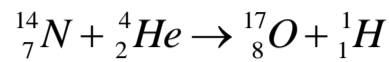


Тема 5.4.3. Ядерные реакции. Ядерный реактор.

Ядерной реакцией называется процесс превращения атомных ядер одних элементов в другие, при взаимодействии их друг с другом или с элементарными частицами.

Общим признаком ядерной реакции и радиоактивного распада является превращение одного атомного ядра в другое. Но радиоактивный распад происходит самопроизвольно, без внешнего воздействия. Ядерная реакция вызывается воздействием бомбардирующей частицы.

Исторически первой ядерной реакцией, осуществленной человеком, была реакция превращения ядра азота в ядро кислорода.



При протекании ядерных реакций сохраняется суммарный заряд частиц, вступающих в реакцию, и их массовое число. В приведенном примере ядерной реакции суммарный заряд исходных частиц: ядра атома азота и альфа-частицы (ядра атома гелия) равен 9, так же как и суммарный заряд ядра изотопа кислорода и протона (ядра атома водорода). Массовое число частиц до и после реакции равно 18.

Ядерные реакции бывают двух типов. При одних реакциях происходит выделение энергии, на другие требуется затратить энергию.

Энергия связи частиц в ядре. Энергетика ядерных реакций

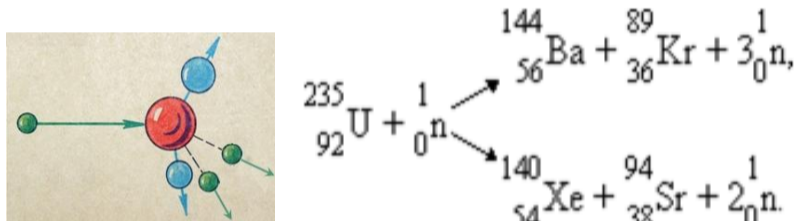
Рассмотрение кривой удельной энергии связи нуклонов в атомных ядрах показывает, что увеличение удельной энергии связи возможно:

1. при соединении легких ядер в более тяжелые - ядерные реакции синтеза.
2. при делении самых тяжелых ядер на два или три более легких - реакции деления атомных ядер.

В обоих случаях при увеличении удельной энергии связи ядер-продуктов их масса уменьшается, следовательно, такие ядерные реакции будут идти с выделением энергии.

Деление ядер. Цепная реакция

В 1939 г. экспериментально было обнаружено, что при попадании нейтрона в ядро атома изотопа урана-235 происходит деление ядра на два или три осколка с испусканием двух-трех нейтронов.



Эти нейтроны способны вызвать деление 2-3 новых ядер урана с испусканием 6-9 новых нейтронов и т. д. Процесс может продолжаться сам собою, вовлекая все большее число новых ядер. Такой процесс называется *цепной ядерной реакцией*.

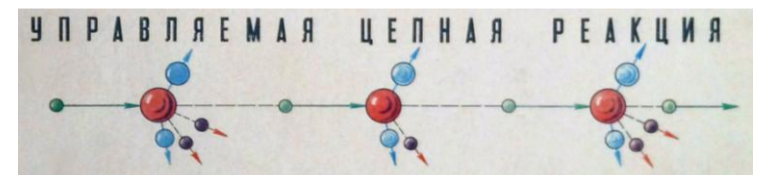
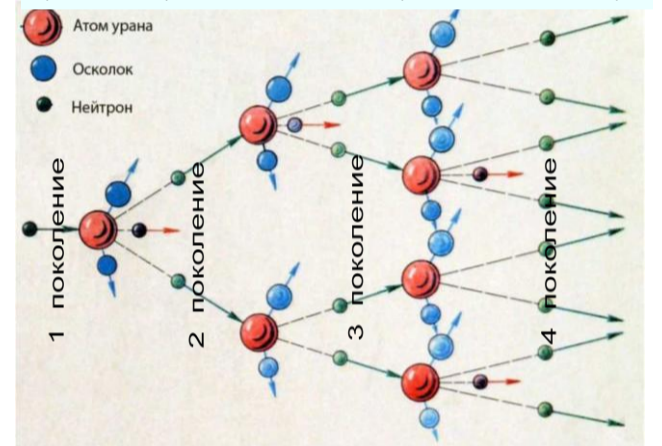
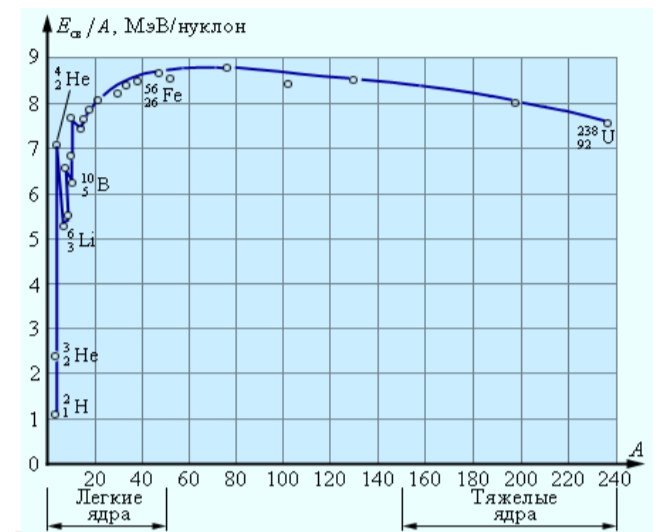
Скорость нарастания цепной ядерной реакции характеризуют величиной, называемой коэффициентом размножения нейтронов K.

K равен отношению числа нейтронов в одном поколении цепной реакции к числу нейтронов предшествующего поколения.

При $k < 1$ реакция гаснет

При $k > 1$ – взрыв (достаточно 1,01)

При $k = 1$ – управляемая реакция (на АЭС)



Цепная реакция деления ядер урана не осуществляется в природном уране, поскольку природный уран на 99,3% состоит из изотопа урана-238 и только на 0,7% из изотопа урана-235. Способность к делению под действием нейтронов, испущенных в процессе деления, обнаруживается только у ядер урана-235. Поэтому необходимое условие для осуществления цепной реакции деления - разделение изотопов урана. Однако и после разделения изотопов цепная реакция происходит не в любом количестве урана-235. В малом количестве урана большинство нейтронов покидают образец, не встретив на своем пути ни одного ядра урана, так как размеры ядер очень малы и вероятность попадания в них невелика. Цепная реакция может развиваться в том случае, если количество урана больше некоторого минимального значения - критической массы. При этом важна и форма образца. Для шара из урана-235 критическая масса имеет значение около 50 кг. Радиус шара 9 см.

При делении одного ядра урана выделение энергии составляет примерно 200 МэВ. При делении 1 кг ядер урана выделяется примерно $8 \cdot 10^{13}$ Дж. Это в 2,5 млн. раз больше выделения энергии при сжигании 1 кг каменного угля.

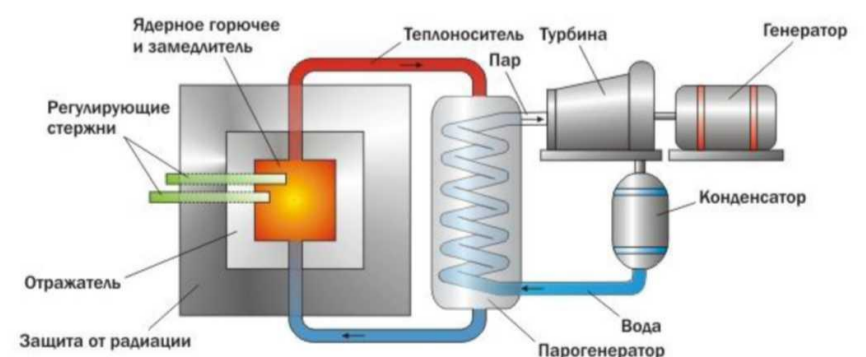
Энергия цепных реакций деления ядер урана и плутония используется при взрывах атомных бомб.

При ядерном взрыве происходит чрезвычайно быстрое (доли мкс) выделение энергии, при этом температура в зоне реакции достигает десятков миллионов градусов, а давление - около миллиарда атмосфер.

Ядерный реактор.

В ядерном реакторе в качестве ядерного горючего может использоваться смесь изотопов урана-235 и урана-238. Для того чтобы освобождающиеся в процессе деления ядер нейтроны не поглощались бесполезно ядрами урана-238, в реакторах применяются замедлители. Назначение замедлителя состоит в уменьшении скорости движения нейтронов до значений скорости теплового движения. Замедление нейтронов происходит в результате потерь энергии нейтронами при столкновениях с ядрами атомов вещества-замедлителя. Медленные нейтроны очень слабо взаимодействуют с ядрами изотопа урана-238 и эффективно взаимодействуют с ядрами урана-235. В качестве веществ-замедлителей нейтронов в реакторах используются вода и графит.

Для управления ходом цепной реакции в ядерном реакторе используются *управляющие стержни*, содержащие изотопы бора или кадмия, эффективно поглощающие тепловые нейтроны. Энергия, выделяющаяся в процессе цепной реакции деления, выводится из активной зоны реактора теплоносителем. На атомных электростанциях теплоноситель в активной зоне нагревается до высокой температуры, затем передает энергию воде, превращая ее в пар. Пар приводит в действие паровую турбину, турбина вращает ротор электрогенератора.



Термоядерный синтез

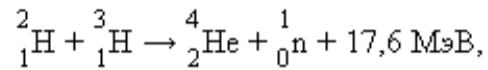
При слиянии легких ядер и образовании нового ядра должно выделяться большое количество энергии. Однако, чтобы ядра вступили в реакцию, они должны сблизиться на расстояние действия ядерных сил порядка $2 \cdot 10^{-15}$ м, преодолев электрическое отталкивание их положительных зарядов.

Для этого средняя кинетическая энергия теплового движения молекул должна превосходить потенциальную энергию кулоновского взаимодействия.

Реакции синтеза легких ядер, в которых высокие значения энергии частиц необходимые для осуществления реакции, достигаются за счет высокой температуры вещества, называются термоядерными реакциями.

Расчет необходимой для этого температуры T приводит к величине порядка 10^8 – 10^9 К. Это чрезвычайно высокая температура. При такой температуре вещество находится в полностью ионизированном состоянии, которое называется плазмой.

Самая энергетически выгодная реакция:



Реакция синтеза ядер была реализована человеком при создании водородной (термоядерной) бомбы, где высокая температура для осуществления термоядерной реакции достигалась за счет ядерного взрыва урановой бомбы.

Энергия излучения Солнца и звезд имеет термоядерное происхождение. В центральных областях Солнца температура достигает 15 млн. К.

При синтезе одного килограмма гелия из водорода выделяется энергия примерно $6,3 \cdot 10^{14}$ Дж. Солнце выделяет в одну секунду энергию, которая приблизительно равна $4 \cdot 10^{26}$ Дж, следовательно, в нем за одну секунду осуществляется синтез примерно $6 \cdot 10^{11}$ кг гелия из водорода.

В природе ядерные реакции синтеза осуществляются в недрах звезд и являются основным источником их энергии.

Одна из возможных последовательностей ядерных реакций синтеза ядер гелия из ядер водорода: $4\text{H} \rightarrow \text{He} + 17,6 \text{ МэВ}$,

Близость к исчерпанию запасов нефти и газа на Земле заставляет искать альтернативные источники энергии. Одним из возможных источников является энергия термоядерного синтеза. В настоящее время ведутся испытания установок для осуществления управляемых термоядерных реакций синтеза гелия из водорода.