

Лекція 4

Тема. Основи загальної радіохімії: ядерні реакції. Поділ важких ядер.

Мета. Ознайомити студентів з ядерними реакціями (ланцюговими керованими та некерованими) та умовами їх перебігу; пояснити суть термоядерного синтезу.

Вступ.

До початку 40-х років роботами багатьох учених було доведено, що під час опромінення урану нейтронами утворюються елементи із середини періодичної системи – лантан і барій. Цей результат поклав початок дослідженню ядерних реакцій нового типу – реакцій поділу ядра, суть яких в тому, що важке ядро під дією нейтронів, а також інших частинок ділиться на декілька більш легких ядер, найчастіше на два близькі за масою ядра. Перебіг ланцюгової ядерної реакції залежить від значення коефіцієнта розмноження нейтронів, за яким ланцюгові реакції поділяють на керовані та некеровані.

План.

1. Некерована ланцюгова реакція. Характеристика ядерної зброї.
2. Керована ланцюгова реакція. Атомні електричні станції.
3. Термоядерний синтез.

Зміст лекції

1. Некерована ланцюгова реакція. Характеристика ядерної зброї.

Зброя, дія якої ґрунтується на використанні ядерної (атомної) енергії, називається *ядерною* або *атомною* зброєю.

Назва «ядерна зброя» означає, що мова йде про зброю, яка принцип роботи якої ґрунтується на використанні енергії, що виділяється під час перетворень атомних ядер.

Атомною зброєю звичайно називають зброю, що містить в основному таку атомну вибухову речовину, як уран-233, уран-235 або плутоній-239. Проте зараз основним типом зброї є така, в якій під час вибуху відбуваються різноманітні ядерні реакції в тому чи іншому співвідношенні.

Тому можна вважати, що термін «ядерна зброя» можна розповсюдити на всі види зброї, у якої вибух зумовлений ядерними реакціями.

Ядерний вибух здійснюється шляхом перевodu заряду з докритичного стану в критичний, точніше в надкритичний. Ось один з варіантів схеми будови атомного заряду. До моменту вибуху загальний заряд в бомбі може бути розділений на дві чи більше частин; величина кожної частини є меншою за критичну, що виключає передчасний вибух у кожній з них окремо (рис. 4.1). Щоб здійснити вибух, потрібно з'єднати всі частини заряду в одне ціле. Зближення частин повинно відбуватися дуже швидко, щоб за рахунок енергії, що виділяється на початку ядерної реакції, не встигли б розлетітися ще непрореаговані частини заряду. Від цього залежить кількість ядер, що поділилися в результаті ланцюгової ядерної реакції, а отже, і потужність вибуху. У результаті зближення мас ядерного заряду ланцюгова реакція

починається не в момент їх зіткнення, а в момент, коли вони ще розділені невеликим проміжком. За умови повільного зближення мас внаслідок перегріву вони можуть зруйнуватися і розлетітися в різні боки – бомба зруйнується, не вибухнувши. Тому необхідно скоротити період зближення, передаючи велику швидкість масам, що сполучаються. Для з'єднання частин заряду в бомбі можна використовувати дію вибуху звичайної вибухової речовини. Щоб збільшити ступінь використання речовини, що ділиться, під час ядерного вибуху, її оточують відбивачем нейтронів і поміщають у оболонку з міцного матеріалу. Інший спосіб зробити масу критичною або надкритичною: тонку сферичну оболонку з урану або плутонію стиснути в кулю. Для цього навколо тонкої уранової або плутонієвої сферичної оболонки розмішують звичайну вибухову речовину, яка у потрібний момент вибухає. В результаті дії газів уранова або плутонієва оболонка стискається в кулю, утворюючи надкритичну масу, в якій починається ланцюгова реакція, яка завершується вибухом радіоактивного матеріалу. Енергія вибуху ядерних зарядів (які ґрунтуються на поділі ядер) може бути різною. Їх тротильовий еквівалент може коливатися в межах від 50 т до 200 т. Нижня межа визначається коефіцієнтом використання радіоактивної речовини. Верхня межа визначається тим, що неможливо безмежно збільшувати вагу окремих частин заряду, оскільки їх маса повинна бути менша за критичну.

