

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

Демидов Сергей Владимирович

**Процессы с участием нейтральных
скалярных и псевдоскалярных частиц
в расширениях Стандартной модели**

01.04.02 — теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва–2007

Работа выполнена в Отделе теоретической физики Института ядерных исследований Российской академии наук.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук,
доктор физико-математических наук,
академик РАН,

Д. С. Горбунов

В. А. Рубаков

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
доктор физико-математических наук,

Э. Э. Боос

А. К. Лиходед

Ведущая организация:

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований

Защита диссертации состоится « » _____ 2007 г. в _____ час. на заседании Диссертационного совета Д 002.119.01 Института ядерных исследований РАН (117312 Москва, проспект 60-летия Октября, дом 7а).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института ядерных исследований РАН.

Автореферат разослан « » _____ 2007 г.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

Б. А. Тулунов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Основой для описания явлений физики высоких энергий является Стандартная модель физики элементарных частиц, которая включает в себя электрослабые и сильные взаимодействия. На сегодняшний день Стандартная модель с большой точностью описывает широкий спектр явлений. Однако, имеются веские основания считать, что она не является окончательной теорией. Среди сугубо теоретических аргументов в пользу существования физики за пределами Стандартной модели можно отметить проблемы калибровочной иерархии, проблему квадратичных расходимостей, сильную CP-проблему и др. В последние годы предположения о существовании новой физики при энергиях, гораздо меньших чем планковский масштаб M_{Pl} или масштаб Большого объединения M_{GUT} , получили серьезные экспериментальные подтверждения из разных областей физики. Одним из самых сильных указаний на существование физики за пределами Стандартной модели является экспериментальное обнаружение нейтринных осцилляций, которое говорит о том, что по крайней мере некоторые типы нейтрино имеют ненулевые массы. Кроме того, космологические наблюдения показали, что частицы Стандартной модели дают далеко не основной вклад в плотность энергии во Вселенной, а значительная ее доля представлена неизвестными частицами — “темной” материей.

В настоящее время предложено несколько классов моделей, которые расширяют Стандартную модель, решают некоторые ее внутренние проблемы и объясняют результаты последних экспериментов. Среди таких моделей можно выделить модели Большого объединения, теории с глобальной и локальной суперсимметрией, а также модели с дополнитель-

ными измерениями.

Как Стандартная модель, так и ее расширения содержат скалярные и/или псевдоскалярные поля, которые часто играют важную роль в описании многих механизмов в квантовой теории поля, как реализующихся в природе, так и гипотетических.

Одним из наиболее известных механизмов, в котором скалярные поля играют фундаментальную роль, является механизм Хиггса. Именно этот механизм в Стандартной модели отвечает за спонтанное нарушение электрослабой симметрии и тем самым за появление ненулевых масс у калибровочных W^\pm - и Z^0 -бозонов. Фундаментальная скалярная частица — бозон Хиггса, является единственной до сих пор не обнаруженной частицей Стандартной модели. Поиск бозона Хиггса — это одна из приоритетных задач для ЛНС. Современные экспериментальные данные приводят к ограничению на его массу $m_h \gtrsim 114.4$ ГэВ, 95% СЛ. С другой стороны, глобальная подгонка электрослабых наблюдаемых позволяет получить верхнее ограничение $m_h \lesssim 194$ ГэВ, 90% СЛ.

Как отмечено выше, одними из интересных расширений Стандартной модели являются суперсимметричные модели. Если природа описывается суперсимметричной теорией, то симметрия между бозонами и фермионами должна быть нарушена спонтанно, поскольку при низких энергиях наблюдаемый спектр частиц явно не суперсимметричен. Во всех моделях со спонтанным нарушением глобальной суперсимметрии справедлив аналог теоремы Голдстоуна: в спектре частиц должен присутствовать безмассовый майорановский фермион (голдстино). Интересным представляется тот факт, что существует класс феноменологически приемлемых суперсимметричных моделей, в которых спонтанное

нарушение суперсимметрии происходит при энергиях, не сильно превышающих масштаб нарушения электрослабых взаимодействий. В таких моделях частицы супермультиплета, ответственного за спонтанное нарушение суперсимметрии — голдстино и его скалярный суперпартнер, сголдстино, могут быть достаточно легкими. Взаимодействия этих частиц, индуцирующие процессы с изменением аромата в нейтральных токах (FCNC), открывает возможности для поиска достаточно легкого сголдстино в редких распадах.

Недавно в эксперименте HyperCP (США, Fermilab) были обнаружены три события распада $\Sigma^+ \rightarrow p\mu^+\mu^-$ с очень узким распределением по инвариантной массе мюон–антимюонной пары, которое указывает на то, что распад гиперона Σ^+ может происходить путем образования в промежуточном состоянии частицы P^0

$$\Sigma^+ \rightarrow pP^0,$$

которая в дальнейшем распадается по каналу $P^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$. При таком объяснении ее масса равна $m_{P^0} = 214.3 \pm 0.5$ МэВ. В качестве одного из возможных объяснений результатов этого эксперимента была предложена гипотеза о псевдоскалярном сголдстино в суперсимметричных моделях с сохранением четности. Если такая гипотеза будет подтверждена в экспериментах, это может стать первым экспериментальным указанием на существование суперсимметрии в природе. Одной из задач диссертации является изучение возможности подтверждения или опровержения гипотезы о псевдоскалярном сголдстино путем исследования распадов псевдоскалярных D - и B -мезонов на векторные мезоны и сголдстино ($P_{B,D} \rightarrow \mathcal{V}P$), а также распадов легких векторных мезонов (ρ , ω и ϕ) на сголдстино и фотон ($\mathcal{V} \rightarrow P\gamma$).

Для поиска бозона Хиггса в диапазоне масс 114 – 140 ГэВ на ЛНС в работах М. Н. Дубинина, В. А. Ильина и В. И. Саврина была предложена реакция $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$. Хотя основным каналом для поиска хиггсовского бозона в рассматриваемом диапазоне масс на ЛНС будет полностью инклюзивная реакция $pp \rightarrow \gamma\gamma$, канал с дополнительной адронной струей имеет, несмотря на меньшее сечение, большее отношение сигнала к фону. Кроме того, включение этой реакции в рассмотрение позволит повысить чувствительность ЛНС к параметрам моделей новой физики. Одними из задач диссертации являются вычисление значимости этого канала для хиггсовского бозона в порядке NLO, исследование зависимости параметров реакции от параметров обрезания фазового пространства, а также изучение возможностей обнаружения в этом канале скалярного стюлдстино и радиона — скалярной частицы, которая возникает в моделях с дополнительными пространственными измерениями.

Недавно в работах Н. Аркани-Хамеда и С. Димопулоса, а также Дж. Ф. Джудиче и А. Романино были предложены модели с расщепленной суперсимметрией. Спектр частиц в этих моделях характеризуется двумя масштабами энергий. Все скалярные частицы, за исключением одного хиггсовского поля, имеют массы порядка масштаба расщепления m_s , который феноменологически может находиться в диапазоне $10^4 - 10^{14}$ ГэВ. За счет тонкой подгонки параметров один из CP-четных хиггсовских бозонов оказывается легким и приобретает вакуумное среднее $v = 246$ ГэВ. Кроме того, в этих моделях предполагается, что нарушение суперсимметрии произошло таким образом, что мягкие массы калибрино (суперпартнеров калибровочных бозонов) оказались порядка электрослабого масштаба. Это значит, что суперпартнеры хиггсовских и

калибровочных бозонов оказываются легкими. В моделях с расщепленной суперсимметрией автоматически решаются проблемы с большим количеством членов взаимодействия, которые могут приводить к феноменологически неприемлемым значениям для вероятностей процессов с нарушением аромата в слабых токах и чувствительным к CP-нарушениям наблюдаемых (например, электрическим дипольным моментам нейтрона и электрона). Кроме того, такие модели, как и другие суперсимметричные теории, обладают дискретной симметрией — R -четностью. Как следствие, самый легкий из фермионного сектора суперпартнеров (хиггсино и калибрино) является стабильным. Следовательно, если легчайшим оказывается одно из нейтрино, то оно оказывается идеальным кандидатом на роль темной материи. Кроме того, поскольку тяжелые скаляры — скварки и слептоны — образуют полные $SU(5)$ -мультиплеты, то их отсутствие в низкоэнергетической теории не влияет на объединение калибровочных констант, которое имеет место в МССМ.

Интересной проблемой, которая не находит решения в рамках Стандартной модели, является проблема барионной асимметрии Вселенной. Экспериментальные наблюдения ограничивают барион-фотонное отношение в диапазоне

$$6.1 \times 10^{-10} < \frac{n_B}{n_\gamma} < 6.9 \times 10^{-10} . \quad (1)$$

Достаточно неестественно предполагать, что наблюдаемая асимметрия является начальным условием для эволюции Вселенной. Любой механизм, в котором барионная асимметрия образуется динамически, должен удовлетворять следующим условиям Сахарова :

- существование процессов, нарушающих барионное число,
- существование процессов, нарушающих C - и CP -четности,

- отклонение от термодинамического равновесия.

В Стандартной модели непертурбативные процессы приводят к существованию процессов с нарушением барионного числа, которые могут происходить с достаточно высокой скоростью при высоких температурах. Одним из наиболее интересных сценариев для образования барионной асимметрии является механизм электрослабого бариогенезиса. В механизме электрослабого бариогенезиса предполагается, что электрослабый переход, который мог происходить при температурах порядка 100 ГэВ, является фазовым переходом сильно первого рода. Это значит, что он происходит путем образования пузырей нарушенной фазы, которые расширяются и сталкиваются, заполняя все пространство. В результате CP–нарушающего взаимодействия частиц с движущейся стенкой, а также процессов, нарушающих барионное число, которые активно происходят в симметричной фазе, внутри пузыря образуется ненулевая плотность барионного заряда. При этом для того, чтобы барионная асимметрия сохранилась после фазового перехода, процессы, нарушающие барионное число, должны быть достаточно сильно подавлены внутри пузыря. Это условие выглядит следующим образом

$$\frac{v_c}{T_c} \gtrsim 1.1, \quad (2)$$

где T_c — критическая температура, а v_c — критическое значение хиггсовского поля при этой температуре. Непертурбативное изучение электрослабого перехода в Стандартной модели показало, что при современных ограничениях на массу хиггсовского бозона этот процесс не только не удовлетворяет условию (2), но и вообще не является фазовым переходом первого рода. Другой причиной, по которой в Стандартной модели не работает электрослабый бариогенезис, является малость CP–нарушения.

Одной из задач диссертации является построение модели с расщепленной суперсимметрией, в котором за счет динамики скалярных и псевдоскалярных полей мог успешно происходить электрослабый бариогенезис.

Цель работы состоит в изучении феноменологии расширений Стандартной модели, которые включают в себя нейтральные скалярные и псевдоскалярные частицы и могут быть проверены как на действующих установках, так и в экспериментах ближайшего будущего.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации впервые исследованы возможности поиска псевдоскалярных стюлдстино путем исследования распадов тяжелых псевдоскалярных D - и B -мезонов, а также легких векторных ρ -, ω - и ϕ -мезонов. Хотя численные результаты для относительных вероятностей этих распадов были получены для конкретного значения массы стюлдстино, выполненный анализ позволяет получать предсказания для ширин распадов в широком диапазоне масс.

Впервые вычислена значимость канала $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$ для поиска бозона Хиггса на LHC в порядке NLO. Изучена зависимость значимости и отношения сигнала к фону для этой реакции от параметров обрезания фазового объема, что даёт возможность выбрать оптимальные значения этих параметров. Впервые изучены возможности поиска скалярного стюлдстино и радиона в реакции $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$.

Впервые предложена модель с расщепленной суперсимметрией, в которой за счет динамики скалярных и псевдоскалярных полей в некоторой области параметров возможно объяснение барионной асимметрии Вселенной в рамках электрослабого бариогенезиса. В рассмотренной модели изучены возможные кандидаты на роль темной материи. Получены

предсказания для электрических дипольных моментов нейтрона и электрона.

Апробация диссертации. Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались в 2004–2006 гг. на научных семинарах ИЯИ РАН, НИИЯФ МГУ, на Международной конференции по физике высоких энергий и квантовой теории поля (Санкт–Петербург, 2004), 8–ой Международной Московской школе по физике (Отрадное, 2004), Европейской школе по физике высоких энергий (Китсбюэль, Австрия, 2005), Международных семинарах “Кварки–2004” (Пушкинские горы, 2004) и “Кварки–2006” (Репино, 2006).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 5 работ.

Объем работы. Диссертация состоит из Введения, четырех глав основного текста и Заключения, содержит 110 страниц машинописного текста, в том числе 13 рисунков, 8 таблиц и список литературы из 169 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении вкратце обсуждаются недостатки Стандартной модели и некоторые наиболее интересные ее расширения. В частности, обсуждаются суперсимметричные теории, теории с дополнительными пространственными измерениями; обсуждаются некоторые механизмы возникновения (псевдо)скалярных частиц в этих моделях. Кратко изложено содержание диссертации.

В Главе 1 обсуждается вопрос о возможности подтверждения или опровержения гипотезы о псевдоскалярном σ -мезоне, которая была предложена для интерпретации результатов эксперимента HyperCP. Изу-

чаются распады тяжелых псевдоскалярных D^- и B^- -мезонов на векторный мезон и сголдстино, а также распады легких векторных ρ^- , ω^- и ϕ -мезонов на сголдстино и фотон.

В разделе 1.1, который носит вводный характер, обсуждаются результаты эксперимента NupercP, касающиеся распада гиперона Σ^+ на протон и мюон-антимюонную пару. Описывается гипотеза псевдоскалярного сголдстино массы 214.3 ГэВ. Кроме того, обсуждаются ограничения на параметры суперсимметричных моделей со сголдстино, которые следуют из такой интерпретации результатов эксперимента.

В разделе 1.2 рассматриваются распады

$$P_{B,D} \rightarrow \mathcal{V}P, \quad (3)$$

где $P_{B,D}$ — псевдоскалярные B^- или D^- -мезоны, \mathcal{V} — векторный мезон и P — псевдоскалярное сголдстино. При этом образующееся сголдстино распадается в дальнейшем на мюон-антимюонную пару или два фотона, в зависимости от параметров модели. Используя общий вид взаимодействия сголдстино с частицами Стандартной модели, вычисляются ширины указанных распадов. Чтобы проиллюстрировать точность экспериментов, которая требуется для того, чтобы опровергнуть или подтвердить модель со сголдстино, сделаны оценки для относительных вероятностей этих распадов для трех типов суперсимметричных моделей, которые отличаются различной иерархией констант взаимодействия $h_{jl}^{(U)}$ и $h_{jl}^{(D)}$ сголдстино с кварками. Получены численные результаты для относительных вероятностей следующих распадов:

$$B_s \rightarrow \phi P(P \rightarrow \mu^+ \mu^-), \quad B_s \rightarrow K^{*0} P(P \rightarrow \mu^+ \mu^-),$$

$$B_c^+ \rightarrow D^{*+} P(P \rightarrow \mu^+ \mu^-), \quad B_c^+ \rightarrow D_s^{*+} P(P \rightarrow \mu^+ \mu^-),$$

$$\begin{aligned}
B_c^+ &\rightarrow B^{*+}P(P \rightarrow \mu^+\mu^-); \quad B^+ \rightarrow K^{*+}P(P \rightarrow \mu^+\mu^-), \\
B^0 &\rightarrow K^{*0}P(P \rightarrow \mu^+\mu^-), \quad B^0 \rightarrow \rho P(P \rightarrow \mu^+\mu^-), \\
B^+ &\rightarrow \rho^+P(P \rightarrow \mu^+\mu^-), \quad D^0 \rightarrow \rho P(P \rightarrow \mu^+\mu^-), \\
D^+ &\rightarrow \rho^+P(P \rightarrow \mu^+\mu^-).
\end{aligned}$$

В разделе 1.3 рассматриваются распады легких векторных ρ -, ω - и ϕ -мезонов \mathcal{V} на псевдоскалярное сголдстино и фотон

$$\mathcal{V} \rightarrow P\gamma. \quad (4)$$

Изучаются два основных вклада в амплитуду распада (4), диаграммы для которых представлены на Рис. 1. Для этого выводится эффектив-

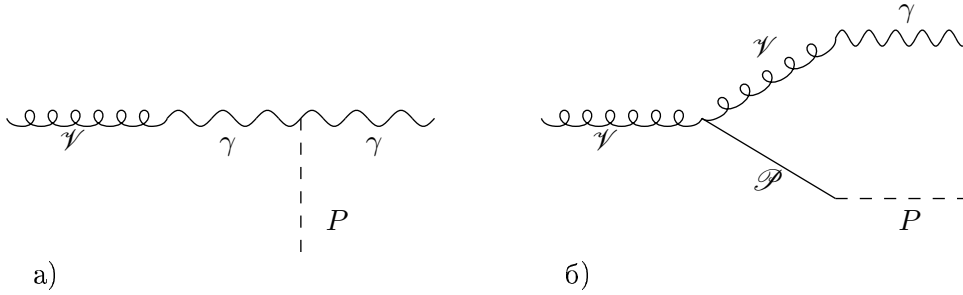


Рис. 1. Диаграммы, дающие вклад в амплитуды распадов $\mathcal{V} \rightarrow \gamma P$.

ный лагранжиан для смешивания сголдстино с псевдоскалярными π^0 -, η - и η' -мезонами, в который дают вклады как непосредственные взаимодействия сголдстино с кварками, так и взаимодействия, обусловленные киральной аномалией сильных взаимодействий. Обсуждаются предельные случаи для значений относительных вероятностей распадов ρ -, ω - и ϕ -мезонов.

В Главе 2 рассматриваются перспективы поиска бозона Хиггса, радиона и скалярного сголдстино на ЛНС в реакции $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$. В

случае хиггсовского бозона с использованием результатов, полученных другими авторами, вычисляется значимость этого канала в порядке NLO и обсуждаются перспективы его использования на ЛНС. Кроме того, в этой Главе обсуждаются возможности поиска других нейтральных скалярных частиц в рассматриваемом канале.

В разделе 2.1 обсуждается мотивировка использования канала $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$ на ЛНС для поисков хиггсовского бозона Стандартной модели. Описываются основные подпроцессы, дающие вклад в сечение сигнала этой реакции, а также вычисления, использующие программу CompHEP. Обсуждается выбор обрезаний фазового пространства, которые могут быть реализованы в эксперименте. Вычисляется значимость рассматриваемого канала для бозона Хиггса с учетом имеющиеся в литературе сведений о фоне для рассматриваемой реакции. Обсуждаются теоретические и экспериментальные неопределенности полученных результатов.

В разделе 2.2 рассматриваются возможности улучшения значимости и отношения сигнала к фону для рассматриваемого канала за счет изменения параметров обрезания фазового пространства. Рассматриваются обрезания по параметру \sqrt{s} , где $s = (p_{\gamma_1} + p_{\gamma_2} + p_{jet})^2$, поперечному импульсу одного из фотонов p_T^γ и псевдобыстроте адронной струи η_{jet} , и вычисляются значимости и отношения сигнала к фону при различных значениях параметров.

В разделе 2.3 проводится сравнительный анализ значимостей и отношений сигнала к фону в случае хиггсовского бозона для канала $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$ и для полностью инклюзивной реакции $pp \rightarrow \gamma\gamma$.

В разделе 2.4 обсуждаются возможности использования результатов, полученных в разделах 2.1 и 2.2 для хиггсовского бозона, при вычисле-

нии значимости рассматриваемой реакции в случае других нейтральных скалярных частиц. Предполагая, что эффективное взаимодействие новых скалярных нейтральных частиц имеет структуру, аналогичную случаю с хиггсовским бозоном, описывается простой метод получения сечения сигнала рассматриваемой реакции из соответствующего сечения для хиггсовского бозона. Обсуждаются пределы применимости рассмотренного метода.

В разделе 2.5 обсуждаются возможности поиска радиона на ЛНС в канале $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$. В диапазоне масс радиона 100 – 140 ГэВ получены максимальные значения радионного вакуумного среднего Λ_ϕ , при котором эта частица может быть обнаружена в рассматриваемом канале.

В разделе 2.6 обсуждаются возможности поиска скалярного сголдстино в рассматриваемой реакции в диапазоне масс 100–300 ГэВ. Поскольку модели со сголдстино характеризуются бóльшим количеством параметров, чем модели с радионом, для численных расчетов выбраны две конкретные модели с различными иерархиями мягких масс суперпартнеров калибровочных бозонов и трилинейных констант скалярного взаимодействия. Для каждой модели получены предельные значения для масштаба нарушения суперсимметрии \sqrt{F} , при которых сголдстино можно будет обнаружить в рассматриваемой реакции.

В Главе 3 рассматривается модель с расщепленной суперсимметрией, в которой кроме спектра частиц минимальной модели, кратко описанной выше, в низкоэнергетической теории присутствуют также две скалярные частицы и один майорановский фермион. Предложенная модель мотивирована тем, что в минимальной модели, так же как и в Стандартной модели, не выполняются условия для успешного электрослабого барио-

генезиса — одного из основных механизмов, претендующих на роль объяснения наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной. Причиной для этого является слишком слабый электрослабый фазовый переход. Дополнительные скалярные поля изменяют зависимость эффективного скалярного потенциала от средних значений полей и температуры, так, что в некоторой области параметров в модели становится возможен электрослабый фазовый переход сильно первого рода. Дополнительные частицы являются синглетами по отношению к калибровочной группе Стандартной модели. Следовательно, их влияние на ренормгрупповое поведение калибровочных констант появляется только на двухпетлевом уровне и не портит их объединение. В области параметров, в которой хиггсовский бозон не смешивается с остальными (псевдо)скалярами, изучается верхнее ограничение на его массу.

В разделе 3.1 рассматривается суперсимметричная модель с дополнительным синглетным суперполем и показывается, каким образом за счет специального выбора параметров можно сделать спектр этой модели расщепленным. Для этого выводятся условия минимизации древесного скалярного потенциала, а также используется массовая матрица (псевдо)скалярных полей. После этого параметры модели подбираются таким образом, чтобы скалярный сектор теории на электрослабом масштабе включал один хиггсовский дублет, а также CP-четные и CP-нечетные скалярные поля. При этом легким также оказывается синглино.

В разделе 3.2 рассматривается эффективная теория модели, рассмотренной в разделе 3.1, на электрослабом масштабе. Находится массовая матрица легких скалярных полей. Вычисляются однопетлевые поправки к эффективному потенциалу низкоэнергетической теории.

В разделе 3.3 обсуждается пространство параметров модели. Описывается процедура использования уравнений ренормгруппы для получения параметров низкоэнергетической теории. Пространство параметров выбирается таким образом, чтобы хиггсовский бозон не смешивался с остальными скалярами, что является ситуацией, наиболее близкой к случаю Стандартной модели. В этих предположениях находится зависимость массы бозона Хиггса от масштаба расщепления m_s .

В Главе 4 рассматриваются феноменологические аспекты неминимальной модели с расщепленной суперсимметрией. Изучается возможность образования барионной асимметрии во время электрослабого фазового перехода. Для иллюстрации этой возможности рассматриваются конкретные значения параметров модели, при которых фазовый переход является переходом сильно первого рода. Поскольку фазовый переход происходит путем образования пузырей, вероятность этого процесса должна быть достаточно большой, чтобы избежать перехода Вселенной в инфляционную стадию. Поэтому вычисляется критическая температура, при которой начинается образование пузырьков новой фазы. Далее вычисляется барионная асимметрия, которая образуется на стенках расширяющегося пузыря, и показывается, что наблюдаемое значение (1) может быть объяснено в рассмотренной модели. Кроме того, рассматриваются возможные кандидаты на роль темной материи. Естественным кандидатом является легчайшее из пяти нейтрино, которое стабильно благодаря наличию дискретной симметрии (R -четности). Поскольку модель содержит дополнительные CP -нарушающие взаимодействия, вычисляется, какой вклад они могут давать в чувствительные к этому нарушению наблюдаемые — электрические дипольные моменты электрона и

нейтрона.

В разделе 4.1 с помощью метода эффективного потенциала при конечных температурах исследуется вопрос о возможности существования пространства параметров рассмотренной модели, при которых электрослабый переход является фазовым переходом сильно первого рода. Представлен конкретный пример профиля критического пузыря, критическое значение свободной энергии и критическая температура. Обсуждается вопрос о применимости теории возмущений для вычисления эффективного потенциала.

В разделе 4.2 изучается вопрос об образовании барионной асимметрии в рассмотренной модели.

В подразделе 4.2.1 обсуждается механизм электрослабого бариогенезиса. Описывается квазиклассическая картина образования асимметрии между локальными плотностями частиц и античастиц. Для вычисления асимметрии различных типов частиц используется диффузионное приближение.

В подразделе 4.2.2 рассматриваются уравнения диффузии для плотностей тяжелых b - и t -кварков, хиггсовских бозонов и хиггсино. Эти уравнения упрощаются в предположении о том, что юкавские взаимодействия и процессы с участием сильных сфалеронов находятся в равновесии. Последнее приближение в пределе безмассовых кварков приводит к нулевой асимметрии в плотности левых кварков и, следовательно, к нулевой барионной асимметрии. Обсуждается вопрос о причине этого подавления и поправки, которые возникают из-за существования ненулевых масс кварков.

В подразделе 4.2.3 обсуждается вопрос о CP-нарушающих источни-

ках в уравнениях диффузии, которые выражаются через элементы массовой матрицы заряженных суперпартнеров калибровочных и хиггсовских бозонов — чарджино.

В подразделе 4.2.4 обсуждаются параметры, которые используются для численных расчетов, и приводятся результаты вычислений для отношения остаточной барионной плотности к плотности энтропии.

В разделе 4.3 рассматривается вопрос о возможных кандидатах на роль темной материи в рассмотренной модели с расщепленной суперсимметрией. Описывается общая схема вычисления распространенности реликтовых нейтрино в современной Вселенной. Исследована возможность одновременного объяснения проблемы темной материи и проблемы барионной асимметрии.

В разделе 4.4 получены предсказания для электрических дипольных моментов нейтрона и электрона в рассмотренной модели.

В Заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Для защиты выдвигаются следующие результаты, полученные в диссертации:

1. Изучены возможности подтверждения гипотезы о легком сголдстино массы 214.3 МэВ, предложенной для объяснения результатов эксперимента HyperCP (США, Fermilab), путем исследования распадов мезонов. Показано, что относительные вероятности распадов тяжелых псевдоскалярных D - и B -мезонов с сголдстино в конечном состоянии для наиболее типичных моделей с низкоэнергетическим масштабом нарушения суперсимметрии составляют $10^{-9} - 10^{-6}$, что позволит проверить самые перспективные из них на существующих

В-фабриках. Относительные вероятности распада ϕ -мезона лежат в диапазоне $1.8 \cdot 10^{-13} \div 1.6 \cdot 10^{-7}$, а для ρ - и ω -мезонов они составляют $10^{-14} \div 3.4 \cdot 10^{-7}$.

2. Проведена оценка значимости канала $pp \rightarrow jet + H (H \rightarrow \gamma\gamma)$ для поиска бозона Хиггса и других скалярных нейтральных частиц на ЛНС в порядке NLO. В согласии с вычислениями других авторов показано, что хиггсовский бозон Стандартной модели может быть обнаружен при интегральной светимости ускорителя в 30 фбн^{-1} . Показано, что значимость рассмотренной реакции может быть увеличена на $10 - 40\%$ за счет выбора оптимального набора параметров обрезания в фазовом пространстве. Показано, что канал $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$ позволит обнаружить или поставить ограничения на модели с радионом и сголдстино. Для радиона массы $100 - 140 \text{ ГэВ}$ предел чувствительности канала к вакуумному среднему Λ_ϕ составляет $2 - 4 \text{ ТэВ}$. Для моделей с массой сголдстино $100 - 350 \text{ ГэВ}$ предел на масштаб нарушения суперсимметрии \sqrt{F} составляет для типичных параметров модели $6 - 12 \text{ ТэВ}$ в зависимости от набранной статистики.
3. Построена модель с расщепленной суперсимметрией, содержащая дополнительные по сравнению с минимальным случаем скалярное и псевдоскалярное поля, а также майорановский фермион, которые являются синглетами по отношению к калибровочной группе Стандартной модели. Показано, что в предложенной модели в области параметров, в которой хиггсовский бозон не смешивается с остальными скалярными полями, его масса может достигать $140 - 160 \text{ ГэВ}$ в зависимости от масштаба расщепления. Показано, что в модели

могут выполняться условия для существования фазового перехода сильно первого рода, и в ее рамках может быть объяснено наблюдаемое значение барионной асимметрии. Показано, что самое легкое нейтралино может играть роль темной материи, причем в некоторой области параметров оно состоит в основном из синглино. Получены предсказания для электрических дипольных моментов электрона и нейтрона.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. S. V. Demidov. Electroweak phase transition in split SUSY // –Surveys High Energ. Phys. –2004. –19. –p. 211.
2. S. V. Demidov. Search for Higgs boson and other neutral scalar particles in association with high energy jet at LHC // –In: Proc. of 13th Int. Sem. “Quarks-2004”, ed. by D. G. Levkov, V. A. Matveev, V. A. Rubakov, –2005. –Vol.I. –p.321.
3. S. V. Demidov and D. S. Gorbunov. LHC Prospects in Searches for Neutral Scalars in $pp \rightarrow \gamma\gamma + jet$: SM Higgs Boson, Radion, Sgoldstino // –Ядерная физика. –2006. –т. 69. –стр. 712.
4. S. V. Demidov and D. S. Gorbunov. More about Sgoldstino Interpretation of HyperCP Events // –Письма в ЖЭТФ. –2006. –т. 84. –стр. 479.
5. S. V. Demidov and D. S. Gorbunov. Non-minimal Split Supersymmetry // –2007. –JHEP. –02. –p. 055.