

**Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”
(НИЯУ МИФИ)**

Факультет экспериментальной и теоретической физики
Кафедра физики элементарных частиц № 40

Реферат по Космомикрофизике

Теневой мир с четырьмя поколениями фермионов

Студент: Непочатая О.Е.

Группа: М17-115

Москва 2017

Содержание:


1. Введение
2. Модель
 - 2.1. Нуклеосинтез
 - 2.2. Бариосинтез и лептосинтез
3. Заключение
4. Литература

1. Введение


Один из основополагающих принципов современной физики - три типа симметрии: относительно отражения, трансляции и поворота. Для элементарных частиц выполняются только трансляция и поворот, отражение (P - четность) нарушается в слабом взаимодействии. Это предположили Ли и Янг теоретически [1], и впоследствии было подтверждено экспериментально.


Так, например, при β -распаде рождаются только лево-поляризованные нейтрино, при это P -преобразование дает нейтринное состояние, которое не участвует в слабых взаимодействиях. В β -распаде поляризованных ядер электроны вылетают в основном в направлении ядерного спина. Зеркальное отражение этого процесса приводит к ненаблюдаемому явлению.

Несохранение Р-четности приводит к неэквивалентности лево- и право ориентированных систем координат. Это означает, что у Вселенной есть некоторая предпочтительная ориентация координатных осей. Ли и Янг предположили, что у элементарных частиц есть зеркальные партнеры. В этом случае Р-инверсия меняет зеркальные частицы на обычные и наоборот и восстанавливается эквивалентность левых и правых систем координат.

Некоторое время кандидатами на роль зеркальных частиц были уже обнаруженные на тот момент экспериментально античастицы. Однако, открытие CP-нарушения показало, что античастицы не являются предполагаемыми зеркальными партнерами. И. Померанчук, И. Кобзарев и Л. Окунь показали, что зеркальные частицы, если они существуют, не участвуют в электромагнитном и сильном взаимодействиях с обычными. [2] 

2. Модель

В данной работе рассматривается возможность существования зеркального мира параллельно с обычным, однако предполагается, что в зеркальном мире существует 4 поколения фермионов вместо 3-х в обычном мире. Предположим, что 3 поколения зеркальных частиц являются копиями обычных частиц, а 4-е стабильное поколение состоит из частиц, масса которых больше массы половины “зеркального” Z^0 -бозона, а зеркальный лептон четвертого поколения легче соответствующего нейтрино. 

Предполагается, что обычный и теневой мир имеют разную космологическую эволюцию. В частности, что они никогда не были в равновесии друг с другом. Теневой мир взаимодействует с обычным только гравитационно, это взаимодействие достаточно слабое, следовательно термодинамическое равновесие между секторами не устанавливается. 

2.1. Содержание первичного гелия.

Одно из основных ограничений на модели, связанные с нуклеосинтезом любой материи дают данные о содержании первичного гелия (Y), т. е. об отношении количества ^4He к количеству всех ядер, образовавшихся к концу первичного (дозвёздного) нуклеосинтеза (см. рис. 1). 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 [6], основанные на космологическом нуклеосинтезе и реликтовом излучении, составляют, с учётом систематических ошибок: $23,1\% < Y < 26,7\%$.

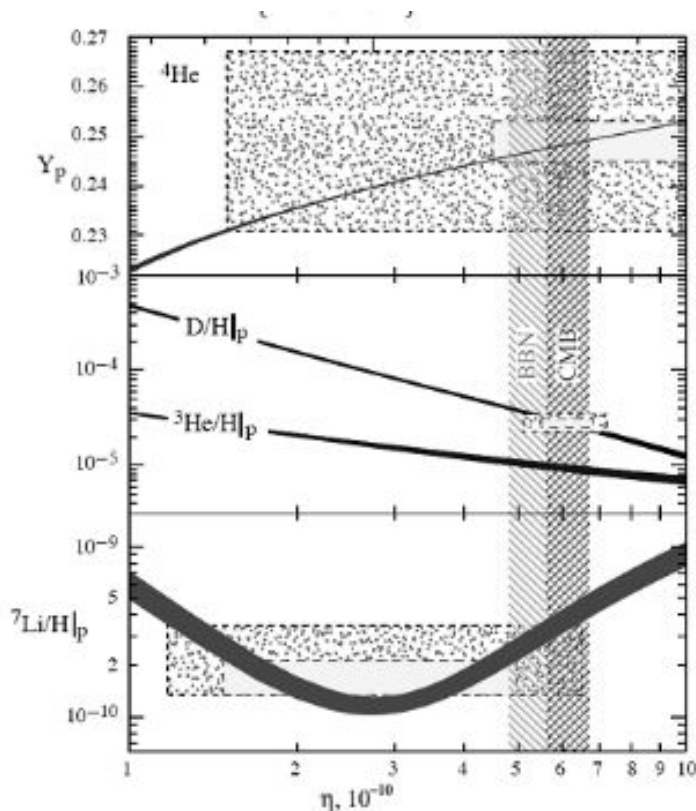


рис.1. Относительные содержания первичных химических элементов в зависимости от количества барионов. Толщины линий отражают точность предсказаний. Прямоугольниками показаны области значений в пределах статистических (внутренний) и систематических (внешний) ошибок, полученные из наблюдений. Вертикальные полосы показывают области значений η , допустимых из анализа первичного нуклеосинтеза (BBN) и реликтового излучения (CMB). Индекс «р» означает первичный (primordial) [6].

С хорошей точностью весовая доля атомов гелия, образовавшихся в ранней Вселенной, равна удвоенному количеству всех нуклонов, являющихся нейтронами на момент достаточного распространения дейтерия и начала процесса образования ядер.

Если существовало бы 4 типа безмассовых нейтрино, то эффективное число типов частиц оказалось бы равно 3.817 вместо 3.363, и скорость падения температуры увеличивается в $\sqrt{3.817/3.363} \approx 1.135$ раз. Это увеличивает долю нейтронов и, соответственно, увеличивает

распространенность гелия. Добавление каждого нового поколения с легкими нейтрино увеличивает Y на величину ≈ 0.013 . [8] Это дает ограничение на количество поколений легких нейтрино - не более 4. Другое ограничение на количество поколений обычного мира связано с шириной распада Z^0 бозона - если и существует 4е поколение нейтрино в обычном мире, то его масса должна быть больше половины массы Z^0 бозона, но этот случай не рассматривается в данной работе.

Далее приведен подробный расчет количества первичного гелия.

Отношение концентраций нейтронов и протонов:

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

$$\Delta m = M_n - M_p = 1.29 \text{ MeV}$$

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

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

$$k = \sum_{\text{бозоны}} g_s \left(\frac{T_i}{T}\right)^4 + \frac{7}{8} \sum_{\text{фермионы}} \frac{g_s}{2} \left(\frac{T_i}{T}\right)^4,$$

В нашем случае учитываются обычный и зеркальный фотоны, обычные и зеркальные электроны и позитроны, а также три поколения обычных нейтрино и четыре поколения зеркальных, поэтому статистический фактор для Вселенной с выбранным зеркальным миром будет равен 6,88.

Из формулы для температуры закалки видно, что она изменится только за счет изменения k , тогда скорректируем формулу для соотношения числа нейтронов и протонов следующим образом:

$$(n/p)' = (n/p)^{(k_0/k)^{1/6}}$$

k - рассчитанное нами значение, причем для случая обычного мира с тремя поколениями фермионов.

$$k_0 = 5,375$$

$$(n/p)' = 0,154$$

Далее посредством цепочки ядерных реакций большинство нейтронов переходит в He^4 . Образования более тяжелых ядер не происходит из-за большого кулоновского барьера а также ввиду того, что стабильных ядер с атомными массами 5 и 8 не существует.

Отсюда получаем концентрацию He^4 :

$$Y_p = \frac{He}{Barion} = \frac{2 \cdot (n/p)}{1 + n/p} \approx 0.267$$

Полученная концентрация попадает в рамки ограничений, наложенных экспериментом. Таким образом показано, что при заданных условиях существование в зеркальном мире четырех поколений фермионов возможно.


2.2. Бариосинтез и лептосинтез

Единственные по-настоящему сохраняющиеся квантовые числа в $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ Стандартной модели соответствуют калибровочным симметриям - электрослабый изоспиновый генератор T_3 , электрослабый

гиперзаряд Y , пара генераторов $SU(3)$ калибровочной группы, а также $B-L$ - разница между барионным и лептонным числом (а не сами эти числа). При установлении теплового равновесия в период лептосинтеза и бариосинтеза соотношение между плотностью барионного числа (N_b) и плотностью N_{b-l} дается формулой: [1]


$$N_b = N_{b-l} \cdot \frac{8 \cdot N_g + 4 \cdot N_d}{22 \cdot N_g + 13 \cdot N_d},$$
 где N_g - число поколений, N_d - число скалярных дуплетов

Для 3х поколений обычной материи $N_b/N_{b-l} = 28/79$, для 4х зеркальных поколений и трех обычных - $16/45$

Как видно, при появлении зеркальной материи с 4-мя поколениями данной соотношение не меняется сильно, что не запрещает возникновение зеркальной материи параллельно с обычной, но с четырьмя поколениями лептонов. 

3. Заключение

В данной работе исследовалась возможность существования теневого мира с четырьмя поколениями фермионов. Показано, что в процессе первичного бариосинтеза, лептосинтеза, и последующего нуклеосинтеза не было запрещающих возникновение данной материи факторов.

Так как тeneвая материя не взаимодействует с обычной никак кроме гравитационного взаимодействия, то она может составлять существенную часть от **теплой темной материи во Вселенной**.  Предполагая, что развитие зеркальной и обычной материи шло по похожему сценарию, за исключением, возможно, количества поколений, можно предположить,

что масса зеркального вещества во Вселенной составляет величину, схожую с величиной массы обычного вещества, однако данное предположение в данной работе не подкреплено никакими расчетами.

Существуют также другие теории, позволяющие связать зеркальную материю и четвертое поколение фермионов, например:

- зеркальным может оказаться не обнаруженное на данный момент стерильное нейтрино. Количество поколений для стерильного нейтрино также неизвестно и вполне может быть равным четырем.
- все четвертое поколение фермионов является зеркальным по отношению к первым трем.

и т.д. Однако, в данной работе эти теории не рассматриваются.

4. Литература

- [1] Lee T. D., Yang C. N. Phys. Rev. 104 254 (1956) [2] И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, "О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц."
- [3] Хлопов М. Ю., "Основы космофизики"
- [4] <http://nuclphys.sinp.msu.ru/bm/bm06.htm>
- [5] http://nuclphys.sinp.msu.ru/neutrino/newtrino_s/R&C.html
- [6] B. Fields and S. Sarkar, "Big-Bang nucleosynthesis (2006 Particle Data Group mini-review),"
- [7] Емельянов В. М., Белоцкий К. М., "Лекции по основам электрослабой модели и новой физике"
- [8] С.Вайнберг, "Космология", URSS, 2012
- [9] J.A.Harvey, M.S. Turner, Phys. Rev. D 42, 3344 (1990)

- [10] Zurab Berezhiani “Mirror world and its cosmological consequences”, International Journal of Modern Physics, 2008
- [11] Блинников С.И., Хлопов М.Ю. «О возможных проявлениях зеркальных частиц», Sov. J. Nucl. Phys. 36, 472 (1982)
- [12] Wu C.S., Ambler E, Hayward R W, Hoppes D D, Hudson R P «Experimental test of parity conservation in beta decay» , Physical Review, vol.105, Issue 4, pp. 1413-1415, 1957
- [13] Ли, Янг «Вопрос сохранения симметрии в электрослабом взаимодействии», Physical Review, vol. 104 (1): 254–258, 1955г.