

ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора физико-математических наук Константина Викторовича Степаньянца, 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.

Диссертация посвящена исследованию квантовых поправок и симметрий в ряде модифицированных теорий гравитации. Данная проблема является очень важной и актуальной, поскольку описание гравитационного взаимодействия существенно отличается от описания других фундаментальных взаимодействий и сталкивается с рядом существенных трудностей на квантовом уровне. Одной из основных проблем при построении теории квантовой гравитации является неперенормируемость обычной эйнштейновской гравитации. При попытках ее модифицировать добавлением слагаемых второй степени по кривизне возникают проблемы с унитарностью. В настоящее время вопрос об построении теории гравитации, которая является удовлетворительной на квантовом уровне, остается открытым. В диссертационной работе рассматривается ряд модифицированных версий теории гравитации. В частности, большое внимание уделяется т.н. гравитации Хоравы–Лифшица, в которой пространство и время уже не рассматриваются симметричным образом. При этом действие такой теории инвариантно только относительно некоторой подгруппы группы диффеоморфизмов. Тем не менее, такая модель оказывается одновременно унитарной и перенормируемой, что достигается благодаря присутствию в функции Лагранжа слагаемых со старшими пространственными производными, тогда как старшие производные по времени в ней отсутствуют. Как предполагается, пространственно-временная симметрия возникает в такой теории эффективно при низких энергиях, хотя детали соответствующего механизма пока еще окончательно не исследованы.

Кроме того, в диссертации исследуются и другие модели теории гравитации. В частности, изучается применение уравнения Виттериха для эффективного действия с целью нахождения аномальных размерностей некоторых композитных операторов в гравитации, описываемой действием Гильберта-Эйнштейна, а также изучаются различные аспекты лагранжевых симметрий в обобщенной унимодулярной гравитации, которая предлагалась для описания темной энергии с уравнением состояния, зависящим от времени.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка рисунков, списка таблиц и четырех приложений. Объем диссертации составляет 117 страницы, в ней имеется 3 рисунка и 3 таблицы. Список литературы содержит 121 наименование.

Во **Введении** дается обзор литературы, обсуждается степень разработанности и актуальности темы исследования, а также ее место в современной теоретической физике.

В **Главе 1** вычисляются исследуются однопетлевые квантовые поправки в проектируемой версии теории Хоравы-Лифшица. Данная теория содержит достаточно много параметров и вычисление квантовых поправок для нее даже в однопетлевом приближении представляет собой технически очень сложную задачу, особенно с использованием двухпараметрической калибровки. Для нахождения расходящихся вкладов в эффективное действие был разработан специальный метод, основанный на методе фонового поля, причем фоновая метрика выбрана не зависящей от времени. В результате были получены все бета-функции для рассматриваемой модели. Правильность результатов подтверждается калибровочной независимостью бета-функций для существенных констант связи (которые остаются в действии на массовой оболочке). Полученные результаты были применены для исследования фиксированных точек.

Глава 2 посвящена развитию метода функциональной ренормгруппы в теории гравитации. В частности, в этой главе исследуется задача о нахождении аномальных размерностей составных операторов с использованием т.н. уравнения Виттериха, которое применяется к действию Гильберта-Эйнштейна. С помощью специального формализма вычислены аномальные размерности операторов, представляющих собой интегралы от n -й степени скалярной кривизны.

В **Главе 3** исследуются симметрии в обобщенной унимодулярной гравитации. Действие этой теории получается из обычного гравитационного действия наложением некоторого специального условия связи с помощью множителя Лагранжа. Как было показано, параметр калибровочных преобразований в этой модели подчиняется некоторому дифференциальному уравнению, содержащему производные по времени. С его помощью был проведен анализ калибровочных симметрий теории.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации, наиболее важными из которых являются:

- 1) Нахождение однопетлевых бета-функций для всех маргинальных констант связи в $(3+1)$ -мерной проектируемой гравитации Хоравы-Лифшица.

- 2) Нахождение соответствующих фиксированных точек ренормгруппового потока.
- 3) Нахождение спектра матрицы устойчивости аномальных размерностей определенных составных операторов с использованием уравнения Виттериха для действия Гильберта-Эйнштейна.
- 4) Анализ лагранжевых калибровочных симметрий обобщенной унимодулярной гравитации.

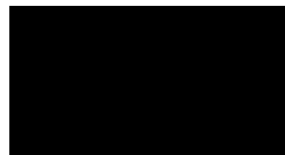
На мой взгляд, диссертация Курова Александра Валерьевича представляет собой законченное исследование различных аспектов современных теорий гравитаций. Рассмотренные задачи являются актуальными, проведенные вычисления – очень сложными и нетривиальными, а полученные результаты – важными и интересными. Тем не менее, я хотел бы также указать следующие замечания:

- 1) Несмотря на утверждение, сделанное в начале главы 2, что она начинается с обзора уравнения Виттериха, этот обзор практически отсутствует, как и мотивация использования этого уравнения. В связи с этим возникает большое количество вопросов, связанных с его применением к действию Гильберта-Эйнштейна. В частности, как хорошо известно, данная теория не является перенормируемой, благодаря чему использование уравнений ренормгруппы должно быть надлежащим образом обосновано.
- 2) Из текста диссертации не ясно как результаты главы 2 связаны с привычными результатами вычислений расходящихся вкладов в эффективное действие для рассматриваемой теории.
- 3) В диссертации есть некоторое (хотя и достаточно небольшое) число опечаток и неудачно звучащих предложений, например (стр 76) «Так как стартуя только из этих точек в ультрафиолете можно притечь в инфракрасии в область, где кинетическое слагаемое имеет вид как и в общей теории относительности».

