

20.10.2023

Група 31

Фізика і астрономія

Урок 38-39

Тема: Методи реєстрації іонізуючого випромінювання. Ланцюгова реакція поділу ядер Урану

Мета:

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати знання з фізики під час розв'язування прикладних задач; формувати уяву про процеси у природі;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення фізики та астрономії; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення фізики та астрономії, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

Матеріали до уроку:

3 Пристрої для реєстрації іонізуючого випромінювання

Загальний принцип реєстрації іонізуючого 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

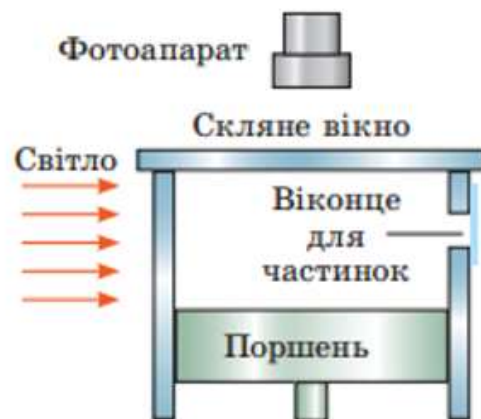


Рис. 41.4. Будова камери Вільсона

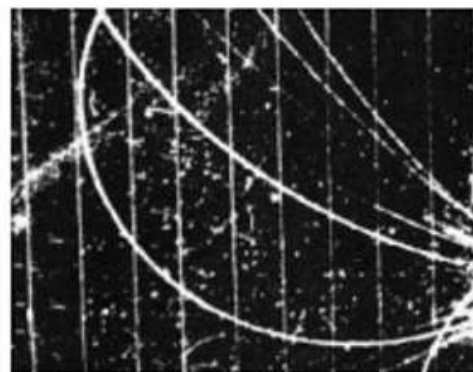


Рис. 41.5. Фотографія треків заряджених частинок у камері Вільсона

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.

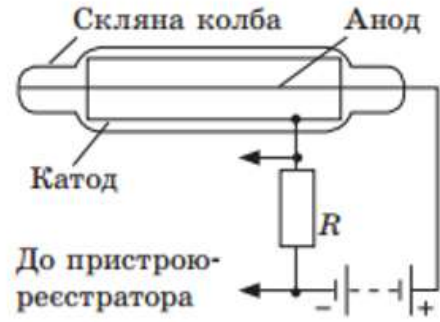


Рис. 41.6. Будова газорозрядного лічильника (лічильника Гейгера — Мюллера)



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.

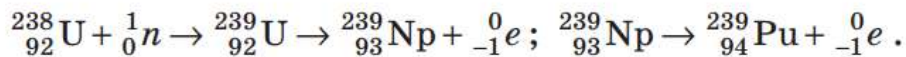
Дано:	Розв'язання. Запишемо ядерну реакцію: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^A_Z\text{X}$.
${}^{14}_7\text{N}$	Запишемо суму мас і суму зарядів для обох частин рівняння реакції:
${}^4_2\alpha$	$14 + 4 = 1 + A$; $7 + 2 = 1 + Z$. Із одержаних рівнянь маємо: $A = 17$; $Z = 8$.
${}^1_1\text{p}$	За Періодичною системою хімічних елементів визначимо: невідомий елемент — це ізотоп Оксигену ${}^{17}_8\text{O}$.
${}^A_Z\text{X} - ?$	Відповідь: ізотоп Оксигену ${}^{17}_8\text{O}$.



Наприкінці 1938 р. було виявлено, що ядро Урану (важке ядро), поглинаючи нейтрон, «лускає» — розпадається на два осколки (на два легші ядра). У січні 1939 р. Енріко Фермі звернув увагу на те, що, за розрахунками, під час поділу ядра Урану повинні утворюватися нейтрони, які можуть знову захопитися ядрами Урану, тому можлива ланцюгова ядерна реакція. Згадаємо, як ці два відкриття привели до створення ядерного реактора.

