

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. М.Н. Смолякова на диссертацию Д.В. Кирпичникова «Экзотические распады частиц в моделях с дополнительными измерениями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Теории с дополнительными измерениями пространства-времени обсуждаются в теоретической физике уже почти сто лет. В первоначальном варианте этого подхода, в теориях Калуцы-Клейна, макроскопическая ненаблюдаемость дополнительных измерений объяснялась их очень малым, порядка длины Планка, размером. При этом в эффективной четырёхмерной теории наблюдаемыми оказывались только нулевые моды, то есть поля, не зависящие от координат дополнительных измерений, а геометрия пространства дополнительных измерений могла проявляться только в симметриях взаимодействий этих нулевых мод.

Около тридцати лет назад для теорий Калуцы-Клейна был предложен новый сценарий, основанный на идее локализации полей на доменной стенке, который допускает существование 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, то есть четырёхмерная поверхность в многомерном пространстве-времени, на которой локализованы поля Стандартной модели.

Привлекательной чертой моделей мира на бране является то, что в их рамках можно найти решение проблемы иерархии гравитационного взаимодействия. А именно, оказалось, что в теориях с большими дополнительными измерениями гравитация в многомерном пространстве-времени может стать «сильной» не при энергиях порядка массы Планка, а при намного меньших энергиях, возможно порядка 1-10 ТэВ. Предсказываемые такими моделями новые эффекты, вызываемые «сильной» квантовой гравитацией, могут быть проверены уже в ближайшее время в экспериментах на коллайдерах, поэтому изучение таких теорий является актуальной задачей.

Первая часть диссертации Д.В. Кирпичникова (Главы 1, 2, 3) посвящена изучению возможных проявлений дополнительных измерений в ускорительных экспериментах на примере модифицированной модели Рэндалл-Сундрума с одним бесконечным и несколькими компактными дополнительными измерениями (так называемая RS2-n модель). В рамках рассмотренной модели обсуждается два случая, отвечающие различным способам локализации калибровочных полей на бране, и проведено их детальное теоретическое исследование.

Наличие бесконечного дополнительного измерения может приводить к процессам с рождением частиц, улетающих с браны в дополнительное

измерение. Для каждого варианта локализации калибровочных полей на бране получены сечения процесса электрон-позитронного рассеяния с излучением фотона и векторного бозона, улетающего в дополнительное измерение. Произведено сравнение с фоновыми процессами Стандартной модели и с процессами с рождением Калуца-Клейновских гравитонов в модели АДД, а также получены ограничения на параметры РС2-*n* модели.

Отдельно рассмотрены возможные процессы с излучением частиц в дополнительное измерение в рамках экспериментов на Большом адронном коллайдере. Также получены соответствующие сечения, проведено сравнение с фоновыми процессами Стандартной модели и получены ограничения на параметры модели, при которых дополнительные измерения могут быть в принципе обнаружены в экспериментах на Большом адронном коллайдере.

Вторая часть диссертации (Глава 4) посвящена изучению теоретических аспектов, связанных с локализацией калибровочных полей на бране. Недавно было показано, что в определенных моделях с бесконечным дополнительным измерением амплитуды некоторых процессов могут содержать расходимости, которые не могут быть устранены методами теории перенормировок. В диссертации Д.В. Кирпичникова данный эффект рассмотрен подробно. Посчитана однопетлевая поправка к пропагатору векторного поля с браны на брану в модели с ненулевой массовой щелью между нулевой модой калибровочного поля и модами из непрерывного спектра. Показано, что данная поправка действительно содержит неустранимую расходимость. Также рассмотрена модель, в которой массовая щель между нулевой модой калибровочного поля и остальными модами отсутствует. В этом случае оказалось, что, по крайней мере на однопетлевом уровне, подобная инфракрасная расходимость отсутствует, что является нетривиальным результатом.

Достоинством диссертации является, несомненно, получение ограничений на параметры РС2-*n* модели, что является интересным с точки зрения поиска дополнительных измерений в рамках ускорительных экспериментов; а также детальное изучение теоретических аспектов, связанных с локализацией калибровочных полей на бране, на основе найденных в работе точных решениях для соответствующих корреляционных функций.

Диссертация написана хорошим языком (хотя в работе встречается небольшое количество опечаток), стиль изложения отличается четкостью и ясностью.

Диссертация не лишена недостатков. Например, не обсуждается правомерность использования калибровок, предложенных на стр. 14 и стр. 27 (соответствующие формулы не имеют номеров). Также хотелось бы отметить, что в первой модели, рассмотренной в Главе 4, масса легчайшего четырехмерного фермиона нулю. Это может приводить к дополнительной расходимости в однопетлевом вкладе в пропагатор калибровочного поля и, соответственно, к проблемам с выделением расходимости, обусловленной наличием локализованного на бране калибровочного поля. Рассмотрение

ненулевой массы легчайшего четырехмерного фермиона представляется в данном случае более последовательным.

Однако сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации, которая представляет собой всестороннее, подробное и глубокое исследование интересной и актуальной научной проблемы. Работа выполнена на высоком уровне, полученные результаты представляются достоверными, они докладывались на семинарах и международных конференциях и известны специалистам. В дальнейшем представленные в диссертации результаты могут найти применение в исследованиях, проводимых в ИЯИ РАН, НИИЯФ МГУ, ИТЭФ, ИФВЭ, ФИАН и других институтах, ведущих исследования в области квантовой теории и физики высоких энергий.

Таким образом, можно заключить, что несмотря на отмеченные недостатки, диссертация «Экзотические распады частиц в моделях с дополнительными измерениями» удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Кирпичников Дмитрий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Старший научный сотрудник отдела  
теоретической физики высоких энергий  
НИИЯФ МГУ, кандидат физ.-мат. наук

М.Н. Смоляков

Директор НИИЯФ МГУ  
профессор

М.И. Панасюк