

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

КАФЕДРА №40

Реферат по космомикрoфизике на тему:  
Теневой мир  
с двумя поколениями фермионов.

Выполнил студент группы Т8-40Б  
Пономаренко Д. Е.

Москва 2013

Целью данной работы является оценка возможности существования теневого мира с двумя поколениями фермионов. Будем считать, что все параметры, такие как массы частиц, их заряды, соответствуют реальным.

## Введение

В работе Ли и Янга «Вопрос сохранения симметрии в электрослабом взаимодействии» (1956 г.) была впервые рассмотрена возможность существования зеркальной материи. Зеркальный мир, состоящий из этой материи, компенсировал предполагаемое нарушение Р-чётности в нашем мире так, что во Вселенной, состоящей из наблюдаемого и зеркального мира, Р-чётность сохранялась.

После экспериментального обнаружения в опыте Ву на  $^{60}\text{Co}$  нарушения Р-симметрии в бета-распаде на роль зеркальных партнёров обычных частиц Львом Ландау были предложены их античастицы, и таким образом была введена комбинированная чётность (СР-чётность), которая считалась сохраняющейся до экспериментального обнаружения СР-нарушения (Кристенсоном, Крониным, Фитчем и Тёрлеем) в 1966 г.

Для компенсации СР-асимметрии вновь потребовалось рассмотрение необнаруженных пока зеркальных частиц. В работе «О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц» (1966 г.) Кобзарев, Померанчук и Окунь показали, что зеркальная материя не может участвовать в обычных, присущих наблюдаемому миру, взаимодействиях (кроме гравитационного), а должна иметь собственные, действующие только между зеркальными частицами.

Изначально предполагалось, что эта материя – копия обычной, т. е. с тем же набором частиц – зеркальных аналогов наблюдаемых, и взаимодействиями, аналогичными обычным, но имеющими обратный знак СР-чётности. Сейчас предполагается, что строение и состав этого мира всё же может отличаться от обычного, т. е. быть «незеркальной», в этом случае такой мир обычно называется тeneвым.

Важное ограничение на зеркальный или теневой мир дают данные о первичном содержании гелия  $Y_{prim}$ , т. е. об отношении количества  $^4\text{He}$  к количеству всех ядер, образовавшихся к концу первичного (дозвёздного) нуклеосинтеза. Эти данные ограничивают количество любой релятивистской материи (в т. ч. теневой) на момент п/р-закалки ( $t \sim 1$  с,  $T \sim 1$  МэВ). Так, например, современные оценки, основанные на космологическом нуклеосинтезе и реликтовом излучении, составляют, с учётом систематических ошибок (см. Рис. 1):

$23,1\% < Y_{prim} < 26,7\%$ , и дают ограничение на число лёгких нейтрино  $2,0 < N < 4,5$ .

В данной работе рассматривается теневой мир с двумя поколениями частиц (в отличие от наблюдаемого, описываемого Стандартной Моделью (SM), с тремя поколениями). Будем полагать, что 2 поколения элементарных частиц этого мира аналогичны (зеркальны) первым двум поколениям частиц SM, т.е. почти все параметры (массы, заряды, сечения взаимодействий, вероятности распада и др.) у соответствующих частиц равны, лишь их спиральности

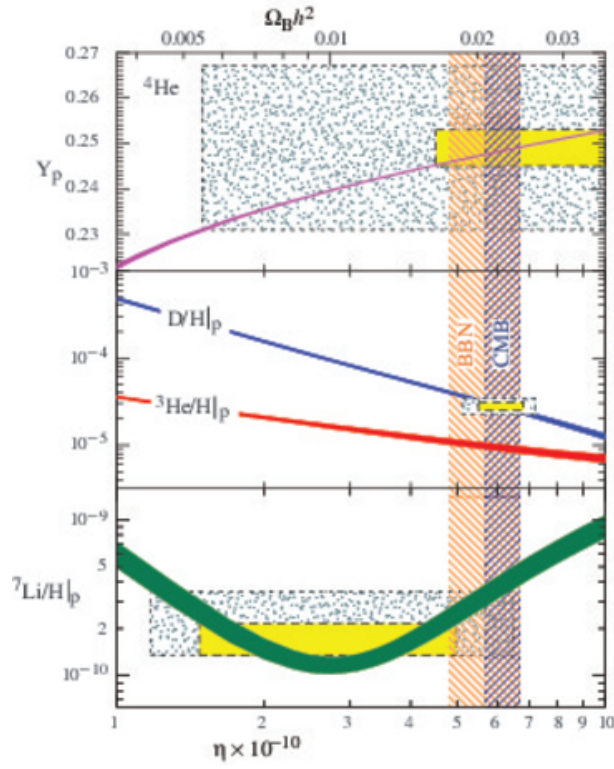


Рис. 1. Относительные содержания первичных химических элементов в зависимости от относительной плотности барионов  $\Omega_B$ . Толщины линий отражают точность предсказаний. Прямоугольниками показаны области значений в пределах статистических (внутренний) и систематических (внешний) ошибок, полученные из наблюдений. Вертикальные полосы показывают области значений  $\Omega_B$ , допустимые из анализа первичного нуклеосинтеза (BBN) и реликтового излучения (CMB). Индекс «р» означает первичный (primordial)

имеют противоположный знак.

Взаимодействия между этими зеркальными частицами осуществляются посредством зеркальных калибровочных бозонов. Таким образом, в рассматриваемой Вселенной, кроме обычных частиц, имеем зеркальные калибровочные бозоны, в частности, зеркальный фотон  $\gamma_{mir}$ . Здесь следует отметить, что нарушения CP-симметрии вводится в Стандартную Модель посредством комплексной фазы в матрице смешивания кварков (СКМ-матрице). Необходимым условием для появления такой фазы и, соответственно, нарушения CP-симметрии является существование по меньшей мере трёх поколений кварков. В случае же двух поколений кварков матрица смешивания не имеет нарушающей CP-симметрию фазы, так как содержит только один параметр – угол смешивания между поколениями кварков (будем считать его в нашем случае равным углу Кабиббо).

# Анализ

## Два поколения фермионов в нашем мире

Число типов нейтрино вносит существенный вклад в плотность энергии и скорости остывания Вселенной после Большого взрыва. Оно определяет соотношение между количеством нейтронов и протонов, образующихся в момент дозвездного нуклеосинтеза, а это влияет на концентрацию гелия.

Отношение концентраций нейтронов и протонов дается формулой:

$$\frac{n}{p} = \exp\left(-\frac{\Delta m}{T}\right) \quad (1)$$

$$\Delta m = M_n - M_p = 1,29 \text{ MeV}. \quad (2)$$

$$T \approx (kG)^{\frac{1}{6}}/G_F^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

где  $M_n$  и  $M_p$  - массы нейтрона и протона соответственно,  $T$  - температура заковки,  $k$  - статистический фактор характеризующий плотность вселенной.

$$k = 1 + \frac{7}{8} \cdot \left(2 \cdot \frac{2}{2}(e) + 2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2}(\nu)\right) = 4.5 \quad (4)$$

Таким образом, **температура заковки в теневом мире с двумя поколениями фермионов ниже чем в существующем.**

$$\left(\frac{n}{p}\right)' = \exp\left(\frac{\Delta m}{T}\right) \left(\frac{k}{k'}\right)^{\frac{1}{6}} = \left(\frac{n}{p}\right)^{(k/k')^{\frac{1}{6}}} \quad (5)$$

где  $k$  и  $k'$  - текущая и при двух поколениях фермионов соответственно.

Сейчас известно, что  $\frac{p}{n} = \frac{1}{7}$ ,  $k = 5,375$ . Подставляя их в формулу 5, получим:

$$\left(\frac{n}{p}\right)' = 0.143^{(1.194)^{1/6}} = 0.135 \quad (6)$$

откуда имеем

$$Y_p = \frac{E_H}{E_B} \approx 2 \cdot \frac{n/p}{1 + n/p} = 2 \cdot \frac{0.135}{1 + 0.135} = 0.238 \quad (7)$$

Зная приближённую зависимость первичного гелия от числа сортов нейтрино, видим что результат не согласуется с этими данными, а значит **в нашем мире не может существовать только двух поколений фермионов.**

## В нашем мире существует три поколения фермионов и два поколения существуют в теневом

Полагая, что стандартный мир и теневой развиваются параллельно и абсолютно одинаково, воздействуя друг на друга, делаем вывод, что **поколения фермионов в теневом мире**

оказывают влияние на концентрацию  ${}^4\text{He}$ :

$$k = 1 + \frac{7}{8} \cdot \left( 4 \cdot \frac{2}{2}(e) + 5 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2}(\nu) \right) = 8.875 \quad (8)$$

Произведя выкладки, аналогичные предыдущей части, получим:

$$\left( \frac{n}{p} \right)' = 0.143^{(0.606)^{1/6}} = 0.167 \quad (9)$$

$$Y_p = \frac{E_H}{E_B} = 2 \cdot \frac{0.167}{1 + 0.167} = 0.286 \quad (10)$$

Полученная концентрация первичного гелия не соответствует наблюдаемой приближённой концентрации, а значит развитие такого сценария мало вероятно.

## Заключение

Наш мир состоит из трёх поколений фермионов. Это доказано на основе экспериментальных данных. Кроме того модель с двумя поколениями не вписывается и с космологической точки зрения.

Существование же зеркального (теневого) мира, развивающегося с нашим параллельно, маловероятно.

## Список литературы

1. Хлопов М. Ю., “Основы космомикрoфизики”, (М.: УРСС, 2004)
2. Емельянов В. М., Белоцкий К. М., “Лекции по основам электрослабой модели и новой физике”, (2013)
3. Окунь Л.Б., “Лептоны и кварки”, (М.: “Наука”, 1990)
4. Емельянов В. М., “Стандартная модель и её расширения”, (М.: “Физмалит”, 2007)