ni	58	57,959	73	Ta	181	180,927
30	Zn	64	63,95	74	W	184	184,00
33	As	75	74,934	75	Re	187	186,981
34	Se	80	79,941	76	Os	190	190,04
35	Br	79	78,929	76	Os	192	192,03
36	Kr	78	77,945	80	Hg	200	200,016
		80	79,926				
		82	81,939				
		83	82,927				
		84	83,938				
		86	85,839				
				81	Tl	203	203,05

Стабил изотопларнинг жадвали

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %
1	H	1	99,98	16	S	32	95,06
1	H	2	0,02	16	S	33	0,74
				16	S	34	4,18
2	He	4	100	17	Cl	35	75,48
3	Li	6	7,5	17	Cl	37	24,57
3	Li	7	92,5				
4	Be	9	100	18	A	36	0,307
				18	A	38	0,061
				18	A	40	99,632
5	B	10	18,83				
5	B	11	81,17	19	K	39	93,38
				19	K	40	0,012
6	C	12	98,9	19	K	41	6,61
6	C	13	1,1				
				20	Ca	40	96,961
7	N	14	99,62	20	Ca	42	0,64
7	N	15	0,33	20	Ca	43	0,146
				20	Ca	44	2,065
8	O	16	99,76	20	Ca	46	0,003
8	O	17	0,04	20	Ca	48	0,185
8	O	18	0,20				
9	F	19	100	21	Sc	45	100
				22	Ti	46	7,95
10	Ne	20	90,00	22	Ti	47	7,75
10	Ne	21	0,27	22	Ti	48	73,45
10	Ne	22	9,73	22	Ti	49	5,51
				22	Ti	50	5,34
11	Na	23	100				
				23	V	51	100
12	Mg	24	77,4	24	Cr	50	4,49
12	Mg	25	11,5	24	Cr	52	83,77
12	Mg	26	11,1	24	Cr	53	9,43
				24	Cr	54	2,31
13	Al	27	100				
				25	Mn	55	100
14	Si	28	92,28				
14	Si	29	4,64	26	Fe	54	5,84
14	Si	30	3,05	26	Fe	56	91,63
				26	Fe	57	2,17

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %
26	Fe	58	0,31	36	Kr	84	57,100
				36	Kr	86	17,472
27	Co	59	100	37	Rb	85	72,8
28	Ni	58	62,8	37	Rb	87	27,2
28	Ni	60	29,5				
28	Ni	61	1,7	38	Sr	84	0,56
28	Ni	62	4,7	38	Sr	86	9,86
28	Ni	64	1,3	38	Sr	87	7,02
				38	Sr	88	82,56
29	Cu	63	69,48				
29	Cu	65	29,5	39	Y	89	100
30	Zn	64	50,9	40	Zr	90	48
30	Zn	66	27,3	40	Zr	91	11,5
30	Zn	67	3,9	40	Zr	92	22
30	Zn	68	17,4	40	Zr	94	17
30	Zn	70	0,5	40	Zr	96	1,5
31	Ga	69	61,2	41	Nb	93	100
31	Ga	71	38,8				
32	Ge	70	21,2	42	Mo	92	15,9
32	Ge	72	27,3	42	Mo	94	9,0
32	Ge	73	7,9	42	Mo	95	15,7
32	Ge	74	37,1	42	Mo	96	16,6
32	Ge	74	37,1	42	Mo	97	9,50
32	Ge	76	6,5	42	Mo	98	23,8
				42	Mo	100	9,6
33	As	75	100				
34	Se	74	0,9	44	Ru	95	5,68
34	Se	76	9,5	44	Ru	98	2,22
34	Se	77	8,3	44	Ru	99	12,81
34	Se	77	8,3	44	Ru	100	12,70
34	Se	78	24,0	44	Ru	101	16,93
34	Se	80	48,0	44	Ru	102	31,34
34	Se	82	9,3	44	Ru	104	18,27
35	Br	79	50,53	45	Rh	103	100
35	Br	81	49,47				
				46	Pd	102	0,8
36	Kr	78	0,35	46	Pd	104	9,3
36	Kr	80	2,01	46	Pd	105	22,6
36	Kr	82	11,534	46	Pd	106	27,2
36	Kr	83	11,534	46	Pd	108	26,8

