

§ 33. АКТИВНІСТЬ РАДІОНУКЛІДА. ПРАВИЛА ЗМІЩЕННЯ



Алхіміки Середньовіччя мріяли про філософський камінь, що перетворював би всі речовини на золото. «Сучасна алхімія» — так назве Е. Резерфорд свою книгу про перетворення атомних ядер. Про те, як змінюється ядро під час радіоактивного випромінювання, за якими законами відбувається цей процес, ітиметься в даному параграфі.

**Визначаємо радіоактивність. Вивчаємо правила зміщення**

Розглядаючи в § 32 радіоактивне випромінювання, ми залишили поза увагою важливе питання: що при цьому відбувається з атомами? Адже під час радіоактивного випромінювання від атомів відриваються чималі «шматки», отже, атоми мають змінитися. Провівши низку експериментів, учені довели, що *радіоактивне випромінювання є наслідком розпаду ядер атомів*.

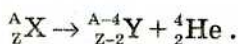
Ядра атомів радіоактивних елементів здатні *довільно* (без жодних причин) розпадатися. Експериментальні дослідження показали, що на радіоактивний розпад *не впливають* зміна тиску й температури, дія магнітного та електричного полів, хімічні реакції, зменшення чи збільшення освітленості тощо. Розпад ядра супроводжується випромінюванням α -, β - чи інших частинок; само ж ядро, як правило, перетворюється на ядро атома іншого елемента.

Радіоактивність — це здатність ядер деяких хімічних елементів довільно перетворюватися на ядра інших елементів з випромінюванням мікрочастинок.

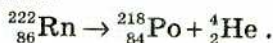
Залежно від того, які частинки випромінюються під час радіоактивного розпаду, розрізняють α -розпад, β -розпад та інші види розпадів. Встановлено, що радіоактивні перетворення ядер підкорюються так званим *правилам зміщення*, які вперше сформулював англійський учений *Фредерік Содді* (1877–1956).

Правила зміщення

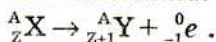
1. Під час α -розпаду нуклонне число ядра атома зменшується на 4, а протонне — на 2, тому *утворюється ядро елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 2 одиниці менший, ніж порядковий номер вихідного елемента*:



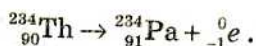
Наприклад, відомо, що Радон (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) є α -радіоактивним (випускає ядра атома Гелію). Тому в результаті α -розпаду Радону утворюється елемент, який має порядковий номер 84 (розташований на 2 клітинки ліворуч від Радону), — це Полоній:



2. Під час β -розпаду нуклонне число ядра атома залишається незмінним, а протонне збільшується на 1, тому *утворюється ядро елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 1 одиницю більший, ніж порядковий номер вихідного елемента*:



Наприклад, Торій (${}^{234}_{90}\text{Th}$) є β -радіоактивним елементом (випромінює електрони). Тому під час β -розпаду Торію утворюється Протактиній — елемент із порядковим номером 91 (розташований на 1 клітинку праворуч від Торію):



Оскільки в результаті радіоактивних перетворень народжуються нові елементи, учені назвали цей процес (за аналогією з хімією ядерними реакціями).

2 Дізнаємося про період піврозпаду

Уявіть собі певну кількість радіоактивної речовини. Це може бути, скажімо, шматок солі Урану або газ радон, поміщений у скляну колбу. Чи можна дізнатися, яке саме ядро у речовині, що ми розглядаємо, розпадеться першим? Яке буде наступним? А яке ядро виявиться «довгожителем» і розпадеться останнім? Фізики стверджують, що дізнатися про це неможливо: розпад того чи іншого ядра радіонукліда — подія випадкова. У той же час поведінка радіоактивної речовини в цілому підлягає чітко визначеній закономірності.

Цю закономірність можна проілюструвати за допомогою такого прикладу. Якщо взяти закриту скляну колбу, що містить певну кількість радону, виявиться, що приблизно за 57 с кількість радону в колбі зменшиться вдвічі. Ще через 57 с з решти залишиться теж половина і т. д. Тому природно, що інтервал часу 57 с був названий *періодом піврозпаду* Радону.

