



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

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

Телефоны: 8(499)135-77-60, 8(495)850-42-01,
8(495)850-42-16, 8(916)139-29-97 (общий отдел)

Факс: 8(499)135-22-68, 8(495)850-42-28

Электронная почта: inr@inr.ru; Интернет: www.inr.ru

26.01.2024 № _____

УТВЕРЖДАЮ

На № _____

Заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований РАН, д.ф.м.н., профессор РАН

Рубцов Г.И.

26 января

2024 г.

Отзыв ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований РАН на диссертацию КУРОВА Александра Валерьевича «Модели классической и квантовой гравитации и их анализ методом ренормгруппы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Актуальность направления исследований. Диссертационная работа Курова Александра Валерьевича посвящена вычислению однопетлевых поправок в моделях квантовой гравитации и исследованию остаточной калибровочной инвариантности в обобщенной унимодулярной гравитации (ОУМГ). Это актуально по трем причинам. Во-первых, квантование гравитации является самой большой нерешенной задачей, стоящей перед современной теоретической физикой. Любое продвижение в этом направлении является интересным. Именно в таком свете следует рассматривать вычисления аномальных размерностей операторов в главе 2. Во-вторых, сейчас известно очень мало квантовых гравитационных теорий, и достоверность каждой из них необходимо проверять явно. Непроектируемая модель Хоравы-Лифшица – единственная, допускающая формулировку в виде конвенциональной перенормируемой теории поля без духовых и градиентных нестабильностей. В главе 1 диссертации рассматриваются однопетлевые поправки к этой теории в урезанном проектируемом варианте. В-третьих, важным препятствием на пути квантования гравитации является учет симметрии по отношению к замене координат. В главе 3 на лагранжевом уровне исследуются остаточные калибровочные преобразования в обобщенной унимодулярной гравитации, что важно для построения гамильтонова формализма.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, трех глав основного текста, Заключения, списка литературы из 120 наименований и четырех приложений. Во Введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, формулируются его цели и задачи. Там же приведены основные положения, выносимые на защиту, журнальные статьи,

содержащие результаты диссертации, информация о новизне и значимости исследования, об апробации работы.

В **первой главе** вычисляются бета-функции в $(3+1)$ -мерной проектируемой модели Хоравы-Лифшица. Для этого выделяется 6 «существенных» констант связи, которые соответствуют маргинальным операторам и не зависят от выбора калибровки. Калибровочная свобода фиксируется с помощью специального нелокального члена, приводящего к быстрому спадению пропагаторов при больших пространственных импульсах. Главная идея главы — вычислить однопетлевое эффективное действие на статическом фоне. Показано, что возникающие при этом функциональные следы можно свести к следам от нелокальных трехмерных операторов, которые затем вычисляются с помощью символьной алгебры. После получения эффективного действия бета-функции вычисляются дифференцированием констант по масштабу перенормировки.

Следует отметить, что вычисления первой главы крайне нетривиальны технически, а результаты имеют большое значение для развития теории Хоравы-Лифшица.

Вторая глава посвящена вычислению гамма-функций бесконечного семейства операторов в общей теории относительности в рамках функциональной ренормализационной группы. В качестве удобного фона выбрана d -мерная сфера. Достоинством главы служит использование бесконечного количества операторов, что изначально предполагается в функциональном подходе, но редко встречается в литературе. Также к достоинствам следует причислить доведение вычислений до явных значений аномальных размерностей в фиксированных точках.

В **третьей главе** изучаются калибровочные симметрии обобщенной унимодулярной теории гравитации. Эта модель получается из общей теории относительности добавлением связи между функцией хода и определителем пространственной части метрики, что частично нарушает репараметризационную инвариантность теории и оживляет калибровочные степени свободы. Несмотря на то, что в главе 3 используется только лагранжев язык, проведенное исследование важно для построения гамильтонова формализма. В главе показано, что один из параметров преобразования должен удовлетворять дифференциальному уравнению, что не позволяет сделать его локальным по времени. Это приводит к тому, что действие модели не остается инвариантным, а получает добавку в виде интегралов по начальной и конечной гиперповерхностям Коши.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы. Приложения содержат детали проведенных вычислений.

Результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus. Они были доложены на научных семинарах и на международной конференции.

Полученные результаты могут быть **использованы** в исследованиях, проводимых в Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН, Институте ядерных исследований РАН, Институте теоретической и экспериментальной физики, а также в других научных учреждениях, где ведутся исследования моделей квантовой гравитации.

Замечания к диссертационной работе.

1. Материал главы 1 следовало бы дополнить более подробным объяснением того, почему некоторые константы, стоящие перед операторами лагранжиана Хоравы-Лифшица, зависят от калибровки, т.е. являются «несущественными». В частности, «несущественной» оказывается константа G , занимающая традиционное место гравитационной постоянной. Вместе с тем, непонятно, почему «несущественные» константы не могут быть измерены в воображаемом эксперименте (например, путем рассмотрения сил притяжения между внешними источниками).

2. Глава 1 заканчивается перечислением фиксированных точек в модели Хоравы-Лифшица, которые приведены в виде таблицы. Было бы интересно описать физические свойства теории в окрестности каждой из этих точек: структуру лагранжиана и аномальные размерности полей. В некоторых точках безразмерные константы велики, например, $v_1 \sim 7 \times 10^{23}$ при $\lambda = \frac{1}{3}$. Непонятно, при каких значениях параметра разложения применима теория возмущений в таком случае. Также интересно было бы изучить ренормгрупповые потоки, связывающие фиксированные точки.

3. Вычисления главы 2 проведены в рамках функциональной ренормализационной группы, которую нельзя назвать исчерпывающим подходом к квантованию гравитации. Учитывая это, было бы важно дополнительно разъяснить физический смысл полученных результатов. В частности, непонятно, насколько результаты вычислений чувствительны к функциональному произволу в уравнении Веттериха, связанному с выбором регулятора \mathfrak{R}_k . Кроме того, диссертация выиграла бы от иллюстрации применения метода функциональной ренормгруппы в контролируемой теории, скажем, в перенормируемой (2+1)-мерной модели Хоравы-Лифшица.

4. Дополнительные вопросы вызывает результат главы 2, представленный на рис. 2.2 и 2.3. Из рисунков видно, что собственные значения матрицы аномальных размерностей зависят от количества рассматриваемых операторов O_n , причем, сходимость при стремлении этого количества к бесконечности не наблюдается.

5. В главе 3 рассматривается обобщенная унимодулярная гравитация. Одно из калибровочных преобразований в этой теории объявляется нарушенным на основании того, что действие получает добавку — граничные члены на начальной и конечной поверхностях Коши. Хотелось бы изучить вопрос, могут ли эти граничные члены быть скомпенсированы граничными добавками к действию на тех же поверхностях. Кроме того, непонятно, как проблемы с «нарушенной» калибровочной симметрией действия будут видны на уровне уравнений движения.

6. Диссертация очень хорошо написана, но все же не лишена опечаток и мелких неточностей. На странице 10 неаккуратно сказано, что зависимость параметра $w(t)$ уравнения состояния темной энергии от времени наблюдалась экспериментально. Краткие обозначения на стр. 25 кажутся неудачными, так как $\mathfrak{R}_{(a)}$, по-видимому, зависят от k . В формуле (2.43) на стр. 57 перепутан знак.

Сделанные замечания имеют вид уточнений и пожеланий на будущее. Они не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы. Описанные в диссертации исследования выполнены на высоком уровне и полностью соответствуют поставленным целям, а их направленность

соответствует специальности 1.3.3-теоретическая физика. Обоснованность и высокая достоверность результатов не вызывают сомнений. Список цитированной литературы соответствует теме исследования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Курова Александра Валерьевича «Модели классической и квантовой гравитации и их анализ методом ренормгруппы», удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор бесспорно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3-теоретическая физика.

Отзыв составил:

старший научный сотрудник Отдела теоретической физики ИЯИ РАН,
кандидат физ.-мат. наук,

 Д.Г. Левков

Подпись Д.Г. Левкова заверяю:

заместитель директора ИЯИ РАН, д.ф.-м.н., профессор ИЯИ РАН

 Г.И. Рубцов

26 января 2024 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное 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