

Фізика



Ланцюгова
ядерна реакція.
Ядерний реактор



9



ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

Згадаємо

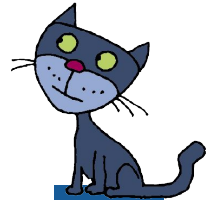
Ключові терміни

Йонізуюче випромінювання • Поглинута доза йонізуючого випромінювання • Еквівалентна доза йонізуючого випромінювання • Коефіцієнт якості • Грей • Зіверт • Природний радіаційний фон

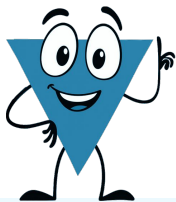


Перед вами ключові терміни, про які ви дізналися на попередньому уроці. Про що вам «говорить» кожен із цих термінів?

1. Які з цих термінів є назвами фізичних величин? Що характеризують ці фізичні величини?
2. Які з цих термінів є одиницями фізичних величин? Що це за величини? Чи існують позасистемні одиниці цих величин? Як вони пов'язані з одиницями СІ?
3. Чому на планеті Земля не має жодного місця, де можна сховатися від радіації?
4. Який прилад зображено на рисунку? Яку фізичну величину вимірюють цим приладом?



Поміркуймо...



Попередні епохи отримали назву від певних матеріалів:

була доба кам'яна, бронзова, залізна.

1. Якби сторіччя називали за видами енергії, то які назви вони б мали?

2. А чи можна XX ст. назвати атомним?



Поміркуймо...

Епоха / Століття	Енергетична назва	Ключова технологія
Давнина	Доба м'язової сили та біомаси	Праця людей і тварин, спалювання дров
XVIII—XIX ст.	Доба пари (вугілля)	Парова машина, теплова енергія
Кінець XIX—XX ст.	Доба електрики	Електродвигуни, електрогенератори, лінії електропередач
Середина XX ст. — дотепер	Атомна доба	Ядерні реактори, енергія розпаду та синтезу ядер
?	Доба відновлення	Енергія сонця, вітру, біопалива

Поміркуймо...

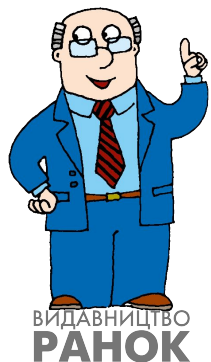
Так, можна! Три причини, чому:

1. Прорив у потужності — людство вперше навчилося добувати енергію не з хімічного горіння (палива), а безпосередньо з ядра атома.



2. Геополітика — винахід ядерної зброї й розвиток атомної енергетики змінили карту світу та міжнародні відносини назавжди.

3. Фізична революція — у XX столітті люди зрозуміли, як влаштована матерія на найменшому рівні, що дозволило розвивати не лише енергетику, а й медицину та космонавтику.

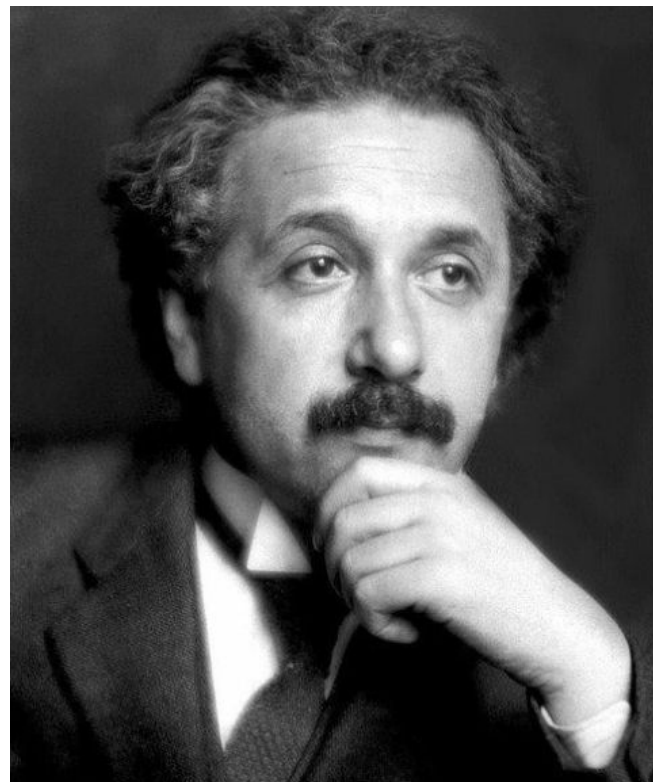


«Вивільнення атомної енергії змінило все, окрім нашого способу мислення... і тому ми рухаємося до небаченої катастрофи.»

