

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки Институт ядерных  
исследований Российской академии наук,  
к.ф.-м.н., А.Г. Ианин

27 сентября 2024 г.

ОТЗЫВ  
ведущей научной организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук на диссертацию Колганова Никиты Михайловича «Физика ранней Вселенной: модифицированные теории гравитации и неравновесные явления», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – теоретическая физика.

**Актуальность направления исследований.** В представленной работе рассматривается определённый класс модификаций общей теории относительности (ОТО) и развивается техника квантовых вычислений неравновесных динамических систем и систем, допускающих процессы квантового туннелирования. Помимо теоретического интереса, связанного с отсутствием работоспособной квантовой теории гравитации и наличием проблем с описанием сингулярных решений как в космологии так и в астрофизике, модификация гравитации может быть ответственна за такие явления как близкое к экспоненциальному расширение ранней (инфляция) и поздней (тёмная энергия) Вселенной, тёмная материя, возможное образование реликтовых чёрных дыр и др. Новые способы квантовополевых вычислений в нестационарных системах имеют потенциальное приложение для широкого круга задач не только в физике частиц и гравитации, но и в физике твёрдого тела, теории конденсированного состояния, теории квантовых жидкостей, квантовой химии и др., где постоянно возникающие новые, более сложные системы часто требуют усовершенствования или кардинального изменения уже используемых методов вычислений. Всё это подтверждает актуальность выбранного диссертантом направления исследований.

**Структура диссертации.** Диссертация занимает 164 страницы, состоит из трёх глав основного текста, введения, заключения, списка литературы из 56 наименований и трёх приложений. Во **введении** обсуждаются актуальность выбранного направления исследований и общее состояние дел, представлена общая структура диссертации и дано краткое описание соответствующих частей, поставлены цели и сформулированы конкретные задачи, перечислены основные положения, выносимые на защиту, конкретизированы научная новизна и личный вклад автора в решение задач, отмечены научная и практическая значимость и приведены сведения об апробации работы.

В **первой главе** представлена модель обобщённой унимодулярной гравитации. Для её изучения используется гамильтонов формализм, что позволяет достоверно выделить физические степени свободы теории. Далее исследуются её космологические приложения, а именно, строится теория линеаризованных возмущений на космологическом фоне. В качестве примера рассматривается инфляционная стадия, на которой квантовые возмущения больших длин волн испытывают экспоненциальный рост и превращаются в классические возмущения материи. Следуя такой интерпретации автор диссертации представляет феноменологически приемлемую форму до того



свободной функциональной зависимости, присущей обобщённой унимодулярной гравитации. В завершение главы продемонстрирована эквивалентность рассматриваемой теории моделям к-эссенции определённого вида.

**Вторая глава** посвящена построению оригинальной методики квантовых пертурбативных вычислений физических наблюдаемых в неравновесных и нестационарных явлениях. Автор диссертации обобщает известную технику Келдыша-Швингера для весьма общего класса теоретико-полевых систем и состояний, в том числе возникающих в задачах квантовой космологии, которые изучались в первой главе. Строится производящий функционал для квадратичной по полям нестационарной системы с начальной матрицей плотности гауссового вида. Выбираемый набор начальных состояний мотивируется возможным приложением к описанию квантовогравитационных процессов в ранней Вселенной. Изучаются аналитические свойства следующих из производящего функционала корреляционных функций.

В **третьей главе** вычисляются корреляционные функции для систем, в которых возможно протекание квантово-механического эффекта туннелирования, что в частности подразумевает существование у потенциала рассматриваемой физической системы нескольких локальных (в том числе вырожденных) минимумов. Исследование ограничивается квантовомеханическими системами с конечным числом степеней свободы, находящимися в термодинамическом равновесии. В частности, ставится задача об изучении эффектов туннелирования с применением вычислений без традиционного перехода к описанию системы в мнимом (евклидовом) времени, что в ряде случаев, в особенности при численных расчётах, вызывает проблемы с физической интерпретацией получаемых результатов. Указывается, что результаты могут быть применены для дальнейшего исследования вопросов, поднятых во второй главе.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы и приведены благодарности научному руководителю и соавторам. В **приложениях** содержатся подробности некоторых вычислений, результаты которых используются в основном тексте диссертации.

