

Записать конспект в тетрадь. Придёте в техникум тетрадь проверю и поставлю оценку.

### Ядерные реакции

**Ядерными реакциями называют изменение атомных ядер при взаимодействиях их с элементарными частицами или друг с другом.**

Условие, когда протекание ядерной реакции становится возможным: - когда ядро и частица (или другое ядро) сближаются на расстояния, при которых начинают действовать ядерные силы.

Так как в реакцию могут вступать ядро и положительно заряженная частица (протон), то необходимо преодолеть возникающие между ними силы отталкивания. Это возможно при больших скоростях частиц.

Такие скорости достигаются в ускорителях элементарных частиц.

**Примеры:** В 1932 год была осуществлена первая реакция на быстрых протонах (искусственно ускоренных)  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$  Эта реакция идет с выделением огромной энергии 17,6 МэВ.

${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{24}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He}$  Эта реакция на нейтронах. Так как нейтроны лишены заряда, они легко проникают в атомные ядра и вызывают их превращения. Выдающийся итальянский физик Э. Ферми первым начал изучать реакции, вызываемые нейтронами. Он обнаружил, что ядерные превращения вызываются не только быстрыми, но и медленными нейтронами, движущимися с тепловыми скоростями.

Выделяющаяся при ядерных реакциях энергия может быть очень огромной. Но использовать её путем осуществления столкновений ускоренных частиц (или ядер) с неподвижными ядрами мишенями, практически нельзя - большая часть ускоренных частиц пролетает мимо ядер мишеней, не вызывая реакции.

При ядерных реакциях происходит **выделение** или **поглощение энергии.**

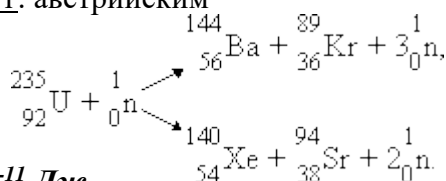
**Энергетический выход ядерной реакции - разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции.** Энергетический выход ядерной реакции равен также **изменению кинетической энергии частиц, участвующих в реакции.** Если суммарная кинетическая энергия ядер и частиц после реакции больше, чем до реакции, то говорят о выделении энергии. В противном случае реакция идет с поглощением энергии.

В любой ядерной реакции выполняются законы сохранения электрического заряда и числа нуклонов: суммы зарядов и массовых чисел ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равны суммам зарядов и массовых чисел конечных продуктов (ядер и частиц) реакции.

Один из способов получения ядерной энергии: деление тяжелых ядер. **Расщепление ядра на менее массивные ядра с выделением энергии называют реакцией деления.**

В 1938 г. О. Ган и Ф. Штрассман открыли: ядра урана при бомбардировке его нейтронами образуют другие элементы. А объяснение этому явлению было дано в 1939 г. австрийским физиком Л. Мейтнер и английским физиком О. Фришем:

Позже обнаружили, что при бомбардировке нейтронами U образуются 80 различных ядер. Наиболее вероятное деление оказалось:



Этот процесс происходит с выделением энергии **200 МэВ = 3,2 · 10<sup>-11</sup> Дж**

(0,9 МэВ/нуклон). Ни при какой другой ядерной реакции (не связанной с делением) столь больших энергий не выделяется.

Деление ядра возможно потому, что масса покоя тяжелого ядра больше суммы масс покоя осколков, возникающих при делении. Фундаментальный факт ядерного деления — испускание в процессе деления двух-трех нейтронов. Именно благодаря этому оказалось возможным практическое использование внутриядерной энергии. Это позволяет осуществлять цепную реакцию деления урана.

**Цепная реакция деления ядер урана — это реакция, в которой частицы (нейтроны), вызывающие эту реакцию, образуются как продукты этой реакции.**

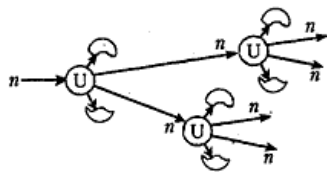
Цепная реакция сопровождается выделением огромной энергии. При делении каждого ядра выделяется энергия около 200 МэВ. При полном же делении всех ядер, имеющихся в 1 г урана, выделяется энергия

$2,3 \cdot 10^4$  кВт. ч. Это эквивалентно энергии, получаемой при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти. 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.

Для течения цепной реакции нет необходимости, чтобы каждый нейтрон обязательно вызывал деление ядра. Необходимо лишь, чтобы среднее число освобожденных нейтронов в данной массе урана не уменьшалось с течением времени.

Это условие будет выполнено, если коэффициент размножения нейтронов  $k$  больше или равен единице.

Коэффициентом размножения нейтронов называют отношение числа нейтронов в каком-либо «поколении» к числу нейтронов предшествующего «поколения».



При  $k < 1$  реакция гаснет. При  $k > 1$  – неуправляемая реакция - взрыв (достаточно 1,01).

При  $k = 1$  – управляемая реакция в ядерных реакторах (на АЭС).

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}$$

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.

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.

Впервые решил задачу об управлении цепной реакцией деления ядер физик Э. Ферми. Им был изобретен ядерный реактор в 1942 г. У нас в стране реактор был запущен в 1946 г. под руководством И. В. Курчатова.

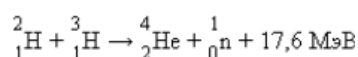
Масса покоя ядра урана больше суммы масс покоя осколков, на которые делится ядро. Для легких ядер дело обстоит как раз наоборот. Так, масса покоя ядра гелия значительно меньше суммы масс покоя двух ядер тяжелого водорода, на которые можно разделить ядро гелия.

Это означает, что при слиянии легких ядер масса покоя уменьшается и, следовательно, должна выделяться значительная энергия. 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. Подобного рода реакции слияния легких ядер могут протекать только при очень высоких температурах. Поэтому они называются термоядерными.

Реакция слияния легких ядер при очень высокой температуре ( $>10^7 - 10^8$  К), сопровождающаяся выделением энергии, называется термоядерной реакцией. Для слияния необходимо, чтобы расстояние между ядрами приблизительно было равно  $10^{-12}$  см, т. е. чтобы они попали в сферу действия ядерных сил. Однако этому препятствуют кулоновские силы. Они могут быть преодолены при большой кинетической энергии теплового движения ядер.

Энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях в расчете на один нуклон, превышает удельную энергию, выделяющуюся при цепных реакциях деления ядер. Так, при слиянии тяжелого водорода — дейтерия — со сверхтяжелым изотопом водорода — тритием — выделяется около 3,5 МэВ на один нуклон, а при делении ядра урана на один нуклон приходится  $\approx 0,9$  МэВ.

Пример термоядерной реакции.



Термоядерные реакции играют большую роль в эволюции Вселенной. Энергия излучения Солнца и звезд имеет термоядерное происхождение. В центральных областях Солнца температура достигает 15 млн. К. При синтезе 1 кг 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 настоящее время в России и ряде других стран ведутся работы по осуществлению управляемой термоядерной реакции. Пока же удалось осуществить лишь неуправляемую реакцию синтеза взрывного типа в водородной (или термоядерной) бомбе.

Осуществление управляемых термоядерных реакций способно решить энергетическую проблему человечества.

Неуправляемые термоядерные реакции в водородных бомбах могут человечество уничтожить.