

нии. Мало распространённые ^{130}Ba (0,101%) и ^{132}Ba (0,097%) могут использоваться как стабильные индикаторы. В качестве радиоактивных индикаторов применяются искусств. изотопы ^{131}Ba (электронный захват, $T_{1/2} = 11,5$ сут), ^{133}Ba (электронный захват, $T_{1/2} = 10,73$ года), ^{140}Ba (β^- -распад, $T_{1/2} = 12,79$ сут). С. С. Бердошосов.

БАРИОНИЙ (квaziядро) — квазиядерное связанное состояние пары барион-антибарион с малым (по сравнению с массой бариона) дефектом или избытком массы. На языке кварковой модели адронов — *многокварковое состояние* (из кварков и антикварков). Силы притяжения, действующие между барионом и антибарионом, обеспечивающие возможность существования Б., имеют ту же природу, что и ядерные силы. Радиус Б. $\sim 10^{-13}$ см. Б. нестабилен вследствие неизбежной аннигиляции его составляющих; время его жизни $\geq 10^{-23}$ с (что отвечает естеств. пирипам ≤ 100 МэВ). Б. должен иметь целое значение спина и нулевой барионный заряд, т.е. обладать свойствами мезонов. Внешне Б. проявляется как тяжёлый мезонный резонанс, распадающийся на n -мезоны или барион-антибарионную пару. Ожидается масса Б. ~ 2 ГэВ. В принципе Б. может состоять из бариона и антибариона с любыми внутр. квантовыми числами, напр. *странностью*. Экспериментально отчётливо наблюдались резонансы нуклон-antinуклон в области энергий ~ 2 ГэВ с характерной адронной шириной (~ 100 МэВ). Вопрос о существовании более узких состояний Б. окончательно не решён. Теоретически существование связанной системы нуклон-antinуклон было предсказано И. С. Шапиро с сотрудниками в 1969.

БАРИОННАЯ АСИММЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ — экстраполяция на Вселенную в целом наблюдаемого преобладания вещества над *антивеществом* в нашем локальном скоплении галактик. Заключение об отсутствии сопоставимого с веществом кол-ва антивещества (в скоплении галактик доля антивещества составляет $< 10^{-4}$) основано на эксперим. поисках аннигиляц. γ -квантов.

Количеств. мерой асимметрии Вселенной служит величина

$$\delta = \frac{n - \bar{n}}{n_{\gamma}}$$

где n , \bar{n} и n_{γ} — концентрации барионов, антибарионов и реликтовых фотонов. Концентрация реликтовых фотонов известна достаточно хорошо — они имеют планковский спектр с темп-рой $T \sim 3\text{К}$, что соответствует $n_{\gamma} = 500 \text{ см}^{-3}$. Плотность барионного заряда известна гораздо хуже; ограничения на параметр замедления расширения Вселенной из космологич. плотности вещества дают $n < 3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-3}$; снизу n ограничено массой видимого вещества галактик: $n > 3 \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-3}$. Т. о., $\delta = 10^{-8} - 10^{-10}$. При адиабатич. расширении Вселенной величина δ слабо зависит от времени. Так, с момента $t = 10^{-6}$ с, что соответствует темп-ре Вселенной $T \sim 1$ ГэВ (см. *Горячей Вселенной теория*), к настоящему времени она уменьшилась приблизительно в 5 раз из-за подогрева фотонного газа при аннигиляции тяжёлых частиц (изменения δ за счёт возможных процессов с несохранением барионного числа B не происходит, поскольку их скорость при $T \leq 1$ ГэВ пренебрежимо мала). Физ. смысл величины δ состоит в том, что при $t \leq 10^{-6}$ с она совпадает по порядку величины с относит. избытком барионов над антибарионами, поскольку при $T \sim 1$ ГэВ кол-во нуклон-antinуклонных (кварк-антикварковых) пар и фотонов совпадает (с точностью до числа степеней свободы). Т. о., при $t \sim 10^{-6}$ с на $10^8 - 10^{10}$ барион-антибарионных пар приходился один избыточный барион.

