

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Եղիյան Գագիկ Կիմի

ՍԱՀՄԱՆԱՓՈՒԿՄԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԲՈՋՈՆՆԵՐԻ
ՋԱՆԳԱԾՆԵՐԻ ՎՐԱ ԵՎ ՇՐ - ՋՈՒՅԳՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԽԱԽՏՈՂ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ ՍՏԱՆԴԱՐՏ ՍՈՂԵԼԻՑ ԴՈՒՐՍ

Ա.04.02 - «տեսական ֆիզիկա» ճանապարհորդումը
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների
թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման արեւմտաօտարարական

ՍԵՂԱԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 1999

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Егянн Гагик Кимович

*ОГРАНИЧЕНИЯ НА МАССЫ ХИГГСОВСКИХ
БОЗОНОВ И НАРУШАЮЩИЕ СР - ЧЕТНОСТЬ
ЭФФЕКТЫ ЗА РАМКАМИ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ.*

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание звания кандидата
физико - математических наук по специальности
01.04.02 - теоретическая физика*

ЕРЕВАН 1999

Важность темы.

Как известно, истинно элементарными частицами сегодня считаются кварки и лептоны. Эти частицы участвуют в гравитационных, слабых, электромагнитных и сильных взаимодействиях, имеющих место благодаря обмену промежуточными виртуальными бозонами, - соответственно, спектр элементарных частиц дополняется гравитонами, W и Z бозонами, фотонами и глюонами. При изучении свойств элементарных частиц гравитационными силами можно пренебречь, вследствие малости масс этих частиц. Гравитационные взаимодействия начинают играть существенную роль только при энергиях порядка $(10^{18} - 10^{19})$ ГэВ, где они рассматриваются в рамках теорий (супер)гравитации и (супер)струн. Что же касается масштабов порядка масс кварков и лептонов (меньше или порядка 100 ГэВ), здесь для описания свойств элементарных частиц используется теория, в основе которой лежит симметрия по отношению к калибровочным группам $U(1)_Y$, $SU(2)_L$ и $SU(3)_C$: это стандартная модель (SM) электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий. Предсказания стандартной модели неоднократно подтверждались экспериментально. Среди успехов SM следует отметить такие как, например, открытие W и Z бозонов а также предсказание t - кварка, масса которого сегодня измерена и равна приблизительно 175 ГэВ. На сегодняшний день общепризнано, что стандартная модель описывает все явления, имеющие место в физике элементарных частиц вплоть до энергий порядка 100 ГэВ.

Кроме кварков, лептонов и калибровочных бозонов стандартная модель содержит также комплексный скалярный дуплет, называемый Хиггсовским дуплетом. Введение в теорию такого дуплета дает возможность генерировать массы кварков, лептонов, а также W и Z бозонов благодаря спонтанному нарушению $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ симметрии электрослабых взаимодействий. Рассмотрение такого механизма генерации масс (называемого также механизмом Хиггса) позволяет избежать проблем, которые возникают в теориях с массивными векторными бозонами. Как известно, такие теории неперенормируемы.

Рассмотрение механизма спонтанного нарушения электрослабой симметрии предполагает отсутствие в Лагранжиане массовых членов для векторных бозонов (в этом случае векторные бозоны являются калибровочными полями) и фермионов. После спонтанного нарушения $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ симметрии три безмассовые Хиггсовские степени свободы (Голдстоновские бозоны) "поглощаются" W^\pm и Z бозонами, в результате чего эти бозоны приобретают массы порядка 100 ГэВ. Массы фермионов генерируются благодаря Юкавовскому взаимодействию фермионов с Хиггсовским дуплетом. Что же касается Хиггсовского сектора теории, здесь после спонтанного нарушения электрослабой симметрии остается только одна (CP-четная) физическая степень свободы.

Ատենախոսության բեման հաստատվել է Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար. ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր
Գ. Ասատրյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ. ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր
Ի. Ազնաուրյան / ԵրՖԻ /
ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր
Մ. Վիսցկի / ՏՓՖԻ, Մոսկվա /

Առաջատար կազմակերպություն՝ Վրաստանի ԳԱԱ Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է "26" հոկտեմբերի 1999թ. ժամը 14.00 -ին Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան-36, Ալիխանյան եղբայրների փ. 2) :

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ - ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է "24" սեպտեմբերի 1999թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար  Ա. Թ. Մարգարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском Физическом Институте

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
Асатрян Г. М.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Азнаурян И. Г. (ЕрФИ)
доктор физико-математических наук,
Высоцкий М. И. (ИТЭФ, Москва)

Ведущая организация: Институт Физики НАН Грузии

Защита состоится "26" октября 1999г. в 14.00 часов на заседании
Специализированного совета Ереванского Физического Института
(Ереван - 36, ул. братьев Алиханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "24" сентября 1999г.

Ученый секретарь спец. совета



А. Т. Маргарян

Таким образом, введение Хиггсовского дуплета в теорию позволяет избежать проблем, которые могли бы возникнуть при рассмотрении изначально массивных векторных полей. Следует однако отметить, что существование Хиггсовских бозонов пока не получило экспериментального подтверждения. На сегодняшний день получены только ограничения снизу на массы Хиггсовских частиц в стандартной модели и ее расширениях. В такой ситуации особую важность приобретают теоретические предсказания для масс этих частиц, поскольку такие предсказания позволяют определить диапазон энергий, в которых Хиггсовские бозоны следует искать.

Другой немаловажной проблемой, рассматриваемой в стандартной модели и ее расширениях, является нарушение CP-инвариантности теории. Впервые нарушение CP-четности было экспериментально обнаружено в нелептонных распадах нейтральных каонов на пионы. Возникает естественный вопрос: имеет ли место нарушение CP-четности также в других слабых распадах? В рамках стандартной модели и в ее расширениях этот вопрос интенсивно изучался в целом ряде работ в течение последних лет.

Рассмотрение расширений стандартной модели связано с тем, что наряду с успехами SM, существует целый ряд (теоретических) проблем, связанных с этой моделью. Наиболее важной является так называемая проблема ненатуральности теории или проблема иерархий. Связана эта проблема с квадратичной расходимостью радиационных поправок к массе Хиггсовского бозона, т.е. эти поправки порядка квадрата импульса обрезания, $\sim L^2 \sim (10^{19} \text{ ГэВ})^2$ (при этом предполагается отсутствие новой физики между масштабом нарушения электрослабой симметрии $\sim 100 \text{ ГэВ}$ и масштабом 10^{19} ГэВ , где гравитационные взаимодействия становятся непренебрежимыми; следует также отметить, что $L^2 \sim (10^{15} \text{ ГэВ})^2$, если предполагается великое объединение сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий). Разумеется, процедура перенормировки возвращает эти поправки к энергиям порядка 100 ГэВ , где и ожидается обнаружение Хиггсовской частицы; при этом однако следует произвести (во всех порядках теории возмущений) вычитание двух величин порядка 10^{38} ГэВ^2 таким образом, чтобы получить величину порядка 10^4 ГэВ^2 , - другими словами, параметры теории должны быть определены с точностью до 10^{-34} . Ясно, что такая точность параметров теории является неестественной. Другими проблемами стандартной модели является слишком большое число свободных параметров (18), иерархия поколений кварков и лептонов, асимметрия лево- и правокиральных фермионов по отношению к слабым взаимодействиям и другие.

