

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности «6D060400 – Физика» Нуртаевой Галии Кадырхановны
на тему «**Бранные решения в многомерных теориях гравитации**»

Общая характеристика работы

В диссертационной работе представлены результаты расчетов гипотетических астрофизических объектов в модифицированных 4-х и многомерных теориях гравитации, таких как: доменные стенки и thick branes (толстые браны).

Актуальность темы

В основополагающих физических теориях, таких как общая теория относительности и электродинамика Максвелла значимыми являются регулярные решения. Регулярными решениями будем называть такие решения, которые имеют конечную энергию и у которых соответствующие поля являются конечными во всем пространстве: в центре и на бесконечности в частности. Такие решения в вышеуказанных теориях являются достаточно редкими. Для примера можно рассмотреть решения типа черных дыр, где они являются сингулярными: в центре черной дыры имеется сингулярность – точечная масса, точечный заряд и так далее. В рамках классической и квантовой электродинамики невозможно получить регулярные решения без источников. Причиной этого является линейность уравнений Максвелла. Только электромагнитные волны являются единственными решениями уравнений Максвелла без источников.

С целью получения регулярных решений необходимо по всей видимости, чтобы полевые уравнения были нелинейными. Следовательно в общей теории относительности существует возможность получения регулярных решений. В действительности такие решения существуют, например, для скалярных полей: это так называемые бозонные звезды. Другими примерами могут являться такие объекты как доменные стенки, браны, кротовые норы.

Впервые решения доменных стенок появляются в теориях, где потенциал скалярного поля имеет изолированные минимумы. При данных условиях доменной стенкой является поверхность, разделяющая различные минимумы скалярного потенциала. В этом случае скалярное поле меняется в пространстве и стремится к одному минимуму в одном направлении и к другому минимуму в противоположенном направлении. Область быстрого изменения скалярного поля соответствует доменной стенке. В приближении тонкой стенки изменение скалярной плотности энергии поля локализуется на поверхности доменной стенки и заменяется дельта-функцией. В случае, когда все поля постоянны с каждой стороны стенки, то есть они находятся в минимумах потенциала, доменные стенки называются вакуумными доменными стенками.

Важным направлением в исследованиях современной Вселенной в

последние годы стало рассмотрение теории мира на бране (n-мерных гиперповерхностей, вложенных в многомерное внешнее пространство-время). В рамках теорий мира на бране удастся естественным образом описать иерархию масс элементарных частиц, а также решить ряд других проблем теории элементарных частиц. В то же время теории такого типа с успехом применяются и при моделировании темной энергии. Браны могут играть значительную роль в квантовой гравитации.

В связи с вышеуказанным возникает необходимость исследования решения в модифицированных теориях гравитации, описывающих доменные стенки и браны, поскольку все их свойства являются **актуальными** для понимания свойств этих астрофизических объектов.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа посвящена исследованию доменных стенок и *thick branes*. В работе были исследованы направления, которые предлагают описание космологической эволюции в рамках модифицированных (расширенных) теорий гравитации. Делая обзор этих теорий, трудно выделить предпочтительные направления, так как конкретные подходы имеют разные степени исследованности и признания.

Модифицированные теории гравитации или альтернативные теории гравитации - это теории, обобщающие теорию гравитации Эйнштейна. Целью альтернативных теорий является описание гравитации в рамках модифицированной теории, при этом предложить лучшее описание явлений в космологии, а также не войти в противоречие с имеющимися экспериментальными данными на данный момент.

Общая теория относительности имеет ряд проблем, поэтому всегда существует несколько причин для создания новой теории или начала проверки старых теорий новыми экспериментальными данными. Следовательно, существуют новые возможности проверить или, может быть, обобщить теорию гравитации, сделанную А. Эйнштейном в 1916 году.

Модифицированный гравитационный подход очень хорошо применяется в приложениях для позднего ускорения Вселенной и темной энергии. В действительности, модифицированная гравитация обеспечивает гравитационную альтернативу для темной энергии т.е. она может служить основой для унифицированного объяснения темной материи.

В рамках данного подхода можно выделить класс модифицированных теорий гравитаций, которые расширяют общую теорию относительности, сохраняя ее положительные черты. Они не требуют присутствия неизвестных частиц, которые до сих пор не обнаружены на экспериментальном уровне, но требуют иного вида действия. При таком подходе гравитационное действие Эйнштейна - Гильберта модифицируется, например путем добавления произвольной функции от скалярной кривизны Риччи $R - f(R)$. Можно рассматривать и комбинированный подход, предполагая и наличие других физических полей (например, скалярного поля), участвующих в динамике. Можно использовать более сложные конструкции, полученные из тензоров Риччи, Римана и Вейля, или теории с неминимальным взаимодействием.

