

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор МГУ имени М.В.Ломоносова

профессор _____ А.А. Федянин

« _____ » января 2017 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова» о диссертации Савиной Марии Вячеславовны «Поиск дополнительных пространственных измерений в столкновениях протонов на энергетическом масштабе порядка ТэВ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Гипотеза о существовании дополнительных измерений пространства-времени обсуждается в теоретической физике уже около ста лет и за это время претерпела значительные изменения. В первоначальном варианте этого подхода — в теориях Калуцы-Клейна (КК) — макроскопическая ненаблюдаемость дополнительных измерений объяснялась их очень малым, порядка длины Планка, размером. При этом в эффективной четырехмерной теории наблюдаемыми оказывались только нулевые моды, т.е. поля, не зависящие от координат дополнительных измерений.

Примерно тридцать лет назад для теорий Калуцы-Клейна был предложен новый сценарий, основанный на идее локализации полей на доменной стенке, который допускает существование больших и даже бесконечных дополнительных измерений, не наблюдаемых при "низких" энергиях. В предельном случае бесконечно тонкой доменной стенки в теории возникает новый объект - мембрана, или просто брана, т.е. трехмерная гиперповерхность в многомерном пространстве, на которой локализованы поля Стандартной модели. Оказалось, что в теориях с большими дополнительными измерениями гравитация в многомерном пространстве-времени может стать "сильной" не при планковских энергиях, а при намного меньших энергиях, возможно порядка $1 - 10$ ТэВ, что дает решение проблемы иерархии гравитационного взаимодействия.

Существует две наиболее известных теории с большими дополнительными измерениями пространства-времени — ADD сценарий и модель Рэндалл-Сундрума (RS). В ADD сценарии проблема иерархии решается за счёт введения большого количества плоских дополнительных

пространственных измерений. В модели РС с двумя бранами проблема иерархии решена за счет введения одного дополнительного измерения и конформного фактора в метрике четырехмерного пространства-времени. Предсказываемые в рамках АДД сценария и модели РС новые эффекты, вызываемые "сильной" квантовой гравитацией, в настоящее время могут быть проверены в экспериментах на коллайдерах.

Диссертационная работа посвящена исследованию возможных проявлений многомерной гравитации с характерным масштабом порядка нескольких ТэВ в ускорительных экспериментах. Именно эти предсказания моделей с большими дополнительными измерениями широко обсуждаются в последнее время, поэтому тема работы представляется актуальной. Исследования проведены в рамках научной программы эксперимента «Компактный мюонный соленоид» (Compact Muon Solenoid — CMS1) на Большом адронном коллайдере (ЛНС) в период 2002–2016 гг. в Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ ОИЯИ, Дубна) и в Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН, Женева, Швейцария).

Целью работы является расчет процессов с обменом виртуальными КК модами гравитонов (вклады в процесс Дрелла–Яна от АДД- и РС-гравитонов), количественная оценка возможности разделения разных гипотез для новых нейтральных тяжелых резонансов (РС-гравитоны и Z' из моделей с расширенной калибровочной группой), расчет процессов с рождением на ускорителе микроскопических черных дыр (в квазиклассическом и квантовом пределах в модельном подходе) и струнных шаров, получение предсказаний на наблюдаемость указанных явлений и оценка пределов на массу объектов, в зависимости от параметров моделей, энергии и интегральной светимости ЛНС.

Диссертация состоит из введения, трех глав основного содержания, заключения, приложения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации 194 страницы, включая 62 рисунка, 9 таблиц и 180 ссылок на литературу.

Во Введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется основная цель и задачи исследования, а также обсуждается научная новизна проведенных исследований.

В первой главе изучен процесс обмена виртуальными Калуца–Клейновскими модами гравитона в сценарии АДД для процессов Дрелла–Яна. В этом сценарии КК-моды являются легкими состояниями с малой разницей масс ближайших мод, вследствие чего в коллайдерном эксперименте они не могут регистрироваться как индивидуальные резонансы, но могут давать систематическое превышение сигнала над фоном. Поэтому обмен АДД-гравитоном представлен как эффективное контактное взаимодействие. В этом сценарии кумулятивный вклад КК-мод в амплитуду расходится, и для его суммирования автор ввел масштаб ультрафиолетового обрезания. В работе представлены различные варианты параметризации матричного элемента для изучаемого процесса. Аналитическое выражение матричного элемента процесса Дрелла–Яна с вкладом АДД-гравитонов

встроено автором в программу для создания Монте-Карло событий Pythia. С помощью программы Pythia проведено численное моделирование для коллайдера LHC. Сделано предсказание возможности наблюдать процесс с обменом АДД-гравитонами в зависимости от числа дополнительных измерений, величины фундаментального энергетического масштаба и энергии LHC. Вычислены неопределенности в сечении процесса Дрелла-Яна, связанные с выбором функций партонных распределений. Оценен вклад неопределенностей от радиационных поправок к процессу Дрелла-Яна, а также неопределенностей выбора масштаба факторизации в партонных распределениях.

Во второй главе проведены вычисления характеристик процесса обмена виртуальными Калуца-Клейновскими модами гравитона в сценарии РС для процессов Дрелла-Яна. Вычисления проведены методами эффективной теории поля по аналогии с выполненными в главе 1. С помощью численного моделирования сделано предсказание возможности наблюдать первую Калуца-Клейновскую моду на LHC в зависимости от значения константы связи КК-гравитонов с материей, энергии и интегральной светимости ускорителя.

В заключительной части второй главы проведено вычисление характеристик процесса Дрелла-Яна с обменом дополнительным нейтральным векторным бозоном Z' в различных моделях с расширенной калибровочной группой. С помощью программы Pythia проведено численное моделирование для коллайдера LHC. Получены численные значения сечения процессов рождения Z' с распадом на пару мюонов в конечном состоянии для пяти различных моделей. Установлены пределы по наблюдаемости бозонов Z' на LHC в зависимости от массы резонанса, констант связи с материей, энергии и интегральной светимости ускорителя. Выведены эффективные угловые характеристики, позволяющие разделить процессы с Z' – бозонами и РС-гравитонами, а также Z' из разных моделей. Сделаны предсказания на пределы возможности подобного разделения в зависимости от параметров моделей и массы резонансов.

В третьей главе получены оценки возможности рождения и наблюдения на ускорителе многомерных микроскопических черных дыр и альтернативных объектов сильнодействующей гравитации — квантовых черных дыр и возбужденных струнных состояний — струнных шаров. Процесс рождения черных дыр рассмотрен в квазиклассическом приближении, для альтернативных состояний использованы модельные подходы при описании околопорогового режима рождения объектов с малой массой (в планковских единицах) и малой энтропией. В работе учтены различные эффекты, проявляющиеся на стадиях формирования и последующей эволюции черных дыр и влияющие на возможность наблюдения подобных событий на ускорителе. Проведён учет потерь энергии при формировании горизонта черной дыры, имеющих следствием уменьшение сечений рождения на несколько порядков величины. Также проведено вычисление доли потерянной энергии на хокинговской стадии,

связанной с излучением гравитонов в многомерный объем и снижением наблюдаемой множественности частиц в конечном состоянии. Рассмотрены различные варианты для финальной планковской стадии. Основные результаты главы представлены в виде серии вычисленных теоретических пределов на минимальную массу объектов в разных сценариях в зависимости от числа дополнительных измерений. Исследованы дальнейшие перспективы поиска микроскопических черных дыр на ускорителе LHC и после него.

В Заключении автором еще раз сформулированы основные результаты выполненной работы.

Следует обратить внимание на некоторые недостатки работы.

Во первых, в первой главе, части 1.1-1.1.1, стр.20-26, при рассмотрении АДД-сценария не указано, какие использованы граничные условия для волновых функций гравитационного поля. Это важно, так как от выбора граничных условий зависит значение констант взаимодействия гравитации с полями СМ, а значит и выбор определённого сценария модели.

Во вторых, во второй главе, часть 2.1, стр. 67-70, при рассмотрении РС-сценария также не ясно, какие использованы граничные условия для волновых функций гравитационного поля, а этот выбор определяет параметры взаимодействия первой КК-моды и вклад КК башни. Также не обсуждается вопрос о стабилизации расстояния между бранами.

В третьих, во второй главе, стр. 67, формула (2.37), приведённое соотношение между массой Планка и фундаментальным пятимерным энергетическим масштабом соответствует бране с положительным натяжением, хотя речь идёт о бране, на которой локализованы поля СМ, т.е. о бране с отрицательным натяжением. Хотя на дальнейшие феноменологические исследования эта неточность не повлияла, она может приводить к неправильной интерпретации некоторых результатов.

В четвертых, из текста второй главы, пункт 2.2-2.2.1, стр. 70-77, не ясны важные детали вычислений и моделирования. Так, не понятно, как вычислялись процессы с первой КК-модой гравитона. Использовалось ли приближение эффективного контактного взаимодействия или полное выражение для пропагатора Брейта-Вигнера? По какой формуле вычислялись ширина первой КК-моды гравитона? Также не ясно, учитывался ли вклад остальной башни КК мод и её интерференция с первой модой.

Однако перечисленные недостатки не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертационная работа М.В. Савиной выполнена на высоком научном уровне, а полученные в ней результаты широко известны специалистам и часто цитируются.

Диссертационная работа Савиной Марии Вячеславовны «Поиск дополнительных пространственных измерений в столкновениях протонов на энергетическом масштабе порядка T_0V » соответствует требованиям "Положения о присуждении учёных степеней", утвержденного постановлениями Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. № 842 и 21 апреля 2016 г. №335, предъявляемого к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на семинаре Отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ 26 декабря 2016 г.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах, докладывались на многочисленных международных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Директор НИИЯФ МГУ
доктор физико-математических наук
профессор

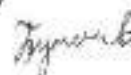
М.И. Панасюк

Заведующий ОФВЭ НИИЯФ МГУ
доктор физико-математических наук
профессор



Э.Э. Боос

Старший научный сотрудник ОФВЭ НИИЯФ МГУ
кандидат физико-математических наук



В.Е. Буничев