Все это позволяет предположить существование новой физики в масштабах $\sim (10^2 - 10^4) \text{ ГэВ}$, которая описывается теорией, обладающей более высокой степенью симметрии, чем таковая стандартной модели. На сегодняшний день существует несколько расширений стандартной модели. Наиболее популярными из них являются суперсимметричные модели, т.е. модели, обладающие симметрией по отношению к преобразованиям бозонов в фермионы

и наоборот. В этих моделях каждой частице с полуцелым (целым) спином приписывается суперпартнер, т.е. частица с такими же квантовыми числами (зарядом, странностью, лептонным (барионным) числом, и т.д.), но с целым (полуцелым) спином. Важным свойством суперсимметричных моделей является сокращение квадратичных расходимостей в петлях и, таким образом, разрешение проблемы ненатуральности теории. Следует однако отметить, что одновременно в теорию вводится большое число частиц (суперпартнеры кварков, лептонов, калибровочных и Хиггсовских бозонов), которые не обнаружены экспериментально. Это противоречие с экспериментом устраняется благодаря так называемому мягкому нарушению суперсимметрии, которое не приводит к возникновению новых квадратичных расходимостей. При таком нарушении суперсимметрии в масштабах $\sim (10^2 - 10^4) \text{ ГэВ}$ суперпартнеры кварков, лептонов и калибровочных бозонов приобретают массы порядка 100 ГэВ и больше, благодаря чему устраняется вышеупомянутое противоречие с экспериментом.

Другим популярным расширением стандартной модели является $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модель. В этой модели, наряду с обычным слабым взаимодействием левокиральных фермионов, рассматривается также слабое взаимодействие правокиральных фермионов. С этой целью в теорию вводятся "правые" W_R и Z_R бозоны, массы которых предполагаются быть порядка 1 ТэВ и больше, благодаря чему "правокиральное" слабое взаимодействие не обнаружено. Такие массы W_R и Z_R бозоны приобретают в результате спонтанного нарушения $SU(2)_R$ симметрии в масштабах порядка 1 ТэВ и выше.

Среди расширений стандартной модели следует также отметить модели техницвета. Для полноты картины расширений стандартной модели можно заметить, что, кроме минимальной стандартной модели, часто рассматривается также ее простейшее расширение с двумя Хиггсовскими дуплетами (2HDM).

Диссертация посвящена проблеме нахождения ограничений на массы Хиггсовских бозонов и изучению нарушающих CP - четность эффектов в различных расширениях стандартной модели. Забегая вперед, можно отметить, что предсказания относительно вышеупомянутых проблем, полученные в расширениях стандартной модели, вообще-то говоря, отличаются от аналогичных предсказаний в рамках SM. Таким образом, сравнение полученных предсказаний с экспериментальными данными может обеспечить важной информацией относительно новой физики в диапазоне энергий порядка 1 ТэВ и выше.

По характеру рассматриваемых задач диссертацию можно разделить на две части:

- 1) (большая часть) - изучается возможность получения предсказаний для масс Хиггсовских бозонов (а также для масс других предполагаемых, но до сих пор не обнаруженных частиц) в суперсимметричных расширениях стандартной модели;

- 2) (меньшая часть) - исследуется CP-асимметрия в радиационных распадах b - кварка (в частности в распадах $b \rightarrow d\gamma$ и $b \rightarrow s\gamma$) в $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и в 2HDM.

Общим для обеих частей является изучение влияния эффектов, связанных со спонтанным нарушением CP-четности, на получаемые результаты. Как известно, в стандартной модели - благодаря $SU(2)_L$ симметрии теории - вакуумное среднее (единственного) Хиггсовского дублета может быть выбрано вещественным (и с заряженной компонентой равной нулю). Другими словами, в стандартной модели спонтанное нарушение CP-четности невозможно. Совершенно иначе обстоит дело в расширениях SM, содержащих более одного Хиггсовского дублета и/или другие возможные Хиггсовские мультиплеты. Как правило, существующие в этих моделях симметрии недостаточны для устранения всех вакуумных фаз Хиггсовских полей: в этом случае спонтанное нарушение CP-четности имеет место, если минимум Хиггсовского потенциала получается для ненулевых значений этих фаз.

В первой части диссертации, в частности, рассматривается следующий вопрос: как сильно ограничения на массы Хиггсовских бозонов, полученные в случае спонтанного нарушения CP-четности, отличаются от таковых, полученных в отсутствие спонтанного CP-нарушения. Этот вопрос изучается в рамках простейшего расширения минимальной суперсимметричной стандартной модели с добавочным Хиггсовским синглетом (расширенная минимальная суперсимметричная стандартная модель, NMSSM¹). Показывается, что ограничения на массы Хиггсовских бозонов в случае спонтанного нарушения CP-четности значительно строже, чем в отсутствие такового.

Во второй части диссертации изучается вопрос, может ли, благодаря спонтанному нарушению CP-четности, CP-асимметрия радиационных распадов b -кварка в расширениях стандартной модели существенным образом отличаться от таковой, предсказанной в рамках SM. Исследование этого вопроса производится в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM. Показывается, что благодаря новому источнику нарушения CP-инвариантности теории, связанному со спонтанным CP-нарушением, значения CP-асимметрии распадов $b \rightarrow d\gamma$ и $b \rightarrow s\gamma$ существенным образом отличаются от значений, предсказанных в рамках стандартной модели.

Ограничения на массы Хиггсовских бозонов делятся на два типа: экспериментальные и теоретические. Согласно последним экспериментальным данным, в рамках стандартной модели Хиггсовская частица должна быть тяжелее 90 ГэВ. Экспериментальные ограничения на массы Хиггсовских бозонов получены также для расширений SM. Так, в минимальной суперсимметричной стандартной модели (MSSM), содержащей два Хиггсовских дублета (соответственно, имеются

¹ Точнее говоря, рассматривается простейшая версия NMSSM, в которой суперпотенциал не содержит массовых членов.

пять физических Хиггсовских степени свободы: две CP-четные, одна CP-нечетная и одна комплексная заряженная степени свободы), наилегчайшая нейтральная Хиггсовская частица (как CP-четная так и CP-нечетная) должна быть тяжелее 75 ГэВ, а заряженный Хиггсовский бозон должен быть тяжелее 60 ГэВ.

