

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЧАПЧЯН СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ОБРАЗОВАНИЯ ХИГГСОВСКИХ И КАЛИБРОВОЧНЫХ
БОЗОНОВ

Специальность: 01.04.02 - Теоретическая физика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН - 1990

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научные руководители: академик АН Республики Армения
доктор физико-математических
наук, профессор С.Г. МАТИНЯН
кандидат физико-математических
наук С.Г. ГРИГОРЯН

Официальные оппоненты: доктор физико-математических
наук, профессор М.П. РЕКАЛО
(ХФТИ)
кандидат физико-математических
наук А.Ю. ХОДЖАМИРЯН

Ведущая организация: Институт физики высоких энергий
(Серпухов)

Защита диссертации состоится "25" декабря 1990 г.
на заседании Специализированного совета Д.034.03.01 по
присуждению ученой степени доктора физико-математических
наук при Ереванском физическом институте (375036, Ереван,
ул. Маркаряна, 2) в 14 часов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан "20" ноября 1990 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета,
кандидат физ-мат. наук

В.А. ШАХБАЗЯН

Диссертационная работа посвящена изучению механизмов рождения и регистрации хиггсовских нейтральных частиц в рамках Стандартной однодублетной и Двухдублетных моделей теории электрослабых взаимодействий, а также исследованию предсказаний этой теории по самодействию калибровочных бозонов.

Актуальность темы. За последние два десятилетия в физике элементарных частиц были открыты и подробно изучены процессы с нейтральными токами, открыты новые частицы: τ -лептон, J/ψ , Y - частицы, содержащие "с" и "b" кварки, заряженные W^\pm и нейтральный Z^0 - промежуточные бозоны - переносчики слабого взаимодействия.

Взаимодействие фермионов с фотонами и калибровочными бозонами прекрасно описывается единой теорией электромагнитного и слабого взаимодействия Глэшоу-Вайнберга-Салама (ГВС), основанной на спонтанном нарушении калибровочной группы $SU(2) \times U(1)$. Помимо этого, теория предсказывает взаимодействие фермионов и калибровочных бозонов со скалярными частицами - хиггсовскими бозонами (необходимость введения хиггсовских частиц в теорию связана с возникновением масс полей материи и калибровочных полей благодаря механизму спонтанного нарушения калибровочной симметрии, что обеспечивает перенормируемость самой теории) и взаимодействия между самими промежуточными бозонами. Поиск хиггсовских частиц и изучение взаимодействия между калибровочными бозонами на сегодняшний день могут окончательно подтвердить правильность теории электрослабого взаимодействия.

В наиболее распространенном варианте теории, в так называемой Стандартной Модели электрослабых взаимодействий (СМ) присутствует только один дублет хиггсовских полей, и после спонтанного нарушения калибровочной симметрии возникает одна нейтральная массивная скалярная частица H_{SM}^0 -бозон. При расширении хиггсовского сектора теории число таких частиц увеличивается. Так, в моделях с двумя дублетами скалярных полей (ДМ) имеется уже пять H -бозонов: два нейтральных скалярных H^0, h^0 , два заряженных H^\pm и один псевдоскалярный A^0 -бозоны. В последнее время особенно большое внимание уделяется, именно, двух-

дублетным моделям. Это, в частности, связано с тем, что такая структура сектора с необходимостью возникает в минимальной SUSY, в техницветовых моделях, в моделях со спонтанным CP-нарушением, в модели Печчи-Квинн, в E_6 -модели, основанной на теории суперструн и т.д.

На сегодняшний день хиггсовские частицы экспериментально не обнаружены. Этому, в частности, мешает незнание масс H-бозонов (неизвестно в распадах на какие частицы искать H-бозоны), невозможность рождения H-бозонов непосредственно от пучковых частиц: электронов и позитронов, "u" и "d" кварков и т.д. (сечения чрезвычайно малы и недоступны для измерений), очень сильные фоновые процессы типа дрелл-яновских и КХД-процессов (на порядок-три превышают сигнал от рождения H-бозонов) и т.д. Кроме этого существует проблема различения наблюдаемых в эксперименте хиггсовских частиц, т.е. найденный H-бозон относится к SM или к какой-либо из расширенных моделей.

