



§ 41. ОТРИМАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОНУКЛІДІВ. МЕТОДИ РЕЄСТРАЦІЇ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ



Вивчаючи § 40, ви з'ясували, що ядра деяких хімічних елементів можуть самовільно перетворюватися на інші ядра і що на швидкість цього перетворення не впливають ні тиск, ні температура, ні найпотужніші електромагнітні поля. Дізнаємось, як змусити ядро перетворитися на інше ядро, які ядра при цьому можна отримати, як їх ідентифікувати і де застосувати.

Зверніть увагу!

Під час будь-яких ядерних реакцій виконуються закони збереження:

- закон збереження електричного заряду;
- закон збереження енергії-маси;
- закон збереження імпульсу;
- закон збереження масового числа.

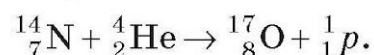
? Переконайтесь, що в ядерних реакціях, поданих у § 41, і сума зарядових чисел, і сума масових чисел у лівій і правій частинах кожного рівняння є однаковими.

1

Декілька фактів про ядерні реакції

Перетворення атомних ядер під час їх взаємодії з елементарними частинками або іншими ядрами називають **ядерною реакцією**.

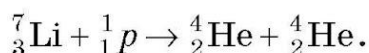
Першу ядерну реакцію здійснив *Ернест Резерфорд* у 1919 р. Це була реакція взаємодії α -частинки (ядро атому Гелію) з ядром атома Нітрогену, внаслідок якої утворилися ядро атома Оксигену і протон:



Чому саме α -частинка? Річ у тім, що α -частинки мають величезну швидкість і *можуть наблизитися до ядра настільки, що почнуть діяти ядерні сили*.

Продовжуючи дослід, вчені з'ясували, що енергії α -частинок не вистачає, щоб

достатньо наблизитися до ядер, які мають порядковий номер більший за 19, адже зі збільшенням заряду ядра збільшується й сила кулонівського відштовхування. Щоб дослідити такі ядра, можна було б використати протони (їхній заряд удвічі менший), але швидких протонів у природі не існує. Саме тоді виникла ідея створення *прискорювачів заряджених частинок*. Перша *ядерна реакція на швидких протонах* була здійснена в лабораторії Е. Резерфорда в 1932 р.: унаслідок опромінення літію швидкими протонами вдалося розщепити ядро атома Літію на дві α -частинки:



Сучасні прискорювачі забезпечують можливість штучного перетворення або руйнування будь-якого атомного ядра.

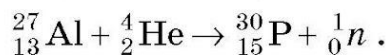
Ще більше можливостей для дослідження ядерних реакцій учені отримали у зв'язку з відкриттям нейтрона (1932 р.): *нейтрон не має заряду, тому не відштовхується ядром*, отже, його не потрібно прискорювати. У ході дослідження реакцій на нейтронах було виявлено, що *повільний нейтрон захоплюється ядром краще, ніж швидкий нейтрон*. Цей факт був установлений експериментально групою молодих італійських учених під керівництвом *Енріко Фермі* (1901–1954) у 1934 р. Саме використання повільних нейтронів дозволило з часом створити ядерний реактор (див. § 42).

2

Одержання та використання радіоактивних ізотопів

Згадаємо: ізотопи — це різновиди атомів того самого хімічного елемента, ядра яких містять ту саму кількість протонів, але різну кількість нейтронів. Відповідно **радіоактивні ізотопи** — це різновиди атомів того самого хімічного елемента, ядра яких можуть довільно перетворюватися на ядра інших елементів із випромінюванням мікрочастинок і γ -променів.

Перший штучний радіоактивний ізоотоп — ізоотоп Фосфору (${}^{30}_{15}\text{P}$) — одержало подружжя *Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі* в 1934 р. Опромінюючи алюміній α -частинками, вони спостерігали випромінювання нейтронів:

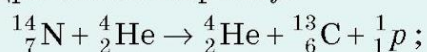


Цікавим було те, що одночасно з випромінюванням нейтронів випромінювались і позитрони.

