

Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное
автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный
Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» Факультет
Экспериментальной и Теоретической Физики
Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

Реферат на тему:

«ТЕОРИЯ “МАЛОГО ХИГГСА” КАК РАСШИРЕНИЕ СТАНДАТНОЙ
МОДЕЛИ»

Кошеленко Дарья Дмитриевна

М16-115

Москва 2016

Оглавление

Введение.

1. Противоречия СМ: задачи, которые необходимо решить
2. Малый Хиггс: основная идея, способы решения, механизм решения. плюсы и недостатки
3. Пути экспериментального доказательства Малого Хиггса
4. Заключение

Введение

С древнейших времён и до наших дней человек разумный проявляет интерес к миру, окружающему его. Процесс эволюции физики как любой естественной науки, являющейся плодом стремления человечества понять устройство Вселенной, её закономерностей и законов, прошёл длительный путь эволюции от учений Древней Греции до современного уровня научного познания, с каждой следующей итерацией дробя мир на всё более и более мелкие составные части. Вершиной этой пирамиды в настоящее время является физика элементарных частиц - а потому именно она представляет огромный интерес для изучения.

Практически вся современная физика элементарных частиц на данный момент описывается теорией, носящей название Стандартной Модели (СМ). Она представляет из себя механизм математического описания существующих элементарных частиц, а также их взаимодействий друг с другом. Теоретическое обоснование, а затем и экспериментальное открытие бозона Хиггса на ускорителе LHC завершило построение СМ и одновременно дало мощный импульс для построения новых теорий, выходящих за её пределы. Несмотря на множество очевидных преимуществ, дающих учёным инструмент описания физических процессов, СМ оставляет неразрешёнными огромное количество вопросов: таких, например, как проблема гравитации, иерархия масс частиц и тд. Загадкой пока остаётся и проблема наличия скрытой массы.

Предполагается, что подобно тому, как принцип относительности Галилея является частным случаем принципа относительности Эйнштейна в рамках ньютоновской механики, так и Стандартная Модель является, вероятно, лишь частным случаем более общей теории, представляющим из себя достаточно хорошее приближение лишь в случае низких энергий. Именно поэтому чрезвычайно остро сейчас стоит вопрос расширения Стандартной Модели до теории, способной более полно и подробно описать процессы микромира, а также разрешить противоречия, существующие в рамках СМ.

1. Противоречия СМ.

1.1. Стандартная Модель как поле для поиска “Новой физики”

Стандартная Модель представляет из себя теорию сильных и электрослабых взаимодействий, основанную на калибровочной группе $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Описываемые ей взаимодействия являются калибровочными, то есть осуществляются путём обмена калибровочными частицами: фотонами в случае электромагнитных взаимодействий, глюонами - в сильных взаимодействиях, W и Z в случае слабых взаимодействий. В отличие от безмассовых гамма-квантов и глюонов, W и Z - массивные частицы (с массой порядка 100 ГэВ). Наличие у этих частиц массы является следствием нарушения симметрии относительно группы $SU(2) \times U(1)$. Такое нарушение в формализме СМ может быть следствием существования некоторого скалярного поля. Вакуумное значение этого поля приводит к наличию некоторого выделенного направления в пространстве генераторов группы $SU(2) \times U(1)$. Тогда факт наличия массы у элементарных частиц (лептонов, калибровочных бозонов и т.д.) является следствием взаимодействия самих частиц с данным скалярным полем. Квантом этого поля является бозон Хиггса.

Однако, Хиггсовский бозон объясняет лишь сам факт нарушения электрослабой симметрии, но не его механизм. Данная теория не объясняет, почему потенциал хиггсовского поля нестабилен в нуле. Поэтому электрослабый сектор является, по-видимому, интересной областью для поиска “Новой физики”, выходящей за пределы СМ.

1. 2. Проблемы СМ. Механизм Хиггса и нарушение электрослабой симметрии.

//насколько целесообразным здесь будет описание возникновения проблемы иерархий с учётом того, что проблема пытливых поправок уже описана во втором разделе?

2. Модели “Малого Хиггса”

2.1 Основная идея

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать однозначный вывод о факте нарушения электрослабой симметрии, однако, понимание механизма этого нарушения пока не сформировано до конца. Если исходить из того, что новых частиц с массами меньше масс электрослабого сектора нет, то “новая физика” в электрослабом масштабе реализуется многомерными операторами, подавленными энергетическими масштабами “новой физики” ($\Lambda \sim \text{ТэВ}$). Эти операторы можно классифицировать по нарушаемым им симметриям. Ими могут быть, например, нарушение CP - симметрии и симметрии ароматов. Таким образом, данные операторы накладывают жёсткие ограничения на сохранение симметрий на исследуемом масштабе $\sim 1 \text{ ТэВ}$, и расширения СМ не должны нарушать эту границу.

Для понимания возможности стабилизации массы Хиггс - бозона без нарушений этих ограничений необходимо рассмотреть причины неустойчивости массы Хиггса:

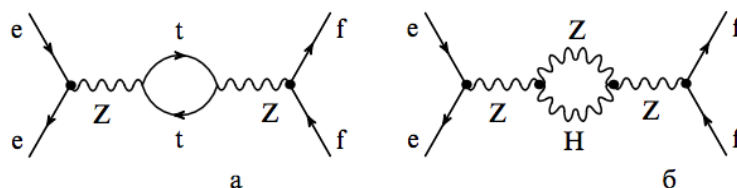


Рис. 1.

Основные радиационные поправки к массе бозона Хиггса: а)однопетлевые диаграммы с t -кварками б)однопетлевые диаграммы с виртуальным Z и H - бозонами

Остальные возможные диаграммы будут давать существенно более низкие вклады, поскольку величина констант связи, которые они включают в себя, существенно ниже.

При получении квадрата массы Хиггса необходимо будет учитывать также и указанные радиационные поправки, а для этого нужно будет выбрать масштаб обрезающих для того, чтобы избавиться от расходимостей.

В моделях “новой физики” эта проблема решается путём ввода новой частицы, связанной с Хиггс - бозоном и порождающей новые диаграммы, сокращающие вклад петель. В случае t - кварка для физического правдоподобия теории новая частица должна быть каким-либо образом связана с t - кварком некоторой симметрией, подразумевающей наличие подобных t - кварку

квантовых чисел. Аналогичным образом и для Z или H должны быть частицы, связанные с ними, по-видимому, подобным видом симметрии.

В частности, в моделях Малого Хиггса бозон Хиггса является псевдо-Нambu-Голдстоуновским бозоном. В этом случае глобальные симметрии приводят к сдвигу хиггсовских полей, в результате чего масса Хиггса не содержит однопетлевых расходимостей.

2.2 Намбу-Голдстоуновские бозоны

Нambu-Голдстоуновские бозоны - частицы, возникающие при спонтанном нарушении глобальной симметрии. Наиболее простым примером представляется рассмотрение группы $U(1)$.

Пусть у нас есть скалярное поле ϕ с потенциалом $V(\phi^*\phi)$. Группа $U(1)$ включает в себя инвариантность потенциала относительно преобразований:

$$\phi \rightarrow \phi \cdot e^{i\alpha}.$$

Нахождение минимума потенциала находится не в нуле, а в некоторой точке $f > 0$ (рис. 2) приводит к спонтанному нарушению $U(1)$ симметрии.

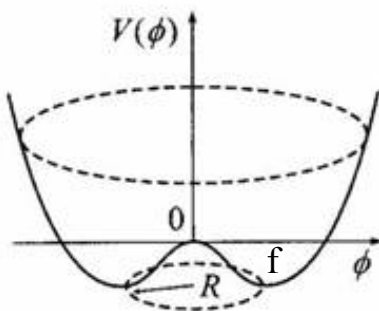


Рис. 2

Потенциал спонтанного нарушения симметрии группы $U(1)$.

Будем считать, что отклонения поля от минимума малы. В таком случае, поле вблизи вакуумного значения можно разложить в ряд:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}(f + r(x)) \cdot \exp\left[\frac{i\theta(x)}{f}\right],$$

где $r(x)$ - массивная радиальная мода, а $\theta(x)$ - намбу-голдстоуновские бозоны (НГБ).

Поскольку радиальное поле $r(x)$ должно быть инвариантно относительно $U(1)$ преобразований, можно показать, что для выполнения этого условия θ испытывает сдвиг:

$$\theta \rightarrow \theta + \alpha, \quad \alpha \ll \theta.$$

Важно отметить, что результирующий эффективный Лагранжиан не должен содержать в себе массового члена поля $\theta(x)$. Общий вид Лагранжиана НГБ выглядит следующим образом:

$$L = const + f^2 \left| \partial_\mu \phi \right|^2 + O(\partial^4).$$

2.3 Построение Малого Хиггса

//предполагаю рассмотреть механизм построения Малого Хиггса в случае $SU(3)$

3. Экспериментальное доказательство Малого Хиггса.

Все модели Малого Хиггса вне зависимости от их реализации включают в себя вектороподобный кварк, сокращающий расходимость однопетлевых диаграмм t - кварка, а также набор калибровочных бозонов, сокращающих бозонные петли.

Рождение этих бозонов происходит в результате адронных соударений, то есть можно ожидать наличие этих частиц на ускорителе LHC.