

ОТЗЫВ

официального оппонента Ляховича Семёна Леонидовича диссертацию Колганова Никиты Михайловича на тему «Физика ранней Вселенной: модифицированные теории гравитации и неравновесные явления», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Диссертация Н.М. Колганова включает исследование нескольких взаимосвязанных проблем, находящихся на стыке современных направлений квантовой теории поля, гравитации и космологии. Более конкретно, автор изучал обобщения теории унимодулярной гравитации, а также разрабатывал методы вычисления корреляционных функций, позволяющие учитывать недостаточно изученные в настоящее время новые типы калибровочных симметрий. При этом разрабатывались как новые общие методы, так и актуальные приложения. В частности, автор разработал гамильтонов формализм со связями для обобщенной унимодулярной гравитации, который имеет необычную структуру, в том числе имеется ветвление родов связей. На основе разработанного общего формализма в диссертации проведен детальный анализ космологических возмущений в рамках этой модели модифицированной унимодулярной гравитации. Полученные результаты позволили установить связь между этой моделью и теорией k -эссенции, а также определить значения параметров теории, согласующиеся с наблюдательными данными. Также важным достижением диссертации является разработка диаграммной техники для вычисления корреляционных функций в неравновесных системах с произвольными начальными состояниями. Автор предложил эффективную процедуру аналитического продолжения евклидовых функций Грина в вещественное время. Также в диссертации был построен метод вычисления для равновесных квантово-механических систем, однако обладающих эффектами туннелирования. Таким образом, диссертация представляет собой существенный вклад в развитие квантовой гравитации и квантовой теории поля, открывая новые перспективы для исследования ранней Вселенной и неравновесных квантовых систем.

В связи со сказанным выше, **актуальность** темы диссертации Н.М. Колганова не вызывает сомнений. Полученные в диссертационной работе результаты обладают **научной новизной**. **Обоснованность** и **достоверность** результатов подтверждается строгостью использованных в исследовании методов, а также разносторонним анализом полученных результатов и сравнением с результатами других научных работ.

Диссертация состоит из введения, трех глав основного текста, заключения, списка литературы из 56 ссылок и трёх приложений.

Во **введении** даётся общее описание исследуемой в диссертации области, а именно модифицированных теорий гравитации и неравновесных явлений в контексте квантовой космологии. Также приведены цели и задачи диссертации, положения, выносимые на защиту, научная новизна, значимость полученных результатов.

Первая глава диссертации посвящена разностороннему исследованию обобщенной унимодулярной гравитации. В ней автор решает ряд ключевых задач, направленных на более глубокое понимание этой теории.

Во-первых, проводится детальный анализ гамильтоновой структуры теории. Строится алгебра гамильтоновых связей, что позволяет определить число физических степеней свободы и выделить связи первого и второго рода. Во-вторых, предлагается физическая интерпретация дополнительной степени свободы в контексте инфляционной космологии. Показано, что эта степень свободы может играть важную роль в процессе инфляционного расширения Вселенной. В-третьих, получена эквивалентная ковариантная формулировка обобщенной унимодулярной гравитации. Это позволяет установить связь теории с другими моделями гравитации, такими как теория k -эссенции. На основе разработанного формализма строится теория космологических возмущений. Исследуются спектры скалярных и тензорных возмущений, а также устанавливаются ограничения на параметры модели, позволяющие согласовать полученные теоретические предсказания с наблюдательными данными.

Вторая глава диссертации посвящена разработке эффективного инструментария для вычисления корреляционных функций в квантовой теории поля, особенно в неравновесных системах.

Основное внимание в этой главе уделяется построению техники Швингера-Келдыша вычисления $in-in$ корреляционных функций, задающих наблюдаемые величины в квантовой теории поля. Эта техника адаптирована для работы с произвольными нестационарными теориями поля и смешанными начальными состояниями. Также важным результатом этой главы является разработка процедуры аналитического продолжения евклидовых функций Грина в вещественное время для специального класса состояний, задаваемых евклидовой матрицей плотности. Установлено условие Кубо-Мартина-Швингера, гарантирующее корректность такого продолжения, которое позволяет использовать удобный формализм евклидовых функций Грина для вычисления наблюдаемых величин в вещественном времени.

Третья глава диссертации посвящена разработке эффективного метода вычисления корреляционных функций в квантовомеханических системах, проявляющих эффекты туннелирования и находящихся в состоянии термодинамического равновесия.

Основная сложность при изучении таких систем заключается в необходимости учитывать непертурбативные эффекты, связанные с наличием нулевой моды дифференциального оператора, определяющего квадратичную часть действия. Для решения этой проблемы в диссертации предлагается новый подход, основанный на использовании функционального интеграла с контуром Швингера-Келдыша, усреднённого по параметру склейки его лоренцева и евклидова сегментов. Этот приём позволил автору применить известный в литературе метод типа Фаддеева-Попова явного учёта нулевой моды и построить соответствующую технику диаграммного разложения для корреляционных функций в рассматриваемом классе систем.

В **заключении** отражены все результаты диссертационного исследования.