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %
46	Pd	110	13,5	54	Xe	128	1,90
47	Ag	107	51,9	54	Xe	129	26,23
47	Ag	109	48,1	54	Xe	130	4,07
48	Cd	106	1,4	54	Xe	131	21,17
48	Cd	108	1,0	54	Xe	132	26,96
48	Cd	110	12,8	54	Xe	134	10,54
48	Cd	111	13,0	54	Xe	136	8,95
48	Cd	112	24,2	55	Cs	133	100
48	Cd	113	12,3	56	Ba	130	0,101
48	Cd	114	28,0	56	Ba	132	0,097
48	Cd	116	7,3	56	Ba	134	2,42
49	In	113	4,5	56	Ba	135	6,59
49	In	115	95,5	56	Ba	136	7,81
50	Sn	112	1,1	56	Ba	137	11,32
50	Sn	114	0,8	56	Ba	138	71,66
50	Sn	115	0,4	57	La	139	100
50	Sn	116	15,5	58	Ce	136	<1
50	Sn	117	9,1	58	Ce	138	<1
50	Sn	118	22,5	58	Ce	140	89
50	Sn	119	9,8	58	Ce	142	11
50	Sn	120	28,5	59	Pr	141	100
50	Sn	122	5,5	60	Nd	142	26,95
50	Sn	124	6,8	60	Nd	143	13,0
51	Sb	121	56,	60	Nd	144	22,6
51	Sb	123	44	60	Nd	145	9,2
52	Te	120	0,09	60	Nd	146	16,5
52	Te	122	2,43	60	Nd	148	6,8
52	Te	123	0,85	60	Nd	150	5,95
52	Te	124	4,59	62	Sm	144	3
52	Te	125	6,98	62	Sm	147	16,1
52	Te	126	18,70	62	Sm	148	14,2
52	Te	128	31,85	62	Sm	149	15,5
52	Te	130	34,51	62	Sm	150	11,6
53	I	127	100	62	Sm	152	20,7
54	Xe	124	0,094	62	Sm	154	18,9
54	Xe	126	0,088	63	Eu	151	49,06

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %
63	Eu	153	50,94	72	Hf	178	27,13
64	Gd	152	0,2	72	Hf	179	13,85
64	Gd	154	2,86	72	Hf	180	35,14
64	Gd	155	15,61	73	Ta	181	100
64	Gd	156	20,59	74	W	180	0,13
64	Gd	157	16,42	74	W	182	26,41
64	Gd	158	23,45	74	W	183	14,40
64	Gd	160	20,87	74	W	184	30,64
65	Tb	159	100	74	W	186	28,41
66	Dy	158	0,1	75	Re	185	38,2
66	Dy	160	1,5	75	Re	187	61,8
66	Dy	161	21,6	76	Os	184	0,018
66	Dy	162	24,6	76	Os	186	1,59
66	Dy	163	24,6	76	Os	187	1,64
66	Dy	164	27,6	76	Os	188	13,27
67	Ho	165	100	76	Os	189	16,14
68	Er	162	0,1	76	Os	190	26,38
68	Er	164	1,5	76	Os	192	40,96
68	Er	166	32,9	77	Ir	191	38,5
68	Er	167	24,4	77	Ir	193	61,5
68	Er	168	26,9	78	Pt	192	0,8
68	Er	170	14,2	78	Pt	194	30,2
69	Tu	169	100	78	Pt	195	35,3
70	Yb	168	0,06	78	Pt	196	26,6
70	Yb	170	4,21	78	Pt	198	7,2
70	Yb	171	14,26	79	Au	197	100
70	Yb	172	21,49	80	Hg	196	0,16
70	Yb	173	17,02	80	Hg	198	10,12
70	Yb	174	29,58	80	Hg	199	14,01
70	Yb	176	13,38	80	Hg	200	23,21
71	Lu	175	97,45	80	Hg	201	13,15
71	Lu	176	2,55	80	Hg	202	29,66
72	Hf	174	0,18	80	Hg	204	6,69
72	Hf	176	5,30	81	Tl	203	29,08
72	Hf	177	18,47	81	Tl	204	70,92

Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %	Атом ном.	Кимёвий элемент белгиси	A	Нисбий микдор, %
82	Pb	204	1,48	90	Th	232	100
82	Pb	206	23,6				
82	Pb	207	22,6	92	U	234	0,006
82	Pb	208	52,3	92	U	235	0,72
				92	U	238	99,274
83	Bi	209	100				

5-жадвал

Радиоактив изотоплар жадвали

Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури	Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури
1	H	3	β^-	11	Na	21 22	(β^+) β^+
2	He	6	β^-			24 25	β^- β^-
3	Li	8	β^-	12	Mg	23 27	β^+ β^-
4	Be	7 10	K, γ β^-	13	Al	26 28 29	β^+ β^- β^-
5	B	12	β^-	14	Si	27 31	β^+ β^-
6	C	10 11 14	β^+ β^+ β^-	15	P	29 30 32	β^+ β^+ β^-
7	N	13 16	β^+ β^-	16	S	31 35	β^+ β^-
8	O	15 19	β^+ β^-	17	Cl	33 34 36 38	β^+ β^+ β^+ β^-
9	F	17 18 20	β^+ β^+ β^-	18	Ar	35 41	β^+ β^-
10	Ne	19 23	β^+ β^-				β^+ , β^- , K β^-

Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури	Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури		
19	K	38	$\beta+$	29	Cu	58	$\beta+$		
		40	$\beta-, K$			60	$\beta+$		
		42	$\beta-$			61	$\beta+, K$		
		43	$\beta-$			62	$\beta+$		
20	Ca	39	$\beta+$	30	Zn	64	$\beta-, \beta+, K$		
		41	$K\gamma$			66	$\beta-$		
		45	$\beta-$			63	$\beta+$		
		49	$\beta-$			65	$K, \beta+, \gamma$		
21	Sc	41	$\beta+$	31	Ga	69	$\beta-$		
		42	$\beta+$			64	$\beta+$		
		43	$\beta+$			65	K		
		44	$\beta+$			65	$\beta+$		
		46	$\beta-, K$			67	$K\gamma$		
		47	$\beta-$			68	$\beta+$		
		48	$\beta-$			70	$\beta-, K$		
49	$\beta-$	72	$\beta-$						
22	Ti	51	$\beta-$	32	Ge	71	K		
23	V	48	$\beta+, K$			75	$\beta-$		
		49	K			77	$\beta-$		
		50	$\beta+$	33	As	72	$\beta+$		
		52	$\beta-$			73	$\beta+$		
24	Cr	51	K, γ			74	$\beta+, \beta-$		
		55	$(\beta-)$			76	$\beta+, \beta-, K$		
		25	Mn	51	$\beta+$	77	$\beta-$		
52	$K, \beta+$			78	$\beta-$				
54	$K\gamma$			34	Se	75	K		
56	$\beta-$					83	$\beta-$		
26	Fe	53	$\beta+$			35	Br	78	$\beta+$
		59	$\beta-$					80	$\beta-$
		27	Co	56	$K, \beta+, \gamma$			82	$\beta-$
57	$K, \beta+, \gamma$			83	$\beta-$				
58	$K, \beta+, \gamma$			84	$\beta-$				
60	$\beta-$			36	Kr	81	$\beta+$		
28	Ni	57	$\beta+$			87	$\beta-$		
		63	$\beta-$			88	$\beta-$		
						89	$\beta-$		
						91	$\beta-$		
						>91	$\beta-$		

Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури	Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури		
37	Rb	82	?	45	Rh	104	β -		
		84	?			105	β -		
		86	β -			>105	β -		
		87	β -						
		88	β -			46	Pd	109	β -
		89	β -					111	β -
38	Sr	91(?)	β -			112	β -		
		>91	β -	47	Ag	105	K		
		85	K			106	β +		
		89	β -			108	β -		
		90	β -			110	β -		
		91(?)	β -			111	β -		
>91	β -	112	β -						
39	Y	87	K	48	Cd	109	K		
		88	K, β +			115	β -		
		90	β -			117	β -		
		91(?)	β -			49	In	110	β +
>91	β -	111	β +						
40	Zr	89	β +	112	K				
		93	(β -)	114	β -				
		95	β -	116	β -				
		97	β -	117	β -				
41	Nb	92	β -	50	Sn	121	β -		
		94	β -			123(?)	β -		
		95	β -			125(?)	β -		
42	Mo	91	β +			126	β -		
		99	β -	51	Sb	118	β +		
		101	β -			120	β +		
		>101	β -			122	β -, γ		
43	-	96	K			124	β -, γ		
		99	?	126	β -				
		101	β -	127	β -				
		>101	K, β -	129	β -				
44	Ru	97	?			133(?)	β -		
		103	β -	134	β -				
		105	β -						
		>105	β -						

Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури	Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури						
52	Te	121	K, β+	61	—	144	K						
		127	β-			>147(?)	β-						
		129	β-			62	Sm	148	α				
		131	β-					151	β-				
		133	β-					155	β-				
		135	β-					63	En	150	β+		
>131	β-	152	β-, K, γ										
53	I	124	β+	154	β-, γ								
		126	β-	64	Gd	159	β- (?)						
		128	β-			65	Tb			158	β+		
		130	β-							160	β-		
		121	β-					66	Dy	159	β+		
		133	β-							165	β-		
135	β-	67	Ho							164	β-		
>131	β-			166	β-								
54	X			127(?)	K	68	Er			165	β+		
				133	β-					169	β-		
				135	β-			171	β-				
				>136	β-			69	Tu	170	?		
55	Cs	131	K	70	Yb	175	β-						
		>134	β-			71	Lu			176	β-		
		139	β-							72	Hf	181	β-
		140	β-									73	Ta
56	Ba	133	β-										
		139	β-					74	W				
		140	β-	187	β-								
		>140	β-	75	Re	184	β-, K (?)						
57	La	138(?)	β-			186	β-						
		140	β-			188	β-						
		>140	β-			58	Ce			139	β+		
		58	Ce					141	β-	141	β-		
>143	β-							143	β-				
59	Pr			140	β+			140	β+				
				>142	β-			142	β-				
		60	Nd	147	β-			147	β-				
				151(?)	β-	151(?)	β-						

Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури	Z	Кимёвий элемент белгиси	A	Нурланиш тури
76	Os	191 193	β - β -	85	-	211	K, α
77	Ir	192 194	β - β -	86	An Tn Rn	219 220 222	α α α
78	Pt	193(?) 197 199	β^+ β - β -	87	AcK	223	β -
79	Au	196 198 199 200	β - β -, γ β -, γ β -	88	AcX ThX Ra MsTh ₁	223 224 226 228	α α α β -
80	Hg	197 203 205	K β - β -	89	Ac MsTh ₂	227 228	β -, α β -
81	Tl	204 206 207 208 210	β - β - β - β - β -, γ	90	RdAc RdTh Io UY Th Th UX	227 228 230 231 232 233 234	α α α β - α β - β -
82	RaD ThD AcB ThB RaB	210 209 211 212 214	β - β - β - β - β -	91	Pa UZ UX ₂	231 233 234 234	α β - β - β -, γ
83	RaE AcC ThC RaC	210 211 212 214	β - γ , β -, α γ , β -, α β -, α	92	Ull AcU UI	234 235 237 238 239	α α β - α β -
84	Po AcC' ThC' RaC' AcA ThA RaA	210 211 212 214 215 216 218	α α α α α , β - α , β - α , β -	93	Np	239	β -
				94	Pu	241	α
				95	Am	241	α
				96	Cm	240	α

Белгилар: Z – атом номери; A – масса сони; β^- – электрон чиқариш; β^+ – позитрон чиқариш; α – α -зарра чиқариш, K – K -электронни қамраб олиш, ? – натижаларнинг ишонарли эмаслиги.

6-жадвал

Уранин нейтронлар билан бомбардимон қилганда
ҳосил бўладиган бўлиниш маҳсулотлари

