

21.11.2023

Група 32

Фізика і астрономія

Урок 33-34

Тема: Ланцюгова реакція поділу ядер Урану. Термоядерні реакції

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:

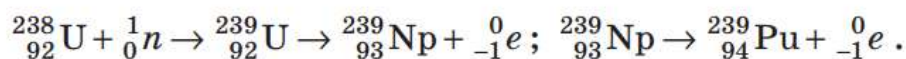


Наприкінці 1938 р. було виявлено, що ядро Урану (важке ядро), поглинаючи нейтрон, «лускає» — розпадається на два осколки (на два легші ядра). У січні 1939 р. Енріко Фермі звернув увагу на те, що, за розрахунками, під час поділу ядра Урану повинні утворюватися нейтрони, які можуть знову захопитися ядрами 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

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 розпадутся 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 ($^{235}_{92}\text{U}$)?

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: $^{235}_{92}\text{U}$ і $^{238}_{92}\text{U}$. 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 $^{235}_{92}\text{U}$ і (або) сповільнювати нейтрони*.

Ядерний реактор — пристрій, призначений для здійснення керованої ланцюгової реакції поділу, яка завжди супроводжується виділенням енергії.

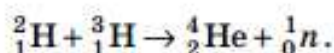
Керована ланцюгова ядерна реакція відбувається в *активній зоні* реактора. ТВЕЛ (рис. 42.4) пронизують всю активну зону реактора і занурені в *теплоносій*, який часто слугує також *сповільнювачем нейтронів*. Продукти поділу нагрівають оболонки ТВЕЛів, і ті передають енергію *теплоносію*.

Отримана енергія перетворюється далі на електричну (рис. 42.5) подібно до того, як це відбувається на звичайних теплових електростанціях.

Щоб керувати ланцюговою ядерною реакцією та унеможливити ймовірність вибуху, використовують *регульовальні стрижні*, виготовлені з матеріалу, що добре поглинає нейтрони. Так, якщо температура в реакторі збільшується, стрижні автоматично заглиблюються в проміжки між ТВЕЛами; у результаті кількість нейтронів, що вступають у реакцію, зменшується і ланцюгова реакція сповільнюється.

4 Термоядерні реакції

Вивчаючи питому енергію зв'язку, ви з'ясували, що виділення енергії може відбуватися як під час поділу важких ядер, так і під час об'єднання (синтезу) деяких легких ядер. Наприклад, якщо зблизити ядра Дейтерію ${}^2_1\text{H}$ і Тритію ${}^3_1\text{H}$, унаслідок їх об'єднання виділиться 17,6 МеВ енергії (3,5 МеВ на кожний нуклон), оскільки утворюється ядро Гелію ${}^4_2\text{He}$ з більшою питомою енергією зв'язку:



Реакцію злиття легких ядер у важчі ядра, яка відбувається за дуже високих температур (понад 10^7 °C) і супроводжується виділенням енергії, називають **термоядерним синтезом**.



Рис. 42.4. ТВЕЛ (тепловідільний елемент) — пристрій, у якому міститься ядерне паливо (таблетки уран(IV) оксиду, збагаченого ізотопом ${}^{235}_{92}\text{U}$)

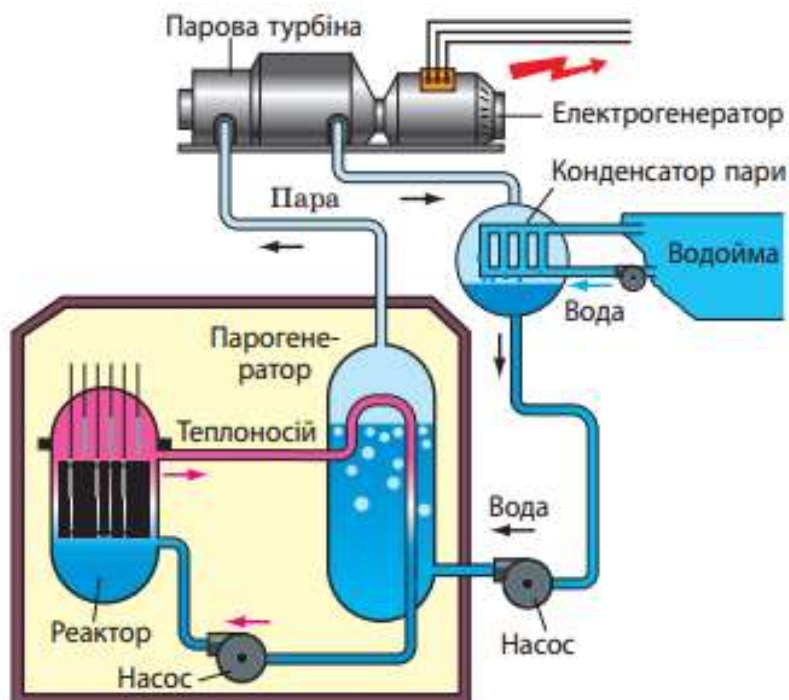


Рис. 42.5. Принцип роботи атомної електростанції

Високі температури, тобто великі кінетичні енергії ядер, потрібні для того, щоб подолати сили електричного відштовхування ядер. Без цього неможливо зблизити легкі ядра на такі відстані, на яких починають діяти ядерні сили притягання.

У природі термоядерні реакції відбуваються в надрах зір, де різні нукліди Гідрогену об'єднуються в ядра атомів Гелію. Так, за рахунок термоядерних реакцій, які відбуваються в надрах Сонця, воно щосекунди випромінює в космічний простір $3,8 \cdot 10^{26}$ Дж енергії. Це колосальна енергія — щоб стільки її отримати, потрібно спалити в тисячу разів більше вугілля, ніж усі відомі запаси на Землі.

Термоядерні реакції — це майже невичерпне джерело енергії. Фізики вже навчилися створювати умови для виникнення таких реакцій, а от їх використання в промисловому масштабі поки що залишається на рівні експериментів. Освоєння термоядерного синтезу виявилось значно складнішим, ніж здавалося на початку досліджень. Але фізики впевнені: майбутнє енергетики — за термоядерним синтезом.

5 Атомна енергетика України

Україна належить до тих країн світу, в яких завдяки наявності високих технологій, висококваліфікованих інженерів і вчених створена потужна атомна енергетика. На сьогодні в країні працюють чотири атомні електростанції: Запорізька, Рівненська, Южно-Українська, Хмельницька (рис. 42.6–42.9).

На АЕС України діють 15 атомних енергоблоків, загальна потужність яких становить 13 835 МВт, що забезпечує більш ніж половину потреб України в електроенергії. АЕС обслуговуються багатотисячними колективами висококваліфікованих фахівців. Фактично навколо кожної з українських АЕС виросло невелике місто.

Наявність в Україні джерел електроенергії, які працюють на ядерному паливі, безперечно, пом'якшує дедалі більший дефіцит «звичних» вуглеводних невідновлюваних енергоносіїв: газу, нафти, торфу, кам'яного вугілля.



Рис. 42.6. Запорізька АЕС — найбільша атомна електростанція Європи: 6 атомних енергоблоків потужністю 1000 МВт кожен



Рис. 42.7. Рівненська АЕС: 4 атомні енергоблоки загальною потужністю 2835 МВт



Рис. 42.8. Южно-Українська АЕС: 3 атомні енергоблоки потужністю 1000 МВт кожен



Рис. 42.9. Хмельницька АЕС: 2 атомні енергоблоки потужністю 1000 МВт кожен

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

- 1) Скільки дров треба спалити, щоб отримати енергію, яка виділяється під час повного розпаду 1 г урану ($^{235}_{92}U$)?
- 2) Дізнайтесь, які експерименти провели науковці, які пристрої побудували, які способи утримання плазми винайшли, намагаючись створити термоядерний реактор.

Зворотній зв'язок:

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