

ОТЗЫВ

Сушкова Сергея Владимировича, официального оппонента диссертации
Ивановой Инны Дмитриевны «Сингулярные гиперповерхности в
квадратичной гравитации», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.3. Теоретическая физика

В диссертации И. Д. Ивановой «Сингулярные гиперповерхности в квадратичной гравитации» предложен подход, который позволяет работать с сингулярными гиперповерхностями произвольного типа в квадратичной гравитации. В качестве приложений исследованы тонкие оболочки и двойные слои для сферически-симметричных решений конформной гравитации, а также на примере лагранжиана идеальной жидкости с переменным числом частиц, продемонстрированы принципиальные отличия поверхностного тензора энергии-импульса в квадратичной гравитации по сравнению с общей теорией относительности.

Диссертационная работа общим объемом 157 страниц состоит из введения, четырех основных глав, заключения, списка литературы, содержащего 91 ссылку, и двух приложений.

Во **Введении** показана актуальность выбранной темы исследования, приведен обзор научной литературы по изучаемой проблеме, обозначены цель и задачи диссертации, а также ее научная новизна и практическая значимость. Цель рецензируемой диссертационной работы состояла в изучении сингулярных гиперповерхностей произвольного типа в квадратичной гравитации, сравнении их с аналогами в общей теории относительности и нахождении физической интерпретации принципиальных отличий.

Актуальность темы исследования не вызывает сомнений, так как квадратичная гравитация является одной из наиболее продуктивных теорий модифицированной гравитации. Квадратичная гравитация перенормируема и активно используется в различных вариантах построения квантовой теории

гравитации. Сингулярные гиперповерхности применяются при описании различных физических явлений и процессов, например, гравитационных ударных волн, каустик, космологических фазовых переходов и т.д., а также подобные модели возникают в теории струн и супергравитации.

В **Главе 1** полевые уравнения для сингулярной гиперповерхности произвольного как в квадратичной гравитации, так и в общей теории относительности получены при помощи принципа наименьшего действия. Продемонстрировано, что вышеупомянутые уравнения содержат принципиальные отличия, так «внешнее давление» и «внешний поток» равны нулю в общей теории относительности, что указывает на невозможность существования двойного слоя. Показано, что условия Лихнеровича необходимы в квадратичной гравитации для того, чтобы избежать появления квадрата дельта-функции. Найдены критерии, определяющие является ли сингулярная гиперповерхность двойным слоем или тонкой оболочкой для всех типов гиперповерхностей. Показано, что для гравитации Гаусса-Бонне не существует ни двойных слоев, ни тонких оболочек, если выполняются условия Лихнеровича.

В **Главе 2** получен поверхностный тензор энергии импульса для действия идеальной жидкости с переменным числом частиц. Данная модель использована для того, чтобы пояснить физический смысл «внешнего давления» и «внешнего потока». Показано, что «внешнее давление» ответственно за поверхностное давление и поверхностную плотность энергии для времениподобной и пространственноподобной гиперповерхностей, соответственно, в то время как «внешний поток» ассоциирован со слагаемым в лагранжиане материи, ответственным за рождение частиц. Продемонстрирована конформная инвариантность закона рождения, а также тот факт, что включение внешнего скалярного поля в закон рождения приводит к тому, что процесс рождения может происходить непосредственно на двойном слое.

В **Главе 3** рассматриваются светоподобные сингулярные гиперповерхности. Показано, что для светоподобного двойного слоя

«внешнее давление» равно нулю, а также изучены возможные модификации условий Лихнеровича. Для сферически-симметричного случая показано, что сингулярная гиперповерхность может быть только тонкой оболочкой, если выполняются условия Лихнеровича.

В **Главе 4** исследованы времениподобные и пространственноподобные гиперповерхности. С помощью сшивок соответствующих решений изучены аналоги для конформной гравитации таких физических моделей, как «горение вакуума», фазовый переход в вакууме, коллапс сферически-симметричной тонкой оболочки.

По теме диссертации автором опубликовано 5 работ в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, а также индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Стоит отметить, что в трех из пяти публикаций И. Д. Иванова — единственный автор.

Диссертационная работа И. Д. Ивановой содержит интересные и важные, как физические, так и математические результаты, хорошо и полно сформулированные в виде положений, выносимых на защиту. Отмечу, в частности, детальный анализ понятий «внешнего давления» и «внешнего потока», которые возникают при рассмотрении сингулярных поверхностей в квадратичной гравитации, а также физическую интерпретацию для этих понятий, полученную на примере лагранжиана идеальной жидкости с переменным числом частиц. **Научная новизна** вышеперечисленных результатов подтверждается успешной апробацией на конференциях и научных семинарах, а также публикацией статей по теме диссертации в признанных международных изданиях. **Обоснованность и достоверность** выводов диссертации следует из их соответствия результатам, полученным в работах других исследователей, а также корректного применения выбранного математического аппарата.