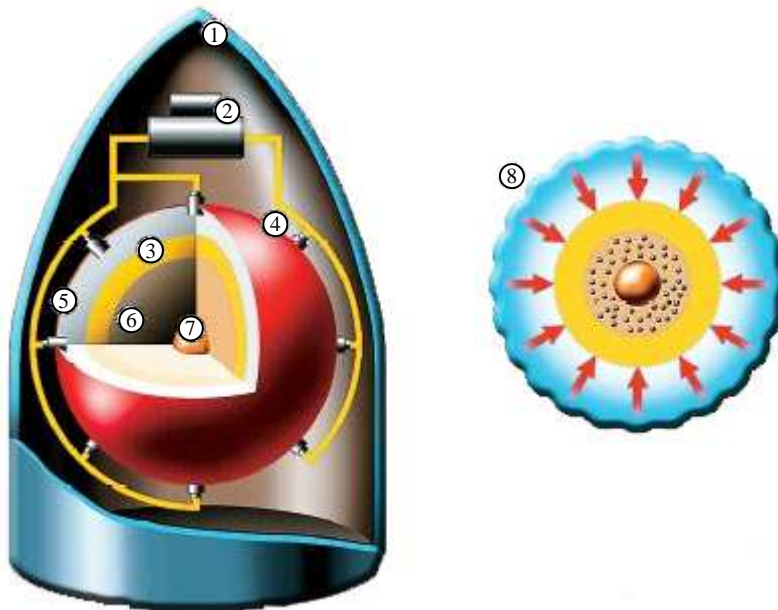


Рис. 4.1. Схема ядерної боеголовки:

- 1 – корпус;
- 2 – вибуховий механізм;
- 3 – вибухова речовина;
- 4 – електродетонатор;
- 5 – нейтронний відбивач;
- 6 – ядерне паливо (^{235}U);
- 7 – джерело нейтронів;
- 8 – процес стискання ядерного пального направленим всередину вибухом.

Ядерна зброя – це один з основних видів зброї масового знищення. Вона здатна в короткий час знищити велику кількість людей, зруйнувати будинки і

споруди на великих територіях. Масове застосування ядерної зброї здатне викликати катастрофічні наслідки для всього людства, тому ведеться його заборона.

Уражаюча дія ядерної зброї заснована на енергії, що виділяється під час ядерних реакцій вибухового типу. Потужність вибуху ядерних боєприпасів прийнято виражати тротилевим еквівалентом, тобто кількістю звичайної вибухової речовини (тротилу), у результаті вибуху якого виділяється стільки ж енергії, скільки її виділяється під час вибуху цих ядерних боєприпасів. Тротилевий еквівалент вимірюється в тонах (кілотонах, мегатонах).

Засобами доставки ядерних боєприпасів до цілей є ракети (основний засіб нанесення ядерних ударів), авіація й артилерія. Крім того, можуть застосовуватися ядерні фугаси.

Ядерні вибухи здійснюються в повітрі на різній висоті, у поверхні землі (води) і під землею (водою). Відповідно до цього їх прийнято поділяти на висотні, повітряні, наземні (надводні) і підземні (підводні). Точка, в якій відбувся вибух, називається *центром*, а її проекція на поверхню землі (води) – *епіцентром* ядерного вибуху.

Вражаючі фактори ядерного вибуху:

- ударна хвиля;
- світлове випромінювання;
- проникаюча радіація;
- радіоактивне зараження;
- електромагнітний імпульс.

Ударна хвиля. Це основний вражаючий фактор ядерного вибуху, тому що більшість руйнувань і ушкоджень споруд, будинків, а також ураження людей обумовлені, як правило, її впливом. Вона являє собою область різкого стиску середовища, що поширюється в усі сторони від місця вибуху з надзвуковою швидкістю. Передня межа стиску повітря називається *фронтом ударної хвилі*.

Вражаюча дія ударної хвилі характеризується величиною надлишкового тиску. **Надлишковий тиск** – це різниця між максимальним тиском у фронті ударної хвилі і нормальним атмосферним тиском перед ним. Він вимірюється в Паскалях ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$).

За надлишкового тиску 20-40 кПа незахищені люди можуть одержати легкі ураження (легкі забиті місця і контузії). Вплив ударної хвилі з надлишковим тиском 40-60 кПа приводить до уражень середньої важкості: втрати свідомості, ушкодження органів слуху, сильних вивихів кінцівок, кровотечі з носа й вух. Важкі травми виникають за надлишкового тиску понад 60 кПа і характеризуються сильними контузіями всього організму, переломами кінцівок, ушкодженням внутрішніх органів. Вкрай важкі поразки, нерідко зі смертельним результатом, спостерігаються за надлишкового тиску понад 100 кПа.

Швидкість руху і відстань, на яку поширюється ударна хвиля, залежать від потужності ядерного вибуху; зі збільшенням відстані від місця вибуху швидкість швидко падає.

Світлове випромінювання. Це потік променистої енергії, що включає видимі ультрафіолетові й інфрачервоні промені. Його джерело – область свічення, утворена розпеченими продуктами вибуху і розпеченим повітрям.

Світлове випромінювання поширюється практично миттєво і триває, в залежності від потужності ядерного вибуху, до 20 с. Однак сила його така, що, незважаючи на короткочасність, воно здатне викликати опіки шкіри (шкірних покривів), ушкодження (постійне чи тимчасове) органів зору людей і займання горючих матеріалів і об'єктів.

Світлове випромінювання не проникає через непрозорі матеріали, тому будь-яка перешкода, що здатна створити тінь, захищає від прямої дії світлового випромінювання і виключає опіки. Значно послаблюється світлове випромінювання в запиленому (задимленому) повітрі, у туман, дощ, снігопад.

Проникаюча радіація. Це потік гамма-променів і нейтронів. Вона триває 10-15 с. Проходячи через живу тканину, гамма-випромінювання і нейтрони йонізують молекули, що входять до складу клітин. Під впливом йонізації в організмі виникають біологічні процеси, що приводять до порушення життєвих функцій окремих органів і розвитку променевої хвороби. У результаті проходження випромінювань через матеріали навколишнього середовища зменшується їхня інтенсивність. Послаблюючу дію прийнято характеризувати **шаром половинного послаблення**, тобто такою товщиною матеріалу, проходячи через який інтенсивність випромінювання зменшується в два рази. Наприклад, інтенсивність гамма-променів послаблюють у два рази сталь товщиною 2,8 см, бетон – 10 см, ґрунт – 14 см, деревина – 30 см.

Відкриті й особливо перекриті щілини зменшують вплив проникаючої радіації, а сховища і протирадіаційні укриття практично цілком захищають від неї.

Радіоактивне зараження.

Основними його джерелами є продукти поділу ядерного заряду і радіоактивні ізотопи, що утворюються в результаті впливу нейтронів на матеріали, з яких виготовлені ядерні боеголовки, і на деякі елементи, що входять до складу ґрунту в районі вибуху.

У наземному ядерному вибуху область свічення торкається землі. Всередину її затягуються маси ґрунту, що випаровуються та піднімаються вгору. Охолоджуючись, пара продуктів поділу ґрунту конденсується на твердих частках. Утворюється радіоактивна хмара. Вона піднімається на багатокілометрову висоту, а потім зі швидкістю 25-100 км/год. рухається в напрямку вітру. Радіоактивні частки, випадаючи з хмари на землю, утворюють зону радіоактивного зараження (слід), довжина якої може досягати кількох сотень кілометрів.

Найбільшу небезпеку радіоактивні речовини представляють у перші години після випадання, тому що їхня активність у цей період найвища.

Електромагнітний імпульс. Це короткочасне електромагнітне поле, що виникає під час вибуху ядерних боеприпасів у результаті взаємодії гамма-променів і нейтронів, що випускаються у результаті ядерного вибуху, з атомами навколишнього середовища.

Наслідком його впливу є перегорання або пробої окремих елементів радіоелектронної й електротехнічної апаратури.

Ушкодження людей можливе тільки в тих випадках, коли вони в момент вибуху доторкаються до ліній-провідників.

Найбільш надійним засобом захисту від усіх вражаючих факторів ядерного вибуху є захисні споруди. У полі варто ховатися за міцними місцевими предметами, зворотними схилами горбів, у складках місцевості.

Під час роботи у зонах зараження для захисту органів дихання, очей і відкритих ділянок тіла від радіоактивних речовин використовуються засоби захисту органів дихання (протигази, респіратори, протипилові тканинні маски і ватно-марлеві пов'язки), а також засоби захисту шкіри.

Вогнище ядерного ураження. Вогнищем ядерного ураження називається територія, яка була піддана безпосередньому впливу вражаючих факторів ядерного вибуху. Воно характеризується масовими руйнуваннями будинків, споруд, завалами, аваріями в мережах комунально-енергетичного господарства, пожежами, радіоактивним зараженням і значними втратами серед населення.

Розміри вогнища тим більші, чим могутнішим є ядерний вибух. Характер руйнувань у вогнищі залежить також від міцності конструкцій будинків і споруд, їхньої висоти і щільності забудови.

За зовнішню межу вогнища ядерного ураження приймають умовну лінію на місцевості, проведену на такій відстані від епіцентру (центру) вибуху, де величина надлишкового тиску ударної хвилі дорівнює 10 кПа.

Зона радіоактивного зараження – це територія, яка була піддана зараженню радіоактивними речовинами в результаті їх випадання після наземних (підземних) і низьких повітряних ядерних вибухів.

Зона надзвичайно небезпечного зараження. На зовнішній межі зони доза випромінювання з моменту випадання радіоактивних речовин із хмари на місцевість до повного їх розпаду дорівнює 4000 Р (у середині зони – 10000 Р), потужність дози випромінювання через 1 год. після вибуху – 800 Р/год.

Зона небезпечного зараження. На зовнішній межі зони випромінювання – 1200 Р, потужність дози випромінювання через 1 год. – 240 Р/год.

Зона сильного зараження. На зовнішній межі зони випромінювання – 400 Р, потужність дози випромінювання через 1 год. – 80 Р/год.

Зона помірного зараження. На зовнішній межі зони випромінювання – 40 Р, потужність дози випромінювання через 1 год. – 8 Р/год.

2. Керована ланцюгова реакція. Атомні електричні станції.

Атомні електростанції (АЕС) – сукупність установок, обладнання і апаратури, які використовуються, безпосередньо, для виробництва електричної енергії. Це основа ядерної енергетики, яка використовує ядерну енергію з метою електрифікації та теплофікації. Для здійснення ланцюгової ядерної реакції використовують складні технічні прилади – ядерні (атомні) реактори. Перший у світі реактор був збудований у 1942 р. у США під керівництвом італійського фізика Е. Фермі.

Ядерний реактор – це пристрій в якому здійснюється керована ядерна ланцюгова реакція, що супроводжується виділенням енергії. Існує кілька типів ядерних реакторів, усі вони використовують ядерну ланцюгову реакцію розпаду. Розпад ядер відбувається в активній зоні реактора, у якій зосереджене ядерне паливо, і супроводжується вивільненням значної кількості енергії.

Основними частинами будь-якого ядерного реактора є (рис.4.2):

- активна зона, де знаходиться ядерне пальне, відбувається ланцюгова реакція ядерного поділу і виділяється енергія;
- відбивач нейтронів, який оточує активну зону;
- теплоносій;
- система регулювання ланцюгової реакції;
- радіаційний захист.

За конструкцією ядерні реактори поділяються на гетерогенні і гомогенні. В гетерогенних реакторах ядерне пальне розподілене в активній зоні дискретно у вигляді блоків, між якими знаходиться сповільнювач нейтронів. Блоки з ядерним паливом в гетерогенному ядерному реакторі мають вигляд стержнів і називаються **тепловиділяючими елементами (ТВЕЛами)**, які утворюють правильну ґратку (найбільш розповсюджені ядерні реактори). У гомогенних реакторах ядерне пальне та сповільнювач уявляють собою однорідну суміш (розчин або суспензія).

Основною характеристикою ядерного реактора є його потужність. Потужність 1 МВт відповідає ланцюговій реакції, в якій проходить $3 \cdot 10^{16}$ актів поділу за 1 с. За призначенням і потужністю ядерні реактори поділяються на декілька груп:

1) експериментальні реактори, призначені для накопичення знань необхідних для проектування та експлуатації ядерних реакторів; потужність таких ядерних реакторів не перевищує декілька кВт;

2) дослідницькі реактори, в яких потоки нейтронів та γ -квантів, що генеруються в активній зоні, використовуються для досліджень з ядерної фізики, фізики твердого тіла, радіаційної хімії, біології, для випробування матеріалів, призначених для роботи в інтенсивних нейтронних потоках, для виробництва ізотопів. Потужність дослідницького ядерного реактора не перевищує 100 МВт, а енергія, як правило, не використовується;

3) ізотопні ядерні реактори-розмножувачі, які використовуються для отримання радіонуклідів, у тому числі ^{239}Pu ;

4) енергетичні ядерні реактори, в яких енергія, що виділяється під час поділу ядер, використовується для отримання електроенергії, теплофікації, для отримання прісної води з морської, в силових установках на кораблях і т.д. Теплова потужність енергетичного ядерного реактора досягає 3–5 ГВт.

Ядерні реактори розрізняються також за видами ядерного пального (природний уран; слабо збагачений ізотоп; чистий ізотоп), за його хімічним складом (металічний уран, UO_2 , UC і т.д.), за видом теплоносія (вода, важка вода, органічні рідини, розтоплений метал), за родом сповільнювача (графіт, вода, важка вода, берилій, берилій оксид, гідриди металів, відсутність сповільнювача), за енергією нейтронів, що викликають розпад (реактор на теплових, швидких і проміжних нейтронах).

Схему ядерного реактора на повільних нейтронах приведено на рис. 4.2.

