

XX. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

1. Строение атома и атомного ядра

Атом состоит из электронов и положительного заряженного ядра. Пусть Z порядковый номер атома в таблице Менделеева и A – его массовое число. Тогда число электронов и протонов в атоме равно Z , а число нейтронов равно $A - Z$.

• Электрон

$$q = e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; \quad m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

• Протон

$$q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; \quad m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

• Нейтрон

$$q_n = 0 \text{ Кл}; \quad m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

♦ Обозначение атома и его ядра: ${}^A_Z X$

2. Радиоактивность. Альфа-распад. Бета-распад. Гамма-излучение

Радиоактивность – способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием различных видов радиоактивных излучений.

♦ Виды радиоактивности:

• **естественная радиоактивность** – это радиоактивность, которая наблюдается у неустойчивых изотопов, существующих в природе и имеющих в таблице Менделеева порядковый номер больше 83;

• **искусственная радиоактивность** – это радиоактивность, которая наблюдается у изотопов, полученных посредством ядерных реакций в лабораторных условиях.

Радиоактивность данного химического элемента не зависит от того, является ли химический элемент чистым или входит в состав какого-либо химического соединения. Радиоактивность не зависит от внешних условий: температуры, освещения, давления. Это означает, что радиоактивность представляет собой внутреннее свойство атомов радиоактивного элемента.

♦ Виды радиоактивных излучений

Излучение радиоактивных веществ состоит из трех видов излучений.

Если радиоактивное излучение пропустить через магнитное поле, то оно распадается на три пучка, два из них отклоняются в противоположные стороны, а третий не отклоняется.

• **α-излучение** представляет собой ядра атомов гелия ${}^4_2\text{He}$, движущиеся со скоростью 10^7 м/с , несет положительный заряд;

• **β-излучение** представляет собой поток

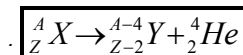
быстрых электронов ${}^0_{-1}e$, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, несет отрицательный заряд;

• **γ-излучение** представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны 10^{-12} м , заряда не имеет.

♦ **Радиоактивный распад** – самопроизвольный распад ядер атомов радиоактивного вещества, в результате которого ядра одних химических элементов превращаются в ядра других химических элементов.

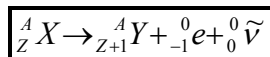
♦ Правила радиоактивного смещения

• **α-распад:**



Если при радиоактивном превращении испускаются α-частицы, то в результате такого превращения образуется ядро элемента, находящегося в таблице Менделеева на две клетки раньше исходного ядра.

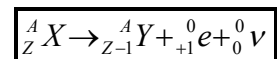
• **β-распад.**



Если при радиоактивном превращении испускаются β-частицы, то в результате такого превращения образуется ядро элемента, находящегося в таблице Менделеева:

– при электронном β-распаде в следующей после исходного ядра клетке плюс электрон и антинейтрино (частица, не имеющая заряда и масса покоя которой равна нулю).

– при позитронном β-распаде предшествующей исходному ядру клетке плюс позитрон и нейтрино (частица, не имеющая заряда и масса покоя которой равна нулю):



γ-излучение испускается дочерним ядром, которое в момент своего образования оказывается в возбужденном состоянии, а затем переходит в невозбужденное состояние.

2. Закон радиоактивного распада

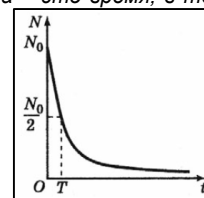
Если имеется большое количество одинаковых радиоактивных ядер, то вероятность распада каждого из них в любой момент времени одинакова. Радиоактивный распад любого ядра является случайным процессом, поэтому момент его распада предсказать невозможно.

♦ Закон радиоактивного распада:

число нераспавшихся атомных ядер при естественном радиоактивном распаде экспоненциально уменьшается с течением времени, т.е:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

где T – период полураспада – это время, в течение которого распадается половина способных к распаду ядер, N_0 – число радиоактивных ядер в начальный момент времени.