Альберт Ейнштейн



Як ви вважаєте, що мав на увазі А. Ейнштейн, висловлюючи цю думку про подвійний характер відкриття атомної енергії?



Урок 80

Ланцюгова ядерна реакція. Ядерний реактор

Історична довідка

У 1938 році німецькі вчені *Отто Ган* (1879–1968) і *Фріц Штрасман* (1902–1980) проводили експерименти з опроміненням урану нейтронами. У результаті вони виявили, що під час реакції утворюються елементи, значно легші за уран, зокрема барій. Це означало, що **ядро урану розщеплюється на дві або три частини**.

Розгляньте рисунок. Які ще частинки, крім ядер елементів середньої частини періодичної таблиці хімічних елементів, утворюються під час розщеплення ядра урану? На вашу думку, чи важлива їхня поява?

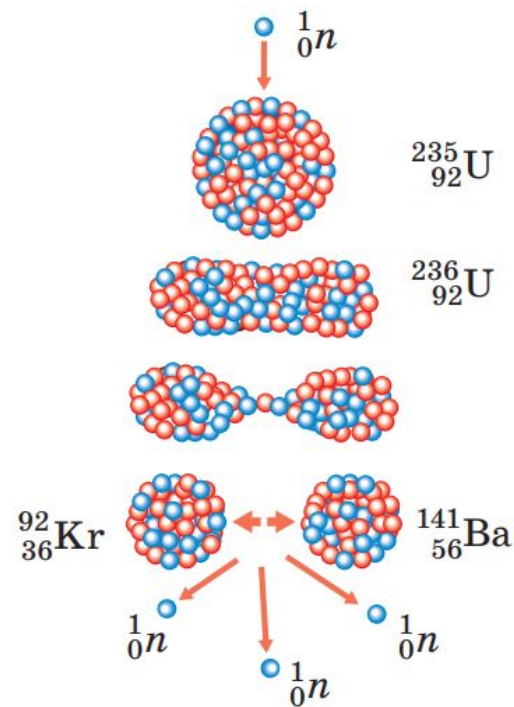


Схема поділу ядра Урану

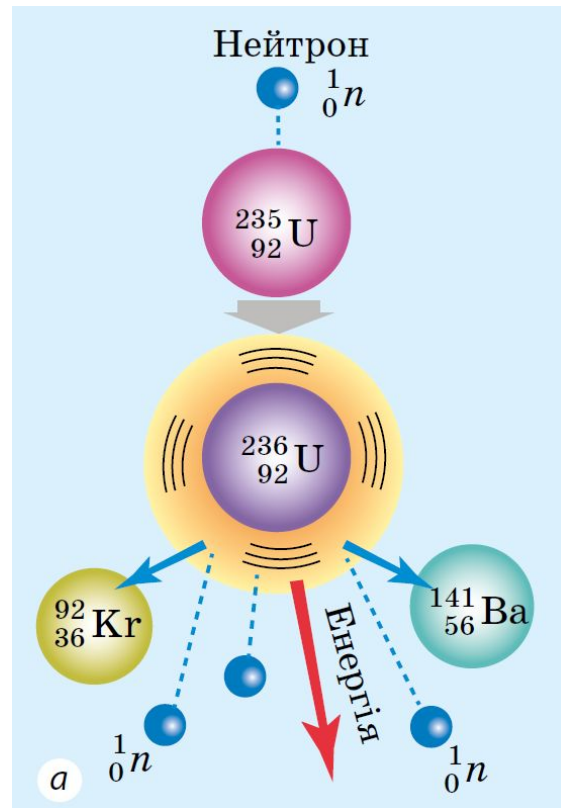
Історична довідка

Теоретичне пояснення цього явища дали фізики *Ліза Мейтнер* (1878–1968) та *Отто Фриш* (1904–1979). Вони показали, що **ядро урану, поглинаючи нейтрон, може розділитися на два менші ядра, і при цьому вивільняється велика кількість енергії.**

Саме Фриш запропонував назву цього процесу — **ядерний поділ** (nuclear fission).

