

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060500-Ядерная физика»

Мансурова Айжан

Гравитационное поле нейтронных звезд с учетом квадрупольного момента

Общая характеристика исследования

Данная работа посвящена объяснению гравитационного поля астрофизических компактных объектов, таких как белые карлики и нейтронные звезды, с использованием общей теории относительности Эйнштейна.

В работе было исследовано внутренние решения уравнений Эйнштейна в случае статического и аксиально-симметричного пространства-времени на примере идеальной жидкости.

Было предложено физическое условие, что внутреннее пространство-время может быть гладко согласовано с внешней q -метрикой, характеризуемой двумя параметрами, определяющими массу и квадрупольный момент источника. Для упрощения задачи, в данной работе, мы допустили, что внутренний аналог внешней q -метрики описывается изотропной идеальной жидкостью. Как показали вычисления, наиболее общее внутреннее решение, совместимое с внешним статическим и осесимметричным гравитационным источником, допускает наличие четырех напряжений. Таким образом, предполагается, что три из них пренебрежимо малы, так что получаем идеальную жидкость только с одним изотропным напряжением. Более того, изотропная идеальная жидкость является очень идеализированной моделью, поскольку было показано, что статические и изотропные источники идеальной жидкости должны быть сферическими, по крайней мере, в случае уравнения состояния несжимаемой жидкости. Это связано с тем, что даже небольшие анизотропии давления могут генерировать разрывы в распределении жидкости, резко удаляясь от идеализированной изотропной конфигурации. Кроме того, анализируя устойчивость условия изотропии, недавно было установлено, что реальные физические процессы, происходящие в процессе эволюции звезды, неизбежно приводят к возникновению анизотропии давления, которая не может исчезнуть в процессе динамической эволюции распределения массы. Следовательно, некоторые результаты указывают на то, что окончательная равновесная конфигурация реалистичной звездной эволюции характеризуется наличием анизотропии давления. Тем не менее, в этой работе принимается условие изотропии, чтобы упростить математическую сложность получаемых уравнений поля. Результаты показывают, что можно найти приближенные решения для идеальной жидкости с квадруполем, которые непротиворечивы с математической точки зрения в том смысле, что уравнения Эйнштейна удовлетворяются для некоторых уравнений состояния.

Актуальность исследования

Теория гравитации, предложенная Эйнштейном, широко используется для объяснения поведения гравитационного поля, поскольку ее справедливость была

экспериментально доказана в широком диапазоне макроскопических сценариев. Чтобы определить гравитационное поле, создаваемое компактными объектами, такими как белые карлики, нейтронные звезды и планеты, необходимо рассмотреть две связанные проблемы: внутреннее и внешнее гравитационные поля. Недавние исследования показали, что более высокие мультипольные моменты могут играть важную роль в точном описании гравитационного поля таких объектов, и эти усилия имеют решающее значение для улучшения нашего понимания поведения этих объектов в космосе.

Однако поиск физически значимых интерьерных решений задача не из легких. Трудности возрастают, когда мы учитываем не однородность решений. В самом деле, в то время как теорема Биркгофа гарантирует, что метрика Шварцшильда является единственным сферически-симметричным вакуумным решением уравнений Эйнштейна, существует множество сферически-симметричных внутренних решений, которые можно согласовать с метрикой Шварцшильда. В случае осевой симметрии ситуация еще сложнее. В недавних работах сравнивались несколько внешних решений с квадрупольями. Оказалось, что все они представлены разными аналитическими выражениями и характеризуются разными наборами мультипольных моментов. В этом смысле все они физически отличаются друг от друга. Поэтому можно ожидать, что будет много внутренних метрик, которые можно сопоставить с каждым из внешних решений. Одним из примеров такой ситуации является недавно предложенное внутреннее решение для q -метрики и решения, которые мы будем анализировать в этой работе.

Цель исследования

Для исследования внутренних уравнений Эйнштейна в случае статического осесимметричного источника идеальной жидкости мы исследуем внутреннее и внешнее гравитационные поля нейтронных звезд с квадрупольным импульсом.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Вычислить уравнения поля, учитывающие квадрупольный момент, для объяснения гравитационного поля компактных объектов
2. Описать гравитационного поля белых карликов и нейтронных звезд с учетом полученных уравнений поле, уравнений состояния различных типов и условий идентификации на поверхности звезд
3. Анализировать уравнения состояний, описывающее гравитационное поле белых карликов и нейтронных звезд с учетом квадрупольного момента и определить эффективное уравнение состояния

Объекты исследования:

Компактные объекты, такие как белые карлики и нейтронные звезды

Предмет исследования:

Предметом исследования являются аналитические и численные методы расчета в специальном программном обеспечении.

Основное положение для защиты

1. Решения статических внешних уравнений поле Эйнштейна, учитывающее квадрупольный момент, определяются группой 5-параметрических решений, причем в этом случае упомянутые решения

включают как асимптотические гладкие решения, так и не асимптотические гладкие решения.

2. Новые несферические решения внутренние уравнения поле Эйнштейна, учитывающее квадрупольный момент, удовлетворяет условия: распределение масс, массовые граничные, соотношение радиуса и энергии, также удовлетворяет тождества и равномерного согласованная с внешней приближенной метрикой на поверхности деформируемого объекта.