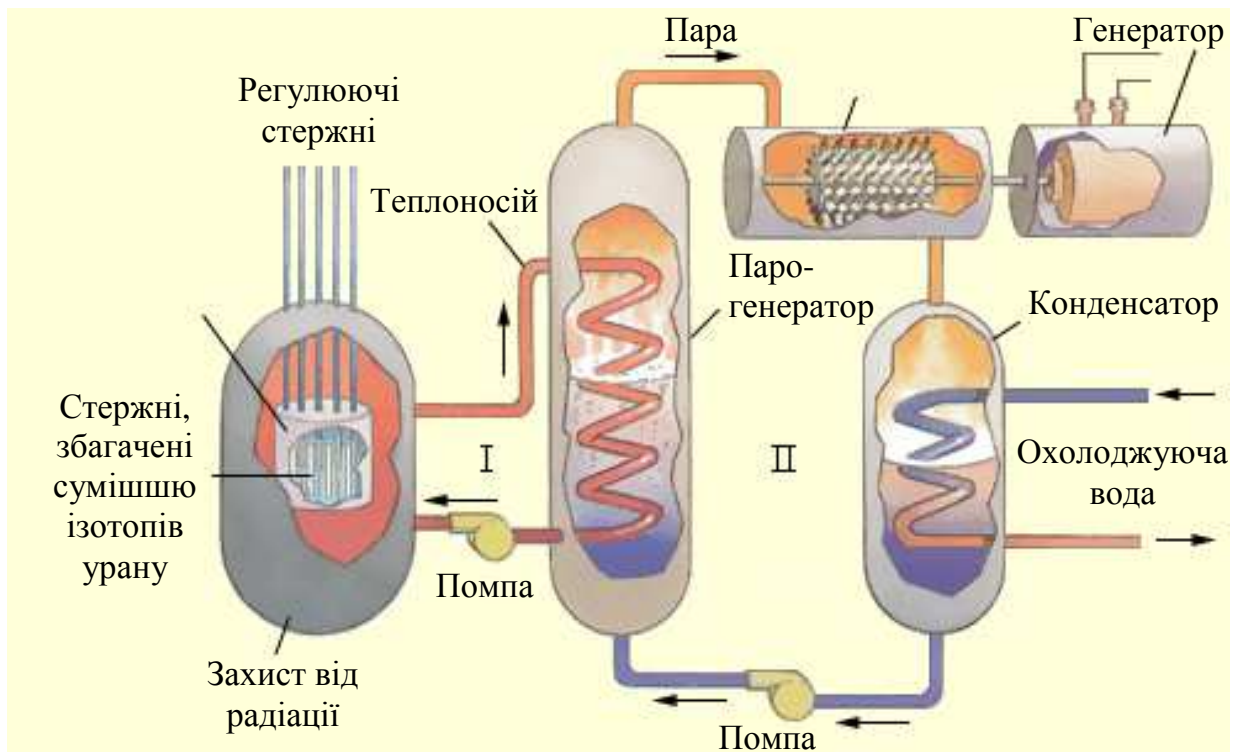


Рис. 4.2. Схема ядерного реактора на повільних нейтронах.

Тепло, яке виділяється в реакторі у результаті ланцюгової реакції поділу ядер деяких важких елементів, потім, так само, як і на звичайних теплових електростанціях, перетворюється в електроенергію. На відміну від ТЕС, які працюють на органічному паливі, АЕС працює на ядерному паливі (в основному ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu). У результаті поділу 1 г ізотопів урану або плутонію, вивільняється 22 500 кВт·год., що є еквівалентом енергії, яка міститься в 2800 кг умовного палива. Встановлено, що світові енергетичні ресурси ядерного палива (уран, плутоній та ін.) перевищують енергоресурси природних запасів органічного палива (нафта, вугілля, природний газ та ін.). Це відкриває широкі перспективи для забезпечення великих потреб у паливі. Крім того, необхідно враховувати об'єм споживання вугілля і нафти (які постійно збільшуються) для технологічних цілей світової хімічної промисловості, яка стає серйозним конкурентом теплових електростанцій.

Основним компонентом ядерного реактора є його осердя, або активна зона, де розщеплюється паливо і здійснюється керована ланцюгова реакція. Перед розщепленням уранову масу збагачують і перетворюють у покриті керамічним матеріалом пігулки. Пігулки вміщують у труби зі стопу, що не боїться іржі і називається *циркалоєм*. У радіоактивну зону реактора закладають 40-50 тисяч пігулок. Трубки з пігулками встановлюються насторч, як сигарети, у круглому контейнері. У середині реактора безперервно відбувається ядерна реакція. Атоми урану в паливних стержнях розщеплюються і випускають нейтрони, швидкість яких регулюють водні або графітові «сповільнювачі» таким чином, щоб збільшити розщеплення атомів урану в ланцюговій реакції до максимуму. Під час розщеплення атомів утворюється тепло. При цьому трубки весь час занурені у воду, яка відбирає тепло. На одних ядерних електростанціях вода, що проходить крізь активну зону реактора, кипить і

перетворюється на пару, яку подають безпосередньо до турбін, а на інших тепло передається лише на вторинній системі, і аж тоді вода закипає і перетворюється на пару.

Ланцюгову реакцію треба підтримувати, але нею треба також керувати. Якщо водночас розщеплюється надто велика кількість атомів, то вивільняється дуже багато тепла і система може не витримати перегріву. Щоб запобігти цьому, використовують контрольні стержні та системи охолодження активної зони реактора.

Контрольні стержні – це основні механізми, що регулюють швидкість розщеплення. Вони мають вигляд довгих стійких сталевих трубок, заповнених порошком бор карбїду, кадмію або графіту. Ці речовини здатні поглинати нейтрони. Швидкість вивільнення енергії згоряння у реакторі контролюють за допомогою збільшення або зменшення кількості стержнів. Якщо між паливними стержнями вставити контрольні, то швидкість розщеплення зменшиться, бо нейтрони, які звичайно розщеплюють інші уранові ядра, поглинаються контрольними стержнями, що діють неначе губка. І навпаки, якщо контрольні стержні вийняти, то швидкість розщеплення збільшується, бо вивільняється більше нейтронів, здатних розщеплювати сусідні атоми урану. Якщо вставити всі контрольні стержні, то розщеплення атомів припиняється і реактор вимикається. Однак контрольні стержні вбирають нейтрони, а не тепло. Тому, щоб не розтопилася активна зона реактора, потрібна ще одна система. Вона називається системою охолодження активної зони реактора.

