МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

(НИЯУ МИФИ)

ФАКУЛЬТЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙЙ ФИЗИКИ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Реферат по космомикрофизике на тему:

**«Модель горизонтального объединения. Проблема решения на низком энергетическом маштабе.»**

Выполнил:

студент группы M16-115

Новиков К.Д.

Проблема поколений фермионов остается одной из главных проблем в физике элементарных частиц. Стандартная модель SU(3)\*SU(2)\*U(1), так же как и ее расширения, основывающиеся на калибровочных группах объединения SU(5), SU(10)… построены в рамках одного фермионного поколения и не содержат каких-то глубоких физических причин для возникновения иерархии масс между поколениями фермионов.

Равноправие между кварк-лептонными поколениями относительно сильного и электрослабого взаимодействий предполагает существование «горизонтальной» симметрии между этими поколениями. Разумно рассматривать концепцию локальной симметрии SU(3)H . Под действием этой симметрии, левополяризованные кварки и лептонные компоненты преобразуются как SU(3)H триплеты, а правополяризованные как антитриплеты. Их массовый член преобразуется как 3\*3=6\* и, следовательно, может возникать только в результате нарушения горизонтальной симметрии. Анализ горизонтального объединения как феноменологии теории всего, мог быть полезен для правильного выбора реалистичной модели, существующих в рамках моделей суперструн.

Модель, предложенная в (Бережиани, Хлопов,1990, Бережиани и др. 1990,1992, Сахаров, Хлопов, 1993) горизонтального объединения 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

К неизбежным следствиям модели относятся:

* Нейтральные токи, меняющие аромат, связанные с аксионом и взаимодействиями горизонтальных бозонов;
* Существование майорановской массы нейтрино и иерархия масс нейтрино относительно аксионных распадов на более легкие нейтрино
* Существование метастабильных сверхтяжелых фермионов.

Модель доступна проверке в сочетании таких тестов, как поиск массы нейтрино, поиск осцилляций нейтрино, изучение переходов К0 ->0 и В0 ->0 и поиск аксионных распадов.

Полагается, что глобальная симметрия нарушена на энергетическом масштабе f и что поле ƞ имеет потенциал:

V(ƞ) = λ(ƞ2 –2( 2 )2

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. Можно зафиксировать параметры потенциала инфлатона, использовав наблюдательные ограничения на плотность энергии инфлатона в период , во время которого были сгенерированы флуктуации микроволнового фона. Используя ограничение для 60-го e-фолдинга от конца инфляции можно ограничить плотность энергии инфлатона в период окончания инфляции. Используя потенциал инфлатона(гипотетическая элементарная частица, являющаяся квантом скалярного инфлатонного поля, которое, согласно инфляционной теории, ответственно за быстрое расширение Вселенной в период 10−35÷10−34 секунд после Большого взрыва)  можно рассчитать амплитуду возмущений плотности δH (k). Для моделей с плоскими спектрами и незначительными гравитационными волнами, соответствующих моделям горизонтального объединения:

δH ~1.7\*10-5  -это значение воспроизводит результат СОВЕ.

Взаимодействие скалярных полей с инфлатоном приводит к фазовым переходам на инфляционной стадии. Когда в процессе медленного скатывания амплитуда инфлатонного поля падает ниже некоторого критического значения ƞс , массовый член в в хиггсовском потенциале меняет знак, и тогда происходит фазовый переход. Было указано(Сахаров, Хлопов, 1993), что «горизонтальные» фазовые переходы приводят к возникновению характерных пиков в спектре возмущений плотности, что было указано Kofman, Linde(1987) для сценария хаотической инфляции.Эти пики возмущений в масштабах, покидающих горизонт в период порядка(40-1) е-фолдинг до окончания инфляции, вторично входят под горизонт на радиационной или пылевой стадии и могли, в принципе, сжаться, сформировав ПЧД. Данные эффекты характерны для большей энергетической шкалы и далее рассматриваться не будут.

Даже в своем простейшем варианте модель горизонтального объединения обеспечивает механизм бариосинтеза с несохранением барионного числа, не связанным с моделями ВО. Этот механизм сочетает несохранение (B+L) в электрослабых переходах при высоких температурах и неравновесные переходы с ΔL=2, обусловленные физикой майорановской массы нейтрино. При правильном порядке величины и знаке средней барионной ассиметрии может иметь место пространственное изменение барионного заряда. Такое изменение может быть вызвано модуляцией θ(x), если в процессах бариосинтеза существенную роль играет СР-нарушение за счет аксионов. Барионная ассиметрия в таком случае может зависеть от θ(х), которая является суммой постоянной и пространственно-зависимой величин:

Δ()= Δ0 + Δ1 sinθ()

В случае, когда пространственно-зависимая амплитуда аксионного вклада превышает постоянный барионный избыток Δ1 > Δ0 ,, в области, отвечающей условию

| θ(x)-π + 2 πk|> arcos() , образуется избыток барионов.

В случае нарушенной симметрии поколений «see-saw» механизм генерации массы нейтрино дает иерархию масс, обратную по отношению к иерархии нарушения горизонтальной симметрии. Масса обычного легкого нейтрино обратно пропорциональна майорановской массе тяжелого партнера . В случае модели обратной иерархии та же самая обратная пропорциональность имеет место и для тяжелых партнеров кварков и заряженных лептонов. В модели горизонтального объединения, углы смешивания, характеризующие амплитуду осцилляций нейтрино, определяются относительным вращением в горизонтальном групповом пространстве массовых матриц нейтрино и заряженных лептонов. Поэтому экспериментальные ограничения на углы смешивания нейтрино в поисках осцилляций нейтрино накладывают верхние ограничения на отклонения отношений масс нейтрино от строгой пропорциональности соответствующим отношениям масс заряженных лептонов.

Совокупность космологических и астрофизических ограничений оставляют два интервала энергий, где может быть разрешена данная модель(ϑPQ~1010GeV , ϑPQ~106 GeV). Для «низкой» шкалы нарушения симметрии поколений ϑPQ~106 ГэВ предсказываемый эффект майорановской массы нейтрино весьма близок к современной чувствительности поисков двойного безнейтринного распада. С другой стороны, предсказываемые в модели с «низкой» шкалой значения разности квадратов масс нейтрино находятся в резком противоречии с этими параметрами, определенными из экспериментальных указаний на наличие нейтринных осцилляций в экспериментах SNO, KamLAND, K2K и SuperKamiokande. В оставшейся области , ϑPQ~1010 GeV, аксионный вклад в плотность оказывается недостаточным для общей плотности скрытой материи. Эти результаты привели к опровержению модели , придав основанному на этой модели космологическому сценарию исключительно иллюстративный характер.

В рамках модели горизонтального объединения, непрерывно изменяя фундаментальный физический параметр ϑPQ , мы получаем плавный переход от доминантности одной формы скрытой массы к доминантности другой такой формы во Вселенной. Модель позволяет сделать определенные предсказания для каждого типа скрытой массы, исходя из комбинации космологических, астрофизических и физических ограничений. 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

Модель смешанной скрытой массы CDM + HDM рассматривается как довольно естественное решение в космологии горизонтального объединения, т.к. диапазон для ϑPQ практически совпадает с интервалом, соответствующим аксионной холодной скрытой массе.

UDM соответствует в модели горизонтального объединения доминантности во Вселенной релятивистских архионов и νμ , которые возникают при распадах ντ с массой 50-100 эВ и временем жизни 4\*1015-1016с. Мюонные нейтрино от распадов являются релятивистскими в современной Вселенной из-за того, что их масса не превышает 5 эВ. В ее нерелятивистском сценарии доминантность нерелятивистских νμ дает, что τ(νμ -> νe +a)>tB

сценарии полностью исключены ограничениями на ϑPQ , полученными из наблюдений нейтринного импульса от SN1987A.

В сценарии HND считается, что в современной Вселенной доминируют релятивистские архионы и электронные нейтрино от распадов мюонных нейтрино с массой m νμ~50-100 эВ и временем жизни τ=4\*1015-1016с при условии быстрого распада тау-нейтрино с массой m ντ~1-10 кэВ и временем жизни τ<108-1010с.

Доминантность нерелятивистских или полурелятивистских архионов, возникающих в ранних распадах ντ, реализуется в случае ma>m νe .Основной вклад в неоднородную скрытую массу (в скоплениях галактик и гало галактик) обеспечивается как фоном первичных тепловых архионов, так и нерелятивистскими архионами от ранних распадов ντ. Полная плотность учитывает также доминирующий вклад однородного фона архионов от недавних распадов νμ.

=cr В обратном случае ma<m νe нерелятивистские νе., как первичные, так и от распадов νμ и ντ, дают свой вклад в современную космологическую плотность

=cr Так модель горизонтального объединения могла обеспечивать единую физическую основу для холодной скрытой массы, HDM, релятивистской и нерелятивистской нестабильной скрытой массы и иерархического распада нейтрино.

Эксперименты, которые позволяют дать критический анализ данной модели горизонтального объединения, и низкоэнергетической шкалы нарушения этой симметрии, являются эксперименты по измерению массы нейтрино, поиску 0ν2β – распада и нейтринных осцилляций. Для всей МГО основополагающими являются эксперименты по поиску аксиона и его константы взаимодействия.

Оценки на массу для дираковских нейтрино производятся по анализу распада трития, пиона и тау-лептона для электронного, мюонного и тау-нейтрино соответственно. Результаты оценки этих масс:

1. mνe<2.2 eV , по распаду



1. mνμ<170 keV, по реакции



1. mντ<15.5 MeV,



Т.е. эти ограничения, наложенные на дираковскую массу нейтрино не противоречат предсказаниям теории.

Поиски безнейтринного двойного бета-распада дают оценки на массу порядка mνe<0.33 eV . При этом период полураспада по этому каналу дается Т1/2>1025 лет. В частности, первые результаты эксперимента Gerda (Gran-Sasso) дают оценку в Т1/2>2\*1025 лет .

Данные, полученные из экспериментов по поиску нейтринных осцилляций указывают на то, что иерархия масс нейтрино существенно отличается от предсказанной, т.к. были поставлены весьма жесткие ограничения на разность масс. Т.о. предлагаемая иерархия масс фермионов не находит экспериментального подтверждения.

Эксперименты по поиску аксиона и реакций с его участием не дали положительных результатов. Например, отсутствие аксионов было получено из нейтринного сигнала от SN1987A. Эти данные свидетельствуют о том, что аксион либо является «невидимой» частицей, что не позволяет ему взаимодействовать с известной материей, либо он не существует вовсе.



В данном реферате была описана модель горизонтального объединения. Эта модель, основанная на горизонтальной симметрии между поколениями фермионов, позволяет объяснить иерархию масс между кварк-лептонными поколениями, определяет механизмы инфляции и бариосинтеза, а также дает ряд претендентов на роль скрытой массы во Вселенной. Нарушение этой симметрии ведет к появлению архиона, обуславливающего существование нейтральных токов с изменением аромата(FCNC) и появлению майорановской массы нейтрино.

Однако ряд космологических и астрофизических ограничений, вкупе с экспериментальными данными , не дают подтверждения реальности МГО.

Список литературы:

1. Хлопов М. Ю. Основы космомикрофизики. – М: УРСС, 2004.
2. Сахаров А. С., Судариков А. Л., Хлопов М. Ю., Шкляев А. А. (1996 b). Ядерная физика. 59, 295.
3. Khlopov M. Yu., Sakharov A. S. (1999). Gravitation and Cosmology. 5, Suppl., 107.
4. Сахаров А. С., Хлопов М. Ю. (1994 а). Ядерная физика. 57, 514 [Phys. Atomn. Nucl. 57, 485].
5. V.A.Andreev et al. [arXiv:hep-ex/0612064v1](http://arxiv.org/abs/hep-ex/0612064v1) (2006).