Также можно рассматривать теории гравитации в пространствах с размерностью выше четырех и т.д. Наибольшее внимание из них привлекает $f(R)$ – гравитация в силу того, что она выглядит проще других модифицированных теорий гравитаций, а также может быть переписана в виде скалярно-тензорной теории.

Модифицированные теории гравитации являются одной из конкурирующих моделей для объяснения современного ускоренного расширения Вселенной, открытого в недавнее время. Эти теории являются, по-видимому, простейшим геометрическим обобщением общей теории относительности. Они основаны на замене лагранжиана Эйнштейна-Гильберта R на произвольную функцию от скалярной кривизны $f(R)$. С математической точки зрения, полевые уравнения, получаемые варьированием модифицированного действия по метрике, имеют более богатую структуру возможных решений, что и позволяет применять их для получения новых физических результатов.

В диссертационной работе представлены исследования, проводимые в рамках 4-х и многомерных модифицированных теориях гравитации, в которых найдены различные типы регулярных решений для доменных стенок, *thick branes*; а также был проведен качественный анализ полученных решений.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами фундаментальной научно-исследовательской работы (НИР) КН МОН РК «Программно-целевое финансирование научных исследований» по теме: ««Исследование фундаментальных проблем физики плазмы и плазмopodobных сред», ИРН программы: BR05236730. (2017-2020гг., № гос.регистрации 0115РК02918, шифр 0263/ПЦФ-14).

Цель работы

Получить и подробно исследовать регулярные решения в модифицированных теориях гравитации, описывающих 4-мерные доменные стенки в 4-мерном и n -мерные *thick branes* в D -мерном пространствах - временах в рамках модифицированных теорий гравитации типа $f(R)$.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Используя уравнения модифицированной теории гравитации, получить уравнения, описывающие доменные стенки и *thick branes* в 4-х мерном и многомерном случаях;
- На основе уравнений, описывающих плоско – симметричные 4-х и многомерные метрики в модифицированных теориях гравитации, получить регулярные решения, описывающие доменные стенки и *thick branes*;
- Исследовать свойства доменных стенок и *thick branes*.

Объект исследования

Модифицированные теории гравитации и плоско-симметричные решения в них.

Предмет исследования. Полевые уравнения модифицированных теорий гравитации типа $f(R)$.

Методы исследования. Численные и аналитические методы исследования нелинейных дифференциальных уравнений модифицированных теорий гравитации, описывающих доменные стенки и thick branes.

Новизна работы. Новизна и оригинальность исследований заключается в том, что **впервые:**

- получены новые плоско – симметричные решения в 4-х и многомерных модифицированных теориях гравитации;

- исследованы свойства доменных стенок и thick branes в модифицированных теориях гравитации;

- продемонстрировано, что возможность появления в модифицированных теориях гравитации доменных стенок и thick branes существенно определяется видом функции $f(R)$.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Получение новых регулярных решений в гравитационных теориях является интересной и необходимой задачей для понимания природы гравитации. Доменные стенки и thick branes являются гипотетическими объектами, которые возможно будут обнаружены в будущем. Поэтому исследование их свойств является важной задачей в теоретической физике.

Положения, выносимые на защиту:

1. Все регулярные решения уравнений, полученных на основе модифицированной теории гравитации для доменных стенок и thick branes в 4-х мерном и многомерном случаях имеют антидесситеровскую асимптотику;

2. Регулярные решения модифицированной теории гравитации $f(R) = -\alpha R^n$ имеют особую точку, необходимую для существования браны, расположенную в ее центре и существующую при следующих параметрах n : $1 < n < 2$;

3. Регулярные вакуумные решения в модифицированной теории гравитации $f(R) = -\alpha R^n$ для D – branes с коразмерностью =1 не требуют присутствия материи.

