

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной и
исследовательской деятельности
доктор химических наук

А. В. Метелица

2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» (ЮФУ) на основании решения, принятого на объединенном заседании кафедры теоретической и вычислительной физики и кафедры физики космоса

Диссертация Шестаковой Т. П. **«Квантование гравитации в формализме расширенного фазового пространства»** выполнена на кафедре теоретической и вычислительной физики физического факультета ЮФУ.

Шестакова Татьяна Павловна, 1971 года рождения, гражданин России, в 1994 году окончила с отличием Ростовский государственный университет по специальности «физика».

В 2001 году в диссертационном совете Всероссийского научно-исследовательского института метрологической службы защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему **«Квантовая геометродинамика космологической модели Бианки IX в расширенном фазовом пространстве»**.

В 2004 году получила ученое звание доцента.

В период подготовки диссертации являлась доцентом кафедры теоретической и вычислительной физики ЮФУ, где и работает по настоящее время.

Тема диссертационного исследования была утверждена на заседании Ученого совета физического факультета ЮФУ 27.02.2024, протокол № 2.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

- **Оценка выполненной соискателем работы.** Со времени создания квантовой механики в первой трети XX века перед теоретической физикой встала задача объединения общей теории относительности с квантовыми представлениями, построения квантовой теории гравитации, и эта задача по-прежнему является актуальной проблемой теоретической физики. Целью диссертационной работы является формулировка математически последовательной квантовой теории

гравитации для гравитирующей системы без асимптотических состояний. Эта формулировка включает в себя анализ существующих методов квантования калибровочных полей и их применимости к гравитационному полю, обоснование и вывод уравнения для волновой функции Вселенной, получение общего решения этого уравнения и анализ его структуры, а также его интерпретацию. Работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

- **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.** Из 28 опубликованных статей 24 написаны автором без соавторов. В этих работах автору принадлежит постановка задач, проведение аналитических вычислений, анализ и интерпретация полученных результатов. Две обзорные работы написаны в соавторстве с К. Симеоне (C. Simeone, Аргентина). В этих работах разработка плана обзора и часть, посвященная предлагаемому в диссертации подходу к квантованию гравитации, принадлежит автору. Еще две статьи написаны в соавторстве со студентами физического факультета Южного федерального университета. В них автору диссертации принадлежит постановка задач, проверка вычислений и обсуждение полученных результатов.
- **Степень достоверности результатов проведенных исследований** основывается, с одной стороны, на использовании математического аппарата общей теории относительности и теоретических методов квантовой теории поля, хорошо себя зарекомендовавшим при применении к негравитационным полям, а с другой стороны, на тщательном анализе того, могут ли эти методы быть применимы к гравитации.
- **Новизна результатов проведенных исследований.** В работе предложен новый подход, который представляет собой альтернативу существующим подходам к квантованию гравитации. В основе подхода лежит допущение, что геометрия пространства-времени может быть произвольной, Вселенная может иметь нетривиальную топологию. Именно это отличает гравитацию от других полевых теорий. В свою очередь это означает, что гравитирующая система, которую мы изучаем, может не иметь асимптотических состояний. Под гравитирующей системой понимается физическая система, в динамике которой гравитационное взаимодействие играет определяющую роль, будь то отдельно взятый объект во Вселенной или Вселенная в целом. Асимптотические состояния играют важную роль в квантовой теории калибровочных полей; фактически, именно их наличие обеспечивает калибровочную инвариантность теории.

Подход является самосогласованным и включает в себя три части: 1) построение гамильтоновой динамики в расширенном фазовом пространстве, которое предваряет формулировку квантовой теории; 2) собственно процедура квантования, которая включает в себя вывод уравнения Шредингера и анализ его общей структуры, а также рассмотрение ряда следствий; 3) интерпретацию полученных результатов.

1) Предложена гамильтонова динамика в расширенном фазовом пространстве, которая является альтернативой обобщенной гамильтоновой динамики Дирака и основывается на равноправном рассмотрении физических, калибровочных и духовых степеней свободы. Возможность построения гамильтониана в расширенном фазовом пространстве по тому же правилу, что и в случае невырожденной теории поля (для систем без связей), обеспечивается введением недостающих обобщенных скоростей в эффективный лагранжиан с помощью калибровочных условий в дифференциальной форме.

