Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

Кафедра физики элементарных частиц (№40)

Реферат по теме:

# "Зеркальный мир без слабого взаимодействия"

Выполнила: студентка группы М18-115

Муфазалова Алена

Принял: проф, Хлопов М. Ю.

**Москва, 2018**

**Введение**

 До 1956 года предполагалось, что зеркальное отражение процесса с любой фундаментальной частицей приводит к тому же процессу, либо к некоторому другому процессу, также существующему в природе. Нарушение четности в слабом взаимодействии положило начало изучению процессов, в которых это фундаментальное правило нарушается (нейтрино, рожденное в $β-распаде$ имеет только одну поляризацию).

 P-преобразование координатной системы, в котором описывается P-нарушающий процесс, соответствует переходу от левой к правой координатной системе, или зеркальному отражению процесса. В результате, из-за P- несохранения такое преобразование приводит к процессу, который не существует в природе. С другой стороны, существование предпочтительной координатной системы означает, что пустое пространство-время имеет некоторую предпочтительную ориентацию.

 Чтобы восстановить эквивалентность левого и правого, Ли и Янг ( Lee, Yang, 1956) [1] предложили, что для всех известных частиц должны существовать зеркальные двойники. В этом случае Р- инверсия должна сопровождаться взаимной заменой обычных частиц и их зеркальных партнеров.

 Логичным предположением было выдвинуть на роль зеркальных частиц – античастицы, однако вследствие открытия CP – нарушения в работе(Кобзарев, Окунь, Померанчук, 1966) [2] было предложено, что у обычных частиц имеются зеркальные партнеры, не совпадающие с античастицами. Простейший способ включить зеркальные частицы в модель элементарных частиц – это добавить к $SU\left(2\right)⊗U\left(1\right)⊗SU\left(3\right)\_{C}-$ калибровочной симметрии стандартной модели такую же симметрию, относящуюся к зеркальным частицам.

 В данной работе будет рассмотрены эволюция Вселенной и ее основные космологические следствия в случае существование зеркального мира без слабого взаимодействия.

Рассматривается модель зеркального мира $SU\left(3\right)⊗U\left(1\right)$, c первым поколением фермионов: кварков $\left(\begin{matrix}u\\d\end{matrix}\right)$, масса которых совпадает с массой обычных u и d кварков, а заряды противоположны по знаку, и лептонов $\left(\begin{matrix}e\\ν\_{e}\end{matrix}\right)$, также с противоположным знаком зарядов и равенством масс.

В электрослабой модели, массы кварки и лептоны приобретают в результате взаимодействия с полем Хиггса, которое в свою очередь обусловлено локальным CP-нарушением симметрии $SU\left(2\right)⊗U\left(1\right)$. Однако, кроме слабого CP-нарушения, существует и сильное CP-нарушение.

В модели, предложенной Печеем и Куином (R. Peccei, H. Quinn, 1977), рассматривается дополнительная симметрия $U\_{PQ}\left(1\right)$. Эта симметрия спонтанно нарушается с помощью некоторого комплексного скалярного поля $ϕ$ на некотором энергетическом масштабе. [12] Это поле в зеркальном мире может являться полем Хиггса, который будетдавать массу частицам зеркального мира.

 **Космологические последствия**

Приняв модель зеркального мира с $SU\left(3\right)⊗U\left(1\right)$, c первым поколением фермионов, мы будем иметь возможность создавать зеркальную материю, устойчивую к $β-$ распаду. В таком случае нейтроны станут стабильными частицами. Мезоны $π^{\pm }$ и протоны останутся стабильными частицами, т.к. они распадаются только по слабому взаимодействию. Электроны рождаются в распадах только по слабому взаимодействию, следовательно, также остаются стабильными.

Рассмотрим полную модель, включая зеркальные частицы без слабого взаимодействия. Во-первых, зеркальный мир имеет такие же виды взаимодействия, исключая слабое, однако они распространяются только на зеркальные частицы. Однако, действительно**,** имея общее сильное взаимодействие, мы имели бы удвоение некоторых адроных состояний, а также удвоение атомных состояний из-за дополнительных степеней свободы, в случае общего электромагнитного взаимодействия. Таким образом, мы имеем зеркальное электромагнитное и зеркальное сильное взаимодействия.

Возможным способом взаимодействовать с нашим миром, частицам зеркального мира – это взаимодействие с помощью гравитации.Поэтому зеркальное и обычное гравитационноевзаимодействие будет одинаковым.

Кроме того, возможно кинетическое смешивание зеркальных и обычных фотонов.

В рамках Великого Объединения калибровочная симметрия

$$[SU\left(2\right)⊗U\left(1\right)⊗SU\left(3\right)\_{C}]\_{O}⊗[U\left(1\right)⊗SU\left(3\right)\_{C}]\_{M}$$

обычных и зеркальных частиц включается в единую группу симметрии - $G\_{OM}$. Нарушение которой, приводит к разделению обычного и зеркального сектора частиц, при условии строгой дискретной симметрии между ними. Поскольку в нашей модели зеркального мира существует только 2 сорта кварков, считаем, что u, c, t кварки и незаряженные лептоны обычной зеркальности соответствуют зеркальному u кварку и зеркальному электронному нейтрино, а d, s, b – зеркальному d кварку и зеркальному электрону, соответственно.В таком случае, дискретная симметрия нарушается. Такая ситуация соответствует иному виду поля Хиггса $V\_{GUT}$, которое должно по разному действовать на обычные и зеркальные частицы.

 Будем полагать, что в зеркальной Вселенной присутствует асимметрия зарядов как и в нашем мире.

**Инфляция**

Для реализации процесса инфляции требуется ввести в модель дополнительное скалярное инфлатонное поле, которое, взаимодействуя с частицами материи обычного и зеркального мира, должно распадаться так, чтобы в постинфляционный период эффективно породить наблюдаемое число барионов и лептонов нашего мира и подавить число зеркальных барионов и лептонов.

В данном случае, применима модель хаотической инфляции (Линде, 1983) [3], где амплитуда инфлатонного поля может быть различной для обычного и зеркального мира.

В рамках модели хаотической инфляции начальные амплитуды обычных и зеркальных инфлатонов могут быть различными, что приводит к образованию доменной структуры в распределении обычного и зеркального вещества. **[**13]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.[4]

**Бариосинтез**

 Предполагается, что барионный избыток был образован в процессе бариосинтеза (Сахаров, 1967; Кузьмин, 1970) [5-6], приводящей к барионной асимметрии изначально барион-симметричной Вселенной. Барионный избыток в таком случае возникает из-за CP- нарушающих эффектов при выходе из равновесия процессов с не сохранением барионного числа.

Однако в зеркальном мире этот эффект CP нарушения не присутствует без слабого взаимодействия, ввиду чего невозможна асимметрия зеркального вещества и зеркального антивещества по механизму электрослабого взаимодействия. Но если предположить, что в зеркальном мире, как и в нашем, при высоких энергиях происходит объединение сильного и электромагнитного взаимодействия, то возможны вершины типа (Рис.1):



Рисунок 1 – Взаимодействие векторного бозона с кварками, антикварками, и антилептонами [3]

как в нашем, так и в зеркальном мире. В таком случае происходит нарушение барионного числа в процессе (Рис. 2):



Рисунок 2 – Процесс с обменом векторным бозоном, приводящим к нарушению барионного числа [3].

Введя новые сверхмассивные зеркальные частицы - векторы и скаляры, участвующие в зеркальных взаимодействиях с обычными зеркальными частицами, распад таких частиц приводил бы к асимметрии зеркальных и обычных барионов посредствам взаимодействий, представленных на рис. 1.

Таким образом, единственным способом получить асимметрию зеркального вещества и антивещества, это введение новых массивных частиц, распад которых приведет барионному избытку. При этом время жизни таких частиц должно быть меньше 1с для того, чтобы они успели полностью распасться к стадии нуклеосинтеза.

**Кандидат на роль Скрытой массы**

 Поскольку основные свойства, которыми должны обладать частицы скрытой массы это:

* электронейтральность
* стабильность (время жизни порядка 14·109 лет)
* ненулевая масса

При этих условиях некоторые зеркальные частицы в условиях отсутствия слабого взаимодействия могут являться частицами скрытой массы. Но только в том случае, если масса зеркального вещества будет много больше массы обычных частиц. Такое возможно в случае, если произошла закалка зеркальных частиц.

В частности зеркальные барионы могут быть кандидатами на роль скрытой массы, они могут образовывать компактные объекты со звездными массами и размерами. [4]

**Эволюция**

Рассмотрим, как происходила дальнейшая эволюция модели Вселенной с зеркальным миром без слабого взаимодействия.



Рисунок 3 – Тепловая эволюция Вселенной

Следующая после инфляции стадия эволюции Вселенной – стадия разогрева (reheating). Именно во время этой стадии происходит активное рождение частиц высоких энергий и их термализация.[5]

Рождение частиц в зеркальном мире происходит в этот период, как и в случае с частицами обычного мира, за счет быстрых осцилляций инфлатонного поля около минимума потенциала.

Рассмотрим процесс закалки стабильных частиц модели. В данном случае, стабильными остаются нейтроны, протоны, заряженные пионы и электроны (позитроны).

Рассчитаем плотность числа нерелятивиских частиц по формуле [11]:

$$n=\left(\frac{2}{π^{3}}\right)^{^{1}/\_{2}}\frac{m^{^{3}/\_{2}}\left(kT\right)^{3/2}}{ℏ^{3}}exp\left(-\frac{mc^{2}}{kT}\right),$$

Оценим температуру закалки из следующих соображений.

 Выразим момент закалки через равенства закона расширения Вселенной $ρ≈\frac{1}{Gt\_{1}^{2 }} и $выражения для плотности массы $ρ≈\frac{kT\_{1}}{c^{2}}\left(\frac{kT\_{1}}{cℏ}\right)^{3}$. В момент закалки $kТ\leq mc^{2}$, приблизительно $kТ=\frac{mc^{2}}{α}$, где $α≳1.$

$$t\_{1}=α^{2}G^{-1/2}m^{-2}ℏ^{3/2}c^{-3/2}$$

А температуру закалки оценим из приближенного выражения:

$$T\_{зак.}≈0,86 Мэв\sqrt{\frac{1с}{t\_{1}}}$$

Тогда получим следующие значения :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | $$t\_{1}, c$$ | $T\_{зак.}$, МэВ | $$n\_{зак.}, см^{-3}$$ |
| $$π^{\pm }$$ | $$4,236⋅10^{-4}$$ | 41,785 | 1,135$∙10^{61}$ |
| $$n^{0}$$ | $$8,536⋅10^{-9}$$ | 9308,319 | 1,667$⋅10^{67}$ |
| $$e^{\pm }$$ | 31.584 | 0.153 | 5.74$∙10^{44}$ |

Для протона, ввиду практически равенства масс, получим те же значения, что и для нейтрона.

Так закалка отношения нейтрона к протону в зеркальном мире происходит по следующим реакциям:

$$π^{+}n\rightarrow π^{0}p $$

$$π^{-}p\rightarrow π^{0}n $$

На первой секунде происходит закалка релятивистких нейтрино в нашем мире. Этот процесс связан с тем, что нейтрино выходит из равновесия, поскольку обратное время жизни нейтрино

$τ\_{ν}^{-1}=σ\_{анниг}n\_{υ}\~T^{5}$ ,

a скорость расширения $\~\frac{1}{T^{2}}$. Однако, в зеркальном мире без слабого взаимодействия, нейтрино не может родиться в $e^{-}e^{+}$ реакциях, а также рассеиваться на электронах и аннигилировать, т.к. такие процессы идут по слабому взаимодействию. Отсюда получаем, что зеркальные нейтрино изначально не присутствует в равновесном состоянии, поэтому отцепления зеркальных нейтрино не происходит.

Происходит рождение реликтовых зеркальных нейтрино и дальнейшее их “остывание” по мере расширение Вселенной. В зеркальном мире рождение нейтрино происходит только гравитационным способом. Ввиду чего их концентрация будет чрезвычайно мала, а масса должна быть порядка $\~$kT(1 c), так как в зеркальном мире присутствует только первое поколение лептонов, то осцилляций между различными сортами зеркальных нейтрино не существует, но можно предположить, что осцилляции происходят между нашим миром и зеркальным с одним поколением. В этом случае зеркальное электронное нейтрино может быть кандидатом на роль сорта стерильного нейтрино.

На РД-стадии плотности обычного и зеркального излучений различна, ввиду различных равновесных температур.

Наблюдаемое обилие 4Не составляет

Уobs = (28 ±12)%

После первой секунды расширения, когда происходила закалка отношения числа нейтронов и протонов в обычном веществе, в полной плотности нужно учитывать вклад зеркальных фотонов и зеркальных электрон-позитронных пар. Однако, с учетом предположения, что равновесная температура в зеркальном мире была ниже, вклад зеркальных фотонов подавляется, а вклад электрон-позитронных пар значительно меньше вклада от других стабильных частиц.

С расширением Вселенной температура уменьшается, массивные частицы становятся нерелятивискими, а длина волны фотонов увеличивается. Наступает момент, когда энергия покоя частиц сравнивается с их кинетической энергией. Начиная с этого момента, наступает стадия доминантности вещества.

На этом этапе происходит формирование крупномасштабной структуры Вселенной (LSS). Влияние зеркального вещества на LSS возможно только в случае крупномасштабных зеркальных доменов, соответствующих масштабу масс:

$$M>10^{16}M\_{⊙}$$

или крупномасштабному островному распределению барионов. В этом случае зеркальные барионные острова должны выглядеть как пустоты, в которых отсутствуют галактики из обычного вещества.

 В нашем мире большую часть вещества составляет скрытая масса, однако, в зеркальном мире это может быть не так. Если температура в зеркальном мире меньше, но барионная асимметрия больше, зеркальная материя может играть роль темной материи в нашем мире.

В зеркальном мире остаются стабильными пионы, которые учувствуют в реакциях перезарядки, генерируя протоны и нейтроны. Так, зеркальные ядра могут играть роль непосредственной скрытой массы, поскольку такие ядра должны оставаться стабильными.

**Заключени**е

Таким образом, в модели зеркального мира без слабого взаимодействия с первым поколением фермионов остаются стабильными большая часть барионов, заряженные пионы и лептоны. А также невозможен процесс аннигиляции нейтрино по слабому взаимодействию, ввиду чего их количество становиться малым.

 Зеркальные барионы могут быть кандидатами на роль скрытой массы. Зеркальные нейтрино изначально не присутствует в равновесном состоянии, поэтому отцепления зеркальных нейтрино не происходит.

 Модель зеркального мира не влияет на величину концентрации первичного гелия.

Влияние зеркального вещества на крупномасштабную структуру Вселенной возможно в случае крупномасштабных зеркальных доменов, или крупномасштабному островному распределению барионов.

**Список используемой литературы**

1. Lee T.D., Yang C.N., 1956. Phys. Rev. **104**, 245.
2. И Ю Кобзарев, Л Б Окунь, И Я Померанчук ЯФ 3 1154 (1966);
3. Linde A. D. (1983). Phys. Lett. 129B, 177.
4. С.М. Блинников: Зеркальное вещество и другие модели для темной материи. УФН: Том 184, №2, 2014.
5. M. Ю. Хлопов: Основы космомикрофизики, 2004 **[URSS]**
6. А. Д. Сахаров. Нарушение СР-инвариантности, С-асимметрия и барионная асимметрия вселенной, 1967 **[Journal, pages]**
7. Кузьмин, 1970 **[Title,Journal, pages]**
8. M. Ю. Хлопов: Основы космомикрофизики, 2011 **[It is the same as 5.]**
9. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков: Введение в теорию ранней вселенной. Теория горячей Вселенной, 2006
10. К.А. Бронников, С.Г. Рубин: Лекции по гравитации и космологии, 2008
11. Я. В. Зельдович, И. Д. Новиков: Строение и эволюция Вселенной. 1975
12. В.М. Емельянов, К.М. Белоцкий: Лекции по основам электрослабой модели и новой физике.
13. Дубрович В.К., Хлопов М.Ю.,(1989). Астрон. ж. 66, 248

**[Publishers]**