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.

В 1930'е годы наблюдения за скоплениями галактик показали, что разброс (дисперсия) по скоростям галактик необычайно высок.[6][7]

Дальнейшее свидетельство существования темной материи следует из измерений оптических и радио- эмиссий в спиральных галактиках [8][9], было обнаружено, что кривые вращения в таких галактиках были в достаточной степени плоскими вблизи наблюдаемого края галактики, что сильно отличается от предсказаний классической гравитационной теории Ньютона применительно к барионной материи.

Помимо этого, темная материя также необходима для объяснения наблюдаемых крупномасштабных структур во вселенной и анизотропии реликтового излучения. В целом эти и другие экспериментальные результаты могут быть объяснены космологической моделью Фридмана-Робертсона-Уолкера или моделью ΛCDM. Однако модель ΛCDM не объясняет причин инфляции, свойства темной материи и страдает от большого количества известных проблем космологических констант [10] и это делает её не более чем эмпирической моделью, «подгонкой» под экспериментальные данные.[11]

Самый простейший способ объяснить темную материю – ввести так называемый “скрытый сектор”, то есть расширить существующую стандартную модель дополнительным набором частиц (F1, F2,…) и соответствующих калибровочных полей (G1, G2,…) таким образом, что:

$L=L\_{SM}\left(e,u,d,γ,W,Z,….\right)+L\_{dark}\left(F1,F2,G1,G2,…\right)+L\_{mix}.$ [4]

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.[5] 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.
* Зеркальный 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.

Массы зеркальных лептонов и антилептонов в этой модели аналогичны массам в реальном мире. Исходя из поставленной задачи $m\_{e}<m\_{p}-m\_{n}$, то есть масса протона больше массы нейтрона, что предполагает отличие масс зеркальных кварков и антикварков (в частности u и d) от их реальных аналогов.

В случае 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.[3]

**Бариосинтез и генерация барионной асимметрии.**

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.

Эволюция зеркального и обычного вещества симметричны, поэтому избыток барионов обычного вещества аналогичен избытку барионов зеркального вещества.

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.[3]

**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:

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

$$1<\frac{m\_{n}}{m\_{p}}<1.6669$$

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[6]:

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

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, как показано в [3]:

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 $He^{4}$).

Таким образом темной материей в рамках этой модели может быть зеркальный газ или звезды и звездные системы из $He^{4}$.

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.
6. F. Zwicky, Helv. Phys. Acta 6, 110 (1933).
7. S. Smith, Astrophys. J. 83, 23 (1936).
8. D.H. Rogstad and G. S. Shostak, Astrophys. J. 176, 315 (1972).
9. M.S. Roberts and A. H. Rots, A & A. 483 (1973).
10. Weinberg, S., 1989, Rev. Mod. Phys. 61, 1.
11. Thomas P. Sotiriou, Valerio Faraoni, F(R) Theories Of Gravity, 2008.