|  |
| --- |
| 14.04.2020 |

**Тема: Строение атома. Ядерная реакция**

Как известно, все в мире состоит из молекул, которые представляют собой сложные комплексы взаимодействующих атомов. Молекулы - это наименьшие частицы вещества, сохраняющие его свойства. В состав молекул входят атомы различных химических элементов.

Химические элементы состоят из атомов одного типа. Атом, мельчайшая частица химического элемента, состоит из "тяжелого" ядра и вращающихся вокруг электронов (см. рис. 10.1).



Рис. 10.1.

Строение атома. 1 – ядро атома; 2 – электроны; 3 – орбита движения электрона.

Ядра атомов образованы совокупностью положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Эти частицы, называемые нуклонами, удерживаются в ядрах короткодействующими силами притяжения, возникающими за счет обменов мезонами, частицами меньшей массы (см. рис. 10.2).

Ядро элемента X обозначают как  Х или X-A, например, уран U-235 –  U, где Z - заряд ядра, равный числу протонов, определяющий атомный номер ядра, A - массовое число ядра, равное суммарному числу протонов и нейтронов.



Рис. 10.2. Строение ядра гелия.

n – нейтрон; р – протон; p+ - мезон.

Ядра элементов с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов называются изотопами (например, уран имеет два изотопа U-235 и U-238); ядра при n = const, z = var – изобарами.

Ядра водорода, протоны, а также нейтроны, электроны (бета-частицы) и одиночные ядра гелия (называемые альфа-частицами), могут существовать автономно вне ядерных структур. Такие ядра или иначе элементарные частицы, двигаясь в пространстве и приближаясь к ядрам на расстояния порядка поперечных размеров ядер, могут взаимодействовать с ядрами, как говорят участвовать в реакции. При этом частицы могут захватываться ядрами, либо после столкновения - менять направление движения, отдавать ядру часть кинетической энергии. Такие акты взаимодействия называются ядерными реакциями. Реакция без проникновения внутрь ядра называется упругим рассеянием.

После захвата частицы составное ядро находится в возбужденном состоянии. "Освободиться" от возбуждения ядро может несколькими способами - испустить какую-либо другую частицу и гамма-квант, либо разделиться на две неравные части. Соответственно конечным результатам различают реакции - захвата, неупругого рассеяния, деления, ядерного превращения с испусканием протона или альфа-частицы.

Дополнительная энергия, освобождаемая при ядерных превращениях, часто имеет вид потоков гамма-квантов.

Вероятность реакции характеризуется величиной "поперечного сечения" реакции данного типа s (вероятность захвата нейтрона с последующим возбуждением ядра). Поперечное сечение реакции данного типа s является количественной характеристикой ядерной реакции, которая характеризует взаимодействие нейтрона со всеми ядрами, находящимися в 1 см3 . Имеют место сечения деления, радиационного захвата, упругого и не упругого рассеивания. Эти сечения называют парциальными. Полное эффективное сечение взаимодействия нейтронов с ядром равно парциальных сумме всех возможных (при данной энергии нейтрона) реакцией. Сумма сечений деления и радиационного захвата называется сечением поглощения.

Важной разновидностью радиоактивных превращений является т.н. спонтанное деление тяжелых ядер, открытое Флеровым и Петржаком в 1942 году. Радиоактивный распад это процесс статистический, т.е. управляемый вероятностными законами.

Период полураспада Т1/2 - время, в течение которого количество вещества за счет радиоактивного распада уменьшается в два раза.

Интенсивность радиоактивного распада измеряется в единицах, называемых "беккерель" (1 Бк = 1 распад/1 сек). Важная единица интенсивного радиоактивного распада - кюри (1 кюри = 3,7·1010 Бк = 37 ГБк)

Деление тяжелых ядер происходит при захвате нейтронов. При этом испускаются новые частицы и освобождается энергия связи ядра, передаваемая осколкам деления (см. рис. 10.3). Это фундаментальное явление было открыто в конце 30-ых годов немецкими учеными Ганом и Штрасманом, что заложило основу для практического использования ядерной энергии.



Рис. 10.3.

Примерная схема деления ядра атома.

Ядра тяжелых элементов - урана, плутония и некоторых других интенсивно поглощают тепловые нейтроны. После акта захвата нейтрона, тяжелое ядро с вероятностью ~0,8 делится на две неравные по массе части, называемые осколками или продуктами деления. При этом испускаются - быстрые нейтроны (в среднем около 2,5 нейтронов на каждый акт деления), отрицательно заряженные бета-частиц и нейтральные гамма-кванты, а энергия связи частиц в ядре преобразуется в кинетическую энергию осколков деления, нейтронов и других частиц. Эта энергия затем расходуется на тепловое возбуждение составляющих вещество атомов и молекул, т.е. на разогревание окружающего вещества.

После акта деления ядер рожденные при делении осколки ядер, будучи нестабильными, претерпевают ряд последовательных радиоактивных превращений и с некоторым запаздыванием испускают "запаздывающие" нейтроны, большое число альфа, бета и гамма-частиц. С другой стороны некоторые осколки обладают способностью интенсивно поглощать нейтроны.

При создании определенных условий в процессе распада ядра атома может быть вызвана *цепная реакция деления*. Рассмотрим механизм цепной реакции деления. При делении тяжелых ядер под действием нейтронов возникают новые нейтроны. Например, при каждом делении ядра урана U-235 в среднем возникает 2,4 нейтрона. Часть этих нейтронов снова может вызвать деление ядер. Допустим, что в новую реакцию вступают в среднем 2 нейтрона. Тогда в *k*-м “поколении” из одного нейтрона в среде образуются 2*k* новых. Такой лавинообразный процесс и называется цепной реакцией.

