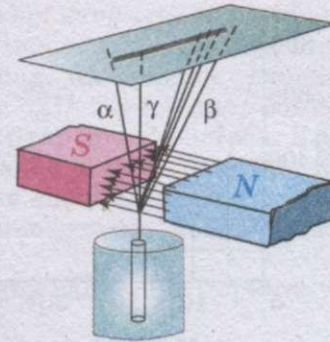


чок розпадався на три пучки. Дві складові первинного потоку відхилялись у протилежні боки. Це переконливо вказувало на те, що вони мають електричні заряди протилежних знаків. При цьому негативну складову проміння магнітне поле відхиляло значно більше, ніж позитивну. Третю складову магнітне поле не відхиляло. Позитивно заряджена складова випромінювання отримала назву альфа-випромінювання, негативно заряджена — бета-випромінювання, а нейтральна — гамма-випромінювання (α -промені, β -промені, γ -промені).



Мал. 207

Ці три види випромінювання дуже різняться між собою за проникною здатністю, тобто за тим, наскільки інтенсивно їх поглинають різні речовини. Найменшу проникну здатність мають α -промені. Шар паперу товщиною близько 0,1 мм для них вже непрозорі. Якщо отвір у свинцевій пластинці прикрити аркушиком паперу, то на фотопластинці не буде плями, що відповідає α -променям.

Значно менше поглинаються речовиною β -промені. Алюмінієва пластинка затримує їх цілком лише тоді, коли її товщина досягає кількох міліметрів. Найбільшу проникну здатність мають γ -промені. Інтенсивність їх поглинання збільшується зі зростанням атомного номера речовини-поглиначка. Але й шар свинцю товщиною сантиметр — не перешкода для цих променів. Від проходження крізь таку пластинку їхня інтенсивність зменшується лише в два рази. Це пов'язано з тим, що фізична природа α -, β - і γ -променів різна.

А. Ейнштейн і Ф. Содді встановили, що атомам деяких елементів властивий спонтанний розпад, який супроводжується випромінюванням величезної кількості енергії порівняно з енергією, яка вивільняється в процесі звичайних молекулярних видозмін.

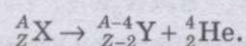
Після того як було відкрито атомне ядро, відразу стало зрозуміло, що саме воно зазнає змін під час радіоактивних перетворень. Адже α -частинок взагалі немає в електронній оболонці, а зменшення кількості електронів оболонки на одиницю перетворює атом в йон, а не на новий хімічний елемент. Виліт ж електрона з ядра змінює заряд ядра (збільшує його) на одиницю.

Спонтанне перетворення одних ядер в інші, яке супроводжується випромінюванням різних частинок, отримало назву **радіоактивність**.

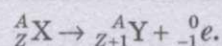
Перетворення ядер відбуваються за так званим правилом зміщення, яке вперше сформулював Содді:

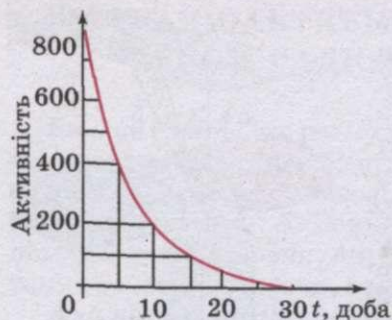
під час α -розпаду ядро втрачає позитивний заряд $2e$ і маса його зменшується приблизно на чотири одиниці атомної маси. Отже, елемент зміщується на дві клітинки до початку Періодичної таблиці елементів Д. І. Менделєєва.

Символічно це можна записати так:



У випадку β -розпаду з ядра вилітає електрон. Тому заряд ядра збільшується на одиницю, а маса залишається майже незмінною:





Мал. 208

Після β -розпаду елемент зміщується на одну клітинку ближче до кінця Періодичної таблиці елементів Д. І. Менделєєва.

Під час γ -випромінювання не відбувається зміни заряду; маса ж ядра змінюється надзвичайно мало.

Правила зміщення показують, що під час радіоактивного розпаду зберігається електричний заряд і наближено зберігається відносна атомна маса ядер.

Нові ядра, що утворюються під час радіоактивного розпаду, звичайно, також є радіоактивними.

Досліджуючи перетворення радіоактивних речовин, Резерфорд експериментально встановив, що їх активність з часом зменшується. Так, активність радону зменшується в два рази вже через 1 хв. Активність таких елементів, як Уран, Торій і Радій, також з часом зменшується, але значно повільніше. Для кожної радіоактивної речовини є певний інтервал часу, протягом якого активність зменшується у два рази. Цей інтервал називається періодом піврозпаду.

Період піврозпаду T — це той час, за який розпадається половина всієї кількості наявних радіоактивних атомів.

Адже зменшення активності препарату в два рази можна досягти простим поділом його на дві рівні частини.

Графік спаду активності, тобто кількості розпадів за секунду, залежно від часу для однієї з активних речовин наведено на мал. 208, період піврозпаду цієї речовини — 5 діб.

Знайдемо тепер математичну формулу закону радіоактивного розпаду. Нехай кількість радіоактивних атомів у початковий момент часу ($t = 0$) дорівнює N_0 . Тоді по закінченні періоду піврозпаду їх кількість дорівнюватиме $N_0/2$, а ще через один такий інтервал часу їх кількість становитиме:

$$\frac{1}{2} \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}.$$

Через інтервал часу $t = nT$, тобто через n періодів піврозпаду T , радіоактивних атомів залишиться

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}.$$

Оскільки $n = \frac{t}{T}$, то

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Це і є основний закон радіоактивного розпаду.

За формулою $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$ знаходять кількість атомів, які ще не розпались, для будь-якого моменту часу.

Період піврозпаду — основна величина, що характеризує швидкість радіоактивного розпаду. Чим менший період піврозпаду, тим менший час життя атомів, тим швидше відбувається розпад. Для різних речовин значення його дуже розрізняються: Так, для урану $^{239}_{92}\text{U}$ $T \approx 4,5$ млрд років. Саме через це активність урану за кілька років помітно не змінюється. Для радію $T \approx 1600$ років. Тому активність радію значно більша, ніж урану. Чим менший період піврозпаду, тим інтенсивніше відбувається розпад. Є радіоактивні елементи, в яких період піврозпаду становить мільйонні частки секунди.

Закон радіоактивного розпаду — це статистичний закон. Він справджується в середньому для великої кількості частинок.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке радіоактивність?
2. Які види випромінювання ви знаєте?
3. Хто сформулював правила зміщення?
4. Що таке період піврозпаду?
5. У чому полягає закон радіоактивного розпаду?

§ 50. ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ

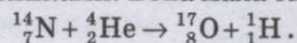
Попередньо ми з'ясували, що внаслідок взаємодії частинок відбуваються реакції, які отримали назву ядерних.

Зміна атомних ядер внаслідок їх взаємодії з елементарними частинками і між собою називається ядерною реакцією.

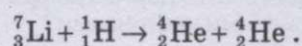
Ядерні реакції відбуваються тоді, коли частинки впритул наближаються до ядра і потрапляють у сферу дії ядерних сил. Одноіменно заряджені частинки взаємно відштовхуються. Тому зближення позитивно заряджених частинок з ядрами (чи ядер між собою) можливе, якщо цим частинкам (або ядрам) надати великої кінетичної енергії. Таку енергію надають протонам, дейтронам, α -частинкам та іншим важчим ядрам за допомогою прискорювачів елементарних частинок та йонів.

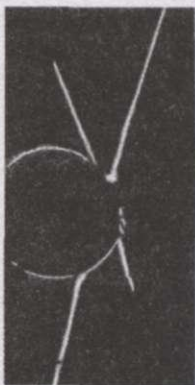
Для здійснення ядерних реакцій вони ефективніші, ніж α -частинки, що їх випромінюють природні радіоактивні елементи. Їм можна надати значно більшої енергії (порядку 10^5 MeV), ніж та, яку мають α -частинки (максимально 9 MeV). Можна використати також протони, які не з'являються в процесі радіоактивного розпаду. А також можна прискорити ядра, важчі, ніж ядра Гелію.

Першу штучну ядерну реакцію здійснив Е. Резерфорд, який «бомбардував» ядра Нітрогену α -частинками. Вона мала такий вигляд:



Перше перетворення атомних ядер за допомогою протонів великої енергії, добутих на прискорювачі, було здійснене в 1932 р., коли вдалося розщепити Літій на дві α -частинки:





Мал. 209

Як видно на фотографії треків у камері Вільсона (мал. 209), ядра Гелію розлітаються в різні боки вздовж однієї прямої відповідно до закону збереження імпульсу (імпульс протона значно менший від імпульсів α -частинок, що виникають).