Однако данные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации, в рамках которой получены новые актуальные научные результаты. Методы, разработанные в работе, и ее результаты имеет важное значение для исследований по квантовой гравитации. Диссертация написана четко и математически корректно, ее результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и докладывались на семинарах и конференциях по теоретической физике. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

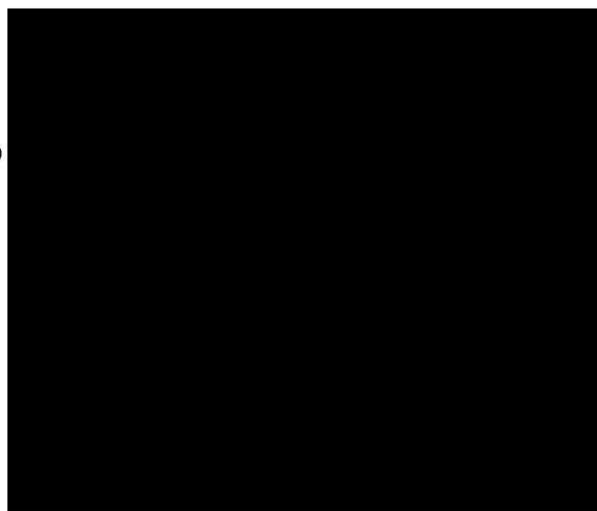
По моему мнению, рассматриваемая работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Куров Александр Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Константин Викторович Степаньянц
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры теоретической физики
физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова
Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 2
тел.: 8-495-939-31-77
e-mail: stepan@phys.msu.ru



23 января 2024

И.о. декана физического факультета
МГУ им. М.В.Ломоносова, профессор
Владимир Викторович Белокуров



Список основных публикаций официального оппонента Степаньянца К.В. В рецензируемых научных изданиях по тематике диссертации Курова А.В. за последние пять лет:

1. Kuzmichev M.D., Stepanyantz K.V. A condition for the reduction of couplings in the $\mathcal{P} = \frac{1}{3}Q$ supersymmetric theories.// Phys. Lett. B. – 2023. – Vol. 844. – P. 138094.
2. Aleshin S.S., Stepanyantz K.V. Quantum properties of gauge theories with extended supersymmetry formulated in N=1 superspace.// Phys. Rev. D. – 2023. – Vol. 107. – P. 105006.
3. Buchbinder I.L., Ivanov E.A., Merzlikin B.S., Stepanyantz K.V. On two-loop divergences of effective action in 6D, N = (1,1) SYM theory.// JHEP. – 2023. – Vol. 05. – P. 089.
4. Meshcheriakov N.P., Shatalova V.V., Stepanyantz K.V. Coefficients at powers of logarithms in the higher-derivatives and minimal-subtractions-of-logarithms renormalization scheme.// Phys. Rev. D. – 2022. – Vol. 106. – P. 105011.
5. Haneychuk O.V., Shirokova V.Yu., Stepanyantz K.V. Three-loop β -functions and two-loop anomalous dimensions for MSSM regularized by higher covariant derivatives in an arbitrary supersymmetric subtraction scheme.// JHEP. – 2022. – Vol. 09. – P. 189.
6. Shirokov I.E., Stepanyantz K.V. The three-loop anomalous dimension and the fourloop β -function for N=1 SQED regularized by higher derivatives.// JHEP. – 2022. – Vol. 04. – P. 108.
7. Kuzmichev M.D., Meshcheriakov N.P., Novgorodtsev S.V., Shatalova V.V., Shirokov I.E., Stepanyantz K.V. Finiteness of the triple gauge-ghost vertices in N=1 supersymmetric gauge theories: the two-loop verification.// Eur. Phys. J. C. – 2022. – Vol. 82. – P. 69.
8. Korneev D.S., Plotnikov D.V., Stepanyantz K.V., Tereshina N.A. The NSVZ relations for N=1 supersymmetric theories with multiple gauge couplings.// JHEP. – 2021. – Vol. 10. – P. 046.
9. Stepanyantz K.V. Exact β -functions for N=1 supersymmetric theories finite in the lowest loops.// Eur. Phys. J. C. – 2021. – Vol. 81. – P. 571.
10. Kuzmichev M.D., Meshcheriakov N.P., Novgorodtsev S.V., Shirokov I.E., Stepanyantz K.V. Finiteness of the two-loop matter contribution to the triple gauge-ghost vertices in N=1 supersymmetric gauge theories regularized by higher derivatives.// Phys. Rev. D. – 2021. – Vol. 104. – P. 025008.

11. Stepanyantz K.V. The all-loop perturbative derivation of the NSVZ β -function and the NSVZ scheme in the non-Abelian case by summing singular contributions.// Eur. Phys. J. C. – 2020. – Vol. 80. – P. 911.
12. Buchbinder I.L., Ivanov E.A., Merzlikin B.S., Stepanyantz K.V. Supergraph calculation of one-loop divergences in higher-derivative 6D SYM theory.// JHEP. – 2020. – Vol. 08. – P. 169.
13. Kazantsev A.E., Stepanyantz K.V. Two-loop renormalization of the matter superfields and finiteness of N=1 supersymmetric gauge theories regularized by higher derivatives.// JHEP. – 2020. - Vol. 06. – P. 108.
14. Stepanyantz K.V. The NSVZ β -function for theories regularized by higher covariant derivatives: the all-loop sum of matter and ghost singularities.// JHEP. – 2020. -Vol. 01. – P. 192.
15. Stepanyantz K.V. The β -function of N=1 supersymmetric gauge theories regularized by higher covariant derivatives as an integral of double total derivatives.// JHEP. – 2019. -Vol. 10. – P. 011.