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

Достоверность и обоснованность полученных результатов. В диссертационной работе использовались известные многомерные модифицированные теории гравитации и апробированные математические методы численных решений обыкновенных дифференциальных уравнений в пакетах Wolfram Mathematica и Maple. Полученные результаты на основе численных расчетов согласуются с качественным исследованием,

полученных дифференциальных уравнений, а также с исследованиями, проведенными ранее другими авторами. Также достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждаются публикациями в журналах дальнего зарубежья с высокими импакт-факторами и в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Апробация диссертационной работы. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной конференции «10th Alexander Friedman International Seminar on Gravitation and Cosmology and 4th Symposium on the Casimir Effect» (2019, Saint-Petersburg, Russia);

– на Международной конференции «57th Workshop on Gravity and Cosmology» (2019, Jecheon, South Korea);

– на Международной научной конференции «Абдильдинские чтения: Актуальные вопросы современной физики» (2018, Алматы, Казахстан);

– на Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі» (2018, 2019, Алматы, Казахстан);

- а также обсуждались с профессором Ким С.В. (Сеул, Южная Корея) в рамках международного сотрудничества.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 9 печатных работ: 3 – в журналах из Перечня ККСОН МОН РК для опубликования основных результатов диссертаций на соискание степени PhD и 2 статьи в журналах дальнего зарубежья с высокими импакт-фактором, входящих в международный информационный ресурс Web of Knowledge (Thomson Reuters, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды); 4 работы в сборниках Международных научных конференций.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка использованных источников из 174 наименований, содержит 94 страницы основного компьютерного текста, включая 35 рисунков.

Основными результатами данной работы являются следующие:

- Рассмотрен класс модифицированных теорий гравитаций, которые расширяют общую теорию относительности, сохраняя ее положительные черты. В них гравитационное действие Эйнштейна - Гильберта модифицируется, путем добавления произвольной функции от скалярной кривизны Риччи $R - f(R)$.

- Рассматриваются теории гравитации в пространствах с размерностью выше четырех и т.д. Наибольшее внимание из них привлекает $f(R)$ – гравитация в силу того, что она выглядит проще других модифицированных теорий гравитаций, а также может быть переписана в виде скалярно-тензорной теории.

- Исследованы 4-мерные доменные стенки, 5-ти и 6-мерные thick branes в $-\alpha R^n$ гравитации. Получены регулярные, плоско-симметричные решения в

вакууме при определенных значениях параметра n и δ . Полученные решения представляют большой интерес, так как являются вакуумными решениями, в отличие от аналогичных решений в общей теории относительности. В результате:

1) Все регулярные решения имеют AdS асимптотику.

2) При увеличении параметров $\alpha, n \rightarrow \infty$ решения стремятся к некоторому пределу, уже не зависящему от значений этих параметров.

3) Не при всех значениях параметра n существуют решения:

- если $n = (2p + 1)/(2q + 1)$, где p, q – целые числа, то решение регулярно при $x^N > 0$ и может быть сингулярным при $x^N < 0$;

- если показатель степени n является иррациональным числом, то решений в общем случае не существует.

4) Согласно уравнению $R_A^B - \frac{1}{2}\delta_A^B R = \hat{T}_A^B$, правая часть играет роль эффективного тензора энергии-импульса $\hat{T}_{\mu\nu}$. Было показано, что в этом случае эффективная плотность энергии T_0^0 является отрицательной и исследована ее зависимость от значений параметров $\gamma, \delta, \alpha, N$.

- Получены фазовые портреты для 4-х мерной доменной стенки, 5 и 6 - мерной модели браны, а также график масштабных факторов. Полученные решения thick branes и доменных стенок могут стать интересной моделью для космологических исследований.

- Показано что регулярные решения, имеют особую точку, расположенную в центре браны. Как следует из аналитического анализа поведения решений в окрестности этой точки, такая точка существует только при определенных значениях параметра n т.е. $1 < n < 2$. В этом случае первые три производные метрической функции u равны 0, что позволяет поместить брану непосредственно на особой точке $z = z_{fp}$.

- Показано что существование особой точки обеспечивает наличие плоскосимметричных решений, зависящих от значений параметров n .

- Показано, что D -branes с коразмерностью $\text{codim} = 1$ можно получить как регулярные вакуумные решения в модифицированных теориях гравитации. Это означает, что для построения таких D -branes присутствие материи не обязательно.

Для получения всех протяженных астрофизических объектов, полученных в данной диссертации применялись модифицированные теории гравитации без использования обычной материи. Основным преимуществом этих моделей является то, что соответствующие решения являются вакуумными в отличие от полученных ранее решений, основанных на использовании материи. Преимущество модифицированных теорий гравитации над ОТО заключается в том, что они предоставляют больше свободы в поиске решения, а значит, дают возможность построить космологические модели, лишённые некоторых недостатков ОТО.