ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Атомные ядра при взаимодействиях испытывают превращения. Эти превращения сопровождаются увеличением или уменьшением кинетической энергии участвующих в них частиц.

**Ядерными реакциями** называют изменения атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом. Ядерные реакции происходят, когда частицы вплотную приближаются к ядру и попадают в сферу действия ядерных сил. Одноименно заряженные частицы отталкиваются друг от друга. Поэтому сближение положительно заряженных частиц с ядрами (или ядер друг с другом) возможно, если этим частицам (или ядрам) сообщена достаточно большая кинетическая энергия. Эта энергия сообщается протонам, ядрам дейтерия — дейтронам, α-частицам и другим более тяжелым ядрам с помощью ускорителей.

Для осуществления ядерных реакций такой метод гораздо эффективнее, чем использование ядер гелия, испускаемых радиоактивными элементами.

Во-первых, с помощью ускорителей частицам может быть сообщена энергия порядка 105 МэВ, т. е. гораздо большая той, которую имеют α-частицы (максимально 9 МэВ).

Во-вторых, можно использовать протоны, которые в процессе радиоактивного распада не появляются (это целесообразно потому, что заряд протонов вдвое меньше заряда α-частиц, и поэтому действующая на них сила отталкивания со стороны ядер тоже в 2 раза меньше).

В-третьих, можно ускорить ядра более тяжелые, чем ядра гелия.

Первая ядерная реакция на быстрых протонах была осуществлена в 1932 г. Удалось расщепить литий на две α-частицы:





Как видно из фотографии треков в камере Вильсона, ядра гелия разлетаются в разные стороны вдоль одной прямой согласно закону сохранения импульса (импульс протона много меньше импульса возникающих α-частиц; на фотографии треки протонов не видны).

**Энергетический выход ядерных реакций**

В описанной выше ядерной реакции кинетическая энергия двух образующихся ядер гелия оказалась больше кинетической энергии вступившего в реакцию протона на 7,3 МэВ. Превращение ядер сопровождается изменением их внутренней энергии (энергия связи). В рассмотренной реакции удельная энергия связи в ядрах гелия больше удельной энергии связи в ядре лития.

Поэтому часть внутренней энергии ядра лития превращается в кинетическую энергию разлетающихся α-частиц.

Изменение энергии связи ядер означает, что суммарная энергия покоя участвующих в реакциях ядер и частиц не остается неизменной. Ведь энергия покоя ядра **Мяс2** согласно формуле непосредственно выражается через энергию связи.

В соответствии с законом сохранения энергии: **изменение кинетической энергии в процессе ядерной реакции равно изменению энергии покоя участвующих в реакции ядер и частиц**.

**Энергетическим выходом ядерной реакции** называется разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции. Согласно вышесказанному, 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.

Если суммарная кинетическая энергия ядер и частиц после реакции меньше, чем до реакции, то говорят о **поглощении** энергии.

Именно такая реакция происходит при бомбардировке азота α-частицами. Часть кинетической энергии (примерно 1,2 • 106 эВ) переходит в процессе этой реакции во внутреннюю энергию вновь образовавшегося ядра. Выделяющаяся при ядерных реакциях энергия может быть огромной. Но использовать ее при столкновениях ускоренных частиц (или ядер) с неподвижными ядрами мишени практически нельзя. Ведь бо́льшая часть ускоренных частиц пролетает мимо ядер мишени, не вызывая реакцию.

**Ядерные реакции на нейтронах**

Открытие нейтрона было поворотным пунктом в исследовании ядерных реакций. Так как нейтроны не имеют заряда, то они беспрепятственно проникают в атомные ядра и вызывают их изменения.

Например, наблюдается следующая реакция:



Великий итальянский физик Энрико Ферми первым начал изучать реакции, вызываемые нейтронами. Он обнаружил, что ядерные превращения обусловлены не только быстрыми, но и медленными нейтронами.

Причем эти медленные нейтроны оказываются в большинстве случаев даже гораздо более эффективными, чем быстрые. Поэтому быстрые нейтроны целесообразно предварительно замедлять. Замедление нейтронов до тепловых скоростей происходит в обыкновенной воде. Этот эффект объясняется тем, что в воде содержится большое число ядер водорода — протонов, масса которых почти равна массе нейтронов. Следовательно, нейтроны после соударений движутся со скоростью теплового движения. При центральном соударении нейтрона с покоящимся протоном он целиком передает протону свою кинетическую энергию. Реакции, в которые вступают атомные ядра, очень разнообразны. Нейтроны не отталкиваются ядрами и поэтому особенно эффективно вызывают превращения ядер.

ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА

Делиться на части могут только ядра некоторых тяжелых элементов. При делении ядер испускаются два-три нейтрона и γ-лучи. Одновременно выделяется большая энергия.

**Открытие деления урана**

Деление ядер урана было открыто в 1938 г. немецкими учеными О. Ганом и Ф. Штрассманом. Они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы: барий, криптон и др.

Однако правильное истолкование этого факта именно как деления ядра урана, захватившего нейтрон, было дано в начале 1939 г. английским физиком О. Фришем совместно с австрийским физиком Л. Мейтнер. Захват нейтрона нарушает стабильность ядра. Ядро возбуждается и становится неустойчивым, что приводит к его делению на осколки.

Деление ядра возможно потому, что масса покоя тяжелого ядра больше суммы масс покоя осколков, возникающих при делении.

