

## **АННОТАЦИЯ**

Диссертации на соискание степени доктора философии PhD  
по специальности «6D060400 - Физика»

**УМБЕТОВА ЖАНБАЛА СУНДЕТОВНА**

### **АНИЗОТРОПНЫЕ МОДЕЛИ КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗД В МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕОРИЯХ ГРАВИТАЦИИ**

Диссертационная работа посвящена исследованию анизотропных компактных звезд во Вселенной в модифицированных теориях гравитации.

#### **Актуальность темы диссертации**

Развитие астрофизики и космологии привело к новому пониманию космоса и его загадочных компонентов. Несмотря на значительные достижения последних лет, все еще остается множество сложных проблем, которые побуждают ученых изучать различные астрофизические объекты и сопутствующие им физические явления. Самый большой источник видимого света во Вселенной возникает в результате термоядерного синтеза, происходящего в звездах. Взрывы сверхновых звезд приводят к образованию компактных звезд (КЗ). Звезда коллапсирует под тяжестью своей массы, когда внешнее давление внутри звезды больше не может сопротивляться силе гравитации. КЗ, такие как нейтронные звезды (НЗ), белые карлики, создаются в результате окончательной «гибели» звезд. КЗ, по сравнению с обычными звездами, имеют большую массу и структуру, на которую не влияют высокие температуры. За последние несколько десятилетий в научном сообществе возрос интерес к изучению КЗ. Звездная эволюция, которая изучается через изотропные, а также анизотропные давления внутри звезд со стабильной конфигурацией НЗ, описывает природу, структуру, стабильность и жизненный цикл звезды.

Анализ КЗ, обладающих сильнейшими гравитационными полями, в рамках данных теорий становится уникальной возможностью экспериментальной проверки предсказаний в условиях, недоступных для лабораторных исследований. Кроме того, учет анизотропии давления внутри КЗ, когда радиальное и тангенциальное давление существенно различаются, влияет на их теоретическое моделирование. Традиционное предположение об изотропности давления часто является упрощением, не отражающим реальные физические процессы в этих объектах. Исследование анизотропии открывает перспективы для более глубокого понимания внутренней структуры и стабильности КЗ.

Современные астрономические достижения, особенно в области детектирования гравитационных волн (ГВ), предоставляют обширные и точные данные о компактных звездах. Параллельно с гравитационно-волновыми наблюдениями, электромагнитные наблюдения, проводимые с помощью таких миссий, как зонд внутреннего строения НЗ (NICER), радиоинтерферометр

нового поколения (SKA) и космическая обсерватория для исследования экстремальных состояний материи (eXTP), позволяют проводить высокоточные измерения массы, радиуса и момента инерции НЗ. Эти измерения предоставляют независимую информацию, которую можно использовать для проверки и сопоставления предсказаний анизотропных моделей с реальными астрономическими наблюдательными данными. Высокая точность современных измерений позволяет обнаружить даже небольшие отклонения от стандартных моделей, что открывает путь к обнаружению новых физических явлений и уточнению понимания гравитации в экстремальных условиях. Эти данные служат ценным инструментом для подтверждения и уточнения теоретических моделей, включая анизотропные модели внутренней структуры КЗ в контексте модифицированных теорий гравитации (МТГ). Таким образом, исследования анизотропных свойств КЗ в МТГ могут привести к прорыву в понимании фундаментальных законов гравитации и структуры Вселенной.

Исходя из вышеизложенных современных проблем теоретической физики, диссертационная работа «**Анизотропные модели компактных звезд в модифицированных теориях гравитации**» посвящена исследованию анизотропных компактных звезд во Вселенной в модифицированных теориях гравитации.

### **Цель работы**

Исследование влияния модифицированных теорий гравитации на структуру, свойства и устойчивость компактных звездных объектов, для расширения теоретических рамок описания астрофизических явлений в условиях сильной гравитации.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Построение точного решения для анизотропных компактных звезд в общей теории относительности с учетом параметра распределения заряда.
2. Построение моделей анизотропных компактных звезд в модифицированной  $F(R)$  гравитации с анализом распределений давлений и плотности энергии.
3. Построение моделей анизотропных компактных звезд с учетом влияния кручения и электрического заряда в  $F(\tilde{T})$  гравитации.