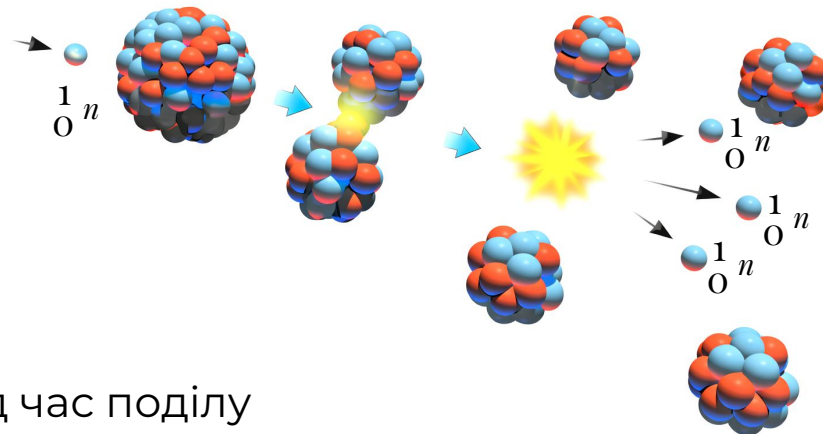
Поясніть, чому частинки, що утворюються під час розщеплення ядра, розлітаються з величезною швидкістю.

Підказка: ядерні сили (сили притягання, які утримують нуклони всередині ядра) є короткодійними, а от електростатичні (кулонівські) сили — далекодіючими.



Розщеплення ядра

Розщеплення ядра — поділ важкого атомного ядра на два (рідше три) ядра, які називають уламками поділу.



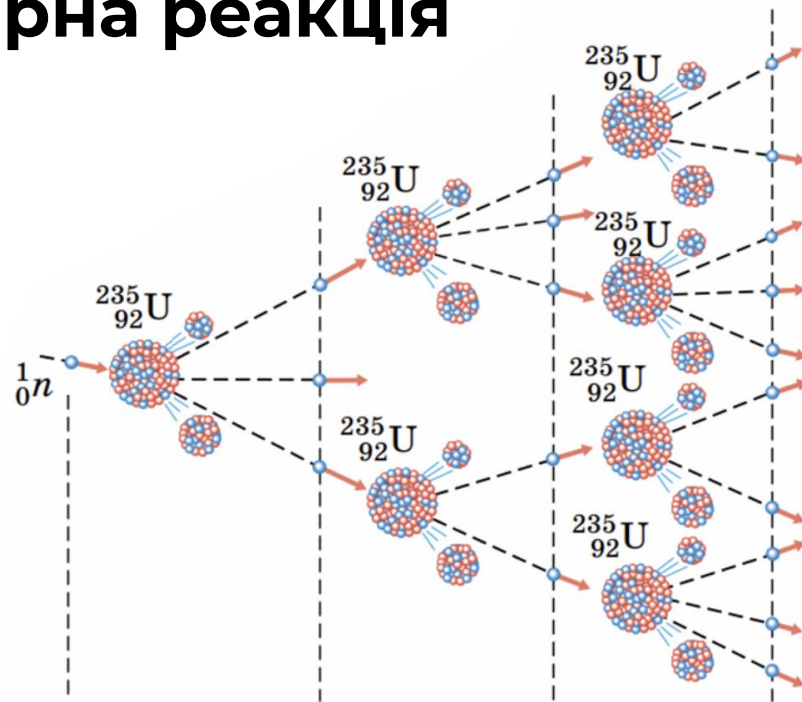
Зверніть увагу!

Під час розщеплення ядра

- ✓ вивільняється енергія (наприклад, під час поділу одного ядра урану-235 вивільняється близько $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж);
- ✓ крім уламків поділу, вивільняються нейтрони (ці нейтрони називаються вторинними нейтронами; розщеплення кожного ядра супроводжується вивільненням двох або трьох вторинних нейтронів).

Ланцюгова ядерна реакція

- ✓ Вторинні нейтрони, що вивільняються під час розщеплення ядра, можуть спричинити поділ інших ядер урану.
- ✓ Під час цього поділу знову вивільняються нейтрони, які здатні викликати поділ наступних ядер, і так далі.
- ✓ Кількість ядер, що розщеплюються, швидко зростатиме — в урановому зразку розвиватиметься **ланцюгова ядерна реакція поділу**.



Схематичне зображення ланцюгової ядерної реакції

Учимося розв'язувати задачі

Скільки енергії виділиться, якщо розщепляться всі ядра, що містяться в **1 молі** урану-235 (235 г)? Під час поділу одного ядра урану виділяється **$3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж** енергії. Скільки нафти потрібно спалити, щоб вивільнилась така сама енергія?

Аналіз фізичної проблеми:

1. Для розв'язування задачі згадаємо, що в одному молі будь-якої речовини міститься число Авогадро молекул: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$.
2. Знаючи кількість атомів урану (а отже й ядер урану) та кількість енергії, що виділяється під час розпаду одного ядра, визначимо загальну кількість енергії.
3. Щоб визначити масу нафти, скористаємося формулою $Q = qm$.
Питому теплоту згорання нафти знайдемо у відповідній таблиці.
4. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.



Перевіримо себе

Скільки енергії виділиться, якщо розщепляться всі ядра, що містяться в **1 молі** урану-235 (235 г)? Під час поділу одного ядра урану виділяється **$3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж** енергії. Скільки нафти потрібно спалити, щоб вивільнилась така сама енергія?

Дано:

$$N = 6,02 \cdot 10^{23}$$

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

$$q = 44 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Знайти:

E — ?

$m_{\text{нафти}}$ — ?

1. Визначимо, скільки енергії виділиться при розпаді 1 молю урану:

$$E = NE_0; \quad E = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 19,264 \cdot 10^{12} \text{ Дж}.$$

2. Визначимо масу нафти: $Q = qm_{\text{нафти}}$; $m_{\text{нафти}} = \frac{Q}{q}$.

Враховуючи,

що $Q = E$, отримаємо: $m_{\text{нафти}} = \frac{E}{q}$. $m_{\text{нафти}} = \frac{19,264 \cdot 10^{12} \text{ Дж}}{44 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx 438 \cdot 10^3 \text{ кг}.$

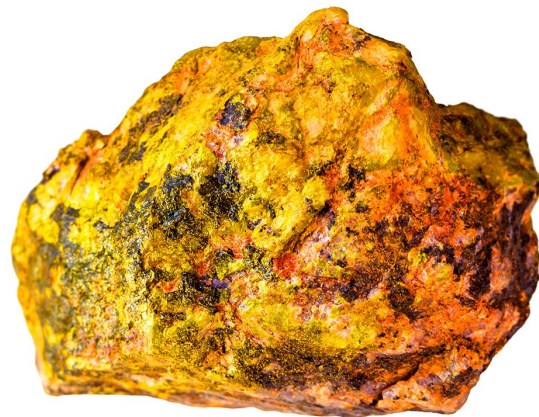
Відповідь: $E \approx 19,3 \text{ ТДж}$; $m_{\text{нафти}} \approx 438 \text{ тон}.$

Чому урановий зразок не вибухає?

За даними МАГАТЕ, запаси урану на Землі перевищують **6 млн тон.**

Причина 1. Щоб відбувся вибух, нейтрони, що виділяються при розпаді одного ядра, мають влучати в інші ядра, не встигаючи вилетіти назовні. У маленькому зразку більшість нейтронів просто «вилітають» через поверхню в навколишній простір, не викликаючи нових розпадів.

Для вибуху потрібна певна мінімальна маса речовини — **критична маса** (якщо маса менша, реакція затухає). Наприклад, найменша критична маса для чистого урану-235 становить близько 50 кг.

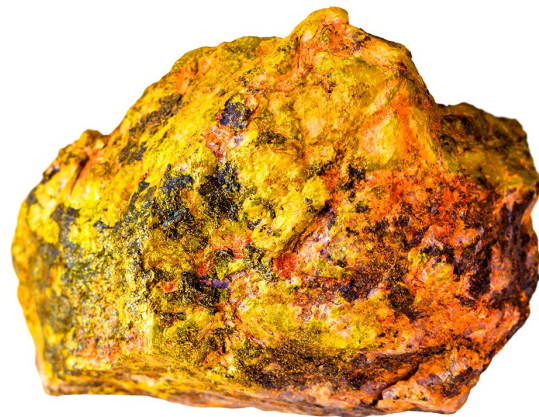


Чому урановий зразок не вибухає?

За даними МАГАТЕ, запаси урану на Землі перевищують **6 млн тон.**

Причина 2. Чотири з п'яти ядер урану-238 захоплюють нейтрон без подальшого ділення, а 99,28 % земного урану — це уран-238, і лише 0,72 % — це уран-235.