Цепная реакция деления идет в среде, в которой происходит процесс размножения нейтронов. Такая среда называется *активной зоной.* Важнейшей физической величиной, характеризующей интенсивность размножения нейтронов, является коэффициент размножения нейтронов в среде *k*. Коэффициент размножения равен отношению количества нейтронов в одном поколении к их количеству в предыдущем поколении. Индекс указывает, что речь идет об идеальной среде бесконечных размеров. Аналогично величине *k*определяется коэффициент размножения нейтронов в физической системе *k*. Коэффициент *k*является характеристикой конкретной установки.

В делящейся среде конечных размеров часть нейтронов будет уходить из активной зоны наружу. Поэтому коэффициент *k* зависит еще от вероятности *Р* для нейтрона не уйти из активной зоны. По определению

*k* =*k*· *P*.

Величина *Р* зависит от состава активной зоны, ее размеров, формы, а также от того, в какой степени окружающее активную зону вещество отражает нейтроны.

С возможностью ухода нейтронов за пределы активной зоны связаны важные понятия *критической массы и критических размеров*. *Критическим размером* называется размер активной зоны, при котором *k* = 1. *Критической массой* называется масса активной зоны критических размеров. Очевидно, что при массе ниже критической цепная реакция не идет, даже если *k*> 1. Наоборот, заметное превышение массы над критической ведет к неуправляемой реакции – взрыв.

Если в первом поколении имеется *N* нейтронов, то в *n*-м поколении их будет *N·k·n*. Поэтому при *k* = 1 цепная реакция идет стационарно, при *k* < 1 реакция гаснет, а при *k* > 1 интенсивность реакции нарастает. При *k* = 1 ре-жим реакции называется критическим, при *k*> 1 – надкритическим и при *k* < 1 – подкритическим.

Время жизни одного поколения нейтронов t сильно зависит от свойств среды и имеет порядок от 10–4 до 10–8 с. Из-за малости этого времени для осуществления управляемой цепной реакции надо с большой точностью поддерживать равенство *k* = 1, так как, скажем, при *k* = 1.01 система почти мгно-венно взорвется. Посмотрим, какими факторами определяются коэффициенты *k*и *k*.

Первой величиной, определяющей *k*(или *k*), является среднее число нейтронов n, испускаемых в одном акте деления. Число зависит от вида горючего и от энергии падающего нейтрона. Возникшие при делении нейтроны замедляются, диффундируют на некоторое расстояние и поглощаются либо с делением, либо без него. В зависимости от свойств среды нейтроны успевают до поглощения замедлиться до различных энергий.

При наличии хорошего замедлителя основная масса нейтронов успевает замедлиться до тепловых энергий порядка 0,025 эВ. В этом случае *цепная реакция* называется *медленной*, или, что тоже самое, *тепловой*. При отсутствии специального замедлителя нейтроны успевают замедлиться лишь до энергий 0,1 – 0,4 МэВ, так как все делящиеся изотопы – тяжелые и поэтому замедляют плохо. Соответствующие цепные реакции называются *быстрыми* (подчеркнем, что эпитеты “быстрый” и “медленный” характери-зуют скорость нейтронов, а не скорость реакции). Цепные реакции, в кото-рых нейтроны замедляются до энергий от десятков до одного кэВ, называют-ся промежуточными.

При столкновении нейтрона с тяжелым ядром всегда возможен радиа-ционный захват нейтрона (*n*,). Этот процесс будет конкурировать с делением и тем самым уменьшать коэффициент размножения. Отсюда вытекает, что второй физической величиной, влияющей на коэффициенты*k*, *k*, является вероятность деления при захвате нейтрона ядром делящегося изотопа. Для одновременного учета как числа нейтронов на акт деления, так и вероятности радиационного захвата вводится коэффициент h, равный среднему числу вторичных нейтронов на один захват нейтрона делящимся ядром.

Цепная реакция может идти только при h > 1. Качество горючего тем выше, чем больше значение h. Качество ядерного горючего определяется его доступностью и коэффициентом h. В природе встречаются только три изотопа, которые могут служить ядерным топливом или сырьем для его получения. Это изотоп тория 232-Th и изотопы урана 238-U и 235-U. Из них **первые два цепной реакции не дают**, но могут быть переработаны в изотопы, на которых реакция идет. Изотоп 235-U сам дает цепную реакцию. В земной коре тория в несколько раз больше, чем урана. Природный торий практически состоит только из одного изотопа 232-Th. Природный уран в основном состоит из изотопа 238U и только на **0,7 % из изотопа 235-U**.

На практике крайне важен вопрос об осуществимости цепной реакции на естественной смеси изотопов урана, в которой на одно ядро 235-U приходится 140 ядер 238-U. Расчеты показали, что цепная **реакция на медленных нейтронах** в принципе возможна на естественном уране. В принципе, потому что для реального осуществления цепной реакции надо уметь замедлять нейтроны с малыми потерями.

**Задание: Проработать теоретический материал. Решить задачи.**

[1. Сколько протонов и нейтронов содержит изотоп N 15 7](https://5terka.com/node/2205)

[2. Сколько нейтронов в ядре O 15?](https://5terka.com/node/2206)

[3. Идентифицируйте следующие изотопы: 210 87 X, 202 82 Y, 105 47 Z](https://5terka.com/node/2207)

[5. Во сколько раз ядро атома урана 238 92 U больше ядра атома кислорода 16 8 O](https://5terka.com/node/2209)