У розглянутій ядерній реакції кінетична енергія двох утворених ядер Гелію виявилась більшою від кінетичної енергії протона, який вступив у реакцію, на 7,3 MeV. Перетворення ядер супроводжується зміною їх внутрішньої енергії (енергія зв'язку). У реакції питома енергія зв'язку в ядрах Гелію більша від питомої енергії зв'язку в ядрі Літію. Тому частина внутрішньої енергії ядра Літію перетворюється в кінетичну енергію β -частинок, які розлітаються.

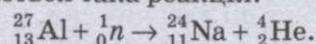
Зміна енергії зв'язку ядер означає, що сумарна енергія спокою частинок і ядер, які беруть участь у реакціях, не залишається сталою. Адже енергія спокою ядра $M_{\text{я}}c^2$ відповідно до формули $E_{\text{зв}} = \Delta Mc^2 = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - M_{\text{я}})c^2$ посередньо виражається через енергію зв'язку. За законом збереження енергії зміна кінетичної енергії в процесі ядерної реакції дорівнює зміні енергії спокою ядер і частинок, які беруть участь у реакції.

Енергетичним виходом ядерної реакції називається різниця енергії спокою ядер і частинок до реакції і після реакції.

Отже, енергетичний вихід ядерної реакції дорівнює також зміні кінетичної енергії частинок, що беруть участь у реакції.

Відкриття нейтрона було поворотним пунктом у дослідженні ядерних реакцій. Оскільки нейтрони не мають заряду, то вони без перешкод проникають в атомні ядра і спричиняють їх перетворення.

Наприклад, спостерігається така реакція:



Відомий італійський фізик **Е. Фермі**, який першим почав вивчати реакції, що спричиняються нейтронами, виявив наступне: ядерні перетворення зумовлюються навіть повільними нейтронами. Причому ці повільні нейтрони здебільшого навіть ефективніші, ніж швидкі. Тому швидкі нейтрони доцільно спочатку сповільнювати. Сповільнюються нейтрони до теплових швидкостей у звичайній воді. Цей ефект пояснюється тим, що у воді є багато ядер Гідрогену — протонів, маса яких майже дорівнює масі нейтронів. А під час зіткнення куль однакової маси найбільш інтенсивно передається кінетична енергія. Під час центрального зіткнення нейтрона з протоном, що перебуває в стані спокою, він повністю передає протону свою кінетичну енергію.

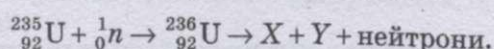
ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке ядерна реакція?
2. Які ядерні реакції були проведені вперше?
3. Що таке енергетичний вихід ядерної реакції?
4. У чому полягає основна відмінність ядерних реакцій на нейтронах від ядерних реакцій, спричинених зарядженими частинками?

§ 51. ЛАНЦЮГОВА РЕАКЦІЯ ПОДІЛУ ЯДЕР УРАНУ

Поділ атомних ядер — це особливий вид ядерних реакцій, коли ядро важкого елемента ділиться на дві частини, одночасно випромінюючи дватри нейтрони, γ -промені і значну кількість енергії. Це дає можливість здійснити ланцюгову ядерну реакцію.

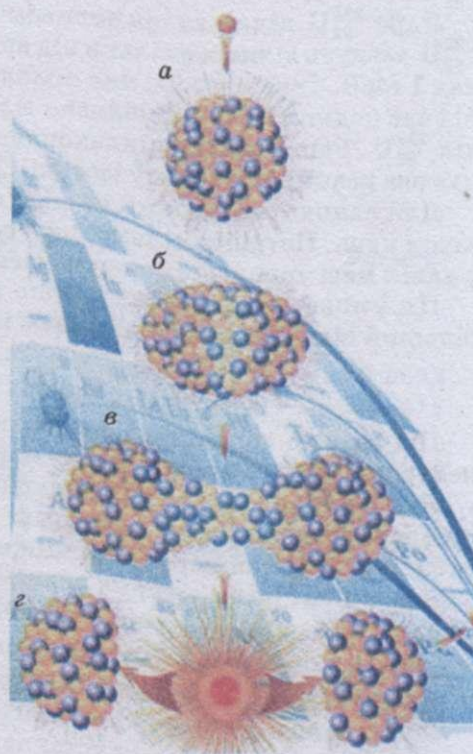
Поділ ядер Урану відкрили в 1938 р. німецькі вчені **О. Ган** і **Ф. Штрассман**. Їм удалося встановити, що під час бомбардування Урану нейтронами виникають елементи середньої частини Періодичної системи: Варій, Криптон та ін. Проте правильно пояснили цей факт, а саме, як поділ ядра Урану, що захопило нейтрон, — англійський фізик **О. Фріш** і австрійський фізик **Л. Мейтнер** у 1939 р. Вони вважали, що ядро Урану, захопивши повільний нейтрон, перетворюється в ядро радіоактивного ізотопу Урану ${}_{92}^{239}\text{U}$, яке розпадається на дві приблизно рівні частини X і Y , при цьому виділяється декілька нейтронів. Реакція відбувається за схемою:



Процес поділу атомного ядра можна пояснити за допомогою краплинної моделі ядра. За цією моделлю згусток нуклонів має нагадувати краплину зарядженої рідини (мал. 210, *a*). Ядерні сили між нуклонами короткодійчі, подібно до сил, що діють між молекулами рідини. Одночасно з великими силами електростатичного відштовхування між протонами, які намагаються розірвати ядро на частини, діють ще більші ядерні сили притягання. Ці сили не дають ядру розпастися.

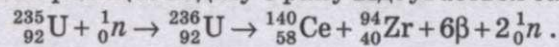
Ядро Урану має форму кулі. Захопивши зайвий нейтрон, ядро збуджується і починає деформуватися, набуваючи витягнутої форми (мал. 210, *b*). Ядро розтягується доти, поки сили відштовхування між кінцями витягнутого ядра не переважатимуть сили зчеплення, які діють на перешийку (мал. 210, *в*). Розтягуючись дедалі дужче, ядро розривається на дві частини (мал. 210, *г*). Під дією кулонівських сил відштовхування ці частини, чи уламки, розлітаються зі швидкістю, що дорівнює $1/30$ швидкості світла.

Більш пізні дослідження показали, що внаслідок бомбардування ядер Урану нейтронами можуть утворюватися уламки 80 «сортів». Причому найбільш вірогідним виявляється поділ на уламки, маси яких відносяться приблизно, як 2:3.



Мал. 210

з можливих реакцій поділу Урану відбувається за схемою:



Кінетичний вихід такої реакції становить 208 МеВ.

Для порівняння вкажемо, що енергія, яка виділяється при одному акті Гідрогену в Оксигені, дорівнює 10 еВ.

Отже, реакція поділу ядер Урану відбувається з виділенням енергії. Ця енергія відноситься уламками і нейтронами у вигляді їх кінетичної енергії, γ -випромінюванням під час супроводу цієї реакції.

ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Яке ланцюгова ядерна реакція?

2. Відкрив і пояснив поділ ядер Урану?

3. Елементи утворюються під час поділу ядер Урану?

4. Енергія виділяється під час поділу ядер Урану?

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Елемент Уран складається переважно з двох ізотопів: ${}_{92}^{235}\text{U}$ і ${}_{92}^{238}\text{U}$. Але ${}_{92}^{235}\text{U}$ становить лише 1/140 частину набагато поширенішого ізотопу

${}_{92}^{238}\text{U}$ діляться під впливом швидких і повільних нейтронів. Ядра ж ${}_{92}^{235}\text{U}$ можуть ділитися тільки під впливом швидких нейтронів з енергією понад 1 МеВ. Таку енергію має приблизно 60% нейтронів, що вивільняються при поділі. Проте приблизно тільки один нейтрон з п'яти спричинює поділ. Решта нейтронів захоплюється цим ізотопом без поділу. Тому ланцюгова реакція у чистому ізотопі ${}_{92}^{238}\text{U}$ неможлива.

Ланцюгової реакції не обов'язково, щоб кожний нейтрон спричинив поділ. Потрібно тільки, щоб середня кількість вивільнених нейтронів за часі урану не зменшувалася з часом.

Ця умова виконується, якщо коефіцієнт розмноження нейтронів k від одиниці або дорівнює їй.

Коефіцієнтом розмноження нейтронів називають відношення кількості нейтронів в наступному поколінні до кількості нейтронів попереднього «покоління».

Якщо коефіцієнт менше одиниці, «покоління» розуміють поділ ядер, при якому поглинаються нейтрони старого «покоління» і народжуються нові нейтрони.

Якщо $k \geq 1$, то кількість нейтронів з часом збільшується або не змінюється. Якщо $k < 1$, кількість нейтронів з часом зменшується і ланцюгова реакція неможлива.

