Национальный Исследовательский Ядерный Университет

Московский Инженерно-Физический Институт

Кафедра №40

«Физика элементарных частиц»

Реферат по космомикрофизике на тему:

«Зеркальный мир с mn<mp-me»

Выполнил

студент группы Т9-40

Стуков Д.А.

 Преподаватель:

Хлопов М.Ю.

Москва 2015

**Введение.**

Астрономические наблюдения дают серьезные основания полагать что кроме барионной материи во Вселенной существует также так называемая темная материя или скрытая масса. Самый простейший способ объяснить темную материю – ввести так называемый “скрытый сектор”, то есть расширить существующую стандартную модель дополнительным набором частиц и соответствующих калибровочных полей.

Терминами «зеркальные частицы», «зеркальная материя» и «зеркальный мир» в настоящее время обозначают гипотетический скрытый сектор частиц и взаимодействий, которые компенсируют зеркальную асимметрию слабых взаимодействия обычных частиц. Зеркальная материя рассматривается как возможная составляющая невидимой темной материи. Зеркальные частицы обладают своими сильным, слабым и электромагнитны взаимодействиями. Гравитационное же взаимодействие является общими для обычных и зеркальных частиц.

**Модель зеркального мира** $ m\_{e}<m\_{p}-m\_{n}$

Частицы в зеркальном мире такого типа:

* 6 зеркальных лептонов – е, μ, τ, $ν\_{e},ν\_{μ},ν\_{τ}.$
* 6 зеркальных антилептонов.
* 6 зеркальных кварков – u, d, s, c, t, b.
* 6 зеркальных антикварков.
* Зеркальные переносчики сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия: фотон, $W^{\pm }$ бозоны, Z бозон, 8 глюонов.
* Зеркальны бозон Хиггса.

В реальном мире из многочисленных экспериментов известны массы нейтрона, протона и электрона: mn = 939,272 МэВ, mp = 938,272 МэВ, me = 0,511 МэВ. Нейтрон является нестабильной частицей и распадается путем спонтанного бета-распада n→pev.

В случае же зеркального мира, где $ m\_{e}<m\_{p}-m\_{n}$, за счет того что масса протона больше массы нейтрона и в случае если разность Δm=$ m\_{p}-m\_{n}$ положительна, уже сам протон будет нестабильной частицей и будет распадаться на нейтрон, электрон и антинейтрино: p →nev.

**Инфляция**

В рамках модели хаотической инфляции начальные амплитуды обычных и зеркальных инфлатонов могут быть различными, что приводит к образованию доменной структуры в распределении обычного и зеркального вещества.

В областях, где амплитуда обычных инфлатонов выше, после инфляции должны доминировать обычные частицы, а примесь зеркальных частиц – мала. И наоборот, доминантность зеркальных инфлатонов приводит к малой плотности обычных частиц после инфляции.

Если же инфлатон не имеет определенной зеркальности и после инфляции рождается равное количество зеркальных и обычных часьи, то доменная структура может сформироваться из-за случайной локальной асимметрии амплитуд обычного и зеркального полей в различные периоды после общей инфляции.

**Бариосинтез**

Для зеркальных партнеров CP-нарушающие эффекты равны по величине, но имеют обратный знак по сравнению с обычными частицами. Следствием этого является обратный знак CP-нарушающих эффектов в бариосинтезе в зеркальном мире, например генерация барионного избытка обычных частиц соответствует генерации антибарионного избытка для зеркальных частиц.

Если доменной структуры нет, обычные и зеркальные барионы рождаются во Вселенной с равными локальными плотностями, а при наличии доменной структуры масштабы доменов и средние плотности обычных и зеркальных барионов в доменах должны быть равны.

На RD-стадии существование областей с сильной доминантностью зеркальных барионов над обычными барионами (или наоборот) не приводит к какому-либо сильному динамическому эффекту. В таких областях астрономические объекты могут формироваться на любом масштабе, вплоть до масштабов современного горизонта.

**Первичный нуклеосинтез.**

В обычной теории ранней Вселенной начальным этапом первичного нуклеосинтеза является закалка нейтронов. В случае же предложенной выше модели будет происходить закалка протонов. Протоны будут образовываться и исчезать в результате электрослабых процессов вида:



Характерным параметром для таких процессов является разность масс протона и нейтрона Δm (В качестве примера примем эту величину равной 1.3 МэВ как в нашем мире) и масса электрона me=0.5 МэВ. Также для простоты предположим, что мы имеем дело с достаточно большими температурами.

T>Δm,$m\_{e}$

Протон-нейтронное отношение будет определяться по формуле:

$$\frac{n\_{p}}{n\_{n}}=e^{-\frac{Δm}{T\_{p}}}$$

$T\_{p}$ – температура закалки протонов (аналогия температуры закалки нейтронов в зеркальном мире). Её можно оценить по формуле:

$$T\_{p}=\frac{k^{\frac{1}{6}}G^{\frac{1}{6}}}{G\_{F}}$$

Где k – коэффициен учитывающий число сортов частиц, G – гравитационная константа и GF – константа Ферми. Константа Ферми для распада протона на нейтрон, электрон и антинейтрино равна GF ~ 10-5mp-2. Коэффициент k определяется:

$$k=1+\sum\_{i бозоны}^{}\frac{g\_{s}}{2}\left(\genfrac{}{}{0pt}{}{T\_{i}}{T}\right)^{4}+\frac{7}{8}\sum\_{i фермионы}^{}\frac{g\_{s}}{2}\left(\genfrac{}{}{0pt}{}{T\_{i}}{T}\right)^{4}$$

Приблизительное значение для температуры закалки Т ≈ 1 МэВ.

Можно также получить оценку нейтрон-протонного отношения:

$$ m\_{e}<m\_{p}-m\_{n}<0 $$

$$0<\frac{m\_{n}}{m\_{p}}<1.6669$$

Цепочки термоядерных реакций в ранней Вселенной начинаются с образования дейтерия в реакциии:

$$p+n\rightarrow D+γ$$

Нуклеосинтез начинается тогда, когда становится термодинамически выгодным образование дейтерия. Запишем уравнение Саха:

$$X\_{A}=X\_{p}^{Z}X\_{n}^{A-Z}2^{-A}g\_{A}A^{\frac{5}{2}}η\_{B}^{A-1}\left(\frac{2.5T}{m\_{p}}\right)^{\frac{3}{2}\left(A-1\right)}e^{\frac{ΔA}{T}}$$

В случае дейтерия, $X\_{D}$ должно быть величиной порядка единицы. Положим $X\_{p},X\_{n}\~1$, и пренебрегая величинами порядка единицы получим:

$$X\_{D}(T\_{NS})\~η\_{B}\left(\frac{2.5T\_{NS}}{m\_{p}}\right)^{3/2}e^{\frac{Δ\_{D}}{T\_{NS}}}\~1$$

$T\_{NS}-температура нуклеосинтеза, Δ\_{D}=2.22 МэВ$ ,A=2, Z=1 для дейтерия. При $η\_{B}$=$6.1∙10^{-10}$ $получаем, что T\_{NS}≈65 КэВ$.

Скорость реакции может быть оценена по формуле:

Г$=η\_{B}∙2\frac{ζ(3)}{π^{2}}T^{3}(σv)$=0.31$ с^{-1}$

Где (σv)≈$6∙10^{-20}$см^3/c – сечение реакции образования дейтерия. Скорость образования дейтерия значительно выше скорости расширения Вселенной поэтому протоны при температуре $T\_{NS} $будут переходить в дейтерий.

Энергия связи дейтрона равна 2.23 МэВ, в то время как энергия движения образовавшихся частиц E при распаде протона равна $\~$ 0.8 МэВ. Отсюда следует, что образовавшийся дейтерий может длительно существовать.

Затем, образовавшиеся в результате горения протонов ядра дейтерия служат материалом для образования трития и гелия-3 и далее гелия-4.

Можно провести оценку массовой концентрации гелия-4 по формуле:

$$Y=\frac{2n\_{p}}{n\_{n}+n\_{p}}$$

$$Y=2\frac{ n\_{p}}{ n\_{n}}/(1+\frac{ n\_{p}}{ n\_{n}})$$

Используя полученные ранее пределы на нейтрон протонное соотношение получим:

0.7499<Y<1

(в «реальном» мире 0.26<Y<0.32)

Таким образом, зеркальный мир в случае $ m\_{e}<m\_{p}-m\_{n}$ будет состоять в основном из $He^{4}$.

**Скрытая масса**

Возможны 2 варианта:

1. Сценарий горячей скрытой массы – примесь как зеркального вещества, так и горячей скрытой массы (массивные нейтрино) в карликовых галактиках из обычного вещества должны быть малы и таким образом они не содержат скрытой массы.
2. Сценарий холодной скрытой массы – предсказываются мелкомасштабные неоднородности скрытой массы, что может привести как к полному отсутствию скрытой массы в карликовых галактиках так и к сравнимому количеству обычного и зеркального вещества в таких галактиках.

На масштабе $M<10^{6}M\_{ʘ}$ имеет место практически полное разделение обычного и зеркального вещества, что в свою очередь приводит к образованию звезд из звездных систем построенных из вещества определенной зеркальности (в случае данной модели это $He^{4}$).

Использованная литература:

1. Д.С Горбунов, В.А. Рубаков. «Введение в теорию ранней вселенной. Теория горячего Большого взрыва» 2006
2. Л.Б. Окунь, «Лептоны и кварки», 1990
3. М. Ю. Хлопов «Основы космомикрофизики».
4. R. Foot, Mirror dark matter: Cosmology, galaxy structure and direct detection, 2014.
5. Л.Б. Окунь «Зеркальные частицы и зеркальная материя. 50 лет гипотез и поисков». – Успехи физических наук, 2007 г.