Період піврозпаду — це фізична величина, що дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда.

Період піврозпаду зазвичай позначають символом T . *Одиниця періоду піврозпаду в СІ — секунда (с).*

У кожного радіоактивного ізотопу свій період піврозпаду. Наприклад, період піврозпаду Урану-238 дорівнює 4,5 млрд років, Радію-226 — 1600 років.

Для характеристики радіоактивного розпаду використовують величину, яку називають **сталю радіоактивного розпаду радіонукліда** (див. таблицю) і позначають символом λ . Стала радіоактивного розпаду пов'язана з періодом піврозпаду співвідношенням: $\lambda = \frac{0,69}{T}$. *Одиниця сталої радіоактивного розпаду в СІ — $\frac{1}{\text{с}}$.*

Сталі радіоактивного розпаду деяких радіонуклідів

Радіонуклід	Стала радіоактивного розпаду $\lambda, \frac{1}{\text{с}}$
Іод-131	$9,98 \cdot 10^{-7}$
Кобальт-60	$4,15 \cdot 10^{-9}$
Плутоній-239	$9,01 \cdot 10^{-13}$
Радій-226	$1,37 \cdot 10^{-11}$
Радон-220	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Уран-235	$3,14 \cdot 10^{-17}$
Цезій-137	$7,28 \cdot 10^{-10}$

3 Даємо визначення активності радіонуклідного зразка

З практичної точки зору, важливою характеристикою процесу радіоактивного розпаду є швидкість, з якою розпадається той чи інший радіонуклід.

Фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певному радіонуклідному зразку за одиницю часу, називають **активністю радіонуклідного зразка**.

Активність радіонуклідного зразка позначають символом A . Одиницею активності в СІ є **бекерель (Бк)**. 1 Бк — це активність такого зразка, в якому за 1 с відбувається 1 акт розпаду. Але 1 Бк — це дуже мала активність, тому використовують позасистемну одиницю активності — **кюрі (Ки)**: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

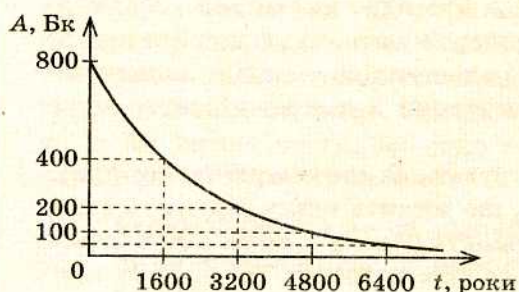


Рис. 33.1. Графік залежності активності Радію від часу. Період піврозпаду Радію становить 1600 років

Якщо на даний момент часу в зразку міститься деяка кількість N атомів радіонукліда, то активність A даного радіонуклідного зразка можна обчислити за формулою:

$$A = \lambda N,$$

де λ — стала радіоактивного розпаду радіонукліда.

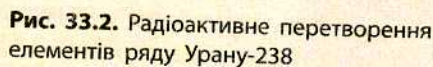
Це ж співвідношення можна записати і з використанням періоду піврозпаду:

$$A = \frac{0,69}{T} N.$$

З плином часу кількість ядер у радіонуклідному зразку, які не розпалися, зменшується, а отже, зменшується й активність зразка (рис. 33.1).

4 Дізнаємося про радіоактивні ряди

Алхіміки Середньовіччя мріяли про перетворення всіх речовин на золото, тож виходить, що після експериментів Е. Резерфорда й Ф. Содді їхня мрія здійснилася? Насправді — ні. Учені з'ясували, що вихідне (як говорять фізики — *материнське*) ядро атома радіоактивного елемента з плином часу зазнає цілої низки перетворень. А саме: ядро атома елемента A_1 перетворюється на ядро атома елемента A_2 , потім на ядро атома елемента A_3 і т. д., причому в цьому ланцюжку не може бути випадкових «гостей», скажімо, ядра атома елемента B . Сукупність усіх ізотопів, які виникають у результаті низки послідовних радіоактивних перетворень даного материнського елемента, називають **радіоактивним рядом**. Один із ланцюжків перетворень (ряд Урану-238) показано на рис. 33.2. Пізніше було виявлено, що існують **чотири радіоактивні ряди**, які об'єднують усі відомі в природі радіоактивні елементи.



