

## § 56. РАДІОАКТИВНІСТЬ. ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ



Алхіміки Середньовіччя мріяли про філософський камінь, що перетворював би всі речовини на золото. «Сучасна алхімія» — так назвав Е. Резерфорд свою книгу про перетворення атомних ядер. Про те, які зміни відбуваються з ядром під час радіоактивного випромінювання, що таке ядерні реакції та за якими законами відбуваються ці процеси, йтиметься в цьому параграфі.

1

### Які види радіоактивного випромінювання є відомими

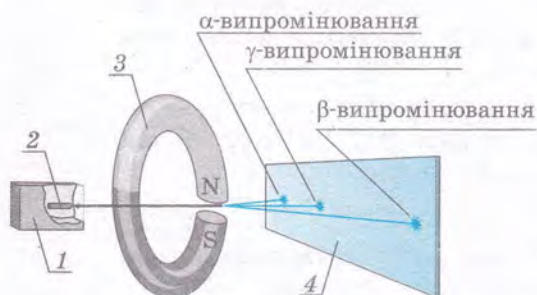


Рис. 56.1. Схема дослід з вивчення природи радіоактивного випромінювання

Перші реальні докази можливості перетворення одного елемента на інший з'явилися у фізиків під час дослідження явища радіоактивності. Стисло нагадаємо схему одного з таких дослідів (рис. 56.1). У свинцевому контейнері (1) з невеликим отвором розміщували радіоактивну речовину (2). Пучок радіоактивного випромінювання, що виходив з отвору, спочатку потрапляв у сильне магнітне поле постійного магніту (3), а потім на фотопластинку (4), розміщену навпроти отвору.

На фотопластинці після проявлення було видно три темні плями. Це означає, що в магнітному полі радіоактивне випромінювання розділилося на три складники. Їх було названо  $\alpha$  (альфа)-випромінювання,  $\beta$  (бета)-випромінювання та  $\gamma$  (гамма)-випромінювання. Найбільший внесок у вивчення  $\alpha$ -випромінювання зробив Е. Резерфорд. Учений з'ясував, що  $\alpha$ -випромінювання — це потік ядра атомів Гелію.  $\beta$ -складова радіоактивного випромінювання, як і  $\alpha$ -складова, відхиляється магнітним полем, але в протилежний бік. У ході подальших досліджень виявилось, що  $\beta$ -випромінювання — це потік електронів. Вивчення  $\gamma$ -випромінювання показало, що це електромагнітні хвилі.

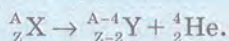
## ★ 2 Правила зміщення

Якщо ядро має надлишкову енергію, то її вивільнення може відбуватися двома шляхами: 1) шляхом спонтанного поділу ядра на більш стійкі частини; 2) шляхом спонтанної зміни заряду ядра на одиницю з перетворенням нейтрона в протон чи протона в нейтрон. Прикладом перетворення першого типу може бути  $\alpha$ -розпад і поділ ядер; другого —  $\beta$ -розпад, тобто випускнення ядром електронів або позитронів.

Після низки експериментів було встановлено загальні правила таких перетворень. Оскільки найбільший внесок у їх розробку здійснив англійський хімік *Фредерік Содді* (1877–1956), зазвичай ці правила називають *правила зміщення Содді*.

### Правило зміщення 1

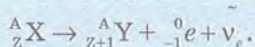
Під час  $\alpha$ -розпаду нуклонне число ядра атома зменшується на 4, а протонне — на 2, тому утворюється ядро елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 2 одиниці менший, ніж порядковий номер вихідного елемента:



Під час  $\alpha$ -розпаду атомних ядер доволі часто на кінетичну енергію руху  $\alpha$ -частинки та ядра-продукту перетворюється не вся енергія ядра. Частина цієї енергії може піти на збудження ядра-продукту з подальшим випускненням  $\gamma$ -квантів.