Поэтому происходит выделение энергии, эквивалентной уменьшению массы покоя, сопровождающему деление. Но полная масса сохраняется, так как масса движущихся с большой скоростью осколков превышает их массу покоя.

Возможность деления тяжелых ядер можно также объяснить с помощью графика зависимости удельной энергии связи от массового числа A. Удельная энергия связи ядер атомов элементов, занимающих в периодической системе последние места (А ≈ 200), примерно на 1 МэВ меньше удельной энергии связи в ядрах элементов, находящихся в середине периодической системы (А ≈ 100). Поэтому процесс деления тяжелых ядер на ядра элементов средней части периодической системы является энергетически выгодным.

Система после деления переходит в состояние с минимальной внутренней энергией. Ведь, чем больше энергия связи ядра, тем большая энергия должна выделяться при возникновении ядра и, следовательно, тем меньше внутренняя энергия образовавшейся вновь системы.

При делении ядра энергия связи, приходящаяся на каждый нуклон, увеличивается на 1 МэВ и общая выделяющаяся энергия должна быть огромной — порядка 200 МэВ. Ни при какой другой ядерной реакции (не связанной с делением) столь больших энергий не выделяется. Непосредственные измерения энергии, выделяющейся при делении ядра урана подтвердили приведенные соображения и дали значение ≈200 МэВ. Причем большая часть этой энергии (168 МэВ) приходится на кинетическую энергию осколков.

На рисунке представлены треки осколков делящегося урана в камере Вильсона. Выделяющаяся при делении ядра энергия имеет электростатическое, а не ядерное происхождение. Большая кинетическая энергия, которую имеют осколки, возникает вследствие их кулоновского отталкивания.

**Механизм деления ядра**

Процесс деления атомного ядра можно объяснить на основе капельной модели ядра. Согласно этой модели сгусток нуклонов напоминает капельку заряженной жидкости. Ядерные силы между нуклонами являются короткодействующими, подобно силам, действующим между молекулами жидкости. Наряду с большими силами электростатического отталкивания между протонами, стремящимися разорвать ядро на части, действуют еще бо́льшие ядерные силы притяжения. Эти силы удерживают ядро от распада.

Ядро урана-235 имеет форму шара. Поглотив лишний нейтрон, оно возбуждается и начинает деформироваться, приобретая вытянутую форму. Ядро будет растягиваться до тех пор, пока силы отталкивания между половинками вытянутого ядра не начнут преобладать над силами притяжения, действующими в перешейке. После этого оно разрывается на две части. Под действием кулоновских сил отталкивания эти осколки разлетаются со скоростью, равной 1/30 скорости света.

**Испускание нейтронов в процессе деления**

Фундаментальный факт ядерного деления — испускание в процессе деления двух-трех нейтронов. Именно благодаря этому оказалось возможным практическое использование внутриядерной энергии. Понять, почему происходит испускание свободных нейтронов, можно исходя из следующих соображений.

Известно, что отношение числа нейтронов к числу протонов в стабильных ядрах возрастает с повышением атомного номера. Поэтому у возникающих при делении осколков относительное число нейтронов оказывается большим, чем это допустимо для ядер атомов, находящихся в середине таблицы Менделеева. В результате несколько нейтронов освобождается в процессе деления. Их энергия имеет различные значения — от нескольких миллионов электрон-вольт до совсем малых, близких к нулю. Деление обычно происходит на осколки, массы которых отличаются примерно в 1,5 раза. Осколки эти сильно радиоактивны, так как содержат избыточное количество нейтронов. В результате серии последовательных β-распадов в конце концов получаются стабильные изотопы. Существует также спонтанное деление ядер урана. Оно было открыто советскими физиками Г. Н. Флеровым и К. А. Петржаком в 1940 г. Период полураспада для спонтанного деления равен 1016 лет. Это в два миллиона раз больше периода полураспада при α-распаде урана.

 Реакция деления ядер сопровождается выделением энергии.

Деление атомных ядер тяжелых элементов возможно благодаря тому, что удельная энергия связи этих ядер меньше удельной энергии связи ядер элементов, находящихся в середине периодической системы Менделеева.

Формулы, используемые на уроках «Задачи на Состав атома, ядерные реакции и энергия связи атомного ядра».

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Название величины** | **Обозначение** | **Единица измерения** | **Формула** |
| ***Масса протона*** | **mp** | а.е.м | **mp = 1,00728** |
| ***Масса нейтрона*** | **mn** | а.е.м | **mn = 1,00867** |
| ***Число протонов*** | **Z** |  |  |
| ***Число нейтронов*** | **N** |  |  |
| ***Масса ядра*** | **Mя** | а.е.м |  |
| ***Дефект масс*** | **Δm** | а.е.м, кг | **Δm = (Zmp + Nmn) – Mя** |
| ***Энергия связи ядра*** | **ΔE0** | Дж | **ΔE0 = Δmc2** |
| ***Скорость света*** | ***c*** | м/с | **c = 3•108** |

Решите задачи:

1. **В результате α-pacnada ядро некоторого элемента превратилось в ядро радона 86Rn222. Что это был за элемент?**
2. **На сколько уменьшилась энергия атома, если при переходе из одного энергетического состояния в другое атом излучил свет длиной волны 6,56 • 10–7 м?**

Источник: «Физика - 11 класс», учебник Мякишев, Буховцев, Чаругин

Активная ссылка на источник «Класс!ная физика» обязательна: <http://class-fizika.ru/11_79.html>