

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Иосифа Львовича Бухбиндера, на диссертацию Александра Валерьевича Курова на тему "Модели классической и квантовой гравитации и их анализ методом ренормгруппы", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3– теоретическая физика.

Изучение квантовой структуры гравитации является одним из активно развиваемых направлений современной теоретической физики, тесно связанным с центральной проблемой построения объединенной теории всех фундаментальных взаимодействий. Исследование квантовых аспектов гравитации в значительной степени стимулировало разработку новых методов квантовой теории поля, построение новых моделей гравитации, формулировку супергравитации и теории суперструн. Работы в области квантовой гравитации активно ведутся в ведущих мировых физических центрах и бесспорно являются **актуальными**.

Диссертационная работа А.В. Курова посвящена анализу калибровочных симметрий и квантовой структуры новых моделей модифицированной гравитации. Одной из таких новых моделей является проектируемая теория гравитации Хоржавы–Лифшица. Это перенормируемая теория, в которой унитарность может быть сохранена за счёт потери лоренц-инвариантности при высоких энергиях. Исследование свойств бета функций в $(3+1)$ -мерной проектируемой гравитации Хоржавы-Лифшица представляется исключительно актуальной задачей, так как нахождение нетривиальных фиксированных точек ренормгруппового потока будет свидетельствовать о возможной асимптотической свободе и по сути являться первым примером полностью последовательной в ультрафиолетовом пределе перенормируемой, унитарной и локальной теории гравитации. В диссертации также рассматривается задача нахождения нетривиальных квантовых поправок к масштабным размерностям операторов вблизи негауссовых фиксированных точек в рамках гипотезы асимптотической безопасности. Это гипотеза наряду с теорией гравитации Хоржавы-Лифшица является попыткой построения последовательной теории гравитационных взаимодействий на языке квантовой теории поля в четырех пространственно-временных измерениях.

Диссертация состоит из Введения, трех оригинальных глав, Заключения, четырех приложений и списка литературы. **Во введении** приводится достаточно подробный обзор литературы по проблемам, связанной с тематикой диссертации, дается обоснование актуальности исследования и ее научной новизны, описаны цели и задачи работы, ее теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту и описана структура диссертации.

Первая глава посвящена нахождению однопетлевых бета-функций в $(3+1)$ -мерной проектируемой гравитации Хоржавы, которые были вычислены в двух калибровках с помощью, разработанной автором оригинальной техники извлечения квадратного корня из неминимального дифференциального оператора, основанной на решении матричного уравнения Сильвестра и ранее разработанного метода универсальных функциональных следов. Этот результат проверен путем сравнения с результатом спектрального суммирования на трехмерной сфере (по известным спектрам лапласиана на поперечно-бесследовых тензорах, векторах и

скалярах). Вычисления осуществлялись в пакете символьного манипулирования xAct на базе программы Mathematica. Стоит отметить исключительно высокую сложность проведенных вычислений, в частности приходилось оперировать с обратным пропагатором, который даже в ковариантном формализме фонового поля для гравитации Хоржавы-Лифшица насчитывает около четырехсот членов

Во второй главе в рамках эйнштейновского анзаца для решения функционального ренормгруппового уравнения на d -мерной сфере были получены аномальные масштабные размерности серии составных геометрических операторов (средних по пространству степеней скалярной кривизны) и установлена их связь с матрицей устойчивости фиксированной точки ренормгруппового потока. В контексте программы асимптотической безопасности квантовой гравитации, принципиально новым здесь было вычисление недиагональных элементов этой матрицы и их влияние на ее спектральные свойства.

Третья глава посвящена лагранжеву формализм в обобщённой унимодулярной гравитации. Было показано какие ограничения на калибровочные преобразования налагает тот факт, что параметр калибровочных преобразований подчиняется нетривиальному дифференциальному уравнению и как это отражается на квантовании такой теории.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации. Технические детали конкретных вычислений отнесены в Приложения. С моей точки зрения к наиболее важные результаты работы состоят в следующем:

- 1) Получены однопетлевые бета функций маргинальных констант связи из потенциальной части действия в $(3+1)$ -мерной проектируемой гравитации Хоржавы.
- 2) Найдены все фиксированные точки ренормгруппового потока, часть из которых, соответствует асимптотически свободной теории.
- 3) Установлена калибровочная зависимость бета-функций для различных констант связи.
- 4) Найдены недиагональные элементы матрицы аномальных масштабных размерностей для семейства операторов на сферическом фоне.
- 5) В обобщённой унимодулярной модели гравитации описана структура лагранжевой калибровочной симметрии.

