

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.01  
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 01.02.2017 № 92

О присуждении Савиной Марии Вячеславовне ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск дополнительных пространственных измерений в столкновениях протонов на энергетическом масштабе порядка ТэВ» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 16.11.2016 г. (протокол № 90) диссертационным советом Д 720.001.01 на базе Объединенного института ядерных исследований, международная межправительственная организация, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6, приказ Рособнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Савина Мария Вячеславовна** 1971 года рождения.

В 1995 году соискатель окончила с отличием Московский инженерно-физический институт (Технический университет) (текущее название: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ») по специальности «Ядерная физика» с присвоением квалификации «инженер-физик», работает в должности старшего научного сотрудника в Объединенном институте ядерных исследований, международная межправительственная организация. Диссертация выполнена в Лаборатории физики высоких энергий имени В.И. Векслера и А.М. Балдина, Объединенный институт ядерных исследований, международная межправительственная организация.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук **Казakov Дмитрий Игоревич**, Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория теоретической физики имени Н. Н. Боголюбова, начальник отдела.

Официальные оппоненты:

**Андрианов Александр Андреевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Физический факультет, профессор кафедры Физики высоких энергий и элементарных частиц;

**Либанов Максим Валентинович**, доктор физико-математических наук, без звания, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, заместитель директора института по научной работе

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Буничевым Вячеславом Евгеньевичем** (кандидат физико-математических наук, без звания, НИИЯФ МГУ, Отдел теоретической физики высоких энергий, старший научный сотрудник), **Боосом Эдуардом Эрнстовичем** (доктор физико-математических наук, профессор, НИИЯФ МГУ, заведующий Отделом экспериментальной физики высоких энергий), **Панасюком Михаилом Игоревичем** (доктор физико-математических наук, профессор, НИИЯФ МГУ, директор), и утвержденном **Федяниным Андреем Анатольевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, МГУ имени М. В. Ломоносова, проректор) – указала, что *«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. <...> В первой главе изучен процесс обмена виртуальными Калуца-Клейновскими модами*

гравитона в сценарии АДД для процессов Дрелла-Яна. <...> Аналитическое выражение матричного элемента процесса Дрелла—Яна с вкладом АДД-гравитонов встроено автором в программу для создания Монте-Карло событий Pythia <...> Сделано предсказание возможности наблюдать процесс с обменом АДД-гравитонами в зависимости от числа дополнительных измерений, величины фундаментального энергетического масштаба и энергии ЛНС. Вычислены неопределенности в сечении процесса Дрелла-Яна, связанные с выбором функций партонных распределений. <...> Во второй главе проведены вычисления характеристик процесса обмена виртуальными Калуца-Клейновскими модами гравитона в сценарии РС для процессов Дрелла-Яна. С помощью численного моделирования сделано предсказание возможности наблюдать первую Калуца-Клейновскую моду на ЛНС <...> проведено вычисление характеристик процесса Дрелла-Яна с обменом дополнительным нейтральным векторным бозоном  $Z'$  в различных моделях с расширенной калибровочной группой. <...> 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. <...>

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 ТэВ» 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.».*

Соискатель имеет 124 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 25 работ, из них опубликованных в рецензируемых научных изданиях - 11 работ. 6 наиболее значимых публикаций перечислены ниже с нумерацией согласно списку, приведенному в автореферате диссертации:

[1] Bayatian G., ..., Savina M. et al. (CMS Collab.). CMS Physics Technical Design Report Volume II: Physics Performance // Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics. 2007. Vol. 34. pp. 1248–1252, pp. 1435–1454.

[3] Голутвин И.А., Пальчик В.В., Савина М.В., Шматов С.В. Поиск новых нейтральных калибровочных бозонов на LHC // Ядерная физика. 2007. Т. 70. С. 61–67.

[6] Khachatryan V., ..., Savina M. et al. (CMS Collab.). Search for physics beyond the standard model in dilepton mass spectra in proton-proton collisions at 8 TeV // Journal of High Energy Physics. 2015. Vol. 04. N. 025. P. 1- 25.

[7] Савина М. В. Рождение черных дыр на LHC: особенности, проблемы и ожидания // Ядерная физика. 2011. Т. 74. С. 518–526.

[10] Chatrchyan S., ..., Savina M/ et al. (CMS Collab.). Search for microscopic black holes in pp collisions at 8 TeV // Journal of High Energy Physics. 2013. Vol. 07. N. 178/ P. 1-34.

[11] Савина М.В. Поиск калуца–клейновских возбуждений гравитона и микроскопических черных дыр с помощью детектора CMS на ускорителе LHC // Ядерная физика. 2015. Т. 78. С. 571–575.

Все перечисленные выше работы опубликованы в журналах, которые включены в международную систему цитирования Web of Science и хорошо известны научному сообществу. Все журналы рецензируемые, опубликованные работы прошли серьезную всестороннюю проверку рецензентами – ведущими специалистами в области теоретической физики и феноменологии физики высоких энергий. 5 работ [7,9,11,23,24], содержащих основные положения, выносимые на защиту по третьей главе диссертации, опубликованы соискателем без соавторов. Общий объем опубликованных работ по материалам диссертации составляет 536

печатных страниц.

