

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Богуша Игоря Андреевича
на тему: «Ультеракомпактные объекты в скалярно-тензорных
теориях гравитации, мотивированных теорией струн»
по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика»

В результате применения радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой и возникновения новой области исследования Вселенной - гравитационно-волновой астрономии появилась возможность прямых наблюдений за окрестностью сверхкомпактных объектов, таких как черные дыры и нейтронные звезды. Прогресс в данном направлении сделал особенно актуальным вопрос сравнения данных наблюдений с теоретическими предсказаниями. Полученные данные с высокой степенью достоверности согласуются с предсказаниями общей теории относительности (ОТО) в пределах погрешности наблюдений. При этом множество обобщенных и альтернативных теорий гравитации согласуются с наблюдениями в той же степени, что и ОТО. Для более глубокого понимания природы гравитации и более строгого отбора описывающих ее теорий необходим как прогресс в разработке математического аппарата теории, так и анализ конкретных решений для широкого круга моделей гравитации, далеко выходящих за рамки электровакуумной модели Эйнштейна-Максвелла. Рассматриваемая диссертация решает данный вопрос для класса моделей гравитации, содержащих набор скалярных и абелевых векторных полей, которые мотивированы теорией струн, например, для моделей Эйнштейна-Максвелла с дилатоном (ЭМД) и с дилатоном и аксионом (ЭМДА).

Диссертация И.А. Богуша состоит из введения, шести глав и заключения. Полный объем диссертации – 245 страниц, включая 25 рисунков и 6 таблиц. Список литературы содержит 385 наименований. Содержание автореферата полностью соответствует диссертационной работе.

Введение посвящено описанию основных вопросов, обсуждаемых в диссертации, охарактеризованы цели, задачи, новизна работы, ее практическая значимость, достоверность, используемые методы, апробация результатов, личный вклад автора, краткое содержание, а также основные положения, выносимые на защиту. **Заключение** содержит описание основных результатов.

В **первой** главе вводятся основные модели гравитации, рассматриваемые в диссертации. В их число входит модель Эйнштейна-Максвелла с дилатоном, с дилатоном и аксионом, модель гравитации со скаляром с минимальной связью, модель гравитации с антисимметричной формой и дилатоном. Все модели, кроме последней, обобщены в виде одной, в которую входит произвольное количество скалярных и абелевых векторных полей с коэффициентами при кинетических членах в действии, зависящими от набора скаляров. Конкретный вид модели задается набором симметричных матриц.

Вторая глава диссертации содержит описание скрытых симметрий и методов генерации решений. Для ряда моделей описаны соответствующие сигма-модели, косетное представление, преобразования Клемана, уравнения Эриша-Гюрсеса, генерация высших скалярных мультиполей. Автором предлагается обобщение преобразований Клемана на теории со скалярными полями с минимальной связью. В предложенном подходе поле Максвелла рассматривается как вспомогательное для процедуры.

Третья глава диссертации посвящена применению преобразований, описанных в главе 2, для генерации новых решений, и анализу этих решений. В частности, автор получил новые решения в виде сингулярных дионов Калуцы-Клейна, сингулярных p -бран, решения с вращением, обобщающие решение Фишера. Рассмотрена также генерация и исследованы свойства некоторых известных, но пока малоизученных решений. Проведен анализ геометрии решений, их предельного вида в параметрическом пространстве,

условий экстремальности. Автором получена полная классификация дионов Калуцы-Клейна, в которой различные классы решений описывают черные дыры, кротовые норы или голые сингулярности в четырехмерной или пятимерной интерпретациях. Показано, что некоторые решения, полученные с помощью известного математического приема Джейниса-Ньюмена и активно обсуждаемые в литературе, на самом деле не удовлетворяют уравнениям движения модели.

В **четвертой** главе рассмотрена термодинамическая формула Смарра - формула, связывающая значения массы, углового момента и электрического заряда черных дыр с площадью горизонта - для рассматриваемых моделей, включая решения со струнами Дирака и Мизнера. Автор обобщает подход Комара-Томиматсу со стержневым формализмом Хармарка на случай рассматриваемых в диссертации теорий. Показано, что формула Смарра для таких теорий не отличается от соответствующей формулы для электровакуумных конфигураций, если заряды определены надлежащим образом. В результате формула Смарра не содержит скалярных вкладов. Рассматриваются примеры решений уравнений поля в теориях ЭМД и ЭМДА с линейными сингулярностями.

В **пятой** главе автор рассматривает существование суперсимметрии в полученных моделях сингулярных p -бран и в теории Эйнштейна-Максвелла с дилатоном в целом. Автором предложен метод получения связей между физическими полями и их асимптотическими зарядами с помощью анализа вырожденности системы алгебраических уравнений, которые возникают в уравнениях для дилатно и гравитино в случае стационарных решений. С помощью предложенного метода автор обобщает известное условие связи между зарядами БПС-решений на случай с гравимагнитным зарядом НУТ.

Шестая глава содержит ряд результатов, относящихся к анализу свойств временноподобных и световых геодезических и поведения пробного скалярного поля на фоне ранее рассмотренных конфигураций, в частности,

на фоне p -бран, изучается возможность «квантового излечения» сингулярностей, генерации конформных тензоров Киллинга второго ранга и их связь с контуром тени ультракомпактных объектов через т.наз. фундаментальные фотонные поверхности. Результаты теоретического анализа сравниваются с результатами применения численного алгоритма, который был реализован для архитектуры графических ядер с технологией CUDA, что привело к построению релятивистских изображений и теней двух классов объектов, описываемых новыми решениями, сгенерированными автором в ходе данной диссертационной работы.

С точки зрения оппонента, особый научный интерес представляют проведенный в диссертации систематический анализ методов генерации новых решений уравнений гравитации и методика построения формы теней различных гипотетических астрофизических объектов, описываемых новыми или известными решениями.

Соискатель полностью обосновал достоверность полученных результатов и сделанных выводов, используя проверенные математические методы. Новые научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных Web of Science, Scopus, RSCI, и в изданиях из перечня, рекомендованного Минобрнауки России, по специальности 1.3.3 – «теоретическая физика» в соответствии с требованиями Диссертационного совета МГУ.

Следует указать некоторые недостатки работы:

1. Классификация решений модели ЭМД в главе 3 отчасти строится с помощью численного анализа. Однако в диссертации не приведены подробности численной процедуры. Поэтому нет возможности утверждать, какой точностью обладают графики, используемые для получения классификации решений.

2. В главе 4 формула Смарра построена для широкого класса теорий, однако приведенные примеры соответствуют лишь теориям ЭМД и ЭМДА.
3. В главе 6 рассматривается устойчивость решений по отношению к пробному скалярному полю, однако рассмотрение линеаризованных возмущений тех же решений более полно описывало бы физическую ситуацию (правда, было бы технически значительно сложнее).
4. Текст диссертации содержит некоторые грамматические ошибки, а также стилистические недочеты, отчасти, вероятно, связанные с неотредактированным машинным переводом с английского. Один из примеров – фраза в конце стр. 9: «... возникает вопрос, если сверхэкстремальные невращающиеся черные дыры ... могут быть преобразованы в кротовые норы». Есть неточности в употреблении терминологии, например, на стр. 12 говорится об «эйнштейновской системе отсчета», хотя, очевидно, имеется в виду не система отсчета, а конформная калибровка (здесь имеет место неверный перевод неоднозначного англоязычного термина “frame”). Автор неоднократно использует такие противоестественные словосочетания как «вращающееся решение» (вместо этого следовало бы написать, например, «вращательное решение» или «решение с вращением») и даже «вращающееся обобщение».

Указанные замечания носят в основном частный характер и ни в коей мере не умаляют научной значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Работа выполнена на высоком научном уровне. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3. – «теоретическая физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1 - 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском

государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Богуш Игорь Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Центра гравитации
и фундаментальной метрологии ВНИИМС, отдел 001
Бронников Кирилл Александрович

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 332 11 48; +7 (495) 781 28 68, e-mail: kb20@yandex.ru

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

Адрес места работы: 119361, Москва, ул. Озерная, 46, ФГБУ ВНИИМС

Подпись сотрудника Центра гравитации и фундаментальной метрологии
ВНИИМС К.А. Бронникова удостоверяю: