

## Лекція 2

### Тема. Атомне ядро. Радіоактивний розпад та перетворення ядер.

**Мета.** Ознайомити студентів з будовою атомного ядра та властивостями елементарних частинок; дати визначення радіоактивності; пояснити суть закону радіоактивного розпаду та його застосування.

#### Вступ.

У 1896 р. Анрі Беккерель випадково виявив, що металічний уран, а також його сполуки випромінюють промені, які викликають почорніння фотопластинки, закритої чорним папером чи іншими непрозорими матеріалами.

У 1898 р. Марія Кюрі-Склодовська і П'єр Кюрі виявили, що сполуки торію випромінюють промені, аналогічні променям урану. Одночасно і незалежно радіоактивність торію була відкрита Г. Шмідтом. Вже на той час стало зрозумілим, що випромінювання урану не пов'язане з його фізико-хімічним станом. Воно є характерною для даного елемента атомною властивістю, яку подружжя Кюрі і запропонували назвати радіоактивністю.

#### План.

1. Атомні ядра. Ядерні частинки. Заряд і маса ядра. Масове число. Розміри та густина ядра. Енергія зв'язку ядра.
2. Радіоактивність. Основні типи радіоактивних перетворень (та їх характеристика).
3. Основний закон радіоактивного розпаду. Стала розпаду. Період піврозпаду та середній час життя радіонуклідів.
4. Природна радіоактивність. Радіоактивні ряди.

#### Зміст лекції

1. Атомні ядра. Ядерні частинки. Заряд і маса ядра. Масове число. Розміри та густина ядра. Енергія зв'язку ядра.

Ядро складається з протонів та нейтронів. **Протон** (гр. «протон» - перший) – частинка, яка має позитивний заряд, що дорівнює заряду електрона. Він є ядром найлегшого ізотопу гідрогену. **Нейтрон** уявляє собою нейтральну частинку, маса якої мало відрізняється від маси протона.

Масове число і порядковий номер повністю визначають склад ядра. *Масове число*  $A$  показує повне число нуклонів в ядрі. *Порядковий номер*  $Z$  – число протонів у ньому. Число нейтронів становить:

$$N=A - Z.$$

Протони, нейтрони, електрони називаються **елементарними частинками**. До елементарних частинок відносять і кванти світла – **фотони**.

У наш час відомі декілька десятків елементарних частинок, які поділяються на 3 основні групи:

- 1) *лептони* – легкі частинки (від гр. «лепта» – найдрібніша монета);
- 2) *мезони* – середні частинки («мезос» – з гр. «середній»);
- 3) *баріони* – важкі частинки («бар» – важкий).

**Маса та власна енергія.** Згідно теорії відносності маса частинок залежить від їх швидкості. Тому в якості характеристики частинки беруть її *масу спокою*. Масі спокою частинки відповідає *енергія спокою* або власна енергія частинки. За одиницю маси елементарної частинки приймають масу електрона  $m_e$ .

Фотон і нейтрино ( $\mu$ -мезонне і електронне) не мають маси спокою і можуть рухатися зі швидкістю світла.

**Електричний заряд.** Елементарні частинки можуть бути зарядженими та нейтральними. Заряд їх може бути позитивним або негативним. Абсолютна величина заряду всіх частин дорівнює заряду електрона. Тому заряд електрона приймають в якості одиниці заряду елементарних частинок. Біля символу частинки ставлять знак заряду і нуль (для нейтральних частинок); біля символів фотону, протону, нейтрону і нейтрино знаки заряду не пишуть.

**Лептонний та баріонний заряд.** Електронам та електронним нейтрино приписують електронний лептонний заряд  $+1$ , негативним  $\mu$ -мезонам і  $\mu$ -мезонним нейтрино –  $\mu$ -мезонний заряд  $+1$  і, нарешті, баріонам – баріонний заряд  $+1$ . Ці заряди, на відміну від електричного, не є величинами, що характеризують взаємодію, а уявляють собою квантові числа, що характеризують стан системи елементарних частинок.

**Античастинки.** Для кожної частинки, в якій хоча б один з перерахованих зарядів не дорівнює нулю, існує античастинка. Знаки всіх зарядів у античастинки протилежні в порівнянні зі знаками зарядів відповідних частинок. Але інші властивості (маса, час життя) повністю тотожні. Якщо частинка не має визначеного символу, то вона позначається символом відповідної частинки з *тильдою* ( $\sim$ ) нагорі.

У разі зустрічі частинки зі своєю античастинкою відбувається **анігіляція** – процес перетворення в інші більш легкі частинки. Наприклад, протон та антипротон під час анігіляції перетворюються, головним чином, у  $\pi$ -мезони і частково у фотони. У результаті анігіляції електрона та позитрона одержують 2 або 3 фотони. Слід відмітити, що хоч слово «анігіляція» означає «знищення», не треба розуміти під цим терміном знищення матерії, оскільки у ході анігіляції матерія не знищується, а тільки переходить у інші види.

На відміну від протона, нейтрон – нестабільна частинка і розпадається у вільному стані (коли летить, наприклад, у пучку) на протон  $p$ , електрон  $e^-$  і електронне антинейтрино  $\tilde{\nu}_e$ .

Надлишок маси у нейтрона, порівняно з сумою мас протона та електрона, є настільки великим, що енергетично можливим стає процес перетворення нейтрона на протон і електрон внаслідок  $\beta$ -розпаду. Під час електронного  $\beta$ -розпаду нестабільних атомних ядер такого самого перетворення зазнає один із нейтронів ядра. Період напіврозпаду вільного нейтрона дорівнює приблизно 12 хв., тоді середній час життя  $\tau = T_{1/2} : \ln 2 = 17$  хв. ( $\approx 10^3$  с).

У процесі  $\beta$ -розпаду електрони випромінюються нестабільними ядрами, подібно до того, як випромінюються кванти світла збудженими атомами:  $\beta$ -частинок (електронів) у ядрі, як і квантів світла в атомі, немає аж до моменту їх випромінювання. Однак випромінювання електронів разом з антинейтрино із ядер зумовлено, як припускав Е. Фермі, не електромагнітними силами, як під

час випромінювання світла атомами, а зовсім новим типом сил, які отримали назву *сил слабкої взаємодії*.

Хоча нейтрони у вільному стані й у радіоактивних ядрах можуть розпадатися, у стабільних ядрах нейтрони, як і протони, є стабільними.

Деякі ядра, «перевантажені» протонами, можуть зазнавати позитронного  $\beta$ -розпаду, коли один із протонів ядра, що забрав енергію в інших протонів та нейтронів того самого ядра, перетворюється на нейтрон, позитрон  $e^+$  та електронне нейтрино  $\nu_e$ .

Позитрон і нейтрино вилітають із області ядра, а утворений нейтрон замість початкового протона залишається в ядрі. У цьому випадку ядро, що зменшило свій заряд на одиницю, тобто зменшило число протонів на одиницю й одночасно збільшило число нейтронів на одиницю, стає, як правило, більш стабільним. Хоча після цього може виникнути і  $\beta$ -розпад ядра, що утворилося.

Під час  $\beta$ -розпадів ядер сумарне число протонів та нейтронів, тобто масове число ядра  $A$ , не змінюється. Ядра з однаковим числом  $A$  називаються *ізобарами*, з однаковим числом протонів  $Z$  – *ізотонами*, а з однаковим числом нейтронів  $N$  – *ізотонами*.

Найбільш стабільними серед легких ядер-ізобар ( $A \leq 40$ ) будуть такі, в яких  $N = Z$  для парно-парних ( $N$  і  $Z$  – парні) і непарно-непарних ( $N$  і  $Z$  – непарні) ядер, або ядра, в яких числа  $N$  і  $Z$  відрізняються лише на одиницю для непарних ядер, коли  $A$  – непарне число. Проте у важких стабільних ядрах число нейтронів може перевищувати число протонів у півтора рази. Ланцюжок  $\beta$ -розпадів ядер закінчується на одному з найбільш стабільних ядер-ізобар.

## **2. Радіоактивність. Основні типи радіоактивних перетворень (та їх характеристика).**

**Радіоактивність** – (від лат. radio – «випромінюю», radius – «промінь» і activus – «той, що діє») здатність нестабільних атомних ядер самовільно (спонтанно) перетворюватись у інші ядра з випромінюванням високоенергетичних частинок і електромагнітного випромінювання.

Новоутворені ядра можуть бути стабільними, або теж радіоактивними.

**Радіонуклід** – загальна назва радіоактивних атомних ядер, які відрізняються числом нейтронів  $N$  і протонів  $P$ .

Радіоактивні перетворення мають дві особливості, які роблять їх більш простими, порівняно з хімічними перетвореннями:

**Перша особливість** полягає в тому, що для всіх типів радіоактивних перетворень справедливий один кінетичний закон.

**Друга особливість** полягає в тому, що кількість типів радіоактивних перетворень дуже обмежена. Типи радіоактивного розпаду класифікують за основними видами випромінювання, якими є ядра гелію ( $\alpha$ -частинки), електрони ( $\beta$ -частинки) і короткохвильове електромагнітне випромінювання ( $\gamma$ -промені).

На сьогодні відомо сім основних типів радіоактивного розпаду:

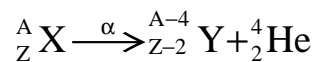
- 1) альфа-розпад;
- 2) бета-розпад;
- 3) гама-розпад;

- 4) електронне захоплення;
- 5) нейтронний розпад;
- 6) протонний розпад;
- 7) спонтанний поділ.

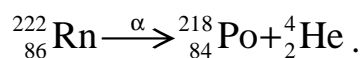
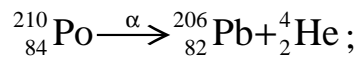
Кожен тип радіоактивних ядер (радіонуклід) характеризується певним типом розпаду, швидкістю розпаду і енергію випромінювання.

**$\alpha$ -Розпад.** Енергія  $\alpha$ -частинок має дискретні значення в межах 2–9 MeV.  $\alpha$ -Розпаду переважно підлягають важкі елементи з порядковими номерами більше 78 ( $^{197}\text{Au}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Bi}$ ). Винятком у цьому ряду є Талій, у якого немає жодного ізотопу  $\alpha$ -випромінювача. Відомі й елементи з середньою масою, які підлягають  $\alpha$ -перетворенню. Прикладом можуть бути природні ізотопи  $^{144}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ , а також штучні ізотопи рідкісноземельних елементів ( $^{150}\text{Sm}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{158}\text{Gd}$  і т.д.).

Згідно **I правила зміщення**, яке сформулювали К. Фаянс та Ф. Содді у 1913 р., елемент, який утворився в результаті  $\alpha$ -розпаду займає в Періодичній системі місце, що знаходиться **на дві клітинки лівіше вихідного елементу** (масове число зменшується на 4 одиниці, а протонне – на 2). Загальна схема  $\alpha$ -розпаду:



Наприклад:

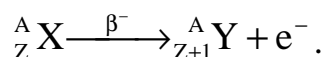


**$\beta$ -Розпад.**  $\beta$ -Радіоактивність є найбільш розповсюдженим типом радіоактивності. Існує три різновиди  $\beta$ -розпаду: в першому випадку ядро випромінює електрон ( $\beta^-$ -розпад), у другому – позитрон ( $\beta^+$ -розпад), у третьому ядро поглинає один з електронів внутрішньої оболонки (захоплення електрона ядром).

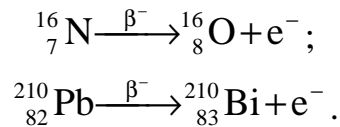
$\beta^-$ -розпад характерний для ядер, які мають надлишок нейтронів. Одночасно з електроном випромінюється антинейтрино.  $\beta^+$ -Розпад властивий ядрам з надлишком протонів. Процес супроводжується випромінюванням нейтрино, позитрона, а також можливе виникнення  $\gamma$ -променів.  $\beta^-$ -Радіоактивність є найбільш розповсюдженою, порівняно з іншими видами  $\beta$ -випромінювання. Явище захоплення електрона спостерігається надзвичайно рідко.

Енергетичний спектр  $\beta$ -частинок є неперервним у інтервалі від 0 до неповного максимального значення, яке становить 0,015–15 MeV.

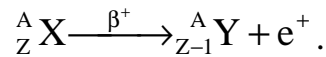
Згідно **II правила зміщення** за  $\beta^-$ -розпаду новий елемент, масове число якого залишається незмінним, а протонне число збільшується на 1, займає в Періодичній системі місце, що знаходиться **на одну клітинку правіше від вихідного елементу**. Загальна схема  $\beta^-$ -розпаду:



Наприклад,



За  $\beta^{+}$ -розпаду новий елемент, масове число якого залишається незмінним, а протонне число зменшується на 1, займає в Періодичній системі місце, що знаходиться *на одну клітину лівіше від вихідного елементу*. Загальна схема  $\beta^{+}$ -розпаду:



Наприклад:

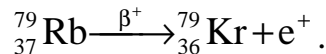
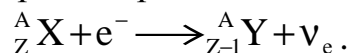
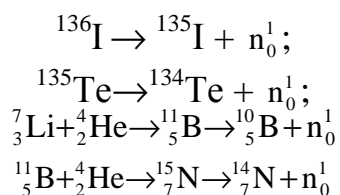


Схема захоплення електрона ядром:



**$\gamma$ -Розпад** полягає у випромінюванні ядром  $\gamma$ -квантів.  $\gamma$ -Випромінювання супроводжує  $\alpha$ - і  $\beta$ -розпад, завдяки утворенню збуджених ядер. Збуджені ядра звільняються від надлишкової енергії шляхом  $\gamma$ -випромінювання з переходом у основний стан. Енергія  $\gamma$ -квантів дорівнює різниці енергій збудженого і основного станів. Збуджене ядро може утворитись не тільки в результаті  $\alpha$ - і  $\beta$ -розпаду, але і в результаті зовнішніх дій. Але й в такому випадку перехід в основний стан здійснюється за рахунок  $\gamma$ -випромінювання. Енергія  $\gamma$ -випромінювання радіоактивних ізотопів може доходити до великих значень. Наприклад,  $\beta^{-}$ -розпад ядер  ${}^{16}\text{N}$  супроводжується  $\gamma$ -випромінюванням з  $E = 6\text{--}7$  МеВ, а  ${}^{210}\text{Pb}$  – з  $E = 0,05$  МеВ.

**Нейтронний розпад.** Нейтронний розпад спостерігається у деяких ядер-уламків, які утворюються у результаті поділу важких ядер. Ці нейтрони на відміну від нейтронів, що утворюються в момент поділу, називають запізнілими. Процес випромінювання запізнілих нейтронів підпорядковується експоненційному закону. Прикладом нейтронного розпаду можуть бути уламкові ядра:

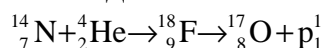


Існування нейтронів як частинок, що мають масу, яка дорівнює масі протона, і не мають електричного заряду, вперше було передбачено Резерфордом у 1920 р. Відкриття нейтронів належить Дж.Чедвику (1932 р.). Нейтрон є нестійкою часткою, з періодом напіврозпаду 12,5 хв.

Під час проходження нейтронів у речовині їх енергія розсіюється в процесі пружної і непружної взаємодії з ядрами, тобто відбувається сповільнення нейтронів до теплових значень їх енергії ( $\sim 0,025$  еВ). Кінцевим результатом взаємодії є захоплення нейтронів ядрами, яке відбувається досить легко через відсутність потенціального бар'єру ядер для нейтронів.

**Протонний розпад.** Ядра, що мають надлишок протонів, можуть підлягати протонному розпаду. Експериментально протонний розпад був

виявлений у 1962 р. в Дубно радянськими фізиками В.А. Карнауховим, Г.М. Тер-Акопяном і В.Г. Суботіним. Виділення протонів здійснюється шляхом тунельного ефекту за аналогією з виділенням  $\alpha$ -частинок:



Протонний розпад може здійснюватись і за механізмом так званої запізнитої протонної радіоактивності. У цьому випадку ядро спочатку підлягає позитронному розпаду, в результаті якого енергія, що утворюється, захоплюється одним з надлишкових протонів і останній залишає ядро. Тут протонний розпад супроводжує позитронний, причому період напіврозпаду для обох процесів однаковий.

Взаємодія протонів із зовнішнім середовищем аналогічна до взаємодії  $\alpha$ -частинок.

**Спонтанний поділ.** Спонтанний поділ полягає в тому, що атомне ядро самовільно розщеплюється на два ядра різних елементів (уламки). Це розщеплення супроводжується виділенням декількох нейтронів.

Спонтанний поділ вперше був відкритий радянськими вченими К.А. Петржаком і Г.Н. Флеровим у 1940 р. в урану-238. Період напіврозпаду був оцінений ними приблизно в  $10^{15}$ – $10^{16}$  років. Спонтанний поділ характерний для важких ядер.

Для деяких ізотопів визначені тільки нижні границі періоду спонтанного поділу (для  ${}^{226}\text{Ra} > 10^{14}$  років, для  ${}^{232}\text{Th} > 10^{21}$  років). Періоди спонтанного поділу ізотопів зменшуються із збільшенням порядкового номеру  $Z$ . Період спонтанного поділу також зменшується з ростом маси за умови  $Z=\text{const}$ , тому що період спонтанного поділу – неперервно спадаюча функція від величини  $Z^3/A$ . Для кожного типу ядер характерне середнє число нейтронів, що виділяється в процесі кожного акту спонтанного поділу, наприклад, для  ${}^{238}\text{U}$  це число дорівнює 2,30; для  ${}^{239}\text{Pu}$  – 2,28; для  ${}^{242}\text{Cm}$  – 2,59; для  ${}^{252}\text{Cf}$  – 3,84; для  ${}^{254}\text{Fm}$  – 4,05.

Спонтанний поділ супроводжується виділенням великої кількості енергії, відповідного дефекту мас, і є аналогічним до поділу ядер за умови зовнішнього впливу.

### 3. Основний закон радіоактивного розпаду. Стала розпаду. Період піврозпаду та середній час життя радіонуклідів.

Швидкість радіоактивного розпаду може бути виражена співвідношенням:

$$dN/dt = -\lambda N. \quad (2.1)$$

Вираз (2.1) є диференційною формою кінетичного закону радіоактивного розпаду, де  $N$  – число радіоактивних атомів в момент часу  $t$ ;  $\lambda$  – константа, яка називається *радіоактивною сталою*.

Інтегральну форму кінетичного закону можна отримати інтегруванням (1.1) в межах від  $t=0$  до  $t$ :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

де  $N_0$  – число радіоактивних атомів в початковий момент часу ( $t = 0$ ).

**Константа радіоактивного розпаду**  $k$  характеризує імовірність перетворення ядра і чисельно дорівнює кількості атомів, що розпадаються за

одиницю часу. Прийнято виражати  $\lambda$  в обернених секундах ( $s^{-1}$ ) і тому для кожної секунди справедлива рівність:

$$\lambda = dN/N. \quad (2.3)$$

Вираз  $dN/dt$  у диференційній формі закону (2.1) є швидкістю розпаду і називається *абсолютною активністю (радіоактивністю)*.

Поряд із сталою  $\lambda$  для характеристики кінетики розпаду дуже часто використовується величина проміжку часу, протягом якого проходить розпад половини радіоактивних ядер. Ця величина називається *періодом напіврозпаду* і позначається  $T_{1/2}$ . Між величинами  $\lambda$  і  $T_{1/2}$  існує просте співвідношення:

$$\lambda T_{1/2} = \ln 2 = 0,693. \quad (2.4)$$

Ступінь розпаду за заданий проміжок часу, який виражається цілим числом періодів напіврозпаду  $n=t/T$ , можна розрахувати за рівнянням:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda n T} = \frac{1}{2^n} \quad (2.5)$$

З формули (2.5) випливає так зване *правило десяти періодів напіврозпаду*, тобто проміжку часу, коли практично вся речовина розпадеться (залишиться менше 0,1 % від вихідної кількості). Але треба відмітити, що це правило має відносний характер. Дійсно, за умови великих вихідних кількостей радіоактивної речовини, кінцева кількість речовини також буде великою.