Теоретические ограничения на массы Хиггсовских бозонов получаются

- а) благодаря ограничениям на константы связи теории;
б) благодаря ограничениям на массовые параметры теории.

Ограничения на константы связи теории получаются из анализа уравнений группы ренормализации для этих параметров. Впервые такой анализ был проведен в работе Кабибо, Маиани, Паризи и Петронцио в 1979 г. В дальнейшем уравнения группы ренормализации исследовались в целом ряде работ, где были развиты различные методы получения предсказаний как для констант связи, так и для других параметров теории. Несмотря на достаточно большое разнообразие вышеупомянутых методов, все они имеют одну общую черту, - а именно, в основе всех этих методов лежит предположение об отсутствии новой физики между масштабом нарушения электрослабой симметрии или суперсимметрии ($\sim (10^2 - 10^4)$ ГэВ) и масштабами объединения ($\sim (10^{16} - 10^{18})$ ГэВ).

В диссертации ограничения на константы связи теории получаются следующим образом. Исследуются уравнения группы ренормализации для калибровочных, Юкавовских и скалярных констант связи во всем диапазоне энергий от масштаба нарушения электрослабой симметрии (~ 100 ГэВ) до масштабов объединения ($\sim (10^{16} - 10^{18})$ ГэВ). Требуется, чтобы во всем рассматриваемом диапазоне энергий вышеупомянутые константы связи были достаточно малы - так, чтобы теория возмущений была применима. Это требование приводит к некоторым ограничениям на Юкавовские и скалярные константы связи теории в масштабе нарушения электрослабой симметрии (или в масштабе нарушения суперсимметрии), которые в дальнейшем преобразуются в ограничения на массы Хиггсовских бозонов. Ограничения на константы связи теории получаются также из условия вакуумной стабильности Хиггсовского потенциала и благодаря экспериментальным ограничениям на массу t -кварка.

Наиболее общие ограничения на массовые параметры теории получаются из уравнений минимума Хиггсовского потенциала. Эти ограничения различны в случае отсутствия спонтанного нарушения CP-четности и в случае наличия такового. В случае отсутствия спонтанного CP-нарушения, благодаря условию $\eta^2 = v_1^2 + v_2^2 = (174 \text{ ГэВ})^2$ (где v_1 и v_2 - вакуумные средние Хиггсовских дублетов), уравнения минимума Хиггсовского потенциала позволяют получить некоторое ограничение на массовые параметры теории (точнее, на их некоторую комбинацию). В результате получается ограничение на массу одной нейтральной Хиггсовской частицы, - а именно, масса этой частицы должна быть порядка 100 ГэВ или меньше.

В случае спонтанного нарушения CP - четности условие существования ненулевого решения уравнения минимума для вакуумных фаз (детерминант матрицы однородного уравнения должен быть равен нулю) накладывает дополнительное ограничение на массовые параметры теории. Следствием этого является получение ограничений на массы более чем одной Хиггсовских частиц. В диссертации такие ограничения исследуются в рамках расширенной минимальной суперсимметричной стандартной модели.

Существует также возможность получения предсказаний для (нарушающих суперсимметрию) массовых параметров теории, благодаря исследованию уравнений группы ренормализации для этих параметров. Такие предсказания получаются благодаря рассмотрению специальных решений вышеупомянутых уравнений, - например, так называемых Хилловских квази - фиксированных точек. Эти квази - фиксированные точки получаются, если в высокоэнергетических масштабах ($M_G \sim (10^{16} - 10^{18})$ ГэВ) константа связи Юкавовского взаимодействия t-кварка с Хиггсовским дуплетом (Y_t) предполагается быть достаточно большой². Существование (в низкоэнергетических (инфракрасных) масштабах) такой фиксированной точки собственно для Юкавовской константы связи t-кварка было обнаружено К. Хиллом в 1981г., после чего эта квази - фиксированная точка была детально исследована как в рамках стандартной модели, так и в рамках MSSM. В 1994г. Карена, Олеховский, Покорский и Вагнер показали, что в минимальной суперсимметричной стандартной модели решения уравнения группы ренормализации для нарушающего суперсимметрию параметра трilinearного взаимодействия t-скварка с Хиггсовским дуплетом теряют зависимость от начальных условий, если Юкавовская константа связи t-кварка изначально (т.е. в высокоэнергетических масштабах) достаточно велика. В дальнейшем были также исследованы возможные квази - фиксированные точки для нарушающих суперсимметрию масс скварков и Хиггсовских бозонов (следует отличать эти массы от физических масс вышеупомянутых частиц). Было показано, что используя вышеупомянутые квази-фиксированные точки, можно получить предсказания для масс Хиггсовских бозонов, скварков и чарджино (линейной комбинации заряженного калибровочного фермиона слабых взаимодействий и Хиггсина) как функции только от двух неизвестных параметров: универсальной скалярной массы m_0 и универсальной массы калибровочных фермионов³ $m_{1/2}$.

² Формально Хилловские квази - фиксированные точки получаются в пределе $Y_t(M_G) \rightarrow \infty$, лежащим за границами применимости теории возмущений. В действительности, однако, эти квази-фиксированные точки достигаются при $Y_t(M_G) \gg \alpha_3(M_G)$ (где α_3 константа связи сильных взаимодействий), что позволяет использовать их для получения предсказаний для параметров теории.

³ Как известно, условие универсальности на нарушающие суперсимметрию массы скалярных частиц и калибровочных фермионов накладывает в масштабах ($\sim (10^{16} - 10^{18})$ ГэВ. В низкоэнергетических масштабах это условие, вообще говоря, нарушается, благодаря

Метод Хилловских квази - фиксированных точек используется также в диссертации. Показывается, что в MSSM решения уравнений группы ренормализации для нарушающих суперсимметрию масс скварков и Хиггсовских бозонов (точнее, для их отношений к массе глюино) оказываются не зависящими (или слабо зависящими) также от $m_0^2/m_{1/2}^2$, при малых и умеренных значениях этого соотношения и изначально достаточно большим значением Юкавовской константы связи t-кварка. Это свойство решений уравнений группы ренормализации для нарушающих суперсимметрию масс позволяет получить предсказания для (физических) масс Хиггсовских бозонов, скварков и чарджино, зависящие только от одного неизвестного параметра, - $m_{1/2}$, или же, эквивалентно, от массы глюино, M_3 . Используя эти предсказания, можно объяснить, например, почему Хиггсовские бозоны или скварки до сих пор экспериментально не наблюдались.

К радиационным распадам b-кварка относятся $b \rightarrow s\gamma$ ($b \rightarrow d\gamma$), $b \rightarrow sg$, $b \rightarrow s l^+ l^-$ и другие (здесь γ , g , $l^+ l^-$ обозначают, соответственно, фотон, глюон и лептонные пары). Как следует из приведенных примеров, в радиационных распадах b-кварка имеют место переходы $b \rightarrow s$ и $b \rightarrow d$, которые возможны благодаря петлям, содержащим кварки "верхнего" типа (u, c, t), а также заряженные W (в $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели это могут быть как "левые" так и "правые" W бозоны) или Хиггсовские бозоны. В суперсимметричных моделях эти переходы происходят также благодаря петлям, содержащим скварки и чарджино, скварки и нейтралино, или же скварки и глюино.

В рамках стандартной модели (где радиационные распады b-кварка происходят только благодаря петлям, содержащим "левые" W-бозоны) теоретические предсказания для инклюзивного распада $B \rightarrow X_s \gamma$ дают $BR(B \rightarrow X_s \gamma) = (3.5 \pm 0.32) \times 10^{-4}$. Этот результат в достаточно хорошей степени согласуется с экспериментальными данными, согласно которым $BR(B \rightarrow X_s \gamma) = (3.15 \pm 0.54) \times 10^{-4}$. А это значит, что в расширениях стандартной модели ширина распада $b \rightarrow s\gamma$ не должна существенным образом отличаться от таковой, предсказанной в рамках SM. Это требование позволяет получить ограничения на параметры расширений стандартной модели, - например, на массу заряженного Хиггсовского бозона или на массу чарджино.

Другой возможностью получения информации относительно параметров расширений SM является исследование CP-асимметрии в радиационных распадах b-кварка. Так называемое "прямое" нарушение CP-четности в распадах $b \rightarrow s\gamma$ и $b \rightarrow d\gamma$ означает наличие ненулевой разности между ширинами вышеупомянутых распадов и ширинами CP-сопряженных распадов. Для того чтобы такое нарушение CP-четности имело место, необходимо наличие в теории CP-нарушающих комплексных фаз (например, фазы CKM-матрицы

различной эволюции вышеупомянутых масс согласно их уравнениям группы ренормализации.

смешивания кварков или же вакуумных фаз Хиггсовских полей), а также мнимой части в петлях диаграмм распадов (мнимая часть в вышеупомянутых петлях возникает на двупетлевом уровне, при учете глюонных поправок к амплитудам распадов). В рамках стандартной модели CP – асимметрия возникает исключительно благодаря фазе CKM – матрицы смешивания кварков. Как было показано Соаресом (1990г.), в распаде $b \rightarrow s\gamma$ должна наблюдаться CP – асимметрия порядка (0.5-1)%, а в распаде $b \rightarrow d\gamma$ CP – асимметрия может достигать (15-20)%. CP – асимметрия в распаде $b \rightarrow s\gamma$ была рассмотрена также в работе Л. Вольфенштейна и Й. Бу (1994г.) – в рамках 2HDM, и в работе Г. М. Асатрян и А. Н. Иоаннисяна (1996г.) – в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели. Было показано, что в этих расширениях стандартной модели CP – асимметрия распада $b \rightarrow s\gamma$ может иметь обратный знак, по сравнению с предсказаниями SM, а ее абсолютное значение может быть как минимум в 1.5 раза больше чем в SM.

Исследования, аналогичные таковым в вышеупомянутых работах, производятся также в рамках предлагаемой диссертации: здесь в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM рассматривается проблема CP – асимметрии в распаде $b \rightarrow d\gamma$. Проблема CP – асимметрии в распаде $b \rightarrow s\gamma$ тоже обсуждается, однако, в отличие от предыдущих работ, основной акцент ставится на детальном исследовании этой проблемы в наиболее общих версиях $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM.

Таким образом, у предлагаемой диссертации следующие цели:

- 1) Исследовать в рамках суперсимметричных моделей возможные ограничения на массы Хиггсовских бозонов, получающиеся благодаря анализу уравнений группы ренормализации, а также из уравнений минимума Хиггсовского потенциала.
- 2) Рассмотреть возможность спонтанного нарушения CP – четности в суперсимметричных моделях. Получить ограничения на массы Хиггсовских бозонов как в случае присутствия, так и в случае отсутствия спонтанного CP – нарушения.
- 3) В случае отсутствия спонтанного CP – нарушения сравнить ограничения на массу наименьшего Хиггсовского бозона, получающиеся в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели (MSSM) и ее простейшего расширения с добавочным Хиггсовским синглетом (NMSSM).
- 4) Получить предсказания для масс Хиггсовских бозонов, а также ряда суперсимметричных частиц, используя специальные решения (квази – фиксированные точки) уравнений группы ренормализации для нарушающих суперсимметрию параметров теории.

- 5) Получить в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM предсказания для CP – асимметрии в распадах $b \rightarrow s\gamma$ и $b \rightarrow d\gamma$. Сравнить полученные результаты с предсказаниями стандартной модели.

Научная новизна.

1. В рамках суперсимметричных моделей впервые проведено детальное исследование ограничений на массы Хиггсовских бозонов в (не противоречащим экспериментальным данным) случае спонтанного нарушения CP – четности.
2. Впервые при сравнении ограничений на массу наименьшего Хиггсовского бозона, полученных в рамках MSSM и NMSSM, учитываются разница между “полносной” и “бегущей” массами t – кварка, а также двупетлевые радиационные поправки к массе наименьшего Хиггсовского бозона.
3. Впервые получают предсказания для масс Хиггсовских бозонов, а также ряда суперсимметричных частиц, зависящие только от одного неизвестного параметра – массы глюино.
4. В рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM впервые рассматривается проблема CP – асимметрии в распаде $b \rightarrow d\gamma$.
5. В рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели впервые исследуется CP – асимметрия распада $b \rightarrow s\gamma$ в случае так называемой невыраженной лево-правой симметрии (когда отношения абсолютных значений соответствующих элементов “левой” и “правой” CKM – матриц являются произвольными).

Прикладное значение работы.

Как уже было отмечено, теоретические предсказания для масс Хиггсовских бозонов позволяют определить диапазон энергий, в которых эти частицы следует искать. Кроме того, следует отметить, что ограничения на массы Хиггсовских бозонов, получаемые в рамках стандартной модели и ее различных расширений, вообще-то говоря, различны. А это значит, что экспериментальная проверка предсказаний для масс Хиггсовских частиц, полученных в расширениях SM, позволит выяснить, какое же из этих расширений следует использовать для описания явлений, связанных с физикой элементарных частиц в диапазоне энергий ($10^2 - 10^4$) ГэВ. Другими словами, теоретические предсказания для масс Хиггсовских бозонов обеспечивают информацией относительно новой физики, имеющей место в диапазоне энергий ($10^2 - 10^4$) ГэВ.

Такую информацию можно получить также благодаря исследованию CP – асимметрии в радиационных распадах b – кварка. Следует однако отметить, что такое исследование позволяет также выяснить, чем вызвано нарушение CP –

инвариантности в слабых распадах. Известно, что в стандартной модели CP – нарушение в слабых распадах возможно только благодаря комплексной фазе СКМ – матрицы смешивания кварков. В расширениях стандартной модели, однако, существуют также другие источники нарушения CP – инвариантности теории, – например вакуумные фазы Хиггсовских полей. Вследствие этого (теоретические) значения CP – асимметрии распадов $b \rightarrow d\gamma$ и $b \rightarrow s\gamma$, например, в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM существенным образом отклоняются от предсказаний стандартной модели. А это значит, что экспериментальное исследование CP – асимметрии в этих распадах даст возможность выяснить, существуют ли реально другие источники нарушения CP – инвариантности теории, кроме фазы СКМ – матрицы.

Таким образом, экспериментальная проверка результатов, представленных в предлагаемой диссертации, может обеспечить информацией относительно новой физики, имеющей место в диапазоне энергий ($10^2 - 10^4$) ГэВ, а также даст возможность более глубокого понимания явления нарушения CP – четности в слабых распадах.

На защиту представлены:

1. Ограничения на массы Хиггсовских бозонов в расширенной минимальной суперсимметричной стандартной модели (NMSSM) как в случае спонтанного нарушения CP – четности, так и в отсутствие таковой.
2. Сравнение ограничений на массу наилегчайшего Хиггсовского бозона, полученных в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели (MSSM) и ее простейшего расширения с добавочным Хиггсовским синглетом (NMSSM).
3. Предсказания для масс Хиггсовских бозонов, скварков и чарджино, полученные в рамках MSSM благодаря использованию так называемых Хилловских квази – фиксированных точек уравнений группы ренормализации для нарушающих суперсимметрию параметров теории. Эти предсказания зависят только от одного неизвестного параметра – от массы глюино.
4. Предсказания для CP – асимметрии распадов $b \rightarrow d\gamma$ и $b \rightarrow s\gamma$ в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM.

Апробация работы.

Результаты, представленные в диссертации, опубликованы (допущены к публикации) в журналах Mod. Phys. Lett. A, Phys. Lett. B, Acta Physica Slovaca. Отдельные результаты представлялись на следующих симпозиумах: Trieste Conference on Quarks and Leptons, 7-11 October 1997, Trieste, Italy; 10-th

International School on Particles and Cosmology, 19-25 April 1999, Baksan Valley, Russia; 11-th Rencontres de Blois: Frontiers of Matter, 28 June – 3 July 1999, Blois, France.

Все представленные в диссертации результаты обсуждались на семинарах ЕрФИ, а отдельные результаты и работы – на семинарах теоретической физики в ОИЯИ (Дубна, Россия), DESY (Гамбург, Германия), ICTP (Триест, Италия).

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из вводной части, пяти глав, заключительной части, приложений и списка литературы. Объем диссертации – 115 страниц, включая 16 рисунков. Список литературы состоит из наименований.

Содержание работы.

Вводная часть диссертации посвящена постановке задачи и обсуждению актуальности рассматриваемых проблем.

В первой главе дается общий обзор рассматриваемых проблем. В частности, обсуждаются известные методы получения ограничений на массы Хиггсовских бозонов в стандартной модели и ее расширениях. Коротко обсуждаются также проблемы, связанные с радиационными распадами b – кварков.

Во второй главе рассматривается проблема ограничений на массы Хиггсовских бозонов в расширенной минимальной суперсимметричной стандартной модели (NMSSM). Эти ограничения получаются благодаря анализу уравнений группы ренормализации для констант связи теории а также из условия минимума Хиггсовского потенциала. Рассматриваются как случай спонтанного нарушения CP – четности, так случай отсутствия такового. Показывается, что в простейшей версии NMSSM (без массовых членов в суперпотенциале) спонтанное нарушение CP – четности возможно только благодаря радиационным поправкам к Хиггсовскому потенциалу. Вследствие этого масса наилегчайшего Хиггсовского бозона получается меньше 35 ГэВ. Для того чтобы избежать противоречия с экспериментальными данными, такая Хиггсовская частица должна быть $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ синглетом, – в этом случае она имеет массу порядка нескольких ГэВ или меньше. Что же касается регистрируемых (несинглетных) частиц, существует три нейтральные и одна заряженная Хиггсовские частицы с массами порядка (100 – 200) ГэВ или меньше. В случае отсутствия спонтанного CP – нарушения ограничения получаются только на массу наилегчайшей Хиггсовской частицы.

В третьей главе производится сравнение ограничений на массу наилегчайшего Хиггсовского бозона, полученных в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели (MSSM) и ее простейшего расширения с

добавочным Хиггсовским синглетом (NMSSM). При проведении сравнения учитывается разница между "полосной" и "бегущей" массами t -кварка, а также двупетлевые радиационные поправки к массе наилегчайшего Хиггсовского бозона. Показывается, что разница между предсказаниями моделей может достигать 40 ГэВ, при значениях отношения вакуумных средних Хиггсовских дуплетов, близких к двум. Отмечается необходимость более детального сравнения предсказаний MSSM и NMSSM. Для этого однако необходимо получение дополнительных предсказаний для нарушающих суперсимметрию массовых параметров теории.

В четвертой главе исследуется возможность получения таких предсказаний в рамках MSSM, благодаря анализу уравнений группы ренормализации для нарушающих суперсимметрию параметров теории. Рассматриваются специальные решения этих уравнений – так называемые Хилловские квази – фиксированные точки, которые получаются, если в высокоэнергетических масштабах константа Юкавовского взаимодействия t -кварка с Хиггсовским дуплетом предполагается быть достаточно большой. Использование этих квази – фиксированных точек позволяет получить предсказания для масс Хиггсовских бозонов, скварков и чарджино, зависящих только от одного неизвестного параметра, – от массы глюино. Согласно этим предсказаниям, значения масс наилегчайшего Хиггсовского бозона и наилегчайшего скварка находятся достаточно близко к их верхним границам, являющимся функциями от массы глюино. Другими словами, используя Хилловские квази – фиксированные точки, как наиболее вероятные решения вышеупомянутых уравнений группы ренормализации, можно естественным образом объяснить, почему Хиггсовские частицы и скварки до сих пор экспериментально не наблюдались.

