

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

РЕФЕРАТ ПО КУРСУ "ВВЕДЕНИЕ В КОСМОМИКРОФИЗИКУ" НА
ТЕМУ:

ТЕНЕВОЙ МИР С 1 ПОКОЛЕНИЕМ ФЕРМИОНОВ

Преподаватель

М. Ю. Хлопов

Выполнил

Н. М. Левашко

Москва 2020

Содержание

Содержание	1
Введение	2
1 Рассмотрение модели	3
1.1 Описание модели	3
1.2 Инфляция и бариосинтез	3
1.3 Нуклеосинтез	4
1.4 Скрытая масса	5
Заключение	6
Список литературы	7

Введение

В 1956 году Ли и Янгом был впервые предложен термин “зеркальная частица” [1]. Они предположили, что при слабых взаимодействиях пространственная четность может не сохраняться. Поэтому для компенсации нарушения Р-четности должны существовать зеркальные частицы. Позже в статье 1966 г. Кобзарева, Окуня и Померанчука [2] была фактически предложена первая модель скрытой массы. В статье [2] было показано, что если существуют "зеркальные" частицы, восстанавливающие СР- симметрию, то они могут взаимодействовать с обычными частицами только очень слабо: по гравитационному или слабому взаимодействию. Но после открытия W и Z бозонов слабое взаимодействие между мирами было исключено.

Предполагается, что в зеркальном мире частицы имеют массу как у обычных частиц, но другой знак СР-четности. Если состав и строение зеркального мира отличаются от обычного, то мир называется тeneвым. Изучение теории о тeneвом мире представляет интерес для возможного объяснения существования темной материи.

В данной работе будет рассмотрена модель тeneвого мира с 1 поколением фермионов.

Глава 1

Рассмотрение модели

1.1 Описание модели

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.

1.2 Инфляция и бариосинтез

В нашей модели отсутствует какая-либо информация относительно механизмов инфляции и бариосинтеза, поэтому все необходимые условия для описания эволюции Вселенной мы будем вводить по мере их надобности.

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 Стандартной Модели нарушение CP-симметрии вводится с помощью комплексной фазы в матрице смешивания кварков. Необходимым условием для этого является существование трех поколений кварков. В данной модели теневого мира одно поколение, поэтому либо CP-симметрия не нарушается, либо существует механизм CP-нарушения, отличающийся от данного механизма в Стандартной Модели.

Известно, что в нашем мире барионное число $B > 0$. В нашей модели для теневого мира предполагается, что $B_s > 0$.

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.

1.3 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 следующей формулой:

$$\frac{n_n}{n_p} = e^{-\frac{\Delta m}{T}}, \quad (1.1)$$

где $\Delta m = 1.3$ МэВ разни́ца масс нейтрона и протона, T - температура Вселенной.

Данное отношение определяется температурой закалки нейтронов T^*

$$T^* \approx \frac{(kG)^{\frac{1}{6}}}{G_F^{\frac{2}{3}}}, \quad (1.2)$$

где G_F – константа Ферми, G – гравитационная постоянная, k – статистический фактор, характеризующий плотность Вселенной:

$$k = 1 + \sum_{bosons} \frac{g_s}{2} \left(\frac{T^*}{T}\right)^4 + \frac{7}{8} \sum_{fermions} \frac{g_s}{2} \left(\frac{T^*}{T}\right)^4, \quad (1.3)$$

где g_s - количество спиновых состояний, T - температура фотонной компоненты, $T = T^*$.

Так как на момент нуклеосинтеза $T \approx 1$ МэВ, то бозонный вклад в данном выражении можно не учитывать. Таким образом, для k получаем:

$$k = 1 + \frac{7}{8} \left(2 + \frac{1 * 2 * 1}{2}\right) = 3.63, \quad (1.4)$$

Значения в обычном мире для 3-х поколений фермионов $k_o = \frac{43}{8}$, $(\frac{n_n}{n_p})_o = \frac{1}{7}$ [5]. Тогда:

$$\left(\frac{n_n}{n_p}\right)_s = \exp\left(-\frac{\Delta m}{T_o} \left(\frac{k_o}{k_s}\right)^{\frac{1}{6}}\right) = \left(\frac{n_n}{n_p}\right)_o \left(\frac{k_o}{k_s}\right)^{\frac{1}{6}} \approx 0.12, \quad (1.5)$$

Большинство нейтронов переходят в ${}^4\text{He}$. Образования более тяжелых ядер не происходит. Оценим долю первичного теневого гелия:

$$(Y_p)_s = \frac{\rho_{He}}{\rho_B} = \frac{(2 * \frac{n_n}{n_p})_s}{1 + (\frac{n_n}{n_p})_s} \approx 0.21, \quad (1.6)$$

Чтобы оценить влияние теневого мира на обычный необходимо учитывать общий фактор:

$$k = k_o + k_s,$$

$$k = 1 + \frac{7}{8} * 0.9^4 \left(2 + \frac{1 * 2 * 1}{2}\right) + 0.9^4 + \frac{7}{8} * 0.9^4 \left(2 + \frac{3 * 2 * 1}{2}\right) \approx 7.75,$$

в котором отношение температур T_s/T для теневого мира считаем равным 0,9.

Отношение температур закалки в обычном мире и мире, предполагаемом в нашей модели:

$$\frac{T_o^*}{T_s^*} = \left(\frac{k_o}{k}\right)^{\frac{1}{6}} \approx 0.94,$$

Тогда нейтрон-протонное соотношение в нашей модели:

$$\left(\frac{n_n}{n_p}\right)_m = \exp\left(-\frac{\Delta m}{T_o} \left(\frac{k_o}{k}\right)^{\frac{1}{6}}\right) = \left(\frac{n_n}{n_p}\right)_o \left(\frac{k_o}{k}\right)^{1/6} \approx 0.16 \quad (1.7)$$

Доля первичного гелия в таком случае:

$$(Y_p)_s = \frac{(2 * \frac{n_n}{n_p})_m}{1 + (\frac{n_n}{n_p})_m} \approx 0.28 \quad (1.8)$$

Экспериментально полученное значение доли гелия $Y_p = 24.91.8\%$. Полученный результат для нашей модели не входит в данный предел, однако путем подбора температуры теневого мира этой проблемы можно избежать. Например, при $T_s/T = 0.7$ доля гелия уже входит в доверительный интервал.

1.4 Скрытая масса

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

$$\Omega_{DM} \approx 22\% > \Omega_{OM} \approx \Omega_{SM} \approx 4\%,$$

где Ω_{DM} , Ω_{OM} , Ω_{SM} — вклад темной материи, обычной материи или теневой материи в плотность энергии Вселенной. Чтобы как-то обойти это несоответствие, можно увеличить плотность барионов теневого мира в w раз :

$$w = \frac{\Omega_{DM}}{\Omega_{SM}},$$

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 [3] 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 [4]. И таким образом частые вспышки теневых сверхновых подогревают невидимое вещество в галактиках, в результате чего оно образует сферическое гало, в отличие от обычного вещества, формирующего диск. Так, найденные в гало по микролинзированию невидимые объекты МАСНО с массами 0.2 — 0.9 массы Солнца подходят на роль зеркальных звёзд, но их количества 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 теновом мире. Исходя из результатов, получено, что для того, чтобы обеспечить существование однородной смеси обычного и зеркального вещества? 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 теновом 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. Kobzarev, L. Okun and I. Pomeranchuk, Sov. J. Nucl. Phys. 3 (1966) 837.
3. R. Foot, “Mirror dark matter: Cosmology, galaxy structure and direct detection”, Int. J. Mod. Phys. A, 29, 1430013 (2014)
4. Z. Berezhiani, P. Ciarcelluti, S. Cassisi, A. Pietrinferni, “Evolutionary and structural properties of mirror star MACHOs”, Astropart. Phys 24 (2006) 495
5. Хлопов М.Ю., «Основы космомикрoфизики», М.:УРСС, 2004,2010.