

Антинейтроном называют частицу, которая находится в таком же отношении к нейтрону, как позитрон к электрону.

Наиболее существенным свойством античастиц является их способность «аннигилировать» с частицами с выделением всей энергии, соответствующей массе покоя обеих частиц.

Для характеристики нуклонного и антинуклонного состояний можно ввести «ядерный» заряд или *нуклонный заряд*. При этом нуклонный заряд протона и нейтрона принимается равным 1, а нуклонный заряд антипротона и антинейтрона равен минус 1. В настоящее время предполагается, что нуклонный заряд гиперонов также равен 1, а нуклонный заряд антигиперонов равен минус 1. Нуклонный заряд всех остальных частиц, масса которых меньше массы нуклона, равен нулю. Существенно, что в системе, состоящей из нуклонов и антинуклонов, полный ядерный заряд, пропорциональный разности чисел нуклонов и антинуклонов, остается постоянным независимо от вида процессов, протекающих в системе.

Согласно современным представлениям законы природы инвариантны относительно операции зарядового сопряжения, т. е. превращения всех частиц в античастицы. При операции зарядового сопряжения надо менять одновременно знаки всех зарядов: электрических и нуклонных. В последнее время показано, однако, что в явлениях β -распада ядер (и распада других элементарных частиц) необходимо сохранять инвариантность относительно комбинированной операции: зарядового сопряжения и инверсии, а не отдельно для каждой операции (см. § 39 и 40).

Задачей теории ядра является установление свойств ядер, исходя из свойств протонов и нейтронов, входящих в состав ядер. К сожалению, в настоящее время мы слишком мало еще знаем о силах взаимодействия между нуклонами, чтобы решить эту задачу. Приходится довольствоваться рядом полуэмпирических методов, используя те или иные гипотезы о ядерных силах. Сравнение теории с опытом позволяет уяснить ценность таких гипотез.

§ 3. Механические величины, характеризующие ядро

Стационарные состояния ядра характеризуются некоторым набором физических величин, сохраняющихся с течением времени, если ядро не подвергается внешним воздействиям. К этим величинам относятся: энергия E , масса ядра M , импульс P , момент количества движения J и некоторые другие.

В этой главе мы будем рассматривать только стационарные состояния ядер или состояния, близкие к стационарным, в которых энергия имеет почти определенное значение.

Полная энергия и импульс любого тела связаны релятивистским соотношением

$$\left(\frac{E}{c}\right)^2 = (Mc)^2 + P^2, \quad (3,1)$$

где E — энергия, c — скорость света, P — импульс тела, M — масса покоя тела. Мы будем в дальнейшем рассматривать энергию ядра в системе координат, жестко связанной с ядром ($P=0$), следовательно, в этой системе

$$E = Mc^2. \quad (3,2)$$

Состояние ядра с наименьшей из всех возможных энергий называется *основным состоянием*. Соотношение (3,2) позволяет судить об энергии ядра путем измерения его массы. В настоящее время массу ядра можно определить с точностью до шестого знака.

Точные измерения атомных весов ядер показали, что масса ядра всегда на несколько десятых процента меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов, входящих в состав ядра. Энергия, соответствующая этой разности масс, называется *энергией связи* ядра:

$$\epsilon = - \{ Mc^2 - (NM_n + ZM_p) c^2 \}. \quad (3,3)$$

Энергия связи ϵ определяет работу, которую надо затратить, чтобы разделить ядро на составные части. Для характеристики устойчивости ядра удобно ввести энергию связи f , приходящуюся на один нуклон. Величина f для большинства ядер лежит в интервале 6—8 *Мэв*. На рис. 1 приведен график зависимости f от массового числа A .

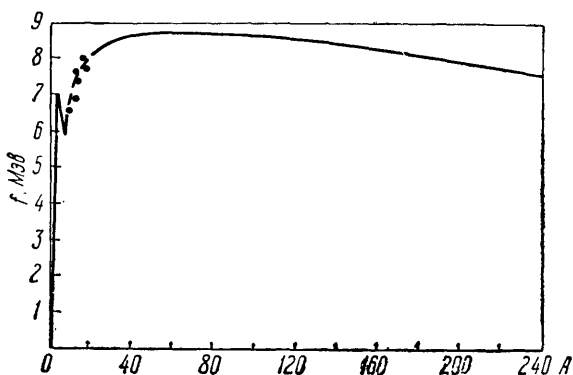


Рис. 1. Зависимость энергии связи, приходящейся на один нуклон, от массового числа A .

Из рисунка следует, что полная энергия связи ядра приблизительно пропорциональна числу нуклонов в ядре. Небольшие отклонения от этой пропорциональности можно объяснить поверхностным эффектом, кулоновским взаимодействием и некоторыми дополнительными эффектами, учтя, например, поправки, зависящие от четности ядра и относительной

разности числа протонов и нейтронов. Качественно зависимость f от A можно понять, если предположить, что ядерные силы между нуклонами обладают свойством насыщения, т. е. каждый нуклон взаимодействует только с ближайшими соседями (см. § 13).

Все ядра могут быть разделены на стабильные и нестабильные (радиоактивные.) Стабильные ядра характеризуются определенным отношением числа нейтронов к числу протонов. У легких ядер число нейтронов обычно равно числу протонов, у тяжелых ядер число нейтронов превышает число протонов. При отклонении величины N/Z от некоторых значений, характерных для данного массового числа A , ядро становится нестабильным по отношению к β -распаду. Такое ядро путем самопроизвольного перехода нейтронов в протоны (или обратно) с испусканием электронов (позитронов) и нейтрино или механизмом K -захвата переходит в стабильное состояние.

Кроме нестабильности по отношению к β -распаду, тяжелые ядра обладают еще «динамической» нестабильностью по отношению к распаду на две или большее число частей. К этому типу нестабильности относится и α -распад ядер. Ядро обладает динамической нестабильностью в том случае, если энергия связи, приходящаяся в нем на один нуклон, меньше, чем соответствующая энергия связи в ядрах осколков. Все тяжелые ядра ($A > 110$) нестабильны по отношению к делению. Однако вероятность спонтанного деления очень мала (см. главу V).

§ 4. Размеры ядер

В первом приближении ядра можно считать сферическими (см. § 20) со сравнительно хорошо определенной поверхностью. Хотя понятие «радиуса ядра» является несколько условным, однако при изучении рассеяния электронов, нейтронов, протонов и α -частиц на ядрах, а также при исследовании рентгеновских лучей, испускаемых μ -мезонными атомами, было установлено, что радиус ядра можно выразить простой формулой

$$R = r_0 A^{1/3},$$

где r_0 — некоторая постоянная.

Данные этих измерений с несомненностью указывают на то, что объем ядра пропорционален числу нуклонов в ядре, поэтому плотность ядерного вещества почти одинакова в различных ядрах.

Значение постоянной r_0 , найденное из опытов по рассеянию (обусловленному ядерными силами) нейтронов, протонов и α -частиц на ядрах, оказалось равным $(1,3 - 1,4) \cdot 10^{-13}$ см. Значение постоянной r_0 , найденное из опытов по рассеянию электронов и исследований μ -мезонных атомов, оказалось равным $1,2 \cdot 10^{-13}$ см.

При исследованиях рассеяния быстрых электронов на ядрах [4] и излучения μ -мезонных атомов фактически определяется распределение