В пятой главе рассматривается проблема нарушения CP - четности в радиационных распадах b – кварка. Показывается, что в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM новый источник нарушения CP - четности, связанный со спонтанным CP – нарушением, дает существенный вклад в CP – асимметрию вышеупомянутых распадов. Так CP – асимметрия распада $b \rightarrow d\gamma$ может иметь обратный знак, по сравнению с предсказаниями стандартной модели, а абсолютное значение CP – асимметрии распада $b \rightarrow s\gamma$ может быть, кроме того, в несколько раз больше чем в стандартной модели. Наибольшие отклонения от предсказаний SM получаются – в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели – в случае так называемой невыраженной лево - правой симметрии (когда отношения соответствующих элементов левой и правой СКМ – матриц являются произвольными) и – в рамках 2HDM – в случае, когда оба Хиггсовских дублета взаимодействуют как с кварками верхнего типа, так и с кварками нижнего типа. В случае невыраженной лево – правой симметрии существует также область пространства параметров теории, где CP – асимметрия распада $b \rightarrow d\gamma$, вычисленная в главном логарифмическом приближении (по поправкам КХД) становится неестественно большой (превышает 100%). Это значит, что в

этой области пространства параметров $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели необходим учет поправок КХД высшего порядка к ширине распада $b \rightarrow d\gamma$.

В заключительной части диссертации приводятся основные полученные результаты.

Некоторые из формул, используемых в диссертации, даются в приложениях.

Основные результаты диссертации.

1. Получены ограничения на массы Хиггсовских бозонов и исследована проблема CP - асимметрии в распадах $b \rightarrow d\gamma$ и $b \rightarrow s\gamma$ в расширениях стандартной модели.
2. Ограничения на массы Хиггсовских бозонов получаются из ограничений на параметры теории. Наиболее общие ограничения на параметры теории получаются – для констант связи – из анализа уравнений группы ренормализации и – для массовых параметров теории – из уравнений минимума Хиггсовского потенциала. Эти ограничения исследуются как в случае спонтанного нарушения CP - четности, так и в случае отсутствия таковой. Рассматривается простейшая суперсимметричная модель, в которой в случае спонтанного нарушения CP - четности удается избежать противоречий с экспериментальными данными. Такой моделью оказывается простейшая версия расширенной минимальной суперсимметричной стандартной модели, в которой суперпотенциал не содержит массовых членов.
3. В случае отсутствия спонтанного CP – нарушения ограничения получаются только для массы наилегчайшего Хиггсовского бозона. Эта частица имеет массу порядка 100 ГэВ или меньше. В случае же спонтанного CP – нарушения наилегчайшая Хиггсовская частица должна быть $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ синглетом, для того чтобы не получалось противоречия с экспериментальными данными. В этом случае эта частица имеет массу порядка нескольких ГэВ или меньше. Кроме того, существуют три регистрируемые (несинглетные) нейтральные и одна заряженная Хиггсовские частицы с массами порядка 100 ГэВ или меньше.
4. Кроме наиболее общих ограничений, предсказания относительно нарушающих суперсимметрию параметров теории можно получить, используя специальные решения их уравнений группы ренормализации, – так называемые Хилловские квази – фиксированные точки. Эти предсказания преобразуются в предсказания для масс Хиггсовских бозонов, а также ряда суперсимметричных частиц. Согласно этим предсказаниям, в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели все Хиггсовские бозоны, кроме наилегчайшего CP - четного, скварки и чарджино имеют массы значительно больше 100 ГэВ. Как очевидно следует из этих

результатов, использование Хиггсовских квази – фиксированных точек позволяет объяснить, почему та или иная частица, предполагаемая в рамках MSSM, до сих пор экспериментально не наблюдалась.

5. В рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели и 2HDM, благодаря новому источнику нарушения CP – инвариантности теории, связанному со спонтанным CP – нарушением, CP – асимметрия распада $b \rightarrow d\gamma$ может иметь обратный знак, по сравнению с предсказаниями стандартной модели, а абсолютное значение CP – асимметрии распада $b \rightarrow s\gamma$ может быть в несколько раз больше чем в стандартной модели. Наибольшие отклонения от предсказаний SM получаются – в рамках $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ модели – в случае так называемой невыраженной лево - правой симметрии и – в рамках 2HDM – в случае, когда оба Хиггсовских дублета взаимодействуют как с кварками верхнего типа, так и с кварками нижнего типа.

Список литературы.

- 1) М. Б. Волошин, К. А. Тер – Мартиросян, “Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц”, Москва 1984; Л. Райдер, “Квантовая теория поля”, Cambridge University Press 1985, Москва 1987; Л. Б. Окунь, “Лептоны и кварки”, Москва 1990
- 2) D. Volkov, V. Akulov, Phys. Lett. B46 (1973) 49 ; J. Wess, B. Zumino, Nucl. Phys. B70 (1974) 39; P. Fayet, S. Ferrara, Phys. Rep. C32 (1977); J. Bagger, J. Wess, “Introduction to the supersymmetry”, Princeton Univ. Press, Princeton NJ (1983)
- 3) R. N. Mohapatra, J. C. Pati, Phys. Rev. D11 (1975) pp. 566; 2558; J. C. Pati, A. Salam, Phys. Rev. Lett. 31 (1973) 661; H. M. Asatrian, A. N. Ioannissian, Mod. Phys. Lett. A5 (1990), 1089; Sov. J. Nucl. Phys. 51 (1990) 858; P. Cho, M. Misiak, Phys. Rev. D49 (1994) 5894
- 4) G. Gelmini, "Beyond the Standard Model", UCLA-93-TEP-33, hep-ph/9307309
- 5) The OPAL Collaboration, Phys. Lett. B437 (1998) 1; 218; The ALEPH Collaboration, Phys. Lett. B440 (1998) 419; DELPHI Collaboration, CERN-EP/99-06; The OPAL Collaboration, Eur. Phys. Journal C7 (1999) 407
- 6) N. Cabibo, L. Maiani, G. Parisi, R. Petronzio, Nucl. Phys. B158 (1979) 295
- 7) H. M. Asatrian, A. N. Ioannissian, S. G. Mayinyan, Z. Phys. C61 (1994) 265
- 8) C. T. Hill, Phys. Rev. D24 (1981) 691
- 9) M. Carena et al., Nucl. Phys. B419 (1994) 213
- 10) A. Ali, H. M. Asatrian, P. Greub, Phys. Lett. B429 (1998) 87
- 11) T. Skwarnicki (CLEO Collaboration) Talk given at ICHEP 98

- 12) J. Soares, Nucl. Phys. B367 (1991) 575
- 13) L. Wolfenstein, Y. Wu, Phys. Rev. Lett. 73 (1994) 2809
- 14) H. M. Asatrian, A. N. Ioannissian, Phys. Rev. D54 (1996) 5242

Список опубликованных работ по теме диссертации.

- 1) H. M. Asatrian, G. K. Yeghiyan, Mod. Phys. Lett. A10 (1995) 2943; H. M. Asatrian, G. K. Yeghiyan, Preprint YERPHI – 1448(18) – 95, hep-ph/9508263
- 2) H. M. Asatrian, G. K. Yeghiyan, Mod. Phys. Lett. A11 (1996) 2771
- 3) H. M. Asatrian, G. K. Yeghiyan, A. N. Ioannissian, Phys. Lett. B399 (1997) 303
- 4) G. K. Yeghiyan, M. Jurcisin, D. I. Kazakov, Mod. Phys. Lett. A14 (1999) 601
- 5) G. K. Yeghiyan, Preprint YERPHI – 1532(5) – 99, hep-ph/9904488, accepted for publication in Acta Physica Slovaca.

