МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Институт ядерной физики и технологий (ИЯФиТ)

КАФЕДРА №40

«Физика элементарных частиц»

РЕФЕРАТ НА ТЕМУ:

Модель горизонтального объединения – проблема решения на малой энергетической шкале

(Model of Horizontal unification – problem of low scale solution)

Выполнил: Никифоров А.Г.

Группа: М18-115

Принял: д.ф.-м.н. Хлопов М.Ю.

Москва 2018

Содержание

1. Введение

Проблема поколений фермионов остается одной из центральных проблем физики элементарных частиц. Стандартная калибровочная модель *SU(3)SU(2)U(1)*, так же как и нее «вертикальные» расширения, основывающиеся на калибровочных группах объединения SU(5), SU(10) и так далее, построены в рамках одного фермионного поколения.

В этих моделях юкавские связи произвольны и должны изначально задаваться для каждого фермиона в отдельности, чтобы воспроизводились экспериментальные данные по их массам и углам смешивания. Равноправие между кварк-лептонными поколениями относительно сильного и электрослабого взаимодействий в значительной степени предполагает существование «горизонтальной» симметрии между этими поколениями.

Под действием этой симметрии левополярные кварки и лептонные компоненты преобразуются как SU(3)H триплеты, а правополяризованные – как антитриплеты. Их массовый член преоббразуется как и, следовательно, может возникать только в результате нарушения горизонтальной симметрии.

Чтобы построить реалистическую модель нарушения горизонтальной симметрии, нужно ввести довольно широкий набор параметров. Но в модели с горизонтальным объединением параметров меньше, чем в реалистической модели без горизонтальной симметрии. Большинство этих параметров фиксируется экспериментальными данными о свойствах кварков и лептонов. К тому же, совокупность нетривиальных физических явлений, предсказываемых на основе модели, в принципе обеспечивает полную проверке модели и определение всех ее параметров.

Эти новые явления возникают на очень высоком энергетическом масштиабе нарушения горизонтальной симметрии *F*, который имеет порядок величины *F >* 105 ÷ 106, что делает их недоступными излучению на ускорителях даже в отдаленном будущем.

Модель предложенная в [] удовлетворяет следующим условиям естественности:

1. Естественное подавление нейтральных токов с изменением аромата (FCNC)
2. Естественная горизонтальная иерархия.
3. Естественное решение в КХД проблемы *CP –* нарушения

Следствия из модели:

1. Нейтральные токи, меняющие аромат, связанные с аксионом и взаимодействиями горизонтальных бозонов;
2. Существование майорановской массы нейтрино и иерархия масс нейтрино различных поколений;
3. Нестабильность более тяжелых нейтрино относительно аксионных распадов на более легкие нейтрино;
4. Существование метастабильных сверхтяжелых фермионов.

Модель доступна проверке в сочетании таких тестов, как поиск массы нейтрино, поиск осцилляций нейтрино, изучение переходов и В0 0 поиск аксионных распадов.

ГЛАВА 1. Калибровочная модель нарушения симметрии между поколениями

В расширении *SU(2)U(1)* модели электрослабого взаимодействия, которая предполагает локальную киральную симметрию *SU(3)H*  между поколениями фермионов, кварки и лептоны собраны в следующие представления группы *SU(2)U(1) SU(3)H*

где *SU(3)H* , индекс *α =* 1, 2, 3 указывает поколение.

Скаляры, которые нарушают горизонтальную симметрию, могут преобразовываться как *SU(3)H* секстеты или триплеты. Все они должны быть синглетами по группе *SU(2)U(1),* чтобы предотвратить нарушение электрослабой симметрии на масштабе нарушения *SU(3)H* . Генерация реалистической массовой матрицы для кварков и лептонов требует по крайней мере 3 таких «горизонтальных» скаляра.

Глава 2. Ранняя Вселенная в модели горизонтального объединения

2.1. Динамика инфляции

В сценарии инфляции, который реализуется в рамках модели горизонтального объединения, в качестве инфлатона используется хиггсовское поле *η*. В общем случае, вакуумное среднее определяет в модели горизонтального объединения подавление масс нейтральных фермионов (легких нейтрино) относительно заряженных фермионов

Потенциал хиггсовского поля:

где *f* – энергетический масштаб спонтанного нарушения глобальной симметрии. Это означает, что простейшая реализация горизонтальной симметрии соответствует простейшему сценарию хаотической инфляции.

Таким образом, все сводится к инфляционной модели с одиночным медленно скатывающимся скалярным полем с заданным потенциалом. Это означает, что простейшая реализация горизонтальной симметрии соответствует простейшему сценарию хаотической инфляции, и что зафиксировав параметры потенциала инфлатона в период генерации флуктуаций микроволнового фона для 60-го е-фолдинга. Можно ограничить плотность энергии инфлатона в окончания инфляции. Используя этот потенциал, можно рассчитать амплитуду возмущения плотности . Для моделей с плоскими спектрами и незначительными гравитационными волнами, соответствующих моделям горизонтального объединения, соответствующий результат был получен в COBE . Также можно оценить значение хаббловской постоянной в период окончания инфляции , для широкого диапазона вакуумных средних *f* , которая составит .

2.2. Образование первичных черных дыр

Зельдович и Новиков в 1967 и Хокинг в 1971 годах показали, что формирование черной дыры малой массы в принципе возможно (меньше предела Чандрасекара), при приложении достаточно сильного внешнего давления [1,2]. Нужные для этого условия могли иметь место, однако, только в очень ранней вселенной. Силы притяжения могут локально остановить расширение части вещества и обратить его в коллапс, если «самогравитация» вещества превышает его внутреннюю энергию:

В эру доминирования излучения , потому вышеприведенное условие равносильно , где - размер неоднородности. Тогда формируется первичная черная дыра массы *М.*

Анализируя образование первичных черных дыр (ПЧД) в ранней вселенной, можно оценить поведение спектра возмущений плотности энергии в ультрафиолетовой области. Вероятность того что ПЧД сформируется, для диапазона масс *М*, определяется хвостом гауссовского распределения флуктуаций плотности, она определяет долю полной плотности, которая переходит в ПЧД с массой *М*.

Масса ПЧД, родившейся на момент времени *t*, должна быть, по меньшей мере, от массы горизонта, так что

Для ранней Вселенной обычно γ берут равным 1/3, что соответствует уравнению состояния на радиационно-доминированной стадии. В пылевой стадии, которой соответствует уравнение состояния *p =* 0, флуктуации плотности растут и образуют гравитационно связанные объекты.Тогда доля полной плотности, переходящая в ПЧД, зависит от вероятности сжатия этих объектов под шварцшильдовский радиус. Прямому коллапсу ПЧД в период образования соответствует минимальная вероятность, которая составляет:

Эта вероятность верна для образования ПЧД с массой в диапазоне ( – масса внутри космологического горизонта на момент и – масса объекта, обособляющая от расширения непосредственно при ), только если пылевая стадия происходит в период . дается неявно выражением:

Инфляционная модель предполагает, что после окончания хаотической инфляции возможно возникновение мягкого уравнения состояния в периоде разогрева. Пока происходит разогрев идут осцилляции инфляционного поля вокруг минимума потенциала, начиная со времени . Сам разогрев происходит за счет трения, возникающего при взаимодействии скалярного инфлатонного поля с другими частицами, при котором кинетическая энергия колебаний поля переходит в фоновое излучение. Процесс разогрева завершается при распаде инфлатона и определяется шириной распада

По окончании инфляции, начинается пылевая стадия, с момента времени , и продолжается до завершения разогрева Вселенной в момент времени , когда скалярное поле быстро распадается на релятивистские частицы.

Подставляя значение в (6), находится вероятность образования ПЧД, которая приводит к незначительному эффекту их существования и испарения. Для внутренней согласованности модели горизонтального объединения требуется ввести ограничение на образование ПЧД, которая гарантирует правильную структуру массовой матрицы фермионов, генерируемой дираковским механизмом «see-saw»

где G – константы взаимодействий, ξ – вакуумные средние горизонтальных скаляров. Для минимального самодействия инфлатона необходимо чтобы выполнялось условие . Такое значение масштаба нарушения горизонтальной симметрии влечет за собой проблему образования доменных стенок за счет флуктуаций вещественного инфлатонного поля в пылевой стадии. Для ее решения берут , что приводит к длительной постинфляционной пылевой стадии, или вводят комплексное инфлатонное поле, для которого потребуется ввести неминимальную модель аксиона. Следовательно, решение данной проблемы в модели горизонтального объединения требует более сложного многопараметрического космологического сценария.

2.3. Ранние «горизонтальные» фазовые переходы

Взаимодействие скалярных полей с инфлатоном приводит к фазовым переходам на инфляционной стадии, из-за приобретения хиггсовскими полями положительной массы, когда в процессе медленного скатывания происходит фазовый переход.

При этом в спектре возмущений плотности возникают характерные пики. Kofman, Linde (1987) первыми указали на существование таких пиков в сценарии хаотической инфляции [3]. В период порядка (40 ÷ 1) е-фолдинга до окончания инфляции, пики покидают горизонт, но вторично входят под нее на радиационной или пылевой стадии и могут, в принципе, сжаться, сформировав ПЧД. Массы дыр отличаются, в зависимости от стадии их сформирования. ПЧД сформированные на радиационной стадии, масса определяется:

где – постоянная Хаббла. Если ПЧД формируются на пылевой стадии:

В модели горизонтального объединения массы бозонов связаны с масштабами нарушения горизонтальной симметрии, которые могут задаваться соотношениями

где вакуумные средние хиггсовских полей , *i =* 0, 1, 2, следуют иерархии и .

Минимальное взаимодействие инфлатона с горизонтальными скалярами определяется фермионными петлевыми поправками и дается выражением:

происходит *i*-й фазовый переход, когда амплитуда поля *η* падает ниже . При этом в спектре адиабатических возмущений возникает пик с контрастом плотности

где [4]

2.4. Распределение первичного аксионного поля

Анализ модели холодной скрытой массы (CDM), основанной на модели невидимого аксиона [5] показал, что существует крупномасштабная неоднородность в распределении плотности энергии когерентных колебаний первичного аксионного поля, характерная и для всех остальных моделей аксионной холодной скрытой массы, были названы *архиолями* (Сахаров, Хлопов, 1994 а).

В общем случае, аксионное поле возникает в ранней Вселенной после фазового перехода, нарушающего симметрию Печчей—Куин (PQ). Аксион соответствует фазе *θ* комплексного хиггсовского бозона, нарушающего PQ-симметрию и остающегося почти безмассовым, пока не происходит КХД фазовый переход в ранней Вселенной. Крупномасштабные модуляции распределения фазы *θ* возникают из-за образования и трансформации топологических дефектов в последовательности двух (PQ и КХД) фазовых переходов. Когда в ходе расширения температура Вселенной падает до *Fa* (шкала нарушения PQ-симметрии и константа),происходит PQ-фазовый переход, при котором образуются аксионные нити.

При снижении температуры Вселенной до таких значений, что температура теплового фона излучения *T* примерно равнялась температуре *T1,* происходит устранение вырождения вакуума θ так, что минимум энергии при числе поколений N=1 соответствует вакууму с θ=2πk, где k – целое число, при этом переход фазы на 2π приводит к возникновению крупномасштабных особенностей. Вакуумное состояние *θ* фиксируется во всех точках вокруг нити. Исключение составляет поверхность в направлении θ= πот нити. Пересекая эту поверхность, мы попадаем из одного вакуума в другой, и таким образом вдоль этой поверхности формируются аксионные стенки. При включении массы вакуумные стенки, ограниченные структурой нитей, возникают и распадаются, отразившись в структуре архиолей. Существует модельно-независимое ограничение на шкалу нарушения PQ-симметрии в модели невидимого аксиона ГэВ.

Глава 3. Космология скрытой массы

В зависимости от значения физического параметра , существует несколько форм скрытой массы во Вселенной. В общем случае, имеется шесть различных сценариев скрытой массы, которые могут реализоваться в рамках МГО.

1. Сценарий холодной скрытой массы(CDM)
2. Сценарий горячей скрытой массы(HDM)
3. Релятивистская нестабильная скрытая масса(UDM)
4. Сценарий нерелятивистской UDM
5. Сценарий релятивистского иерархического распада нейтрино (HND)
6. Сценарий нерелятивистского HND

Заключение

Список литературы

1. Zel'dovich Y. B., Novikov I. D. The hypothesis of cores retarded during expansion and the hot cosmological model //Soviet Astronomy. – 1967. – Т. 10. – С. 602.
2. Hawking S. Gravitationally collapsed objects of very low mass //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1971. – Т. 152. – №. 1. – С. 75-78.
3. Kofman L. A., Linde A. D. Generation of density perturbations in inflationary cosmology //Nuclear Physics B. – 1987. – Т. 282. – С. 555-588.
4. Сахаров А. С., Хлопов М. Ю. (1993). Ядерная физика. 56, 220 [Sov. J. Nucl. Phys. 56, 412].
5. Сахаров А. С., Хлопов М. Ю. (1994 а). Ядерная физика. 57, 514 [Phys. Atomn. Nucl. 57, 485].