3. Уравнение состояния эффективного давления, зависящее от плотности, описывается политропным уравнением состояния и решения соответствующих уравнений поля в нейтронных звездах не имеет сингулярности.

Научная новизна

1. Получено семейство классов статических внешних решений уравнений поля Эйнштейна с учетом квадрупольного момента. Эти решения состоят из 5-параметров которые охватывают асимптотический плоские решения, а также не асимптотические плоские решения. Полученные решения описывают внешнее гравитационное поле компактных объектов.

2. Впервые получены новые несферические решения уравнений Эйнштейна, с учетом квадрупольного момента, для внутреннего гравитационного поля компактных объектов с переменной плотностью. Полученные решения удовлетворяют всем физическим условиям, а именно: внутреннее распределения массы, предельного значения массы, радиуса компактного объекта и положительной энергии. Также полученные внутренние решения удовлетворяют условию однородности согласования с внешней аппроксимированной метрикой на поверхности деформированного объекта.

3. Было найдено, что эффективное уравнение состояния давления, зависящее от плотности, можно решить через аппроксимацию политропным уравнением состояния для нейтронных звезд. Внутренние решения, соответствующие внешней метрике с сингулярным свойством, удовлетворяет энергетические условия плотности и давления. Установлено, что полученные решения могут быть использованы для описания гравитационного поля компактных объектов с учетом квадрупольного момента.

Метод исследования

Для теоретических исследований в основном использовались методы общей теории относительности, для того чтобы ограничить параметры изучаемых моделей и сценариев. Изучаемая модель было протестировано численно с использованием передовых численных методов и компьютерного моделирования. Далее полученные аналитические и численные результаты были сравнены с результатами исследований в специализированных журналов и статей по астрофизическим компактным объектам, таким как нейтронные звезды и белые карлики.

Научная и практическая значимость работы

Данная исследовательская работа относится к теоретическому исследованию. Полученные результаты могут позволить получить значение квадруполья и могут привести к важным приложениям в астрофизике,

навигационных системах и спутниковых технологиях, где ожидается, что релятивистские эффекты будут играть значительную роль.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в том, что автор принимал непосредственное участие в получении основных научных результатов. Все результаты теоретических расчетов и численного анализа моделей получены автором лично. Постановка задач и разработка идей осуществлялись совместно с научными консультантами. Все публикации по теме диссертации подготовлены при его непосредственном участии.

Надежность результатов

1. Теоретическое предположение, изложенное в данной работе, является продолжением известных научных работ в области общей теории относительности. Полученные результаты связаны с результатами работ предыдущих исследований и является их логическим продолжением.

2. Теоретические результаты, приведенные в работе, хорошо согласуются с результатами предыдущих работ других авторов.

Апробация диссертации

Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на семинарах физико-технического факультета КазНУ им. аль-Фараби, а также на следующих международных конференциях:

1. Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби алэми» (2018 г., г. Алматы, Казахстан);

2. Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби алэми» (2019 г., г. Алматы, Казахстан);

3. Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби алэми» (2020 г., г. Алматы, Казахстан);

Публикации:

По материалам диссертационной работы опубликовано 7 публикаций. Четыре работы среди этих публикаций являются статьями, одна из них имеет цитирование в базах данных Thomson Reuters (ISI Web of Knowledge, Thomson Reuters) и Scopus, три статьи в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, три доклада на местной международной конференции.

1. Abishev M. et al. Approximate perfect fluid solutions with quadrupole moment //International Journal of Modern Physics D. – 2021. – Т. 30. – №. 13. – С. 2150096. (Scopus: наивысший перцентиль 95%; перцентиль по отрасли: 70%)

2. Abishev M. E. et al. Стационарное вакуумное решение уравнений Эйнштейна //Вестник. Серия Физическая (ВКФ). – 2019. – Т. 69. – №. 2. – С. 4-9. (рекомендован КОКСОН)

3. Абишев М. Е. и др. Определения релятивистских мультипольных моментов в ньютоновской гравитации массивных объектов //Вестник Казахского национального университета. Серия физическая. – 2020. – №. 1. – С. 11-18. (рекомендован КОКСОН)

4. Mansurova A. A. et al. Согласование условий для внутреннего и внешнего пространства-времени астрофизических компактных объектов //Вестник. Серия Физическая (ВКФ). – 2019. – Т. 71. – №. 4. – С. 45-50. (рекомендован КОКСОН)

5. А. А. Мансурова, Studies of physics properties of neutron stars//International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Farabi Alemi», April 9- 12, 2018, Almaty, Kazakhstan, Book of Abstracts, ed. by A. E. Davletov (Almaty, 2018), p. 46. (Местная международная конференция)

6. Mansurova A., Alimkilova M. Description of the quadrupolar mass distribution with stationary generalized q-metric//International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Farabi Alemi», April 8- 11, 2019, Almaty, Kazakhstan, Book of Abstracts, ed. by A. E. Davletov (Almaty, 2019), p. 19. (Местная международная конференция)

7. Мансурова А. А., Бейсен Н. А., Иващиук В. Д. Исследование условий сопоставления общей теорий относительности// Международная конференция студентов и молодых ученых «Фараби элeмi», April 6- 9, 2020, Алматы, Қазақстан, Книга аннотаций под ред. Абишева М. Е. (Алматы, 2020), с. 19. (Местная международная конференция)

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Он представлен на 101 страницах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 97 ссылок.