Ҳосил бўлган изотоплар			Ярим эмирилиш даври	Ҳосил бўлган изотоплар			Ярим эмирилиш даври		
Z	Элемент	A		Z	Элемент	A			
35	Br	83	140 мин	50	Sn	> 125	20 мин		
		84	30 мин			80 соат			
		85	3,0 мин			70 мин			
		87	50 сек			11 кун			
36	Kr	88	3 соат	51	Sb	127	80 соат		
		89	2,5 мин			129	4,2 соат		
		> 90	< 0,5 мин			> 131	< 10 мин		
38	Sr	90	5 йил			133	5 мин		
						< 10 мин			
40	Zr	93	63 кун	52	Te	129	32 кун		
		95	17 соат			131	30 соат		
42	Mo	99	67 соат			135	25 мин		
		101	14,6 мин			1 мин			
		> 101	12 мин			53	I	137	30 сек
		-	60 кун						
44	Ru	105	4 соат	54	Xe	138	17 мин		
		-	45 кун			139	< 0,5 мин		
		-	4 мин			140	0,5 мин		
46	Pd	111	26 мин	56	Ba	> 140	6 мин		
		112	17 соат			18 мин			
47	Ag	112	3,2 соат	58	Ce		< 1 мин		
							15 мин		
48	Cd	115	2,5 кун				4-5 соат		
		117	3,75 соат				40 соат		
		(Cd)	48,7 мин						
49	(In)	115	4,1 соат						
		117	117 мин						

**Торийни нейтронлар билан бомбардимон қилганда
ҳосил бўладиган бўлиниш маҳсулотлари**

Ҳосил бўлган изотоплар			Ярим емирилиш даври	Ҳосил бўлган изотоплар			Ярим емирилиш даври
Z	Элемент	A		Z	Элемент	A	
34	Se	75	бир неча соат	51	Sb	133	< 10 мин
		83	бир неча кун	52	Te	> 131	43 мин 77 соат
35	Br	83	140 мин	53	I	> 131	54 мин
		84	30 мин	54	Xe	139	< 0,5 мин
36	Kr	88	3 соат	56	Ba	140	< 0,5 мин
		> 90	< 0,5 мин			> 140	6 мин 18 мин
42	Mo	99	67 соат	57	La	> 140	3,5 соат
44	Ru	105	4 соат				
46	Pd	111	26 мин				
		112	17 соат				

Барионларнинг характеристикалари

Номлари	Зарралар				Антизарралар				Ички энергияси, Мэв	Ўртача яшаш вақ- ти, τ сек.
	Белгиси	Спини	Изотопик спин	Ғалатилigi	Белгиси	Спини	Изотопик спин	Ғалатилigi		
Нуклонлар	p	1/2	1/2	0	\bar{p}	1/2	-	0	938,25	8
	n	1/2	- 1/2	0	\bar{n}	1/2	1/2	0	939,55	$1,01 \cdot 10^3$
Ламбда- гиперон	Λ^0	0	0	-1	$\bar{\Lambda}^0$	0	0	1	1115,44	$2,61 \cdot 10^{-10}$

Сигма-гиперонлар	Σ^+	1	1	-1	Σ^+	1	-1	1	1189,39	$0,8 \cdot 10^{-10}$
	Σ^0	1	0	-1	Σ^0	1	0	1	1192,30	10^{-14}
	Σ^-	1	-1	-1	Σ^-	1	1	1	1197,20	$1,6 \cdot 10^{-10}$
Кси-гиперонлар	Ξ^0	1/2	1/2	-2	Ξ^0	1/2	-1/2	2	1314,30	$3 \cdot 10^{-10}$
	Ξ^-	1/2	1/2	-2	Ξ^-	1/2	1/2	2	1320,80	$1,7 \cdot 10^{-10}$

9-жадвал

Мезонлар характеристикалари

Номлари	Спини	Изотопик спин	Зарра белгиси	Антizarра белгиси	Ички энергияси, Мэв	Ўртача яшаш вақти, сек
Пионлар	0^-	1	π^+	π^-	139,58	$2,6 \cdot 10^{-8}$
	0^-		π^0	$\bar{\pi}^0 \equiv \pi^0$	134,97	$1,8 \cdot 10^{-16}$
Каонлар	0^-	1/2	K^+	K^-	493,78	$1,2 \cdot 10^{-9}$
			K^0	K^0	497,8	$10^{-8}-10^{-10}$
Эта-мезонлар	0^-	0	η	$\bar{\eta} \equiv \eta$	548,8	10^{-19}
Ро-мезонлар	1^-	1	ρ^+	ρ^-	765	10^{-22}
			ρ^0	$\bar{\rho}^0 \equiv \rho^0$	780	10^{-22}
Омега-мезонлар	1^-	0	ω	$\bar{\omega} = \omega$	782,8	$10^{-22}-10^{-23}$

