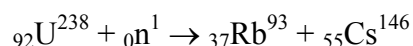


§36. Цепная ядерная реакция

В конце 30-х годов **Г.Н. Флеров** и **К.А. Петржак** открыли явление самопроизвольного деления ядер урана. **Ган** и **Штрассман** открыли, что деление ядер урана происходит при поглощении нейтронов. При делении ядра урана выделяется примерно 200 МэВ, что в 10^6 раз превышает энергию, выделяющуюся при сгорании обычного топлива. Цепная реакция впервые осуществлена в США в 1942 году. В СССР - в 1946 году. Первая в мире атомная электростанция пущена в СССР в 1954 году.

Продукты распада принадлежат средней части таблицы **Менделеева**. Приведем примеры возможных реакций:



Нетрудно заметить, что у ядер-продуктов распада явное пересыщение нейтронов, которые они испускают ($A_{\text{Rb}} \approx 85$; $A_{\text{Cs}} \approx 133$). Таким образом, на каждый нейтрон, вызвавший деление, приходится несколько испущенных нейтронов. Происходит размножение нейтронов, что позволяет осуществлять цепную реакцию деления ядер урана. Однако возникает вопрос, захватятся ли нейтроны ядрами урана.

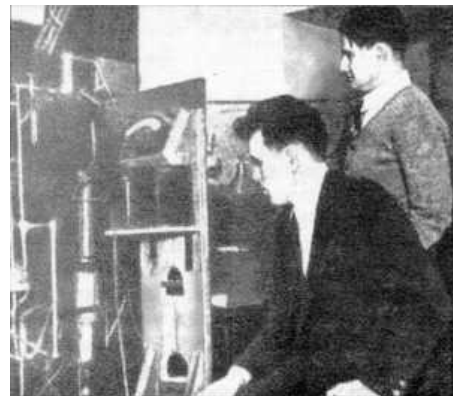
Вылетающие нейтроны обладают высокими энергиями (порядка 1 МэВ). Их захват маловероятен, но за счет соударений они тормозятся до энергий менее 100 кэВ (т.н. резонансная область) и с малой вероятностью вызывают деление только ядер урана-235, ядра же урана-238 поглощают нейтроны резонансной области и в 99% случаев деления не происходит. В природном уране цепная реакция на быстрых нейтронах идти не может, т.к. в нем примерно 99,3% урана-238 и только 0,7% урана-235. Поэтому приходится обогащать руду ураном-235 до 15%.

В обычных ядерных реакторах приходится решать задачу торможения нейтронов, перескакивания через резонансную область в область энергий порядка 0,03 эВ. Для этого используются замедлители - ядра, близкие по массе к нейтрону (вспомните из механики: при упругом ударе равные массы обмениваются скоростями, при упругом же столкновении легкой частицы (например, нейтрона) с тяжелой (например, с ядром урана) легкая частица отлетает практически с той же скоростью). Самый хороший замедлитель D_2O - тяжелая вода, при его использовании не требуется даже обогащения урановой руды.

Схема, таким образом, строится так, чтобы блоки урана и блоки замедлителя чередовались. При этом быстрые нейтроны, испускаемые при делении ядер урана замедляются до тепловых энергий прежде, чем вновь вступят в цепную реакцию. Размер и масса делящегося вещества должна быть не меньше некоторой критической величины. В



слева направо:
И.В. Курчатов (1903 – 1960)
Г.Н. Флеров (1913 – 1990)



Г.Н. Флеров (1913 – 1990)
К.А. Петржак (1907 – 1998)

противном случае, нейтроны будут уходить из объема, не вызывая деления. Для уранового шара критический радиус 15 см, критическая масса 10 кг.

Для количественной характеристики скорости нарастания цепной реакции вводится величина K - коэффициент размножения нейтронов как отношение числа нейтронов в некотором поколении к числу нейтронов в предыдущем поколении. Для регулирования K используется поглотитель: стержни из кадмия или бора. В ядерном реакторе поддерживается с большой точностью $K=1$. При $K<1$ реактор останавливается. При разогреве реактора $K>1$ (при взрыве $K>1$).

Таким образом, реактор имеет активную зону в форме цилиндра, состоящего из блоков замедлителя (например, графитовых), в которые вставлены урановые стержни на одинаковом расстоянии. В активную зону на разную глубину вставлены управляющие кадмиевые стержни. В качестве защиты от радиации используется свинцовая стена толщиной 15 см, бетонная стена толщиной 1,5 м.

Рассмотрим процессы, происходящие при захвате медленных нейтронов. Если захватил уран-235, то происходит деление. При захвате ураном-238 происходит цепочка реакций с образованием плутония-239, который наравне с ураном-235 является ядерным топливом.

