§ 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 ані тиск, ані температура, ані 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:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}p.$$

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 досліди, 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:

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}.$$

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).

Здійснення першої ядерної реакції

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

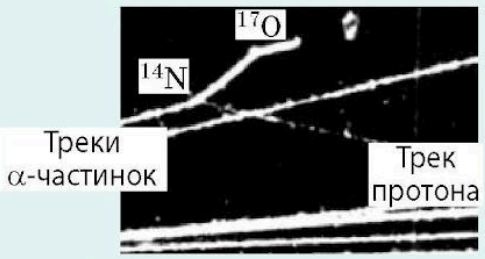
1) α-частинка як швидкий «снаряд» вибиває протон із ядра атома Нітрогену (із азоту на 80 % складається повітря), і це ядро перетворюється на ядро атома Карбону:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{13}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}p\,;$$

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

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}p.$$

Слушним виявилося 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

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

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\mathrm{P} + {}^{1}_{0}n\,.$$

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



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

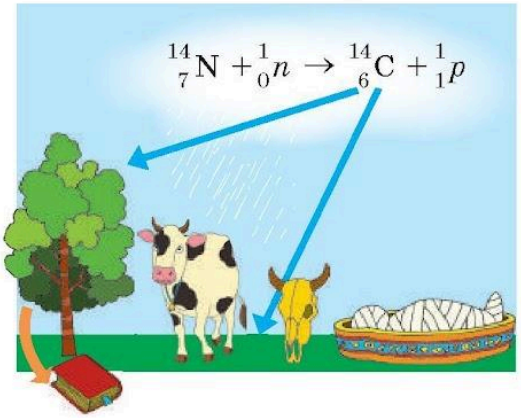


Рис. 41.2. За вмістом β^--радіоактивного Карбону $^{14}_{6}\mathrm{C}$, період піврозпаду якого 5700 років, можна визначити вік археологічних знахідок: після загибелі дерева, тварини тощо кількість β-розпадів зменшується вдвічі кожні 5700 років

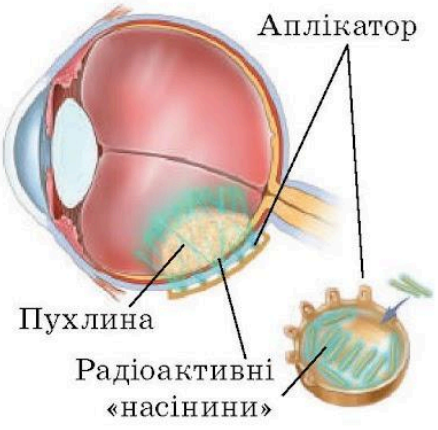


Рис. 41.3. Для лікування деяких видів пухлин використовують радіоактивні «аплікатори», які наносять на поверхню пухлини (брахітерапія)

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

$$^{30}_{15}\mathrm{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{+1}e + \nu.$$

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:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{239}_{93}\mathrm{Np} + {}^{0}_{-1}e;$$

$$^{239}_{93}\mathrm{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{0}_{-1}e.$$

3 Пристрої для реєстрації йонізуючого випромінювання

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

Шар фотоемульсії. Швидка заряджена частинка, рухаючись у шарі фотоемульсії, що містить кристали AgBr, на своєму шляху вириває електрони з деяких йонів Брому. Під час проявлення в змінених кристалах утворюються «зерна» металевого срібла — в шарі фотоемульсії 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 парою 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.

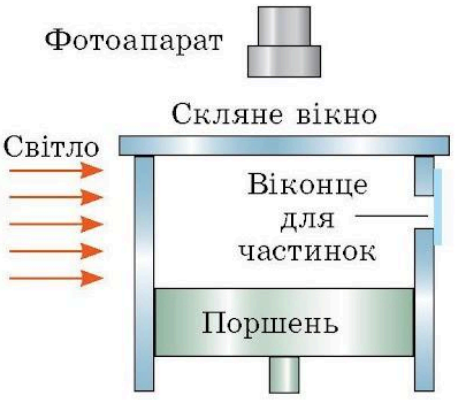


Рис. 41.4. Будова камери Вільсона

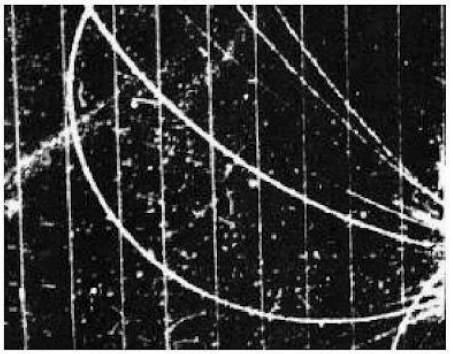


Рис. 41.5. Фотографія треків заряджених частинок у камері Вільсона

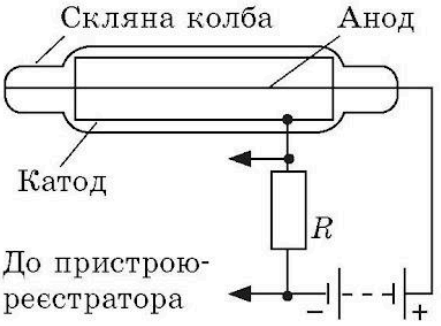


Рис. 41.6. Будова газорозрядного лічильника (лічильника Ґейґера — Мюллера)



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 $^{14}_{7}\mathrm{N}$ 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:	*Розв'язання.* Запишемо ядерну реакцію: $^{14}_{7}\mathrm{N}+{}^{4}_{2}\alpha \to {}^{1}_{1}p+{}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.
$^{14}_{7}\mathrm{N}$ $^{4}_{2}\alpha$ $^{1}_{1}p$	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 ізотоп Оксигену $^{17}_{8}\mathrm{O}$.
$^{A}_{Z}\mathrm{X}$ — ?	*Відповідь:* ізотоп Оксигену $^{17}_{8}\mathrm{O}$.



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 ізотопи, 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 ізотоп? **5.** Наведіть приклади використання природних і штучних радіоактивних ізотопів. **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 фотоемульсії?
2. Унаслідок опромінювання радіонукліда $^{198}_{80}\mathrm{Hg}$ нейтронами утворюються ядра $^{198}_{79}\mathrm{Au}$. Запишіть рівняння ядерної реакції.
3. Відновіть рівняння ядерних реакцій.
   1) $^{19}_{9}\mathrm{F} + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{16}_{8}\mathrm{O} + ?$; 2) $^{27}_{13}\mathrm{Al} + \alpha \rightarrow {}^{1}_{1}p + ?$; 3) $^{55}_{25}\mathrm{Mn} + ? \rightarrow {}^{55}_{26}\mathrm{Fe} + {}^{1}_{0}n$.
4. Унаслідок бомбардування ізотопу Нітрогену $^{14}_{7}\mathrm{N}$ нейтронами отримано β^--радіоактивний ізотоп Карбону $^{14}_{6}\mathrm{C}$. Запишіть рівняння обох реакцій.
5. Визначте вік залишків стародавнього поселення (у тис. років), якщо в деревині, знайденій на місці розкопок, радіоактивного Карбону $^{14}_{6}\mathrm{C}$ 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