Приложения содержат подробности вычислений и дополнительные результаты, не вошедшие в основной текст диссертации.

Сделаю ряд замечаний к данной диссертационной работе:

1. Модифицированная унимодулярная гравитация, изучаемая автором в первой главе, строится исходя из замены условия унимодулярности более общим условием, связывающим функцию хода и элемент пространственного метрического объема. Такое условие ведёт к ограничениям на параметры калибровочных преобразований в виде дифференциальных уравнений, которые должны отличаться от условий трансверсальности в обычной унимодулярной гравитации. Калибровочная алгебра такой несвободно порожденной симметрии не изучена в ни в лагранжевом формализме, ни на гамильтоновом уровне для модифицированной унимодулярной гравитации, хотя общие методы описания такого класса калибровочных симметрий сегодня уже известны.
2. С несвободно порожденной калибровочной симметрией, которой обладает рассматриваемая автором модификация унимодулярной гравитации, должны быть связаны глобальные законы сохранения, известным примером которых является космологическая постоянная в унимодулярной гравитации. Соответствующие глобальные законы сохранения в изучавшейся в диссертации модели явно не описаны, хотя проведенный гамильтонов анализ со связями позволял это сделать.
3. Предложенный в третьей главе “ad hoc” приём непертурбативного учёта нулевой моды приводит к желаемой цели — построению диаграммной техники в рассматриваемом классе моделей. Однако обоснованность этого подхода с точки зрения общих принципов квантования калибровочных теорий в тексте не объясняется. В частности, не прояснена независимость получаемых ответов для наблюдаемых от функционала, фиксирующего калибровку.

Упомянутые замечания не снижают высокой оценки научной ценности работы, и не могут служить препятствием к присвоению её автору степени кандидата физико-математических наук.

Полученные в диссертационной работе результаты опубликованы в ведущих научных журналах, а также неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, соответствующих тематике исследования. Автореферат полно и корректно отражает содержание диссертации.

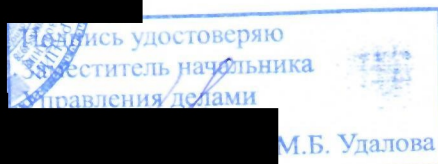
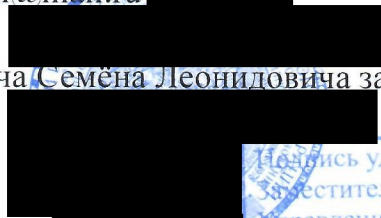
Считаю, что диссертационная работа «Физика ранней Вселенной: модифицированные теории гравитации и неравновесные явления» удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Колганов Никита Михайлович, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Официальный оппонент:



Ляхович Семён Леонидович
доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник
Лаборатории теоретической и математической физики
физического факультета
Томского государственного университета
Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
e-mail: lyakhovich@mail.ru

Подпись Ляховича Семёна Леонидовича заверяю



27 сентября 2024 г.

Список основных работ Ляховича С.Л. по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Abakumova V., Lyakhovich S. Unfree gauge symmetry //Physics of Particles and Nuclei. – 2023. – Т. 54. – №. 5. – С. 950-956.
2. Abakumova V. A., Lyakhovich S. L. Dualisation of free fields //Annals of Physics. – 2023. – Т. 453. – С. 169322.
3. Abakumova V., Lyakhovich S. Global conserved quantities and unfree gauge symmetry //Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2022. – Т. 19. – №. 5. – С. 451-453.
4. Abakumova V., Frolovsky D., Herbig H. C., Lyakhovich S. Gauge symmetry of linearised Nordström gravity and the dual spin two field theory //The European Physical Journal C. – 2022. – Т. 82. – №. 9. – С. 780.
5. Karataeva I. Y., Lyakhovich S. L. Gauge symmetry of unimodular gravity in Hamiltonian formalism //Physical Review D. – 2022. – Т. 105. – №. 12. – С. 124006.
6. Abakumova V. A., Karataeva I. Y., Lyakhovich S. L. Reducible gauge symmetry versus unfree gauge symmetry in Hamiltonian formalism //Nuclear Physics B. – 2021. – Т. 973. – С. 115577.
7. Abakumova V. A., Lyakhovich S. L. Reducible Stueckelberg symmetry and dualities //Physics Letters B. – 2021. – Т. 820. – С. 136552.
8. Lyakhovich S. L. General method for including Stueckelberg fields //The European Physical Journal C. – 2021. – Т. 81. – №. 5. – С. 1-14.
9. Abakumova V. A., Lyakhovich S. L. Hamiltonian constraints and unfree gauge symmetry //Physical Review D. – 2020. – Т. 102. – №. 12. – С. 125003.
10. Kaparulin D. S., Lyakhovich S. L., Nosyrev O. D. Resonance and stability of higher derivative theories of a derived type //Physical Review D. – 2020. – Т. 101. – №. 12. – С. 125004.
11. Abakumova V. A., Karataeva I. Y., Lyakhovich S. L. Unfree gauge symmetry in the Hamiltonian formalism //Physics Letters B. – 2020. – Т. 802. – С. 135208.