Згідно закону радіоактивного розпаду, ядра, що розпадаються мають різну тривалість життя. Тому кожний радіоактивний ізотоп може характеризуватись також і *середньою тривалістю життя  $\tau$* .

Між середньою тривалістю життя  $\tau$  і періодом напіврозпаду  $T_{1/2}$  існує наступний зв'язок:

$$T_{1/2} = \tau \ln 2. \quad (2.6)$$

Закон радіоактивного розпаду має статистичний характер і тому експоненційний закон справджується тільки для достатньо великої кількості радіоактивних атомів. У відповідності до теорії імовірності із зменшенням кількості атомів зростають відхилення від експоненційного закону (радіоактивні флуктуації), які можна спостерігати експериментально.

#### 4. Природна радіоактивність. Радіоактивні ряди.

Природні важкі радіоактивні елементи утворюють три ряди генетично зв'язаних між собою радіонуклідів, які починаються з  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  і  $^{232}\text{Th}$  відповідно.

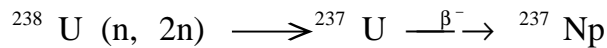
Загальна картина утворення сімейства така: один із вказаних родоначальників ряду випромінює  $\alpha$ -частку, в результаті чого утворюється ядро атома з масовим числом на 4 і з зарядом на 2 одиниці менше, ніж у материнського ізотопу. Ядра, що утворюються, в свою чергу розпадаються з випромінюванням  $\beta^-$ -часток. Після цілого ряду  $\alpha$ - і  $\beta^-$ -перетворень кожен з рядів закінчується утворенням стабільних ізотопів Плюмбуму (відповідно,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ):

Таким чином, масові числа членів будь-якого сімейства змінюються тільки у разі випромінювання  $\alpha$ -частки і, отже, можуть бути виражені формулами:

1)  $(4n+2)$  для сімейства  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$  (уранорадієвий ряд);

- 2)  $(4n+3)$  для сімейства  $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$  (ряд актиноурану);
- 3)  $(4n)$  для сімейства  $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$  (торієвий ряд);
- 4)  $(4n+1)$  для сімейства  $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{209}\text{Bi}$  (нептунієвий ряд).

Ряд  $(4n+1)$  в природі не зустрічається. Коли він був отриманий штучно, то, стало зрозуміло, чому всі спроби виявити його на Землі виявились марними: найбільш довгоживучий член цього ряду  $^{237}\text{Np}$  має період напіврозпаду  $2,2 \cdot 10^6$  років, що на три порядки менше за вік Землі ( $\sim 3 \cdot 10^9$  років), тому до нашого часу всі члени цього ряду повинні були практично повністю розпастися ( $^{237}\text{Np}$  був виявлений у дуже малих кількостях в уранових рудах Конго ( $m(^{237}\text{Np})/m(^{238}\text{U}) = 1,8 \cdot 10^{-12}$ , де він, напевно, утворюється за реакцією:



Швидкі нейтрони, необхідні для цієї реакції, отримуються за спонтанного поділу ядер урану або за реакціями  $(\alpha, n)$ . На відміну від перших трьох сімейств нептунієвий ряд закінчується не ізотопом плюмбуму, а ізотопом бісмуту з масою 209.

Деякі члени ряду можуть розпадатись різними шляхами. Наприклад  $^{227}\text{Ac}$ , в основному, випромінюючи  $\beta^-$ -частку, перетворюється в  $^{227}\text{Th}$ , але частина його (1,2%), випромінюючи  $\alpha$ -частку, утворює  $^{223}\text{Fr}$ .

