

## Радиактивтің негізгі түрлері.

Радиактивтің негізгі түрлеріне  $\alpha$ -,  $\beta$ - ыдырау және  $\gamma$ -сәуле шығару жатады.

**Альфа – ыдырау** – атомдық ядролардың өздігінен  $\alpha$ -бөлшекті шығарып ыдырауы.  $\alpha$ -бөлшектің заряды  $+2e$ -ге тең, массасы  ${}^4_2\text{He}$  гелий изотопы ядросының массасымен дәл келеді, яғни  $\alpha$ -сәуле – гелий ядроларының ағыны болады.

$\alpha$ -ыдырау мына схема бойынша іске асады:



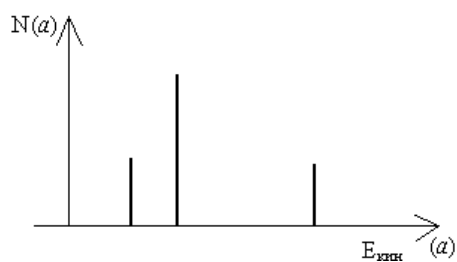
мұндағы  $X$ – аналық ядроның,  $Y$ -туынды ядроның символы,  ${}^4_2\text{He}$ -гелий ядросы ( $\alpha$ -бөлшек).

Сонымен,  $\alpha$ -ыдырауда аналық ядро массалық саны 4-ке, зарядтың саны 2-ге кем басқа ядроға (туынды ядроға) айналады.

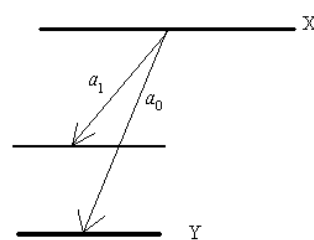
$\alpha$ -ыдырау болуы үшін қажетті шарт: аналық ядро массасы туынды ядро мен  $\alpha$ -бөлшектің массаларының қосындысынан үлкен болуы тиіс.

$\alpha$ -бөлшектерді тек ауыр ядролардың ( $A > 200$ ,  $Z > 82$ ) шығаратындығы белгілі. Ыдыраған ядродан ұшып шығатын  $\alpha$ -бөлшектердің кинетикалық энергиясы бірнеше МэВ шамасында болады.  $\alpha$ -бөлшектің кинетикалық энергиясы аналық ядроның тыныштық энергиясының туынды ядро мен  $\alpha$ -бөлшектің тыныштық энергияларының қосындысынан үлкен болуы себепті пайда болады. [(2.2.2)–өрнекті қараңыз]. Осы артық энергия  $\alpha$ -бөлшек пен туынды ядроға бұлардың массаларына кері пропорционал қатынаспен үлестіріледі (импульстің сақталу заңына сәйкес):  $E_\alpha / E_T = m_T / m_\alpha$ , осыдан  $E_\alpha \gg E_T$  болатындығы шығады.

Радиактивті зат көбінесе энергиялары бойынша бір – бірінен өзгеше  $\alpha$ -бөлшектердің бірнеше дискреттік моноэнергиялық тобын шығарады (2.1 сурет).



2.1 сурет

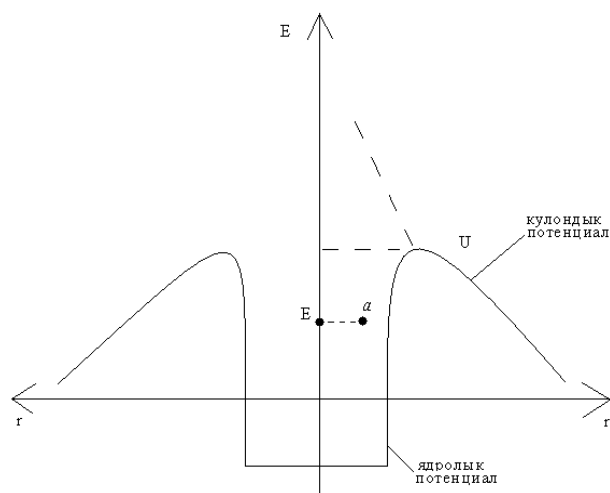


2.2 сурет

Бұл туынды  $Y$  ядро негізгі күйде ғана емес, қозған күйлерде де пайда бола алатындығымен түсіндіріледі. (2.2 сурет, мұнда  $X$  аналық және  $Y$  туынды ядролардың энергетикалық деңгейлерінің шартты схемасы берілген, оңайлық үшін тек бір қозған деңгей көрсетілген).

Туынды ядроның негізгі және бірінші қозған күйлерінде түзілуімен байланысты  $\alpha$ -бөлшектердің топтары  $\alpha_0$  және  $\alpha_1$  (2.2. сурет) ең интенсивті болады. Туынды ядроның қозған деңгейлері арқылы өтетін ыдыраулар  $\gamma$ -кванттардың шығарылуымен қабаттаса өтеді.

Атом қойнауында фотонның дайын күйде болмайтындығына және ол сәуле шығарылу мезетінде ғана пайда болатындығына ұқсас,  $\alpha$ -бөлшек те ядроның радиактивті ыдырау мезетінде ғана пайда болады. Ядродан ұшып шығарда  $\alpha$ -бөлшекке биіктігі оның энергиясынан артық потенциалдық тосқауылды еңсеруіне тура келеді (2.3 сурет). Тосқауылдың ішкі жағын -  $\alpha$ -бөлшек пен туынды ядроның кулондық тебіліс күштері қамтамасыз етеді.



2.3 сурет

Берілген жағдайда  $\alpha$ -бөлшектің потенциалдық тосқауылды еңсеруі туннельдік эффект арқасында іске асады. Кванттық теорияда  $\alpha$ -бөлшектің толқындық қасиеттері ескеріледі. Сонда егер энергиясы  $E$   $\alpha$ - бөлшек қайсыбір  $U(r)$  потенциалдық тосқауылға ұшып келіп соғылса, онда ол белгілі ықтималдықпен тосқауылда бар туннель арқылы өткендей болып сіңіп өте алады, яғни  $E < U$  болатын аймақтан өте алады. Туннельдік эффект жайындағы көрініске негізделген  $\alpha$ -ыдырау теориясы тәжірибе деректерімен жақсы үйлесетін нәтиже береді.

**Бета–ыдырау** – радиоактивті ядроның электрон (позитрон) және антинейтрино (нейтрино) шығарып, массалық саны өзгермей, ал зарядтық саны  $\Delta Z = \pm 1$ -ге өзгеріп, басқа ядроға айналуы. Осы процесте ядродағы нейтрондардың біреуі протонға түрленеді немесе протондардың біреуі нейтронға түрленеді.

$\beta^-$ -ыдыраудың үш түрі болады:  $\beta^-$  - ыдырау,  $\beta^+$  - ыдырау, электрондық қармау.

- $\beta^-$  - ыдырау мына схема бойынша өтеді:



мұндағы  ${}^0_{-1} e$  - электрондық символдық белгіленуі;  ${}^0_0 \tilde{\nu}$  - электрондық антинейтрино (антинейтрино электронның шығарылуымен ілесе шығарылады).

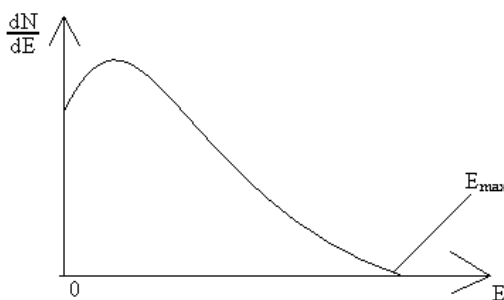
$\beta^-$  - ыдырауда туынды ядроның массалық саны өзгермейді, ал зарядтық саны 1-ге өседі.  $\beta^-$  - ыдырау мысалы:  ${}^{14}_6 C \rightarrow {}^{14}_7 N + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \nu$ .

Электрондық  $\beta^-$ -ыдырау негізіне, жоғарыда аталып өткендей, ядродағы нейтронның протонға айналуы жатады:



Сондықтан  $\beta^-$  - ыдырауды атом ядросы ішінде нейтронның протонға өздігінен айналу процесі ретінде анықтауға болады.

$\beta^-$  -ыдырауда түзілетін туынды ядро қозған күйде бола алады. Ядро негізгі күйге ауысқанда  $\gamma$ -сәуле шығарылады. Сондықтан  $\beta^-$ -ыдырау болғанда,  $\alpha$ - ыдырау сияқты,  $\gamma$ -кванттар қабаттаса шығарылады.



2.4 сурет

Эксперименттік зерттеулер  $\beta^-$ -ыдырау кезінде пайда болатын электрондардың нөлден бастап ең үлкен  $E_{max}$  мәніне дейінгі кең энергетикалық спектрі болатындығын көрсетті (2.4 сурет).  $dN$  шамасы энергиясы  $E$ -ден  $E+dE$ -ге дейінгі аралықта жататын электрон санын анықтайды.

Қисық қамтитын аудан бірлік уақытта радиактивті заттан шығарылатын электрондардың жалпы саны.  $E_{max}$  энергия аналық ядро массасы мен ыдырау өнімдері (электрон және туынды ядро) массасы мәндерінің айырымын анықтайды:

$$E_{max} = [M_a - (M_T + m_e)]c^2 \quad (2.2.10)$$

Алғашында, нейтрино ашылғанға дейін,  $\beta^-$  - ыдырау энергияның сақталу заңының бұзылуымен өтетін сияқты болған. Шынында да, егер аналық ядро туынды ядро мен электронға ыдыраған болса, онда электронның  $E_k$  энергиясы

$M_a c^2 = M_T c^2 + \sum m_i c^2 + E_k$  теңдеуіне сәйкес  $E_{max}$ -ден кем бола алмас еді. Энергияның

$\Delta E = E_{max} - E$  «жоғалуын» түсіндіру үшін, энергияның сақталу заңы бұзылмас үшін, В. Паули 1923 ж.  $\beta^-$ - ыдырау кезінде тағы бір бөлшек (электрлік бейтарап, массасы өте кіші) шығарылады деген жорамал ұсынды. Осы бөлшек нейтрино деп аталды (Э.Ферми), 1956 ж. экспериментте табылды (Ф. Райнес, К. Коуэн).

- $\beta^+$  -ыдырау (позитрондық  $\beta^-$  - ыдырау) мына схема бойынша өтеді:

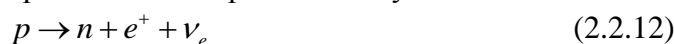


мұндағы  ${}^0_{+1} e$  -позитронның символдық белгіленуі (позитрон – электронға қатысты антибөлшек);  ${}^0_0 \nu$  - нейтрино (позитронның шығарылуымен ілесе шығарылады).

$\beta^+$  - ыдырауда туынды ядроның массалық саны өзгермейді, ал зарядтық саны саны 1-ге кемиді.

$\beta^+$  - ыдырау мысалы:  ${}^{22}_{11} Na \rightarrow {}^{22}_{10} Ne + {}^0_{+1} e + {}^0_0 \nu$ .

$\beta^+$  - ыдырау негізіне ядродағы протонның нейтронға айналуы жатады:



Нейтрино – электрлік бейтарап элементар бөлшек, спині  $\frac{1}{2}$  ( $\hbar$  бірлігінде) және тыныштық массасы жоқ.

Нейтрино тек өзара әрекетке қатысады, сондықтан оны тікелей бақылау өте қиын.

Антинейтрино – нейтриноға қатысты антибөлшек.

Протонның массасы нейтронның массасынан кіші болғандықтан, еркін протон үшін мұндай процесс энергетикалық тұрғыдан мүмкін емес. Бірақ та ядрода тұрған протон қажетті энергияны ядродағы басқа протондардан ала алады.

