НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

Реферат по курсу космомикрофизики

на тему

«Зеркальный мир с mp – me < mn < mp»

Выполнил: студент группы Т01-40М

Райков Г.А.

Преподаватель: Хлопов М.Ю.

Москва

2016 г.

**Оглавление**

Введение

Описание физической модели 3

Инфляция с бариосинтезом и скрытой массой 4

Физическая космология горячей Вселенной 5

Заключение

Список литературы

**Введение**

 Впервые гипотеза о существовании зеркального вещества была выдвинута Ли и Янгом в той же статье, где рассматривалось нарушение P-четности и предлагался эксперимент по ее обнаружению [1]. В 1957 году опыт по предложенной ими схеме (опыт Ву) подтвердил данное предположение [2].

 Ландау, Ли и другие разработали теорию комбинированной четности (CP-симметрия) [1], [3]. На роль зеркальных партнеров частиц предлагались античастицы. Однако в 1964 году американские физики Кронин, Фитч, Кристонсен и Турле показали, что в распадах K0 – мезонов происходит нарушение CP-симметрии [4].

 В 1966 году Кобзарев, Окунь и Померанчук предположили наличие сектора зеркальных частиц, отличающихся от обычных только квантовым числом А (Alice) [5]. Таким образом, было предположено существование PA-симметрии. Зеркальные частицы должны обладать собственными электромагнитным, сильным и слабым взаимодействиями. Также рассматриваются другие возможности связи между обычным и зеркальным веществом, такие как смешивание обычных и зеркальных фотонов [6], переход между обычным левым нейтрино и зеркальным правым [7] и другие.

**Описание физической модели**

 В данной работе рассматривается модель, в которой помимо обычных элементарных частиц присутствуют зеркальные частицы. Обычные элементарные частицы включают:

шесть лептонов: $ \left(\genfrac{}{}{0pt}{}{ ν\_{e} }{e}\right)$*,*$ \left(\genfrac{}{}{0pt}{}{ ν\_{μ} }{μ}\right)$*,*$ \left(\genfrac{}{}{0pt}{}{ ν\_{τ} }{τ}\right)$ + шесть антилептонов;

шесть кварков: $\left(\genfrac{}{}{0pt}{}{ u }{d}\right)$*,*$ \left(\genfrac{}{}{0pt}{}{ c }{s}\right)$*,*$ \left(\genfrac{}{}{0pt}{}{ t }{b}\right)$ + шесть антикварков;

переносчики взаимодействия и бозон Хиггса:

*g* (8 глюонов), *W+* , *W-*, *Z* , *γ* , *H*

 В данной модели, зеркальные частицы представляют собой симметричный сектор с единственным различием в массах кварков u и d, что и приводит к другим массам зеркальных нейтрона и протона и условию mp – me < mn < mp. Единственным возможным взаимодействием между зеркальными и обычными частицами является гравитационное (следует ожидать удвоение атомных (адронных) состояний в случае общего электромагнитного (сильного) взаимодействия [5], а измерение ширины Z и W бозонов исключило возможность общего слабого взаимодействия). Таким образом, общая калибровочная симметрия данной модели будет выглядеть так:

[SU(2) ⊗ U(1) ⊗ SU(3)c]O ⊗ [SU(2) ⊗ U(1) ⊗ SU(3)c]M

 Где О – сектор, отвечающий обычным частицам, а М – зеркальным. Также следует отметить, что в данной работе единственным звеном, соединяющим обычный и зеркальный мир, является нейтрино (возможное смешивание фотонов и т.п. не учитывается).

**Инфляция с бариосинтезом и скрытой массой**

Сделанное в рамках данной работы предположение о наличии зеркальной материи, очевидно, само по себе не решает проблем старого сценария горячей Вселенной (проблема переизбытка магнитных монополей [8], проблема горизонта, проблема плоскостности). Поэтому наиболее предпочтительной является космологическая модель с хаотической инфляцией на ранней стадии развития Вселенной [9]. В рамках этой модели начальные амплитуды обычных и зеркальных инфлатонов (поля вызывающие инфляцию) могут быть различными, что приводит к образованию доменной структуры в распределении обычного и зеркального вещества [10]. Однако, как будет показано ниже, вся скрытая масса не может объясняться исключительно зеркальным веществом, так как это противоречит широко распространенному верхнему пределу на обилие первичного гелия (Y < 25%) [11].

 Предположим, что генерация барионного избытка в обычном мире связана с выходом из равновесия процессов с нарушением барионного числа. Тогда чтобы восстановить эквивалентность между левой и правой координатными системами, CP-нарушающие эффекты для зеркальных частиц равны по величине, но имеют обратный знак по сравнению с обычными частицами. Однако, поскольку знак барионного числа для зеркальных частиц не наблюдаем, то мы будем относить его к «барионному» избытку в случае обеих зеркальностей. Предполагая симметричность начальных условий для обычных и зеркальных частиц, получим одинаковое значение барионного избытка. Следует заметить, что во всех случаях, исключая очень большие зеркальные домены, релятивистские частицы присутствуют в том же количестве что и обычные частицы в период нуклеосинтеза [12].

**Физическая космология горячей Вселенной**

 Предполагая симметричность начальных условий, во всех случаях, исключая очень большие зеркальные домены, релятивистские частицы обычного и зеркального вещества присутствуют в одинаковом количестве и имеют одинаковую температуру. Таким образом, в ранней горячей Вселенной необходимо учитывать вклад в общую плотность как обычного, так и зеркального вещества. Покажем, что наличие зеркального вещества повлияет на значение температуры, при которой происходит отцепление нейтрино. Пока характерное время слабого взаимодействия τ меньше космологического времени t частицы находятся в термодинамическом равновесии (скорость процессов, связанных со слабым взаимодействием превышает скорость расширения Вселенной). Но когда τ становится больше t, нейтрино выходит из термодинамического равновесия. Характерное время слабого взаимодействия может быть вычислено по формуле:

 *τ = (nσv)-1* (1)

 где n – концентрация электрон-позитронных пар, (σv) – скорость их взаимодействия с нейтрино.

 Электрон-позитронные пары подчиняются распределению Ферми-Дирака, и их концентрация (RD-стадия) в зависимости от температуры имеет вид:

 $n=\frac{4 ζ\left(3\right)T^{3}}{π^{2}}$(2)

 Сечение слабого взаимодействия можно оценить по формуле:

$σ\~ G\_{F }^{2}T^{2}$(3)

 Скорость расширения Вселенной зависит от плотности вещества следующим образом:

 $H \~\frac{\sqrt{k\_{ε}}T^{2}}{m\_{pl}}$ (4)

 где $k\_{ε}$ – число ультрарелятивистских степеней свободы.

 По формулам (1) – (4) можно получить зависимость температуры отцепления нейтрино от числа ультрарелятивистских степеней свободы:

 $T\~\frac{k\_{ε}^{1/6}}{(G\_{F}^{2}m\_{pl})^{1/3}}$ (5)

 Так как общее число ультрарелятивистских степеней свободы:

 $k\_{ε}=1+ \frac{7}{8}∙2+ \frac{7}{8} ∙3=\frac{43}{8}$ (6)

 С учетом зеркального вещества число степеней свободы вырастет в 2 раза, что приведет к увеличению температуры отцепления нейтрино в 1,12 раз.

 Когда характерное время слабого взаимодействия превышает космологическое время, β-процессы, в которых протоны преобразуются в нейтроны и нейтроны в протоны,

 $ν\_{e}n\rightarrow ep,\overline{ν}\_{e}p\rightarrow e^{+}n,ep\rightarrow ν\_{e}n,e^{+}n\rightarrow \overline{ν}\_{e}p$ (7)

выходят из равновесия, и происходит закалка отношения количества нейтронов и количества протонов. Оценим отношение количества нейтронов к количеству протонов, как в зеркальном, так и обычном мире с учетом увеличения температуры отцепления нейтрино. Так как нейтроны и протоны являются нерелятивистскими при данной температуре, их отношение может быть вычислено следующим образом:

 $\frac{n}{p}= e^{(-\frac{∆m\_{np}}{T})}$ (8)

 Тогда, для обычных протонов и нейтронов (без зеркальных частиц эта величина равна 1/6):

 $\frac{n\_{O}}{p\_{O}}≈ \frac{1}{5}$ (9)

 Для зеркальных протонов и нейтронов это отношение зависит от разницы их масс. Учитывая, что 0 < mp – mn < 0,5 МэВ:

$1<\frac{n\_{M}}{p\_{M}}<1,9$(10)

 Так как, для зеркальных частиц mp < mn + me, следовательно, распад протона запрещен ($p \rightarrow n+ e^{+}+ ν\_{e}$), и зеркальные протоны и нейтроны являются стабильными частицами.

 Оценим долю обычного первичного гелия при условии наличия зеркального вещества. При температурах выше 0,1 МэВ образованию первичного гелия препятствует реакция фото-расщепления дейтерия:

$γ+D \rightarrow p+n$(11)

 За время, необходимое для достижения такой температуры, часть нейтронов распадется, и отношение количества нейтронов к количеству протонов составит:

$\frac{n\_{O}}{p\_{O}} ≈0,18$(12)

 Тогда вклад первичного гелия в плотность барионного вещества составит:

$\frac{ρ\_{He}}{ρ\_{B}} ≈ \frac{2(\frac{n}{p})}{1+n/p} ≈0,30$(13)

Полученный результат противоречит широко распространенному верхнему пределу на обилие первичного гелия (Y < 25%) [11].

 Определим первичный химический состав зеркального вещества. При температурах ниже 0,1 МэВ фоторасщепление неактивно, и весь образуемый зеркальный дейтерий принимает участие в последующих термоядерных реакциях:

$$D+D \rightarrow T+p =>T+D \rightarrow + n$$

 $D+D \rightarrow $ (14)

 Благодаря высокой скорости образования дейтерия и 4He, практически все протоны перешли в 4He. Отсутствие стабильных ядерных состояний с атомным номером А = 5 создает почти непроходимый барьер для дальнейших ядерных превращений первичного нуклеосинтеза. Таким образом, первичный химический состав зеркального вещества в основном состоит из 4He и n. Массовая доля зеркального гелия:

 $X\_{He}= \frac{2}{1+n/p} \in (0,69 ;1)$ (15)

 Массовая доля свободных нейтронов в таком случае составляет:

$X\_{n}= \frac{n-p}{n+p} \in (0 ;0,31)$ (16)

 Так как Вселенная расширяется, не все протоны могли быть захвачены ядрами дейтерия ($p+n \rightarrow D+ γ$) с последующим образованием гелия. Оценим максимальную концентрацию свободных протонов. Условие максимальности концентрации свободных протонов будет при условии $n\_{n}= n\_{p}$ ($n\_{p}$ – концентрация протонов, $n\_{n}$ – концентрация нейтронов). В этом случае концентрация нуклонов на момент нуклеосинтеза $(T\_{NS}≈60 кэВ , t\_{NS}≈140 c)$:

 $n\_{p}=n\_{n}= η\_{B}\frac{ ς(3)}{π^{2}} T\_{NS}^{3}≈2∙10^{18} см^{-3}$ (17)

 где барион-фотонное отношение $η\_{B} \~ 10^{-9}$.

 Зависимость концентрации протонов от времени может быть найдена из уравнения:

 $\frac{dn\_{p}}{dt}=n\_{p}^{2}(συ)\_{p\left(n,γ\right)D}$ (18)

 где $(συ)\_{p\left(n,γ\right)D}$ – сечение образования дейтерия (6·10-20 см3/с). Время, при котором прекращается образование дейтерия, может быть оценено следующим образом:

 $n\_{p }(συ)\_{p\left(n,γ\right)D} ≈ H$ (19)

 Тогда максимальная массовая доля свободных протонов составит:

$X\_{p} \~ 0,01$(20)

 Также следует отметить, что гипотеза зеркального вещества с симметричными начальными условиями не решает полностью проблему темной материи:

 $Ω\_{DM}≈0,22>Ω\_{MM} \~ Ω\_{OM}$ (21)

 где $Ω\_{DM}$ – плотность темной материи, $Ω\_{MM}$ – плотность зеркального вещества, $Ω\_{OM}$ – плотность обычного барионного вещества.

 В данной модели зеркального мира будут образовываться звезды, состоящие из 4He и нейтронов. Из-за отсутствия свободных протонов, реакции синтеза будут начинаться при больших, чем в обычном мире плотностях и температурах.

**Заключение**

 В данной работе была рассмотрена модель зеркального мира с отношением масс нуклонов $m\_{p}-m\_{e}<m\_{n}< m\_{p}$. Были получены следующие результаты:

 - вклад первичного гелия в плотность обычного барионного вещества с учетом зеркальных частиц составляет: $\frac{ρ\_{He}}{ρ\_{B}} ≈ \frac{2\left(\frac{n}{p}\right)}{1+\frac{n}{p}} ≈0,3.$

 - первичный химический состав зеркального вещества в зависимости от $m\_{n}-m\_{p}$: $X\_{He}\in \left(0,69 ;1\right), X\_{n}\in \left(0 ; 0,31\right),$ $X\_{p}< 0,01$.

 - при симметричных начальных условиях зеркальное вещество не решает полностью проблемы скрытой массы.

**Список литературы**

1) T. D. Lee, C. N. Yang «Question of Parity Conservation in Weak Interactions», Physical Review, 104, 254–258, 1956.

2) C.S. Wu, E. Ambler, R.W. Hayward, D.D. Hoppes, R.P. Hudson, "Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay", Phys. Rev. 105, 1413 – 1957.

3) Л.Д. Ландау, «О законах сохранения при слабых взаимодействиях», ЖЭТФ, 1957.

3) J.H. Christenson, J.W. Cronin, V.L. Fitch, R. Turlay, “Evidence for the 2π decay of the $K\_{2}^{0}$ meson”, Phys. Ref. Lett. 13, 138 – 1964.

5) И. Ю. Кобзарев, Л. Б. Окунь, И. Я. Померанчук, «О возможности экспериментального обнаружения зеркальных частиц», Советский журнал ядерной физики, 3, 837 ,1966

6) Okun L. B. "On a search for mirror particles", Preprint ITEP-149 (Moscow: ITEP, 1983) and Addendum to the preprint.

7) Зельдович Я.Б, Хлопов М.Ю. «Масса нейтрино в физике элементарных частиц и космологии ранней Вселенной» УФН. 135, 45 (1981).

8) Zeldovich Ya.B., Khlopov M. Yu. (1978). Phys. Lett. 79B, 239.

9) Linde A.D. (1985). Phys. Lett. 160B, 243.

10) Дубрович В.К., Хлопов М.Ю. (1989). Астрон. ж. 66, 232.

11) Steigman G., Olive K.A., Schramm D.N. (1979). Phys. Lett. 50, 928.

12) М. Ю. Хлопов - «Основы космомикрофизики» М.: УРСС, 2004.