

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2-2001-233

На правах рукописи
УДК 539.12.01

ЮРЧИШИН
Мариан

**ПРЕДСКАЗАНИЯ МАСС В РАМКАХ МССМ
НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНЫХ
КВАЗИФИКСИРОВАННЫХ ТОЧЕК**

Специальность: 01.04.02 — теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 2001

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики имени Н.Н.Боголюбова Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук

Д.И.Казаков

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

М.И.Высоцкий
(ГНЦ ИТЭФ)

кандидат физико-математических наук

С.В.Троицкий
(ИЯИ РАН)

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики
МГУ им.М.В.Ломоносова

Защита состоится " _____ " _____ в _____ 2001 г.
на заседании диссертационного совета К 720.001.01 при
Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна,
Московская обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 2001 г.

Ученый секретарь диссертационного совета


С.И.Федотов

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена исследованию массового спектра частиц в рамках Минимального Суперсимметричного расширения Стандартной Модели.

Актуальность проблемы. Современная теория объединения электромагнитного и слабого взаимодействия была построена в течении шестидесятих годов прошлого века. Без всякого сомнения можно сказать, что это было не только началом современного понимания электрослабых свойств элементарных частиц, но и началом современного понимания физики высоких энергий в целом. Основной принцип этой теории – принцип локального калибровочного преобразования – был использован при построении теории сильного взаимодействия – квантовой хромодинамики и после этого Стандартная Модель физики частиц приобрела современную форму. Стандартная Модель описывает как качественно, так и количественно, практически все явления, относящиеся к сильным, слабым и электромагнитным взаимодействиям.

Тем не менее, и она не лишена недостатков: в модели имеется слишком много свободных параметров, объединение сильных и электрослабых взаимодействий является лишь формальным, происхождение массового спектра частиц не ясно, существование скалярных хиггсовских частиц пока не подтверждено экспериментально, число поколений частиц не фиксируется в рамках Стандартной модели, и, наконец, отсутствует объединение гравитации с остальными взаимодействиями.

Решение всех этих проблем, несомненно, следует искать за пределами Стандартной Модели. Возможный путь к ответам на все эти вопросы лежит в теориях, которые обладают симметрией, связывающей между собой поля с различной статистикой – суперсимметрией. Суперсимметричные теории обладают рядом интересных особенностей, в частности, в теориях с ненарушенной суперсимметрией происходит ”чудесное” сокращение ультрафиолетовых расходимостей.

Наиболее простым суперсимметричным расширением Стандартной Модели является, так называемая Минимальная Суперсимметричная Стандартная Модель (МССМ). В этой модели для каждой частицы Стандартной Модели добавляется суперпартнер с теми же квантовыми числами, и кроме того необходимо также добавить второй дублет хиггсовских скалярных полей.

Лагранжиан Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели состоит из членов, описывающих калибровочные взаимодействия, юкавские взаимодействия и членов, нарушающих суперсимметрию:

$$L = L_{gauge} + L_{Yukawa} + L_{breaking}$$

где L_{gauge} и L_{Yukawa} имеют вид:

$$L_{gauge} = \frac{1}{4} \sum_{SU(3), SU(2), U(1)} \left[\text{Tr} W^\alpha W_\alpha + \text{Tr} \bar{W}^{\dot{\alpha}} \bar{W}_{\dot{\alpha}} \right] + \sum_{Matter} \Phi_i^\dagger e^{g_3 \hat{G} + g_2 \hat{V} + g_1 \hat{V}'} \Phi_i,$$

$$L_{Yukawa} = h_{\alpha\beta}^u \hat{Q}_\alpha \hat{U}_\beta^c \hat{H}_2 + h_{\alpha\beta}^d \hat{Q}_\alpha \hat{D}_\beta^c \hat{H}_1 + h_{\alpha\beta}^l \hat{L}_\alpha \hat{L}_\beta^c \hat{H}_1 + \mu \hat{H}_1 \hat{H}_2.$$

$$\begin{aligned}
-L_{\text{breaking}} = & m_0^2 \sum_{\text{scalars}} |\varphi_i|^2 + \left[\frac{1}{2} m_{1/2} \sum_{\text{gauginos}} \lambda_\alpha \lambda_\alpha \right. \\
& + A(h_{\alpha\beta}^u Q_\alpha U_\beta^c H_2 + h_{\alpha\beta}^d Q_\alpha D_\beta^c H_1 + h_{\alpha\beta}^l L_\alpha l_\beta^c H_1) \\
& \left. - B\mu H_1 H_2 + h.c. \right],
\end{aligned}$$

где m_0 — общая масса скалярных частиц, а $m_{1/2}$ — общая масса спинорных частиц на шкале объединения, A и B — соответственно трилинейный и билинейный параметры мягкого нарушения суперсимметрии.

Хотя суперсимметрия привлекла внимание огромного количества физиков, пока не получено экспериментальных данных, подтверждающих ее существование. Тем не менее, в рамках суперсимметричных расширений Стандартной модели были достигнуты некоторые результаты, которые делают эти модели привлекательными. В первую очередь это связано с естественным решением так называемой проблемы иерархий. Кроме того, несмотря на значительное увеличение числа частиц, в моделях почти не появляются новые свободные параметры.

Целью работы являлось изучение низкоэнергетических предсказаний Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели, в частности расчет масс хиггсовских частиц и суперпартнеров на основе анализа низкоэнергетического поведения ренорм-групповых уравнений модели.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

- На основе анализа низкоэнергетического поведения однопетлевых ренормгрупповых уравнений для юкавских констант и параметров мягкого нарушения суперсимметрии получены ограничения значений этих параметров на шкале электро-слабых взаимодействий;
- На основе анализа инфракрасного поведения параметров модели и предположения об универсальном поведении параметров мягкого нарушения суперсимметрии на шкале Великого объединения определены значения масс хиггсовских бозонов и некоторых суперчастиц;
- Проанализировано влияние неуниверсальности параметров мягкого нарушения суперсимметрии на параметрическое пространство модели и ее влияние на массу легчайшего CP-четного хиггсовского бозона;
- Рассмотрена возможность определения массы легчайшего CP-четного хиггсовского бозона на основе точного определения масс t - и b -кварков.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова ОИЯИ, на семинарах Института экспериментальной физики САН Кошице, на международной конференции "Small Triangle Meeting on Theoretical Physics" (Кошице, Словакия, 1998), на международной конференции "Hadron Struc-

ture 2000” (Стара Лесна, Словакия, 2000) и ”Конференции молодых ученых ЛТФ им. Н.Н.Боголюбова” (Дубна, 2000).

Публикации. По материалам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 5 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Объем работы составляет 106 страниц, включая 26 иллюстраций и библиографический список из 110 наименований.

Содержание работы

Во введении рассмотрены основные принципы построения Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели.

В первой главе в рамках МССМ рассмотрены однопетлевые ренормгрупповые уравнения для юкавских констант и параметров мягкого нарушения суперсимметрии с точки зрения возможного ограничения пространства параметров модели на основе их инфракрасного поведения. Показано, что большинство параметров имеет так называемые инфракрасные квазификсированные точки (ИККФТ), которые позволяют значительным образом сузить промежуток их возможных значений (смотри рис. 1). Проведен анализ влияния неуниверсальности параметров мягкого нарушения суперсимметрии на шкале Великого объединения на их значение на шкале электрослабых взаимодействий.