Диссертация выполнена на высоком физическом и математическом уровне по актуальной тематике. Полученные результаты являются **новыми**, они полностью обоснованы, опубликованы в ведущих международных научных журналах и докладывались на многочисленных семинарах и конференциях. Достоверность результатов обусловлена корректностью использования общих методов квантовой теории поля, а также совпадением в частных случаях результатов автора с результатами предшествующих авторов. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

По результатам работы хотелось бы сделать следующие замечания:

1. Хорошо известно, что в эйнштейновской гравитации без материи однопетлевая S -матрица конечна. Остается ли конечной однопетлевая S -матрица в теории гравитации Хоржавы?
2. Было бы полезно исследовать, не нарушается ли перенормируемость теории гравитации Хоржавы при наличии материи? Согласны ли Вы, что в этом случае константы гравитационной связи дадут вклад в бета-функции материи и значит могут изменить асимптотику бегущих констант связи в секторе материи, например изменить асимптотику эффективного заряда в теории Янга-Миллса?

3. В рассматриваемой модели гравитации Хоржавы имеется очень большое число констант связи. Было бы интересно выяснить возможна ли в такой теории асимптотическая свобода на так называемых особых решениях уравнений ренормгруппы, когда все константы связи пропорциональны одной константе? Однако, отмеченные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы и не снижают научное значение полученных результатов. По сути их можно рассматривать как пожелания для дальнейшей работы.

Учитывая вышесказанное, считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Александр Валерьевич Куров, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Официальный оппонент:

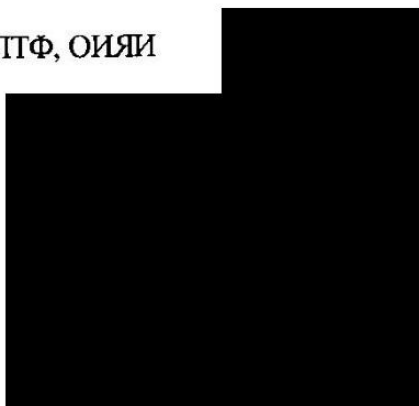
Бухбиндер Иосиф Львович,
доктор физико-математических наук по специальности
01.04.02 — теоретическая и математическая физика,
главный научный сотрудник
Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований,
141980, Московская область, г. Дубна,
email: buchbinder@theor.jinr.ru



15.01.2024

Подпись Иосифа Львовича Бухбиндера заверяю

Ученый секретарь ЛТФ, ОИЯИ
А.В. Андреев



Список основных публикаций официального оппонента Бухбиндера И.Л. в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертации Курова А.В. за последние пять лет:

1. I.L. Buchbinder, I.L. Shapiro, Introduction to Quantum Field Theory with Applications to Quantum Gravity, Oxford University Press, 2021, 525 pages.
2. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz, Supergraph calculation of one-loop divergences in higher-derivative 6D SYM Theory, Journal of High Energy Physics, 08 (2020) 169, 19 pages.
3. Ioseph Buchbinder, Evgeny Ivanov, Nikita Zaigraev, Unconstrained off-shell superfield formulation of 4D, N=2 supersymmetric higher spins, Journal of High Energy Physics, 12 (2021) 016, 27 pages.
4. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz, On the two-loop divergences in 6D, N=(1,1) SYM theory, Physics Letters, B 820 (2021) 136516, 9 pages
5. I.L. Buchbinder, P.M. Lavrov, On a gauge-invariant deformation of a classical gauge-invariant theory, Journal of High Energy Physics, 06 (2021) 097, 18 pages.
6. I.L. Buchbinder, S.A. Fedoruk, A.P. Isaev, V.A. Krykhtin, On the off-shell superfield Lagrangian formulation of 4D, N=1 supersymmetric infinite spin theory, Physics Letters, B 829 (2022) 137139, 8 pages.
7. I.L. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, Off-shell cubic hypermultiplet couplings to N=2 higher spin gauge superfields, Journal of High Energy Physics, 05 (2022) 104, 38 pages
8. I.L. Buchbinder, E.A. Ivanov, B.S. Merzlikin, K.V. Stepanyantz, On two-loop divergences of effective action in 6D, N=(1,1) SYM theory, Journal of High Energy Physics, 05 (2023) 089, 27 pages.
9. Ioseph Buchbinder, Evgeny Ivanov, Nikita Zaigraev, N=2 higher spins: superfield equations of motion, the hypermultiplet supercurrents, and the component structure, Journal of High Energy Physics, 03 (2023) 036, 89 pages
10. I.L. Buchbinder, S.A. Fedoruk, A.P. Isaev, V.A. Krykhtin, Lagrangian formulation for free 6D infinite spin field, Nuclear Physics, B 996 (2023) 116365, 18 pages.
11. I.L. Buchbinder, P.M. Lavrov, Generalized canonical approach to deformation problem in gauge theories, European Physical Journal Plus, 138 (2023) 512, 8 pages.