На автореферат диссертации поступил дополнительный положительный отзыв от руководителя проекта RDMS CMS (сотрудничество институтов России и стран-участниц ОИЯИ в эксперименте «Компактный мюонный соленоид» на LHC), члена управляющего совета CMS Голутвина Игоря Анатольевича, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ. В основном в нем отмечается вклад М. В. Савиной в создание и дальнейшую разработку физической программы эксперимента CMS. В отзыве говорится, что *«Результаты, вошедшие в диссертацию, легли в основу программы научных исследований эксперимента CMS на LHC по поиску сигналов, предсказываемых моделями низкоэнергетической многомерной гравитации и моделями с расширенным калибровочным сектором. <...> В частности, основные результаты глав 1 и 2 диссертации полностью вошли в основной документ коллаборации CMS «CMS Physics Technical Design Report Vol. II: Physics Performance» (PTDR). <...> М. В. Савина является соавтором опубликованных коллаборацией CMS работ по поиску новых тяжелых резонансов и нерезонансных сигналов в дилептонном канале, как автор использованных в физическом анализе теоретических предсказаний. Результаты главы 3 диссертации по предсказаниям на вероятность и наблюдаемость процессов с микроскопическими многомерными черными дырами также использовались CMS в период первого цикла работы LHC для сравнения с данными по многоструйным событиям, и М. В. Савина, как автор выполненных теоретических предсказаний, является соавтором коллаборационных работ CMS по этой тематике.»*

Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации. В отзыве А.А. Андрианова говорится: *«Качество проведенных исследований, развитые в диссертации оригинальные теоретические методы характеризуют соискателя как сложившегося исследователя высокого уровня. <...> В тексте изредка используется профессиональный жаргон, в основном, англицизмы. <...> на равных основаниях*

рассматриваются два сценария с дополнительными измерениями — ADD с геометрией тора и RS1 с геометрией Анти-ДеСиттера между двумя поверхностями. Однако в первом сценарии на макроскопических расстояниях закон Ньютона искажается, поскольку реализуется скалярно-тензорная гравитация типа Бранса-Дикке. <...> С другой стороны, в модели RS упомянутая проблема легко решается подбором кривизны АДС пространства. Вместе с тем, в процессах столкновения частиц на ускорителях скалярная гравитация заметной роли не играет ввиду малости гравитационной постоянной.».

В отзыве М. В. Либанова говорится: «Результаты М. В. Савиной имеют несомненную новизну и научно-практическую ценность. Полученные результаты и развитые методы и подходы легли в основу научной программы БАК по поиску больших ДИ и Z'-бозона. <...> проходили многостороннюю проверку в рамках работы коллаборации CMS <...> Есть несколько замечаний формального характера. <...> На стр. 148 не вполне корректно изложена ситуация с ограничениями, полученными из поиска процессов рождения ЧД в результате взаимодействия космических нейтрино (сверх)высоких энергий с атмосферой. В частности, утверждается, что «спектр самих космических нейтрино хорошо изучен», что не соответствует действительности.».

В отзыве ведущей организации сказано: «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. <...> 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 башины. Также не обсуждается вопрос о стабилизации расстояния между бранами. <...> формула (2.37), приведённое соотношение между массой Планка и фундаментальным пятимерным энергетическим масштабом соответствует браке 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. <...> Однако перечисленные недостатки не влияют на общую высокую оценку работы.».*

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации основан на том, что оба оппонента являются видными специалистами как в области теоретической физики, так и в области феноменологии физики высоких энергий, а ведущая организация – одним из лидирующих научно-исследовательских институтов в области экспериментальной физики высоких энергий и теоретической физики. Это подтверждается многочисленными публикациями в журналах из списка ВАК и индексируемых в международной базе данных Web of Science, а также высоким индексом цитируемости их работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Изучены возможности наблюдения процессов с обменом массивными гравитонами в моделях низкоэнергетической гравитации в ускорительном эксперименте применительно к условиям ЛНС. В случае АДД-модели рассмотрены разные параметризации матричного элемента и регуляризации гравитонного пропагатора. Для АДД- и РС-гравитонов выполнена интеграция гравитонного вклада в матричный элемент процесса Дрелла-Яна и сделана компьютерная реализация исследуемого процесса на базе вычислительной платформы РУТНИА. Получены предсказания на максимально достижимый масштаб многомерной гравитации в зависимости от параметров моделей для разных условий работы ЛНС. Изучены неопределённости в вычислении сечений, связанные с выбором функций партонных плотностей. Рассмотрены проблемы соотнесения фундаментальных параметров моделей низкоэнергетической гравитации и массовых параметров, извлекаемых из наблюдаемых величин.

Изучен ряд моделей с расширенным калибровочным сектором, содержащим, в том числе, тяжелые нейтральные векторные бозоны:  $Z'_{SSM}$ ,  $Z'_{LRM}$ ,  $Z'_{ALRM}$ ,  $Z'_\chi$  и  $Z'_\psi$ . На основании аналитических выражений для амплитуды процесса с учетом интерференции  $Z^0/Z'$ , компьютерных реализаций и моделирования событий

получены предсказания на максимально достижимую массу  $Z'$  в зависимости от констант связи для условий LHC. С помощью анализа угловых распределений и асимметрии распадных лептонов выполнена оценка возможности разделения резонансов разного типа – РС-гравитоны и  $Z'$ .

Предложен подход к поиску микроскопических многомерных черных дыр на LHC с рассмотрением максимально широкого класса сценариев рождения и эволюции черных дыр и альтернативных объектов.

Изучены детали процесса рождения черных дыр; осуществлен учет потерь в начальном состоянии на стадии формирования, численные значения которых в зависимости от прицельного параметра и числа дополнительных измерений  $n$  даются методами классической теории гравитации (методом ловушечных поверхностей). Выполнена соответствующая модификация сечения процесса рождения черной дыры. Получено подавление сечений рождения керровских и шварцшильдвских черных дыр на несколько порядков величины, что заметно меняет предсказания по наблюдаемости подобных объектов на ускорителе.

Изучены детали стадии хокинговского излучения черной дыры; показано, что на этой стадии «утечка» энергии в балк за счет излучения гравитонов для случая LHC значительна и составляет до 30 %; рассмотрены разные варианты финальной планковской стадии с сохранением и нарушением лоренц-инвариантности и аддитивных квантовых чисел.

Изучены околопороговые переходы черных дыр в струнные шары с соответствующей настройкой значений энтропии, температуры и размеров объектов; продемонстрированы проблемы точной настройки и гладкой сшивки сечений в точке перехода. Рассмотрены возможные модельные подходы к описанию черных дыр малой массы, даны оценки сверху на сечения «квантовых» черных дыр в одном из подходов, содержащем непросуммированные цветные конфигурации для состояний черных дыр.

Для всех изученных случаев методами компьютерного моделирования продемонстрирована возможность наблюдения, разделения разных сценариев и сделаны предсказания на пределы по наблюдаемости на LHC.



Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно использована эффективная квантовая теория поля для описания процессов взаимодействия КК-мод гравитонов в моделях низкоэнергетической гравитации с полями материи стандартной модели, предложенная в работах G. Giudice, R. Rattazzi, J. Wells, а также T. Han, J. Lykken, R. Zhang (АДД-модель, 1999 г.) и H. Davoudiasl, J. L. Hewett, T. G. Rizzo (РС-модель, 2000 г.). Последовательно изучены процессы виртуального обмена КК-модами гравитонов и, в квазиклассическом приближении, рождения микроскопических черных дыр, вклады подобных объектов в процессы стандартной модели и возможности наблюдения применительно к ускорительному эксперименту. Показана существенная необходимость учета потерь при формировании горизонта многомерной черной дыры. Изучены модельные подходы к описанию околопорогового рождения состояний с малой массой и энтропией, т.е. в области, где квазиклассическое приближение представляется неприменимым.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что выполненная автором с коллективом соавторов работа позволила сформировать направление научных исследований эксперимента CMS на LHC по поиску сигналов многомерной ТэВ-ной гравитации и моделей с расширенным калибровочным сектором. Результаты аналитических вычислений и компьютерные реализации позволили провести массовое моделирование с помощью генераторов физических событий и сделать предсказания на возможность наблюдения и значения достижимых пределов по массе для изученного класса явлений на LHC. После запуска LHC сделанные теоретические предсказания были сравнены с данными эксперимента CMS и получены совершенно новые ограничения на параметры изученных моделей. Компьютерные коды для изученных процессов используются в текущем физическом анализе и могут быть применены в будущих исследованиях на LHC и на других экспериментальных комплексах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: достоверность выполненных предсказаний не вызывает сомнения и обеспечивается выбранным подходом к вычислению вкладов новой физики в процессы стандартной модели.

Результаты получены с использованием хорошо известных проверенных методов эффективной теории поля, учетом поправок высших порядков теории возмущений для процесса Дрелла-Яна и корректным учетом различной систематики. Внедрение авторских кодов матричных элементов для изучаемых процессов осуществлялось в общепотребительную вычислительную платформу RUTHIA. Сделанные предсказания являются консервативными. Полученные результаты прошли всестороннюю проверку и включены в публикации коллаборации CMS.

Личный вклад соискателя в решение рассматриваемых в диссертации задач является определяющим. Во всех работах по теме диссертации автору принадлежит реализация теоретических расчетов, а также в работах [1-6,12-18,21,22,25] – реализация программного кода матричного элемента процесса Дрелла-Яна с вкладами от обмена КК-модами гравитонов и  $Z'$ ; а в работах [7-11,19,20,23,24] – настройка специализированных генераторов BlackMax, Charybdis2 и QVN для событий с микроскопическими черными дырами, формирование и реализация разных сценариев с помощью карт генерации и выполнение всего объема компьютерного моделирования. Результаты работы лично апробированы соискателем на 27 научных мероприятиях.

На заседании №92 1 февраля 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Савиной М.В. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 13 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационн

Воронов Виктор Васильевич

Ученый секрет  
диссертационн

Арбузов Андрей Борисович

01.02.201