

ОТЗЫВ

официального оппонента Бронникова Кирилла Александровича на диссертацию Ивановой Инны Дмитриевны «Сингулярные гиперповерхности в квадратичной гравитации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Диссертационная работа И.Д. Ивановой «Сингулярные гиперповерхности в квадратичной гравитации» посвящена теоретическому исследованию характеристик сингулярных гиперповерхностей произвольного типа, включая светоподобные, в рамках моделей квадратичной гравитации. Диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключительной части и приложений.

Во Введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в данной диссертационной работе, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость представляемой работы. Цель рецензируемой диссертационной работы состояла в изучении свойств сингулярных гиперповерхностей произвольного типа в квадратичной гравитации, сравнении их с аналогами в общей теории относительности и нахождении физической интерпретации принципиальных отличий.

Актуальность избранной темы связана с возрастающим использованием квадратичных теорий гравитации для описания как космологической эволюции, так и изолированных систем с сильными гравитационными полями. Кроме того, квадратичные модели гравитации возникают в процедуре перенормировки при исследовании квантовых полей в искривленном пространстве-времени, а также используются в различных подходах к построению квантовой теории гравитации.

В главе 1 с помощью принципа наименьшего действия получены уравнения движения для сингулярной гиперповерхности произвольного типа в квадратичной гравитации и их конкретный вид для светоподобных и сферически-симметричных гиперповерхностей. Для сравнения аналогичным образом выведены известные уравнения Израэля. Показано, что в этом случае «внешнее давление» и «внешний поток» равны нулю, а также обоснована необходимость выполнения условий Лихнеровича в квадратичной гравитации, в отличие от общей теорией относительности. Для всех типов

гиперповерхностей найдены критерии, которые определяют, является ли гиперповерхность двойным слоем или сводится к тонкой оболочке. Продемонстрирована невозможность существования сингулярной гиперповерхности в рамках гравитации Гаусса-Бонне при выполнении условий Лихнеровича.

В главе 2 на примере действия идеальной жидкости с переменным числом частиц показано, что «внешнее давление» ответственно за поверхностное давление и поверхностную плотность энергии временноподобной или пространственноподобной гиперповерхностей, в то время как «внешний поток» ассоциирован со слагаемым в лагранжиане материи, ответственным за рождение частиц. Показано, что при введении внешнего скалярного поля в закон рождения процесс рождения может происходить непосредственно на сингулярной гиперповерхности, в то время как само скалярное поле напрямую не вносит вклад в поверхностный тензор энергии-импульса.

В главе 3 исследуются основные свойства светоподобных сингулярных гиперповерхностей. Для данного типа гиперповерхностей показано отсутствие «внешнего давления», а также выявлены требования, при которых снимаются ограничения, заданные условиями Лихнеровича. Продемонстрирована невозможность существования сферически-симметричного светоподобного двойного слоя в случае выполнения условий Лихнеровича.

В главе 4 дано описание пространственноподобных и временноподобных гиперповерхностей, и проведен сравнительный анализ сингулярных гиперповерхностей, описывающих сшивки сферически-симметричных решений конформной гравитации и их аналогов в общей теории относительности.

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК, а также в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Следует отметить, что, в отличие от большинства кандидатских диссертаций по теоретической физике, посвященных решению конкретных задач в рамках той или иной теории, в данной работе рассматривается развитие методики исследований и математического инструментария, применимого в целом классе теорий, и это потребовало от автора диссертации И.Д. Ивановой весьма высокой квалификации и глубокого понимания физики описываемых теоретических объектов. Работа потребовала проведения весьма сложных и громоздких вычислений, с которыми Инна Дмитриевна успешно справилась. Полученные результаты общего характера применены к ряду

конкретных решений в квадратичных теориях гравитации. Все полученные результаты и выводы, перечисленные в «Основных положениях, выносимых на защиту», являются **новыми**, что, помимо признания коллег, подтверждается фактом публикации работ автора в высокорейтинговых международных научных журналах. **Обоснованность и достоверность** полученных результатов и выводов подтверждается корректным применением используемого математического аппарата, а также совпадением результатов автора с результатами других исследователей в тех случаях, когда возможно их сравнение.

