

Национальный Исследовательский Ядерный Университет

Московский Инженерно-Физический Институт

Кафедра №40

«Физика элементарных частиц»

Реферат по космомикрофизике на тему:

«Зеркальный мир с  $m_n < m_p - m_e$ »

Выполнил

студент группы Т1-40М

Климков К.С.

Преподаватель:

Хлопов М.Ю.

Москва 2013

Содержание реферата:

• Введение.....	3
• Модель зеркального мира.....	4
• Модель зеркального мира $m_n < m_p - m_e$ .....	4
• Заключение.....	6
• Используемая литература.....	6

- Введение

Что представляют собой зеркальные частицы и состоящее из них зеркальное вещество? Зеркальные частицы обладают своими (зеркальными) сильным, слабым и электромагнитным взаимодействиями, так что зеркальные нуклоны могут связываться в зеркальные ядра, которые, в свою очередь, могут соединяться зеркальным электромагнитным взаимодействием в зеркальные атомы. Тем самым возможно существование зеркального вещества, столь же стабильного, как и обычное. Практически только гравитационное взаимодействие является общим для зеркальных и обычных частиц.

В 1956 году в статье Ли Цзундао и Янга Чжэньнина было поставлено под сомнение несохранение четности в слабом взаимодействии[1]. По этой причине, Лев Ландау и многие другие выдвигали теории комбинированной четности (CP-симметрия), в которой гипотетические зеркальные частицы - это античастицы. Но в связи с нарушением CP-симметрии, античастицы не могли быть зеркальными частицами, потому что простая смена знака электрических зарядов частиц на противоположные не означала замены их поведения на зеркально симметричное. В 1966 году была выдвинута гипотеза о том, что существуют специальные зеркальные частицы и любому процессу с нашими частицами отвечает CP сопряжённый процесс с зеркальными частицами[2].

Можно предположить модель зеркального мира, в котором будет выполняться условие  $m_n < m_p - m_e$ ,

- Модель зеркального мира  $m_n < m_p - m_e$

В зеркальном мире, как и в обычном мире, будут 3 поколения зеркальных лептонов и антилептонов: заряженные лептоны (мюоны и тау-лептоны) нестабильны и распадаются на электроны и незаряженные нейтрино; 3 поколения зеркальных кварков и антикварков, которые не будут наблюдаться в свободном состоянии и из которых состоят адроны; зеркальные бозоны (фотон, 8 глюонов,  $Z^0$ ,  $W^\pm$  и бозон Хиггса).

После инфляции должны доминировать обычные частицы, а примесь зеркальных частиц должна быть экспоненциально мала. И наоборот, доминантность зеркальных инфлатонов приводит к незначительной плотности обычных частиц после инфляции[3]. Механизм инфляции выходит за рамки данной модели, но можно сделать некоторые предположения. Инфляция протекает независимо в обычном и зеркальном мирах, т.е. имеется два инфлатонных поля. При этом О-инфлатон распадается на обычные, а М-инфлатон — на зеркальные частицы. Одно из следствий такого сценария — возможность образования доменных структур обычного и зеркального вещества[4].

Мы знаем экспериментальные значения масс нейтрона, протона и электрона, которые составляют соответственно:  $m_n = 939,272$  МэВ,  $m_p = 938,272$  МэВ,  $m_e = 0,511$  МэВ. При условии  $m_n < m_p - m_e$ , разность масс протона и нейтрона  $\Delta m$  должна быть больше массы электрона:  $\Delta m > m_e$ . Так как масса протона больше суммы масс нейтрона и электрона, это определяет возможность его спонтанного распада. Протон является нестабильным в свободном состоянии, нейтрон стабильной частицей:  $p \rightarrow n + e + \bar{\nu}_e$ . Время распада протона определяется  $\Delta m$ [5]. Амплитуда распада для протона может быть записана в виде:

$$M = \frac{G}{\sqrt{2}} \cos \theta \bar{u}_p \gamma_\alpha (1 + \alpha \gamma_5) u_n \bar{u}_e \gamma^\alpha (1 + \gamma_5) u_\nu \quad (1)$$

Тогда спектр электронов при распаде нейтрона будет:

$$d\Gamma = \frac{G^2 (1 + 3\alpha^2)}{2\pi^3} \cos^2 \theta (E_e^2 - m_e^2)^{1/2} (\Delta - E_e)^2 E_e dE_e \quad (2)$$

Интегрирование предыдущего выражения дает ширину распада протона:

$$\Gamma = \frac{G^2 \Delta^5}{60\pi^3} \cos^2 \theta (1 + 3\alpha^2) 0,47 \quad (3)$$

где фактор 0.47 возникает за счет того, что массу электрона 0.51 МэВ нельзя положить равной нулю при общей выделяющейся энергии  $\Delta m$ . Если принять разность масс 1.29 МэВ как при бета-распаде

нейтрона в нашем мире, то если умножить вероятность распада на константу Планка, получим время распада протона:

$$\tau \approx \hbar/\Gamma = 835 \text{ секунд.} \quad (4)$$

В данной задаче предполагаем, что должен присутствовать единый механизм генерации обычных и зеркальных барионов, что должна быть строгая симметрия между распределениями обычных и зеркальных концентраций и т.д. При высокой температуре электроны, позитроны, нейтрино и антинейтрино горячей плазмы вызывают быстрое превращение нейтронов в протоны и обратно по реакциям:



Поэтому при высокой температуре, независимо от начального состояния, устанавливается термодинамическое равновесие:

$$\frac{n_n}{n_p} = e^{-\frac{\Delta m \cdot c^2}{T}} \quad (6)$$

При понижении температуры равновесная концентрация падает и уменьшается скорость процессов (1). Эти процессы распадаются на две стадии: в первой стадии  $n = n_{\text{равн}}$ , к концу этой стадии происходит закалка, т.е. реакции уже слишком медленные для поддержания равновесия; во второй стадии оставшиеся протоны будут медленно распадаться.

Температура заделки должна быть пропорциональна числу сортов частиц, и если добавить к фотону, электрон-позитронной паре и 3 сорта правых нейтрино их зеркальные партнеры, то температура заделки определяется соотношением:

$$T = \frac{k_{\varepsilon}^{1/6} G^{1/6}}{G_F^{2/3}}, \quad (8)$$

где  $G$  – гравитационная константа,  $G_F$  – константа Ферми,  $k_{\varepsilon}^{1/6}$  – коэффициент, учитывающий число сортов частиц. Константа Ферми для распад нейтрона на протон, электрон и антинейтрино равна  $G_F \sim 10^{-5} m_p^{-2}$ . Коэффициент  $k$  найдем по формуле:

$$\kappa \equiv 1 + \sum_{\substack{i=\text{бозоны} \\ i \neq \gamma}} \frac{g_i}{2} \left(\frac{T_i}{T}\right)^4 + \frac{7}{8} \sum_{i=\text{фермионы}} \frac{g_i}{2} \left(\frac{T_i}{T}\right)^4 \quad (9)$$

Температура закалки приблизительно равна 1 МэВ.

Из первоначального условия поставленной задачи  $m_n < m_p - m_e$  найдем следующие соотношения:

$m_e < m_p - m_n = \Delta m$  или  $-m_e < m_n - m_p < 0$ . Подставляя эти значения в формулу (6), получим ограничения на значения отношений концентраций нейтронов и протонов:

$$e^{-\frac{m_e}{T}} < \frac{n_n}{n_p} < e^{\frac{m_e}{T}} \text{ или } 1 < \frac{n_n}{n_p} < 1.6669 \quad (10)$$

Можно сделать вывод, что нейтронов будет больше, чем протонов.

Как мы определили, протоны не смогут полностью перейти в нейтроны. Лишь 10 % протонов распадется в нейтроны по экспоненциальному закону распада за время  $t = 100$  сек, когда начинается соединение нейтрона и протона в дейтрон:



Образование дейтерия будет проходить только при достаточно низких температурах, так как если температура будет выше определённого предела, то образование дейтерия станет энергетически невыгодным. Образование дейтерия начинается тогда, когда равновесная концентрация дейтерия сравнивается с концентрациями протонов и нейтронов. Тогда уравнение Саха запишется в таком виде [6]:

$$X_D(T_{NS}) \sim \eta_B \left( \frac{2,5 T_{NS}}{m_p} \right)^{3/2} e^{\Delta_D/T_{NS}} \sim 1 \quad (12)$$

Здесь  $T_{NS}$  – температура нуклеосинтеза.  $\Delta_D = 2.23$  МэВ, для дейтерия  $A = 2$ ,  $Z = 1$ . При  $\eta_B = 6.1 \cdot 10^{-10}$  находим, что  $T_{NS} = 65$  КэВ.

Сечение образования дейтерия можно оценить как геометрическое:

$$(\sigma v)_{p(n,\gamma)D} \sim \frac{\alpha}{m_\pi^2} \simeq \frac{1}{137} \frac{1}{(200 \text{ МэВ})^2} = 2 \cdot 10^{-18} \frac{\text{см}^3}{\text{с}}. \quad (13)$$

Окончательная оценка:

$$(\sigma v)_{p(n,\gamma)D} \approx 6 \cdot 10^{-20} \frac{\text{см}^3}{\text{с}}. \quad (14)$$

Скорость выгорания протонов определяется как частота столкновений протонов с нейтронами, в результате которых образовался дейтерий. Скорость реакции определяется по формуле:

$$\Gamma_{p(n,\gamma)D} = n_p \cdot (\sigma v)_{p(n,\gamma)D} = \eta_b \cdot 2 \frac{\zeta(3)}{\pi^2} T^3 \cdot (\sigma v)_{p(n,\gamma)D} = 0,31 \text{ с}^{-1}$$

для  $\eta_b = 6,1 \cdot 10^{-10}$ ,  $T = T_{NS} = 65 \text{ КэВ}$ ,

(15)

где была выражена концентрация нейтронов на момент нуклеосинтеза через барион-фотонное отношение  $\eta_b$  и плотности фотонов при температуре  $T_{NS} = 65 \text{ КэВ}$ . Так как эта скорость значительно превышает темп расширения Вселенной, протоны горят и все стремятся перейти в дейтерий.

Проверим стабильность дейтерия. Ядерное взаимодействие, связывающее протон и нейтрон, имеет энергию связи  $\Delta D = 2.23 \text{ МэВ}$ . Дейтрон может длительно существовать, потому что протон не будет распадаться на нейтрон, электрон и антинейтрино. При распаде протона энергия движения образовавшихся частиц  $E$  возникает за счет  $\Delta m$ , и так как помимо образования нейтрона надо еще затратить энергию на образование массы вылетающего электрона [7]:

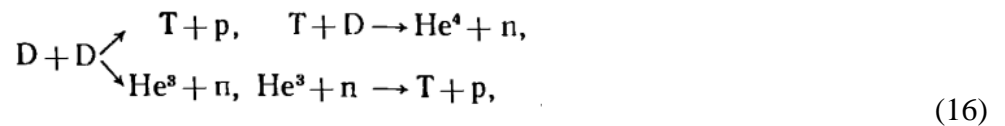
$$E = \Delta m - m_e = 1.29 \text{ МэВ} - 0.5 \text{ МэВ} = 0.8 \text{ МэВ}$$

Как уже было указано, энергия связи дейтерия:

$$\varepsilon_{\text{св}} = 2.2 \text{ МэВ} > E = 0.8 \text{ МэВ}$$

Поэтому распад дейтрона энергетически невыгоден, и он может длительно существовать.

Далее следует цепочка термоядерных реакций [8]:



В результате образуется  $\text{He}^4$ . Грубо можно сказать, что все протоны, выжившие в результате первой стадии после заковки, переходят в ядра  $\text{He}^4$ . Весовая концентрация гелия в первом приближении равна удвоенному весу протонов, оставшихся после заковки:

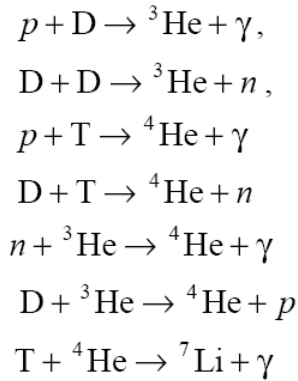
$$Y = \frac{2n_p}{n_n + n_p} \text{ или } Y = 2 \frac{n_p}{n_n} / (1 + \frac{n_p}{n_n}) \quad (17)$$

и зная значения (10) найдем:

$$0.7499 < Y < 1 \quad (18)$$

Это по существу максимальное количество гелия, которое может получиться.

Далее будет следовать цепочка реакций с образованием более тяжелых ядер.



Найдем долю нейтронов:  $X = 1 - Y, 0 < X < 0.25$ . Концентрация нейтронов на момент нуклеосинтеза определяется соотношением:

$$n_n = \eta_B \frac{25(3)}{\pi^2} T_{NS}^3 = 0.24 \eta_B T_{NS}^3 = 4.8 * 10^{18} \text{ см}^{-3} \quad (19)$$

Концентрацию свободных нейтронов найдем по формуле:

$$n_n(t) = n_n(0) e^{-n_p \langle \sigma v \rangle_{p(n,\gamma)} D^t} = 55 \text{ см}^{-3} \quad (20)$$

Доля нейтронов в свободном состоянии:

$$\frac{n_n(t_{NS})}{n_n(0)} = 1.14 * 10^{-18} \quad (21)$$

Что касается вопроса скрытой массы, при рассмотрении зеркального мира мы получаем темную материю, состоящую из гелия-4 и свободных нейтронов с указанными выше массовыми долями.



- Заключение

В рамках поставленного предположения, что в зеркальном мире выполняется соотношение  $m_n < m_p - m_e$ . В таком зеркальном мире нейтронов будет больше, т.к. отношение концентраций нейтронной и протонов лежит в интервале:  $1 < \frac{n_n}{n_p} < 1.6669$ . Также такой мир будет состоять в основном из  $\text{He}^4$ , потому что весовая концентрация гелия в первом приближении лежит в диапазоне  $0.7499 < Y < 1$ , концентрация нейтронов  $0 < X < 0.25$ .

- Список использованной литературы.

1. Ц. Ли, Ч. Янг, «Вопрос о сохранении равенства в слабых взаимодействиях», *Physical Review*, 104, 254–258, 1956
2. И. Кобзарев, Л. Окунь, А. Померанчук «О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц», *Ядерная физика*, 3, 837 (1966)
3. М. Ю. Хлопов «Основы космофизики». – М.: УРСС, 2004;
4. В. К. Дубрович, М. Ю. Хлопов. О доменной структуре теневой материи. *Астрон. журн.* 66 232 (1989)
5. Л.Б. Окунь, «Лептоны и кварки», Москва «Наука», 1990
6. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков, «Введение в теорию ранней Вселенной», 2006
7. И.Д. Новиков, «Как взорвалась Вселенная», 2008
8. Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков «Строение и эволюция Вселенной»
9. Л.Б. Окунь «Зеркальные частицы и зеркальная материя. 50 лет гипотез и поисков». – Успехи физических наук, 2007 г.
10. Я.Б.Зельдович, М.Ю.Хлопов «Возможен ли зеркальный мир?» 1988 год  
[http://www.ai-library.ru/ainfo/ailenta\\_1053.html](http://www.ai-library.ru/ainfo/ailenta_1053.html)
11. В. Topper, « Big Bang Nucleosynthesis»
12. J. Bernstein, «Kinetic theory in the expanding universe»