

§ 55. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕКОЛОГІЯ



З осені 2008 р. почав працювати найпотужніший фізичний пристрій сучасності — великий адронний колайдер (рис. 55.1). Навіщо ж уряди різних країн у великих обсягах фінансують досліджування першооснови матерії? Процес вкладання великих коштів у ядерну фізику почався ще в 40-х рр. минулого століття, коли вчені винайшли способи розщеплення атомного ядра та створили перші атомні енергетичні реактори.

Про те, як допомагають дослідження з ядерної фізики забезпечувати людство дешевою енергією, ви дізнаєтесь із цього параграфу.



1

Що таке ланцюгова ядерна реакція

У 1939 р. було з'ясовано, що внаслідок взаємодії ядра Урану-235 і нейтрона утворюється нове нестабільне ядро Урану ($^{236}_{92}\text{U}$), яке відразу розпадається на два осколки, що розлітаються з величезною швидкістю (рис. 55.2). До речі, цей процес теж може бути пояснений у рамках краплинної моделі ядра.

Під час поділу кожного ядра Урану вивільняються 2–3 нейтрони. Ці нейтрони, у свою чергу, можуть спричинити поділ інших ядер Урану, які також випускають нейтрони, здатні викликати поділ ядер, і т. д. Таким чином, кількість ядер, що поділилися, швидко збільшується (рис. 55.3). Цей процес дістав назву *ланцюгова*

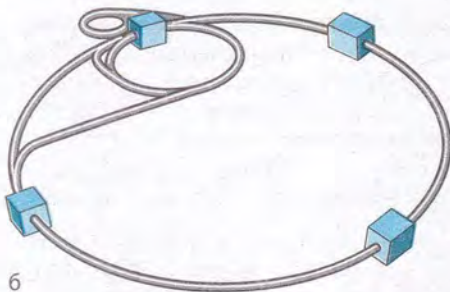
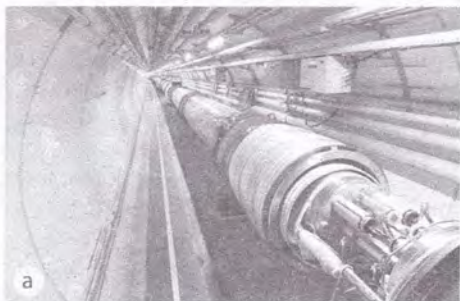


Рис. 55.1. Найбільший дослідницький пристрій — прискорювач заряджених частинок: а — вигляд ізсередини; б — схематичне зображення. Довжина кільця становить 26 км

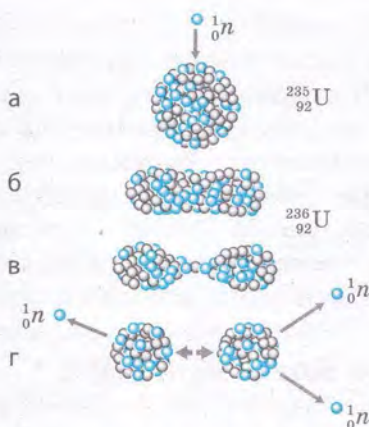


Рис. 55.2. Схема поділу ядер Урану. Поглинаючи нейтрон (а), ядро Урану збугнується й набуває витягнутої форми (б); поступово розтягуючись (в), нове нестійке ядро розпадається на два осколки (г)

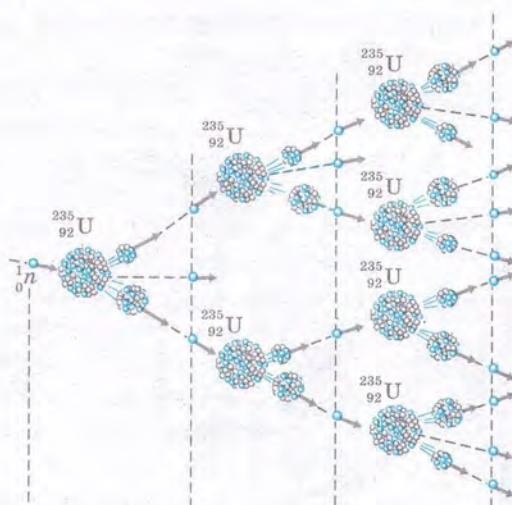


Рис. 55.3. Схематичне зображення ланцюгової ядерної реакції.

ядерна реакція. Хоча під час поділу кожного ядра Урану виділяється невелика кількість енергії — приблизно $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж, проте, якщо розпадуться всі ядра, що містяться, наприклад, в одному молі урану ($6,02 \cdot 10^{23}$ ядер), енергія, яка виділиться, дорівнюватиме приблизно $19,2 \cdot 10^{12}$ Дж. Таку саму кількість енергії можна отримати, наприклад, від згоряння 450 т нафти!★

2 Яким чином можна перетворити ядерну енергію на інші її види (теплову, електричну тощо)

Ланцюгова реакція, яка відбувається в урані й деяких інших речовинах, є основою для перетворення ядерної енергії на інші види енергії. Під час цієї реакції безперервно з'являються нові й нові осколки ядер, які летять із великою швидкістю. Якщо шматок урану занурити в холодну воду, то осколки гальмуватимуться у воді й нагріватимуть її. У результаті холодна вода стане гарячою або навіть перетвориться на пару. Саме так працює ядерний реактор, у якому відбувається процес перетворення ядерної енергії на теплову.

У реальних ядерних реакторах (рис. 55.4) ядерне паливо (уран або плутоній) розміщують усередині так званих тепловидільних елементів (ТВЕЛів).

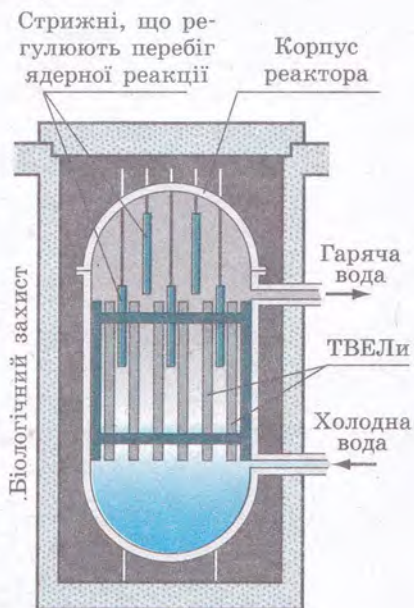


Рис. 55.4. Схема будови ядерного реактора

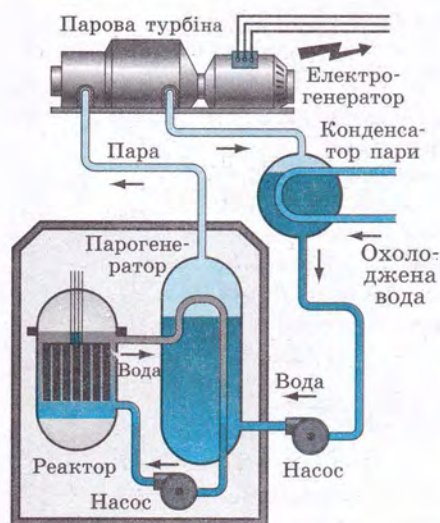


Рис 55.5. Принцип роботи атомної електростанції

Продукти поділу нагрівають оболонки ТВЕЛів, і ті передають теплову енергію воді, яку в цьому випадку ще називають теплоносієм. Отримана теплова енергія перетворюється далі на електричну (рис. 55.5) подібно до того, як це відбувається на звичайних теплових електростанціях.

3 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Визначте електричну потужність атомної електростанції, яка витрачає за добу 440 г ізотопу Урану-235 і має ККД 20 %. Під час поділу одного ядра $^{235}_{92}\text{U}$ виділяється 200 МеВ енергії.

$P_{\text{ел}}$ — ?

Дано:

$$m_{\text{U}} = 0,44 \text{ кг}$$

$$\eta = 20 \%$$

$$\Delta t = 86,4 \cdot 10^3 \text{ с}$$

$$N_{\text{A}} = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

Аналіз фізичної проблеми, розв'язання. Для розв'язання задачі скористаємося формулою для визначення потужності:

$$P_{\text{ел}} = \eta P_{\text{тепл}} \quad (1).$$

Теплову потужність знайдемо як відношення повної енергії, що вивільняється від поділу Урану, до часу:

$$P_{\text{тепл}} = \frac{E}{\Delta t} \quad (2).$$

Повна енергія дорівнює: $E = E_0 \cdot N$, де $N = \frac{m}{M} N_{\text{A}}$ — кількість атомів Урану; N_{A} — число Авогадро. Отже: $E = \frac{E_0 \cdot m \cdot N_{\text{A}}}{M}$ (3).

Підставивши вирази (2) і (3) у формулу (1), маємо:

$$P_{\text{ел}} = \eta P_{\text{тепл}} = \eta \frac{E}{\Delta t} = \eta \frac{NE_0}{\Delta t} = \frac{\eta E_0 N_{\text{A}} m_{\text{U}}}{M \Delta t}.$$

$$\text{Остаточно: } P_{\text{ел}} = \frac{\eta E_0 N_{\text{A}} m_{\text{U}}}{M \Delta t}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[P_{\text{ел}}] = \frac{\text{Дж} \cdot 1 / \text{моль} \cdot \text{кг}}{\text{кг} / \text{моль} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{с}} = \text{Вт};$$

$$\{P_{\text{ел}}\} = \frac{0,2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,44}{0,235 \cdot 86,4 \cdot 10^3} = 8,3 \cdot 10^7, \quad P_{\text{ел}} = 8,3 \cdot 10^7 \text{ Вт}.$$

Відповідь: електрична потужність АЕС $P_{\text{ел}} = 83 \text{ МВт}$.

