

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор МГУ им. М.В.Ломоносова  
профессор



А. ФЕДЯНИН

"12" апреля 2017 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" на диссертацию Гурской Альбины Валентиновны "Свойства бозонов Хиггса в неминимальной суперсимметричной стандартной модели с нарушением  $CP$ -инвариантности", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — "теоретическая физика"

В диссертации А.В. Гурской рассматриваются распады бозонов Хиггса в рамках неминимальной суперсимметричной стандартной модели (далее – НМССМ). Хотя до настоящего времени в экспериментах на Большом адронном коллайдере (БАК) не обнаружено сигналов суперпартнеров минимальной суперсимметричной стандартной модели (далее – МССМ), большой интерес к расширениям сектора Хиггса МССМ имеет под собой весьма убедительные основы. Во-первых, суперпотенциал МССМ содержит т.н.  $\mu$ -член, включающий размерный параметр хиггсовского суперполя  $\mu$ , величина которого ничем не обусловлена и подбирается на масштабе масс порядка тераэлектронвольт (ТэВ) для обеспечения приемлемого спектра масс пяти бозонов Хиггса. В рамках НМССМ  $\mu$ -член генерируется динамически в результате спонтанного нарушения симметрии. Во-вторых, для обеспечения экспериментально наблюдаемой на БАК массы  $CP$ -четного бозона Хиггса, равной 125 ГэВ, в сочетании с феноменологически приемлемым спектром масс остальных трех бозонов требуются очень большие радиационные поправки в хиггсовском секторе МССМ, которые можно получить лишь в рамках специфических параметрических сценариев. Напряженность параметрических сценариев МССМ существенно ослабляется в рамках НМССМ. В третьих, хиггсовский потенциал МССМ древесного уровня сохраняет

CP-инвариантность, что ограничивает космологические сценарии генерации барионной асимметрии. Нарушение CP-инвариантности хиггсовского потенциала МССМ может быть обеспечено радиационными поправками, индуцируемыми членами мягкого нарушения суперсимметрии. Комплексные множители в потенциале древесного уровня, который нарушает CP-инвариантность явно, могут появляться в расширениях хиггсовского сектора МССМ. Вместе с тем три вышеуказанных преимущества НМССМ по сравнению с МССМ проявляются в рамках существенно более сложной модели, включающей в себя по сравнению с МССМ один дополнительный CP-четный бозон Хиггса и один дополнительный CP-нечетный бозон. В фермионном секторе НМССМ возникает дополнительное нейтрино (т.н. синглино). Хиггсовский сектор НМССМ древесного уровня, вообще говоря, не является инвариантным относительно CP-преобразования. Сохранение CP-четности может быть обеспечено лишь при специфическом выборе параметров потенциала, что и производится обычно в имеющейся литературе. Феноменология хиггсовского сектора НМССМ может существенно отличаться от МССМ. Например, могли бы наблюдаться распады CP-четного бозона Хиггса на два легких CP-нечетных бозона, детектирование которых на БАК не представляется возможным. Существенные изменения могут быть и в фермионном секторе НМССМ по сравнению с МССМ, если синглино сильно смешивается с четырьмя нейтрино МССМ, что интересно в связи с возможностями идентификации синглино/нейтрино как наиболее легкой суперсимметричной частицы (т.н. LSP) или следующей в спектре масс частиц NLSP. В свете вышеуказанных обстоятельств, интенсивно анализировавшихся в последнее время, тема диссертации представляется актуальной.

В главе 1 диссертации рассматриваются источники нарушения CP-инвариантности в НМССМ, в том числе актуальные источники нарушения CP в хиггсовском секторе. В педагогическом стиле описан сектор взаимодействия фермионов с бозонами Хиггса (сектор Юкавы) для SM, нарушение CP-четности в базисе массовых состояний фермионов за счет матрицы смешивания Каббиво-Кобаяши-Маскава (CKM), после чего излагаются известные возможности явного нарушения CP-четности хиггсовского потенциала для расширений хиггсовского сектора SM дополнительными дублетами и синглетами скалярных полей. Упоминаются возможности спонтанного нарушения CP-инвариантности и проблема сильного CP-нарушения в квантовой хромодинамике. В разделе 1.2 описываются основные принципы построения актуальной НМССМ, приводится соответствующий лагранжиан и рассматриваются физические поля НМССМ. Автор использует хиггсовский потенциал МССМ, не включающий смешанный член размерности два по хиггсовским изодублетам (стр.29), для которого получены условия минимума и выписано преобразование в массовый базис скалярных полей путем диагонализации массовой матрицы  $5 \times 5$ . Возможности спонтанного

нарушения  $CP$  далее не рассматриваются. В разделах 1.2.2-1.2.5 получены правила соответствия для вершин взаимодействия фермионов, их суперпартнеров и нейтрально со скалярами, после чего вычислены аналитически однопетлевые радиационные поправки к комплексным параметрам потенциала, возникающие за счет сектора взаимодействия третьего поколения суперпартнеров кварков с бозонами Хиггса.

Обширная подготовительная работа, проведенная в главе 1, позволяет перейти в главе 2 диссертации к рассмотрению распадов бозонов Хиггса в рамках НМССМ. В разделе 2.1 в педагогическом стиле описаны каналы рождения бозона Хиггса на БАК, после чего упомянуты экспериментальные данные БАК 2012 г. по превышению парциальной ширины двухфотонного распада, а также другие отклонения сечений рождения при энергиях БАК  $\sqrt{s} = 7$  и 8 ТэВ, которые впоследствии подтверждены не были. Распады бозонов Хиггса НМССМ на однопелевом уровне рассматриваются в разделе 2.3, для чего используются известные пакеты программ FeynArts/FeynCalc. Получены аналитически однопетлевые вклады для квадратов соответствующих амплитуд амплитуд распада.

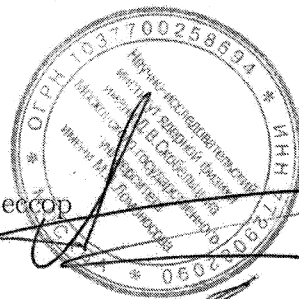
На основе оригинальных результатов, полученных во второй главе диссертации, в главе 3 диссертации рассматриваются параметрические сценарии НМССМ и возможные следствия этих сценариев для наблюдаемых каналов распада бозонов Хиггса НМССМ. Автором выделены четыре параметрических сценария с легким нейтрально, значения параметров хиггсовского потенциала НМССМ и параметров членов мягкого нарушения суперсимметрии для которых приведены в таблице 3.1. Сценарии с малым параметром  $\tan \beta$  порядка единицы не рассматриваются. Некоторые следствия для спектра масс  $H_{1,2,3}$  обозначены на рис.4.1. Основное внимание автора в дальнейшем сосредоточено на двухфотонных распадах состояний  $H_{1,2,3}$  без определенной  $CP$ -четности в случае явного нарушения  $CP$ -инвариантности хиггсовского потенциала (раздел 3.2), наиболее легкое из которых имеет массу 125 ГэВ. В разделе 3.3 рассматривается параметрический сценарий легкого ненаблюдаемого бозона Хиггса с массой порядка 50 ГэВ, распады которого подавлены параметрами смешивания в соответствующих вершинах. Автор справедливо указывает на возможные приложения параметрического сценария легкого ненаблюдаемого бозона к проблемам генерации барионной асимметрии в ранней Вселенной, представляющие интерес при анализе горячей фазы космологической эволюции.

Рассмотренные в диссертации задачи важны для понимания физики бозонов Хиггса НМССМ. Полученные результаты представляют интерес для описания сигналов хиггсовского сектора НМССМ на коллайдерах. К недостаткам диссертации следует отнести некоторую архаичность методов расчета, используемых методов анализа феноменологических следствий и отсутствие детального обсуждения вопросов соответствия полученных в работе результатов многочисленным публикациям, имеющимся в лите-

ратуре последнего времени. Собственные программные средства в работе не обсуждаются. Феноменологические следствия в настоящее время принято рассматривать на уровне анализа "контуров исключения" для определенных значений статистической достоверности в пространстве параметров модели (или же пространстве т.п. псевдонаблюдаемых - "pseudoobservables"). Недавнее актуальное обсуждение иных сценариев и используемых при их анализе программных средств можно найти, например, в работе M. Carena et al, JHEP 1602, 2016.

Оценивая диссертацию в целом, заключаем, что она представляет собой выполненную на требуемом уровне научно-квалификационную работу, в которой проведены расчеты распадов бозонов Хиггса в модели суперсимметрии с расширенным хиггсовским сектором (НМССМ), не инвариантным относительно CP преобразования. Результаты диссертации опубликованы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гурская Альбина Валентиновна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Директор НИИЯФ МГУ,  
доктор физико-математических наук, профессор



М.И.Панасюк

Зав.ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,  
доктор физико-математических наук, профессор

В.И.Саврин

Отзыв составил  
доктор физико-математических наук  
ведущий научный сотрудник ОТФВЭ НИИЯФ МГУ

М.Н.Дубинин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д.1, строение 2

тел. +7 495 9392393

e-mail: dubinin@theory.sinp.msu.ru