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: Т10-40

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. При этом, 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.

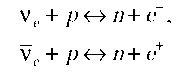
Проверим далее насколько возможна реализация данной модели во вселенной.

Космологический нуклеосинтез и его следствия для случая присутствия теневого мира с одним поколением фермионов.

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

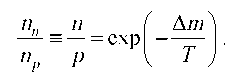
При температуре T ~ ЛКХД ~ 150 МэВ во Вселенной должен был произойти КХД фазовый переход: из кварк-глюонной плазмы в адроны.

Реакции



(8)

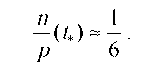
обеспечивали термодинамическое равновесие между двумя состояниями нуклона N=n, p (за счет сильного взаимодействия такое равновесие невозможно из-за большой массы пионов). Согласно термодинамике заселенность двух состояний нуклона, отличающихся по энергии на Dm = mn—mp = 1,29 МэВ, определяется отношением



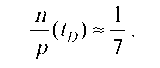
(9)

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

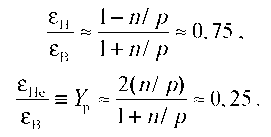


(14)

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:

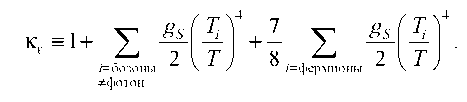
(16б)

(16а)



На рис. 1 показаны предсказания относительных содержаний первичных элементов в зависимости от 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 κе\*



(18)

где *gS* – число спиновых состояний. Это выражение учитывает вклады всех фермионов как обычного, так и теневого мира с учётом температур этих компонентов, нормированных на температуру обычного мира.

Оценим далее температуру теневого мира Ti для коррекции вклада фермионов теневого мира в (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

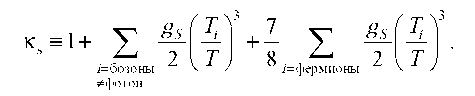
(30в)

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)

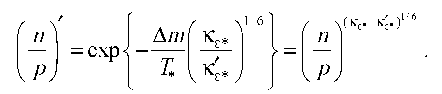
Вклады фермионов «обычного» и «теневого» мира учтены в

(31е)

Поскольку в рассматриваемой модели массы фермионов в теневом мире совпадают с массами фермионов в «обычном» мире, то при температуре (температура закалки) вклад в 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 \* 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 , допустимых из анализа первичного нуклеосинтеза (BBN) и реликтового излучения (CMB). Индекс «р» означает первичный (primordial)*

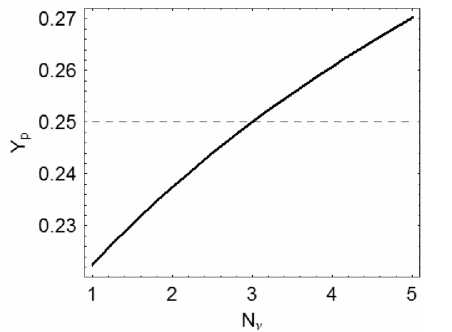
Выбранному значению соответствует Yp = 25%. Из рис. 1 видно, что в допустимых пределах для предсказываемое (для Nv = 3) Yp (24,624,9)%. Значение Yp оценивается с помощью (16б), заменяя (n/p)(n/p)’. Таким образом, подставляя полученное ранее значение Ке\*=9/2 для случая 1 сортов фермионов теневого мира, имеем следующее:

(21)

Подставляя полученное значение в 16(б), получим:

(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. Для того, чтобы понять, как можно изменить модель с целью уложить её в рамки наблюдаемых данных построим зависимость Yp’ от соотношения Ti/T:

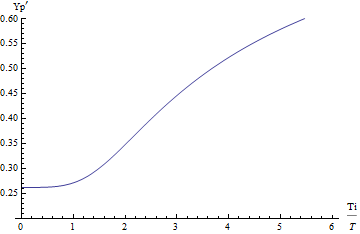


Рисунок 3. Зависимость относительной доли гелия (Yp’) от разницы температур обычного и теневого мира Ti/T.

По рисункам 1, 2 и 3 можно заметить, что Yp не противоречит экспериментальным данным (то есть, не выходит за пределы 0,27) только в том случае, если 1. То есть, тогда, когда температура теневого мира не выше температуры обычного мира. Предельно возможный случай (1) даёт такие следствия:

(19а)

(19б)

(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.

Рассмотрим, также, один из предельных случаев, предполагая, что термодинамическое равновесие отсутствовало уже после инфляции. Тогда, исходя из закона сохранения энтропий, для теневого и обычного мира имеем:

St0 + SW+,W-,Z0 + Sb0 + Sc0 + Ss0 + Sτ0 + Sd0 + Su0 + Sμ0 + S∑0 = S∑1 (для обычного мира)

(23)

(24)

(для теневого мира)

В этих выражениях S0 – вклады энтропий соответствующих компонент (помеченных индексами) для теневого и обычного мира в начальный момент, S1 – аналогичные вклады в конечный момент. Таким образом, имеем:

(25)

(26)

Первое выражение для обычного мира, второе (где параметры помечены тильдой) – для теневого мира. Параметр - вклад в энтропию тех компонентов, которые продолжают вносить его и в конечный момент времени. Первое слагаемое в обоих выражениях – вклад всех кварков с антикварками, имеющими по 3 цвета и 2 спиновых состояния, второе слагаемое в 25 – вклад W и Z бозонов, третье – вклад лептонов второго и третьего поколения. В теневом мире W и Z бозонов нет, поэтому в 26 кроме кварков входят только мюоны. Для оставшихся вкладов имеем:

(27)

(28)

В обычном мире (27) играют роль фотоны, нейтрино (три поколения) и антинейтрино с одним спиновым состоянием и электроны с позитронами, имеющие по 2 спиновых состояния. В теневом мире (28) играют роль только фотоны и один (единственный) сорт нейтрино:

(29а)

(29б)

(29в)

(29г)

(29д)

В таком случае:

(30)

(31)

Подставляя полученное значение в 31, получим:

(32)

Таким образом, проверяя предположение о том, что термоднамическое равновесие нарушено сразу после инфляции, приходим к тому, что такая модель не противоречит экспериментальным данным и её реализация возможна. 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:

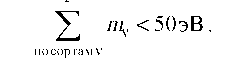
(35)

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

****

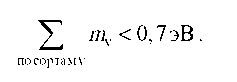
(36)

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

**C:\Users\Maxim\Downloads\media\image34.png**

(37)

фактически нивелирующее роль HDM в формировании КМС. Откуда

****

(38)

***Теневая материя.***

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

Для начала, оценим возможность формирования материи в теневом мире в принципе. Предположим, что в теневом мире возможно формирование простейших атомов (позднее будет показано, что первыми кандидатами на роль атомов теневого мира будут (SSS)+μ атомы). Тогда, оценивая возможность атомных столкновений, сопоставим время свободного пробега атома 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

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

Попытаемся построить модель материи, формируемой в теневом мире частицами, существующими в рамках наших предположений. Поскольку в рассматриваемом нами теневом мире единственный стабильный кварк – это Sd кварк, то наиболее вероятный кандидат на роль стабильной частицы – это Ωdбарион (SdSdSd), являющийся аналогом Ω частицы обычного мира. Барионом его назовём в силу того, что он же является и первым кандидатом на роль элемента, формирующего ядерную материю теневого мира. Элементарный атом в теневом мире: (SdSdSd)+μ атом, который далее будем называть **ADM** (**A**tom of **D**ark **M**atter). Напомним, что масса Sd кварка

откуда вытекает оценка массы ядра (SdSdSd) и массы атома ADM:

Рассмотрим далее возможности и особенности протекания химических и ядерных реакций в теневом мире, формируемом такими элементами.

*Химические реакции.*

Под химическими реакциями в теневом мире понимаются, в первую очередь, процессы образования молекул из ADM атомов на основе механизмов, аналогичных тем, что формируют химическую связь в обычном мире. Иными словами, предполагается связь на основе электромагнитного взаимодействия, но в теневом мире. Оценим энергию связи внутри гипотетической молекулы ADM2, полагая, что её значение пропорционально энергии связи в молекуле водорода в молекуле H2 с учётом разницы масс электрона и мюона (в обычном мире энергия связи дейтерия порядка 10 eV):

Такой результат интересен тем, что полученный порядок энергии связи соответствует порядку энергии ядерных реакций обычного мира.

Оценим теперь, какого размера могут достигать компактные образования такой материи, прежде чем начнут становиться чёрными дырами. Для этого воспользуемся выражением для гравитационного радиуса объекта. Будем работать в предположении, что атомы ADM будут иметь постоянный размер в любых условиях, подобно несжимаемой жидкости:

В качестве условия образования чёрной дыры возьмём:

Тогда

Таким образом, для данной формы матери, образованной химическими связями, присутствует предел размеров, равный 300000 километров, достигая который тела теневого мира становятся чёрными дырами. При этом, следует понимать, что оценка производилась для сферических чёрных дыр.

*Ядерные реакции.*

Рассмотрение ядерных реакций теневого мира при отличается от аналогичного рассмотрения для обычного мира, поскольку в теневом мире отсутствуют аналоги переносчиков межядерного взаимодействия – пионов. По этой причине, если предположить, что в теневом мире всё же присутствуют ядерные реакции, то следует выбрать кандидатов на роль переносчиков ядерных взаимодействий. В качестве таких переносчиков можно рассматривать глюоны, а также теоретические частицы, состоящие из глюонов – глюболы. Современные оценки масс глюболов следующие:

Существенная разница в таких двух подходах (рассмотрение через глюоны и глюболы) заключается в том, что глюоны – безмассовые частицы, а глюболы массивные, притом имеют массу, сопоставимую с массой Sd кварка теневого мира. Рассматривать далее будем обмен между двумя элементарными ядрами теневого мира

Для случая глюонного взаимодействия следует отметить, что обмен между двумя простейшими ядрами теневого мира посредством одного глюона невозможен, поскольку в этом случае не будет сохраняться цвет ядер (в нашем предположении они безцветны). Таким образом обмен возможен только комбинацией двух и более глюонов. Учитывая соотношение неопределённости Гайзенберга, можно оценивать размер сложных ядер с глюонным механизмом связи:

В силу безмассовости глюона, размеры сложного ядра будут сопоставимы с размерами элементарных ядер . То есть, увеличение числа нуклонов в ядре не приводит к пропорциональному увеличению его размера, что может, в свою очередь, обусловить возрастание плотности материи и понизить пределы рождения чёрных дыр, оценённые при разборе химических реакций.

Рассматривая в качестве переносчика межядерного взаимодействия глюбол, можно предположить, что энергия связи частиц нуклонов в составном ядре ADM2 есть величина порядка массы глюбола. Тогда в случае образования составной молекулы получим:

Для размера такой молекулы имеем следующее:

Получили, что размер таких молекул в 10 раз меньше, чем размер молекул в обычном мире. Учитывая, что массы молекул теневого в 5 раз больше, чем массы молекул обычного мира, можно прийти к заключению о том, что материя теневого мира в 50 раз плотнее материи обычного мира.

**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 2 варианта:

1. Можно считать, что теневой мир находился в термодинамическом равновесии с обычным миром вплоть до T = 10 МэВ.
2. Можно считать, что термодинамическое равновесие между теневым и обычным миром было нарушено сразу после инфляции.

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, построены предположения о работе различных механизмов взаимодействия в теневом мире и протекании химических и ядерных реакций.

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.