

**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 слабых взаимодействиях. Это предположили Ли и Янг теоретически [8], и впоследствии было подтверждено экспериментально.

Так, например, при β -распаде рождаются только лево-поляризованные нейтрино, при этом 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 процессу.

Несохранение P -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 P -инверсия зеркальные частицы на обычные и наоборот.

Некоторое время кандидатами на роль зеркальных частиц были уже обнаруженные на тот момент экспериментально античастицы. Однако, открытие CP -нарушения показало, что античастицы не составляют предполагаемую зеркальную материю. И. Померанчук, И. Кобзарев и Л.

Окунь показали, что зеркальные частицы, если они существуют, взаимодействуют с обычными только гравитационно. [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.

Предполагается, что обычный и теневой мир имеют разную космологическую эволюцию. В частности, что они никогда не были в равновесии друг с другом. Концентрация барионов в теневом мире не совпадает с концентрацией барионов в нашем мире. Чтобы наличие теневого мира не повлияло на первичный нуклеосинтез в обычном мире, оба сектора должны иметь различные начальные условия формирования:

1. после Большого взрыва два сектора были рождены с двумя разными температурами, $T_s > T_0$;
2. взаимодействие между секторами слабое, термодинамическое равновесие не устанавливается;
3. оба сектора расширяются адиабатически.

В случае если все условия выполняются, наличие теневого мира не повлияет на первичный нуклеосинтез в обычном мире.

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: $23,1\% < Y < 26,7\%$.

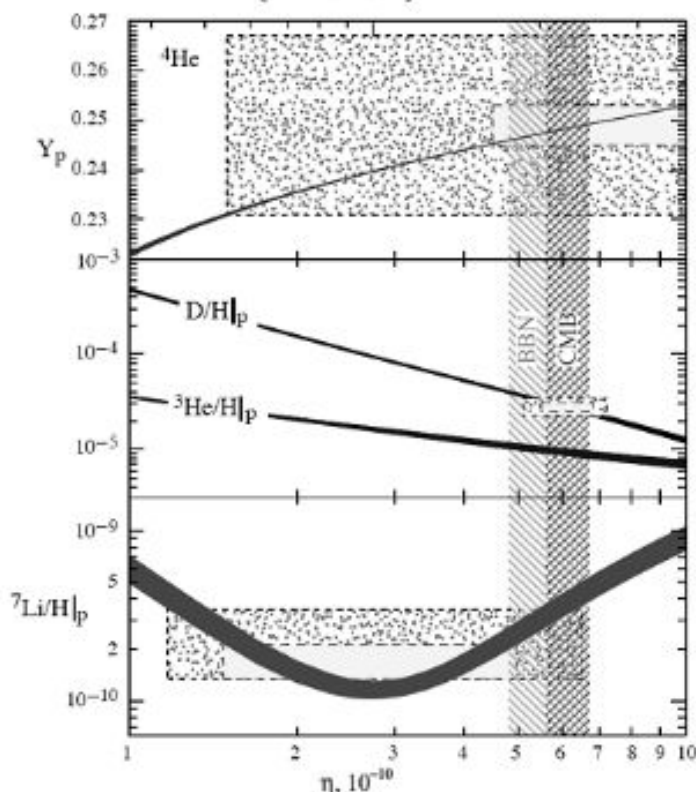


рис.1. Относительные содержания первичных химических элементов в зависимости от количества барионов. Толщины линий отражают точность предсказаний. Прямоугольниками показаны области значений в пределах статистических (внутренний) и систематических (внешний) ошибок, полученные из наблюдений. Вертикальные 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 тяжелых 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 увеличивает Y на величину ≈ 0.013 . [1] Это дает ограничение на

количество поколений нейтрино - не более 4. Другое ограничение на количество поколений связано с шириной распада Z^0 бозона - если и существует 4е поколение нейтрино в зеркальном мире, то его масса должна быть больше половины массы “зеркального” Z^0 бозона.

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.

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

$$k_\varepsilon(T \sim 1 \text{ MeV}) = 1 + \frac{7}{8(2 + N_\nu)}$$

,где N_ν - число сортов нейтрино, тогда для 4-х поколений получаем:

$$k_\varepsilon(T \approx 1 \text{ MeV}) = 6.25$$

$$\left(\frac{n}{p}\right)' = \left(\frac{n}{p}\right)^{(k/k')^{\frac{1}{6}}}$$

$$(n/p)' \approx 0.15$$


$$Y' \approx 0.261$$

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-1} дается формулой: [1]


$$N_b = N_{b-1} \cdot \frac{8 \cdot N_g + 4 \cdot N_d}{22 \cdot N_g + 13 \cdot N_d},$$
 где N_g - число поколений, N_d - число скалярных дуплетов

Для 3х поколений $N_b/N_{b-1} = 28/79$, для 4х - $36/101$ 

Как видно, при увеличении числа поколений до 4х данное соотношение почти не меняется, 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 скрытой массы 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] С.Вайнберг, “Космология”
- [2] И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, "О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц.”
- [3] Хлопов М. Ю., “Основы космомикрофизики”
- [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] Lee T. D., Yang C. N. Phys. Rev. 104 254 (1956)
- [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.

