

НАРУШЕНИЕ CP -ИНВАРИАНТНОСТИ, C -АСИММЕТРИЯ И БАРИОННАЯ АСИММЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

А.Д.Сахаров

Теория расширяющейся Вселенной, предполагающая сверхплотное начальное состояние вещества, по-видимому, исключает возможность макроскопического разделения вещества и антивещества; поэтому следует принять, что в природе отсутствуют тела из антивещества, т.е. Вселенная асимметрична в отношении числа частиц и античастиц (C -асимметрия). В частности, отсутствие антибарионов и предполагаемое отсутствие неизвестных барионных нейтрино означает отличие от нуля барионного заряда (барионная асимметрия). Мы хотим указать на возможное объяснение C -асимметрии в горячей модели расширяющейся Вселенной (см. [1]) с привлечением эффектов нарушения CP -инвариантности (см. [2]). Для объяснения барионной асимметрии дополнительно предполагаем приближенный характер закона сохранения барионов.

Принимаем, что законы сохранения барионов и мюонов не являются абсолютными и должны быть объединены в закон сохранения "комбинированного" барион-мюонного заряда $n_K = 3n_B - n_\mu$. Положено:

Антимюоны μ_+ и $\nu_{\mu} = \mu_0$: $n_{\mu} = -1$, $n_K = +1$

Мюоны μ_- и $\nu_{\mu} = \mu_0$: $n_{\mu} = +1$, $n_K = -1$

Барионы P и N: $n_B = +1$, $n_K = +3$

Антибарионы P и N: $n_B = -1$, $n_K = -3$

Такая форма записи связана с представлением о кварках; кваркам p , n , λ приписываем $n_K = +1$, антикваркам $n_K = -1$. Теория предполагает пренебрежимую роль процессов нарушения n_B и n_{μ} в лабораторных условиях и очень существенную на ранней стадии расширения Вселенной.

Вселенную считаем нейтральной по сохраняющимся зарядам — лептонному, электрическому и комбинированному, но C -асимметричной в данный момент ее развития (положительный лептонный заряд сосредоточен в электронах, а отрицательный лептонный заряд — в избытке антинейтрино над нейтрино; положительный электрический заряд сосредоточен в протонах, а отрицательный — в электронах; положительный комбинированный заряд сосредоточен в барионах, а отрицательный — в избытке μ -нейтрино над μ -антинейтрино).

Возникновение C -асимметрии по нашей гипотезе является следствием нарушения CP -инвариантности при нестационарных процессах расширения горячей Вселенной на сверхплотной стадии, которое проявляется в эффекте различия парциальных вероятностей зарядово-сопряженных реакций. Этот эффект еще не наблюдался на опыте, но его существование представляется теоретически несомненным (первый конкретный пример — распад Σ_+ и Σ_- был указан С.Окубо еще в 1958 г.) и он должен, по нашему мнению, иметь важное космологическое значение.

Мы относим возникновение асимметрии к ранним стадиям расширения, которым соответствует плотность частиц, энергии и энтропии, постоянная Хаббла и температура порядка единицы в гравитационных единицах (плотность частиц $n \sim 10^{28} \text{ см}^{-3}$, плотность энергии $\epsilon \sim 10^{14} \text{ эрг/см}^3$ в обычных единицах).

М.А.Марков (см. [5]) предположил существование на ранней стадии частиц с максимальной массой порядка единицы в гравитационных единицах ($M_0 = 2 \cdot 10^{-5} g$ в обычных единицах), назвав их максимонами. Наличие таких частиц неизбежно приведет к сильным нарушениям термодинамического равновесия. Мы можем наглядно представить себе, что нейтральные бесспиновые максимоны (или фононы) образуются при $t < 0$ из сжимающегося вещества с избытком антикварков, в момент бесконечной плотности $t = 0$ проходят "друг-через-друга" и при $t > 0$ распадаются с избытком кварков, реализуя полную CPT -симметрию Вселенной. Все явления при $t < 0$ в этой гипотезе предполагаются CPT -отражениями явлений при $t > 0$. Заметим, что в холодной модели невозможно CPT -отражение кинематически возможно лишь T - и TP -отражения. TP -отражение рассматривалось Милном, T — отражение — автором; по современным

представлениям такие отражения невозможны динамически из-за нарушения TP - и T -инвариантности.

Мы считаем максимоны квазичастицами с явной зависимостью энергии ϵ/n , приходящейся на одну частицу, со средней плотности частиц n . Если принять $\epsilon/n \sim n^{-1/3}$, то $\epsilon/n \sim$ пропорциональна энергии взаимодействия двух "соседних" максимонов $(\epsilon/n)^2 n^{1/3}$ (ср. с рассуждениями в [6]). При этом $\epsilon \sim n^{2/3}$ и $R_0 \sim (\epsilon + 3p) = 0$, т.е. среднее расстояние между максимонами $n^{-1/3} \sim t$. Такая динамика хорошо согласуется с представлением о CPT -отражении в точке $t = 0$.

В настоящее время мы не можем дать теоретическую оценку величины C -асимметрии, составляющей, по-видимому, (для нейтрино) около $[(\bar{\nu} - \nu) / (\bar{\nu} + \nu)] \sim 10^{-8} - 10^{-10}$.

Сильное нарушение барионного заряда на сверхплотной стадии и факт практической стабильности барионов не противоречат одно другому. Рассмотрим конкретную модель. Введем взаимодействия двух типов.

1. Взаимодействие тока превращения кварка в мюон с полем векторного бозона $a_{i\alpha}$, которому приписываем дробный электрический заряд $\alpha = \pm 1/3, \pm 2/3, \pm 4/3$ и массу $m_a \sim (10 - 10^3) m_p$. Это взаимодействие вызывает реакции $q \rightarrow a + \bar{\mu}$, $q + \mu \rightarrow a$ и т.п. Взаимодействие первого типа сохраняет дробную часть электрического заряда и поэтому фактически число кварков минус число антикварков ($= 3n_B$) сохраняется в процессах, включающих a -бозон лишь виртуально.

Постоянная этого взаимодействия нами оценивается как $g_a = 137^{-3/2}$ из следующих соображений. Векторное взаимодействие a -бозона с μ -нейтрино приведет к наличию у последнего некоторой массы покоя. В работе [7] содержится верхняя оценка массы μ_0 , основанная на космологических соображениях. Если принять плоскую космологическую модель Вселенной и считать, что большая часть ее плотности $\rho \sim 1,2 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3$ должна быть приписана μ_0 , то масса покоя μ_0 оказывается близкой к 30 эв . Приведенное значение g_a следует тогда из гипотетической формулы

$$\frac{m_{\mu_0}}{m_e} = \frac{g_a^2}{e^2} \sim (137)^{-2}.$$

Заметим, что наличие во Вселенной большого числа μ_0 с конечной массой покоя должно привести к ряду очень важных космологических следствий.

2. Барионный заряд нарушается, если взаимодействие, описанное в п. 1, дополнить трехбозонным взаимодействием, приводящим к виртуальным процессам вида $a_{\alpha_1} + a_{\alpha_2} + a_{\alpha_3} \leftrightarrow 0$. По совету Б.Л.Иоффе, И.Ю.Коб-

зарева, Л.Б.Окуня лагранжиан этого взаимодействия принят зависящим от производных a -поля, например, по формуле

$$L_2 = g_2 \left(\sum_{\alpha} f_k^i f_j^k f_i^j + \text{э.с.} \right), \quad f_{ik} = R_{\alpha} t_{\alpha i}.$$