Коефіцієнт розмноження визначається такими чотирма чинниками:

1. Коефіцієнт розмноження повільних нейтронів ядрами ${}_{92}^{235}\text{U}$ з наступним поділом їх або захопленням швидких нейтронів ядрами ${}_{92}^{235}\text{U}$ та ${}_{92}^{238}\text{U}$ також з наступним поділом.

2. Коефіцієнт розмноження нейтронів ядрами ${}_{92}^{238}\text{U}$ і ${}_{92}^{235}\text{U}$ без поділу.

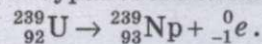
3. Коефіцієнт розмноження нейтронів продуктами поділу, сповільнювачем та конструктивними елементами установки.

4. Втрати нейтронів назовні з речовини, яка ділиться.

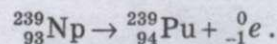
Тільки перший процес супроводиться збільшенням кількості нейтронів (переважно за рахунок поділу ${}^{235}_{92}\text{U}$). У решті процесів кількість нейтронів зменшується. У чистому ізотопі ${}^{238}_{92}\text{U}$ ланцюгова реакція неможлива, оскільки при цьому $k < 1$ (нейтронів, що захоплюються ядрами без поділу, більше, ніж нейтронів, що знову утворюються при поділі ядер).

Для стаціонарної ланцюгової реакції коефіцієнт розмноження нейтронів має дорівнювати одиниці. І цієї умови потрібно дотримуватись з великою точністю. Якщо k буде дорівнювати 1,01, то майже вмиг станеться вибух.

Важливе значення має захоплення повільних нейтронів ядрами ізотопу Урану ${}^{238}_{92}\text{U}$ без поділу. Після захоплення утворюється радіоактивний ізотоп ${}^{239}_{92}\text{U}$ з періодом піврозпаду 23 хв. Розпад відбувається з випромінюванням електрона і виникненням трансуранового елемента — **Нептунію**:



Нептуній у свою чергу β -радіоактивний з періодом піврозпаду близько двох днів. У процесі розпаду Нептунію утворюється інший трансурановий елемент — **Плутоній**:



Плутоній відносно стабільний, оскільки його період піврозпаду великий — порядку 24 000 років. Важливою властивістю Плутонію є те, що він ділиться під впливом повільних нейтронів, так само як ізотоп ${}^{235}_{92}\text{U}$. Тому за допомогою Плутонію також можна здійснити ланцюгову реакцію, що супроводиться виділенням величезної кількості енергії.

Пристрій, в якому підтримується керована реакція поділу ядер, називається ядерним (або атомним) реактором.

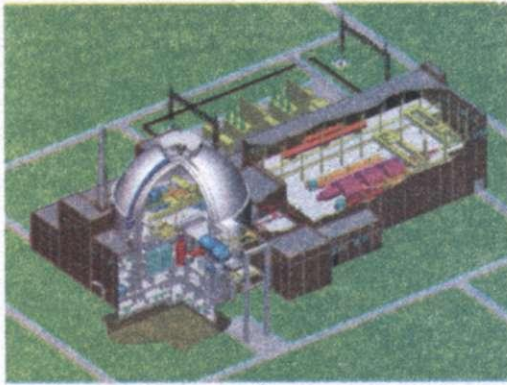
Ядра Урану, особливо ядра ізотопу ${}^{235}_{92}\text{U}$, найбільш ефективно захоплюють повільні електрони. Причому ймовірність захоплення повільних нейтронів у сотні разів більша, ніж швидких. Тому в ядерних реакторах, що діють на природному Урані, застосовують сповільнювачі нейтронів і цим підвищують коефіцієнт розмноження нейтронів. Процеси, що відбуваються в ядерному реакторі, схематично подано на мал. 211.

На мал. 212, а показано розріз АЕС, 212, б — схему енергетичної установки з ядерним реактором, на мал. 212, в — будову ядерного реактора.

Основні елементи ядерного реактора: **ядерне паливе** (${}^{235}_{92}\text{U}$, ${}^{239}_{94}\text{Pu}$,



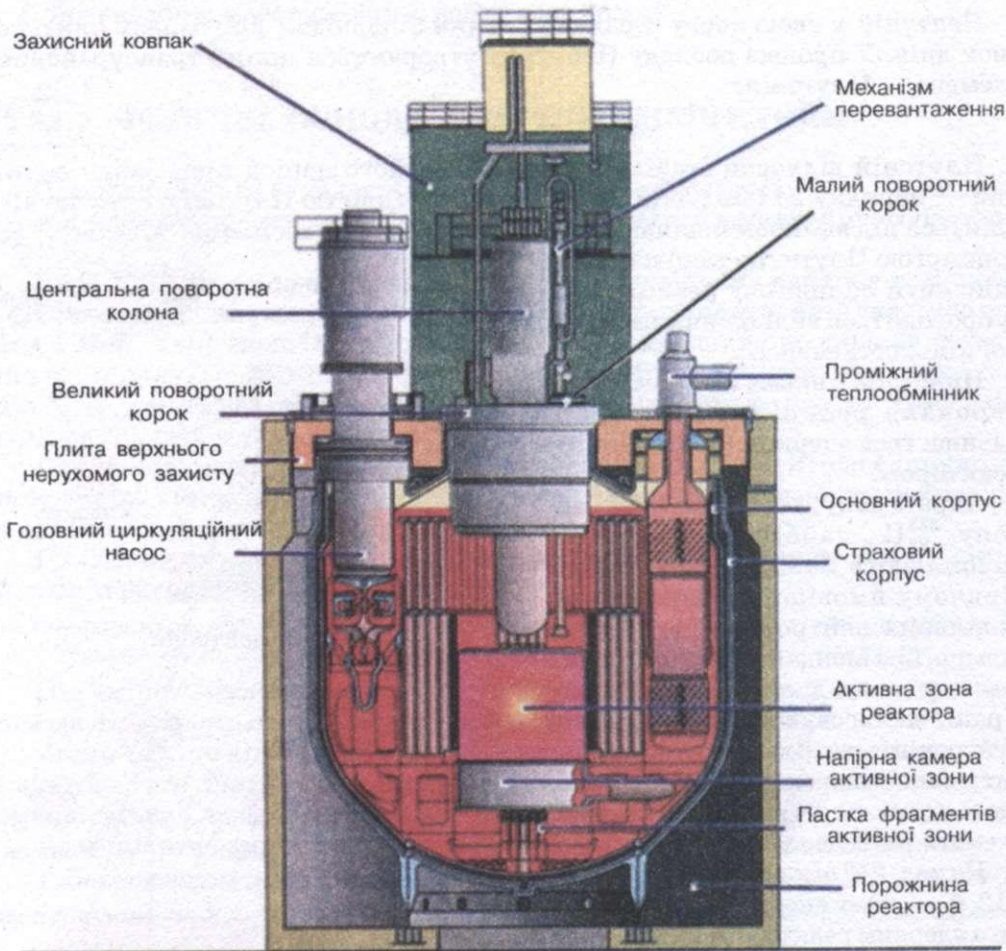
Мал. 211



а



б



в

Мал. 212

$^{238}_{92}\text{U}$ та ін.), сповільнювач нейтронів (важка або звичайна вода, графіт та ін.), теплоносії для виведення теплоти, що утворюється під час роботи реактора (вода, рідкий натрій та ін.), і пристрій для регулювання швидкості реакції (стержні, які вводять у робочий простір реактора; вони містять кадмій чи бор — речовини, які добре поглинають нейтрони).

Зовні реактор оточують захисною оболонкою, що затримує γ -промені і нейтрони, її роблять з бетону із залізним заповнювачем.

Найкращий сповільнювач — **важка вода**. Звичайна ж вода сама захоплює значну кількість нейтронів і перетворюється на важку воду. Добрим сповільнювачем є також графіт, ядра якого не поглинають нейтронів.

Коефіцієнт розмноження k може дорівнювати одиниці лише за умови, що розміри реактора і відповідно маса Урану більші від деяких критичних значень.

Критичною масою називають найменшу масу речовини, що ділиться, при якій може відбуватися ланцюгова ядерна реакція.

Якщо розміри реактора малі, то через поверхню його активної зони (об'єм, в якому розміщуються стержні з Ураном) вилітає дуже багато нейтронів.