Помимо поиска и регистрации H-бозонов с целью проверки теории ГВС, необходимо также изучение бозон-бозонного самодействия. Это интересно и в связи с тем, что существуют калибровочно неинвариантные альтернативные модели, которые как и теория ГВС описывают наблюдаемые на сегодня экспериментальные данные. Отличить такие модели от теории ГВС можно вычисляя, к примеру, магнитный момент W-бозона $\mu_W = e/2m_W (1+k)$, где "k" - аномальный магнитный момент W-бозона в рамках калибровочной теории электрослабых взаимодействий равен единице, а в некалибровочных теориях может иметь произвольное значение. Так как величина "k" присутствует в вершинах самодействия векторных частиц, то изучая такие вершины ($WW\gamma$, WWZ и т.д.) можно попытаться определить значение аномального магнитного момента "k".

Целью настоящей работы является изучение новых механизмов рождения хиггсовских нейтральных частиц из SM и DM на коллайдерах и в распадах тяжелых кваркониев, а также исследование самодействия калибровочных бозонов с целью проверки предсказаний теории ГВС по аномальному моменту W-бозонов.

Научная новизна. Предложен новый механизм рождения хигг-

совских нейтральных частиц в слабых однокварковых распадах тяжелых кваркониев с массами больше двух масс W-бозонов. Рассмотрено образование в этом механизме хиггсовских нейтральных частиц из SM и DM, проведено сравнение их брэнчингов друг с другом. Показано, что данный механизм является доминирующим среди всех известных механизмов образования H-бозонов в распадах тяжелых кваркониев в рассмотренной области масс последних; проведено сравнение с известным механизмом радиационного распада векторного кваркония с рождением H-бозонов. Описана фоновая ситуация к данному механизму, а также предложены пути по выделению из нее сигнала от рождения хиггсовских частиц.

Изучен механизм образования хиггсовских нейтральных бозонов из DM в ассоциации с парой тяжелых кварка и антикварка в e^+e^- -анигиляции и проведено сравнение с сечением рождения в том же механизме стандартного H_{SM}^0 -бозона. Рассмотрена фоновая ситуация к данному механизму и пути отстраивания от нее.

Предложен и исследован механизм рождения H-бозонов из SM и DM с тяжелой кварк-антикварковой парой в $\gamma\gamma$ -соударениях. Как и в предыдущем случае изучено поведение полного сечения от энергии сталкивающихся пучков \sqrt{s} , масс тяжелых кварков и хиггсовских бозонов. Проведено сравнение сечений образования H^0 с сечениями H^0, h^0, P^0 -бозонов из DM. Исследовано также поведение дифференциальных сечений от энергии и поперечного импульса рождаемых H-бозонов и показано как можно отстроиться от сильных фонов в данном процессе.

В рамках $SU(2)$ -симметричной модели и динамической модели типа Феррар-Джексон изучены P-нечетные эффекты, возникающие в процессах, где имеются связи калибровочных бозонов с фермионами в столкновениях продольно поляризованных адронных пучков. В частности, показано, что измерением асимметрий в таких процессах можно, практически, полностью отстроиться от всех КХД-фонов к механизму образования H-бозонов от слияния калибровочных бозонов, отделить случаи образования пары W-бозонов непосредственно в адронных столкновениях, от случаев их образования от распадов хиггсовских частиц, а также измерить параметры трехбозонных вершин в процессе рождения пары W-бозонов.

Практическая ценность. Обнаружение хиггсовских бозонов и

дальнейшее изучение их свойств даст исключительно важную информацию о механизме спонтанного нарушения калибровочной симметрии, а также о структуре хиггсовского сектора теории электрослабых взаимодействий. Аналогичной цели служит и изучение бозон-бозонного самодействия.

Все расчеты в диссертации доведены до численных оценок. Часть результатов работы уже сегодня может быть непосредственно использована в экспериментах по поиску хиггсовских частиц и изучению свойств калибровочных бозонов на действующих ускорителях в CERN и во FNAL. Другие результаты могут быть использованы в будущих экспериментах на строящихся коллайдерах LEP, LHC, УНК, SSC и других.