В то же время при прочтении диссертации мною были отмечены некоторые недостатки, а также появились критические замечания и вопросы, требующие пояснения автора. А именно:

1. Я отмечаю недостаточное сравнение методики, использованной в диссертации, с другими подходами к исследованию сингулярных гиперповерхностей. Вероятно, следовало бы уделить этому больше внимания в вводной части диссертации.
2. Хотя квадратичная гравитация Гаусса-Бонне рассматривается в диссертации, возможно следовало бы уделить этому важному и очень интересному случаю квадратичной гравитации отдельное внимание.
3. Как известно, тонкие оболочки в общей теории относительности появляются при использовании так называемого метода «cut and paste». В частности, таким методом можно построить простые модели кротовых нор, например, применяя этот метод для двух копий вакуумных пространств Шварцшильда. Построенная кротовая нора Шварцшильда уже не является вакуумным решением ОТО, поскольку содержит материю поверхности сшивки, или горловине кротовой норы. Известно, в соответствии с общими теоремами ОТО, что такая материя является экзотической, т. е. нарушающей световое энергетическое условие. *Вопрос:* Возможно ли в квадратичной гравитации построить методом сшивки кротовые норы, для которых материя на поверхности сшивки остается нормальной?
4. В диссертации нечасто, но встречается научный «сленг». Например, «... квадратичная гравитация, связанная с перенормируемой квантовой теорией поля, может выдерживать *бесконечные энергии...*»; « фазовый переход к *de Ситтеру*».
5. Хочу сделать следующее стилистическое замечание. Цель диссертационной работы понятная и конкретная, однако формулировка цели в диссертации мне представляется неудачной. В частности, совершенно неудачно звучит фраза о «*нахождении физической интерпретации принципиальных отличий.*»
6. В работе имеется неполная ссылка на конференцию, где представлялись результаты диссертации. А именно: «*Symmetry 2021 - The 3rd International Conference on Symmetry. "Lightlike singular*

hypersurfaces in quadratic gravity” (онлайн, 8-13 августа 2021 г.)»

Вопрос, где проходила эта конференция? Кто организатор?

7. В списке литературы имеется оформленная не по ГОСТу ссылка [32]. А именно, в ссылке не указаны полностью авторы работы. Работа [32] является важной для диссертации, и мне пришлось обратиться к интернету, чтобы получить полную информацию о ней.

Высказанные замечания не являются принципиальными и не умаляют высокого уровня диссертации и полученных в ней результатов. Работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и полностью отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Полученные автором результаты имеют существенное значение для астрофизики и квантовой теории поля. Материалы диссертации полностью изложены в опубликованных работах автора. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации. Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на многих международных конференциях и обсуждались на научных семинарах в ФГБУН ИЯИ, МФТИ, ФГБУН МИАН, ГАИШ МГУ.

С учетом всего вышеперечисленного, считаю, что диссертационная работа И. Д. Ивановой отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Иванова Инна Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,

заведующий кафедрой теории относительности и гравитации
Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный
университет»

Сушков Сергей Владимирович

Подпись С. В. Сушкова верна

Помощник директора Института физики К(П)ФУ

Куранова Майя Хусоюновна

Дата: 22.09.2024

Контактные данные:

тел.: +7(960)0326021, e-mail: sergey_sushkov@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 16а,

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт
физики,

Тел.: +7(843)2337282; e-mail: phys.dep@kpfu.ru

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. **Sushkov S. V.**, Starobinsky A. A., Volkov M. S. Anisotropy screening in Horndeski cosmologies // *Phys. Rev. D*, 2020. – Vol. 101. – No. 6. – P. 064039. – DOI: 10.1103/PhysRevD.101.064039
2. **Sushkov S. V.**, Korolev R. F., Lobo S. N. General constraints on Horndeski wormhole throats // *Phys. Rev. D*, 2020. – Vol. 101. – No. 12. – P. 124057. – DOI: 10.1103/PhysRevD.101.124057
3. **Sushkov S. V.**, Kashargin P. E. Collapsing Wormholes Sustained by Dustlike Matter // *Universe*, 2020. – Vol. 6. – No. 10. – P. 186. – DOI: 10.3390/universe6100186
4. **Sushkov S. V.**, Kashargin P. E., Bronnikov K. A. Magnetized Dusty Black Holes and Wormholes // *Universe*, 2021. – Vol. 7. – No. 11. – P. 419. – DOI: 10.3390/universe7110419
5. **Sushkov S. V.**, Bronnikov K. A. Current problems and recent advances in wormhole physics // *Universe*, 2023. – Vol. 9. – No. 2. – P. 81. – DOI: 10.3390/universe9020081
6. **Sushkov S. V.**, Ishkaeva V. A. Image of an accreting general Ellis-Bronnikov wormhole // *Phys. Rev. D*, 2023. – Vol. 108. – No. 8. – P. 084054. – DOI: 10.1103/PhysRevD.108.084054