Величина δ является фундам. характеристикой Вселенной. Объяснение происхождения Б. а. В. и величины δ — одна из ключевых проблем совр. космологии и физики элементарных частиц. Конечно, можно стать на точку зрения, что Вселенная с самого начала была

глобально асимметричной, а величину δ задать как начальное условие. Такое «объяснение» ничему не противоречит, однако оно представляется неудовлетворительным.

Наиб. привлекательным является такое объяснение происхождения Б. а. В., в к-ром принимается, что Вселенная сначала симметрична по B , а затем на нек-ром этапе возникает асимметрия в наблюдаемой части Вселенной. Если закон сохранения барионного числа в микропроцессах является точным, то для этого необходима либо сепарация вещества и антивещества в макроскопич. масштабах (что считается трудно осуществимым), либо «погребение» антибарионов в чёрные дыры, к-рые при условии нарушения *СР-инвариантности* могут разделять вещество и антивещество. Последний подход рассматривался; однако для количеств. оценок он требует дополнит. гипотез о существовании тяжёлых частиц, распадающихся с сильным нарушением *СР-инвариантности*.

Наиб. естественным с точки зрения физики частиц представляется подход, при к-ром барионное число не сохраняется. Общие условия возникновения Б. а. В. при этом таковы. Взаимодействия, не сохраняющие B , должны нарушать зарядовую симметрию C (см. *Зарядовое сопряжение*), поскольку при сохранении C скорости прямых и обратных процессов с несохранением B одинаковы. Аналогично должна нарушаться *СР-инвариантность*. Наконец, эти процессы B -нарушающего взаимодействия не должны находиться в термодинамич. равновесии, поскольку тогда требование сохранения симметрии *СРТ* (см. *Теорема СРТ*) обеспечивает нейтральность системы по всем несохраняющимся зарядам, в данном случае по B , т.е. в термодинамич. равновесии $B = 0$. Синтез моделей *великого объединения* и теории горячей Вселенной обеспечивают естеств. выполнение всех условий образования Б. а. В., поскольку модели великого объединения содержат C - и *СР-несохраняющие* взаимодействия, нарушающие B , а Вселенная при своём расширении и охлаждении проходит стадию, когда эти взаимодействия выходят из равновесия.

Предполагаемый механизм возникновения Б. а. В. таков. Согласно моделям великого объединения, в природе существуют лептокварки (X) — частицы, переносящие взаимодействия с несохранением B . Их масса зависит от модели: векторные лептокварки обычно имеют массу порядка $M_X \sim 10^{14} - 10^{18}$ ГэВ, а скалярные $\sim 10^{10} - 10^{15}$ ГэВ. Вследствие C - и *СР-нарушения*, а также несохранения B при распаде лептокварков чаще образуются кварки (q) и лептоны (l), чем антикварки (\bar{q}) и антилептоны (\bar{l}). Зарядово-симметричная часть вещества плазмы в последующей эволюции Вселенной аннигилирует в конце концов в фотоны, нейтрино и антинейтрино, тогда как асимметричная часть остаётся, давая начало наблюдаемому миру галактик, звёзд и т. п. Величина возникающей т. о. асимметрии определяется как параметрами модели великого объединения, так и законом эволюции Вселенной. Так, предположим, что существует один лептокварк X , к-рый может распадаться либо на два антикварка, либо на кварк и лептон с парциальными ширинами соответственно Γ_1 и Γ_2 . Тогда барионный заряд B_X , образующийся при распаде X , равен ($B_q = 1/3$):

$$B_X = \frac{1}{\Gamma_{\text{tot}}} \left(\frac{1}{3}\Gamma_2 - \frac{2}{3}\Gamma_1 \right)$$

(Γ_{tot} — полная ширина распада). Для антилептокварка \bar{X} , распадающегося по схеме: $\bar{X} \rightarrow q\bar{q}$ или $\bar{X} \rightarrow q\bar{l}$

с ширинами $\tilde{\Gamma}_1$ и $\tilde{\Gamma}_2$, $B_{\bar{X}} = \frac{1}{\Gamma_{\text{tot}}} \left(-\frac{1}{3}\tilde{\Gamma}_2 + \frac{2}{3}\tilde{\Gamma}_1 \right)$.

В силу *СРТ-теоремы* $\Gamma_{\text{tot}} = \Gamma_1 + \Gamma_2 = \tilde{\Gamma}_1 + \tilde{\Gamma}_2$, однако