1 Поділ важких ядер і ланцюгова ядерна реакція

Розглядаючи ядерні реакції, ви дізналися, що ядро може захоплювати нейтрон. У більшості випадків це приводить до β^- -радіоактивності: через деякий час один із нейтронів усередині ядра перетворюється на протон, електрон і нейтрино. Електрон і нейтрино вилітають із ядра, а нове ядро має порядковий номер, який на одну одиницю більший за порядковий номер первинного ядра. Саме так були отримані *трансуранові елементи*, наприклад Нептуній і Плутоній:



Захоплення нейтрона ядром Урану може привести й до іншого результату: унаслідок захвату нейтрона ядро збуджується та майже миттєво

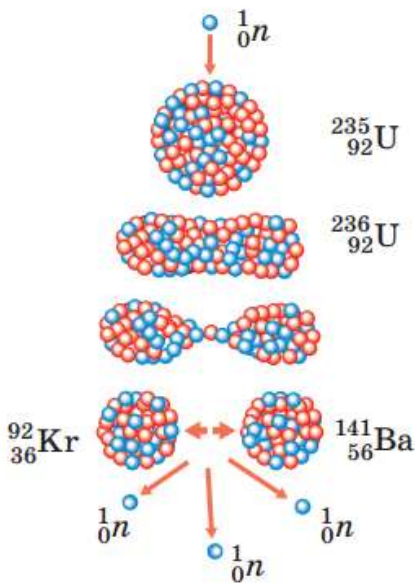


Рис. 42.1. Схема поділу ядра Урану. Поглинаючи нейтрон, ядро Урану збуджується і набуває видовженої форми; поступово розтягуючись, нове нестійке ядро розпадається на два осколки

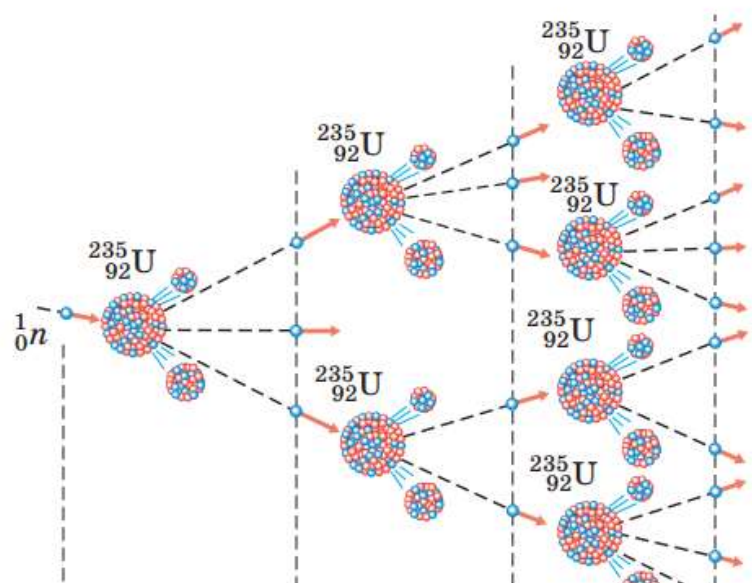


Рис. 42.2. Схематичне зображення ланцюгової ядерної реакції: під час одного акту поділу ядра Урану вивільняються 2 або 3 нейтрони, завдяки чому і розвивається ланцюгова ядерна реакція

розпадається (розщеплюється) на два осколки (рис. 42.1). Під час розщеплення ядра Урану крім осколків поділу вивільняються нейтрони. Ці вторинні нейтрони можуть спричинити поділ інших ядер Урану, які, у свою чергу, також випустять нейтрони, що здатні викликати поділ наступних ядер, і т. д. Отже, в урановому зразку може відбуватися **ланцюгова ядерна реакція поділу**.

Якщо кількість нейтронів, що вступають у реакцію, збільшуватиметься, то кількість актів поділу зростатиме лавиноподібно (рис. 42.2) — відбудеться **ядерний вибух**. Якщо кількість ядер Урану, що вступили в реакцію, підтримувати на одному рівні, то матимемо справу з **керованою ланцюговою ядерною реакцією поділу**.

Ланцюгова ядерна реакція супроводжується виділенням величезної кількості енергії, адже утворюються ядра з більшою питомою енергією зв'язку: для ядра Урану-235 питома енергія зв'язку дорівнює приблизно 7,6 МеВ/нуклон, а для ядер осколків — елементів середньої частини Періодичної системи хімічних елементів — 8,5 МеВ/нуклон. Отже, *під час поділу одного ядра Урану-235 (містить 235 нуклонів) вивільняється близько 200 МеВ енергії*: $\Delta E = (8,5 - 7,6) \cdot 235 \approx 200 \text{ (МеВ)}$; $\Delta E = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$.

Якщо розпадуться всі ядра, наприклад, в одному молі Урану-235 ($6,02 \cdot 10^{23}$ ядер), то виділиться енергія $E = 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \approx 2 \cdot 10^{13}$ (Дж). Це еквівалентно енергії, яка виділяється під час згоряння 2000 т дров.

? Скільки дров треба спалити, щоб отримати енергію, яка виділяється під час повного розпаду 1 г урану (${}_{92}^{235}\text{U}$)?

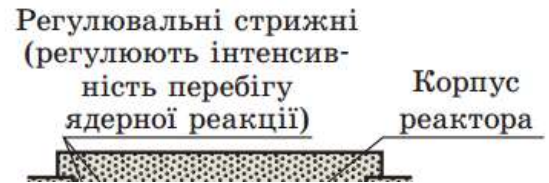
2 Як здійснити ланцюгову ядерну реакцію

Гіпотеза Е. Фермі щодо можливості ланцюгової ядерної реакції відразу була прийнята фізиками, хоча й суперечила фактам: ніхто не бачив цієї реакції в природному урані. Чому ж не бачили? Адже навколо нас завжди є певна кількість вільних нейтронів (1000 таких нейтронів щосекунди пролітає через тіло людини), які можуть потрапити в урановий зразок і спричинити початок ланцюгової реакції. До того ж дослідження показали, що під час поділу 100 ядер Урану вивільняється 242 нейтрони, а це означає, що урановий зразок майже миттєво повинен вибухати. Цього, однак, не відбувається.

Річ у тім, що природний уран в основному складається з двох радіонуклідів: ${}_{92}^{235}\text{U}$ і ${}_{92}^{238}\text{U}$. Уран-235 ділиться під впливом як швидких, так і повільних нейтронів (краще під впливом повільних). А от Уран-238 ділиться під впливом тільки частини швидких нейтронів (він майже не захоплює повільні нейтрони, а 80 % швидких нейтронів захоплює без ділення). У природному урані 149 ядер із 150 є ядрами Урану-238, а більшість нейтронів, вивільнених під час розпаду, є швидкими, тому, якщо вони і захоплюються ядрами Урану-238, вторинні нейтрони майже не з'являються.

Сподіваємося, ви здогадалися: щоб реакція все ж таки відбулася, слід **збагачувати природний уран ізотопом ${}_{92}^{235}\text{U}$ і (або) сповільнювати нейтрони**.

Однак це не все. Навіть якщо взяти чистий уран, що складається тільки з нукліда $^{235}_{92}\text{U}$, або чистий плутоній ($^{239}_{94}\text{Pu}$), ядра якого також діляться, захоплюючи нейтрон, то за невеликої маси зразка ланцюгова ядерна реакція не розвинеться, адже більшість нейтронів вилетить із зразка, так і не зіштовхнувшись з ядром. Якщо збільшувати масу зразка, то кількість нейтронів, що вступає в реакцію поділу, буде збільшуватися, а з досягненням певної критичної маси почне розвиватися ланцюгова ядерна реакція. Найменшу критичну масу має зразок, виготовлений у формі кулі (за даного об'єму площа сфери є найменшою). Наприклад, найменша критична маса для чистого урану ($^{235}_{92}\text{U}$) становить близько 50 кг (куля діаметром 17 см), а для чистого плутонію ($^{239}_{94}\text{Pu}$) — 11 кг (куля діаметром 10 см). Якщо два зразки урану ($^{235}_{92}\text{U}$), маса кожного з яких ледь менша від критичної, привести до дотику, відбудеться надпотужний ядерний вибух.



Домашнє завдання: дати відповіді на запитання (у зошиті):

- 1) Назвіть причини, через які ви завжди і незалежно від того, де мешкаєте, зазнаєте впливу радіації.
- 2) Скільки дров треба спалити, щоб отримати енергію, яка виділяється під час повного розпаду 1 г урану ($^{235}_{92}\text{U}$)?

Зворотній зв'язок:

E-mail t.anastasia.igorivna@gmail.com