З часом у кожному ряду встановлюється так звана **вікова рівновага**, за якої швидкості утворення і розпаду кожного проміжного члена ряду рівні між собою. Завдяки віковій рівновазі в земній корі містяться всі члени природних рядів, в тому числі ті нукліди, що швидко розпадаються (Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac і Pa). За вікової рівноваги числа атомів  $N'$  і  $N''$  двох будь-яких нуклідів ряду та їх періоди напіврозпаду  $T'_{1/2}$   $T''_{1/2}$  пов'язані співвідношенням:

$$\frac{N'}{T'_{1/2}} = \frac{N''}{T''_{1/2}} \quad (2.7)$$

Таким чином, чим менший  $T_{1/2}$  проміжного члена ряду, тим нижчий його вміст у земній корі. Наприклад, на 1 т природного урану припадає близько  $0,36 \text{ г } ^{226}\text{Ra}$  і  $1,3 \cdot 10^{-9} \text{ г } ^{218}\text{Po}$ .

У міру розпаду першого члена радіоактивного ряду загальний вміст проміжних членів ряду в земній корі повільно зменшується.

Співвідношення (1.8) дає можливість визначати великі періоди напіврозпаду ( $\sim$  тисяч років) за вимірюваннями концентрацій радіонуклідів у природних зразках.

## Висновки.

Радіоактивність – здатність нестабільних атомних ядер самовільно (спонтанно) перетворюватись у інші ядра з випромінюванням високоенергетичних частинок і електромагнітного випромінювання. Новоутворені ядра можуть бути стабільними, або теж радіоактивними.

Радіоактивні перетворення мають дві особливості, які роблять їх більш простими, порівняно з хімічними перетвореннями: **перша особливість** полягає в тому, що для всіх типів радіоактивних перетворень справедливий один кінетичний закон. **Друга особливість** полягає в тому, що кількість типів радіоактивних перетворень дуже обмежена. Типи радіоактивного розпаду



класифікують за основними видами випромінювання, якими є ядра гелію ( $\alpha$ -частинки), електрони ( $\beta$ -частинки) і короткохвильове електромагнітне випромінювання ( $\gamma$ -промені).

На сьогодні відомо сім основних типів радіоактивного розпаду: альфа-розпад; бета-розпад; гама-розпад; електронне захоплення; нейтронний розпад; протонний розпад; спонтанний поділ. Кожен тип радіоактивних ядер (радіонуклід) характеризується певним типом розпаду, швидкістю розпаду і енергією випромінювання.

Закон радіоактивного розпаду має статистичний характер і тому даний експоненційний закон справджується для достатньо великої кількості радіоактивних атомів. Константа радіоактивного розпаду  $k$  характеризує імовірність перетворення ядра і чисельно дорівнює кількості атомів, що розпадаються за одиницю часу.

Природні важкі радіоактивні елементи утворюють три ряди генетично зв'язаних між собою радіонуклідів, які починаються з  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  і  $^{232}\text{Th}$  відповідно.

### **Література.**

1. Мідак Л.Я., Кравець І.В. Основи радіохімії. – Івано-Франківськ: пп Голіней, 2013. – 160 с.
2. Краткий курс радиохимии/ Под. ред. А.В. Николаева. - М., 1969.
3. Несмеянов В.Н. Радиохимия. - 2изд. - М., 1978.
4. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торолова М.А. Радиохимия. - М., 1987.
5. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии - Л., «Химия». - 1985.
6. Руководство к практическим занятиям по радиохимии/ Под ред. А.Н. Несмеянова. - М., 1980.

### **Запитання для самоперевірки.**

1. Приведіть класифікацію елементарних частинок. Які властивості, як елементарні частинки, мають протон та нейтрон?
2. Що таке античастинка та які її властивості? Дайте визначення поняттю анігіляція.
3. Що таке радіоактивність?
4. Дайте визначення природних та штучних радіонуклідів.
5. Назвіть основні типи радіоактивного розпаду та дайте їм коротку характеристику.
6. Запишіть диференціальну та інтегральну форму закону радіоактивного розпаду. Поясніть його експоненційний характер.
7. Сформулюйте фізичний зміст константи радіоактивного розпаду.
8. Що таке період напіврозпаду та середня тривалість життя радіонуклідів?
9. Поясніть правило десяти періодів напіврозпаду.