4

Стан сучасної атомної енергетики. Екологічні проблеми

Україна належить до тих країн світу, в яких завдяки наявності високих технологій і висококваліфікованих інженерів та вчених створена й успішно розвивається атомна енергетика. На сьогодні в країні працюють 15 атомних енергоблоків, загальна потужність яких становить 13 580 МВт. На атомні електростанції припадає близько половини електроенергії, що виробляється в країні.

Зазвичай побоювання пересічного громадянина, коли йдеться про АЕС, пов'язані зі словом «радіація». Але, як показують дослідження, для основної маси населення найбільш небезпечними джерелами радіації є зовсім не ті, про які зазвичай говорять. Найбільший вплив радіації на людину відбувається за рахунок природних джерел радіації та під час медичних досліджень. Радіація, пов'язана з «нормальним» розвитком атомної енергетики, становить лише малу частину радіації, що спричинена діяльністю людини. На жаль, історія людства налічує декілька випадків аномального розвитку подій на атомних енергетичних реакторах. Наслідки цих випадків були катастрофічними.

Один із них, на жаль, відбувся в нашій країні. 26 квітня 1986 р. стався вибух на 4-му енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції. Причиною вибуху стало неконтрольоване виділення ядерної енергії всередині ядерного реактора. Через низку помилок персоналу станції стрижні, що регулюють хід ядерних реакцій, не змогли вчасно потрапити всередину реактора й погасити ланцюгову реакцію. Без них «атомний котел» (інша назва атомного реактора) уподібнився до скороварки на плиті, в якій не працює клапан, що випускає пару. Тому вибух був неминучим. Він призвів до пожежі на 4-му енергоблоці й до катастрофічного викиду радіоактивних речовин. Вітри рознесли ці шкідливі речовини на багато сотень і тисяч кілометрів.

Подібна за масштабами катастрофа відбулася на АЕС «Фукусіма» в Японії у 2011 р. Унаслідок землетрусу та цунамі припинили дію насоси, які перекачують теплоносії. Відбулися перегрів та пошкодження атомного реактора, і радіаційна речовина забруднила довкілля.

Тож зараз людство опинилося перед дилемою: поступове вичерпання традиційних енергоносіїв нібито підштовхує до розвитку атомної енергетики: водночас від аварій не застраховані навіть такі технологічно розвинені країни, як Японія.

Уряд Німеччини зробив свій вибір та заборонив розвиток атомної енергетики. А яка ваша думка із цього питання? Поміркуйте над аргументами «за» і «проти».

**Підбиваємо підсумки**

Поглинення ядром Урану нейтрона може спричинити розпад ядра. Ця реакція супроводжується вивільненням нейтронів, які містяться в ядрі, а ті, у свою чергу, можуть спричинити поділ інших ядер, отже, відбуватиметься ланцюгова ядерна реакція. Під час такої реакції виділяється величезна енергія.

Процес перетворення ядерної енергії на теплову здійснюється в ядерних реакторах. Ядерне паливо розміщується всередині спеціального вузла, який називають тепловидільним елементом (ТВЕЛом). Продукти ядерної реакції гальмуються у ТВЕЛі та нагрівають його. ТВЕЛ передає теплову енергію теплоносію.

Зараз в Україні працюють чотири атомні електростанції загальною потужністю 13 580 МВт. На АЕС припадає близько половини електроенергії, що виробляється в країні.

26 квітня 1986 р. сталася Чорнобильська катастрофа — вибух на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС. Вибух спричинив найбільше у світі радіаційне зараження місцевості, зокрема великих територій в Україні, Росії та Білорусі.



Контрольні запитання

1. Що відбувається під час взаємодії ядра Урану та нейтрона? 2. Опишіть механізм ланцюгової ядерної реакції. 3. Які перетворення енергії відбуваються в ядерних реакторах? 4. Якою є загальна потужність атомних електростанцій в Україні? 5. Що ви знаєте про Чорнобильську трагедію?



Вправа № 39

1. Яка енергія виділяється в результаті термоядерної реакції синтезу 2 г Гелію із Дейтерію та Тритію?
2. Потужність реактора атомного криголама дорівнює 80 000 кВт. Споживання реактором Урану-235 становить 500 г на добу. Визначте ККД реактора.
3. Якій енергії (у кВт·год) відповідає спалювання в ядерному реакторі 15 г Урану-235? Унаслідок поділу одного ядра $^{235}_{92}\text{U}$ виділяється 200 MeV енергії.