

**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 [8], и впоследствии было подтверждено экспериментально.

Так, например, при  $\beta$ -распаде рождаются только лево-поляризованные нейтрино, при это  $P$ -преобразование дает нейтринное состояние, которое не участвует в слабых взаимодействиях. В  $\beta$ -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  $^4\text{He}$  к количеству всех ядер, образовавшихся к концу первичного (дозвёздного) нуклеосинтеза (см. рис. 1). Эти данные ограничивают количество любой релятивистской материи (в т. ч. теневого) 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:  $23,1\% < Y < 26,7\%$ .

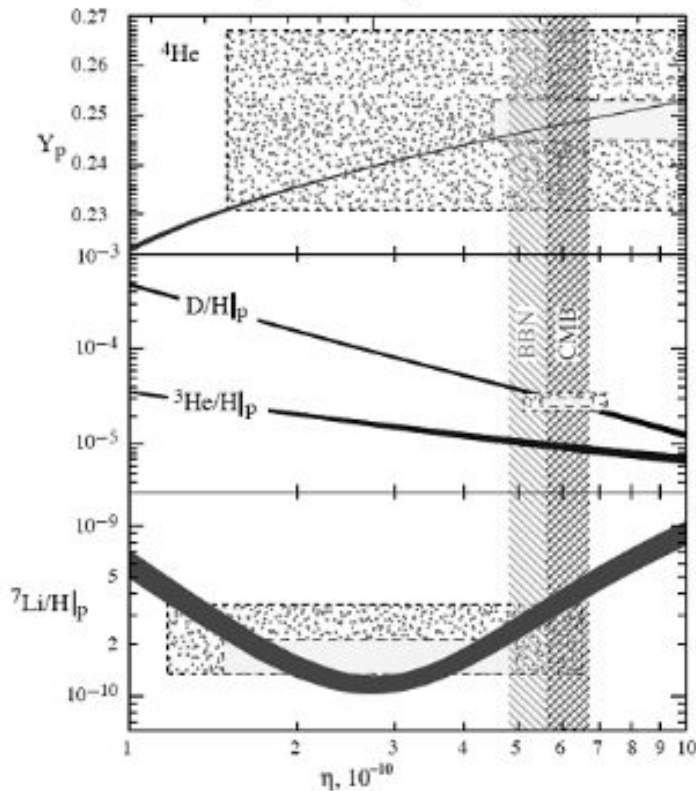


рис.1. Относительные содержания первичных химических элементов в зависимости от количества барионов. Толщины линий отражают точность предсказаний. Прямоугольниками показаны области значений в пределах статистических (внутренний) и систематических (внешний) ошибок, полученные из наблюдений. Вертикальные полосы показывают области значений  $\eta$ , 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  $\approx 0.013$ . [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.

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

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

,где  $N_\nu$  - 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](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.