Причина 3. Ядра урану-235 здебільшого діляться, захоплюючи повільний нейтрон, а більшість нейтронів, вивільнених під час розпаду, є швидкими.



Що потрібно зробити, щоб ланцюгова ядерна реакція відбулася?

1. Більшість вторинних нейтронів вилітає зі зразка, так і не зіткнувшись із наступним ядром.



Збільшити розмір зразка.

Використати спеціальний **екран** для відбивання нейтронів.

2. 99,28 % земного урану — це уран-238, і лише 0,72 % — це уран-235



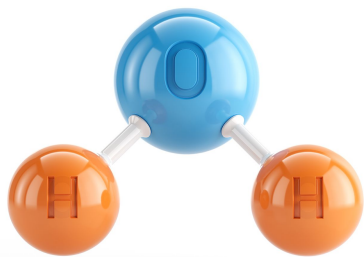
Збагачувати уран: спеціальними методами збільшувати відсоток урану-235.
У збагаченому урані концентрація урану-235 становить 3–5 %.

Що потрібно зробити, щоб ланцюгова ядерна реакція відбулася?

3. Ядра урану-235 здебільшого діляться, захоплюючи повільний нейтрон, а більшість нейтронів, вивільнених під час розпаду, є швидкими.



Сповільнювати нейтрони. Зазвичай для цього використовують графіт або важку воду. Важка вода й графіт добре сповільнюють нейтрони та не захоплюють їх.

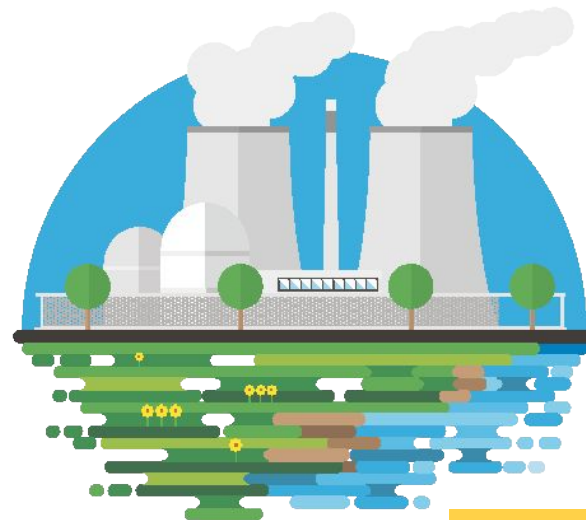


Важка вода — це вода, яка має таку саму хімічну формулу, що й звичайна (H_2O), але замість атомів протію (^1_1H) містить атоми дейтерію (^2_1H).

Ланцюгова ядерна реакція

Якщо кількість нейтронів, що вступають у ланцюгову ядерну реакцію, збільшуватиметься, то кількість актів поділу зростатиме лавиноподібно — відбудеться **ядерний вибух**.

Якщо кількість ядер урану, що вступили в реакцію, підтримувати на одному рівні, то матимемо справу з **керованою ланцюговою ядерною реакцією поділу**. Саме така реакція відбувається в **ядерному реакторі**.



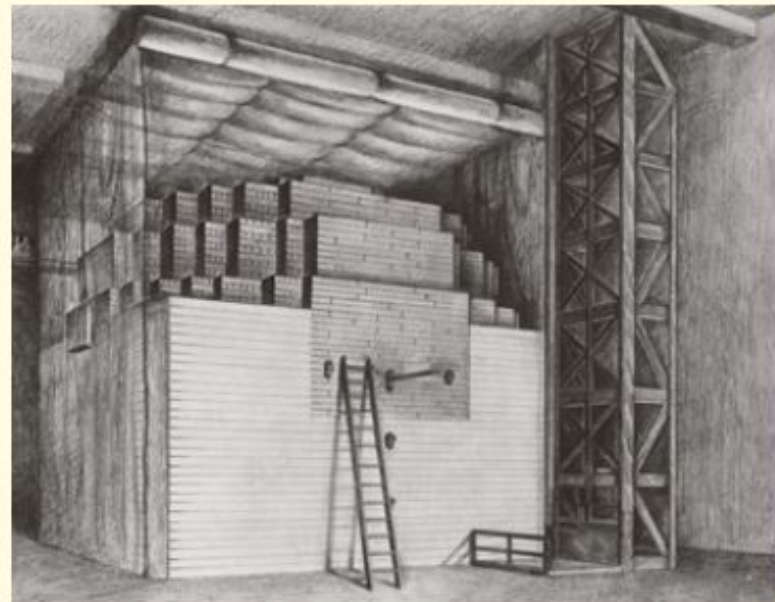
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО... >>>>



Група фізиків Чиказького університету під керівництвом Енріко Фермі здійснила першу ланцюгову ядерну реакцію.