Апробация работы. Основные результаты, представленные в диссертации, обсуждались на теоретических семинарах Ереванского физического института, докладывались на рабочем совещании "Адроны-86" (Ужгород, 1986), на сессиях ОЯФ АН СССР (1986, 1988 гг.), на конференции "Физика на УНК" (Протвино, 1987), на международной конференции по четвертому поколению фермионов в Санта-Моника (США, 1989).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано восемь работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит 124 страницы машинописного текста, состоит из введения, трех глав, заключения, содержит 54 рисунка, 4 таблицы и список литературы из 123 наименований.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обсуждается актуальность проблем, рассмотренных в работе и дается краткий обзор содержания диссертации.

Первая глава посвящена изучению механизма образования хиггсовских нейтральных частиц в слабом однокварковом распаде тяжелого кваркония с массой составляющих кварков (m_q) больше массы W-бозона (m_W).

В § 1.1, носящем вводный характер, дается краткий обзор известных механизмов распадов тяжелых кваркониев с рождением

хиггсовских нейтральных частиц.

В § 1.2 рассматривается процесс образования H_{SM}^0 -бозона в слабом однокварковом распаде тяжелого кваркония с массой составляющих кварков $m_q \sim 100-240$ ГэВ. Вычисляется брэнчинг этого распада для разных масс хиггсовской частицы в зависимости от массы тяжелого кварка, проводится сравнение с известным процессом рождения H-бозона в радиационном распаде кваркония. Описывается фоновая ситуация и рассматриваются дифференциальные характеристики, по которым возможно отстраивание от фонов.

В § 1.3 исследуется образование нейтральных хиггсовских бозонов из ДМ (H^0, h^0, P^0) в том же процессе. Рассматриваются аналогичные вопросы, что и в предыдущем разделе для каждой частицы (H^0, h^0, P^0). Помимо этого, изучается возможность различия хиггсовских частиц из ДМ от H_{SM}^0 -бозона из СМ.

Вторая глава посвящена изучению механизмов рождения хиггсовских нейтральных частиц на ускорителях.

В § 2.1, который носит вводный характер ко второй главе, дан краткий обзор механизмов рождения H-бозонов в адронных, электрон-позитронных и ep-столкновениях.

В § 2.2 исследуется процесс образования H-бозонов из ДМ в ассоциации с тяжелой кварк-антикварковой парой в e^+e^- -аннигиляции и проводится сравнение со случаем рождения в том же процессе H_{SM}^0 -бозона. Рассматривается поведение полного сечения этой реакции от энергии сталкивающихся пучков \sqrt{s} , массы тяжелых кварков m_q , массы хиггсовских бозонов m_H . Исследуются дифференциальные распределения по энергии H-бозонов и возможность отстраивания на их основе от фонов.

В § 2.3 предложен и изучается механизм образования хиггсовских нейтральных частиц из СМ и ДМ в ассоциации с тяжелой кварк-антикварковой парой в γp -столкновениях. Рассматриваются аналогичные вопросы, что и в предыдущем случае. Помимо этого, исследуется распределение дифференциального сечения по поперечному импульсу. Описывается фоновая ситуация и возможности выделения сигнала от рождения H-бозонов из нее.

Третья глава посвящена изучению возможности применения P-нечетных эффектов к поиску и регистрации хиггсовских частиц а также изучению трехбозонных вершин $WW\gamma, WWZ$ столкновения продольно поляризованных адронных пучков.

В § 3.1 рассматривается механизм образования хиггсовских частиц от слияния калибровочных бозонов в столкновениях продольно поляризованных адронных пучков. В рамках $SU(6)$ -симметричной модели и динамической модели типа Фаррар-Джексона исследуются асимметрии:

$$A^1 = \frac{d\sigma(+,0) - d\sigma(-,0)}{d\sigma(+,0) + d\sigma(-,0)}, \quad A^2 = \frac{d\sigma(+,+) - d\sigma(-,-)}{d\sigma(+,+) + d\sigma(-,-)}$$

$$A^3 = \frac{d\sigma(+,-) - d\sigma(-,+)}{d\sigma(+,-) + d\sigma(-,+)}$$

Показано, что на основе этих измерений можно отстроиться, практически, от всех КХД-фонов (которые на порядок-два превышают сигнал от образования H -бозона), а также от ряда других фонов, в которых существуют такие асимметрии.

