«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. проректора по научной работе

Федеральное государственное

бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский

государственный университет»

С. В. Микушев

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Белоконя Александра Игоревича «Динамика квантовых полей и их локализованных возмущений в искривлённых пространствах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Диссертация А. И. Белоконя «Динамика квантовых полей и их локализованных возмущений в искривлённых пространствах» посвящена различным приложениям квантовой теории поля в искривлённом пространстве и квазиклассической гравитации к космологии, проблеме информационного парадокса в различных пространствах, а также к изучению неравновесных процессов в квантовых системах.

В части диссертации, посвящённой космологии, изучен ряд моделей тёмной материи на основе аксионоподобных скалярных полей и рассмотрены экспериментальные ограничения для этих моделей. Главы, посвящённые изучению энтропии зацепленности излучения Хокинга и информационному парадоксу обобщают полученные ранее в литературе результаты для

двумерной гравитации Джакива-Тейтельбойма на случай многомерных искривлённых пространств. Анализ корреляционных функций в предписании операторного локального квенча является обобщением результатов двумерной конформной теории поля на случай теории массивного скалярного поля в пространстве Минковского произвольной размерности, а также лоренцева цилиндра.

Работа объединяет методы квантовой теории поля, гравитации и космологии для решения актуальных научных задач.

Актуальность темы исследований

Космология. Тёмная материя, дающая основной вклад в плотность энергии материи в современной Вселенной, не описывается Стандартной моделью физики элементарных частиц. Скалярные поля, теоретически мотивированные в рамках решения некоторых специальных вопросов квантовой хромодинамики, а также неизбежно появляющиеся в теории струн, представляют собой важный класс моделей, которые способны объяснить природу тёмной материи. Тем не менее, космологические свойства скалярных полей различны для конкретных моделей и требуют согласования теоретических предсказаний с наблюдательными ограничениями. В рамках диссертационного исследования А. И. Белоконя изучаются некоторые специальные модели скалярного поля и их феноменологические свойства, способные самосогласованно описать наблюдаемую тёмную материю.

Информационный парадокс. Квантовая теория поля в присутствии горизонта предсказывает излучение, называемое излучением Хокинга. Для такой квантовой системы возникает проблема нарушения унитарности оператора эволюции, называемая информационным парадоксом. Одним из проявлений парадокса является неограниченный рост энтропии зацепленности излучения Хокинга. В современной литературе, первоначально в рамках AdS/CFT-соответствия, было показано, что рассмотрение квантового поля на нетривиальном гравитационном фоне модифицирует расчёт энтропии зацепленности. Позже в двумерной гравитации Джекива-Тейтельбойма была выведена «островная» формула, воспроизводящая зависимость энтропии зацепленности излучения, согласованную с унитарной эволюцией. Несмотря на успехи в двумерных моделях, задача обобщения этих результатов на многомерные пространственно-временные конфигурации остаётся до сих пор нерешённой. В диссертационном исследовании А. И. Белоконя обсуждается информационный парадокс, динамика и свойства энтропии зацепленности в

моделях многомерной чёрной дыры Райсснера-Нордстрёма и в пространстве де Ситтера в контексте островного предписания.

Локальный квенч. Физика неравновесных квантовых систем включает изучение локализованных возбуждённых состояний в контексте голографии, информационного парадокса и многих других областей. Исследования таких состояний, создаваемых локальными операторными вставками, во многом ограничены рамками двумерной конформной теории поля. Диссертационное исследование актуализирует задачу обобщения известных результатов на неконформные и многомерные квантовые теории поля.

Новизна исследований

Новизна и достоверность результатов, полученных А. И. Белоконём, подтверждается наличием публикаций в рецензируемых журналах

Теоретическая и практическая значимость

Диссертация носит теоретический характер. Её методы и результаты могут найти применение в космологии тёмной материи, теории инфляции, физике чёрных дыр и неравновесной квантовой теории поля. Общий уровень работы высокий и достаточный для кандидатской диссертации.

Апробация работы и публикации

Результаты диссертационной работы изложены в 5 статьях (одна без соавторов), опубликованных в рецензируемых международных научных журналах, а также представлялись на научных семинарах и конференциях.

Основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, который содержит 393 наименования. Общий объём работы составляет 202 страниц.

