

1 Министерство образования и науки Российской Федерации

2
3
4 Федеральное государственное автономное образовательное
5 Учреждение высшего образования
6 «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
7

8
9 РЕФЕРАТ НА ТЕМУ:
10 «Теневая материя с 4 поколением фермионов»
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

г. Москва

51	Оглавление	
52	Зеркальная материя	3
53	Модель с 4-ым поколением фермионов	3
54	Бариосинтез.....	3
55	Первичный нуклеосинтез	4
56	Инфляция.....	5
57	Заключение.....	5
58	Список литературы.....	6
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		

Зеркальная материя

Зеркальная метрия представляет из себя гипотетическую модель материи, которая является аналогом обычной материи. В данной модели предполагается, что каждая элементарная частица имеет своего зеркального партнера. Отличие данных частиц состоит в том, что обычные частицы имеют левостороннее взаимодействие, а зеркальный партнер имеет правостороннее взаимодействие. Благодаря данному предположению, в такой модели осуществляется сохранение P - четности в слабом взаимодействии. Взаимодействие зеркальной материи с обычной происходит либо через кинетическое смешивание зеркальных бозонов, либо через обмен Холдома. Такие взаимодействия являются слабыми, поэтому зеркальные вещества рассматривают, как кандидатов темной материи.

Модель с 4-ым поколением фермионов

Введем в зеркальную материю группу симметрии $SU(4)$, состоящую из 4-ёх поколений фермионов. Если Вселенная является барионной асимметричной, тогда она может привести к небарионной темной материи во Вселенной. Нарушение $SU(4)$ -симметрии между четырьмя поколениями ее подгруппы $SU(3) \times U(1)_F$ отделяет фермионы четвертого поколения от фермионов третьего поколения. Если заряд F - генератор группы $U(1)_F$ - сохраняется в процессе бариосинтеза, как это происходит образование барионной асимметрии автоматически приводит к образованию темной материи, состоящей из массивного нейтрино четвертого поколения. Массовая плотность темной материи во Вселенной существенно превышает массовую плотность барионной материи.

Рассматриваем модель в электрослабом взаимодействии. Известно, что электрослабый процесс может протекать с участием сфалерона. Сфалерон приводит к нарушению сохранения лептонного числа и барионного числа. В статье [4] было показано, что $B-L \neq 0$, где B – барионное число и L – лептонное число. Известно, что при больших температурах сфалероны обеспечивают равенство $B+L=0$.

Так как в нашей модели наблюдаются B - и L -асимметрии, то получается у нас нестабильные частицы. В нашей модели частицы 4-го поколения являются зеркальными частицами.

Бариосинтез

Бариосинтез – процесс генерации барионной асимметрии. Для этого процесса необходимо выполнение трех условий А. Сахарова:

1. Несохранение барионного числа (B)
2. Нарушение C - и CP - симметрии
3. Нарушение термодинамического равновесия

Первоначально, рассмотрим стабильные 4 поколения фермионов. В модели с 3-мя поколениями фермионов не происходит нарушение CP -нарушения, так как 3 поколения – это минимальное требование, при котором

возможно будет происходить CP нарушение. Если взять 4 поколения, тогда количество CP-нарушения является достаточным для возникновения барионной асимметрии.

Так как мы рассматриваем модель электрослабого взаимодействия, то в модели наблюдается электрослабый бариосинтез. Предположим, что заряд F сохраняется. Распишем F и B+L:

$$F = \frac{1}{3}(n_q + n_l) - (n_{4q} + n_{4l}) = 0 \quad (1)$$

$$B + L = \frac{1}{3}(n_q + n_{4q}) + (n_l + n_{4l}) = 0 \quad (2)$$

В формулах (1)-(2) n_l и n_q являются плотностями кварков и лептонов, принадлежащих обычной материи в трех поколениях фермионов. А n_{4q} и n_{4l} являются плотностями кварка и лептона четвертого поколения. Из выражений (1)-(2) можно выразить плотности кварков и лептонов четвертого поколения в терминах обычной материи и получить:

$$n_{4q} = 2n_l + n_q \quad (3)$$

$$n_{4l} = -\frac{1}{3}n_q - n_l \quad (4)$$

Первичный нуклеосинтез

Первичный нуклеосинтез – является важным этапом эволюции Вселенной. Первичный космологический нуклеосинтез происходит в горячей Вселенной. Вселенная начинает расширяться, что приводит к термодинамической выгоде объединения нейтронов и протонов в ядре. В результате данного объединения образуется первичный He. Данный этап является важным потому, что он является наиболее ранней стадией эволюции горячей Вселенной, для которой можно сравнить прямое наблюдение с теорией.

Из первичного нуклеосинтеза можно сделать вывод по верхнему пределу на кол-во типов нейтрино $N_\nu < 1$. Существование дополнительного семейства не противоречит данному пределу потому, что масса у дополнительного семейства большая. Большая масса уменьшает плотность распределения тяжелых нейтрино. С помощью измерения ширины Z^0 и предположения, что из-за аннигиляции частицы распадаются во время их закали, накладываются ограничения на массы тяжелых нейтрино. Из этого получается такой диапазон возможных масс тяжелых нейтрино: $T \leq m_\nu \leq \frac{m_Z}{2}$.

В период нуклеосинтеза релятивистские зеркальные частицы присутствуют в том же количестве, что и обычные релятивистские частицы. Получается, что необходимо учитывать вклад зеркальных частиц после первой секунды расширения. Так как теперь приходится учитывать и обычные, и зеркальные релятивистские частицы, то этот перерасчет приводит к росту первичного обилия ${}^4\text{He}$ $Y_{prim} \geq 28\%$. Так как не наблюдается смесь обычного и зеркального вещества, то можем предположить, что данная смесь является темным веществом.

Инфляция

В космологических моделях инфляция реализуется медленно катящимся скалярным полем, называемым инфлатоном, плотность энергии которого доминирует в ранней истории Вселенной. Инфлатон - это гипотетическое скалярное поле, с помощью которого создан период быстрого расширения от 10^{-35} до 10^{-34} секунд после первоначального расширения. Существует много моделей частиц, которые описывают барионную асимметрию Вселенной и имеют своих кандидатов на роль скрытой массы.

Рассмотрим модель инфляция для зеркальных частиц. Возьмем без зеркальный инфлатон, который будет создавать инфляцию. Его доменная структура будет сформирована из случайной локальной асимметрии амплитуд обычного и зеркального скалярных полей. Зеркальный домен для обычных частиц выглядит, как пустота. Это сделано для того, чтобы на РД стадии не было столкновений субрелятивистских ударных волн. Так же разрешен крупномасштабный зеркальный домен, который соответствует массам $M \ll 10^{16} M_{\odot}$.

Заключение

В данной работе рассмотрена модель с 4-ым поколением фермионов. В этой модели наблюдались: барионная асимметрия, лептонная асимметрия, бариосинтез. Поведение данной модели было рассмотрено на инфляции, на бариосинтезе и на первичному нуклеосинтезу.

Список литературы

1. Емельянов В. 2007. Стандартная модель и её расширение. Физматлит.
2. Volovik G. E. 2003. "Dark Matter from the SU(4) Model." *JETP Letters* 78(11):691–94.
3. Хлопов, М. Ю. 2011. *Основы Космофизики*.
4. Kuzmin, V. A., Rubakov, V. A., & Shaposhnikov, M. E. (1985). On anomalous electroweak baryon-number non-conservation in the early universe. *Physics Letters B*, 155(1-2), 36–42. doi:10.1016/0370-2693(85)91028-7
5. Harvey, J. A., & Turner, M. S. (1990). Cosmological baryon and lepton number in the presence of electroweak fermion-number violation. *Physical Review D*, 42(10), 3344–3349. doi:10.1103/physrevd.42.3344
6. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. 2006. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва.
7. Waqas Ahmed, Athanasios Karozas. 2018. Inflation from a No-scale supersymmetric SU(4)_c×SU(2)_L×SU(2)_R model.
8. David E. Morrissey, Michael J. Ramsey-Musolf. 2012. Electroweak baryogenesis.