В § 3.2 исследуется процесс рождения пары W -бозонов в тех же столкновениях. В рамках тех же моделей рассматриваются асимметрии:

$$A^1 = \frac{d\sigma(+,0) - d\sigma(-,0)}{d\sigma(+,0) + d\sigma(-,0)}, \quad A^2 = \frac{d\sigma(+,-) - d\sigma(+,+)}{d\sigma(+,-) + d\sigma(+,+)}$$

$$A^3 = \frac{d\sigma(+,-) - d\sigma(-,+)}{d\sigma(+,-) + d\sigma(-,+)}$$

Показано, что их измерение поможет:

- определить параметры трехбозонного самодействия,
- отстроиться от КХД-фонов к данному процессу,
- отделить случаи образования пары W -бозонов непосредственно в адронных столкновениях от их образования от распадов хиггсовских частиц.

В Заключении перечисляются основные результаты диссертационной работы, которые выдвигаются для защиты.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

I. В рамках СМ и ДМ теории электрослабых взаимодействий изучен механизм рождения нейтральных хиггсовских бозонов в

злабом однокварковом распаде тяжелого кваркония в области масс составляющих кварков $m_Q \sim 100-240$ ГэВ, для масс хиггсовских частиц $m_H \sim 10-100$ ГэВ. Бренчинг этого распада для рождения H_{SM}^0 -бозонов оказывается $R_1 \sim 10^{-5}+10^{-2}$ для рождения нейтральных скалярных хиггсовских частиц из ДМ - лежит в области $R_1 \sim 10^{-4}+10^{-1}$ для псевдоскалярных $R_1 \sim 10^{-6}+10^{-3}$ (в зависимости от параметров ДМ).

2. Изучены зависимости дифференциальных ширины предложенного распада с образованием нейтральных хиггсовских частиц из СМ и ДМ в зависимости от доли энергии, уносимой ими из кваркония. Эти распределения имеют хорошо выраженные пиковые области в районе малых x_H (доля энергии H -бозона) для скалярных бозонов и в районе средних и выше x_H для псевдоскалярных бозонов, что поможет отделению от фонового процесса, в котором вместо H -бозона рождается глюон. Кроме того, показано, что изучение дифференциальных распределений в случае ДМ позволяет получить дополнительное условие на параметры модели: отношение вакуумных средних хиггсовских дублетов $\tan\alpha = v_1/v_2$ и угол смешивания нейтральных компонент хиггсовских полей - θ .

3. Рассмотрено отношение ширины предложенного механизма к ширине радиационного распада тяжелого кваркония с рождением H -бозона. Это отношение равно $R \sim 1+10^4$ для скалярных бозонов (H_{SM}^0, H^0, h^0) и $R \sim 0.1+10^3$ для псевдоскалярных бозонов в области масс $m_Q \sim 100-240$ ГэВ и $m_H \sim 10-100$ ГэВ. Исходя из величин бренчингов и отношения к известным механизмам распадов кваркониев с образованием H -бозонов, следует что предложенный механизм является доминирующим в данной области масс.

4. Рассмотрен механизм рождения нейтральных хиггсовских бозонов из ДМ в e^+e^- -аннигиляции в ассоциации с тяжелой кварк-антикварковой парой. Проведено сравнение с сечением рождения H_{SM}^0 -бозона в том же механизме. При этом показано, что на современных ускорителях можно иметь до 10^3 событий образования H -бозонов в год в зависимости от параметров ДМ - $\tan\alpha$ и θ (в то же время для H_{SM}^0 -бозонов это число не превышает в лучшем случае сотни событий в год на тех же коллайдерах).

5. Изучены дифференциальные характеристики процесса $e^+e^- \rightarrow H_{SM}^0$. Показано, что распределение по энергиям рожденных в этой реакции H -бозонов из ДМ имеет специфическое поведение

что допускает в большинстве случаев выделение сигнала из основного фонового процесса, в котором вместо H -бозона испускается глюон. Кроме того, показано, что для скалярных частиц это распределение имеет пиковую область в районе малых и средних значений доли энергии, в случае же псевдоскалярных частиц эта область приходится в район больших x_H . Это позволяет различить случаи образования скалярных и псевдоскалярных бозонов.

6. Предложен механизм рождения нейтральных хиггсовских бозонов из SM и DM в ассоциации с парой тяжелых кварка и антикварка в $q\bar{q}$ -соударениях. Показано, что величины сечений позволяют иметь до 1000 событий рождения H -бозонов на УНК или LEP+LHC в год. Проведено сравнение случаев образования H -бозонов из DM со случаем образования H_{SM}^0 -бозона.