2) В работе предполагается, что гравитирующая система (Вселенная) не имеет асимптотических состояний. Это отличает предлагаемый подход от других существующих подходов к квантованию гравитации. Из-за отсутствия асимптотических состояний использование асимптотических граничных условий в континуальном интеграле неправомерно. В свою очередь, это приводит к тому, что уравнение Шредингера, выведенное из континуального интеграла, и волновая функция, удовлетворяющая этому уравнению, оказываются зависимыми от выбранных калибровочных условий. Главную роль в предлагаемом подходе играет физическое уравнение Шредингера для физической части волновой функции, которая зависит только от физических степеней свободы.

В предлагаемом подходе уравнение Уилера – Де Витта, которое рассматривается как основное уравнение квантовой гравитации в альтернативных подходах, представляет собой частный случай физического уравнения Шредингера, соответствующий определенному выбору параметризации гравитационных переменных, определенному выбору калибровочных условий и требованию независимости физической части волновой функции от времени.

Рассмотрены следствия предлагаемого подхода, в том числе, предположение, что пространство-время обладает нетривиальной топологией. Предложена математическая реализация гипотезы Сахарова о существовании областей с различной сигнатурой метрики. Рассмотрена гипотеза о рождении Вселенной в результате изменения сигнатуры метрики.

3) Аргументируется, что для понимания результатов предлагаемого подхода к квантованию гравитации может быть использована

копенгагенская интерпретация квантовой теории, и она не противоречит концепции относительных состояний Эверетта. Представление об относительных состояниях и многомировая интерпретация являются двумя разными концепциями.

Общее решение уравнения Шредингера может быть интерпретировано, опираясь на концепцию относительных состояний Эверетта. Можно сказать, что физическая волновая функция описывает относительное состояние физической подсистемы при условии, что система отсчета фиксирована определенными калибровочными условиями.

- **Практическая значимость проведенных исследований.** Предлагаемый подход в принципе применим к любой космологической модели или гравитирующей системе, а также к полной теории гравитации, хотя это может быть сопряжено с определенными техническими трудностями. Полученные в рамках данного подхода результаты могут быть, по мере увеличения точности наблюдений, сопоставлены с результатами астрофизических наблюдений. Полученные результаты могут помочь в выявлении того, какой подход к квантованию гравитации является верным, а также в интерпретации результатов астрофизических и космологических наблюдений.
- **Ценность научных работ соискателя.** Теоретическое значение работы заключается в том, что в ней, во-первых, предлагается новая формулировка гамильтоновой динамики для систем со связями, полностью эквивалентная лагранжевой динамике, вытекающей из эффективного действия, включая соответствие между группами преобразований в лагранжевом и гамильтоновом формализме; во-вторых, предлагается процедура вывода уравнения Шредингера из континуального интеграла, обобщенная для систем со связями (калибровочных полей), причем оператор Гамильтона в уравнении Шредингера согласуется с функцией Гамильтона в расширенном фазовом пространстве (выполняется квантово-теоретический принцип соответствия); в-третьих, предлагается интерпретация полученных результатов, в том числе общего решения уравнения Шредингера, опираясь на основные принципы копенгагенской интерпретации квантовой теории и концепцию относительных состояний Эверетта, причем показано, что между принципами копенгагенской интерпретации и концепцией Эверетта нет противоречия. Таким образом, предлагаемый подход к квантованию гравитации является согласованным и содержит новый взгляд на то, какой должна быть будущая квантовая теория гравитации.
- **Соответствие пунктам паспорта научной специальности.** Работа полностью соответствует паспорту специальности 1.3.3 – теоретическая физика.
- **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Все результаты опубликованы

автором в 28 работах, из которых 17 статей учитываются в международных базах цитирования, 4 статьи – в рецензируемых научных журналах из списка ВАК, остальные – в сборниках трудов международных конференций и других изданиях.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Шестаковой Татьяны Павловны рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Заключение принято на объединенном заседании кафедры теоретической и вычислительной физики и кафедры физики космоса ЮФУ.

Присутствовало на заседании 32 человека. Результаты голосования: «за» – 32 человека, «против» – нет, «воздержалось» – нет. Протокол № 15 от 20.03.2024 г.

Председательствующий на заседании:

заведующий кафедрой

теоретической и вычислительной физики ЮФУ,

доктор физико-математических наук, профессор

Л. А. Бугаев

Подпись Бугаева Лусегена Арменаковича удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета

физического факультета ЮФУ



С. А. Вяткина