5 Учимся розв'язувати задачі

Дано:

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{e}}$$

$$M = 226 \frac{\text{г}}{\text{моль}} =$$

$$= 226 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

 $m = ?$

Розв'язання

Оскільки $N = \nu N_A$, а $\nu = \frac{m}{M}$, то $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$.

Підставимо вираз для N у формулу активності:

$$A = \frac{\lambda m N_A}{M}. \text{ Звідси } m = \frac{AM}{\lambda N_A}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[m] = \frac{\text{Бк} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{моль}}} = \frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{1} = \text{кг}; \quad \{m\} = \frac{18,5 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,07 \cdot 10^{-3};$$

$$m = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 5,07 \text{ г}.$$

Відповідь: у радіоактивному зразку міститься 5,07 г Радію.

Підбиваємо підсумки

Радіоактивність — це здатність ядер деяких хімічних елементів довільно перетворюватися на ядра інших елементів з випромінюванням мікрочастинок.

На радіоактивність не впливають зовнішні фактори. Залежно від того, які частинки випромінюються під час радіоактивного розпаду, розрізняють α -розпад, β -розпад та інші види розпадів. Визначити, який елемент утвориться в результаті радіоактивного розпаду, можна за допомогою правил зміщення.

Час, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда, називають періодом піврозпаду.

Фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певному радіонуклідному зразку за одиницю часу, називають активністю радіонуклідного зразка. Активність A радіонукліда розраховують за формулою: $A = \lambda N$, де N — кількість атомів радіонукліда в зразку на даний момент часу; λ — стала розпаду радіонукліда. Одиницею активності в СІ є бекерель (Бк).

Сукупність усіх ізотопів, які виникають у результаті низки послідовних радіоактивних перетворень даного материнського елемента, називають радіоактивним рядом. Виявлено чотири радіоактивні ряди, що об'єднують усі відомі в природі радіоактивні елементи.

Контрольні запитання

1. Наведіть означення радіоактивності.
2. Що відбувається з ядром атома під час випромінювання α -частинки? β -частинки?
3. Що таке період піврозпаду?
4. Як період піврозпаду пов'язаний зі сталою розпаду?
5. Що таке активність радіонуклідного зразка?
6. У яких одиницях вимірюють активність? Як вони пов'язані?
7. Як активність радіонукліда пов'язана зі сталою його розпаду?
8. Чи змінюється з часом активність радіонукліда? Якщо змінюється, то чому і як?



Вправа № 29

1. Під час природного радіоактивного розпаду Радію ($^{226}_{88}\text{Ra}$) з ядра випромінюється α -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Радію? Запишіть рівняння реакції.
2. Під час природного радіоактивного розпаду Протактинію ($^{234}_{91}\text{Pa}$) з його ядра випускається β -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Протактинію? Запишіть рівняння реакції.
3. Скориставшись рис. 33.2, запишіть кілька ядерних реакцій, характерних для радіоактивного ряду Урану-238.

4. Є однакова кількість ядер Урану, Радію та Радону. Період піврозпаду Урану становить 4,5 млрд років, Радію — 1600 років, Радону — 57 с. Активність якого радіонукліда на даний момент часу найбільша? Поясніть свою відповідь.
5. У радіоактивному зразку міститься $2 \cdot 10^{20}$ атомів Іоду-131. Визначте, скільки ядер Іоду розпадеться протягом години. Активність зразка протягом цього часу вважати постійною.
6. На даний момент часу у радіоактивному зразку міститься 0,05 моля Плутонію-239. Визначте активність Плутонію в цьому зразку.
7. У радіоактивному зразку міститься 0,20 г Урану-235. Визначте активність Урану в цьому зразку. Активність зразка вважайте постійною.