

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

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

КАФЕДРА №40

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

Выполнил студент группы Т01-40Б
Пономаренко Д. Е.

Москва 2013

Целью данной работы является оценка возможности существования теневого мира с двумя поколениями фермионов. Будем считать, что все параметры теневых частиц соответствуют их обычным параметрам.

1 Введение

В работе Ли и Янга «Вопрос сохранения симметрии в электрослабом взаимодействии» [1] 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 [2] на ^{60}Co нарушения Р-симметрии в бета-распаде на роль зеркальных партнёров обычных частиц были предложены их античастицы, и таким образом была введена комбинированная чётность (СР-чётность) [7], которая считалась сохраняющейся до экспериментального обнаружения СР-нарушения (Кристенсоном, Крониным, Фитчем и Тёрлеем) в 1966 г [4].

Для компенсации СР-асимметрии вновь потребовалось рассмотрение необнаруженных пока зеркальных частиц. В работе «О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц» (1966 г.) [11] 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. В этой работе 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 ^4He 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-заковки ($t \sim 1$ с, $T \sim 1$ МэВ). Так, например, современные оценки [5], 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 имеют противоположный знак.

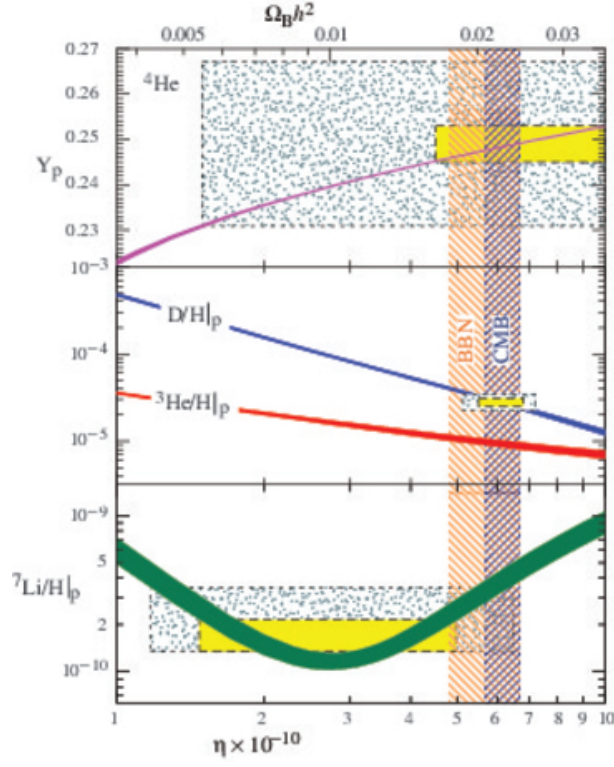


Рис. 1. Относительные содержания первичных химических элементов в зависимости от относительной плотности барионов B . Толщины линий отражают точность предсказаний. Прямоугольниками показаны области значений в пределах статистических (внутренний) и систематических (внешний) ошибок, полученные из наблюдений. Вертикальные полосы показывают области значений B , допустимые из анализа первичного нуклеосинтеза (BBN) и реликтового излучения (CMB). Индекс «р» означает первичный (primordial). Изображение взято из [5].

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 γ_{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).

2 Анализ

2.1 Инфляция и бариосинтез

Природа инфляции и бариосинтеза может быть описана механизмами, выходящими за рамки данной работы. В то же время, стоит отметить, что в следствии отсутствия CP-

нарушения теневого мира, не выполняются все условия Сахарова - Кузьмина и не могло образоваться избытка теневой барионной материи, а так же в теневом мире реализуется зарядовая симметрия. Отсутствие СР-нарушения ставит под сомнение весь смысл введения такого теневого мира, ведь изначально, как отмечалось выше, он должен решать проблему СР-асимметрии в нашем мире.

В дальнейших рассуждениях будем иметь в виду, что в рассматриваемой модели отсутствуют механизмы инфляции и бариосинтеза. Поэтому при анализе космологической эволюции начальные условия расширения, существование горячей стадии ранней Вселенной и величина барионной асимметрии Вселенной постулируются. Положим в дальнейших рассуждениях, что концентрация барионов в теневом мире такая же, как и в обычном мире.