У більшості таких систем для охолодження використовується вода. У міру того, як розщеплюється уранове паливо, утворюється тепло, яке проходить крізь стіни трубок з паливними пігулками. Ці трубки занурені у воду, яка безперервно циркулює в активній зоні завдяки дії охолоджувальних pomp. Саме ця вода й охолоджує циркуляційні трубки, не даючи їм розтопитися.

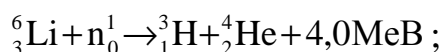
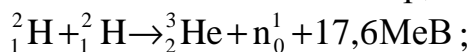
Тепло, яке виділяється в активній зоні реактора, відбирається водою (теплоносієм) 1-го контуру, яка проходить через реактор циркуляційною pompою. Нагріта вода із реактора поступає в теплообмінник (парогенератор), де передає тепло, отримане в реакторі, воді 2-го контуру. Вода 2-го контуру випаровується в парогенераторі, і утворена пара поступає в турбіну.

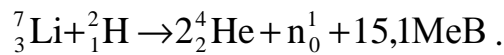
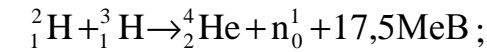
Найчастіше на АЕС застосовують 4 типи реакторів на теплових нейтронах:

- 1) водо-водні зі звичайною водою в якості сповільнювача теплоносія;
- 2) графіто-водні з водяним теплоносієм і графітовим сповільнювачем;
- 3) важководні з водним теплоносієм і важкою водою в якості сповільнювача;
- 4) графіто-газові з газовим теплоносієм і графітовим сповільнювачем.

3. Термоядерний синтез.

Ядерна енергія вивільняється не тільки в ядерних реакціях поділу важких ядер, але і в реакціях «злиття» легких атомних ядер, наприклад:

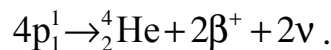




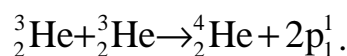
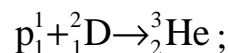
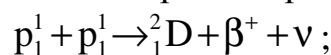
Реакція синтезу легких ядер у більш важкі, яка відбувається за надвисоких температур ($\sim 10^7$ К і вище), називається **термоядерною**.

Реакції синтезу атомних ядер мають ту особливість, що енергія, яка виділяється під час термоядерного синтезу, на один нуклон, значно більша, ніж енергія, що виділяється в реакціях поділу важких ядер. Високі температури, тобто достатньо великі енергії ядер, які зіштовхуються, є необхідними для подолання електростатичного бар'єру, зумовленого взаємним відштовхуванням ядер (як однойменно заряджених часток). Без цього неможливе зближення ядер на відстань порядку радіуса дії ядерних сил, а отже і «перебудова» ядер, яка відбувається під час термоядерних реакцій. Тому термоядерні реакції в природних умовах відбуваються лише в надрах зірок. Для їх здійснення на Землі необхідно надзвичайно сильно розігріти речовину, що можна здійснити ядерним вибухом, або потужним газовим розрядом, або гігантським імпульсом лазерного випромінювання чи бомбардуванням інтенсивним потоком частинок.

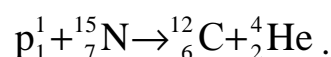
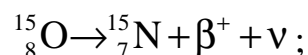
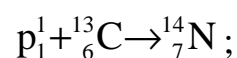
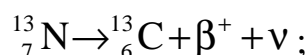
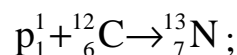
Великі енерговиділення в ряді термоядерних реакцій зумовлюють їх важливе значення для астрофізики, прикладної ядерної фізики і ядерної енергетики. Надзвичайно цікава також роль термоядерних реакцій в дозіркових та зіркових процесах синтезу атомних ядер різних хімічних елементів (нуклеогенезу). Термоядерні реакції у Всесвіті відіграють подвійну роль: як основне джерело енергії зірок і як механізм нуклеогенезу. Для нормальних гомогенних зірок (у тому числі Сонця), головним процесом екзоенергетичного ядерного синтезу є перетворення чотирьох протонів в ядро ${}^4_2\text{He}$, два позитрона і два нейтрино:



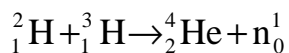
Якщо температура зірки в її центральній частині не перевищує 10^7 К, то імовірно, що в її надрах здійснюється протон-протонний термоядерний цикл:



Повний енергетичний вихід такого процесу складає $\sim 28,3$ МеВ. Час, за який відбувається повний протон-протонний цикл становить мільйони років. На більш гарячих зірках, температура яких більша за 10^8 К, імовірно, відбувається карбоно-нітрогенний цикл або цикл Бете:



На Землі є сенс використовувати тільки найбільш ефективні з термоядерних реакцій, які перш за все, пов'язані з участю дейтерію та тритію. Такі реакції, порівняно у великих масштабах, здійснені, поки що, тільки у випробуваннях під час вибухів термоядерних (т.зв. водневих) бомб. Дія водневої бомби ґрунтується на термоядерній реакції взаємодії дейтерію і тритію:



Ця реакція протікає протягом 3×10^{-6} с і супроводжується великим виділенням енергії. Однак для її початку необхідна дуже висока температура – така, яка розвивається під час вибуху атомної бомби. Тому у водневій бомбі, паливом для якої є суміш дейтерію та тритію, в якості детонатора використовують атомну плутонієву бомбу. Під час термоядерного вибуху спочатку відбувається вибух атомної бомби, яка й ініціює термоядерну реакцію. Використанням термоядерних реакцій в мирних цілях може стати керований термоядерний синтез. З цим процесом пов'язані надії на розв'язання енергетичних проблем людства, оскільки дейтерій, що міститься у воді океанів, є практично невичерпним джерелом дешевого пального для керованих термоядерних реакцій.

Висновки.

Зброя, дія якої ґрунтується на використанні ядерної (атомної) енергії, називається *ядерною* або *атомною* зброєю. Назва «ядерна зброя» означає, що мова йде про зброю, яка принцип роботи якої ґрунтується на використанні енергії, що виділяється під час перетворень атомних ядер. Ядерний вибух здійснюється шляхом перевodu заряду з докритичного стану в критичний, точніше в надкритичний.

Атомні електростанції (АЕС) – сукупність установок, обладнання і апаратури, які використовуються, безпосередньо, для виробництва електричної енергії. Це основа ядерної енергетики, яка використовує ядерну енергію з метою електрифікації та теплофікації. Для здійснення ланцюгової ядерної реакції використовують складні технічні прилади – ядерні (атомні) реактори.

Реакція синтезу легких ядер у більш важкі, яка відбувається за надвисоких температур ($\sim 10^7$ К і вище), називається термоядерною. Реакції синтезу атомних ядер мають ту особливість, що енергія, яка виділяється під час термоядерного синтезу, на один нуклон, значно більша, ніж енергія, що виділяється в реакціях поділу важких ядер. Високі температури, тобто достатньо великі енергії ядер, які зіштовхуються, є необхідними для подолання електростатичного бар'єру, зумовленого взаємним відштовхуванням ядер (як однойменно заряджених часток). Тому термоядерні реакції в природних умовах відбуваються лише в надрах зірок.

Література.

1. Мідак Л.Я., Кравець І.В. Основи радіохімії. – Івано-Франківськ: пп Голіней, 2013. – 160 с.
2. Краткий курс радиохимии/ Под. ред. А.В. Николаева. - М., 1969.
3. Несмеянов В.Н. Радиохимия. - 2изд. - М., 1978.

4. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торолова М.А. Радиохимия. - М., 1987.
5. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии - Л., «Химия». - 1985.
6. Руководство к практическим занятиям по радиохимии/ Под ред. А.Н. Несмеянова. - М., 1980.

Запитання для самоперевірки.

1. Що таке коефіцієнт розмноження нейтронів?
2. Приведіть приклади застосування некерованої ланцюгової реакції.
3. Вкажіть основні характеристики ядерного вибуху.
4. У чому полягає суть ядерної енергетики?
5. Що таке ядерний реактор? Опишіть основні його складові та принцип роботи.
6. Дайте визначення поняттю ТВЕЛ?
7. Що таке термоядерний синтез? Приведіть приклади. Вкажіть умови перебігу реакцій.