- **Электрондық қармау**  $\beta^-$ - ыдыраудың үшінші түрі – электрондық қармау да ядро өз атомының электрондық қабығындағы электрондардың біреуін жұтады. Көбінесе, электрон К-қабаттан жұтылады, сондықтан электрондық қармау К-қармау деп те аталады. L-немесе M- қабаттан электрондардың жұтылуы сирек байқалады.

Электрондық қармау немесе К- қармау мына схема бойынша өтеді:



ядро атомның ішкі қабатынан (әдетте, К – қабаттағы екі электронның біреуін) бір электронды тосын қармап алады және электрондық нейтрино шығарады. Электрондық қармауды мына түрде көрсетуге де болады:



Мұның мысалы:  ${}^7_4 Be + {}^0_{-1} e \rightarrow {}^7_3 Li + {}^0_0 \nu$ .

Электрондық қармау нәтижесінде атомның электрондық қабатында босаған орынға жоғарғы қабаттардан электрондар ауыса алады, осының нәтижесінде рентген сәулесі шығарылады.

$\beta$ - ыдырау кезінде бөлінетін энергия 0,0186 МэВ-тен ( ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He}$ ) 16 МэВ-ке ( ${}^{12}_7\text{N} \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$ ) дейінгі аралықта жатады.  $\beta$ - активті ядролардың жартылай ыдырау периоды  $10^2$  с-тан ( ${}^{12}_4\text{Be}$  үшін)  $4 \cdot 10^{12}$  жылға ( ${}^{187}_{75}\text{Re}$ ) дейін өзгереді.

**Ядролардың гамма –сәуле шығаруы.** Бұл сәуле ядролардың қозған күйден энергиясы кішірек күйге ауысқан кезде шығаратын қысқа толқынды электромагниттік сәулесі. Ядро дискретті энергетикалық деңгейлер жиыны бар кванттық жүйе болатындықтан  $\gamma$  – сәуленің спектрі де дискретті болады.

Өртүрлі ядролардың шығаратын  $\gamma$  –кванттар энергиясы  $E_\gamma$  мына аралықта жатады:  $10\text{кэВ} \leq E_\gamma \leq 5\text{МэВ}$ .

$\gamma$  –сәуленің бұған сәйкес толқын ұзындығы  $2 \cdot 10^{-13} \text{ м} \leq \lambda \leq 10^{-10} \text{ м}$  болады.

$\gamma$  –кванттардың энергиялар бойынша үлестірілуі  $\gamma$ –спектр болады. Бұл сызықтық спектр атомдық ядролар күйлерінің дискреттілігінің дәлелі болып табылады. Еркін нуклон  $\gamma$  –квант шығара алмайды, өйткені энергия мен импульстің сақталу заңдары бірдей бұзылған болар еді. Ядро ішінде бұл мүмкін болады, өйткені шығарылған  $\gamma$  –квант ядро нуклондарымен импульспен алмаса алады. Сондықтан  $\beta$ - ыдырау нуклон ішкі процесс болса, ал  $\gamma$  –сәуле шығару ядро ішкі процесс болады.

$\gamma$  –сәулені туынды ядро шығарады. Туынды ядро өзінің түзілуі мезетінде қозған күйде болса, онда  $10^{-13}$ - $10^{-14}$  с ішінде  $\gamma$  – сәуле шығарып негізгі күйге ауысады. Негізгі күйге ауысқанда қозған ядро бірқатар аралық күйлер арқылы өте алады. Сондықтан да бір радиоактивті изотоптың  $\gamma$  –сәулесі энергиялары бойынша өзгеше  $\gamma$  –кванттардың бірнеше тобынан тұратын болады.

$\gamma$  –сәуле шығарылғанда  $A$  мен  $Z$  өзгермейді, сондықтан ол ешқандай ығысу ережелерімен сипатталмайды.