**Результаты диссертации** опубликованы в четырёх статьях в ведущих рецензируемых международных журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, докладывались и обсуждались на научных семинарах ФИАН, ИЯИ РАН, российских и международных конференциях, что подтверждает **достоверность** полученных результатов.

Полученные в диссертации результаты представляют **научную и практическую значимость** и могут быть **использованы** при проведении теоретических исследований по гравитации и квантовой теории в институтах РАН (ФИАН, ИЯИ РАН, МИАН), государственных и частных университетах (МГУ, НГУ, ЯрГУ), научно-исследовательских центрах (ОИЯИ, НИЦ КИ) и других научных организациях подходящего по тематике диссертации профиля работы.

#### **Замечания к диссертационной работе.**

1. В самом начале диссертации автор определяет Общую теорию относительности (ОТО) как патологичную теорию, поскольку она не может описывать процессы на планковских масштабах (квантовая гравитация) и на сверхгалактических масштабах (тёмная материя и тёмная энергия). Пытаясь описать требования к квантовой гравитации, автор приводит далее пример Стандартной модели как образца хорошей квантово-полевой теории, но совершенно забывает (а возможно не в курсе), что успешно описывающих сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия модели терпят фиаско либо на малых, либо на больших расстояниях, а потому по терминологии автора также являющихся патологичными. Интересно было бы узнать ожидания автора от правильной теории квантовой гравитации и сравнить их с реальным состоянием дел в этой области. Что представляется крайне неудачным, так это появление слова патология на первой странице автореферата, рассчитанного на широкую (и не только сугубо научную) аудиторию.

2. Автор подаёт явление тёмной материи как мотивацию к модификации ОТО. Такой взгляд безусловно возможен, но он требует модификации не только на сверхгалактических, но и на



внутригалактических масштабах, поскольку без этого мы не можем описывать движение звёзд и облаков газа внутри галактик.

3. Автор путает предсказание физической теории с необходимостью её модификации для объяснения экспериментальных результатов, что видно на примере тёмной материи и тёмной энергии «предсказываемых» по его мнению в квантовой космологии. Что бы ни вкладывал автор в последнее понятие, оно тут точно не причём.

4. Описывая недостатки ОТО, автор, в частности, указывает, что тёмная материя должна быть включена в эту теорию, «что не сделано единственным и естественным образом до сих пор». В литературе нет никаких (!) модификаций гравитации, способных полностью объяснить явление тёмной материи именно как изменение гравитационного взаимодействия. Следующие фразы о том, что «для решения обозначенных проблем обычно предлагается модифицировать ОТО...» указывает на полное незнание автором обсуждаемого вопроса. Исключительно неудачно, это обсуждение стоит на первой странице автореферата, и может создать среди неспециалистов абсолютно неправильное впечатление о современном состоянии дел.

5. Неудачно представляется короткое описание теории Хоравы-Лифшица как модели с анизотропным масштабированием, которое состоит в неоднородном изменении времени и координат. Создаётся впечатление, что речь идёт о пространственной анизотропии.

6. Автор указывает модели с массивной гравитацией, как модели, модифицирующие ОТО на больших расстояниях. Известные в литературе теоретически непротиворечивые модели с массивным гравитоном не могут объяснить современного ускоренного расширения Вселенной (тёмную энергию). В связи с этим непонятно, на какие применения этих теорий автор намекает во введении.

7. Автор пишет о необходимости естественности введения тёмной энергии в гравитацию и в то же время рассматривает модель унимодулярной гравитации, где космологическая постоянная оказывается константой интегрирования, а значит должна быть на сотню порядков величины меньше ожидаемой в гравитации. В чём тут естественность, остаётся непонятным.

8. В первой главе при применении унимодулярной гравитации для описания ранней инфляции и создания феноменологически приемлемого спектра неоднородностей материи специально подбирается до того свободная функция. Согласования с наблюдениями подаётся как успех. В то же время известно (например из работ С.Одинцова), что в теории скалярного поля, чья динамика описывается тремя свободными функциями – скалярным потенциалом, неминимальным взаимодействием с гравитацией (через скаляр кривизны) и неканоническим кинетическим слагаемым – при любом непатологическом выборе двух функций третью всегда можно выбрать так, чтобы сделать феноменологически приемлемую инфляционную динамику. В чём успех автора при наличии функционального произвола? Отметим, что это одно из положений, вынесенных на защиту.

9. На 8-й странице диссертации автор пишет, что сгенерированные на ранних этапах эволюции Вселенной реликтовые радиационные и гравитационные излучения наблюдаются в эксперименте в настоящее время и приводит ссылку на работу коллаборации Planck. Если бы автор просмотрел эту работу, то узнал бы, что реликтовые гравитационные волны, о которых он ведёт речь, пока не были обнаружены.

10. В рассматриваемой модели модифицированной унимодулярной гравитации автор подбирает параметры так, чтобы возмущения скалярной гравитационной степени свободы согласовывались бы с теми, что обычно приписывают возмущениям инфлатона. Эти возмущения приводят к так называемому адиабатическому спектру, поскольку предполагается, что поле инфлатона взаимодействует с полями Стандартной модели и в постинфляционном режиме рождает частицы Стандартной модели, индуцируя в первичной плазме скоррелированные между всему компонентами плазмы неоднородности. Если рассматриваемая автором скалярная степень свободы отщеплена от материи, то встаёт вопрос о механизме разогрева в такой модели и приемлемости рассматриваемых возмущений для описания неоднородностей материи в поздней Вселенной. Отметим, что без требования объяснения неоднородностей материи проверять в любой, даже инфляционной модели, вообще нечего.



11. Главы диссертации представляются слабо связанными между собой. Хотя автор пишет, что исследования второй главы нужны для вычислений в первой, а исследования третьей для развития того, что сделано во второй, при получении ответов никаких применений такого рода не представлено. Здесь же стоит отметить, что работа выиграла бы от демонстрации приложения развитых методов для решения конкретных задач, для которых стандартные методы из литературы не удаётся использовать.

12. В части введения, посвящённой научной новизне, достоверности и личному вкладу, никаких подтверждений достоверности на самом деле не приводится. Это могло бы быть воспроизводство известных в литературе результатов при специфическом выборе модельных параметров, решение новым методом известных задач с получением правильного ответа, повторение результатов автора конкурентами.

13. По современным представлениям параметр Хаббла на инфляционной стадии не в несколько, а в несколько сотен раз меньше определённой в работе планковской массы. Это следует из ненаблюдения влияния гравитационных волн на распространение фотонов реликтового излучения, а потому не должно зависеть от деталей образования скалярных неоднородностей, отличающихся в рассматриваемой и инфляционных моделях.

14. Текст диссертации неплохо написан, но в нём встречаются опечатки, рассогласование членов предложения по падежам, родам и числам. В особенности страдает пунктуация. Не всегда используемые величины объяснены в тексте, и не всегда объяснены там, где они первый раз появляются.

15. В приложении А1 указывается, что рассматриваемая модель модифицированной гравитации может быть описана идеальной жидкостью с ненулевой завихрённостью. Космологические возмущения такого типа пока не были обнаружены. Следуют ли отсюда новые ограничения на модель, или это открывает перспективы её экспериментальной проверки, неясно.

Представленные выше замечания относятся к представлению результатов, обоснованию мотивации работы и предлагают возможные направления дальнейших исследований. Они никак не влияют на общее хорошее впечатление от работы и высокую оценку полученных новых результатов. Автореферат верно отражает содержание диссертации, а список литературы соответствует тематике исследований.

Диссертационная работа Колганова Никиты Михайловича «Физика ранней Вселенной: модифицированные теории гравитации и неравновесные явления» соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор, Колганов Н.М., заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

**Отзыв составил:**

главный научный сотрудник Отдела теоретической физики ИЯИ РАН,  
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

Д.С. Горбунов

**Подпись Д.С. Горбунова заверяю:**

Заместитель директора ИЯИ РАН,  
к.ф.-м.н.

А.Г. Панин

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований  
Российской академии наук (ИЯИ РАН)

Адрес: ИЯИ РАН, проспект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312

Адрес электронной почты: inr@inr.ru