Gagik K. Yeghiyan

Constraints on Higgs Boson Masses and CP – violating Effects Beyond the Standard Model

Resume

The thesis is devoted to the Higgs boson masses problem and to study of CP – asymmetry in b – quark radiative decays in the extensions of the standard model. The common feature in the investigation of both problems is the analysis of the impact of spontaneous CP – violation on the obtained results. The restrictions on Higgs bosons masses allow one to determine the energy range, where these particle should be discovered. Besides this, it is known that the predictions of both the standard model and its several extensions for these particles masses are different in general. This means that the investigation of the restrictions on Higgs particles masses can provide for the information on new physics in the TeV region. The investigation of CP – asymmetry in b – quark radiative decays – besides this information – can help also to understand the CP – breaking phenomenon.

The restrictions on Higgs particles masses are derived from constraints on the coupling constants and mass parameters of theory. The restrictions on coupling constants of theory are obtained from the analysis of their renormalization group equations (RGE's). The most general restrictions on mass parameters of theory are obtained from minimum equations for the Higgs potential. In the thesis the restrictions on Higgs bosons masses are investigated in the simplest version of the next – to – minimal supersymmetric standard model (NMSSM) with the absence of mass terms in the superpotential. This version of the NMSSM turns to be the simplest supersymmetric model, where the scenario with spontaneous CP – violation does not contradict with the experimental data. In this model spontaneous CP – violation is possible due to the radiative corrections to the Higgs potential: at tree level it is not possible to provide for positiveness of the Higgs boson masses squared. As a consequence the lightest neutral Higgs mass is obtained to be smaller than 35 GeV. To avoid the contradiction with

the experiment, this particle should be an $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ singlet, - then it has the mass of the order of few GeV or smaller. As for the detectable (nonsinglet) Higgs particles, three neutral and one charged Higgses with masses of the order of (100-200)GeV or smaller exist.

In the case of the absence of spontaneous CP-violation the restrictions only on the lightest Higgs mass are obtained, - this particle has the mass of the order 100 GeV or smaller. The NMSSM upper bound on the lightest Higgs mass can be about 40GeV larger than the one in the minimal supersymmetric standard model (MSSM). Such a large difference is obtained for the ratio of Higgs doublets vacuum expectation value being close to 2.

Except of the most general restrictions, the predictions for the supersymmetry breaking mass parameters of theory can be obtained from the analysis of their renormalization group equations, when using the special solutions of these RGE's, - the so-called Hill quasi-fixed points. These quasi-fixed points are obtained (at low energy scales), if one assumes that the top quark Yukawa coupling is large enough at high-energy scales $\sim (10^{16}-10^{18})$ GeV. Using the Hill quasi-fixed points for the supersymmetry breaking parameters of theory, one can make the predictions for masses of the Higgs bosons and some supersymmetric particles, as the functions of the only unknown parameter - the gluino mass. According these predictions, in the MSSM the lightest Higgs boson and the lightest squark masses are close to their upper boundaries as functions of the gluino mass. This means that using the Hill quasi-fixed points, one may explain in a natural way, why the Higgs bosons and squarks were not detected so far.

The CP - asymmetry in b - quark radiative decays is investigated in the $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ model and two - Higgs doublets extension of the standard model (2HDM). In these models there is new source of CP - asymmetry in aforementioned decays, connected with spontaneous CP - violation. Due to this new source in the $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ model and 2HDM CP - asymmetry in $b \rightarrow d\gamma$ can have opposite sign, as compared to the predictions of the standard model, and the absolute value of CP - asymmetry in $b \rightarrow s\gamma$ decay can also be few times larger than in the standard model. The largest deviations from the standard model predictions are obtained in the case of so-called non-manifest left-right symmetry (when the ratios of absolute values of the corresponding elements of left and right CKM matrices are arbitrary) and in the version of 2HDM, where both of Higgs doublets interact both with the up-type and with the down-type quarks. In the case of non-manifest left-right symmetry there is also some region of parameters space of theory, where CP - asymmetry for $b \rightarrow d\gamma$ decay becomes abnormally large (it exceeds 100%), when using leading logarithmic approximation (in QCD corrections) for calculating this decay width. This means that in this region of the $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ model parameters space next-to-leading order QCD corrections to $b \rightarrow d\gamma$ decay width must be also taken into account.

Գազիկ եղիյան

Սահմանափակումներ Գիզսի բողոմների զանգվածների վրա և CP - զույգությունը խախտող երևույթներ ստանդարտ մոդելից դուրս

Ամփոփում

Ատենախոսությունը նվիրված է Գիզսի բողոմների զանգվածների պրոբլեմի և b - քվարկի ռադիացիոն տրոհումներում CP - անհամաչափության ուսումնասիրմանը: Դիտարկվող երկու պրոբլեմները ունեն այն ընդհանրությունը, որ ուսումնասիրվում է ինքնաբերական CP - խախտման ազդեցությունը ստացվող արդյունքների վրա: Գիզսի բողոմների զանգվածների համար ստացվող սահմանափակումները թույլ են տալիս բնորոշել էներգիաների այն տիրույթը, որտեղ այդ մասնիկները պետք է որ հայտնաբերվեն: Բացի դրանից՝ հայտնի է, որ ինչպես ստանդարտ մոդելի, այնպես էլ նրա տարբեր ընդլայնումների կանխագուշակումները Գիզսի մասնիկների զանգվածների համար, ընդհանուր առմամբ, տարբերվում են միմյանցից: Դա նշանակում է, որ Գիզսի մասնիկների զանգվածների վրա ստացվող սահմանափակումների հետազոտությունը կարող է լրատվություն տալ 1 ՏեՎ-ի կարգի էներգիաների տիրույթում գոյություն ունեցող նոր ֆիզիկայի վերաբերյալ: b - քվարկի ռադիացիոն տրոհումներում CP - անհամաչափության ուսումնասիրությունը, բացի վերոհիշյալ լրատվությունը տալուց, կարող է նաև օգնել ավելի խորը հասկանալ CP - խախտման երևույթը:

Սահմանափակումները Գիզսի մասնիկների զանգվածների վրա ստացվում են տեսության փոխազդեցությունների գործակիցների և զանգվածային պարամետրերի համար գոյություն ունեցող սահմանափակումներից: Փոխազդեցության գործակիցների համար սահմանափակումները ստացվում են վերանորմավորման խմբի հավասարությունների հետազոտման շնորհիվ: Ամենաընդհանուր սահմանափակումները տեսության զանգվածային պարամետրերի համար ստացվում են Գիզսի պոտենցիալի մինիմումի հավասարություններից: Ատենախոսության մեջ Գիզսի մասնիկների զանգվածների սահմանափակումները ուսումնասիրվում են ընդլայնված նվազագույն գերհամաչափ ստանդարտ մոդելի (NMSSM) պարզագույն տարբերակի սահմաններում, որտեղ գերպոտենցիալը զանգվածային անդամներ չի պարունակում: Պարզվում է, որ NMSSM - ի այդ տարբերակը պարզագույն գերհամաչափ մոդելն է, որտեղ ինքնաբերական CP - խախտման սցենարը չի հակասում փորձարարական տվյալներին: Այդ մոդելում ինքնաբերական CP - խախտումը հնարավոր է միայն Գիզսի պոտենցիալի ռադիացիոն ուղղումների շնորհիվ. «ծառային» մոտավորության դեպքում հնարավոր չէ ապահովել Գիզսի բողոմների զանգվածների քառակուսիների դրական լինելը: Դետեկտում թեթևագույն Գիզսի մասնիկի զանգվածը 35 ԳեՎ - ից փոքր է ստացվում: Փորձարարական տվյալների հետ հակասությունից խուսափելու համար այդ մասնիկը պետք է լինի $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ սինգլետ. այդ դեպքում նրա զանգվածը մի քանի ԳեՎ - ի կարգի է կամ ավելի փոքր: Ինչ վերաբերվում է դիտարկելի (ոչ սինգլետային մասնիկներին), գոյություն ունեն Գիզսի երեք չեզոք և մեկ լիցքավորված մասնիկ (100-200) ԳեՎ կամ ավելի փոքր զանգվածներով:

Ինքնաբերական CP - խախտման բացակայության դեպքում սահմանափակումներ են ստացվում միայն Գիզսի թեթևագույն մասնիկի զանգվածի վրա. այդ մասնիկի զանգվածը պետք է լինի 100 ԳեՎ - ի կարգի կամ ավելի փոքր: NMSSM - ի սահմաններում ստացած Գիզսի թեթևագույն մասնիկի զանգվածի արժեքի վերին սահմանը կարող է 40 ԳեՎ - ով մեծ լինել քան այն նվազագույն գերհամաչափ ստանդարտ մոդելում (MSSM): Այդպիսի մեծ տարբերություն

ստացվում է Հիգսի դուբլետների վակուումային միջինների հարաբերությունը $2 - \text{ին}$ մոտիկ լինելու դեպքում:

Ամենաընդհանուր սահմանափակումներից բացի՝ կանխագուշակումներ տեսության գերհամաչափությունը խախտող զանգվածային պարամետրերի վերաբերյալ կարող են նաև ստացվել վերանորոնավորման խմբի հավասարությունների հետազոտման շնորհիվ, օգտագործելով այդ հավասարությունների հատուկ լուծումները՝ այսպես կոչված Հիլի քվազի-ֆիքսված կետերը: Այդ քվազի-ֆիքսված կետերը ստացվում են (ցածր էներգիաների տիրույթում), երբ $t - \text{քվարկի Յուկավայի փոխազդեցության գործակցի արժեքը}$ ենթադրվում է բավականին մեծ բարձր էներգիաների $\sim (10^{16} - 10^{18})$ տիրույթում: Օգտագործելով Հիլի քվազի-ֆիքսված կետերը գերհամաչափությունը խախտող պարամետրերի համար, կարելի միայն մեկ անհայտ պարամետրից՝ գլուինոի զանգվածից կախված կանխագուշակումներ ստանալ Հիգսի բոզոնների և մի շարք գերհամաչափային մասնիկների զանգվածների վերաբերյալ: Այդ կանխագուշակումների համաձայն, MSSM - ում Հիգսի թեթևագույն մասնիկի և թեթևագույն սքվարկի զանգվածների արժեքները մոտիկ են գլուինոի զանգվածից կախված այդ արժեքների համար գոյություն ունեցող վերին սահմաններին: Դա նշանակում է, որ, օգտագործելով Հիլի քվազի-ֆիքսված կետերը, կարելի է բնական ձևով բացատրել, թե ինչու Հիգսի բոզոնները և սքվարկերը մինչև այժմ չեն դիտվել:

CP - անհամաչափությունը $b - \text{քվարկի ռադիացիոն տրոհումներում}$ հետազոտվում է $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ մոդելի և Հիգսի երկու դուբլետ պարունակող ստանդարտ մոդելի ընդլայնման (2HDM) սահմաններում: Այդ մոդելներում գոյություն ունի վերոհիշյալ տրոհումներում CP - անհամաչափության նոր աղբյուր, կապված ինքնաբերական CP - խախտման հետ: Այդ նոր աղբյուրի շնորհիվ՝ $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ մոդելի և 2HDM - ի սահմաններում $b \rightarrow d\gamma$ տրոհման CP - անհամաչափությունը կարող է հակառակ նշանն ունենալ՝ համեմատած ստանդարտ մոդելի կանխագուշակումների, իսկ $b \rightarrow s\gamma$ տրոհման CP - անհամաչափության բացարձակ արժեքը կարող է բացի դրանից մի քանի անգամ մեծ լինել քան այն ստանդարտ մոդելի սահմաններում: Ամենամեծ շեղումները ստանդարտ մոդելի կանխագուշակումներից ստացվում են այսպես կոչված չարտահայտված ծախս - աջ համաչափության դեպքում (երբ CKM - մատրիցայի համապատասխան էլեմենտների բացարձակ արժեքների հարաբերությունները կամայական են) և 2HDM - ի այն տարբերակում, որտեղ Հիգսի երկու դուբլետներն էլ փոխազդում են ինչպես վերին, այնպես էլ ներքին տեսակի քվարկերի հետ: Չարտահայտված ծախս - աջ համաչափության դեպքում գոյություն ունի նաև պարամետրերի տարածքի այնպիսի տիրույթ, որտեղ $b \rightarrow d\gamma$ տրոհման CP - անհամաչափությունը դառնում է չափազանց մեծ (անցնում է 100% - ից), երբ օգտագործվում է զլխավոր լուգարիթմների մոտավորությունը (ՔԽԴ - ի ուղղումների համար): Դա նշանակում է, որ $SU(2)_L \otimes SU(2)_R \otimes U(1)_Y$ մոդելի պարամետրերի տարածքի այդ տիրույթում ՔԽԴ - ի ավելի բարձր կարգի ուղղումները $b \rightarrow d\gamma$ տրոհման համար պետք է հաշվի առնվեն:

Տպագրված է ՀՀ ԲՈՀ-ի պատվերով

Հանձնված է տպագրության 08.09.99 թ: Պատվեր 148: Տպաքանակ 60:

Տպագրված է «Դավիթ» կոոպերատիվի տպարանում:
Երևան, Տերյան 72: