

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Хлопунова Михаила Юрьевича
«Гравитационно-волновые эффекты в теориях с большими
дополнительными измерениями»
по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика»

За последние четыре десятилетия возрос интерес к поиску так называемой новой физики, которая может возникнуть за счет наличия у нашего пространства-времени дополнительных измерений. Теории с дополнительными измерениями стали важным сюжетом, как в рамках физики высоких энергий, так и гравитации. Так, дополнительные измерения необходимы для формулировки унитарных теорий суперструн и супергравитации и являются основополагающим элементом так называемого голографического соответствия. В рамках этого подхода был разработан ряд многомерных теорий гравитации, предлагающих возможные решения проблем иерархии и темной энергии.

Помимо этого, бурно развивающаяся в последние годы гравитационно-волновая астрономия представляет собой новый перспективный инструмент для наблюдений за космосом. Также такая астрономия дает надежду на экспериментальную проверку гипотезы дополнительных измерений в режиме сильного гравитационного поля, недоступном непосредственно в наземных лабораториях.

В связи с этим особую актуальность приобретают задачи теоретического исследования и моделирования гравитационно-волновых эффектов присущих конкретным теориям с дополнительными измерениями. Целью диссертации Хлопунова М.Ю. является исследование гравитационно-волновых эффектов, связанных с двумя характерными признаками дополнительных измерений — нарушением принципа Гюйгенса в пространстве-времени нечетной размерности, а также метастабильным

характером гравитона в индуцированной модели гравитации на бране, что и определяет актуальность данной работы.

Диссертация состоит из Введения, пяти Глав, Заключения и восьми Приложений. Объем диссертации — 196 страниц. Число рисунков — 15. Список литературы содержит 181 наименование.

Во **Введении** обсуждается актуальность выбранной темы исследования, приводятся цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, структура работы и ее краткое содержание.

Глава 1 посвящена обсуждению подхода Рорлиха-Тейтельбойма к излучению, применяемому на протяжении всей дальнейшей работы для исследования гравитационно-волновых эффектов в моделях с нечетным числом дополнительных измерений, а также рассмотрению характерной модельной задачи о скалярном излучении точечной частицы, движущейся по фиксированной мировой линии в пространстве Минковского нечетной размерности. Получены формулы для мощности скалярного излучения нерелятивистской частицы, движущейся по произвольной траектории, а также формулы для мощности скалярного синхротронного излучения ультрарелятивистской частицы на круговой орбите в размерностях три и пять. Показано, что за счет нарушения принципа Гюйгенса в нечетных размерностях, мощность излучения зависит от истории движения частицы, предшествующей запаздывающему времени. Однако, в случае ультрарелятивистской частицы данная зависимость эффективно локализуется на малом интервале ее мировой линии, соответствующем интервалу собственного времени обратно пропорциональному Лоренц-фактору частицы. На основе полученных формул и известного результата в размерности четыре предложена общая формула для мощности скалярного синхротронного излучения в пространстве Минковского произвольной размерности.

В **Главе 2** исследуется формирование нелокальных хвостовых сигналов в гравитационном излучении эллиптических двойных систем компактных астрофизических объектов в теориях гравитации с нечетным числом

дополнительных измерений, связанное с нарушением принципа Гюйгенса, на примере модельной задачи скалярного излучения частицы на эллиптической орбите. Обнаружено, что хвостовые сигналы приводят к сдвигу точек экстремума мощности излучения двойных систем во времени от моментов прохождения ими перицентра и апоцентра орбиты, а также получены выражения для данных сдвигов с точностью до вкладов квадратичных по эксцентриситету орбиты.

В **Главе 3** исследуется гравитационное излучение двойной системы точечных масс, локализованной на 3-бране, в общей теории относительности с одним бесконечным дополнительным измерением. На основе подхода DIRE к постньютоновским разложениям развит метод учета вклада тензора энергии-импульса безмассового скалярного поля, локализованного на бране и связывающего частицы в двойную систему, в источник гравитационного поля. Получен пятимерный аналог квадрупольной формулы для мощности гравитационного излучения нерелятивистской двойной системы, зависящий от истории ее движения. Доказана генерация четырехмерной двойной системой трех дополнительных поляризаций пятимерных гравитационных волн и показана возможность детектирования одной из них (дышащей моды) наблюдателем на бране.

Глава 4 посвящена изучению эффекта утечки гравитационных волн в дополнительное измерение в рамках скалярно-полевого аналога (Двали, Габададзе и Поратти) DGP-модели гравитации. Получена формула для эффективной четырехмерной мощности скалярного излучения нерелятивистской частицы на фиксированной круговой орбите, характеризующая интенсивность утечки излучения в дополнительное измерение с расстоянием от источника. Обнаружено, что интенсивность утечки излучения зависит от частоты гравитационно-волнового сигнала в соответствии с известной инфракрасной прозрачностью объемлющего пространства в DGP-модели. Основываясь на полученных результатах, дана оценка возможности наблюдения эффекта утечки гравитационных волн современными и будущими гравитационно-волновыми обсерваториями.

В **Главе 5** рассматривается процесс гравитационного излучения и эффект утечки гравитационных волн в DGP-модели гравитации. На основе метода Нетер предложена процедура построения эффективного тензора энергии-импульса гравитационного поля на бране из нелокального эффективного действия DGP-гравитона. Рассмотрен спектр возмущений гравитационного поля на фоне плоской браны без натяжения и определены соответствующие динамические степени свободы эффективного гравитона на бране, переносящие гравитационное излучение на бесконечность от источника. На основе предложенной процедуры получен аналог квадрупольной формулы для эффективной мощности гравитационного излучения произвольного нерелятивистского источника на бране. С помощью данной формулы получены оценки для параметров эмпирической формулы Деффайе-Меноу, характеризующей интенсивность утечки гравитационных волн в дополнительное измерение.

В **Заключении** представлены основные результаты работы.

Все результаты, полученные в диссертационном исследовании, представлены в научной литературе впервые. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением надежно установленных и обоснованных методов анализа классической теории поля и дифференциальной геометрии, а также их согласованием с результатами работ других авторов в частных случаях и не вызывает сомнений. Основные результаты диссертации опубликованы в четырех статьях в высокорейтинговых международных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Также результаты диссертации апробировались в 14 докладах на всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

У меня нет замечаний по существу содержания диссертации. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика» (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 приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Хлопунов Михаил Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой теоретической физики
ФГАОУ ВО «МФТИ»

Ахмедов Эмиль Тофик оглы

Контактные данные:

тел.: 7(903)6662010, e-mail: akhmedov.et@mipt.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – теоретическая физика

Адрес места работы:

141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9,
ФГАОУ ВО «МФТИ», кафедра теоретической физики им. Л.Д.Ландау,
Тел.: 7(495)4087590; e-mail: akhmedov.et@mipt.ru

Подпись сотрудника

ФГАОУ ВО «МФТИ» Э.Т. Ахмедова удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета МФТИ,

к.ф.-м.н, доцент

Евсеев Е.Г.