

## ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе Кейзерова Сергея Ивановича на тему «Самодействие и взаимодействие радиона с полями Стандартной модели», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Диссертация Кейзерова Сергея Ивановича посвящена исследованию одной из наиболее мотивированных моделей с дополнительными измерениями пространства-времени, получившей в литературе название стабилизированной модели Рэндалл-Сундрума (РС). В этой пятимерной модели с двумя четырех-мерными мембранами, называемыми бранами, на одной из которых расположен наш мир, и одним дополнительным измерением пространства между бранами метрика является точным решением уравнений Эйнштейна в 5-ти измерениях, а расстояние между бранами обеспечивается наличием специального стабилизирующего поля. В модели возникает бесконечный набор скалярных мод, т. е. скалярных полей с возрастающими массами или, как говорят башней полей Калуцы-Клейна (КК-башня). Чтобы не противоречить современным ограничениям по поискам новых скалярных частиц все они, кроме самой нижней нулевой моды, должны иметь массы, превышающие несколько ТэВ. Скалярный бозон, соответствующий нулевой моде, может быть существенно легче. Этот скалярный бозон называется радионом, поскольку описывает флуктуации или колебания одной браны по отношению к другой в дополнительном измерении. Поле радиона взаимодействует с тензором энергии-импульса Стандартной модели (СМ), а сам радион напоминает бозон Хиггса, хотя его взаимодействия отличаются от бозона Хиггса. Бозон Хиггса обнаружен на ЛНС. Все измерения сечений рождения бозона Хиггса в различных каналах и парциальных вероятностей его распадов по различным модам хорошо согласуются с предсказаниями СМ, что подтверждает структуру взаимодействий бозона Хиггса с другими полями СМ. Однако в ряде случаев точность измерений пока невелика. Пока не исключено, что открытый бозон может быть одним из бозонов, возникающих в моделях с расширенным хиггсовским сектором, или иметь примесь других состояний, например, радиона. В этом плане работа С. Кейзерова представляется очень актуальной.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав основного текста, Заключения, четырех приложений, и списка литературы. Во **Введении** дается обзор моделей с дополнительными измерениями, приводятся основные положения, выдвигаемые на защиту, обсуждается актуальность и новизна полученных результатов. Стабилизированная модель РС, ее отличия от первоначального и феноменологически неприемлимого варианта нестабилизированной модели РС обсуждаются **в первой главе**. В этой главе показывается как в модели возникает поле радиона, и приводится лагранжиан его взаимодействия в низшем порядке по обратному масштабу модели РС с тензором энергии-импульса полей СМ. **Во второй главе** диссертации проводится детальное сравнение процессов одиночного рождения радиона и одиночного рождения бозона Хиггса СМ в сопровождении произвольного числа калибровочных бозонов. Проблема состоит в том, что лагранжианы взаимодействия радиона и бозона Хиггса отличаются членами, содержащими для случая радиона, ковариантные производные СМ, действующие на поля фермионов СМ. Члены, содержащие простые производные,

приводят к дополнительным вкладам, пропорциональным импульсам фермионов, в трех-точечные вершины взаимодействия радиона с фермионами. В тоже время, члены, содержащие калибровочные поля в ковариантных производных, приводят к новым по сравнению с бозоном Хиггса четырех-точечным вершинам взаимодействия радиона с фермионами и калибровочными бозонами. В свою очередь, новые вершины в процессах рождения приводят к дополнительным диаграммам Феймана, отсутствующим в случае бозона Хиггса. Показано, что в физических процессах все дополнительные вклады для случая радиона по сравнению с бозоном Хиггса в точности сокращают друг друга как для древесных процессов, так и для процессов, проходящих на петлевом уровне. Во второй главе также показано, что такое свойство сокращение дополнительных по отношению к бозону Хиггса  $\mathcal{M}$  вкладов происходит и при сравнении рождения бозона Хиггса и радиона с рождением пары бозонов Хиггса. Таким образом, в диссертации впервые получен очень важный для экспериментальных поисков радиона результат, что различие в процессах с участием радиона от тех же процессов с участием бозона Хиггса сводится только к замене массы бозона Хиггса массой радиона, вакуумного среднего  $\mathcal{M}$  масштабом пятимерной теории, а также к появлению фактора в вершине взаимодействия радиона с бозоном Хиггса  $ghh$  по сравнению с вершиной самодействия бозона Хиггса  $hhh$ . Этот фактор пропорционален отношению разности квадратов масс радиона и бозона Хиггса к квадрату массы бозона Хиггса. При достаточно большом масштабе пятимерной модели по сравнению с вакуумным средним  $\mathcal{M}$  выделение радиона на фоне бозона Хиггса, особенно, в случае, если их массы близки, представляется очень сложной задачей. **В третьей главе** диссертации выводится эффективный четырехмерный лагранжиан взаимодействия радиона с полями  $\mathcal{M}$  в разложении по степеням обратного масштаба модели. Впервые проведены столь сложные аналитические вычисления. Наиболее интересным представляется выражение для эффективного лагранжиана взаимодействия радиона с полями  $\mathcal{M}$  в следующем за линейным приближением, рассмотренным в предыдущей главе. Видно, что возникают новые точечные вершины с двумя полями радиона и двумя полями фермионов  $\mathcal{M}$ . Таких вершин взаимодействия двух полей бозона Хиггса и двух полей фермионов в  $\mathcal{M}$  нет, что заведомо отличает радион от бозона Хиггса. Однако эти взаимодействия радиона подавлены квадратом большого масштаба. Поэтому наблюдение соответствующих эффектов представляется весьма затруднительным. **В четвертой главе** диссертации исследуется важный с теоретической точки зрения вопрос о возможном влиянии эффекта Казимира на свойства стабилизированной модели РС. Не приведет ли притяжение между бранами, т. е. эффекта Казимира, к неустойчивости модели, и тем самым к ее несостоятельности. Анализ уравнений движения, проведенный в диссертации, показал, что квантовые поправки, связанные с вакуумными флуктуациями, не меняют вид решения РС, а изменение параметров модели фактически сводится к пренебрежимо малому изменению физического расстояния между бранами. Таким образом, показано, что стабилизированная модель Рэндалл–Сундрума устойчива относительно вакуумных квантовых поправок.

Подчеркну, что все основные результаты и выводы получены при определяющем вкладе Сергея Ивановича Кейзерова, он внес основной вклад как в получение формул, так и в написание текстов семи работ, на которых основана диссертация. Сергея Ивановича Кейзерова отличает аккуратность в проведении вычислений, он скрупулезно проверяет все полученные результаты, используя различные методы и анализируя предельные случаи. Отмечу также, что все результаты диссертации находятся на высоком мировом

уровне, получены впервые, неоднократно докладывались на различных международных научных конференциях и семинарах.

Считаю, что диссертационная работа Кейзерова Сергея Ивановича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым диссертационным советом МГУ к работам подобного рода, и рекомендую ее к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Научный руководитель  
доктор физ.-мат.наук,  
профессор, член-корр. РАН

Э.Э.Боос

Ученый секретарь ученого совета НИИЯФ МГУ

Е.А.Сигаева