7. Изучены дифференциальные распределения хиггсовских частиц в зависимости от энергии и поперечного импульса рождаемых H -бозонов. Показано, что они имеют пиковую область в районе больших поперечных импульсов $p_T \sim 50-80$ ГэВ и специфическое распределение по энергиям, что позволяет надеяться на возможность отстраивания от фоновых процессов, а также различить скалярные и псевдоскалярные частицы.

8. В рамках $SU(6)$ - симметричной модели и динамической модели типа Фэррар-Джексон оценены асимметрии, связанные с P -нечетными эффектами в столкновениях продольно поляризованных адронных пучков в процессе образования хиггсовских скалярных частиц от слияния калибровочных бозонов. При этом асимметрии рассмотрены в зависимости от типа образуемой в конечном состоянии фермионной пары и лежат в области: $\sim 0.2-0.7$ в рамках $SU(6)$ -модели, $\sim 0.4-1$ в рамках модели Фэррар. Показано, что измерение асимметрий в данном процессе позволяет отстроиться от, практически, всех КХД-фонов к процессу рождения хиггсовских частиц от калибровочных бозонов, а их большие значения позволяют считать эту задачу реально осуществимой.

9. В рамках тех же моделей изучено рождение пары W -бозонов в столкновениях продольно поляризованных адронных пучков. Показано, что в рамках калибровочной теории электрослабых взаимодействий зависимость асимметрий от угла вылета продуктов

реакций по отношению к оси начальных пучков, имеет характерное поведение, отличающееся от других альтернативных некалибровочных теорий. Это помогает как определению параметров трехбозонного взаимодействия $WW\gamma$, WWZ , так и подтверждению верности калибровочной теории электрослабых взаимодействий. Кроме того, измерение асимметрий позволяет одновременно отстроиться от КХД-фонов к данному процессу, а также различить случаи образования W -бозонов непосредственно от сталкивающихся адронных пучков от случаев их образования от распадов H -бозонов (например, в процессе рождения H -бозонов в глюон-глюонном слиянии при $M_H > 2m_W$).

IV. ПУБЛИКАЦИИ

1. Григорян С.Г., Чатрчян С.А. Рождение псевдоскалярного бозона в $p\bar{p}$ и $p\bar{p}$ -столкновениях. - Препринт ЕФФ 909(60)-86, Ереван, 1986.
2. Grigoryan S.G., Chatchryan S.A. Polarization effects in H^0 boson production in $p\bar{p}$ and $p\bar{p}$ collisions. - Preprint EPI-911(62)-86, Yerevan, 1986.
3. Григорян С.Г., Чатрчян С.А. Рождение псевдоскалярных бозонов в e^+e^- -аннигиляции. - Ядерная Физика, т.47, в.4, 1988, с.1069.
4. Grigoryan S.G., Chatchryan S.A. Scalar and pseudoscalar Higgs boson production in heavy quark and heavy quarkonia decays. - Preprint EPI-1016(66)-87, Yerevan 1987.
5. Григорян С.Г., Чатрчян С.А. О новом механизме рождения H^0 бозонов в распадах тяжелых кваркониев. - Ядерная Физика, т.48, в.3(9), 1988, с.801.
6. Григорян С.Г., Чатрчян С.А. Ассоциативное рождение хиггсовских бозонов в $q\bar{q}$ -столкновениях. - Ядерная Физика, т.51, в.3, 1990, с.800.
7. Григорян С.Г., Чатрчян С.А. Нестандартные скалярные бозоны в распадах сверхтяжелых кваркониев. - Ядерная Физика, т.52, в.1(7), 1990, с.142.
8. Григорян С.Г., Чатрчян С.А. Поляризационные эффекты в рождении пары W -бозонов в $p\bar{p}$ -столкновениях. - Препринт ЕРФИ 1297(77)-90, Ереван, 1990.

Технический редактор А.С.С.А.С.

Подписано в печать 05.11.90
Оформлено в печать
Зак. № 2988

Формат 60x84x16
Тираж 170 экз

Оформлено в Брестском филиале института
Брестская ул. Брестская ул. № 2.