Вторая глава посвящена определению массы хиггсовских бо-

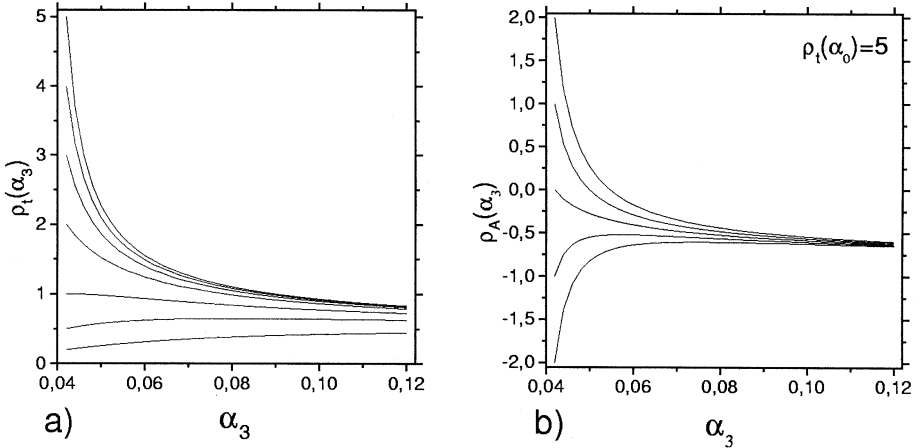


Рис. 1: (а) Инфракрасное поведение отношения $\rho_t = Y_t/\tilde{\alpha}_3$ юкавской константы t -кварка $Y_t = h_t^2/(4\pi)^2$ и $\tilde{\alpha}_3 = \alpha_3/(4\pi)$, где α_3 обозначает константу сильного взаимодействия и (б) инфракрасное поведение отношения $\rho_A = A_t/M_3$ трилинейного параметра мягкого нарушения суперсимметрии для t -кварка A_t и массы глюино как функции константы сильного взаимодействия α_3 .

зон и некоторых суперчастиц в рамках МССМ для режимов с малыми или, соответственно, большими значениями отношения вакуумных средних хиггсовских дублетов ($\tan \beta$) предполагая универсальность поведения параметров мягкого нарушения суперсимметрии на шкале Великого объединения и существования ИККФТ. Показано, что экспериментальные данные исключают сценарий с малым значением $\tan \beta$ ($\tan \beta \sim 1$) из-за слишком малого значения массы легчайшего хиггсовского бозона для положительных и отрицательных значений параметра μ . В случае большого значения $\tan \beta$, сделанные предсказания массы

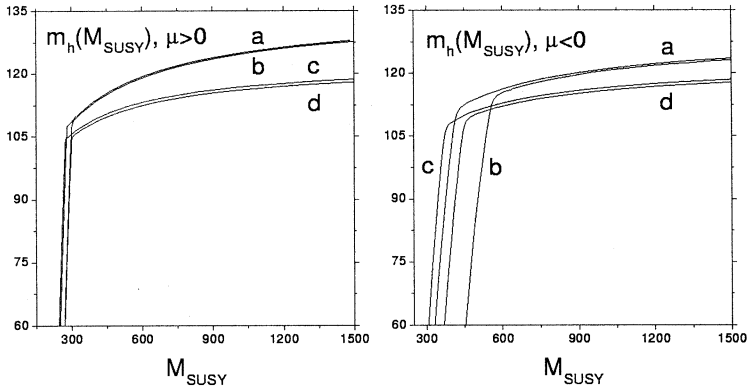


Рис. 2: Масса легчайшего хиггсовского бозона, h , для разных знаков параметра μ как функция M_{SUSY} ($M_{SUSY} = \sqrt{\tilde{m}_{t_1} \tilde{m}_{t_2}}$), где $\tilde{m}_{t_1}, \tilde{m}_{t_2}$ обозначают массы t -скварков. Кривые (a,b) соответствуют верхнему пределу значений юкавских констант и значениям $m_0^2/m_{1/2}^2 = 0$ (a) и $m_0^2/m_{1/2}^2 = 2$ (b). Кривые (c,d) соответствуют нижнему пределу значений юкавских констант и значениям $m_0^2/m_{1/2}^2 = 0$ (a) и $m_0^2/m_{1/2}^2 = 2$ (b).

легчайшего хиггсовского бозона не исключают МССМ как модель (смотри рис. 2) .

Третья глава диссертации посвящена анализу влияния неуниверсальности параметров мягкого нарушения суперсимметрии на шкале Великого объединения на массу легчайшего хиггсовского бозона, h . Показано, что некоторые параметры практически не влияют на массу хиггсовского бозона. С другой стороны, существуют параметры, влияние которых является достаточно

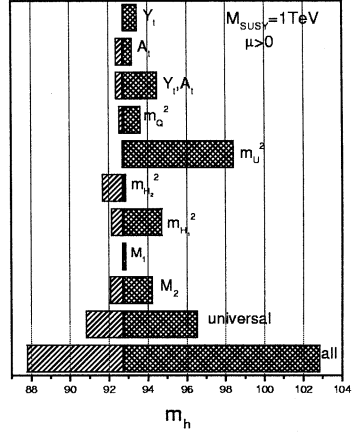
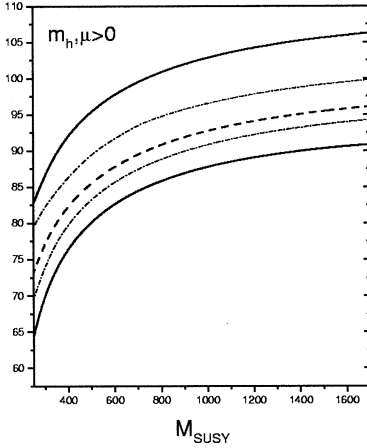


Рис. 3: Масса легчайшего хиггсовского бозона h как функция M_{SUSY} . Штриховая (центральная) кривая соответствует средним значениям параметров, штрих-пунктирные кривые соответствуют верхнему и нижнему пределам в случае предположения об универсальном поведении параметров модели на шкале Великого объединения, и непрерывные кривые соответствуют абсолютному верхнему и нижнему пределам на массу h в случае неуниверсального поведения параметров модели (левый рис.). Влияние отклонений параметров от их средних значений на массу h в универсальном и неуниверсальном случае на типичной шкале $M_{SUSY} = 1 \text{ TeV}$ (правый рис.).

сильным, как это можно видеть на рис. 3, где показаны результаты, полученные в случае малого $\tan \beta$ и положительного значения параметра μ . Для типичной шкалы $M_{SUSY} = 1 \text{ TeV}$ в неуниверсальном случае были получены следующие значения массы легчайшего хиггсовского бозона

$$m_h = 92.7 \begin{matrix} +10.1 \\ -4.9 \end{matrix} \pm 5 \pm 0.4 \text{ GeV}, \quad \text{for } M_{SUSY} = 1 \text{ TeV}.$$

Первая неточность связана с отклонениями от средних значений

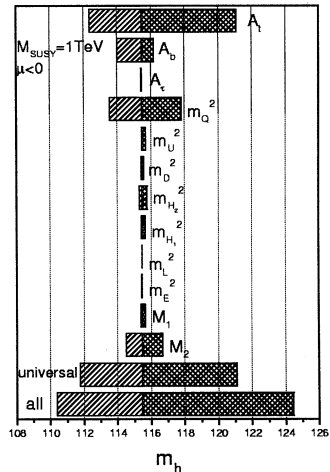
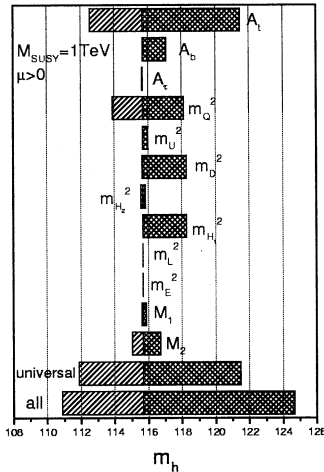


Рис. 4: Влияние отклонения от средних значений параметров на массу легчайшего хиггсовского бозона в универсальном и неуниверсальном случае на типичной шкале $M_{SUSY} = 1 \text{ TeV}$ (большой $\tan \beta$).

параметров модели, вторая связана с неопределенностью значения массы t -кварка, и последняя неточность связана с неопределенностью значения константы связи сильного взаимодействия. Показано, что в случае малого $\tan \beta$ заметное влияние на массу легчайшего хиггсовского бозона имеют некоторые массовые параметры мягкого нарушения суперсимметрии. В случае большого $\tan \beta$ принципиальное влияние на массу легчайшего хиггсовского бозона имеют юкавские константы.

В четвертой главе рассмотрен случай большого $\tan \beta$ с неуниверсальными начальными значениями параметров мягкого нарушения суперсимметрии на шкале Великого объединения с точки

зрения массы легчайшего хиггсовского бозона. Показано, что определение массы легчайшего хиггсовского бозона на основе инфракрасных квазификсированных точек приводит к значениям, которые оказываются на 10 GeV выше, чем массы полученные другими методами. Для более точного определения массы легчайшего хиггсовского бозона использован метод, основанный на точном определении масс t и b кварков, с помощью которого определяются значения юкавских констант связи. Для типичной шкалы $M_{SUSY} = 1$ TeV в неуниверсальном случае были получены следующие значения массы легчайшего хиггсовского бозона

$$m_h = 115.7^{+9.0}_{-4.9} \pm 5 \pm 0.4 \text{ GeV for } \mu > 0,$$

$$m_h = 115.5^{+9.0}_{-5.1} \pm 5 \pm 0.4 \text{ GeV for } \mu < 0.$$

На рис.4 показана зависимость массы легчайшего хиггсовского бозона от параметров модели.

В заключении перечислены основные результаты, выносимые на защиту.

В приложения вынесены различные громоздкие формулы.

Основные результаты диссертации, выносимые на защиту

- Исследовано низкоэнергетическое поведение однопетлевых ренормгрупповых уравнений для юкавских констант связи и параметров мягкого нарушения суперсимметрии в рамках Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели с

точки зрения существования инфракрасных квазификсированных точек. Анализ сделан отдельно для малого и большого значения $\tan \beta$ и для универсального, а также неуниверсального поведения начальных условий на шкале Великого объединения. Получены ограничения на пространство параметров на шкале электрослабых взаимодействий.

- При предположении об универсальном поведении параметров мягкого нарушения суперсимметрии на шкале Великого объединения и при использовании инфракрасных квазификсированных точек исследовано массы хиггсовских бозонов и некоторых суперчастиц в случае малого и большого значения $\tan \beta$. Основное внимание обращено на массу легчайшего хиггсовского бозона, масса которого вычислена в двухпетлевом приближении. Показано, что режим с малым $\tan \beta$ полностью исключен современными экспериментальными данными. Напротив, сценарий с большим значением $\tan \beta$ остается открытым для экспериментальной проверки.
- Рассмотрено влияние неуниверсального поведения начальных условий для юкавских констант и параметров мягкого нарушения суперсимметрии на массу легчайшего хиггсовского бозона для малого и большого значения $\tan \beta$. Показано, что даже при предположении о неуниверсальности, сценарий с малым значением $\tan \beta$ полностью исключен современными экспериментальными данными.
- Показано, что инфракрасные квазификсированные точки не реализуются в режиме с большим значением $\tan \beta$. Проана-

лизирована масса легчайшего хиггсовского бозона на основе вычислений масс t и b кварков. Показано, что масса легчайшего хиггсовского бозона на 10 GeV ниже, чем масса полученная при использовании инфракрасных квазификсированных точек.

Публикации по материалам диссертации

1. G.K. Yeghiyan, M. Jurčišin and D.I. Kazakov, *Infrared Quasi-Fixed Points and Mass Predictions in the MSSM*, Mod. Phys. Lett. **A14** (1999) 601-619.
2. M. Jurčišin and D.I. Kazakov, *Infrared Quasi Fixed Points and Mass Predictions in the MSSM II: Large $\tan \beta$ Scenario*, Mod. Phys. Lett. **A14** (1999) 671-687.
3. D.I. Kazakov, A.V. Gladyshev and M. Jurčišin, *Higgs Boson and Superpartners in the Supersymmetric Standard Model*, Yad. Fiz. **62** (1999) 2234-2239.
4. S. Codoban, M. Jurčišin and D.I. Kazakov, *Higgs Mass Prediction with Non-Universal Soft Supersymmetry Breaking in MSSM*, Phys. Lett. **B477** (2000) 223-232.
5. M. Jurčišin, *The Lightest Higgs Boson Mass Predictions in the MSSM*, Proceedings of the conference Hadron Structure 2000 , Stara Lesna, Slovakia, 2 - 7 October 2000, 326-333.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 ноября 2001 года.

Макет Н.А. Киселевой

Подписано в печать 02.11.2001
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,66
Тираж 100. Заказ 52938.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области