Реактор являв собою пошарово укладені графітові блоки загальною масою 350 т. Деякі блоки мали порожнини, у які поміщали ядерне паливо (уран і оксиди урану). Графіт слугував сповільнювачем нейтронів.

Реактор працював 35 хвилин і досяг потужності **200 Вт**.



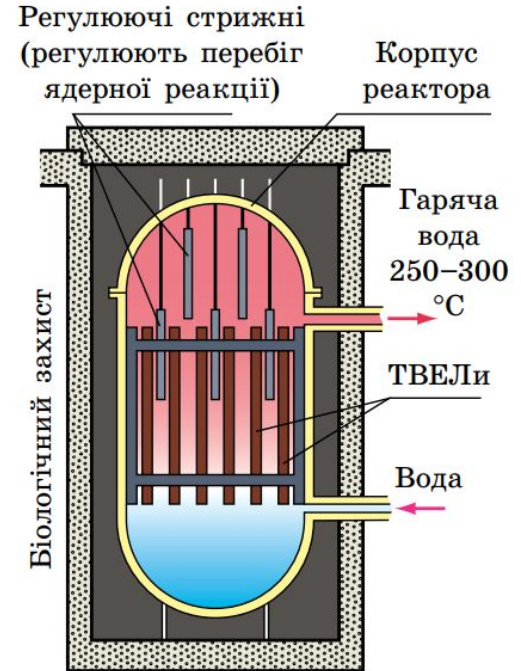
Перший у світі ядерний реактор «Чиказька дровітня-1».

Як працює ядерний реактор

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

У ядерних реакторах ядерне паливо (збагачений уран або плутоній) розміщують усередині тепловидільних елементів — ТВЕЛів.

Продукти поділу нагрівають оболонки ТВЕЛів, і ті передають енергію теплоносію (важкій воді, яка також слугує сповільнювачем нейтронів).



Як працює атомна електростанція

1. У реакторі відбувається ланцюгова ядерна реакція поділу, під час цього виділяється велика кількість теплової енергії.

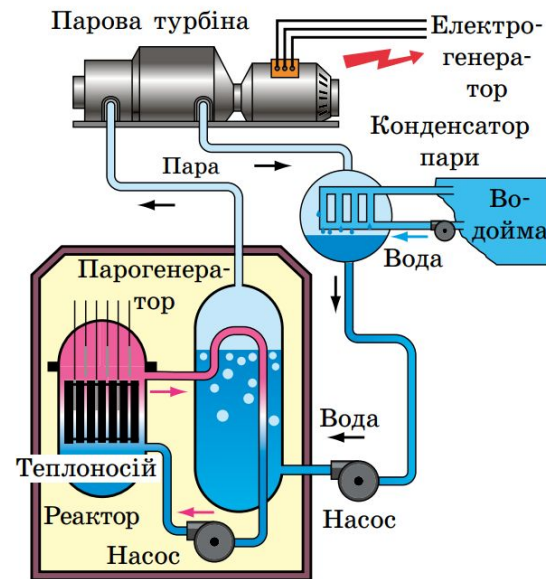
2. Тепло від реакції передається спеціальній рідині — теплоносію (вода, газ або рідкий метал).

3. Нагрітий теплоносій нагріває воду в парогенераторі, у результаті утворюється водяна пара під високим тиском.

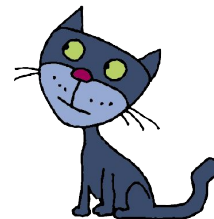
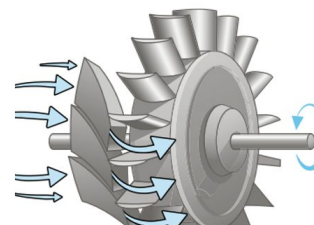
4. Пара надходить на турбіну і змушує її обертатися.

5. Турбіна з'єднана з генератором, де, завдяки явищу електромагнітної індукції, механічна енергія обертання перетворюється в електричну.

6. Після турбіни пара охолоджується в конденсаторі, знову перетворюється на воду і потім повертається в цикл.



Ланцюжок перетворень енергії на атомній електростанції



А ЯК НАСПРАВДІ?