**Объект исследования** – компактные астрофизические объекты и их поведение в условиях МТГ.

### **Предмет исследования**

Уравнения гравитационного поля, структурные конфигурации компактных объектов, анализ устойчивости моделей с помощью критерия Харрисона-Зельдовича-Новикова, анализ равновесия с помощью уравнения Толмена-Оппенгеймера-Волкоффа, физическая приемлемость моделей и основные физические характеристики.

### **Методы исследования**

В работе использованы аналитические методы, методы дифференциальной геометрии, тензорного анализа и вариационного

исчисления, включая получение точных решений уравнений поля и вывод выражений для физических характеристик компактных объектов (КО). Дальнейший анализ и визуализация графиков построены с использованием программного обеспечения Wolfram Mathematica. Все зависимости получены путем подстановки фиксированных значений параметров модели и варьирования радиальной координаты.

**Научная новизна работы** заключается в том, что впервые:

1. Получено аналитическое решение с гравитационным потенциалом  $B_0^2 = (1 + Sr^2)^2$ , в котором влияние параметра распределения заряда на основные характеристики исследовано при сохранении полной устойчивости модели, что позволяет описывать массивные компактные объекты.

2. Получено аналитическое решение уравнений гравитационного поля для анизотропных компактных звезд в теории  $F(R)$  гравитации и проведена оценка параметров модели, в сравнении их с соответствующими наблюдательными данными.

3. Получено уравнение поля для анизотропных компактных объектов в  $F(\tilde{T})$  гравитации с учетом анизотропии, параметра кручения и функцией заряда, которые позволяют более точно описывать внутреннюю структуру данных объектов.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. В модели анизотропной компактной звезды с учетом радиального электрического поля увеличение параметра распределения заряда  $E_0$  от 0 до  $4 \cdot 10^{-6} \text{ км}^{-4}$  приводит к снижению центрального давления с  $1.136 \cdot 10^{35} \text{ Па}$  до  $6.350 \cdot 10^{34} \text{ Па}$  и росту допустимой радиальной координаты от 0 до 10 км при сохранении устойчивости системы.

2. Решения полученные, в моделях модифицированной теории гравитации экспоненциального  $F(R) = R + \alpha(e^{-\beta R} - 1)$  и обобщенного степенного  $F(R) = R - (1 - \delta)\gamma^2(R/\gamma^2)^\delta$  типа при диапазонах параметров  $\alpha \in [1.112, 333.340] \text{ км}^{-2}$ ,  $\beta \in [0.003, 0.090] \text{ км}^2$ ,  $\gamma \in [0.126, 0.327] \text{ км}^{-1}$ ,  $\delta \in [0.567, 0.697]$ , удовлетворяют условиям причинности компактных объектов.

3. В теории модифицированной телепараллельной гравитации при увеличении параметра кручения  $\zeta_1$  в диапазоне 1.00-1.04 линейной функции  $F(\tilde{T}) = \zeta_1 \tilde{T} + \zeta_2$  максимальная масса компактной звезды возрастает с  $2.22 M_\odot$  до  $2.68 M_\odot$  при радиусах 9.31-10.83 км, а момент инерции достигает с  $2.22 \cdot 10^{38} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  до  $4 \cdot 10^{38} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , при этом система сохраняет устойчивое состояние, что согласуется с наблюдаемыми характеристиками нейтронных звезд.

**Теоретическая и практическая значимость работы**

Результаты, полученные в диссертационной работе, вносят вклад в расширение теоретической базы для изучения КЗ, позволяя получить более реалистичное описание внутренней структуры и физических свойств с учетом заряда и анизотропии. Они могут быть использованы для моделирования эволюции КО и оценки их роли в формировании галактик. Кроме того,

полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях в области релятивистской астрофизики и теории гравитации. Это способствует сопоставлению теоретических моделей с наблюдательными данными.

#### **Личный вклад автора**

Весь объем диссертационной работы написан автором лично с корректировками научных консультантов и рецензентов. Автором проделана основная часть работы, связанная с аналитическим и численным анализом. Часть работы связанной с численным анализом данных наблюдений была выполнена в рамках международного научного сотрудничества. Постановка задач и выбор метода проводились совместно с научными консультантами.

