

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук Кейзерова Сергея Ивановича на тему:

«Самодействие и взаимодействие радиона с полями стандартной модели»

по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц,

физика высоких энергий»

Современная теория элементарных частиц, Стандартная модель (СМ), прекрасно описывает большинство экспериментов на масштабах, достигнутых на современных ускорителях частиц. Тем не менее, она не дает ответа на ряд фундаментальных вопросов, таких, например, как разброс масс фермионов, наличие трех поколений лептонов и кварков, проблема иерархия масштабов. Всё это указывает на то, что СМ является эффективной теорией, то есть приближением более общей, фундаментальной теории. Таким образом, выход за рамки СМ, с построением моделей с новыми взаимодействиями, является одной из самых важных задач современной физики частиц. Актуальным является выбор моделей с дополнительными размерностями пространства-времени, что диктуется, в частности, теорией струн.

Диссертация С.И. Кейзерова как раз посвящена изучению одной из таких моделей – стабилизированной модели Рэндалл-Сундрума с одним дополнительным измерением и двумя бранами. Модель позволяет решить проблему иерархии с помощью зависящего от дополнительной (пятой) координаты конформного фактора в метрике четырехмерного пространства-времени. Именно наличие такого фактора позволяет объяснить слабость гравитации по сравнению с взаимодействиями полей СМ в нашем четырехмерном пространстве. Помимо массивных гравитонов, в модели Рэндалл-Сундрума возникает новая скалярная частица – радион,

описывающая флуктуации расстояния между бранами. В диссертации подробно изучаются его свойства.

Условно диссертацию можно разделить на две части, тем не менее тесно связанные между собой. В первой части изучается взаимодействие радиона с полями СМ, причем особое внимание уделяется его сходству с другой скалярной частицей СМ – бозоном Хиггса. Вторая часть посвящена изучению потенциала радиона и влияния вакуумных квантовых поправок на фоновое решение модели. В частности, показывается, что модель оказывается устойчивой по отношению к таким поправкам.

Актуальность и значимость темы диссертационной работы, исходя из вышесказанного, не вызывает сомнений.

Научная и практическая ценность проведенного исследования несомненна. Автором изучены теоретические и феноменологические следствия стабилизированной модели Рэндалл-Сундрума. Им впервые продемонстрировано, что во многих физически интересных процессах скалярный радион невозможно отличить от бозона Хиггса, особенно, если их массы близки между собой. Полученные результаты могут быть использованы при проведении экспериментальных и теоретических исследований в области физики высоких энергий в российских и зарубежных научных центрах. В частности, в многочисленных планируемых экспериментах по изучению свойств бозона Хиггса на современных и будущих коллайдерах.

Новизна результатов диссертации также очевидна. Они опубликованы в реферируемых научных журналах, часть из которых являются высокорейтинговыми, причем две работы, в которых опубликованы основные результаты диссертации имеют хорошую цитируемость.

Обоснованность полученных результатов и положений, выносимых на защиту, обусловлена применением фундаментальных теоретических подходов и современных математических методов. Например, при изучении потенциала радиона автор применяет методы общей теории относительности,

а для оценки влияния квантовых поправок на фоновое решение модели использует методы квантовой теории поля в искривленном пространстве-времени, в частности теорию эффекта Казимира. Вместе с тем можно утверждать, что диссертация представляет собой новый шаг в развитии и совершенствовании упомянутых методов.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку они опубликованы в рецензируемых научных журналах и в некоторых предельных случаях хорошо согласуются с результатами, полученными другими авторами.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав основного содержания, Заключение, трех приложений и списка литературы, содержащего 80 библиографических ссылок. Полный объем диссертации составляет 122 страницы, включая 11 рисунков.

Во **Введении** представлен обзор литературы по тематике диссертации, объяснены актуальность темы диссертации и значимость рассматриваемых задач для современной физики высоких энергий. Также здесь сформулированы основные положения, выносимые на защиту, обоснована научная новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов и приведена информация по их апробации и публикациям автора.

Первая глава фактически состоит из двух частей. Первая ее часть посвящена нестабилизированной модели Рэндалл-Сундрума, а вторая часть – модели Рэндалл-Сундрума, стабилизированной с помощью поля Гольдбергера-Вайза. Обсуждаются достоинства и недостатки обеих моделей, а также их феноменологические следствия, главным из которых оказывается появление в теории массивных тензорных и скалярных мод. При этом, легчайшая из скалярных мод, так называемый радион, может иметь массу и константу связи с полями СМ, позволяющие обнаружить ее на современных коллайдерах.

Во **второй главе** изучаются процессы взаимодействия радиона с полями Стандартной модели. Особое внимание уделяется изучению скалярного сектора теории и сравнению свойств радиона и бозона Хиггса. Оказывается, что несмотря на различие в структуре вершин взаимодействий этих бозонов, аналитические выражения для амплитуд большинства физически интересных процессов с их участием оказываются структурно идентичными как на древесном, так и на петлевом уровне, с точностью до замены констант взаимодействия. Такое структурное сходство амплитуд возникает в результате нетривиального сокращения вкладов некоторых диаграмм в процессах с участием радиона, в результате которого остаются только диаграммы структурно идентичные диаграммам аналогичных процессов с участием хиггсовского бозона. Таким образом, в перспективных экспериментальных исследованиях свойств бозона Хиггса и радиона следует учитывать проблему выделения сигнала радиона из фона очень похожего сигнала бозона Хиггса в случае близости их масс.

Третья глава посвящена изучению самодействия радиона и нелинейным членам взаимодействия радиона с полями СМ. Автором построен лагранжиан самодействия радиона четвертой степени по полю радиона. Показано, что в указанном приближении потенциал поля радиона по-прежнему имеет устойчивый минимум в нуле, то есть, скалярное поле не приобретает ненулевое вакуумное среднее. Найдено, что взаимодействие радиона с векторными и скалярными полями СМ имеет полиномиальный по полю радиона вид, причем для векторного поля возникает только линейное по полю радиона слагаемое. Для фермионов СМ взаимодействие имеет неполиномиальную структуру. Автором приводится его явный вид до членов второго порядка по константе связи Λ^{-1} . Особо отмечено, что наличие членов взаимодействия более высоких порядков по константе связи может привести к тому, что продемонстрированное в первой главе сходство двух скаляров (радиона и бозона Хиггса) может нарушаться в процессах более высоких порядков по Λ^{-1} .

В четвертой главе изучается вопрос об устойчивости стабилизированной модели Рэндалл-Сундрума по отношению к квантовым поправкам. Рассматривается эффект Казимира, вызванный взаимодействием пятимерного скалярного поля Гольдбергера-Вайза и гравитации, что приводит к взаимному притяжению бран. Автором вычислен вклад энергии Казимира в полную энергию системы и показано, что он не меняет фундаментальных уравнений движения, но приводит лишь к пренебрежимо малым поправкам к параметрам модели. Это означает устойчивость модели Рэндалл-Сундрума по отношению к эффекту Казимира и тем самым подтверждает выводы многочисленных работ, посвященных нестабилизированной модели Рэндалл-Сундрума.

В **Заключении** перечислены основные результаты диссертации. Приведенные формулировки полностью соответствуют положениям, выносимым автором на защиту.

В целом диссертация написана хорошим языком, подробно, с приведением всех необходимых формул и ссылками на использованные литературные источники. Автором продемонстрировано хорошее владение современным аппаратом квантовой теории поля в искривленном пространстве-времени и хорошее знание современного состояния исследований в рассматриваемой области. Однако, по содержанию диссертации имеются следующие небольшие замечания:

1) В разделе 1.2 Главы 1 отмечено, что самая легкая из скалярных мод может иметь массу порядка энергетического масштаба CM , причем намного меньшую, чем массы остальных мод. Стоило бы показать (выбором численных параметров модели), какие конкретно значения масс радиона и других скаляров могут быть реализованы в стабилизированной модели Рэндалл-Сундрума.

2) В Главе 2 автором продемонстрировано структурное сходство амплитуд процессов с рождением пары хиггсовских бозонов или ассоциативного рождения бозона Хиггса и радиона. Рядом авторов рассматривалось

возможное смешивание полей Хиггса и радиона в стандартной модели Рэндалл-Сундрума. Стоило бы отметить, как качественно могут измениться результаты Главы 2 в случае наличия такого смешивания в стабилизированной модели.

Отмечу, что указанные замечания никак не умаляют значимости диссертационного исследования и полученных в диссертации результатов. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кейзеров Сергей Иванович несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник

Отдела теоретической физики

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

Киселев Александр Викторович

22.07.2024

Контактные данные:

тел.: 7(906)7360138, e-mail: kisselev@ihep.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – теоретическая физика

Адрес места работы:

142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, д. 1,
ФГБУ «Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова
НИЦ «Курчатовский институт», Отдел теоретической физики
Тел.: 7(4967)713691; e-mail: kisselev@ihep.ru

Подпись сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

А.В. Киселева удостоверяю:

Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

Н.Н. Прокопенко