Із збільшенням розмірів системи кількість ядер, що беруть участь у поділі, зростає пропорційно об'єму, а кількість нейтронів, яка втрачається внаслідок вильоту, збільшується пропорційно поверхні. Тому, збільшуючи систему, можна добитися, що коефіцієнт розмноження буде більший від одиниці ($k \geq 1$). Система матиме критичні розміри, якщо кількість нейтронів, втрачених внаслідок захоплення і вильоту, дорівнюватиме кількості нейтронів, що утворюються в процесі поділу. При цьому $k = 1$. Критичні розміри визначаються типом ядерного пального, сповільнювачем та конструктивними особливостями реактора.

Для сферичного шматка чистого (без сповільнювача) Урану $^{235}_{92}\text{U}$ критична маса — близько 50 кг. Радіус такої сфери дорівнює приблизно 9 см (Уран дуже важка речовина). Застосуванням сповільнювачів нейтронів і берилієвої оболонки, що відбиває нейтрони, критичну масу вдалося зменшити до 250 г.

Керують реактором за допомогою стержнів, в яких міститься кадмій чи бор. Якщо стержні вийняті з активної зони реактора, то $k > 1$, а якщо вони повністю всунуті, то $k < 1$. Вставляючи стержні в активну зону, можна в будь-який момент припинити ланцюгову реакцію.

Є реактори, які працюють без сповільнювача на швидких нейтронах. Оскільки ймовірність поділу, спричиненого швидкими нейтронами, мала, то такі реактори не можуть працювати на природному урані. Реакцію можна підтримувати лише в збагаченій суміші, яка містить не менше ніж 15% ізотопу $^{235}_{92}\text{U}$. Перевага реакторів на швидких нейтронах така, що під час їх роботи утворюється значна кількість плутонію, який можна використовувати як ядерне паливо. Такі реактори називають **реакторами-розмножувачами**, оскільки вони утворюють матеріал, придатний для поділу. Будують реактори з **коефіцієнтом відтворення** до 1,5. Це означає, що з 1 кг ізотопу $^{235}_{92}\text{U}$ виходить до 1,5 кг плутонію.

У звичайних реакторах коефіцієнт відтворення досягає 0,6—0,7.

Уперше ланцюгову ядерну реакцію поділу Урану було здійснено у США в грудні 1942 р. колективом учених під керівництвом Е. Фермі.



Мал. 213

Перший ядерний реактор було запущено 25 грудня 1946 р. колективом фізиків, який очолював видатний учений **І. Курчатов**.

На сьогодні існують різні типи реакторів, що відрізняються один від одного як потужністю, так і призначенням. Найбільш перспективними є реактори-розмножувачі на швидких нейтронах.

На атомних станціях України (мал. 213): Запорізькій, Південно-Українській, Рівненській, Хмельницькій АЕС встановлені реактори, які мають потужність 500—1000 МВт. Чорнобильську АЕС закрито з 2000 р.

Атомні електростанції мають ряд переваг порівняно з тепловими електростанціями, що працюють на органічному паливі. Вони не вимагають дефіцитного органічного палива, атмосферного кисню, не засмічують середовище золюю та іншими продуктами згоряння. Проте розміщення АЕС в густонаселених районах має потенційну загрозу.

Ядерній енергетиці властиві шкідливі або навіть небезпечні чинники впливу на навколишнє середовище. Складні проблеми виникають у зв'язку з потребою захоронення радіоактивних відходів і демонтажем атомних станцій, які відпрацювали свій термін.

Досвід експлуатації АЕС у всьому світі свідчить, що при нормальному режимі експлуатації біосфера надійно захищена від радіаційного впливу. Проте вибух реактора на Чорнобильській АЕС мал. 214, а показав, що ризик руйнування активної зони реактора внаслідок помилок персоналу і прорахунків в конструкції реакторів залишається реальністю. Сьогодні найбільшою проблемою японців є атомні електростанції. Внаслідок сейсмологічної катастрофи, що відбулася 11 березня 2011 року, підземними поштовхами були



Мал. 214

пошкоджені системи охолодження реакторів на АЕС «Фукусіма-1» і «Фукусіма-2», що створило реальну загрозу ядерного вибуху (мал. 214, б).

2 ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке коефіцієнт розмноження?
2. Що таке критична маса?
3. Що являє собою ядерний реактор?
4. Які види палива використовуються в ядерному реакторі?
5. Назвіть, які АЕС побудовані в Україні і де вони знаходяться.

§ 53. ДІЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЖИВИЙ ОРГАНІЗМ

У 9 класі ви одержали багато відомостей про дози випромінювання, а також про дію радіоактивного випромінювання на людину. Тому на цьому питанні ми зупинимося коротко.

Радіоактивне випромінювання згубно діє на всі живі істоти — від бактерій і вірусів до високорозвинутих організмів — тварин і людину. Ступінь і характер впливу на живий організм радіоактивного випромінювання залежать від дози випромінювання і від виду частинок. Одне і те ж випромінювання по-різному діє на різні живі організми, на їх окремі органи.

Мінімальна смертельна доза (доза, під час опромінення якою гине 50 % організмів одного виду) становить від 50 до 300 р (рентген). Менші дози викликають різні захворювання, що об'єднуються терміном «променева хвороба».

Первинні процеси йонізації, як правило, не викликають великих порушень в тканинах організму. Згубна дія йонізуючого випромінювання зв'язана з вторинними біохімічними реакціями, в які вступають продукти йонізації.

Крім йонізації, опромінення організму супроводжується й іншими ефектами. При поглинанні тканинами організму йонізуючого випромінювання частина атомів і молекул не йонізується, а тільки переходить у збуджений

стан. Через деякий інтервал часу ці атоми повертаються в нормальний стан, а надлишок енергії випромінюють у вигляді квантів ультрафіолетового випромінювання, що поглинається потім тканинами організму. Загальна кількість енергії, що поглинається при цьому тканинами, становить всього приблизно 250 Дж. Проте навіть така нікчемна порція енергії випромінювання має катастрофічні наслідки для людського організму. Це пояснюється тим, що невелика частина молекул білка або нуклеїнової кислоти переходить у збуджений стан. При цьому в молекулах нуклеїнових кислот руйнуються азотисті з'єднання з пірамідом, а в молекулах білка — групи SH. Ці групи, відірвавшись від молекул нуклеїнових кислот і білка, вступають у реакції з атомарним киснем, воднем і радикалами OH, що виникають при йонізації води. Внаслідок цього утворюється нова молекула і новий радикал, який, у свою чергу, вступає в нове з'єднання і так далі. За рахунок порівняно невеликої кількості енергії випромінювання в організмі людини відбувається ланцюгова біохімічна реакція. Кінцевим результатом такої реакції є руйнування структури молекул нуклеїнових кислот і білка. Поєднання цих двох чинників — первинної йонізації і ланцюгової біохімічної реакції — призводить до виникнення променевої хвороби.

Розглянемо дію різних доз радіоактивного випромінювання на людський організм:

- 0—25 Р — відсутність видимих змін в організмі;
- 20—50 Р — можлива зміна складу крові;
- 50—100 Р — зміна складу крові, пошкодження органів;
- 100—200 Р — пошкодження органів, можлива втрата працездатності;
- 200—400 Р — непрацездатність, можлива смерть;
- 400 Р — смертність становить 50 %;
- 600 Р — смертельна доза.

У людини найбільш чутливі до опромінення кровотворні органи (кістковий мозок, селезінка, лімфатичні вузли) і слизова оболонка кишечника. Якщо доза радіоактивного випромінювання близька до смертельної, смерть настає внаслідок руйнування клітин кісткового мозку (лейкемія). При дозах, що значно перевищують смертельну, смерть настає внаслідок ураження кишечника. При дозах, менших за смертельну, на початкових етапах настає гострий період променевої хвороби (недокрів'я, опіки і виразки, випадання волосся, важке ураження очей, гортані), потім різко знижується опір організму інфекційним захворюванням, можливе виникнення ракових пухлин, організм швидко старіє.

Середня річна доза опромінювання, що отримується людиною від різних джерел, становить:

- природний фон — 67,2 %;
- опромінення в медичних установах під час обстежень — 30,5 %;
- випадання радіоактивних осадів — 0,6 %;
- випромінювання атомних електростанцій — 0,6 %;
- інші джерела — 0,5 %;
- професійне опромінення — 0,6 %.

Для того, щоб захистити людину і все живе від радіоактивного випромінювання, всі джерела випромінювання — радіоактивні препарати, прилади,



Мал. 215



Мал. 216



Мал. 217

що містять радіоактивні препарати, — розміщують в спеціальних захисних блоках, контейнерах або камерах (мал. 215).

Фахівці, що працюють з радіоактивними препаратами, носять спеціальний захисний одяг (мал. 216, а); у кожного з них обов'язково є дозиметр — прилад, за допомогою якого визначається ступінь радіоактивного забруднення і доза опромінення (мал. 216, б).

Якщо до вас випадково потрапить будь-який предмет із знаком, зображеним на мал. 217, у жодному разі не торкайтеся і не розбирайте його — це небезпечно!

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як діє радіоактивне випромінювання на живі організми?
2. Що застосовують для захисту від радіоактивного випромінювання?

§ 54. ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА

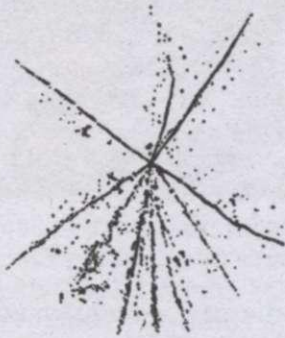
Вивчаючи фізику, ми не раз говорили про існування в природі частинок, які називаються **елементарними**. Ви вже ознайомилися з електроном, фотоном, протоном і нейтроном. *Але що ж таке елементарна частинка?*

У самому слові елементарна закладено подвійний зміст. З одного боку, елементарний — це найпростіший. З другого боку, під елементарним розуміють щось фундаментальне, що лежить в основі речей (саме в цьому розумінні і називають **субатомні частинки** (частинки, з яких складаються атоми) елементарними).

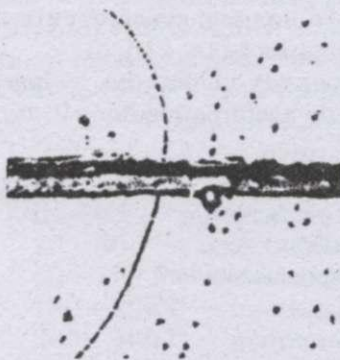
Вважати відомі на сьогодні елементарні частинки подібними до незмінних атомів Демокріта не дозволяє такий простий факт. Жодна з частинок не існує вічно. Більшість елементарних частинок не може проіснувати більше від двох мільйонних частинок секунди, навіть тоді, коли немає ніякого зовнішнього впливу. Наприклад, вільний нейтрон (нейтрон поза атомним ядром) існує в середньому 15 хв.

Тільки такі частинки, як фотон, електрон, протон і нейтрино, могли б залишитися незмінними, якби кожна з них була одна на світі.

Але разом з електронами і протонами існують **позитрони** і **антипротони**, від зіткнення з якими частинки взаємно знищуються і утворюються нові.



Мал. 218



Мал. 219



Мал. 220

Фотон, випромінений настільною лампою, існує не довше від 10^{-8} с. Це той час, який йому потрібен, щоб долетіти до сторінки книжки і поглинутися папером.

Лише **нейтрино** майже вічне, тому що воно надзвичайно слабо взаємодіє з іншими частинками. Але й нейтрино гинуть від зіткнення з іншими частинками, хоч такі зіткнення трапляються рідко. Усі елементарні частинки перетворюються одна в одну, і ці взаємні перетворення — основний факт їх існування.

На мал. 218 ви бачите результат зіткнення ядра Карбону, що мало енергію 60 млрд. еВ (жирна верхня лінія), з ядром Аргентуму фотоемульсії. Ядро розпадається на уламки, які розлітаються в усі боки. Одночасно народжується багато нових елементарних частинок — **піонів**.

За сучасними уявленнями елементарні частинки — це первинні частинки, які далі не розкладаються, — з них складається вся матерія. Проте неподільність елементарних частинок не означає, що вони не мають внутрішньої структури.

Існування двійника електрона — **позитрона** — теоретично передбачив англійський фізик П. Дірак у 1931 р. Коли зустрічаються позитрон і електрон, обидві частинки зникають — **анігілюють**, народжуючи фотони великої енергії. Може бути і зворотний процес — утворення **електронно-позитронної пари**, наприклад, коли стикається фотон досить великої енергії (його маса має бути більшою від суми мас спокою народжуваних частинок) з ядром.

Через два роки позитрон виявили за допомогою камери Вільсона, вміщеної в магнітне поле. Напрямок викривлення треку частинки вказував на знак її заряду, а за радіусом кривизни й енергією частинки визначили відношення її заряду до маси. Воно за значенням таке саме, як і для електрона. На мал. 219 ви бачите першу фотографію, яка довела існування позитрона. Частинка рухалася вгору і, пройшовши через свинцеву пластинку, втратила частину своєї енергії. Тому кривизна траєкторії збільшилася.

Процес утворення пари електрон—позитрон γ -квантом у свинцевій пластинці — видно на фотографії, поданій на мал. 220. У камері Вільсона, вміщеній у магнітне поле, пара залишає характерний слід у вигляді дворогої вилки.

Те, що зникнення одних частинок і поява інших під час реакції між елементарними частинками — це перетворення, а не просто виникнення нової комбінації складових частин старих частинок, особливо наочно виявляється саме під час анігіляції пари **електрон—позитрон**. Обидві ці частинки мають певну масу в стані спокою — електричні заряди.

Порівняно недавно виявили **антипротон** і **antineйтрон**. Електричний заряд антипротона негативний.

Атоми, ядра яких складаються з **антинуклонів**, а оболонка — з **позитронів**, утворюють **антиречовину**. У 1969 р. уперше було одержано **антигелій**.

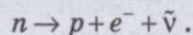
Під час β -розпаду з ядра вилітає електрон. Але електрона в ядрі немає. *Звідки ж він береться?* Після того як електрон вилітає з ядра, заряд ядра, а отже, і кількість протонів збільшується на одиницю. Масове число ядра не змінюється. Це означає, що кількість нейтронів зменшується на одиницю. Отже, у β -радіоактивних ядрах нейтрон здатний розпадатися на протон і електрон. Протон залишається в ядрі, а електрон вилітає назовні. Лише в стабільних ядрах нейтрони стійкі.

Швейцарський фізик **В. Паулі** припустив, що разом з протоном і електроном під час розпаду нейтрона народжується якась частинка «невидимка», що й виносить із собою енергію, якої не вистачає. Цю частинку прилади не реєструють, оскільки вона не має електричного заряду і маси спокою. Отже, вона не може йонізувати атоми, розщеплювати ядра, тобто не може спричинювати ефекти, за якими можна судити про виникнення частинки.

Цю частинку Фермі назвав **нейтрино**, що означає «нейтрончик». Виявилось, що маса спокою нейтрино, як і передбачав Паулі, дорівнює нулю. За цими словами ховається простий зміст: нейтрино в стані спокою немає. Ледь з'явившись на світ, вони одразу рухаються зі швидкістю 300 000 км/с. Розраховуючи взаємодію нейтрино з речовиною в шарі певної товщини, одержали досить невтішний результат щодо можливості виявити цю частинку експериментально. Земна куля для нейтрино прозоріша, ніж найкраще скло для світла.

Роль нейтрино не зводиться лише до пояснення β -розпаду ядер. Багато елементарних частинок у вільному стані спонтанно розпадається, випромінюючи нейтрино. Передусім так поводить себе нейтрон. Тільки у ядрах нейтрон внаслідок взаємодії з іншими нуклонами набуває стабільності. Вільний нейтрон живе в середньому 15 хв. Це довели експериментально лише після того, як було побудовано ядерні реактори, що дають потужні пучки нейтронів.

Як і інші частинки, нейтрино ν має античастинку, яка називається **antineйтрино** — $\bar{\nu}$. Під час розпаду нейтрона на протон і електрон випромінюється саме antineйтрино:



Енергія нейтрона завжди більша від суми енергій протона й електрона. Надлишкову енергію виносить із собою antineйтрино.

Розпад частинки — зовсім не ознака того, що вона не елементарна. Нейтрон, незважаючи на свою нестабільність, вважається елементарною частинкою, а **дейтрон**, без сумніву, складається з нейтрона і протона, хоч він і стабільний.

Відкриття нової елементарної частинки завжди було і зараз є визначним тріумфом науки. Але вже давно до кожного чергового тріумфу почало домішуватися занепокоєння. Оскільки тріумфи відбувалися буквально один за одним.

Було відкрито групу «дивних» частинок: *K*-мезонів і гіперонів з масами, більшими від маси нуклонів. У 70-ті роки ХХ ст. до них приєдналася велика група «зачарованих» частинок, які мають ще більші маси. Крім того, було відкрито частинки з коротким життям — порядку 10^{-22} — 10^{-23} с. Ці частинки назвали **резонансами**; їх було більше 200.

Якщо до таблиці елементарних частинок не вносити резонанси і «зачаровані» частинки, то матимемо 39 частинок.

Усі частинки поділяються на групи:

1. Фотон.

2. **Лептони.** Сюди входять 12 частинок (з античастинками). Є 3 види нейтрино: **електронне нейтрино** народжується разом з електронами, **мюонне нейтрино** — з μ -мезонами і **τ -мезонне нейтрино** — з τ -мезонами. Далі йдуть **електрон**, μ -**мезон** і τ -**мезон**, відкритий у 1975 р. Хоча τ -мезон має дуже велику масу, він входить до групи лептонів, тому за всіма іншими властивостями він до них близький. Основна властивість, яка споріднює його з лептонами, полягає в тому, що ця частинка, як і інші лептони, не бере участі в сильних взаємодіях. Що ж до τ -мезонного нейтрино, то його експериментально поки не виявлено, хоч сумніву в його існуванні немає.

3. **Мезони.** Ця група має 8 частинок. Найлегші з них π -**мезони**: **позитивні**, **негативні й нейтральні**. Їх маси становлять 264 (π^0) і 273 (π^+ , π^-) електронних мас. **Піони** — це кванти ядерного поля, подібно до того, як фотони є квантами електромагнітного поля. Ще є 4 *K*-мезони і один η^0 -мезон.

4. **Баріони.** До цієї групи входять 18 частинок із 39. Найлегші баріони — це протони і нейтрони. За ними йдуть так звані **гіперони**. Таблицю замикає Ω^- (омега мінус)-частинка, відкрита у 1964 р. Її маса в 3273 рази більша від маси електрона.

Існування великої кількості частинок наводить на думку, що не всі вони однаково елементарні.

Ще в 1963 р. **М. Гелл-Манн** і **Дж. Цвейг** запропонували модель, за якою всі частинки, що беруть участь у сильних (ядерних) взаємодіях, народжених з фундаментальніших (або первинних) частинок — **кварків**. Крім фотонів і лептонів, усі інші відкриті на сьогодні частинки є складними.

Спочатку було висловлено гіпотезу про існування трьох кварків (і відповідно трьох антикварків). Кваркам приписувалися дробові електричні заряди, їх позначають літерами: *u*, *d*, *s*. Перший — *u*-кварк — має заряд $2/3 e$, а *d*- і *s*-кварк мають однакові заряди по $-1/3 e$ (де *e* — модуль заряду електрона). Протон складається з двох *u*-кварків і одного *d*-кварка; піони складаються з комбінації **кварк—антикварк** і т. д. Дивні частинки (**каони і гіперони**) містять важчий *s*-кварк; його називають «дивним».

Передбачалося існування четвертого *s*-кварка; його назвали «зачарованим». Потім експериментально виявили частинки, до яких входить цей кварк. Маса *s*-кварка більша від маси *s*-кварка.

Досліди з розсіянням нейтрино і електронів надвисоких енергій на нуклонах підтвердили кваркову структуру і протонів, і нейтронів. Але розщепити на кварки нуклони не вдалося.

Кварки шукали і шукають серед материкових порід, відкладень на дні океану, в місячному ґрунті. Але вільних кварків не виявлено.

Очевидно, міжкваркові сили з відстанню не зменшуються, як усі інші, а збільшуються. Якщо це так, то розщепити нуклони та інші частинки на кварки не вдасться ніколи. Протон та інші частинки мають складну структуру, але розщепити їх на частини не можна.

За сучасними уявленнями, всі лептони, як і кварки, не мають внутрішньої структури. У цьому розумінні лептони і кварки можна вважати справді елементарними частинками. Без античастинок відкрито шість лептонів. Відкрито п'ять кварків. П'ятий — це так званий *b*-кварк, маса якого більша від маси *s*-кварка. Припускають, що є ще й шостий кварк, масивніший за *b*-кварк. Теоретичний аналіз приводить до висновку про те, що має бути кварк-лептонна симетрія: речовина, побудована з шести різних лептонів і шести різних кварків. Разом з їх античастинками цих справжніх елементарних частинок налічується 24.

До них треба ще додати квант електромагнітного поля — фотон — і кванти поля, що зумовлює міжкваркові взаємодії. Частинки міжкваркового поля називаються **глюонами**. Експериментально глюони поки що не виявлені. Нарешті, мають бути кванти поля слабких взаємодій — **векторні бозони**. Вони також поки що не виявлені.

Отже, картина будови матерії на самому глибокому рівні виявилася досить складною. Побудова кількісної теорії міжкваркових сил ще не завершена. Можливо, згодом будуть виявлені ще масивніші кварки і лептони.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Електрон — найлегша із заряджених частинок. За яким з відомих вам законів не можна перетворити електрон у фотони?
2. Під час анігіляції електрона і позитрона, які рухаються повільно, утворилося два γ -кванти. Під яким кутом один відносно одного вони розлітаються?
3. Яка частота γ -квантів, що виникають за умов, зазначених у попередньому запитанні?
4. Чому вільний нейтрон розпадається на протон, електрон та антинейтрино, а вільний протон не може розпастися на нейтрон, позитрон і нейтрино?
5. Чи можна в камері Вільсона спостерігати трек зарядженої частинки з часом життя 10^{-23} с?
6. Що таке кварк?

Задачі та вправи

Розв'язуємо разом

1. Чому нейтрони є найкращими снарядами для руйнування ядра атома, ніж протони, електрони, α -частинки?

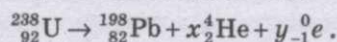
Розв'язання

Нейтрон завдяки своїй нейтральності з будь-якою енергією (від часток до кількох мільонів електрон-вольт), вільно проникає в будь-яке ядро, включаючи і важкі. Але в кожному конкретному випадку частинки-снаряди повинні мати відповідну енергію.

2. Скільки відбувається α - і β -розпадів під час радіоактивного розпаду ${}^{238}_{92}\text{U}$, якщо він перетворюється в ${}^{198}_{82}\text{Pb}$?

Розв'язання

Радіоактивний розпад урану можна записати так:



Нагадаємо, що α -частинка — це ${}_2^4\text{He}$, а β -частинка — це ${}_{-1}^0\text{e}$.

Застосовуючи закон збереження зарядових чисел, можна записати

$$92 = 82 + 2x - 1y.$$

Застосовувши закон збереження масових чисел, отримаємо

$$238 = 198 + 4x.$$

Розв'язуючи отримані рівняння як систему, маємо $x = 10$ і $y = 10$, тобто відбувається десять α -розпадів і десять β -розпадів.

3. При зіткненні α -частинки з ядром бора ${}_{5}^{10}\text{B}$ відбулась ядерна реакція, внаслідок якої утворилося два нових ядра. Одним з цих ядер було ядро атома Гідрогену ${}_1^1\text{H}$. Визначте порядковий номер і масове число другого ядра, дайте символічний запис ядерної реакції і визначте її енергетичний ефект.

Розв'язання

Позначимо невідоме ядро символом ${}_Z^AX$. Знаючи, що α -частинка — це ядро Гелію ${}_2^4\text{He}$, запис реакції матиме вигляд ${}_2^4\text{He} + {}_{5}^{10}\text{B} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_Z^AX$.

Застосовувши закон збереження числа нуклонів, отримаємо рівняння $4 + 10 = 1 + A$, звідки $A = 13$.

Застосовувши закон збереження заряду, маємо $2 + 5 = 1 + Z$, звідки $Z = 6$.

Отже, невідоме ядро є ядром атома ізоотопу Карбону ${}_6^{13}\text{C}$.

Тепер рівняння можна записати в кінцевому вигляді ${}_2^4\text{He} + {}_{5}^{10}\text{B} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_6^{13}\text{C}$.

Енергетичний ефект ядерної реакції визначається за формулою

$$Q = 931[(m_{\text{He}} + m_{\text{B}}) - (m_{\text{H}} + m_{\text{C}})].$$

Використовуючи табличні значення маси атомів, отримаємо

$$Q = 931[(4,00260 + 10,01294) - (1,00783 + 13,00335)] \text{ MeV} = 4,06 \text{ MeV}.$$

$$Q = 4,06 \text{ MeV}.$$

4. Визначте добові витрати урану ${}_{92}^{238}\text{U}$ атомною електростанцією потужністю 7 МВт, якщо ККД електростанції 20 %. При кожному розпаді виділяється енергія 200 МеВ.

Розв'язання

Якщо при кожному розпаді виділяється енергія E_0 , то при розпаді за добу, припустимо N атомів (ядер), виділиться енергія $E = NE_0$. Нехай N атомів відповідає масі урану m кг, тоді $N = \frac{mN_A}{\mu} E_0$, де N_A — число Авогадро; μ — молярна маса урану.

Енергія, яка виділяється за добу, розраховується за формулою: $E_1 = NE_0 = \frac{mN_A}{\mu} E_0$,

а повна енергія: $E = \eta E_1 = Pt$, де P — потужність електростанції, $t = 1$ доба = 86 400 с.

Тоді $Pt = \eta \frac{mN_A}{\mu} E_0$, звідки $m = \frac{Pt\mu}{\eta N_A E_0}$.

Підставивши значення відомих фізичних величин, отримаємо

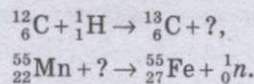
$$m = 36,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Рівень А

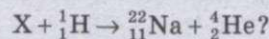
391. Який склад Натрію $^{23}_{13}\text{Na}$, Аргентуму $^{107}_{47}\text{Ag}$, Іоду $^{53}_{126}\text{I}$, Францію $^{223}_{87}\text{Fr}$, Урану $^{238}_{92}\text{U}$, Менделевію $^{256}_{101}\text{Md}$?
392. Який склад мають ізотопи Гелію ^3_2He , ^4_2He , ^5_2He ?
393. Який склад ядра $^{226}_{88}\text{Ra}$? Напишіть рівняння α -розпаду цього ядра.
394. Який склад ядра $^{209}_{84}\text{Po}$? Напишіть рівняння α -розпаду цього ядра.
395. Який склад ядра $^{22}_{11}\text{Na}$? Напишіть рівняння β -розпаду цього ядра.
396. Який склад ядра $^{209}_{82}\text{Pb}$? Напишіть рівняння β -розпаду цього ядра.
397. Для ядра ^7_3Li визначте: 1) дефект маси; 2) енергію зв'язку.
398. Який дефект маси ядра $^{12}_6\text{C}$? Яка мінімальна енергія потрібна для розщеплення цього ядра на окремі нуклони?
399. Кількість ядер деякого хімічного елемента в радіоактивному зразку зменшилась у 8 разів упродовж 1 доби. Який період піврозпаду цього елемента?
400. Період піврозпаду $^{137}_{55}\text{Cs}$ дорівнює 30 років. За який інтервал часу на забрудненій після Чорнобильської катастрофи території кількість ядер $^{137}_{55}\text{Cs}$ зменшиться в 4 рази?
401. Радіоактивний зразок містить $3 \cdot 10^{17}$ ядер $^{52}_{25}\text{Mn}$. Період піврозпаду $^{52}_{25}\text{Mn}$ дорівнює 5,6 доби. Яка кількість ядер $^{52}_{25}\text{Mn}$ залишиться у зразку через 8,4 діб?
402. Період піврозпаду радіоактивних ядер $^{90}_{38}\text{Sr}$ становить 27,7 року. Через який інтервал часу після початку спостереження за радіоактивним зразком у ньому залишиться 25 % ядер $^{90}_{38}\text{Sr}$?
403. Напишіть позначення, яких не вистачає у рівняннях реакції:
- $$^6_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ? + ^4_2\text{He},$$
- $$^{27}_{13}\text{Al} + ^1_0\text{n} \rightarrow ? + ^4_2\text{He},$$
- $$? + ^1_1\text{H} \rightarrow ^{22}_{11}\text{Na} + ^4_2\text{He},$$
- $$^{55}_{23}\text{Mn} + ? \rightarrow ^{26}_{10}\text{...} + ^1_0\text{n}.$$
404. Визначте енергетичний ефект ядерної реакції:
- $$^7_3\text{Li} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n}.$$
- Поглинається чи виділяється енергія в реакції?
405. Яку мінімальну енергію повинна мати α -частинка, щоб відбулась ядерна реакція:
- $$^7_3\text{Li} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} ?$$
406. Яка енергія виділяється під час ядерної реакції:
- $$^7_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^8_4\text{Be} + ^1_0\text{n} ?$$
407. Як пояснити, що в камері Вільсона β -частинки від одного і того ж радіоактивного ізотопу не мають сталої довжини пробігу?
408. Хімічних елементів, що мають заряд ядер Z , який дорівнює 0, 43, 61, 85 і понад 92 протонні одиниці, немає в природі, але їх одержано штучно. Які це елементи?
409. Радіоактивний ізоотп Технецію $^{95}_{43}\text{Tc}$, якого не виявлено у природі, було одержано штучно внаслідок реакції:
- $$^{94}_{42}\text{Mo} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{95}_{43}\text{Tc} + ?$$
- Поясніть реакцію. Яка частинка викидається?

Рівень В

410. Чи змінюються масове число, маса та порядковий номер елемента при випусканні ядром γ -кванта?
411. Як змінюються масове число та номер елемента при вильоту з ядра протона? Нейтрона? Позитрона?
412. Який склад ядра ${}^{238}_{94}\text{Pu}$? Обчисліть для цього ядра: 1) дефект маси; 2) енергію зв'язку на нуклон.
413. Який склад ядра ${}^{118}_{50}\text{Sn}$? Обчисліть для цього ядра: 1) дефект маси; 2) енергію зв'язку на нуклон.
414. Радіоактивний ізотоп ${}^{232}_{90}\text{Th}$ перетворився на ізотоп ${}^{212}_{83}\text{Bi}$. Скільки відбулося α - і β -розпадів під час цього перетворення?
415. У який ізотоп перетворюється ізотоп ${}^{235}_{92}\text{U}$ внаслідок п'яти α - і двох β -розпадів?
416. У який ізотоп перетвориться ізотоп ${}^{238}_{92}\text{U}$ внаслідок α -розпаду і двох β -розпадів?
417. Атомна маса хлору 35,5. Хлор має два ізотопи ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ та ${}^{37}_{17}\text{Cl}$. Визначте їх відсотковий вміст.
418. Скільки відсотків ядер розпадеться у радіоактивному зразку ${}^{131}_{53}\text{I}$ через 18 діб, якщо період піврозпаду ${}^{131}_{53}\text{I}$ становить 6 діб?
419. Період піврозпаду ${}^{60}_{27}\text{Co}$ дорівнює 5,26 року. Яка кількість ядер ${}^{60}_{27}\text{Co}$ розпадається впродовж 7,89 року в зразку масою 30 мкг?
420. Період піврозпаду Ітрію-90 дорівнює 64 год. На скільки відсотків зменшиться інтенсивність радіоактивного випромінювання препарату Ітрію-90 за 24 год?
421. Напишіть позначення, яких не вистачає в рівняннях ядерної реакції:

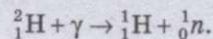


422. Чому нейтрони легше проникають у ядра атомів, ніж інші частинки?
423. Яка енергія виділяється під час термоядерної реакції синтезу дейтрона ${}^2_1\text{H}$ і тритона ${}^3_1\text{H}$, якщо один із продуктів реакції нейтрон?
424. Запишіть рівняння ядерної реакції бомбардування ядер ${}^{14}_7\text{N}$ α -частинками, внаслідок якої отримують протони. Обчисліть енергетичний ефект реакції. Виділяється чи поглинається енергія у цій реакції?
425. Внаслідок бомбардування якого ядра X протонами можлива реакція:

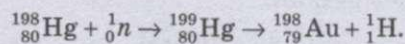


Який енергетичний ефект цієї реакції? Поглинається чи виділяється енергія в реакції?

426. Визначте найменшу енергію γ -кванта, потрібну для проведення реакції:



427. Під час анігіляції електрона і позитрона утворилося два однакових γ -кванта. Знайдіть довжину хвилі, нехтуючи кінетичною енергією частинок до реакції.
428. Поясніть лабораторну реакцію добування золота з ртуті:




Чому цю реакцію не можна застосовувати в промислових масштабах?

ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Контрольні запитання

1. Смугасті спектри молекул складаються з окремих ліній, що в межах однієї смуги близько розміщені одна біля одної. Який висновок з цього факту можна зробити про число можливих енергетичних рівнів молекул? Чи дуже різняться модулі енергій окремих рівнів?
2. Чому атоми ізотопів хімічно цілком тотожні один одному?
3. Чому в основу систематизації хімічних елементів покладено не масу, а заряд ядер?
4. У першому наближенні енергію зв'язку ядра можна вважати пропорційною числу нуклонів у ньому. Чому це так?
5. Альфа-частинку поглинула речовина. Де поділась альфа-частинка?
6. Чому виникає γ -квант у ядрі атома в процесі його радіоактивного розпаду?
7. З'ясуйте, чому ядра атомів при опроміненні їх нейтронами стають радіоактивними?
8. Чому в ядерних реакторах повільні (теплові) нейтрони більш ефективно захоплюються ядрами Урану, ніж швидкі?
9. Поясніть, чому для здійснення термоядерної реакції найзручніше використати ядра Гідрогену, особливо його важкі ізотопи: дейтерій і тритій.
10. Що відбудеться, коли електрон зіткнеться з протоном?
11. Існують радіоактивні ядра атомів. А чи існують радіоактивні елементарні частинки? Наведіть приклади.
12. Чи можна трактувати закон збереження електричних зарядів як закон збереження числа елементарних зарядів, тобто збереження суми елементарних зарядів кожного знаку окремо?

 **Що я знаю і вмію робити**
Я знаю, що таке спектральний аналіз

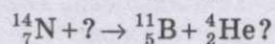
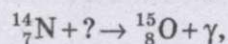
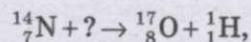
1. Пояснюючи практичне використання спектрального аналізу, учень сказав: «Щоб визначити склад сплаву, дротину з нього дуже нагрівають струмом і ставлять біля щілини спектроскопа. За результатами аналізу смужки спектра роблять висновки про склад сплаву». У чому помилився учень?
2. На матовому склі спектроскопа наведено спектр гарячого газу у вигляді окремих яскравих тонких ліній. Що змінюватиметься при значному підвищенні густини газу?

Я знаю, що таке радіоактивні перетворення

3. Внаслідок радіоактивного розпаду ядро ${}_{92}^{238}\text{U}$ перетворилося на ядро ${}_{84}^{210}\text{P}$. Скільки α - і β -розпадів відбулося?
4. Нейтрон розпадається за схемою $n \rightarrow p + e^{-} + \nu$. Одночасно він відновлюється за схемою $p + \nu \rightarrow e^{+} + n$. Якщо ці реакції відбуватимуться послідовно, то дістанемо вихідний нейтрон і, крім того, електрон та позитрон. Чи не суперечить це законам збереження?

Я вмію пояснювати, як проходять ядерні реакції

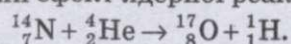
5. Яку бомбардуючу частинку застосовували в кожній із таких реакцій:



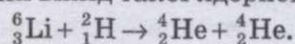
6. Яка мінімальна енергія потрібна для розщеплення ядра Оксигену ${}^{17}_8\text{O}$, якщо маса протона 1,00728 а.о.м, нейтрона 1,00867 а.о.м, електрона $5,48 \cdot 10^{-4}$ а.о.м, маса Оксигену 19,99913 а.о.м?

Я вмію визначати енергетичний вихід ядерних реакцій

7. Визначте енергетичний ефект ядерної реакції:



8. Визначте енергетичний вихід такої ядерної реакції:



9. Визначте енергетичний вихід ядерної реакції ${}^7_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^1_0n$. Виділяється чи поглинається енергія? Маса ізопів: Літійу — 7,01601 а.о.м; дейтерію — 2,01410 а.о.м, Берилію — 8,00531 а.о.м.

Я вмію застосовувати закон радіоактивного розпаду

10. За 8 год початкова кількість радіоактивного ізопіву зменшилась утричі. У скільки разів вона зменшиться за добу?

11. У двох зразках у початковий момент містилась однакова кількість радіоактивних атомів. Період піврозпаду атомів першого зразка дорівнює 10 хв, а другого — 40 хв. Визначте відношення кількості радіоактивних атомів у зразках через 2 год.

12. Радіоактивний препарат має 10^3 ядер. Яка частка їх залишиться через час, що дорівнює половині періоду піврозпаду?

Я знаю, як застосувати фізичні закони

13. Оцінити густину ядерної речовини.

14. Який закон електродинаміки постулює той факт, що при перетворенні нейтрона на протон виникає саме електрон, що вилітає з ядра як β -частинка?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант I

- Згідно з моделлю Дж. Томсона, атом складається з
 - рівномірно розподіленого за всім об'ємом позитивного заряду, в який вкраплено електрони.
 - рівномірно розподіленого за всім об'ємом негативного заряду, в який вкраплено протони.
 - диполя.
 - нерівномірно розподіленого позитивного заряду з вкрапленими електронами.
 - нерівномірно розподіленого негативного заряду з вкрапленими протонами.

2. Модель атома Резерфорда така.
- Ядро розмірами 10^{-15} м, навколо якого обертаються протони.
 - Ядро розмірами 10^{-10} м, навколо якого обертаються електрони.
 - Ядро розмірами 10^{-15} м, навколо якого обертаються електрони.
 - Ядро розмірами 10^{-9} м, навколо якого обертаються електрони.
 - Ядро розмірами 10^{-10} м, навколо якого обертаються протони.
3. Заряд ядра є
- позитивним.
 - негативним.
 - нейтральним.
 - позитивним і негативним.
 - відсутнім.
4. Перший постулат Бора визначає існування
- електронів у атомі.
 - ядра.
 - стаціонарних станів атома.
 - протонів у ядрі.
 - нейтронів у ядрі.
5. Перехід атома з вищого енергетичного рівня на нижчий супроводжується
- поглинанням кванта енергії.
 - випромінюванням кванта енергії.
 - без затрат енергії.
 - з випромінюванням двох квантів енергії.
 - з випромінюванням дев'яти квантів енергії.
6. Лінійчасті спектри характерні для
- молекулярних газів.
 - рідин.
 - твердих тіл.
 - атомних газів.
 - плазми.
7. На які стаціонарні орбіти переходять електрони в атомі Гідрогену під час випускання ультрафіолетових променів?
- Першу.
 - Другу.
 - Третю.
 - Четверту.
 - П'яту.
8. Другий постулат Бора визначається співвідношенням
- $h\nu = \frac{1}{E_n} - \frac{1}{E_m}$.
 - $\frac{1}{h\nu} = \frac{1}{E_n} - \frac{1}{E_m}$.
 - $\frac{1}{h\nu} = E_n - E_m$.
 - $h\lambda = E_n - E_m$.
 - $h\nu = E_n - E_m$.
9. При центральному зіткненні α -частинки з ядром найменша відстань, на яку підлітає частинка, дорівнює
- $r = \frac{ze^2}{\pi\epsilon_0 m_\alpha v_\alpha^2}$.
 - $r = \frac{\pi\epsilon_0 m_\alpha v_\alpha^2}{ze^2}$.
 - $r = \frac{\pi\epsilon_0 ze^2}{m_\alpha v_\alpha^2}$.
 - $r = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{\pi\epsilon_0 ze^2}$.
 - $r = 0$.
10. Довжина хвилі, що супроводжує рух частинки, визначається співвідношенням
- $\lambda = \frac{mv}{h}$.
 - $\lambda = \frac{mv}{hc}$.
 - $\lambda = \frac{h}{mv}$.
 - $\lambda = \frac{hc}{mv}$.
 - $\lambda = \frac{h}{v}$.
11. Атомне ядро складається з
- протонів і електронів.
 - нейтронів та електронів.
 - нейтронів, протонів та електронів.
 - електронів.
 - нейтронів і протонів.

12. Масове число ядра визначається кількістю

- А. нейтронів.
- Б. протонів.
- В. нейтронів і протонів.
- Г. електронів.
- Д. електронів і нейтронів.

13. Енергія зв'язку атомного ядра дорівнює (m_p — маса протона, m_n — маса нейтрона, M_y — маса ядра):

А. $E_{зв} = (Zm_p + (A - Z)m_n - M_y)c^2$.

Б. $E_{зв} = ((A - Z)(m_p + m_n) - M_y)c^2$.

В. $E_{зв} = M_y c^2$.

Г. $E_{зв} = (Zm_p + (A - Z)m_n)c^2$.

Д. $E_{зв} = ((A - Z)m_p - M_y)c^2$.

14. Період піврозпаду радіоактивних ядер — це час, за який

- А. розпадаються всі ядра.
- Б. розпадається половина ядер.
- В. розпадається третина ядер.
- Г. розпадається четверта частина усіх ядер.
- Д. кількість ядер зменшується в e разів.

15. Нейтрино виділяється при перетворенні

- А. протона в α -розпаді.
- Б. протона в нейтрон і протон.
- В. нейтрона в протон і електрон.
- Г. протона в ядро Гідрогену.
- Д. протона в протон.

16. Енергетичним виходом ядерної реакції називається

- А. різниця енергій спокою всіх ядер і частинок до і після реакції.
- Б. різниця енергій всіх ядер і частинок до і після реакції.
- В. енергія спокою всіх ядер до реакції.
- Г. енергія спокою всіх ядер і частинок після реакції.
- Д. різниця мас спокою всіх ядер і частинок після і до реакції.

17. Ядерним реактором називається пристрій, в якому відбувається

- А. некерована ланцюгова ядерна реакція.
- Б. ядерна реакція.
- В. керована ланцюгова ядерна реакція.
- Г. згоряння газу.
- Д. перетворення механічної енергії в теплову.

18. Кількість електронів в атомі ${}^{231}_{91}\text{Pa}$ становить

- А. 231. Б. 140. В. 322. Г. 91. Д. Відсутні.

19. Схему радіоактивного α -розпаду наведено у такому вигляді:

