Национальный Исследовательский Ядерный Университет

Московский инженерно-физический институт

Кафедра № 40 «физики элементарных частиц»

Реферат по теме:

«Теневой мир с одним (вторым) поколением фермионов»

Студент: Каменщиков А.А.

Группа: Т9-40

Москва, 2011 г.

Теневой мир с одним поколением фермионов.

Основными наблюдательными данными, на которые опирается космология, являются данные о реликтовом излучении, о химическом составе вещества, о крупномасштабной структуре Вселенной. Каждый из видов данных позволяет исходя из космологических представлений предсказать физические явления в соответствую­щую эпоху. Особое значение для нас имеют данные о химическом составе Вселенной, так как их удается связать с условиями в ранней Вселенной с помощью известной физики (ядер и частиц), позволяя, тем самым, ограничить возможные выходы за ее рамки.

В рамках данного реферата произведено исследование гипотезы, суть которой – предположение о том, что в современной вселенной кроме наблюдаемого нами мира, в котором присутствуют три поколения фермионов, есть ещё и теневой мир с одним поколением фермионов, который нами пока не наблюдался. Полагая, что такая гипотеза справедлива, интересно оценить космологические эффекты, в частности химический состав вселенной на разных стадиях её развития, вытекающий из такого предположения. Такая оценка поможет проверить уровень достоверности гипотезы и, возможно, скорректировать (модифицировать) её.

Для определённости будем работать в предположении, что значения масс фермионов теневого мира, а, соответственно, и их соотношения, совпадают с соответствующими массами и отношениями фермионов в «обычном» (наблюдаемом нами) мире в рамках второго поколения. Для определённости будем считать, что, как и в обычном мире, первое поколение фермионов теневого мира стабильно.

Кроме того, будем иметь в виду, что в рассматриваемой модели отсутствуют механизмы инфляции и бариосинтеза. Поэтому при анализе космологической эволюции начальные условия расширения, существование горячей стадии ранней вселенной и величина барионной асимметрии вселенной постулируются. Привлекаются дополнительные предположения о величине и знаке асимметрии в зеркальном мире. Положим также, что обычный мир находился в термодинамическом равновесии с теневым миром до T ~ 150 МэВ.

Проверим далее насколько возможна реализация данной модели во вселенной.

Космологический нуклеосинтез и следствия для случая двух сортов фермионов теневого мира.

Рассмотрим химический состав нашего (обычного) мира в условиях присутствия теневого мира с оговорёнными выше свойствами.

При температуре T ~ ЛКХД ~ 150 МэВ во Вселенной должен был произойти КХД фазовый переход: из кварк-глюонной плазмы в адроны.

Реакции



(8)

обеспечивали термодинамическое равновесие между двумя состояниями нуклона N=n, p (за счет сильного взаимодействия такое равновесие невозможно из-за большой массы пионов). Согласно термодинамике заселенность двух состояний нуклона, отличающихся по энергии на Dm = mn—mp = 1,29 МэВ, определяется отношением



(9)

Формула (9) при T = T\* дает закаленное n-p отношение. Более точные оценки дают

(13)



За промежуток времени t\* $÷$ tD примерно 10% нейтронов успевает распасться до того, как они начнут объединяться с протонами в дейтерий. Таким образом



(14)

Дальнейшая цепочка реакций переводит практически все нейтроны в гелий-4. Все реакции протекают сравнительно за короткое время. Синтез более тяжелых ядер не происходит из-за высокого кулоновского барьера и отсутствия устойчивых ядер с атомными числами 5 и 8. Практически все нейтроны и протоны распределяются между водородом и гелием-4, так что для их массовых долей получается:

(16б)

(16а)



На рис. 1 показаны предсказания относительных содержаний первичных элементов в зависимости от $η\_{B}$ в сравнении с оценками, основанными на наблюдениях, с учетом их ошибок.

Как отмечено, практически все нейтроны переходят в результате первичного нуклеосинтеза в гелий-4, так что закаленное количество нейтронов (9) предопределило количество He во Вселенной. Отношение n/p зависит от числа сортов частиц Ке\*



(18)

где *gS* – число спиновых состояний.

Оценим далее температуру теневого мира Ti для коррекции вклада фермионов теневого мира в $κ\_{ε}$ (18). Для этого воспользуемся законом сохранения энтропии для обычного и теневого мира по отдельности, а, соответственно, и для суммы энтропии теневого и обычного мира. За «нулевую» точку возьмём момент, когда температура теневого и обычного мира была одинакова и равна T ~ 150 МэВ:

(30а)

S0 = s0\*a03= S1\* a13 = S1

(30б)

S0 = Sμ + Sπ + S∑0 + Sm∑0 + Smμ

(30в)

S1 = S∑1 + Sm∑1

(30г)

s = κs\*T3

(30д)



Здесь S0 – энтропия во время КХД, S1 – энтропия современного мира, Sμ и Sπ – вклад энтропии пионов и мюонов обычного мира, Smμ – вклад энтропии мюонов теневого мира мира, S∑ - вклад энтропии всего кроме мюонов и пионов (с индексом m – для теневого мира). При современных температурах вклад мюонов и пионов в κs обычного мира прекращается, а в теневом мире пионы вообще отсутствуют (нет первого кваркового поколения) и, поэтому, пропадает только вклад мюонов. Имеют значение только π+ и π- (время жизни π0 мало), имеющие по одному спиновому состоянию. Мюоны имеют по 2 спиновых состояния, тогда, согласно 30а-д:

(31а)

(1+1+7/8\*(2+2+3))\*T0об3\*a03 = (1+7/8\*(2+3))\*T1об3\*a13 (в обычном мире)

(31б)

(1+7/8\*(1+2))\*T0m3\*a03 = (1+7/8\*(1))\*T1m3\*a13 (в теневом мире)

(31в)

T0об\*[a0 / a1]\*[(1+1+7/8\*(2+2+3)) / (1+7/8\*(2+3))]1/3=T1об

(31г)

T0m\*[a0 / a1]\*[ (1+7/8\*(1+2)) / (1+7/8\*(1))]1/3= T1m

T1m / T1об = [ (1+7/8\*(1+2)) / (1+7/8\*(1))]1/3 / [(1+1+7/8\*(2+2+3)) / (1+7/8\*(2+3))]1/3 = 1.09

(31д)

Вклады фермионов «обычного» и «теневого» мира учтены в

$κ\_{ε}\left(T\~1 MeV\right)=2+\frac{7}{8}×\left(2×\frac{2}{2}+3×2×\frac{1}{2}+1×2×\frac{1}{2}\*(\frac{T1m}{T1об})\^4\right)=7.59$

(31е)

Поскольку в рассматриваемой модели массы фермионов в теневом мире совпадают с массами фермионов в «обычном» мире, то при температуре $T\~1 MeV$ (температура закалки) вклад в $κ\_{ε}$ будут вносить электроны (позитроны), а также нейтрино (антинейтрино) всех сортов в обоих мирах (в «обычном» мире – 3 сорта, в «теневом» – 1) и, конечно, фотон обычного и теневого мира.

Важно подчеркнуть, что вклад в $κ\_{ε}$\* вносят любые частицы, включая любые неизвестные, которые даже не взаимодействуют (кроме как гравитационно) с обычными частицами.

Для удобства результаты будем нормировать на случай N =3 (точная оценка которого содержит ряд деталей, вынесенных за рамки данного изложения), наделяя все величины для N = 4 штрихом «'». Отношение (9) для T= T\*(см. (12)) представим в виде



(20)



Рис. 1. *Относительные содержания первичных химических элементов в зависимости от количества барионов. Толщины линий отражают точность предсказаний. Прямоугольниками показаны области значений в пределах статистических (внутренний) и систематических (внешний) ошибок, полученные из наблюдений. Вертикальные полосы показывают области значений* $η\_{B}$*, допустимых из анализа первичного нуклеосинтеза (BBN) и реликтового излучения (CMB). Индекс «р» означает первичный (primordial)*

Выбранному значению соответствует Yp = 25%. Из рис. 1 видно, что в допустимых пределах для $η\_{B}$ предсказываемое (для Nv = 3) Yp$≈$ (24,6$÷$24,9)%. Значение Yp оценивается с помощью (16б), заменяя (n/p)$ \rightarrow $(n/p)’. Таким образом, подставляя полученное ранее значение Ке\*=9/2 для случая 1 сортов фермионов теневого мира, имеем следующее:

$\left(\frac{n}{p}\right)’ = \left(\frac{1}{7}\right)^{\left(\frac{43}{8×7.59}\right)^{\frac{1}{6}}}=0,159$

(21)

Подставляя полученное значение $\left(\frac{n}{p}\right)’$ в 16(б), получим:

$Y\_{p}’ = \frac{2×0,159}{1+0,159}≈0.275$

(22)

Вид зависимости относительной доли гелия от числа поколений нейтрино приведен на рис. 2.



*Рис. 2. Приближенная зависимость предсказываемого обилия первичного гелия-4 от числа сортов нейтрино. Нормировано на* Y*p(*N*v = 3) = 0,25*

Возвращаясь к рассматриваемой нами модели, предусматривающей наличие одного поколения фермионов теневого мира в дополнение к трём поколениям «обычного» мира, сопоставим полученную нами оценку относительной доли гелия (22) и наблюдаемых значений величины этой с учётом её погрешности (рис. 1) и упомянутых выше следствий. Учитывая, что в нашей модели дополнительный вклад вносят 1 сорт нейтрино и фотон теневого мира, при этом термодинамическое равновесие между мирами наблюдалось только до T ~ ЛКХД ~ 150 МэВ, мы приходим к заключению о несоответствии предложенной модели наблюдаемым данным – то есть предложенная изначально модель нежизнеспособна. Это обусловлено избыточным вкладом частиц теневого мира с учётом температурного коэффициента в расчеты для величины Yp. Однако можно заметить, что при отсутствии влияния температурного коэффициента:

$κ\_{ε}\left(T\~1 MeV\right)=2+\frac{7}{8}×\left(2×\frac{2}{2}+4×2×\frac{1}{2}\right)=7,250$

(19а)

$\left(\frac{n}{p}\right)’ = \left(\frac{1}{7}\right)^{\left(\frac{43}{8×7.250}\right)^{\frac{1}{6}}}=0,157$

(19б)

$Y\_{p}’ = \frac{2×0.157}{1+0.157}≈0.271$

(19в)

выражение 19в для Yp выходит к предельно допустимой границе 0,27 (рис. 1) и перестаёт противоречить наблюдаемым данным.

Этого можно достичь, модифицируя модель следующим образом: предположим, что термодинамическое равновесие между теневым и обычным миром продолжалось вплоть до T = 10 МэВ. Тогда распад и аннигиляция пионов и мюонов разогревал оба мира одновременно и температурный коэффициент (Ti / T) равен 1. Такая модель, как отмечалось выше, не противоречит наблюдаемым данным и требует дополнительных исследований. Все остальные свойства нашей модели оставим без изменений.

Будем считать мюоны теневого мира стабильными. При этом, сравнивая энергии частиц с температурой TRD→MD $\~$ 1эВ, можно увидеть, что такая материя теневого мира неоднородна: она может иметь горячую составляющую в виде нейтрино и фотонов, а также холодную, то есть мюоны.

Положим, что концентрация барионов в теневом мире такая же, как и в обычном мире. Кварковое поколение теневого мира аналогично второму кварковому поколению обычного мира, то есть там присутствует Sd и Cd кварк. Главная их особенность состоит в том, что в теневом мире Sd кварк является стабильным кварком, а Cd распадается по каналу:

(33)

Cd → Sd + μ+d + νμd

через W бозон. Тогда в теневом мире материю будут образовывать только Sd кварки (Cd кварки распадутся по вышеуказанному каналу в силу своей массивности). Такие кварки вероятнее всего образуют связанное состояние, аналогичное Ω— гиперону(SSS), которое является единственным кандидатом в барионы теневого мира. Ядерные реакции в таком теневом мире, очевидно, отсутствуют. Материя такого мира, возможно, образует звёзды, которые затем становятся чёрными дырами. В таком случае присутствие обычного мира практически не влияет на состав теневого мира.

Механизм образования избыточных лептонов и кварков теневого мира считаем таким же, как и для обычного мира. Тогда для теневого мира подобно обычному на каждый мюон приходится по одному Sd и Cd кварку каждого цвета. С учётом распада Cd кварка каждому мюону будет соответствовать 6 Sd кварков и 2 антимюона (в обычном мире каждому электрону соответствует u и d кварки каждого цвета).

Произведём оценку масс кварков теневого мира исходя из массы теневого мира, которую следует объяснить, а также возможности распада Cd по вышеуказанному каналу. Напомним, что доля массы вселенной, приходящаяся на обычный мир – 4% (массы барионов формируют u и d кварки массами 300 МэВ/с2), а на теневой – 22%. Из таких соображений сконструируем массы кварков следующим образом:

MSd = 22/4\*300 = 1650 МэВ/с2

(34)

Массу MСd изменим так, чтобы возможность распада по мюонному каналу была обеспечена, к примеру:

(35)

MСd = 2000 МэВ/с2

В таком случае Cd кварк теневого мира по прежнему будет распадаться и все описанные ранее эффекты останутся справедливыми.

***Ограничение на массу нейтрино.***

Существующие оценки полной плотности Вселенной безотносительно типа населяющей материи, можно наложить ограничение на массу

****

(36)

Кроме того, принимая во внимание динамические характеристики нейтринной компоненты вещества, ограничение существенно усиливается. Нейтрино относится к горячему типу материи - горячей скрытой массе HDM (от английского HotDarkMatter). C ее помощью нельзя сформировать объекты во Вселенной меньше определенного размера. Анализ данных о КМС Вселенной позволяет наложить ограничение

****

(37)

фактически нивелирующее роль HDM в формировании КМС. Откуда

****

(38)

***Предполагаемые формы теневой материи.***

Попытаемся определить формы материи, которая может формироваться частицами теневого мира с вышеописанными свойствами.

Для начала, оценим возможность формирования материи в теневом мире в принципе. Для этого сопоставим время свободного пробега частицы в теневом мире с временем жизни вселенной. Воспользуемся следующими оценками:

t = 1 / (n\*v\*σ)

где n – концентрация барионов в теневом мире (в рассматриваемой модели она постулировалась равной концентрации барионов в обычном мире, то есть 1 см-3), σ – поперечное сечение частицы (r $\~ $1 / m → σ = 10-16 см2 \* (me / mμ)2 = 10-16 / 40000 = 0.25\*10-20 см2), v – скорость движения частицы, определяемая гравитационными свойствами вселенной (v = 200\*105 см/c). Время жизни вселенной 1017 с. Тогда

t = 1 / (1\*0.25\*10-20\* 200\*105) = 2\*1013 с << 1017 с

(39)

Из такой оценки вытекает, что образование материи в теневом мире теоретически возможно.

Рассуждения о форме материи, формируемой в теневом мире, можно построить на следующих тезисах:

* В теневом мире единственными стабильными кварками являются Sd кварки, формирующие единственно возможный барион: Ωdбарион (SSS).
* Объединение нуклонов (формирование сложных ядер) в таком мире невозможно, поскольку в теневом мире нет кандидатов в переносчики межнуклонного взаимодействия (аналогов π – мезонов).
* В теневом мире отсутствуют ядерные реакции.

Основываясь на таких тезисах, можно положить, что материю в таком мире будут формировать атомы, состоящие Ωdбариона в роли ядра и вращающегося вокруг него мюона. Сталкиваясь между собой и теряя энергию посредством излучения фотонов, такие атомы будут объединяться в плотные звезды. Однако, в силу отсутствия термоядерных реакций, эти звёзды не смогут существовать в равновесии и, после достижения критической массы, будут превращаться в чётные дыры. Таким образом, материю теневого мира формируют чёрные дыры и плотные звёзды, ещё не успевшие перейти в чёрные дыры.

**Заключение.**

Таким образом, рассматривая изначальную модель, предусматривающую наличие теневого мира с одним вторым поколением фермионов, находившимся в термодинамическом равновесии с обычным миром до T ~ ЛКХД ~ 150 МэВ, мы пришли к выводу, что такая модель расходится с наблюдениями (оценки химического состава вселенной) и требует изменения.

В качестве модификации модели предложено считать, что теневой мир находился в термодинамическом равновесии с обычным миром вплоть до T = 10 МэВ. Фермионы теневого мира - аналоги второго поколения «обычного» мира со стабильным мюоном, стабильным Sd кварком и нестабильным Cd кварком:

MSd = 1650 МэВ/с2

MСd = 2000 МэВ/с2

Такая модификация снимает противоречия с наблюдаемыми оценками химического состояния ранней и современной вселенной на основе явлений нуклеосинтеза, даёт объяснение скрытой массе вселенной и делает такую модель возможной и интересной для дальнейших исследований.

Кроме того, приведена оценка суммарной массы нейтрино (антинейтрино) по всем поколениям как «обычного», так и теневого мира.

Также оценены возможные формы материи теневого мира, а именно чёрные дыры и плотные звёзды, ещё не успевшие перейти в чёрные дыры.

Таким образом, нами получена модель, которая не противоречит закономерностям нуклеосинтеза и наблюдаемым экспериментальным данным, способная объяснить массу тёмной материи.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.**

1. Бронников К.А., Рубин С.Г. Лекции по гравитации и космологии. – М.: МИФИ, 2008.
2. Емельянов В.М. Стандартная модель и её расширения.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
3. Емельянов В.М., Белоцкий К.М. Лекции по основам электрослабой модели в новой физике. – М.: МИФИ, 2007.
4. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. Изд. 4-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.
5. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Рубин С.Г. Устройство нашей Вселенной. – Фрязино: Век 2, 2006.
7. Хлопов М.Ю. Основы космомикрофизики. – М.: Едиториал УРСС, 2004.