МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

Кафедра № 40 «Физика элементарных частиц»

**Реферат на тему: «Суперсимметрия»**

Выполнил:

Студент: Пятиизбянцева Д.Н.
Группа: М16-115

Москва 2016г.

*Введение*

Суперсимметрия (СУСИ) берет свое начало с 1971-1972 гг., когда она была предложена советскими физиками Юрием Гольфандом и Евгением Лихтманом из ФИАН, а также Дмитрием Волковым и Владимиром Акуловым из ХФТИ.

В 1973 г. появились некоторые разновидности суперсимметричной теории, созданные австрийским физиком Джулиусом Вессом и итальянским физиком Бруно Зумино. Одна из их новых теорий заключалась в расширении электромагнетизма, в котором фотон объединялся с частицей, весьма похожей на нейтрино.

Другое открытие суперсимметрии связано с теорией струн, которую предложили Пьер Рамон, Джон Шварц и Андре Невё.

Предпосылками к расширению Стандартной модели (СМ) являлись следующие факторы:

* стремление к созданию теории Великого объединения;
* проблема иерархий;
* скрытая масса и темная материя;
* нарушение электрослабой симметрии;
* отсутствие ограничения сверху на массу бозона Хиггса;
* проблема перенормируемости → теория струн;
* попытка объединения с гравитацией;
* число поколений;
* масса нейтрино, нейтринные осцилляции и др.

СУСИ является ключом к решению данных проблем.

Суперсимметрия - это симметрия между бозонами (частицами с целым

спином) и фермионами (частицами с полуцелым спином).

Данная теория возникла в результате стремления обобщить алгебру Пуанкаре на представления с различным спином с помощью добавления антикоммутаторов к обычным коммутаторам алгебры Лоренца.

Пусть – генератор алгебры суперсимметрии. Подействуем им на бозонное состояние, тогда он переведет его в фермионное состояние, и наоборот:

*.*

Так как бозоны коммутируют друг с другом, а фермионы антикоммутируют, то суперсимметричные генераторы должны также антикоммутировать, т.е. они должны быть фермионными и изменять спин на полуцелую величину.

Ключевым соотношением для обобщения алгебры Пуанкаре является антикоммутатор

, (1)

где и – генераторы суперсимметрии, индекс α указывает на спинорную компоненту, а - генератор трансляций, т.е. четырёхимпульс.

*Объединение с гравитацией*

Гравитационное взаимодействие находится за рамками Стандартной модели. Суперсимметрия может служить ключом к объединению всех сил природы.

Переносчиком гравитации является гравитон, имеющий спин 2. Однако спин остальных калибровочных бозонов, таких как фотон, глюон, W- и Z-бозоны, равен 1. Благодаря преобразованиям суперсимметрии можно «перемешать» данных представителей различных групп Пуанкаре. Полученная цепочка состояний, возникающая при действии генераторами на гравитон, выглядит следующим образом: 2 → 3/2 → 1 → 1/2 → 0.

Кроме того, комбинация двух локальных преобразований суперсимметрии приводит к локальной трансляции координат. В итоге мы получаем теорию, инвариантную относительно локальных координатных преобразований, то есть теорию гравитации.

Таким образом, из попытки объединить гравитацию с другими взаимодействиями естественным образом вытекает объединение фермионов и бозонов.

*Объединение калибровочных констант связи*

Согласно гипотезе Великого объединения, различные фундаментальные взаимодействия есть часть более общего взаимодействия, проявляющегося при больших энергиях. При понижении энергии от объединенного взаимодействия «отщепляется» сначала сильное взаимодействие, а затем электрослабое взаимодействие распадается на слабое и электромагнитное.

Зависимость констант связи от энергии описывается уравнениями ренормгруппы. Так как в СМ сильные и слабые константы взаимодействия убывают с увеличением энергии, а электромагнитная - возрастает, возможен тот факт, что при некоторой энергии они становятся равными.

Сравниваемые константы связи определяются следующим образом:

,

, (2)

,

где - постоянная тонкой структуры, – электрослабая константа , - калибровочная константа , - константа связи для группы S.

В гипотезе Великого объединения на некотором масштабе константы должны принять одинаковые значения.

В однопетлевом приближении уравнение ренормгруппы

 , (3)

где , – «бегущий» масштаб энергий, – коэффициенты Гелл-Манна-Лоу.

Решение уравнения (3) представляется в виде

, (4)

где – некоторый начальный энергетический масштаб, обычно принимаемый за массу Z-бозона .

С учетом того, что , , и в СМ коэффициенты = (, , −7), получаем зависимость, представленную на левой части рис. 1. Одновременного пересечения всех констант связи в одной точке не происходит.

В суперсимметричном случае коэффициенты = (, , −3). Объединение констант связи показано на правой части рис. 1.



Рис. 1. Эволюция калибровочных констант связи с ростом масштаба энергии в Стандартной модели и её суперсимметричном расширении.

Отсюда находится шкала нарушения суперсимметрии и точка объединения :

 GeV,

 GeV, (5)

= 26.3 ± 1.9 ± 1.0.

Первая ошибка следует из неопределённости в измерении констант связи, а вторая – из неопределенности в расщеплении масс суперсимметричных частиц.
Масштаб нарушения суперсимметрии порядка 1 ТэВ.

*Проблема иерархий*

Как известно, масштаб масс, соответствующий слабому взаимодействию, меньше масштаба Великого объединения или планковского масштаба на много порядков. Данный разброс масштабов и является проблемой иерархий.

Даже при постулировании такой иерархии возникает новая проблема: иерархия будет разрушена радиационными поправками.

Рассмотрим поправки к массе легкого хиггсовского бозона. Соответствующие фейнмановские диаграммы представлены на рис. 2. Поправки, пропорциональные квадрату массы тяжелой частицы, разрушают иерархию, если только они не сокращаются. Такое сокращение с точностью требует тонкой подстройки констант связи.



Рис. 2. Радиационные поправки к массе лёгкого хиггсовского бозона.

Суперсимметрия является выходом из сложившейся ситуации, так как при добавлении суперпартнера квадратичная расходимость сокращается. Вклады бозонных петель сокращаются с вкладами фермионных петель в силу наличия дополнительного множителя (−1), следующего из ферми-статистики, как это показано на рис. 3.

На верхней части рисунка изображены вклады тяжёлого хиггсовского бозона и его суперпартнёра, а на нижней - вклады тяжёлого калибровочного бозона и тяжёлого калибрино.



Рис. 3. Сокращение квадратичных расходимостей.

Радиационные поправки не должны превосходить массу бозона Хиггса, т.е.

*.*  (6)

Таким образом, если ГэВ и , то . Следовательно, шкала нарушения суперсимметрии совпала с оценками шкалы из условия объединения констант связи.

*Радиационное нарушение электрослабой симметрии*

Электрослабая симметрия нарушается за счет механизма Хиггса. При этом важен вид потенциала хиггсовского поля. В СМ он выбирается так, чтобы его минимум соответствовал ненулевому значению поля. В суперсимметричном случае потенциал фиксирован требованием суперсимметрии и не имеет нетривиального минимума.

Массовые параметры хиггсовского потенциала меняются при движении от шкалы Великого объединения к шкале и могут стать отрицательными. Тогда при некотором значении у потенциала появляется нетривиальный минимум, что вызывает спонтанное нарушение SU(2) калибровочной симметрии. Вакуумные средние хиггсовских полей приобретают ненулевые значения, и это обеспечивает массы кваркам, лептонам и SU(2) калибровочным бозонам, а соответствующие суперпартнёры получают добавки к массам.

Таким образом, нарушение электрослабой симметрии возникает естественным путём из радиационных поправок.