### Правило зміщення 2

Під час  $\beta$ -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:



Окрім електрона, під час  $\beta$ -розпаду з ядра вилітає ще одна частинка. Її було відкрито, як і багато інших елементарних частинок, «на кінчику пера». Первинні вимірювання реакції  $\beta$ -розпаду показали, що в цій реакції не справджується закон збереження енергії. «Не може бути!» — сказали теоретики і стали шукати вихід. Його знайшов німецький учений *Вольфганг Ернст Паулі* у 1931 р., припустивши, що під час  $\beta$ -розпаду, крім електрона, виникає ще одна частинка, яку назвали



нейтрино (від італ. *neutrino* — «нейтрончик», «маленький нейтрон»). Через відсутність у нейтрино заряду та маси воно дуже слабо взаємодіє з речовиною, що утруднювало спроби виявити його в експерименті. Лише в 1952–1956 рр. існування нейтрино було підтверджено експериментально.  $\beta$ -розпад, як і  $\alpha$ -розпад, може супроводжуватися  $\gamma$ -випромінюванням.

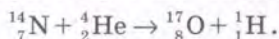
### 3 Спонтанний поділ ядер

У 1940 р. російські фізики *Георгій Миколайович Фльоров* (1913–1990) та *Костянтин Антонович Петржак* (1907–1998) відкрили ще один тип радіоактивного перетворення атомних ядер — *спонтанний поділ ядер*. Вони з'ясували, що в результаті спонтанного поділу певне ядро (фізики звуть його материнським) без будь-якого впливу ззовні поділяється на дві нерівні частини. Під впливом електростатичних сил продукти поділу, які по-іншому звуться ядрами-осколками, розлітаються у протилежні боки з великою швидкістю. Елементи, що мають менше зарядове число, ніж Уран, не мають ізотопів, які демонструють явище спонтанного поділу. Але для елементів після Урану цей тип радіоактивних перетворень є дуже поширеним.★

### 4 У чому відмінність ядерних реакцій від радіоактивності

Створені вченими сучасні прискорювачі забезпечили можливість штучного руйнування/перетворення будь-якого атомного ядра. Щоб описати процеси ядерних перетворень, учені ввели поняття *ядерних реакцій*, якими називають *взаємодії ядер або елементарних частинок із ядром, наслідком чого є утворення частинок, відмінних від вихідних*. Будь-яка ядерна реакція записується у вигляді  $A + a \rightarrow B + b$ , де  $A$  — вихідне ядро;  $a$  — частинка, що бомбардує;  $b$  — частинка, що випускається;  $B$  — ядро-продукт.

Першу ядерну реакцію здійснив Резерфорд у 1919 р. Це була реакція перетворення ядра Нітрогену на ядро Оксигену:



Від моменту відкриття Резерфорда було досліджено тисячі ядерних реакцій, перераховувати які немає можливості. Тому відзначимо тільки загальну закономірність. Найважливіший результат, що його одержали фізики, вивчаючи ядерні реакції, — це підтвердження законів збереження. Було з'ясовано, що в ядерних реакціях зберігаються енергія, імпульс, момент імпульсу, електричний заряд, масове число. Урахування законів збереження дозволяє передбачати можливі варіанти ядерних перетворень.

Енергію, яка вивільняється внаслідок ядерної реакції, називають **енергетичним виходом  $\Delta W$  ядерної реакції**:

$$\Delta W = \Delta mc^2, \quad \text{або} \quad \Delta W = \Delta m \cdot 931,5 \frac{\text{MeB}}{\text{а. о. м.}},$$

де  $\Delta m = m_1 - m_2$  (тут  $m_1$  — маса частинок до реакції,  $m_2$  — маса частинок після реакції).



На завершення параграфа повернемося до його назви. Що є спільним і в чому полягають відмінності між ядерною реакцією і радіоактивним розпадом? Спільною ознакою обох явищ є ядерне перетворення. Відмінність же полягає в тому, що радіоактивний розпад відбувається спонтанно, а ядерна реакція спричиняється зовнішнім впливом на ядро.