Во введении содержится достаточно полный обзор литературы по рассматриваемой тематике и приведено обоснование актуальности тем исследований.

Основная часть работы — Главы 1–5.

Глава 1 посвящена анализу скалярной тёмной материи, взаимодействующей с тензором энергии-импульса полей обычной материи. Показано, что такое взаимодействие влияет на динамику первичного нуклеосинтеза и количество тёмной материи в современной Вселенной.

В Главе 2 исследуется голдстоуновское поле нарушенной масштабной

симметрии как источник холодной тёмной материи. Представлена модель, которая в рамках низкоэнергетической инфляции Старобинского удовлетворяет всем текущим ограничениям, полученным из наблюдений реликтового излучения.

В Главе 3 анализируется энтропия излучения Хокинга конечных областей в модели заряженной чёрной дыры. Установлено, что выбор заряда позволяет избежать нарушения унитарности без дополнительных предположений. Для полноты картины изучается влияние островов на динамику энтропии.

В Главе 4 рассматривается энтропия зацепленности различных областей в трёхмерном редуцированном пространстве де Ситтера. Показано, что островное предписание не решает информационный парадокс в ряде конкретных случаев.

В Главе 5 изучается динамика корреляционных функций скалярного поля в локально возбуждённых состояниях в предписании локального квенча. Продемонстрировано совпадение полученных результатов с ранее известными голографическими. На лоренцевом цилиндре обнаружено нерегулярное поведение одноточечной корреляционной функции плотности энергии в теории массивного скалярного поля, контрастирующее со случаем пространства Минковского.

В заключении подводится итог проведённой работы и обсуждаются направления дальнейших исследований.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Замечания

1. Многие предложения, по-видимому, являются прямолинейным переводом соответствующих предложений из англоязычных работ автора. Их структура, плохо адаптированная под русский язык, несколько затрудняет чтение. Перевод термина Jordan frame как “джордановский остов” представляется крайне неудачным, хотя следует отметить отсутствие устоявшегося русскоязычного термина (в разных работах употребляется “картина Йордана”, а также “представление” и калька с английского “фрейм”.)
2. Обзор литературы сделан на уровне, достаточном для статей в научных журналах, но в диссертации его следовало бы сделать более подробным. В защиту автора стоит отметить, что при относительно скупом обзоре литературы, ключевые утверждения приведены, а даже собственные результаты автора обеспечили довольно большой объем

диссертации для этой специальности.

3. Формула (3.22.17) введена неудачно. Не сразу понятно, что выбрана конкретная двумерная модель с безмассовыми фермионами, для которой известно решение, а не произвольная двумерная модель.
4. Мотивация для задач главы 5 изложена в тексте диссертации недостаточно четко. Следовало бы лучше разъяснить причины интереса автора к рассматриваемым моделям, в том числе нарушение конформной инвариантности в массивном случае.
5. Под солитонами понимаются устойчивые волновые пакеты в нелинейных теориях. Рассматриваемая в главе 5 модель имеет линейную динамику за пределами области возмущения. Устойчивость волнового пакета в безмассовом случае никак не связана с нелинейностью и имеет место в любой свободной безмассовой 1+1 Лоренц-инвариантной теории поля. Поэтому использование термина "солитон" в данном случае не оправдано.

Сделанные замечания не умаляют достоинств диссертационного исследования и могут восприниматься как рекомендации для повышения качества работы.

Заключение

Диссертационное исследование А. И. Белоконя «Динамика квантовых полей и их локализованных возмущений в искривлённых пространствах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи по квантовой теории поля в искривленном пространстве времени, имеющей важное значение для космологии, проблемы информационного парадокса черных дыр и исследования неравновесной динамики квантовых систем. Работа соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Александр Игоревич Белоконь, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Отзыв подготовлен кандидатом физико-математических наук (специальность 01.04.02, теоретическая физика) доцентом кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Новиковым Олегом Олеговичем.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» 27.05.2025, протокол № 44/12/12-02-100.

Профессор с возложением обязанностей
заведующего кафедрой, д.ф.-м.н. Пастон Сергей Александрович

Доцент, к.ф.-м.н. Новиков Олег Олегович

Подписи заверяю: С.А. Пастона
О.О. Новикова

И.о. начальника
отдела кадров № 3
И.И. Константинова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»
Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9.
Телефон (812) 328-97-01
E-mail: spbu@spbu.ru