

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Таныйлдызы Шюкрю Ханиф "Редкие распады мезонов и бозоны Хиггса в рамках суперсимметричных расширений стандартной модели", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

В диссертации Таныйлдызы Шюкрю Ханиф исследуются актуальные процессы в пространстве параметров минимальной суперсимметричной стандартной модели (МССМ) и ее разновидностей. Несмотря на отсутствие в настоящее время сигналов суперпартнеров и бозонов Хиггса МССМ на Большом адронном коллайдере (БАК) на масштабе масс примерно до 1 ТэВ, где наблюдается, возможно, состояние легкого CP-четного бозона Хиггса $m_h = 125.02$ ГэВ, большой интерес к МССМ сохраняется в силу ее способности предложить решения известных проблем калибровочных иерархий, смешивания в секторе кварков и лептонов, генерации барионной асимметрии при фазовых переходах в ранней Вселенной, а также предложить кандидатов на роль темной материи. МССМ и ее разновидности неизбежно включают в себя большое количество свободных параметров, величины которых могут быть лишь опосредованно ограничены низкоэнергетической феноменологией на БАК и Тэватроне, вследствие чего изучение следствий суперсимметрии производится в рамках т.н. "параметрических сценариев", выделяющих подходящие области пространства параметров МССМ. По этой причине новые вычисления и результаты в рамках сценариев, позволяющие выделить наиболее адекватный из них, представляют большую научную ценность.

В первой главе диссертации в педагогическом стиле кратко описаны концептуальные основы суперсимметричных моделей квантовой теории поля. Детально описана известная проблематика стандартной модели (СМ) и обоснован переход к ее суперсимметричным расширениям. Подробно перечислены способы нарушения суперсимметрии, описаны известная проблема масштаба параметра хиггсовского суперполя (μ -проблема) и проблема "малой иерархии". Автор выделяет в раздел 1.3.3 "проблему аномального магнитного момента мюона СМ", чего обычно не делают по причине трудностей надежного отделения непертурбативных поправок адронной компоненты от поправок МССМ, а также низкой статистической достоверности экспериментальных результатов.

Во второй главе диссертации рассчитывается сечение рождения тяжелого CP-четного состояния МССМ H на БАК при слиянии глюонов в рамках известного сценария mSUGRA. Автора интересуют области четырехмерного пространства параметров МССМ mSUGRA, приводящие к интересному с экспериментальной точки зрения увеличению сечения рождения H за счет однопетлевых поправок МССМ с

конструктивной интерференцией. Для этого необходим легкий суперпартнер топ-кварка, который возникает при больших отрицательных значениях трилинейного параметра мягкого нарушения суперсимметрии A_t . Не ограничиваясь лишь процессом $gg \rightarrow H$, автор оправданно интересуется совместимостью выделенной для целей усиления параметрической областью MSSM mSUGRA с ограничениями, следующими из экспериментальных данных по сечениям рождения суперпартнеров, редким распадам $B \rightarrow s\gamma$, $B_s \rightarrow \mu + \mu^-$, прецизионными данными LEP2, а также оценками реликтовой плотности темной материи. Несовместимость больших отрицательных A_t MSSM mSUGRA с ограничениями по каналу распада $B \rightarrow s\gamma$ побуждает автора к переходу в нестандартное расширение MSSM mSUGRA NUHM. В расширении NUHM с неуниверсальными массовыми параметрами (точнее, параметры мягкого нарушения m_1 и m_2 невырождены и оба не равны m_0 , Ellis, Olive, Santoso, 2002) можно устранить связь μ и m_A (масса CP-нечетного состояния). Это позволяет построить непротиворечивый феноменологический сценарий, совместимый с экспериментальными данными. Автору не следует увлекаться усилением сечения за счет увеличения параметра $\tan\beta$ до 50-55 и т.п. (рис.2.3), поскольку этот параметр в четвертой степени участвует в сечении парного рождения $p\bar{p} \rightarrow \text{топ-анти топ}$ с последующим распадом $t \rightarrow H^\pm b$. Если характерные шестиструйные события с двумя b -кварками не наблюдаются на коллайдерах БАК и Tevatron, было бы желательно указать соответствующую запрещенную область на рис.2.3.

Глава 3 диссертации носит технический характер и посвящена детальному описанию реализованного автором на языке Mathematica программного пакета Peng4BSM@LO, предназначенному для вычисления однопетлевых диаграмм типа "пингвин" в амплитудах распада. Для вычислений используются также известные пакеты FeynArts и FeynCalc. Пакет Peng4BSM@LO всесторонне проверен, получены известные выражения СМ для диаграмм с внешним фотоном, Z -бозоном и бозоном Хиггса, в MSSM получен вклад глюино в распад $B \rightarrow s\gamma$.

В четвертой главе рассматривается интересная разновидность MSSM с дополнительными неголоморфными членами мягкого нарушения суперсимметрии (НГ-MSSM, Jack, Jones, 1999). Как известно, трилинейные члены мягкого нарушения суперсимметрии вида $\bar{u}_L q H_d^\dagger$ и $\bar{d}_L q H_u^\dagger$ обычно не принимают во внимание, поскольку они подавлены факторами m_Z/m_{SUSY} и могут приводить к сильным расходимостям в случае синглетных суперполей. Однако, вообще говоря, в рамках MSSM нет серьезных оснований для такого упрощенного соглашения. Добавление неголоморфных членов расширяет пространство параметров MSSM, модифицирует смешивание суперпартнеров и тем самым приводит к новой низкоэнергетической феноменологии. Возникают дополнительные вклады в радиационные поправки к эффективно-двухдублетному хиггсовскому потенциалу MSSM. Диаграммы типа собственной

энергии приводят к зависимости масс скаляров от параметра μ' , аналогичному параметру хиггсовского суперполя, за счет однопетлевых вкладов хиггсина. Модифицируются массовые матрицы для нейтралино и чарджино. В разделе 5.2 главы 4 определяется процедура сканирования пространства параметров НГМССМ и фиксируется набор экспериментальных данных для выделения разрешенных областей пространства параметров. Далее фиксируются характерные точки пространства параметров МССМ, после чего исследуется вклад неголоморфного сектора модели, зависящего от параметров μ' и A' (аналог трилинейных параметров). Мелкие недостатки оформления этой главы - например, на рис.4.6 и далее непонятно, где "левая панель" и "правая панель" - вносят путаницу, которая, однако, преодолима. Автором показано, что вклады НГМССМ сохраняют величину m_h , одновременно позволяют существенно улучшить соответствие имеющимся экспериментальным данным по редким распадам B -мезонов, сильно меняют спектр хиггсина, нейтралино и тяжелых бозонов Хиггса, не влияя на массы скалярных суперпартнеров. Исключенные области пространства параметров МССМ могут быть возобновлены в НГМССМ за счет воздействия неголоморфных вкладов, что представляет большой интерес для феноменологии БАК.

В пятой главе диссертации рассматривается генерация темной материи при помощи двух сторонних кодов, в рамках которых можно получить полный спектр частиц МССМ. Автор рассматривает теорию великого объединения (ТВО) с калибровочной группой $SU(4)_c \times SU(2)_L \times SU(2)_R$ (в духе модели Pati, Salam, 1975) с близкими на масштабе ВО константами Юкавы фермионов третьего поколения t, b, τ . При помощи кодов ISAJET (F.Paige, H.Baer, X.Tata) и SoftSusy (B.Allanach et al) автор сканирует пространство параметров модели для получения наблюдаемого количества темной материи в виде нейтралино или хиггсина. Реликтовая плотность нейтралино удовлетворяет ограничениям WMAP. Наиболее интересным представляется сравнение результатов (двухпараметрических контуров исключения), полученных при помощи разных кодов ISAJET и SoftSusy. Автор отмечает, что схожесть контуров на электрослабом масштабе масс достаточно неожиданна для существенных отличий параметров на масштабе ВО, что иллюстрирует стабилизацию теоретических неопределенностей предсказаний для темной материи. Универсальность констант Юкавы на масштабе ВО приводит к определенным предпочтениям для спектра масс суперчастиц (тяжелое глюино, допустимый легкий суперпартнер топ-кварка) и предпочтительным большим значениям параметра $\tan\beta$ порядка 55. Хотя не вполне очевидно, можно ли совместить подобный сценарий с низкоэнергетической феноменологией и пределом отщепления хиггсовского сектора для массы CP-четного состояния $m_h = 125$ ГэВ, сравнение кодов представляет интерес в связи с анализом данных БАК.

Оценивая работу в целом, следует заключить, что она представляет собой актуальное исследование, выполненное на высоком научном уровне. В диссертации Таныйлдызы Шюкрю Ханиф проведено трудоемкое исследование пространства параметров в расширениях минимальной суперсимметричной стандартной модели, для чего разработан специализированный пакет программ для систем компьютерной алгебры, и получены ценные для феноменологии коллайдеров результаты. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Таныйлдызы Шюкрю Ханиф безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико–математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Основные работы своевременно опубликованы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Доктор физико–математических наук
ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ

М.Н. Дубинин

“ ” _____ 2015 г.

Подпись д.ф.м.н., в.н.с. М.Н.Дубинина удостоверяю.

Зам.директора НИИЯФ МГУ
профессор

В.И. Саврин