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 обычного мира, в котором присутствуют три поколения фермионов, есть ещё и теневой мир с одним поколением фермионов. Притом эти два мира взаимодействуют между собой только гравитационно. 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.

***Стабильное теневое вещество.***

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, а именно:

$$\tilde{m}\_{μ}=m\_{μ}=105 МэВ$$

$$\tilde{m}\_{S}=m\_{S}=500 МэВ$$

$$\tilde{m}\_{C}=m\_{C}=1.27 ГэВ$$

Далее тильдой будем обозначать частицы и параметры частиц теневого мира. Вследствие отсутствия смешивания теневых и обычных состояний мюоны теневого мира стабильны. Кроме того, будем полагать, что в теневом мире присутствуют $\tilde{W}^{\pm }$ и $\tilde{Z}^{0}$ бозоны, свои безмассовые фотоны $\left(\tilde{γ}\right)$ и глюоны ($\tilde{g}$):

$$\tilde{m}\_{W}=m\_{W}=80 МэВ$$

$$\tilde{m}\_{Z}=m\_{Z}=92 МэВ$$

Присутствуют в теневом мире и нейтрино ν, массы которых по аналогии с обычным миром относительно малы:

$$\tilde{m}\_{ν}=m\_{ν}\rightarrow 0 МэВ$$

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. Положим, что концентрация барионов в теневом мире такая же, как и в обычном мире. Единственное поколение кварков теневого мира аналогично второму поколению кварков обычного мира, то есть там присутствует $\tilde{S}$ и $\tilde{C}$ кварк. Главная их особенность состоит в том, что в теневом мире $\tilde{S}$ кварк является стабильным кварком, а $\tilde{C}$ распадается по каналу:

$\tilde{C}\rightarrow \tilde{S}+\tilde{μ}^{+}+\tilde{ν}\_{μ}$

(33)

через $\tilde{W}^{\pm }$ бозон. Тогда в теневом мире материю будут образовывать только $\tilde{S}$ кварки ($\tilde{C}$ кварки распадутся по вышеуказанному каналу в силу того, что обладаютдостаточно большой массой).

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 S ̃ и $\tilde{C}$ кварку каждого цвета. С учётом распада $\tilde{C}$ кварка каждому мюону будет соответствовать 6 $\tilde{S}$ кварков и 2 антимюона (в обычном мире каждому электрону соответствует u и d кварки каждого цвета).

Поскольку в рассматриваемом нами теневом мире единственный стабильный кварк – это $\tilde{S}$ кварк, то наиболее вероятный кандидат на роль стабильного бариона – это $\tilde{Ω}$барион ($\tilde{S}\tilde{S}\tilde{S}$), 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: ($\tilde{S}\tilde{S}\tilde{S}$)- + $\overbar{μ}$+ атом, который далее будем называть **ADM** (**A**tom of **D**ark **M**atter).

Оценим энергию связи внутри атома ADM, полагая, что её значение пропорционально энергии связи атома водорода H с учётом соотношения масс электрона и мюона (в обычном мире энергия связи дейтерия порядка 5 eV):

$$E\_{con}^{e/m}\~10 eV×\frac{M\_{μ}}{M\_{e}}=2 KeV$$

*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 стоит сделать предположение о переносчиках ядерных взаимодействий. В качестве таких переносчиков можно рассматривать глюоны, а также теоретические частицы, состоящие из глюонов – глюболы. Современные оценки масс глюболов следующие:

$$M\_{G}\left(0^{++}\right)=1549\pm 53 MeV$$

$$M\_{G}\left(2^{++}\right)=2310\pm 110 MeV$$

$$M\_{G}\left(1^{+-}\right)=2332\pm 264 MeV$$

Существенная разница в таких двух подходах (рассмотрение через глюоны и глюболы) заключается в следующем: глюоны – безмассовые частицы, взаимодействующие с цветовым зарядом, а глюболы – массивные и взаимодействуют с бесцветным состоянием.

***Космологические свойства теневого мира.***

Оценим возможность атомных столкновений в теневом мире. Для этого сравним время свободного пробега атома в теневом мире с временем жизни вселенной. Воспользуемся следующими оценками:

t = 1 / (n\*v\*σ)

где n – средняя концентрация барионов в теневом мире (в рассматриваемой модели она постулировалась равной средней концентрации барионов в обычном мире, то есть 1 см-3 для галактики и 10-7 см-3 для вселенной), 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 во вселенной (v = 200\*105 см/c). Время жизни вселенной 1017 с. Тогда

tg = 1 / (1\*0.25\*10-20\* 200\*105) = 2\*1013 с << 1017 с (для галактики),

tu = 1 / (10-7\*0.25\*10-20\* 200\*105) = 2\*1020 с >> 1017 с (для вселенной).

Из этих оценок видно, что атомный газ является столкновительным в масштабах галактик, и нестолкновительным - в масштабах вселенной.

Будем считать, что вплоть до распада инфлатона плотность энергии обычного мира и плотность энергии теневого мира одинаковы. Положим также, что термодинамическое равновесие между обычным и теневым миром было нарушено сразу после инфляции, впоследствии чего переходы из обычной материи в теневую отсутствуют. Оценим далее соотношение температур теневого и обычного мира $\frac{\tilde{T}}{T}$. Для этого воспользуемся законом сохранения энтропии для обычного и теневого мира по отдельности, а, соответственно, и для суммы энтропии теневого и обычного мира.

(30а)

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

(30б)

S = κs\*T3

$$κ\_{S}=2+\sum\_{i}^{}\frac{g\_{s}}{2}+\frac{7}{8}×\sum\_{k}^{}\frac{g\_{s}}{2}+\sum\_{\tilde{i}}^{}(\frac{\tilde{g}\_{s}}{2}×\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^{3})+\frac{7}{8}×\sum\_{\tilde{k}}^{}\left(\frac{\tilde{g}\_{s}}{2}×\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^{3}\right)$$

(30д)

Здесь S0 – энтропия во время инфляции, S1 – энтропия современного мира, *gS* – число спиновых состояний, $i и \tilde{i}$ – индексы суммирования по бозонам обычного и теневого мира, а $k и \tilde{k}$ - индексы суммирования по фермионам обычного и теневого мира. Тогда, исходя из закона сохранения энтропий для теневого и обычного мира, имеем:

(31а)

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

(23)

(24)

$\tilde{S}\_{c}^{0}+\tilde{S}\_{s}^{0}+\tilde{S}\_{μ}^{0}+\tilde{S}\_{W^{+},W^{-},Z}^{0}+\tilde{S}\_{∑}^{0}=\tilde{S}\_{∑}^{1}$ (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:

$(\frac{7}{8}×6×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2×2+2×κ\_{ост})×T\_{0}^{3}×a\_{0}^{3}= 2×κ\_{ост}×T\_{1}^{3}×a\_{1}^{3}$

(25)

$(\frac{7}{8}×2×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2+2×\tilde{κ}\_{ост})×\tilde{T}\_{0}^{3}×\tilde{a}\_{0}^{3}= 2×\tilde{κ}\_{ост}×\tilde{T}\_{1}^{3}×\tilde{a}\_{1}^{3}$

Первое выражение для обычного мира, второе (где параметры помечены тильдой) – для теневого мира. Параметр $κ\_{ост}$ - 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 и 30 – вклад W и Z бозонов, третье – вклад лептонов второго и третьего поколения. Для оставшихся вкладов имеем:

(26)

$2×κ\_{ост}=2+\frac{7}{8}×3×2+\frac{7}{8}×2×2$

(27)

$2×\tilde{κ}\_{ост}=2+\frac{7}{8}×2$

(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:

$\frac{\tilde{T}\_{1}^{3}}{T\_{1}^{3}}×\frac{\tilde{κ}\_{ост}}{κ\_{ост}}=\frac{\frac{7}{8}×2×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2+2×\tilde{κ}\_{ост}}{\frac{7}{8}×6×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2×2+2×κ\_{ост}}$

(29а)

$\frac{\tilde{T}\_{1}^{3}}{T\_{1}^{3}}=\frac{\frac{7}{8}×2×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2+2×\tilde{κ}\_{ост}}{\frac{7}{8}×6×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2×2+2×κ\_{ост}}×\frac{κ\_{ост}}{\tilde{κ}\_{ост}}$

(29б)

$\frac{\tilde{T}\_{1}^{3}}{T\_{1}^{3}}=\frac{\frac{7}{8}×2×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2+2+\frac{7}{8}×2}{\frac{7}{8}×6×3×2×2+3×3+\frac{7}{8}×2×2×2+2+\frac{7}{8}×3×2+\frac{7}{8}×2×2}×\frac{2+\frac{7}{8}×3×2+\frac{7}{8}×2×2}{2+\frac{7}{8}×2}$

(29в)

$\frac{\tilde{T}\_{1}^{3}}{T\_{1}^{3}}=1.190$

(29г)

$\frac{\tilde{T}\_{1}}{T\_{1}}=1.060$

(29д)

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. Ключевым параметром для количественной оценки химического состава:

$$κ\_{ε}=2+\sum\_{i}^{}\frac{g\_{s}}{2}+\frac{7}{8}×\sum\_{k}^{}\frac{g\_{s}}{2}+\sum\_{\tilde{i}}^{}(\frac{\tilde{g}\_{s}}{2}×\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^{4})+\frac{7}{8}×\sum\_{\tilde{k}}^{}(\frac{\tilde{g}\_{s}}{2}×\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^{4})$$

где *gS* – число спиновых состояний, $i и \tilde{i}$ – индексы суммирования по бозонам обычного и теневого мира, а $k и \tilde{k}$ - индексы суммирования по фермионам обычного и теневого мира.

В таком случае:

$κ^{'}\_{ε\*}\left(T\~1 MeV\right)=2+\frac{7}{8}×\left(2×\frac{2}{2}+3×2×\frac{1}{2}+1×2×\frac{1}{2}\*(\frac{\tilde{T}\_{1}}{T\_{1}})^{4}\right)=7.478$

(30)

Для удобства результаты будем нормировать на случай N =3 (точная оценка которого содержит ряд деталей, вынесенных за рамки данного изложения), наделяя все величины, характерные для нашего случая, штрихом «'»:



(20)

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

$\left(\frac{n}{p}\right)’ = \left(\frac{1}{7}\right)^{\left(\frac{43}{8×7.478}\right)^{\frac{1}{6}}}=0,159$

(31)

Подставляя полученное значение $\left(\frac{n}{p}\right)’$ в выражение для удельной доли гелия, получим:

$Y\_{p}’ = \frac{2×0,159}{1+0,159}≈0.274$

(32)

Обратимся к результатам экспериментальных оценок удельной доли гелия для того, чтобы понять, насколько полученное нами значение (32) соответствует наблюдаемым данным:



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)*

Сопоставим полученную нами оценку относительной доли гелия (32) и наблюдаемые значения этой величины с учётом её погрешности (рис. 1). Кроме того, с целью лучше понять, насколько предложенная нами модель соответствует наблюдаемым данным, построим зависимость Yp’ от соотношения Ti/T:



Рисунок 2. Зависимость относительной доли гелия (Yp’) от разницы температур обычного и теневого мира Ti/T.

По рисункам 1 и 2 можно заметить, что Yp’ не противоречит экспериментальным данным (то есть, не выходит за пределы 0,27) только в том случае, если $T\_{i}/T\leq $1. То есть, тогда, когда температура теневого мира не выше температуры обычного мира. Предельно возможный случай ($\frac{T\_{i}}{T}=$1) даёт такие следствия:

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

(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 является предельно допустимым (рис. 1) с точки зрения наблюдаемых данных. Сравнивая это значение ($Y\_{p}’=0.271)$ и полученное нами ранее значение 32 ($Y\_{p}’=0.274)$, видно, что наша модель находится в предельной точке, однако в явное противоречие с экспериментальными данными не вступает.

***Теневая материя.***

Сравнивая энергии частиц с температурой TRD→MD $\~$ 1эВ, можно увидеть, что материя теневого мира неоднородна:

* она имеет горячую нерелятивистскую составляющую – нерелятивистские нейтрино,
* релятивистскую составляющую – релятивистские нейтрино и фотоны
* холодную - мюоны.

Оценим плотность теневой материи при введённых изначально характеристиках нашей модели, а именно массе теневого S кварка

$$\tilde{m}\_{S}=m\_{S}=500 МэВ$$

$$ω\_{d}=\frac{\tilde{m}\_{s}×3+\tilde{m}\_{μ}}{3×m\_{u/d}}×ω\_{o}=\frac{500×3+100}{900}×4\%=7\%$$

где $\tilde{m}\_{s}$ - масса $\tilde{S}$ кварка теневого мира, $\tilde{m}\_{μ}$ – масса мюона теневого мира, $m\_{u/d}$ масса u/d кварков обычного мира, $ω\_{o}$ - плотность материи обычного мира. Таким образом, расчёт показывает, что плотность теневой материи в нашем случае 7%. Учитывая, что известное значение плотности теневого мира 22%, видно, что наша модель не способна объяснить всю скрытую массу вселенной.

Тогда поскольку наш и теневой мир асимметричны по построению, то будем полагать асимметрию и в значениях масс S и $\tilde{S}$кварков. Такой способ модификации модели поможет подобрать значение массы $\tilde{S}$, которое объяснит всю плотность теневого мира:

$M\_{\tilde{S}}$ = 22/4\*300 = 1650 МэВ/с2

(34)

Массу $M\_{\tilde{C}}$ изменим так, чтобы возможность распада по мюонному каналу была обеспечена, к примеру:

(35)

$M\_{\tilde{C}}$ = 2000 МэВ/с2

В таком случае $\tilde{C}$ кварк теневого мира по прежнему будет распадаться и все описанные ранее эффекты останутся справедливыми.

Элементарный атом в теневом мире: ($\tilde{S}\tilde{S}\tilde{S}$)- + μ+ атом (**ADM)**. Из вышесказанного вытекает оценка массы ядра ($\tilde{S}\tilde{S}\tilde{S}$) и массы атома ADM:

$$M\_{\tilde{S}\tilde{S}\tilde{S}}=4950\frac{МэВ}{с^{2}}$$

$$M\_{ADM}=5100\frac{МэВ}{с^{2}}$$

Иной способ решить проблему скрытой массы – сохранить симметрию значений масс кварков теневого и обычного мира, но изменить величину барионной асимметрии теневого мира соответствующим образом:

$$(\tilde{m}\_{s}×3+\tilde{m}\_{μ})×\tilde{n}×\frac{1}{ω\_{d}}=(3×m\_{u/d})×n×\frac{1}{ω\_{o}}$$

$$\frac{\tilde{n}}{n}=\frac{ω\_{d}}{ω\_{o}}×\frac{3×m\_{u/d}}{(\tilde{m}\_{s}×3+\tilde{m}\_{μ})}$$

$$\frac{\tilde{n}}{n}=\frac{22}{4}×\frac{3×300}{(500×3+100)}≈3.09$$

Таким образом, можно сохранить симметрию значений масс кварков обычного и теневого мира, но работать в предположении, что плотность барионов теневого мира в 3.09 раз больше плотности барионов обычного мира. При этом, такое значение не меняет выводов относительно космологических свойств теневого мира.

**Заключение.**

Таким образом, рассматривая изначальную модель, предусматривающую наличие теневого мира с одним вторым поколением фермионов с массами, симметричными массам фермионов обычного мира, мы пришли к выводу, что такая модель не противоречит данным (оценки химического состава вселенной), но не может объяснить всю скрытую массу.

В изменённой модели фермионы теневого мира - аналоги второго поколения «обычного» мира со стабильным мюоном, стабильным $\tilde{S}$ кварком и нестабильным Cd кварком имеют следующие массы:

$M\_{\tilde{S}}$ = 1650 МэВ/с2

$M\_{\tilde{C}}$ = 2000 МэВ/с2

Такая модификация даёт объяснение скрытой массе вселенной и делает такую модель возможной и интересной для дальнейших исследований.

Кроме того, предложен другой способ модификации модели, при котором сохраняется симметрия значений масс кварков теневого и обычного мира, но сделано предположение о разной барионной асимметрии, а именно:

$$\frac{\tilde{n}}{n}=3.09$$

Также оценены возможные формы материи теневого мира, построены предположения о работе различных механизмов взаимодействия в теневом мире и протекании ядерных реакций.

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

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.**

1. Анисович В. «Легчайший скалярный глюбол». – Успехи физических наук, обзор актуальных проблем, том 168, №5.
2. Бронников К.А., Рубин С.Г. Лекции по гравитации и космологии. – М.: МИФИ, 2008.
3. Емельянов В.М. Стандартная модель и её расширения.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. Емельянов В.М., Белоцкий К.М. Лекции по основам электрослабой модели в новой физике. – М.: МИФИ, 2007.
5. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. Изд. 4-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.
6. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. Рубин С.Г. Устройство нашей Вселенной. – Фрязино: Век 2, 2006.
8. Хлопов М.Ю. Основы космомикрофизики. – М.: Едиториал УРСС, 2004.