#### **Достоверность и обоснованность результатов**

Достоверность научных результатов подтверждается ссылками зарубежных ученых на работы, опубликованные в зарубежных журналах с высоким импакт-фактором.

#### **Публикации по теме диссертации**

По результатам диссертационной работы опубликовано 8 научных работ. Из них 6 статьи в зарубежных журналах с высоким импакт-фактором. Опубликовано 1 статья в журнале, входящих в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК, и 1 работа на международной конференции.

#### **Статьи в рецензируемых научных журналах с ненулевым импакт – фактором, входящих в базы Scopus и Web of Science:**

1 Maurya S. K., Errehymy A., Singh K. N., Jasim M. K., Myrzakulov K., & **Umbetova Z.** Modeling self-bound binary compact object with a slow rotation effect and effect of electric field gradient on the mass-radius limit and moment of inertia // Journal of High Energy Astrophysics. – 2024. – Vol. 44. – P. 45-59.

2 Kumar J., Maurya S. K., Chaudhary S., Errehymy A., Myrzakulov K., & **Umbetova Z.** Physically viable and stable charged perfect fluid solution within  $F(Q)$  gravity // Physics of the Dark Universe. – 2024. – Vol. 46. – P. 101593.

3 Maurya S. K., Errehymy A., Daoud M., Myrzakulov K., & **Umbetova Z.** Effect of torsion and electric charge parameters on the configuration of anisotropic compact stars in  $f(T)$  gravity // Physics of the Dark Universe. – 2024. - Vol. 46. - P. 101586.

4 Kumar R., Maurya S. K., Errehymy A., Myrzakulov K., **Umbetova Z.**, & Pathak V. N. Anisotropic model of stellar objects in modified  $f(R)$  gravity // Chinese Journal of Physics. – 2024. – Vol. 92. – P. 1-22.

5 Kumar J., Maurya S. K., Kiroriwal S., Errehymy A., Myrzakulov K., & **Umbetova Z.** Dynamics of relativistic wormholes in the presence of dark matter density profile within  $f(Q, T)$  gravity // Physics of the Dark Universe. – 2024. – Vol. 46. – P. 101636.

6 Maurya S. K., Errehymy A., **Umbetova Z.**, Myrzakulov K., Ibragimov I., Dauletov A., & Rayimbaev J. Implication of  $f(Q, T)$  gravity on the formation of the charge compact stars and constraining their mass-radius relations in lower mass gap region // Journal of High Energy Astrophysics. – 2025. – Vol. 47. - P. 100391.

## **Статьи в изданиях, рекомендуемых КОКСНВО МНВО РК**

1 Умбетова Ж.С., Абдижалилова У.У.  $f(\tau)$ -телепараллель гравитациясындағы анизотропты компактты жұлдыздардың эволюциясының динамикасы // Научный журнал «Доклады НАН РК» - 2025 – Т. 354, № 2. – С. 105–120.

## **Тезисы и статьи к докладам на Международных и Республиканских конференциях**

1 Абдижалилова У.У., Умбетова Ж.С. Сфералық-симметриялық анизотропты жұлдыз үшін телепараллель гравитациясындағы  $f(\tau)$  ширату скалярын анықтау // XXI Международная научно-практическая конференция «Молодежь, наука и инновации» – Актобе: Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, 2025 - С. 406-409.

### **Апробация работы.**

Научные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующей конференции:

– на XXI Международной научно-практической конференции «Молодежь, наука и инновации» Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, 14 апреля 2025 г.;

– на научных семинарах кафедры общей и теоретической физики ЕНУ им. Л.Н. Гумилева.

### **Связь темы диссертации с планами научной работы**

Диссертационная работа выполнена в рамках проектов: по грантовому финансированию по научному и (или) научно-техническому проекту 2024-2026 гг. ИРН: AP23487178 "Исследование некоторых проблем современной космологии в модифицированных теориях гравитации с применением методов Байесовского машинного обучения"; по грантовому финансированию молодых ученых «Жас ғалым» 2025-2027 гг. ИРН: AP25794707 «Исследование анизотропных компактных звезд в рамках теории гравитации».

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 106 страницах, содержащих 41 рисунок, 160 формул, 9 таблиц. Список использованных источников содержит 163 наименований.