Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ   
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Кафедра № 40 «Физика элементарных частиц»

**Реферат на тему: «Теневой мир с одним поколением фермионов»**

Выполнил:

Студент: Радомский Р.В.  
Группа: М16-115

Москва 2016 г.

Содержание

[Введение 2](#_Toc472551075)

[1. Рассматриваемая модель 2](#_Toc472551076)

[2. Инфляция и бариосинтез 2](#_Toc472551077)

[3. Первичный нуклеосинтез 4](#_Toc472551078)

[4. Теневая материя в качестве темной материи 5](#_Toc472551079)

[Заключение 6](#_Toc472551080)

[Список литературы 7](#_Toc472551081)

Введение

После открытия эффекта нарушения P-четности Ли и Янг предположили [1], что симметрия между левыми и правыми частицамиможет быть восстановлена, если у каждой частицы будет существовать зеркальный партнер. Зеркальный мир, состоящий из этих частиц, компенсировал бы нарушение P-четности в нашем мире, что влекло бы за собой сохранение P-четности во вселенной, состоящей из наблюдаемого и зеркального мира. Далее ученые предположили, что этими частицами могут являться античастицы, но после открытия CP-нарушения эта теория была опровергнута. Позднее Кобзарев, Померанчук и Окунь показали [2], что обычный и зеркальный мир могут взаимодействовать в основном посредством гравитационного или слабого взаимодействия. Но после открытия Z-бозона слабое взаимодействие между мирами было исключено.

Считается, что зеркальная материя является копией обычной материи (с тем же набором частиц и их массами). Однако, если состав зеркального мира отличается от обычного, то такой мир называется теневым.

Целью данной работы является рассмотрение модели теневого мира с одним поколением фермионов.

1. Рассматриваемая модель

В данной модели будет рассмотрен теневой мир с одним поколением фермионов (помимо обычного мира с его тремя поколениями фермионов). Будем считать, что поколение фермионов в зеркальном мире аналогично первому поколению фермионам в реальной, то есть их массы и их соотношения равны. Также будем считать, что переносчики взаимодействий (глюоны, фотоны, W,Z‑бозоны) в зеркальном мире аналогичным переносчикам взаимодействий в обычном мире.

1. Инфляция и бариосинтез

В данной модели отсутствуют механизмы инфляции и бариосинтеза. Поэтому при описании космологической эволюции Вселенной все начальные условия постулируются.

В рамках модели хаотической инфляции начальные амплитуды обычных и зеркальных инфлатонов могут быть различными. Предполагается, что в областях, где амплитуда обычных инфлатонов выше, 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. Мы же будем считать, что амплитуды обычных и зеркальных инфлатонов одинаковы, поэтому развитие миров идет параллельно. В таком случае возможно образование доменной структуры из-за случайной локальной асимметрии амплитуд обычного и зеркального скалярных полей в различные периоды после общей инфляции [5].

Нарушения CP-симметрии в Стандартной Модели вводятся с помощью комплексной фазы в матрице смешивания кварков. Для этого необходимо существование как минимум трёх поколений кварков. В данной модели всего одно поколение, поэтому CP-нарушение либо отсутствует, либо вводится иным способом.

Знак барионной асимметрии является ключевым моментом в определении природы зеркального мира [3]. В нашем обычном мире барионы преобладают над антибарионами (B>0), тогда P-четность нарушена, нейтрино левые, CP-четность также нарушена, а распад -мезона показывает небольшой избыток позитронов над электронами.

Однако в зеркальном мире могут преобладать как барионы, так и антибарионы, поэтому возможна ситуация, когда B<0. В таком случае P-четность нарушена, нейтрино правые, CP-четность нарушена. Этот случай реализуется, если барионная асимметрия в двух секторах образовалась отдельно друг от друга.

Также возможна ситуация, когда в зеркальном мире B>0, но P-четность нарушена, нейтрино левые, CP-четность также нарушена. Такая ситуация могла возникнуть, если барионная асимметрия в обоих мирах возникла с помощью особого механизма, связанного с наличием взаимодействия между мирами посредством неких частиц-переносчиков.

Концентрация барионов в обоих мирах может совпадать, а может отличаться. Последний случай накладывает некоторые ограничения на теневой мир:

* После Большого взрыва два сектора были рождены с различными температурами, , где и – температура нашего и теневого мира соответственно.
* Два мира взаимодействуют очень слабо, между ними не устанавливается тепловое равновесие после нагрева. Это условие автоматически выполняется, если миры взаимодействуют только гравитационно.
* Оба сектора расширяются адиабатически.

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

1. Первичный нуклеосинтез

Число поколений фермионов дает вклад в полную космологическую плотность Вселенной, что в свою очередь влияет на соотношение нейтронов и протонов в момент первичного нуклеосинтеза, а данное соотношение влияет на концентрацию первичного гелия.

Соотношение между концентрацией нейтронов и протонов даётся формулой:

где , разность масс нейтрона и протона, – температура Вселенной.

В момент времени, когда , происходит закалка отношения числа протонов и нейтронов.

где – статистический фактор, характеризующий плотность вселенной, – гравитационная постоянная, – константа Ферми. Константа Ферми в теневом мире слегка отличается от константы Ферми в обычном мире (из‑за наличия фактора смешивания у трёх поколений кварков):  
В дальнейшем этим отличием будем пренебрегать.

Значение k определяется по формуле:

где – количество спиновых состояний, T – температура фотонной компоненты.

В этом выражении не будут учитываться бозоны, так как температура T = 1 МэВ мала для их появления.

Для обычного мира с тремя поколениями фермионов , а отношение  = 1/7, концентрация первичного гелия [4]. Для теневого мира с одним поколением фермионов , а отношение концентраций нейтронов и протонов:

Теперь можно сделать оценку доли первичного гелия:

Чтобы оценить влияние теневого мира на обычный, нужно учитывать общий фактор .

Для теневого мира = 0.8, тогда k = 6.86.

Соотношение между концентрациями протонов и нейтронов:

И предполагаемая оценка первичного гелия:

Однако верхняя граница на концентрацию первичного гелия составляет 0.25, а это меньше, чем значение, которое мы получили. Следовательно, однородная смесь обычного и зеркального вещества исключается.

1. Теневая материя в качестве темной материи

Наличие теневого мира не может объяснить существование всей темной материи, так как, если предположить, что плотность вещества в двух мирах одинакова, то

где – вклад темной материи, обычной материи или теневой материи в плотность энергии Вселенной.

Чтобы как-то обойти это несоответствие, можно увеличить плотность барионов теневого мира на

В этом случае возможно образование целых зеркальных звезд или зеркальных планет. Обнаружить такие объекты можно по эффекту микролинзирования. Однозначно сказать о типе данной темной матери затруднительно, так как она является самовзаимодействующей материей и ответ на данный вопрос зависит от того, в какой момент происходила рекомбинация в зеркальном мире. Если зеркальный мир относится к холодной темной материи, то иерархия образования структуры идет от мелкого к крупному. Если же зеркальный мир представляет собой теплую скрытую массу, то там сначала образовались галактики, потом внутри них образуются звезды, а сами галактики образуют скопления. Согласно [8] образование звезд возможно как в момент рекомбинации, так и позже, в галактическом диске.

Эволюция теневых звёзд может происходить быстрее (вплоть до 30 раз быстрее), чем эволюция звезд с такой же массой в нашем мире [9]. И таким образом частые вспышки теневых сверхновых подогревают невидимое вещество в галактиках, в результате чего оно образует сферическое гало, в отличии от обычного вещества, формирующего диск.

Так, найденные в гало по микролинзированию невидимые объекты МАСНО с массами 0.2 — 0.9 подходят на роль зеркальных звёзд, но их количество не достаточно, чтобы объяснить всю тёмную материю.

Заключение

В данной работе была рассмотрена возможность существования теневого мира с одним поколением фермионов. Оценена доля первичного гелия в теневом мире. Исходя из результатов, получено, что температура теневого мира должна быть меньше температуры обычного мира.

Была рассмотрена модель, в которой теневой мир используется как кандидат в темную материю. При одинаковых вкладах обычного и теневого мира это невозможно, однако если увеличить плотность барионов в теневом мире в несколько раз, то такое предположение становится возможным.

Список литературы

1. T. D. Lee and C. N. Yang, Phys. Rev. 104 (1956) 254
2. I. Kobzarev, L. Okun and I. Pomeranchuk, Sov. J. Nucl. Phys. 3 (1966) 837
3. Berezhiani Z., Through the looking-glass: Alice’s adventures in mirror world, arXiv:hep-ph/0508233v1
4. Хлопов М.Ю., «Основы космомикрофизики», М.:УРСС, 2004,2010.
5. Dubrovich V.K., Khlopov M. Yu., On the domain structure of shadow matter. Astron. Zh. (1989), V. 66, PP. 232-240. English translation: Sov. Astron. (1989), V.33, no.2, P.116.
6. Окунь Л.Б. «Лептоны и кварки», Изд. 4-е, М.: Издательство ЛКИ, 2008
7. Перкинс Д., «Введение в физику высоких энергий», М.: Энергоатомиздат, 1991
8. R. Foot, “Mirror dark matter: Cosmology, galaxy structure and direct detection”, Int. J. Mod. Phys. A, 29, 1430013 (2014)
9. Z. Berezhiani, P. Ciarcelluti, S. Cassisi, A. Pietrinferni, “Evolutionary and structural properties of mirror star MACHOs”, Astropart. Phys 24 (2006) 495
10. Емельянов В.М., Белоцкий К.М. Лекции по основам электрослабой модели в новой физике. – М.: МИФИ, 2007