Вместе с тем имеется ряд замечаний к данной работе.

1. Заслуживает большего внимания физическая интерпретация понятий «внешнего давления» и «внешнего потока» и их связи с рождением частиц.
2. Физическая интерпретация пространственно- и временноподобных сингулярных гиперповерхностей достаточно очевидна, чего нельзя сказать о светоподобных гиперповерхностях. Хотелось бы видеть какое-либо описание физических ситуаций, которые могли бы характеризоваться такими гиперповерхностями.
3. Разработанные методы, очевидно, в значительной степени применимы к любым теориям гравитации, включающим высшие производные от метрического тензора. Весьма интересно было бы выяснить, какие результаты данного исследования и в какой мере распространяются на другие теории гравитации, включая многомерные теории и, например, $f(R)$ -теории с произвольной функцией $f(R)$.
4. Имеются отдельные неточности в тексте диссертации. Например, на стр. 22 читаем: «Если в T^{ab} присутствует только скачок, то соответствующий скачок кривизны описывает ударную гравитационную волну, сопровождаемую ударной волной в веществе» - однако подобный скачок возникает и в гораздо более простых ситуациях типа поверхности звезды или любой границы между средами с разной плотностью материи. Есть стилистические недочеты в тексте, например, на стр. 72 говорится о ковариантных производных двумерной метрики, хотя по смыслу сказанного имеются в виду ковариантные производные, вычисленные с помощью этой метрики. Часто употребляется выражение «представляет из себя» вместо «представляет собой» и т.д.

Очевидно, приведенные замечания носят либо рекомендательный, либо частный характер и ни в коей мере не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, отвечает

требованиям к диссертационным работам, установленным ВАК. Содержание диссертации соответствует специальности 01.03.03 — «теоретическая физика». По моему мнению, в диссертации получены весьма интересные и нетривиальные результаты, заслуживающие распространения на широкий спектр гравитационных теорий и применения в конкретных задачах теории гравитации и релятивистской астрофизики. Все результаты своевременно опубликованы и неоднократно докладывались на международных конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертация «Сингулярные гиперповерхности в квадратичной гравитации» удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Иванова Инна Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — «теоретическая физика».

10.09.2024

Главный научный сотрудник Центра гравитации и фундаментальной метрологии Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы», доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика»

_____Бронников Кирилл Александрович

bronnikov@vniims.ru

+7(495) 655-30-87

119361, г. Москва, ул. Озерная, д. 46.

Подпись К.А. Бронникова удостоверяю:

Начальник отдела кадров О. Ю. Матвиенко

18.09.2024

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

1. **Bronnikov K. A.** and Konoplya, R. A. Echoes in brane worlds: ringing at a black hole-wormhole transition // *Phys. Rev. D*, 2020. – Vol. 101. – No. 6. – P.064004. – DOI: 10.1103/PhysRevD.101.064004
2. **Bronnikov K. A.**, Popov, A. A. and Rubin S. G. Inhomogeneous compact extra dimensions and de Sitter cosmology // *Eur. Phys. J. C*, 2020. – Vol. 80. – No. 10. – P. 970. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-020-08547-x
3. **Bronnikov K. A.**, Krechet V. G. and Oshurko V. B. Rotating Melvin-like universes and wormholes in general relativity // *Symmetry*, 2020. – Vol. 12. – No. 8. – P. 1306. – DOI: 10.3390/sym12081306
4. **Bronnikov K. A.** and Rubin S. G. Local regions with expanding extra dimensions // *MDPI Physics*, 2021. – Vol. 3. – No. 3. – P. 781. – DOI: 10.3390/physics3030048
5. **Bronnikov K. A.** Some unusual wormholes in general relativity // *Phil. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci.*, 2022. – Vol. 380. – No. 2222. – P. 20210176. – DOI: 10.1098/rsta.2021.0176
6. **Bronnikov K. A.**, Rodrigues M. E. and de S. Silva M. V. Cylindrical black bounces and their field sources // *Phys. Rev. D*, 2023. – Vol. 108. – No. 2. – P. 024065. – DOI: 10.1103/PhysRevD.108.024065