### 5 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** У результаті поглинання ядром Нітрогену  ${}^{14}_7\text{N}$   $\alpha$ -частинки з'являються невідомий елемент і протон. Запишіть ядерну реакцію та визначте невідомий елемент.

${}^Z_A\text{X} - ?$

Дано:

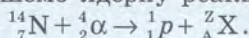
${}^4_2\alpha$

${}^{14}_7\text{N}$

${}^1_1\text{P}$

*Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі.*  
Для розв'язання задачі запишемо ядерну реакцію. Суми зарядів і мас для лівої і правої частин формули реакції мають збігатися. Із цих рівнянь одержимо невідомі значення. Потім знайдемо невідомий елемент, скориставшись Періодичною системою.

*Розв'язання.* Запишемо ядерну реакцію:



Обчислимо маси та заряди в обох частинах рівняння реакції:

$$14 + 4 = 1 + A; \quad 7 + 2 = 1 + Z.$$

Із цих рівнянь одержимо:  $A = 17$ ;  $Z = 8$ .

Із Періодичної системи знайдемо, що невідомим елементом є ізоотоп Оксигену  ${}^{17}_8\text{O}$ .

**Відповідь:** невідомий елемент є ізоотопом Оксигену  ${}^{17}_8\text{O}$ .

### ! Підбиваємо підсумки

Дослідження показали, що в будь-якому радіоактивному випромінюванні наявні  $\alpha$ -частинки,  $\beta$ -частинки та  $\gamma$ -частинки (весь набір або частково).

★ Сутність  $\alpha$ -розпаду та  $\beta$ -розпаду полягає в переході збудженого стану атомного ядра в основний із випускненням відповідно  $\alpha$ - або  $\beta$ -частинки й (можливо) одного-двох  $\gamma$ -квантів;  $\alpha$ - і  $\beta$ -розпади підпорядковуються правилам зміщення Содді.

Спонтанний поділ — це явище, за якого певне ядро без жодного впливу ззовні поділяється на дві частини.★

Ядерною реакцією називають взаємодію ядер або елементарних частинок із ядром, що відбувається з утворенням частинок, відмінних від вихідних. Під час ядерних реакцій справджуються класичні закони збереження.

### ? Контрольні запитання

1. Які види радіоактивного випромінювання ви знаєте? ★ 2. Сформулюйте правила зміщення Содді. ★ 3. Що називають ядерною реакцією? 4. Хто й коли першим здійснив ядерну реакцію? 5. Чим відрізняються ядерні реакції від радіоактивних перетворень? 6. Які відомі вам закони збереження справджуються під час ядерних реакцій?

### Вправа № 40

1. Під час радіоактивного розпаду з ядра  ${}^{238}_{92}\text{U}$  випромінюється  $\alpha$ -частинка. Запишіть ядерну реакцію. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Урану?

2. Ядро Натрію  ${}^{24}_{11}\text{Na}$ , розпадаючись, випромінює електрон. Ядро якого елемента при цьому утворюється?
3. Запишіть ядерні реакції, заповнивши пропуски:
 

1) ${}^{19}_9\text{F} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{16}_8\text{O} + ?$ ;	2) ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ? + {}^1_1\text{H}$ ;
3) ${}^{55}_{25}\text{Mn} + ? \rightarrow {}^{55}_{26}\text{Fe} + {}^1_0\text{n}$ ;	4) $? + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{22}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He}$ .
4. Унаслідок бомбардування ізотопу Нітрогену  ${}^{14}_7\text{N}$  нейтронами отримано ізоотп Карбону  ${}^{14}_6\text{C}$ , який виявився  $\beta$ -радіоактивним. Запишіть рівняння обох реакцій.
5. Унаслідок опромінювання ізотопу Меркурію  ${}^{198}_{80}\text{Hg}$  нейтронами утворюються атоми Ауруму  ${}^{198}_{79}\text{Au}$ . Запишіть ядерну реакцію. Чи вигідно таким шляхом практично отримувати золото?