10-жадвал

Лептонлар характеристикалари

Номлари	Спини	Массаси	Ички энергияси, Мэв	Зарра белгиси	Антizarра белгиси
Электрон	1/2	0	0	ν_e	$\bar{\nu}_e$
нейтриноси	1/2	1	0,511	e^-	e^+
Мюон	1/2	0	0	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$
нейтриноси	1/2	207	105,66	μ^-	μ^+

ТАВСИЯ ЭТИЛАДИГАН АДАБИЁТЛАР

1. *Савельев И.В.* Умумий физика курси, III том. Тошкент: «Ўқитувчи», 1976, М.: «Наука», 1987.
2. *Королев Ф.А.* Физика курси. Оптика, атом ва ядро физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1980.
3. *Бекжонов Р.Б.* Ядро физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1975.
4. *Ўлмасови М. ва бошқ.* Физика, электр, оптика, атом ва ядро физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1985.
5. *Бекжонов Р.Б.* Атом ядроси ва зарралар физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1995.
6. *Наумов А.М.* Физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: «Просвещение», 1984.
7. *Барашенко В.С.* Протон. Вселенная. М.: «Знание», 1987.
8. *Фраунфельдер Г., Хенли Э.* Субатомная физика. М.: «Мир», 1979.
9. *Фундаментальная структура материи. Под редакцией Дж.Малви.* М.: «Мир», 1984.
10. *Мякишев Г.Я.* Элементарные частицы. М.: «Наука», 1979.
11. *Окунь Л.Б.* Лептоны, кварки. М.: «Наука», 1981.
12. *Комар А.А.* Кварки – новые субъединицы материи. М.: «Знание», 1982.
13. *Справочник по ядерной физике (под ред. акад. Л.А.Арцимовича.* гос. изд. физ-мат. литературы. М.: 1963.
14. *Мухин К.Н.* Экспериментальная ядерная физика. Том I. М.: «Энергоатомиздат, 1983.
15. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. Часть 2. М.: «Наука», 1989.
16. *Аҳмаджонов О.* Физика курси. Оптика, атом ва ядро физикаси. Тошкент: «Ўқитувчи», 1983.

М У Н Д А Р И Ж А

Сўз боши	4
----------------	---

I БОБ

1.1-§. Ядро физикаси ҳақида тушунча.....	7
1.2-§. Ядро – мураккаб система. Ядронинг таркиби ва асосий характеристикалари	10
1.3-§. Ядро кучлари	12
1.4-§. Ядронинг томчи ва қобик моделлари.....	14

II БОБ. РАДИОАКТИВЛИК

2.1-§. Радиоактив емирилиш турлари	20
2.2-§. Радиоактив оилалар (қаторлар). Силжиш қонуни	24
2.3-§. Радиоактив емирилиш қонуни. Ярим емирилиш даври	28
2.4-§. Барқарор ядролар	31
2.5-§. Масса дефекти. Ядронинг боғланиш энергияси.....	33
2.6-§. Ядронинг энергетик сатҳлари. Радиоактив емирилиш схемаси	37
2.7-§. Альфа- емирилиш назарияси ва тажриба натижалари	41
2.8-§. Бета- айланиш назарияси	44
2.9-§. Бета- айланиш спектрининг шакли ва нейтрино ҳақидаги гипотеза	48
2.10-§. Гамма-нурланиш. Ички конверсия. Ядро изомерияси	53
2.11-§. Ионлаштирувчи нурланишнинг биологик таъсири ҳақида тушунча. Дозиметрия элементлари. Нурланиш дозасини ўлчаш бирликлари.....	56

III БОБ. ЯДРО РЕАКЦИЯЛАРИ

3.1-§. Ядро реакцияларининг асосий қонуниятлари.....	61
3.2-§. Нейтрон. Кашф қилиниши. Нейтроннинг модда билан ўзаро таъсири	63
3.3-§. Сунъий радиоактивлик	65
3.4-§. Трансуран элементлар.....	66

3.5-§. Атом ядроларининг бўлиниши. Занжир ядро реакциялари. Ядро реакторлари	70
3.6-§. Термоядро реакциялар	76
3.7-§. Зарядланган зарраларни тезлатиш усуллари. Тезлаткичлар	79
3.8-§. Ядро физикаси ютуқларидан тинчлик мақсадларида фойдаланиш	84