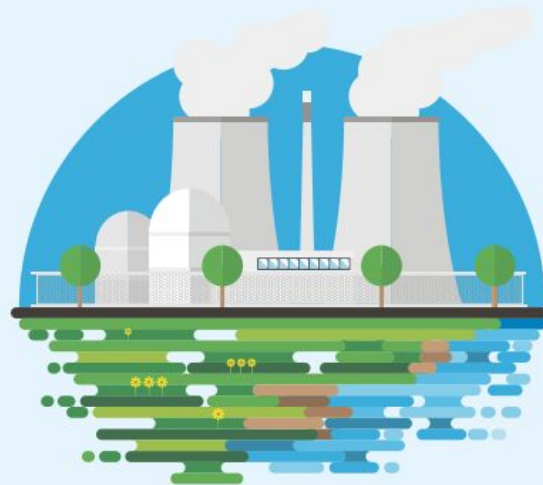


— Я уважно розглянув рис. 34.3 та знайшов два способи підвищення ККД атомної електростанції! — радісно звернувся Кирило до тата. — Дивись, якщо теплоносієм є вода, а в більшості АЕС це саме вона, то можна цю воду відразу перетворювати на пару всередині реактора й спрямовувати на лопаті турбіни. Навіщо її тримають

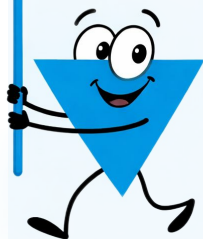
під великим тиском і використовують для роботи парогенератора? Це ж втрати енергії! А для чого охолоджувати пару, яка вже відпрацювала в турбіні? Можна її відразу повертати в реактор. Навіщо нагрівати доквілля?!

— Я дуже задоволений, що ти намагаєшся стати винахідником! Але, на жаль, ти помилився, оскільки...

Що, на вашу думку, пояснив тато Кирилові? До яких наслідків призведуть запропоновані юнаком нововведення?



А ЯК НАСПРАВДІ?



1. Навіщо тримати воду під тиском?

У першому контурі водо-водяного реактора вода безпосередньо контактує з ядерним паливом. Тиск (близько 160 атмосфер) потрібен для того, щоб вода не закипала навіть при температурі 320 °C. Вона залишається рідкою і ефективно відводить тепло до парогенератора.

2. Для чого охолоджувати відпрацьовану пару?

Щоб турбіна працювала, потрібна різниця температур (так працює будь-яка теплова машина). Після турбіни пару перетворюють назад на воду (конденсують). Тільки так її можна знову качати насосом у систему. Охолодження і перетворення пари на воду створюють розрідження, що «тягне» нову порцію пари через турбіну.

3. Чи можна повертати її відразу в реактор?

Ні. Вода в турбіні (другий контур) і вода в реакторі (перший контур) ніколи не змішуються, щоб радіоактивність з реактора не потрапила за межі герметичної зони.

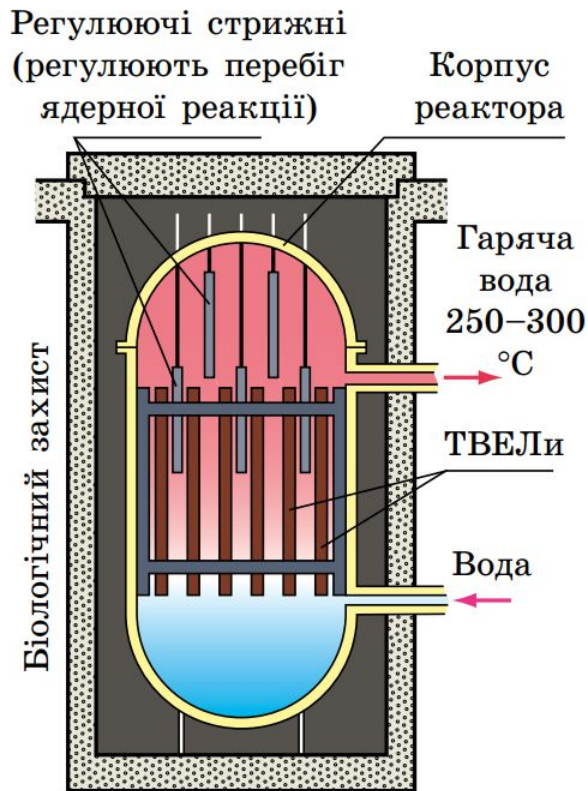
Керування реактором

Щоб керувати ланцюговою ядерною реакцією та унеможливити ймовірність вибуху, використовують регулюючі стрижні, виготовлені з матеріалу, що добре поглинає нейтрони.

Якщо температура в реакторі збільшується, стрижні автоматично заглиблюються в проміжки між ТВЕЛами, в результаті кількість нейтронів, що вступають у реакцію, зменшується і ланцюгова реакція сповільнюється.



Поміркуйте, що може трапитися, якщо автоматика не спрацює.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут ядерних досліджень НАНУ (Київ) — провідна наукова установа в галузі ядерної фізики та атомної енергетики. Інститут був створений 1970 р. на базі ядерних відділів Інституту фізики НАНУ. Засновником і першим директором інституту був академік НАНУ *Митрофан Васильович Пасічник* (1912–1996).

Основні напрями роботи інституту — фундаментальні та прикладні дослідження з ядерної фізики низьких і середніх енергій, фізики реакторів, теорії ядра, ядерної спектроскопії, ядерної електроніки, радіаційної фізики, термоядерного синтезу, фізики плазми, а також взаємодії нейтронів, протонів, дейтронів, альфа-частинок та важких ядер із ядрами майже всіх елементів Періодичної системи хімічних елементів. Під керівництвом провідних учених в інституті склалися відомі наукові школи: з нейтронної фізики, фізики ядерних реакцій із зарядженими частинками, мікроскопічної теорії ядра, ядерної спектроскопії, неприскорювальної фізики елементарних частинок.

Науковці інституту відіграли визначну роль в усуненні наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

Рефлексія

«Три контури знань»

За аналогією з двоконтурною системою охолодження АЕС, заповніть три кола:

**Перший контур
(внутрішній):**

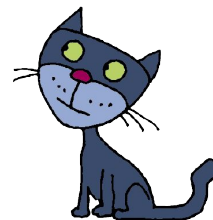
Що було
найскладнішим
для розуміння?

Другий контур:

Який факт вразив
найбільше?

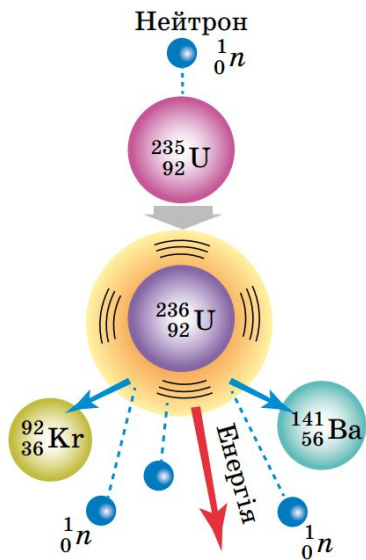
**Третій контур
(зовнішній):**

Як отримані знання
змінюють
ставлення до
атомної
енергетики?



Підбиваємо підсумки

Розщеплення ядра (ядерний розпад) — це реакція поділу важкого атомного ядра на два (рідше три) ядра, які називають уламками поділу.



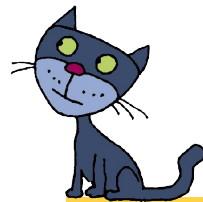
- ✓ Розщеплення ядра відбувається внаслідок захоплення ядром нейтрона.
- ✓ Під час ядерного розпаду, крім уламків поділу, вивільняються нові (вторинні) нейтрони.
- ✓ Вторинні нейтрони можуть спричинити поділ інших ядер — відбувається ланцюгова ядерна реакція, яка супроводжується виділенням величезної кількості енергії.
- ✓ Керована ланцюгова ядерна реакція здійснюється в ядерних реакторах.

Домашнє завдання

1. § 34 (пункти 1, 2, 3) та презентацію опрацювати:

- 1) вивчити означення розщеплення ядра;
- 2) знати особливості ядерної реакції поділу;
- 3) вміти пояснювати, чому в природному урані не відбувається ланцюгова ядерна реакція;
- 4) розуміти призначення основних складових ядерного реактора;
- 5) усно дати відповіді на контрольні запитання 1–4, надані наприкінці параграфу.

2. Виконати завдання № 2, № 4 вправи 34 — письмово в зошиті.



Список використаних джерел

1. Підручник «Фізика» для 9 класу, автори В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна;
за редакцією Довгого С. О. — Х. : Вид-во «Ранок», 2024.

