

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по специальности «8D05306 – Физика»

МАЛЫБАЕВ АЛГИС НУРГИСАЕВИЧ

РАЗЛИЧНЫЕ АСПЕКТЫ ДИЛАТОННЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР ДИОННОГО ТИПА

Диссертационная работа посвящена исследованию различных аспектов дилатонных черных дыр дионного типа в 4-мерной теории гравитации..

Актуальность темы.

Актуальность данной работы связана с недавним обнаружением гравитационных волн. Открытие гравитационных волн усилило давний интерес международного научного сообщества к исследованию квазинормальных мод (КНМ), предсказанных Вишвешварой в 1970 году. Обнаруженные гравитационные волны были испущены во время заключительной стадии слияния двух черных дыр. Частоты этих волн определялись суперпозициями затухающих колебаний, т.е. КНМ. Тщательный анализ этого и последующих наблюдений весьма важен, так как он непосредственно выявляет свойства гравитации в режиме сильного поля и способен пролить свет на ее природу.

В настоящее время существует интерес к сферически-симметричным решениям, в том числе черноты, которые появляются в гравитационных моделях со скалярными полями и антисимметричными формами (в том числе в моделях суперструнного происхождения) и могут быть связаны с алгебрами Ли и цепочками Тоды.

При этом специальный подкласс 4-мерных решений в модели гравитации со скалярными (в т.ч. дилатонными) полями и полями 2-форм с дилатонной связью экспоненциального типа пока что еще недостаточно изучен, в том числе с точки зрения КНМ.

Цель работы.

Получение и подробное исследование точного решения для дилатон-дионной черной дыры, возникающей в 4-мерной теории гравитации с двумя скалярными полями и двумя полями 2-форм, которое позволит определить такие характеристики, как гравитационную массу, скалярные заряды, температуру Хокинга, энтропию, параметризованные пост-ньютоновские

параметры и на их основе проверить первый закон термодинамики и соотношение Смарра, а также получить и исследовать спектр КНМ для безмассового пробного скалярного поля в эйкональном приближении (ЭП).

Объект исследования.

Дилатон-дионная черная дыра.

Предмет исследования.

Физические характеристики дилатон-дионной черной дыры, такие как гравитационная масса, электрический и магнитный заряды, скалярные заряды, температура Хокинга, энтропия Бекенштейна-Хокинга для черной дыры, параметризованные пост-ньютоновские параметры, КНМ.

Методы исследования.

При решении задач, необходимых для достижения поставленных целей, использованы методы численного и аналитического решения и исследования нелинейных дифференциальных уравнений, методы дифференциальной геометрии, методы вариационного исчисления.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Используя уравнения движения для рассматриваемой модели, получить точное сферически-симметричное дилатон-дионное чернотырное решение.

2. На основе точного дилатон-дионного чернотырного решения, рассчитать такие физические характеристики, как гравитационную массу, скалярные заряды, температуру Хокинга, энтропию черной дыры, параметризованные пост-ньютоновские параметры.

3. На основе полученных физических характеристик проверить первый закон термодинамики и соотношение Смарра.

4. Вычислить спектр КНМ для безмассового пробного скалярного поля в эйкональном приближении.

5. Проверить неравенство Хода, связывающего температуру Хокинга и мнимую часть циклических частот КНМ.

Новизна работы.

Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней впервые:

1. В модели 4-мерной гравитации с двумя скалярными (дилатонными) полями и двумя полями 2-форм с экспоненциальной дилатонной связью исследована возможность существования точного дилатон-дионного неэкстремального чернотырного решения.

2. Рассчитаны физические параметры неэкстремальной дилатон-дионной черной дыры, такие как гравитационная масса M , дублет скалярных зарядов \vec{Q}_φ , электрический и магнитный заряды Q_1, Q_2 .

3. Определены температура Хокинга и энтропия Бекенштейна-Хокинга для модели 4-мерной гравитации с двумя скалярными (дилатонными) полями и двумя полями 2-форм с экспоненциальной дилатонной связью. Проверены первый закон термодинамики и соотношение Смарра.

4. Получен спектр квазинормальных мод для пробного скалярного, электрически нейтрального поля в эйкональном приближении ($l \gg 1, l \gg n$, где l – орбитальное квантовое число, а n – число оборотов) на фоне метрики найденного черной дыры решения.

5. Исследовано неравенство Хода, связывающее температуру Хокинга и мнимую часть циклических частот квазинормальных мод в эйкональном приближении ($l \gg 1$) и при наименьшем значении числа оборотов $n = 0$.

Положения, выносимые на защиту:

1. В модели 4-мерной гравитации с двумя скалярными (дилатонными) полями и двумя полями 2-форм с экспоненциальной дилатонной связью, описываемой двумя двумерными векторами дилатонной связи $\vec{\lambda}_1$ и $\vec{\lambda}_2$, существует точное дилатон-дионное неэкстремальное черной дыры решение при значениях $\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_2$, удовлетворяющих неравенствам: $\vec{\lambda}_1(\vec{\lambda}_1 + \vec{\lambda}_2) > 0$, $\vec{\lambda}_2(\vec{\lambda}_1 + \vec{\lambda}_2) > 0$.

2. Физические параметры неэкстремальной дилатон-дионной черной дыры, такие как гравитационная масса M , дублет скалярных зарядов \vec{Q}_φ , электрический и магнитный заряды Q_1, Q_2 , связаны соотношением: $2(GM)^2 + \vec{Q}_\varphi^2 = Q_1^2 + Q_2^2 + 2\mu^2$, где $\mu > 0$ – параметр экстремальности, G – гравитационная постоянная.

3. Произведение температуры Хокинга и энтропии Бекенштейна-Хокинга не зависит явно от векторов дилатонной связи $\vec{\lambda}_s$ и зарядов Q_s .

4. Спектр квазинормальных мод для пробного скалярного, электрически нейтрального поля в эйкональном приближении ($l \gg 1, l \gg n$, где l – орбитальное квантовое число, а n – число оборотов) на фоне метрики найденного черной дыры решения зависит от параметра a ($0 < a \leq 2$), который в пределе $a = +0$ согласуется с результатом Б. Машуна, отвечающем черной дыре Шварцшильда, а при $a = 2$ согласуется с результатом Н. Андерсона, отвечающем заряженной черной дыре Рейснера–Нордстрема.

5. Неравенство Хода, связывающее температуру Хокинга и мнимую часть циклических частот квазинормальных мод, выполняется в эйкональном приближении ($l \gg 1$) и при наименьшем значении числа обертонов $n = 0$: а) для всех значений (коллективного) заряда $Q > 0$ при $0 < a \leq 1$, б) для достаточно малых значений заряда Q : $Q/M < q_{crit}(a)$ при $1 < a \leq 2$.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Получение и анализ точных решений в модели 4-мерной гравитации со скалярными полями и полями 2-форм, а также - спектра КНМ для пробного поля на фоне решения являются важными задачами для понимания природы гравитации в режиме сильного поля.

Достоверность и обоснованность полученных результатов.

Полученные результаты являются достоверными так как основаны на известных методах исследования, апробированных в работах большого числа известных авторов. Кроме того, полученные результаты аналитических расчетов согласуются с ранее известными решениями для частных и предельных случаев. Основные результаты работы опубликованы в журнале с высоким импакт-фактором и докладывались на международных научных конференциях ближнего и дальнего зарубежья.

Личный вклад автора заключается в том, что весь объем диссертационной работы, выбор метода решения задач и численные расчеты выполнены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Публикации.

По материалам диссертационной работы опубликованы 8 печатных работ: 2 статьи в журналах, входящих в международный информационный ресурс Web of Knowledge (Thomson Reuters, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды); 1 публикация в материалах международной конференции, индексируемая в базе данных Scopus (Elsevier, Нидерланды); 5 работ в сборниках Международных научных конференций.

Апробация диссертационной работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

- на научных семинарах кафедры теоретической и ядерной физики КазНУ им. аль-Фараби;
- на международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби элемі», Алматы, 6-9 апреля 2020 года;
- на международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби элемі», Алматы, 6-8 апреля 2021 года;

- на международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби элeмi», Алматы, 6-8 апреля 2022 года;
- на 5-ой международной онлайн-конференции по физике частиц и астрофизике (ICPPA-2020), Москва, 5–9 октября, 2020 года;
- на международной онлайн-конференции по релятивистской астрофизике и гравитации (IWRAG-2021), Ташкент, 12-14 мая, 2021 года;
- на международной научной онлайн-конференции «Sixteenth Marcel Grossmann Meeting», Италия, Рим, 2021 года

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, 2 приложений и списка использованных источников из 87 наименований, содержит 108 страниц текста, включая 10 рисунков и 2 таблицы.