IV БОБ. ЯДРО ФИЗИКАСИНИНГ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ УСУЛЛАРИ

4.1-§. Санагичлар	86
4.2-§. Зарралар «изи»ни кузатишга мўлжалланган қайд қилувчилар (детекторлар)	90
4.3-§. Годоскопик қайд қилувчилар	91
4.4-§. Зарраларни масса бўйича ажратувчилар (масса-анализаторлар)	92
4.5-§. Дозиметрик асбоблар ва уларнинг қўлланилиши	92

V БОБ. ДОЗИМЕТРИК ЎЛЧАШЛАРГА ДОИР ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИ

1-лаборатория иши. Гамма-нурлари ютилишининг моддалар атом номери (Z) га боғлиқлигини ўрганиш	95
2-лаборатория иши. Альфа зарраларнинг ҳавода эркин югуриш йўлининг узунлигини аниқлаш ...	99
3-лаборатория иши. Изотопларнинг активлигини нисбий услуб билан аниқлаш	103
4-лаборатория иши. Эталон манбалардан чиқаётган нурланиш дозасини аниқлаш	106

VI БОБ. ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР

6.1-§. Элементар зарраларнинг пайдо бўлиш тарихи	109
6.2-§. Зарралар ва антизарралар	110
6.3-§. Ўзаро таъсирлар ва сақланиш қонунлари	110

VII БОБ. ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР КЛАССИ

7.1-§. Фотонлар.....	115
7.2-§. Лептонлар.....	117
7.3-§. Адронлар.....	120
7.4-§. Изотоник спин ва изотоник инвариантлик.....	125
7.5-§. Ғалати зарралар. Гиперзаряд.....	127
7.6-§. Элементар зарралар классси (Гель-Манн ва Неман буйича).....	129

VIII БОБ. КВАРКЛАР

8.1-§. Кварклар ҳақидаги гипотезанинг майдонга келиши....	133
8.2-§. Кваркларнинг номлари ва асосий хоссалари.....	136
8.3-§. Кваркларнинг ҳиди (хушбўйлиги) ва ранги.....	137
8.4-§. Рангнинг мавжудлигига доир далиллар.....	141
8.5-§. Барионларнинг кварклардан иборат эканлиги.....	142
8.6-§. Протон ва нейтрон – кваркларнинг боғланган ҳолати..	144
8.7-§. Мезонлар – ўзаро боғланган кварклар.....	145
8.8-§. Кваркларни қидириш. Уларни боғловчи кучлар.....	147

Хотима.....	149
-------------	-----

IX БОБ. ЯДРО ВА ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР ФИЗИКАСИ БЎЙИЧА ОЛГАН БИЛИМЛАРНИ НАЗОРАТ ҚИЛИШГА ТЕСТ СИНОВИДАН НАМУНАЛАР

9.1-§. Ядро физикаси бўйича тест савол жавоблари.....	152
9.2-§. Элементар зарралар физикаси бўйича тест савол-жавоблари.....	171
9.3-§. Ядро-физикасидан тайёрланган тест саволларининг тўғри жавоблари.....	183
9.4-§. Элементар зарралар физикаси. Кварклар бўйича тайёрланган тест саволларининг тўғри жавоблари....	147

Илова.....	184
------------	-----

Тавсия этиладиган адабиётлар.....	200
-----------------------------------	-----

Ж.А.Тошхонова, Х.М. Махмудова, Б.Нуриллаев

**ЯДРО ВА ЭЛЕМЕНТАР
ЗАРРАЛАР ФИЗИКАСИ.
КВАРКЛАР
(ўқув қўлланма)**

Муҳаррир М.Содиқова

Рассом ва саҳифаловчи дизайнер Н. Гиёсов

Босишга рухсат этилди 16.04.04. Бичими $84 \times 108^{1/32}$. Офсет босма усулида босилди.
Нашриёт ҳисоб табағи 12,75. Шартли босма табағи 13,25. Адади 1000 нусха.
Буюртма № 30.

ЎЗР ФА “Фан” нашриёти: 700047, Тошкент, акад. Я.Ғулумов кўчаси, 70-уй.

“IKAR-MAIK” МЧЖ. 700011, Тошкент, Навоий кўчаси, 9-уй.