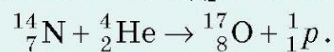
Здійснення першої ядерної реакції

У 1919 р. Е. Резерфорд виявив, що під час проходження α -частинок крізь повітря виникають протони. Учений висунув два *припущення*:

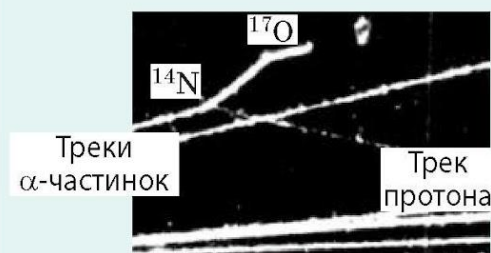
1) α -частинка як швидкий «снаряд» вибиває протон із ядра атома Нітрогену (із азоту на 80 % складається повітря), і це ядро перетворюється на ядро атома Карбону:



2) α -частинка захоплюється ядром атома Нітрогену, нове ядро випромінює протон і перетворюється на ядро Оксигену:



Слушним виявилось друге припущення — відповідну реакцію 6 років потому спостерігали в камері Вільсона.



Треки ядер у камері Вільсона. Характерна «вилка» показує, що в момент зіткнення утворюються дві частинки



Рис. 41.1. Для покращення якості добрива з'ясовують, як його засвоюють рослини. Для цього до добрива додають радіоактивний ізотоп, а потім досліджують рослини на радіоактивність

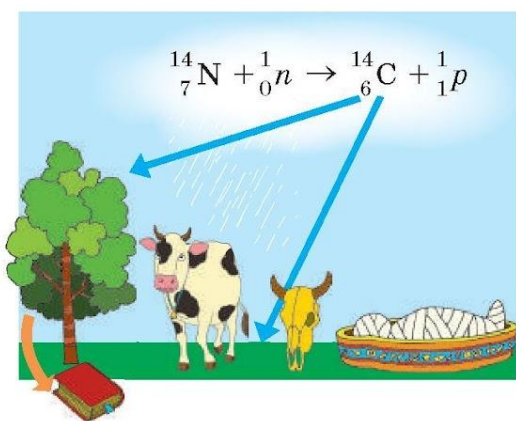


Рис. 41.2. За вмістом β^- -радіоактивного Карбону $^{14}_6\text{C}$, період піврозпаду якого 5700 років, можна визначити вік археологічних знахідок: після загибелі дерева, тварини тощо кількість β -розпадів зменшується вдвічі кожні 5700 років

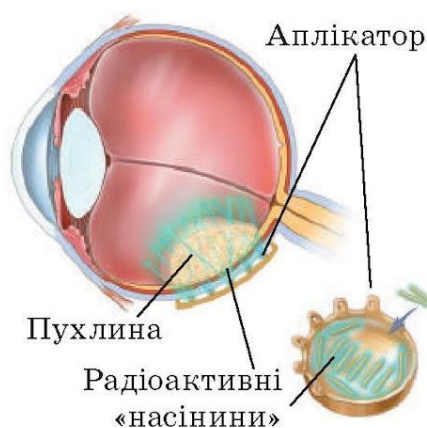
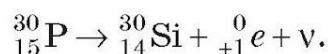


Рис. 41.3. Для лікування деяких видів пухлин використовують радіоактивні «аплікатори», які наносять на поверхню пухлини (брахітерапія)

Наявність позитронів означала, що отримане ядро Фосфору-30 було β^+ -радіоактивним:



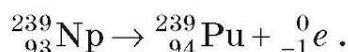
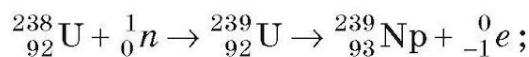
Зараз для кожного хімічного елемента за допомогою ядерних реакцій одержані *штучні радіоактивні ізотопи*, і зазвичай вони є β^+ -радіоактивними. У промислових масштабах ізотопи одержують в ядерних реакторах, використовуючи як продукти поділу, так і нейтрони, якими опромінюють речовини.

Штучні та природні радіоактивні ізотопи широко використовують у медицині, сільському господарстві, промисловості, енергетиці тощо. Можна визначити три напрями використання радіоактивних ізотопів.

1. *Використання радіоактивних ізотопів як індикаторів.* Радіоактивність є своєрідною міткою, за допомогою якої можна виявити наявність елемента, простежити за його «поведінкою» під час фізичних і біологічних процесів тощо (див., наприклад, [рис. 41.1](#), [41.2](#)). Саме за допомогою таких індикаторів було доведено, що організм людини майже повністю оновлюється протягом двох років.

2. *Використання радіоактивних ізотопів як джерел γ -випромінювання.* За допомогою γ -випромінювання знищують мікроби (γ -стерилізація), виявляють дефекти всередині металів (γ -дефектоскопія), лікують онкологічні захворювання ([рис. 41.3](#)). Опромінення насіння невеликими дозами γ -випромінювання сприяє значному підвищенню врожайності, а опромінення великими дозами може привести до мутацій і отримання рослин із поліпшеними властивостями (радіоселекція).

3. *Використання радіоактивних ізотопів як джерел ядерної енергії.* Наприклад, як паливо для ядерних реакторів широко використовують Плутоній — трансурановий елемент, атоми якого утворюються внаслідок захоплення нейтрону ядром Урану-238:



3 Пристрої для реєстрації йонізуючого випромінювання

Загальний принцип реєстрації йонізуючого випромінювання полягає в реєстрації дії, яку чинить це випромінювання.

Шар фотоемulsії. Швидка заряджена частинка, рухаючись у шарі фотоемulsії, що містить кристали AgBr , на своєму шляху вириває електрони з деяких йонів Броду. Під час проявлення в змінених кристалах утворюються «зерна» металевого срібла — в шарі фотоемulsії проступають сліди (треки) первинної частинки та всіх заряджених частинок, що виникли внаслідок ядерних взаємодій. За товщиною і довжиною треків можна визначити заряди частинок та їхню енергію.

Сцинтиляційний лічильник — детектор сцинтиляцій — світлових спалахів, які відбуваються в певних речовинах унаслідок ударів заряджених частинок. Саме такі лічильники використовував Е. Резерфорд у своєму досліді з визначення будови атомів (див. § 36).

Камера Вільсона (рис. 41.4) — це *трековий детектор*. Вона являє собою ємність, заповнену паром спирту або ефіру. Коли поршень різко опускають, то внаслідок адіабатного розширення пара охолоджується і стає *перенасиченою*. Коли в перенасичену пару потрапляє заряджена частинка, на своєму шляху вона йонізує молекули пари — отримані йони стають центрами конденсації. Ланцюжок крапель сконденсованої пари, який утворюється вздовж траєкторії руху частинки (трек частинки), знімають на камеру або фотографують (рис. 41.5).

Бульбашкова камера є теж *трековим детектором*. Принцип її роботи подібний до камери Вільсона, а відмінність полягає в тому, що робочим тілом у бульбашковій камері є перегріта рідина: йони, які виникають уздовж траєкторії руху частинки, стають центрами кипіння — утворюється ланцюжок бульбашок.

Газорозрядний лічильник (рис. 41.6) і йонізаційна камера (рис. 41.7) працюють за одним принципом: робоче тіло — газ — розміщено в електричному полі з високою напругою; заряджена частинка, що пролітає крізь газ, йонізує його, і в пристрої виникає газовий розряд.

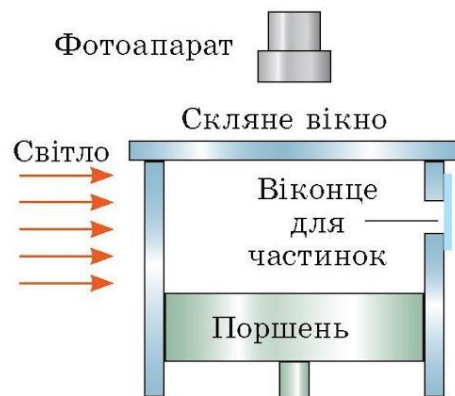


Рис. 41.4. Будова камери Вільсона

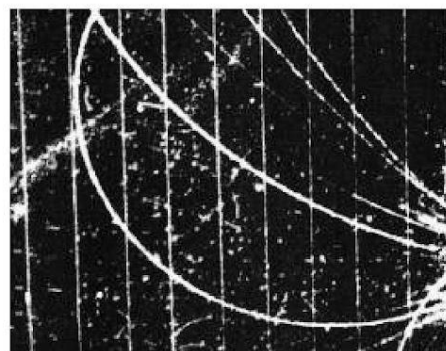


Рис. 41.5. Фотографія треків заряджених частинок у камері Вільсона

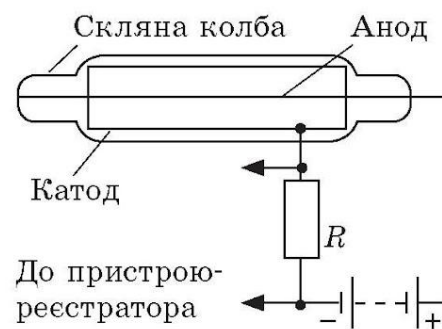


Рис. 41.6. Будова газорозрядного лічильника (лічильника Гейгера — Мюллера)



Рис. 41.7. Йонізаційна камера

У деяких йонізаційних камерах уздовж траєкторії руху частинки спостерігається виникнення стримерів — «згустків» газового розряду, тому такі камери є *трековими детекторами*. В інших видах йонізаційних камер і в газорозрядних лічильниках фіксується імпульс струму — це *імпульсні детектори*. Саме імпульсними є детектори **дозиметрів** — *приладів для вимірювання дози йонізуючого випромінювання, отриманого приладом за деякий інтервал часу*.



Представники яких професій мають обов'язково користуватися дозиметрами?

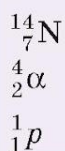
4

Учимося розв'язувати задачі

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

Аналіз фізичної проблеми. Для розв'язання задачі запишемо ядерну реакцію. У лівій і правій частинах формули реакції суми зарядів, як і суми мас, мають збігатися. Із відповідних рівнянь одержимо зарядове та масове числа невідомого елемента.

Дано:



^A_ZX — ?

Розв'язання. Запишемо ядерну реакцію: $^{14}_7\text{N} + ^4_2\alpha \rightarrow ^1_1p + ^A_Z\text{X}$.

Запишемо суму мас і суму зарядів для обох частин рівняння реакції:

$14 + 4 = 1 + A$; $7 + 2 = 1 + Z$. Із одержаних рівнянь маємо: $A = 17$; $Z = 8$.

За Періодичною системою хімічних елементів визначимо: невідомий елемент — це ізоотоп Оксигену $^{17}_8\text{O}$.

Відповідь: ізоотоп Оксигену $^{17}_8\text{O}$.



Підбиваємо підсумки

- Ядерною реакцією називають взаємодію ядер або елементарних частинок із ядром, яка відбувається з утворенням частинок, відмінних від вихідних. Під час ядерних реакцій, як і під час будь-яких явищ, що відбуваються у Всесвіті, справджуються закони збереження: закон збереження електричного заряду, закон збереження імпульсу, закон збереження енергії-маси.
- Завдяки ядерним реакціям отримано штучні радіоактивні ізоотопи, які використовують у медицині, сільському господарстві, енергетиці тощо.
- Для реєстрації та визначення потужності йонізуючого випромінювання використовують шари фотоемульсій, сцинтиляційні лічильники, бульбашкові камери, камери Вільсона, йонізаційні камери.
- Для вимірювання дози йонізуючого випромінювання використовують дозиметри.



Контрольні запитання

1. Що називають ядерною реакцією?
2. Хто і коли здійснив першу ядерну реакцію?
3. Які відомі вам закони збереження справджуються під час ядерних реакцій?
4. Хто першим отримав штучний радіоактивний ізоотоп?
5. Наведіть приклади використання природних і штучних радіоактивних ізоотопів.
6. Які прилади для вимірювання та реєстрації радіаційного випромінювання ви знаєте? Який принцип покладено в основу роботи цих приладів?



Вправа № 41

1. Яким детектором — сцинтиляційним, трековим чи імпульсним — є шар фотоємальності?
2. Унаслідок опромінювання радіонукліда $^{198}_{80}\text{Hg}$ нейтронами утворюються ядра $^{198}_{79}\text{Au}$. Запишіть рівняння ядерної реакції.
3. Відновіть рівняння ядерних реакцій.
1) $^{19}_9\text{F} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^{16}_8\text{O} + ?$; 2) $^{27}_{13}\text{Al} + \alpha \rightarrow ^1_1\text{p} + ?$; 3) $^{55}_{25}\text{Mn} + ? \rightarrow ^{55}_{26}\text{Fe} + ^1_0\text{n}$.
4. Унаслідок бомбардування ізотопу Нітрогену $^{14}_7\text{N}$ нейтронами отримано β^- -радіоактивний ізотоп Карбону $^{14}_6\text{C}$. Запишіть рівняння обох реакцій.
5. Визначте вік залишків стародавнього поселення (у тис. років), якщо в деревині, знайдений на місці розкопок, радіоактивного Карбону $^{14}_6\text{C}$ залишилося 12,5 % від його початкової кількості.
6. Вважають, що із всієї атомної індустрії головна користь для людства полягає саме у використанні радіоактивних ізотопів. Об'єднайтеся в команди, оберіть для кожної команди галузь застосування радіоізотопів (медицина, наука, біологія тощо) і проведіть диспут на тему «Саме в нашій галузі не обійтися без радіоактивних ізотопів».
7. Назвіть причини, через які ви завжди і незалежно від того, де мешкаєте, зазнаєте впливу радіації.



Джерело: Фізика. Підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти за ред. Бар'яхтара В.Г., Довгого С.О. – Харків, «Ранок», 2019р