

2 - 596

2-82-112

ЧИЖОВ
Михаил Владимирович

БОГОЛЮБОВСКИЙ МЕХАНИЗМ
ДИНАМИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ СИММЕТРИИ
И МОДЕЛИ СОСТАВНЫХ ЧАСТИЦ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1982

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

М. Д. МАТЕЕВ,

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

Б. А. АРБУЗОВ,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Л. А. СЛЕПЧЕНКО.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт ядерных
исследований АН СССР, Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1982 года.

Защита состоится " " _____ 1982 года на заседании
Специализированного совета КО.47.01.01 Лаборатории теоретической фи-
зики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Москов-
ская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

В. И. ЖУРАВЛЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В связи с построением объединенной теории слабых и электромаг-
нитных взаимодействий и моделей "большого объединения" был достигнут
существенный прогресс в понимании динамики взаимодействий элементар-
ных частиц. При этом ключевую роль сыграл принцип калибровочной ин-
вариантности, который после открытия явления Хиггса и свойства пере-
нормируемости неабелевых теорий со спонтанным нарушением симметрии
стал фундаментом для построения объединенных моделей.

Однако все еще остается существенный произвол в выборе хиггсов-
ского сектора объединенных моделей, что заметно снижает их предска-
зательную силу. С целью устранения этого недостатка были предприняты
попытки найти механизм динамического нарушения симметрии.

В частности, большое развитие получили модели составных частиц
в рамках гипотезы "техницвета", прототипом которых явилась квантовая
хромодинамика. Связанные состояния в них реализуются как синглеты по
группе "техницвета". В результате здесь снова приходится иметь дело
с нерешенной проблемой конфайнмента и вообще с проблемой связанных
состояний в квантовой теории поля.

Другой подход к понятию составных частиц основан на рассмотре-
нии их как коллективных возбуждений некоторого фундаментального поля.
Выявление внутренней симметрии нелинейного взаимодействия фундамен-
тальных полей может привести, в принципе, к описанию всего многообра-
зия спектра элементарных частиц и динамики их взаимодействий на еди-
ной основе.

Цель работы состоит в формулировке метода нахождения аномальных
средних для многокомпонентных полей; получении явления Хиггса как ди-
намического эффекта, основанного на богголюбовском механизме нарушения

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

симметрии; обобщении полученных результатов на случай неабелевых групп и поиске минимальной простой группы для построения объединенной модели элементарных частиц.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

В диссертации предложен метод нахождения аномальных средних для многокомпонентных полей. Установлено, что симметризация лагранжиана позволяет получить в явном виде операторную структуру всех членов, инвариантных по отношению к группе симметрии начального лагранжиана.

В рамках приближения самосогласованного поля показано, что четырехфермионная (V-A)-теория обладает всеми особенностями, которые присущи абелевой модели со спонтанным нарушением симметрии. Константы связи в данной модели оказываются известными функциями двух параметров - квантовой константы связи и вакуумного среднего поля Хиггса. Получена оценка на массу хиггсовского бозона.

Исследуется динамическое нарушение симметрии в модели с четырехфермионным взаимодействием, обладающей $U(N)$ -симметрией. Показано, что группой инвариантности вакуума является группа $O(N)$. Найден спектр коллективных возбуждений и спектр физических частиц данной теории.

Установлено, что исключительная группа E_6 является минимальной простой группой для построения объединенной модели элементарных частиц в рамках боголюбовского метода динамического нарушения симметрии. Исходный лагранжиан теории содержит самодействие фундаментального спинорного поля, коллективные возбуждения которого проявляют свойства калибровочных и хиггсовских частиц. Обсуждается проблема иерархии фермионных масс.

Анализ модели приводит к теории без t -кварка с двумя фермионными E_6 -мультиплетами.

ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВЫДВИГАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИИ:

1. Показано, что согласованная со статистикой симметризация лагранжиана позволяет получить в явном виде операторную структуру всех членов, инвариантных по отношению к группе симметрии начального лагранжиана. Этот метод эффективно используется для нахождения аномальных средних применительно к многокомпонентным полям.

2. Установлено, что для нелинейного четырехфермионного взаимодействия появление коллективных возбуждений в $\bar{\Psi}\Psi$ -канале всегда сопровождается коллективными модами в $\Psi\Psi$ - и $\bar{\Psi}\bar{\Psi}$ -каналах.

3. На основе боголюбовского метода нарушения симметрии, при одновременном рассмотрении коллективных возбуждений в прямом и кросс-каналах, построена полевая модель, воспроизводящая явление Хиггса.

4. Константы связи в данной модели являются функциями лишь двух переменных - квантовой константы связи и вакуумного среднего поля Хиггса, что дает возможность установить связь между константой калибровочного взаимодействия и константой самодействия поля Хиггса. Получена оценка на массу хиггсовского бозона: $M_{H_{12345}} \sim 65$ ГэВ.

5. Изучена неабелева $U(N)$ -инвариантная модель с динамическим нарушением симметрии. Показано, что вакуум данной теории обладает $O(N)$ -симметрией. Найден спектр физических частиц.

6. В результате анализа динамического спонтанного нарушения симметрии для неабелевых моделей установлено, что группа E_6 является минимальной простой группой для объединенной модели элементарных частиц.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, на конференциях молодых ученых в Ереванском физическом институте (Ереван, 1981) и ИФФ, на Международной конференции по физике высоких энергий (Лиссабон, 1981).

Публикация

По материалам диссертации опубликовано 6 работ.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и четырех приложений, содержит 78 страниц машинописного текста и библиографический список из 117 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведен обзор методов теории возмущений, не являющейся разложением по константе связи. Отмечается важная роль принципа симметрии в современной теоретической физике, в частности, в теории фазовых переходов. Подход, включающий в себя указанные выше элементы аппарата теоретической физики, является одним из возможных путей построения объединенной теории элементарных частиц. Дано краткое содержание диссертации.

В первой главе, § I, развит метод нахождения аномальных средних для многокомпонентных полей на примере теории со взаимодействием типа "ток х ток". Замечено, что приближение самосогласованного поля совместно с омметризацией лагранжиана позволяет получать в явном виде операторную структуру всех членов, инвариантных по отношению к группе симметрии начального лагранжиана, или, другими словами, динамическое спонтанное нарушение симметрии. Этот факт доказывается в приложении II.

Известно, что четырехфермионные теории в разложении по константе связи являются неперенормируемыми. Однако в разложении по среднему полю для некоторых четырехфермионных теорий была доказана перенормируемость. В § 2 представлен метод разложения по среднему полю производящего функционала теории с помощью континуального интеграла.

§ 3 посвящен специальной модели с четырехфермионным взаимодействием. Получен общий вид антисимметризованного лагранжиана, найдена матрица перехода от диагональных билинейных комбинаций Γ -матриц к их антисимметризованной форме. Показано, что аномальные средние в $\bar{\Psi}\Psi$ -канале всегда сопровождаются появлением аномальных средних в $\Psi\Psi$ - и $\bar{\Psi}\bar{\Psi}$ -каналах. В приложении III приведено обобщение метода антисимметризации на случай спинорного поля, преобразующегося по группе внутренней симметрии $U(N)$.

Во второй главе в рамках боголюбовского метода нарушения симметрии исследовано динамическое спонтанное нарушение симметрии для четырехфермионной теории с $(V-A)$ -взаимодействием. В § I в терминах коллективных полей, векторного и (псевдо) скалярного, получены уравнения компенсации Боголюбова. Их нетривиальные решения соответствуют аномальным средним.

В § 2 и § 3 строится эффективный лагранжиан составных полей в низшем порядке теории возмущений. Показано, что данная теория обладает всеми особенностями, характерными для абелевой модели со спонтанным нарушением симметрии. Константы связи в полученном эффективном лагранжиане оказываются известными функциями лишь двух параметров - кавской константы и вакуумного среднего поля Хиггса.

Учитывая, что основные свойства динамического нарушения симметрии в неабелевом случае остаются прежними, можно сделать оценку на массу хиггсовского бозона: $M_{Higgs} \sim 65$ ГэВ.

В третьей главе построено обобщение абелевой модели Хиггса на случай неабелевых унитарных групп $U(N)$. Спектр составных частиц теории найден в § I.

Решение уравнений компенсации Боголюбова приведено в § 2. Показано, что стандартные методы исследования спонтанно нарушенных калиб-

ровочных симметрий применимы и в этом случае. В § 3 вычислен эффективный потенциал хиггсовских частиц, который понижает исходную $U(N)$ -симметрию до $O(N)$ -симметрии. Этот факт доказывается в приложении IV.

Результат, полученный в главе III, имеет методическое значение и не может претендовать на описание реального спектра элементарных частиц. Поэтому в четвертой главе анализируется возможность выбора группы симметрии для получения реалистической модели.

Нарушение симметрии/разбивается по меньшей мере на два этапа:

$$a) G \supset SU_c(3) \otimes SU_w(2) \otimes U_v(1);$$

$$b) SU_c(3) \otimes SU_w(2) \otimes U_v(1) \supset SU_c(3) \otimes U_q(1).$$

Если реализуется боголюбовский механизм нарушения симметрии, то хиггсовские поля представляют собой компоненты неприводимого симметричного тензора второго ранга. Минимальной простой группой, удовлетворяющей этим критериям, является исключительная группа E_6 .

Лагранжиан теории, инвариантный относительно преобразований группы E_6 , и его свойства обсуждаются в § I. Получен спектр коллективных возбуждений.

В § 2 рассматривается возможная "двухступенчатая" схема понижения симметрии калибровочной группы E_6 до $SU_c(3) \otimes U_q(1)$.

§ 3 посвящен обсуждению экспериментальных следствий предложенной модели. Показано, что в модели имеется два мультиплета фермионов. t -кварковое состояние в них не содержится. Основными предсказаниями являются:

- 1) существование четвертого кварка h с зарядом $-\frac{1}{3}$;
- 2) существование четвертого заряженного лептона M^- ;
- 3) вектороподобность нейтральных токов τ^- - и M^- -лептонов;
- 4) наличие массы у нейтрино.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Результаты диссертации опубликованы в работах

1. В.Г.Кадмиевский, М.Д.Матеев, М.В.Чижов. К вопросу о разности масс мюона и электрона. - ТМФ, 1980, т. 45, № 3, стр. 358-364.
2. М.В.Чижов. К вопросу об аномальных средних многокомпонентных полей. - Препринт ОИЯИ, P2-8I-36, Дубна, 1981.
3. M.V.Chizhov. Bogolubov's spontaneous symmetry-breaking mechanism and the Higgs phenomenon. - Phys.Lett., 1981, v.104B, N.6, p.449-452.
4. M.V.Chizhov. Bogolubov's spontaneous-symmetry-breaking mechanism and Higgs phenomenon. - Europhysics conference abstracts, Lisbon, 1981, v. 5D, p. 276.

5. М.В.Чижов. Неабелевы модели с динамическим нарушением симметрии. - Препринт ОИЯИ, P2-81-655, Дубна, 1981.
6. М.В.Чижов. Объединенная теория с боголюбовским механизмом нарушения симметрии. - Препринт ОИЯИ, P2-81-718, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 февраля 1982 года.