2.2 Нуклеосинтез

Число поколений фермионов определяет соотношение между количеством нейтронов и протонов, образующихся в момент дозвездного нуклеосинтеза. Соотношение между количеством нейтронов и протонов в свою очередь, оказывает влияние на концентрацию первичного гелия.

Отношение концентраций нейтронов и протонов дается формулой:

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

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

,где M_n и M_p - массы нейтрона и протона соответственно, T - температура Вселенной,

В момент времени, когда температура опускается до значения определяемого следующим образом:

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

,где G_F - константа Ферми, G - гравитационная постоянная, происходит закалка отношения концентраций нейтронов и протонов. Здесь используется k - статистический фактор характеризующий плотность вселенной, определяющийся как

$$k = 1 + \sum \frac{g_{S(b)}}{2} + \frac{7}{8} \sum \frac{g_{S(f)}}{2} \quad (4)$$

В современном мире $k = 5,375$, $\left(\frac{n}{p}\right) \approx \frac{1}{7}$ и $Y_p = 0.25$.

В рассматриваемой модели имеем:

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

Таким образом, температура закалки в рассматриваемом сценарии выше чем в существующем мире.

$$\left(\frac{n}{p}\right)' = \exp\left(\frac{\Delta m}{T}\right) \left(\frac{k}{k'}\right)^{\frac{1}{6}} = \left(\frac{n}{p}\right)^{(k/k')^{\frac{1}{6}}} = 0.143^{(0.606)^{1/6}} = 0.167 \quad (6)$$

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

$$Y'_p = \frac{\rho_{He}}{\rho_B} \approx 2 \cdot \frac{n/p}{1 + n/p} = 2 \cdot \frac{0.167}{1 + 0.167} = 0.286 \quad (7)$$

Если же учесть распад 10% нейтронов, получим:

$$\left(\frac{n}{p}\right)' = 0.150 \quad (8)$$

$$Y'_p = 0.261 \quad (9)$$

Итак, полагая, что стандартный мир и теневой развиваются параллельно и абсолютно одинаково, воздействуя друг на друга, делаем вывод, что количество поколений фермионов в теневом мире оказывают влияние на концентрацию ${}^4\text{He}$ и, зная приближённую зависимость первичного гелия от числа сортов нейтрино, видим что результат не согласуется с этими данными, а значит **теневой мир с двумя поколениями фермионов не может существовать.**

3 Заключение

В этой работе было выявлено, что теневой мир с двумя поколениями фермионов не может существовать как минимум в силу следующих причин:

- 1) Из-за отсутствия третьего поколения фермионов в теневом мире сохраняется СР-чётность, что не позволяет компенсировать её нарушение в нашем мире.
- 2) Полученная концентрация первичного гелия в рассматриваемой модели не соответствует наблюдаемой приближённой концентрации.

Список литературы

1. Lee T D, Yang C N, Phys. Rev. 104 254 (1956)
2. Chien-Shiung Wu with E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, R. P. Hudson, "Experimental test of parity conservation in beta decay", Phys. Rev. 105: 1413 (1957)
3. Fitch Val. L., "The Discovery of Charge Conjugation Parity Asymmetry: Nobel Lecture. Stockholm, December 11, 1980
4. Christenson J., Cronin J. W., Fitch V. I. and Turlay R., Phys. Rev. Letters 13, 138 (1964)
5. B. Fields and S. Sarkar, "Big-Bang nucleosynthesis (2006 Particle Data Group mini-review)," astro-ph/0601514.
6. Хлопов М. Ю., "Основы космомикрoфизики", (М.: УРСС, 2004)
7. Ландау Л.-Nucl. Phys., 1957, v. 3, p. 254.
8. Емельянов В. М., Белоцкий К. М., "Лекции по основам электрослабой модели и новой физике", (2013)
9. Емельянов В. М., "Стандартная модель и её расширения", (М.: "Физмалит", 2007)
10. Окунь Л.Б., "Лептоны и кварки", (М.: "Наука", 1990)
11. И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, "О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц.", ("ЯФ", 3 1154, 1966)