15.04 ТЕМА: Ланцюгова реакція. Ядерний реактор.

1. Поділ ядер урану

Атомні ядра, що містять велике число нуклонів, нестійкі і можуть розпадатися. В 1938р. німецькі вчені Отто Ган і Франц Штрассман спостерігали поділ ядра Урану 23592U під дією повільних нейтронів. Використання саме нейтронів для поділу ядер обумовлено їхньою електричною нейтральністю. Відсутність кулонівського відштовхування протонами ядра дозволяє нейтронам безперешкодно проникати в атомне ядро. Тимчасове захоплення нейтрона порушує тендітну стабільність ядра, обумовлену тонким балансом сил кулонівського відштовхування і ядерного притягання. Просторові коливання нуклонів збудженого ядра (позначимо 23692U\*), що виникають, є нестійкими. Надлишок нейтронів у центрі ядра означає надлишок протонів на периферії. Їхнє взаємне відштовхування призводить до штучної радіоактивності ізотопу 23692U\*, тобто до його поділу на ядра меншої маси, що називаються уламками поділу. Причому найбільш імовірним виявляється поділ на уламки, маси яких відносяться приблизно як 2:3. Більшість великих уламків мають масове число А в межах 135-145, а дрібні від 90 до 100. У результаті реакції поділу ядра Урану 23592U утворюються два чи три нейтрони. Одна з можливих реакцій поділу ядра урану протікає за схемою:



Ця реакція протікає з утворенням трьох нейтронів. Можлива реакція з утворенням двох нейтронів:



\* Поділом ядра називається ядерна реакція розподілу важкого ядра, збудженого захопленням нейтрона, на дві приблизно рівні частини, що називаються уламками поділу.

Енергія, що виділяється під час поділу ядра, має електростатичне, а не ядерне походження. Велика кінетична енергія, яку мають уламки, виникає внаслідок їх кулонівського відштовхування. За повного поділу всіх ядер, що містяться в 1 г урану, виділяється стільки енергії, скільки виділяється під час згоряння 2,5 т нафти.

2. Ланцюгова ядерна реакція

Будь-який з нейтронів, що вилітає з ядра в процесі поділу, може, у свою чергу, спричинити поділ сусіднього ядра, що також випускає нейтрони, здатні призвести до подальшого поділу. У результаті число ядер, що діляться, дуже швидко збільшується. Виникає ланцюгова реакція.

O Ланцюговою ядерною реакцією називається реакція, у якій нейтрони утворюються як продукти цієї реакції.

Суть цієї реакції полягає в тому, що випущені під час поділу одного ядра N нейтронів можуть спричинити поділ N ядер, у результаті чого буде випущено N2 нових нейтронів, що зумовлюють поділ N2 ядер, тощо. Отже, число нейтронів, що народжуються в кожному поколінні, наростає в геометричній прогресії. У цілому процес

Має лавиноподібний характер, протікає дуже швидко й супроводжується виділенням величезної кількості енергії.



Для здійснення ланцюгової реакції не можна використовувати будь-які ядра, що діляться під впливом нейтронів. Через низку причин з ядер, що зустрічаються в природі, придатні до цього лише ядра ізотопів Урану з масовим числом 292, тобто 23592U.

3. Ядерний реактор

Ланцюгову ядерну реакцію вчені й інженери змогли зробити керованою: для цього необхідно було забезпечити, щоб кількість ядер, що діляться, в одиницю часу залишалася постійною. Уперше керована ланцюгова реакція поділу ядер урану була здійснена 1952 р. у США під керівництвом італійського фізика Енріко Фермі.

O Ядерним реактором називається пристрій, у якому виділяється теплова енергія в результаті керованої ланцюгової реакції поділу ядер.

Як було встановлено дослідним шляхом, для виконання ланцюгової керованої реакції найбільш ефективними є повільні нейтрони, кінетична енергія яких у десятки разів менше, ніж енергія нейтронів, що вилітають під час поділу ядер. Тому виникає потреба в уповільнювачі нейтронів. Кращим сповільнювачем є важка вода. Звичайна вода сама захоплює нейтрони і перетворюється на важку воду. Гарним уповільнювачем вважається також графіт, ядра якого не поглинають нейтрони.

Щоб кількість ядер урану, що діляться в одиницю часу, залишалася постійною, необхідно, щоб залишалося постійним і число повільних нейтронів. Якщо їхня кількість почне збільшуватися, це загрожує атомним вибухом, а якщо почне зменшуватися – реакція “згасне”.

Щоб забезпечити сталість числа нейтронів, використовують поглиначі нейтронів – речовини, ядра яких ефективно поглинають нейтрони. Гарними поглиначами нейтронів є кадмій і бор. З них виготовляють регулюючі стрижні, що вводяться в робочий простір ядерного реактора: змінюючи глибину занурення цих стрижнів, можна змінювати число ядер урану, які діляться щомиті.

Щоб у зразку урану могла відбуватися ланцюгова ядерна реакція, його маса повинна бути досить великою. Це необхідно для того, щоб нейтрони, що випускаються під час поділу ядер, не вилітали відразу ж за межі зразка, а спричиняли нові реакції поділу.

\* Найменшу масу речовини, що ділиться і за якої можлива ланцюгова ядерна реакція, називають критичною масою.

Для кулястого зразка чистого урану 23592U критична маса дорівнює приблизно 50 кг. Однак її можна зменшити в десятки разів, використовуючи уповільнювачі нейтронів і оточуючи зразок берилієвою оболонкою – вона відбиває нейтрони, що вилітають, у зону реакції, збільшуючи їхній шлях у зразку.

На рисунку схематично зображена схема будови атомної електростанції (АЕС) з ядерним реактором на повільних нейтронах.



Ядерне паливо розташовується в активній зоні (1) у вигляді вертикальних стрижнів, що називаються тепловидільними елементами (ТВЕЛ). Активна зона оточена відбивачем (2) і товстою захисною оболонкою із залізобетону (3).

Реактором керують за допомогою регулюючих стрижнів (4), виготовлених з поглинача нейтронів.

Тепло з гарячої активної зони реактора виводиться теплоносієм (наприклад, водою). Теплоносій першого контуру передає тепло в парогенератор (5), перетворюючи воду на пару під високим тиском, і повертається потім знову в активну зону. Пара, що утворилася в парогенераторі, обертає турбіну (6), з’єднану з генератором електроенергії (7). Відпрацьована пара конденсується в конденсаторі (8), звідки вода знову надходить у парогенератор.

Головна перевага АЕС полягає в тому, що для їхньої роботи необхідно дуже мала (за масою) кількість палива порівняно з тепловими електростанціями. Крім цього, запаси ядерного палива досить великі: за різними оцінками його може вистачити на кілька століть.

АЕС, що нормально функціонують, забруднюють навколишнє середовище значно менше, ніж теплові електростанції.

Питання:

– Чому нейтрони виявляються найбільш зручними частинками для бомбардування атомних ядер?

– Що відбувається при потраплянні нейтрона в ядро Урану?

– Чому під час поділу ядер Урану виділяється енергія?

– У чому полягає керування ядерною реакцією?

– Для чого потрібно, щоб маса кожного уранового стрижня була меншою за критичну масу?

– Для чого потрібні регулюючі стрижні? Як ними користуються?

– Для чого в ядерному реакторі використовується уповільнювач нейтронів?

ВИСНОВКИ:

– Поділом ядра називається ядерна реакція поділу важкого ядра, збудженого захопленням нейтрона, на дві приблизно рівні частини, що називаються уламками поділу.

– Ланцюговою ядерною реакцією називається реакція, у якій нейтрони утворюються як продукти цієї реакції.

– Ядерним реактором називається пристрій, у якому виділяється теплова енергія в результаті керованої ланцюгової реакції поділу ядер.

– Найменшу масу речовини, що ділиться й за якої можлива ланцюгова ядерна реакція, називають критичною масою.

Домашнє завдання:

Якісні питання

1. Згоряє шматок паперу. Чи є горіння ланцюговою реакцією? Хімічною чи ядерною?

2. Які перетворення енергії відбуваються в ядерному реакторі?

3. Що спільного в ядерному реакторі й паровому котлі?

2). Навчаємося розв’язувати задачі

1. Ядро урану 23592U поглинає один нейтрон і ділиться на два уламки й чотири нейтрони. Один з уламків – ядро 13755Cs. Ядром якого ізотопу є другий уламок?

2. Напишіть ланцюжок ядерних перетворень ядра Урану 23892U, що захопив нейтрон, у Плутоній 23994Рu, з огляду на те, що всі ядра, які знову утворюються, є бета-радіоактивними, тобто зазнають радіоактивного розпаду з випущенням електрона.

Розв’язок: 

<https://www.youtube.com/watch?v=bpMvm0buJSQ>