3. Нуклонная модель ядра. Заряд ядра. Массовое число ядра

Элементарные частицы:

♦ **протон:** обозначение – 1_1p , заряд $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, масса $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

♦ **нейтрон** обозначение – 1_0n , заряд отсутствует, масса $m_n = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

♦ **электрон:** обозначение – ${}^0_{-1}e$, заряд $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, масса $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Нуклон – это частица, входящая в состав атомного ядра. Атомное ядро любого химического элемента состоит из протонов и нейтронов.

Массовое число – это число, которое определяет количество протонов и нейтронов в ядре и равно округленному до целого значению массы атомного ядра в а.е.м.

Обозначение – A , единица измерения – 1 атомная единица массы (а.е.м.).

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Массовое число равно сумме количества протонов и нейтронов в ядре:

$$A = Z + N$$

где A – массовое число; Z – количество протонов в ядре и электронов в атоме; N – количество нейтронов в ядре.

Зарядовое число – это число, которое показывает количество протонов в ядре.

Z – порядковый номер химического элемента в периодической таблице Менделеева.

Изотопы – это атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов, но отличающиеся количеством нейтронов в ядре.

4. Энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы

♦ **Ядерные силы** – это силы притяжения, связывающие протоны и нейтроны в атомном ядре и обеспечивающие существование устойчивых ядер.

♦ Свойства ядерных сил:

- являются силами притяжения;
- являются короткодействующими
- ядерные силы больше кулоновских приблизительно в 100 раз);
- обладают свойством зарядовой независимости (ядерные силы, действующие между двумя протонами, двумя нейтронами и между протоном и нейтроном, одинаковы);
- имеют свойство насыщения (каждый нуклон взаимодействует только с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов, а не со всеми нуклонами ядра);
- не являются центральными (не действуют по линии, соединяющей центры взаимодействующих нуклонов).

♦ **Дефект масс** – это величина, равная разности суммы масс входящих в ядро нуклонов и массы ядра:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M_{\text{ядра}},$$

где Δm – дефект масс.

Благодаря ядерным силам ядра атомов обладают огромной энергией связи.

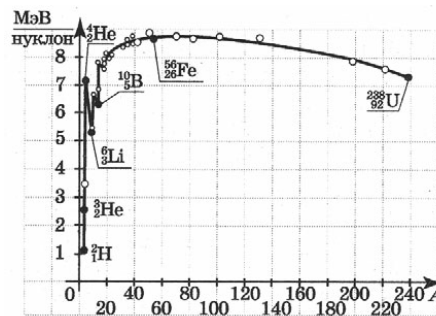
Энергия связи – это энергия, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны, или энергия, которая выделяется при образовании ядра из отдельных нуклонов:

$$\Delta E_{\text{связи}} = \Delta m \cdot c^2,$$

где $\Delta E_{\text{связи}}$ – энергия связи, c – скорость света в вакууме.

♦ **Удельная энергия связи** – это энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон ядра:

$$\varepsilon_{\text{связи}} = \frac{\Delta E_{\text{связи}}}{A}, \text{ где } A - \text{массовое число.}$$



5. Ядерные реакции. Деление и синтез ядер

♦ **Ядерные реакции** – это изменения атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом.

При ядерных реакциях выполняются следующие законы.

• Закон сохранения электрического заряда:

сумма электрических зарядов атомных ядер и частиц до реакции равна сумме электрических зарядов атомных ядер и частиц после реакции:

$$\sum Z = \sum Z'$$

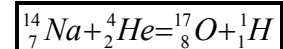
• **Закон сохранения массового числа:** сумма нуклонов атомных ядер и частиц до реакции равна сумме нуклонов атомных ядер и частиц после реакции:

$$\sum A = \sum A'$$

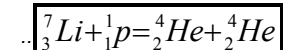
• **Закон сохранения энергии.**

Примеры ядерных реакций

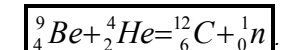
• Первое наблюдавшееся превращение ядра (Ю. Резерфорд, 1919):



• Первая ядерная реакция на быстрых протонах (1932):



• Открытие нейтрона (Дж. Чедвик, 1932):



• Изотоп фосфора оказался радиоактивным: его ядро распадается с испусканием позитрона и нейтрино:

