# АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060400 – Физика»

**ЖӘМИ БАҚЫТЖАН АСҚАРБЕКҰЛЫ**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ВРАЩАЮЩИХСЯ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Диссертация посвящена теоретическому исследованию свойств устойчивых белых карликов (БК) с основным акцентом на эффекты общей теории относительности (ОТО), конечных температур, ядерного состава и вращения.

**Актуальность темы.**

Белый карлик или вырожденный карлик является одним из классов компактных объектов, которые являются конечными продуктами звёздной эволюции. В целом, существует три основных класса компактных объектов: БК, нейтронные звёзды (НЗ) и чёрные дыры (ЧД). Эти объекты называют компактными объектами из-за своих больших масс и малых размеров и, соответственно, высоких плотностей. БК является конечной стадией в эволюции звёзд главной последовательности с массами от $0.07\,M_\odot$ до $8\,M_\odot$ (даже до $12\,M_\odot$, согласно некоторым исследованиям). Этот диапазон охватывает подавляющее большинство обычных звёзд (главной последовательности), образованных в нашей галактике (Млечный путь), включая наше Солнце, и поэтому БК будут представлять наиболее распространённые конечные продукты звёздной эволюции. Нижний предел массы звезды главной последовательности связан с невозможностью протекания реакции термоядерного синтеза гелия. Если масса звезды главной последовательности больше верхнего предела, она станет НЗ, а не БК. Считается, что более 97% обычных звёзд в нашей галактике, в конце эволюционного цикла, превратятся в БК.

БК важны для понимания расширения Вселенной в космологии с точки зрения взрывов сверхновых типа Ia, поскольку они могут предоставить независимую информацию о возрасте нашей галактики, а их распределение содержит информацию об истории звездообразования и последующей эволюции. Кроме того, сверхновые типа Ia используются в качестве стандартных свечей в астрономии для оценки расстояний до удалённых

галактик и изучения природы тёмной энергии. Поскольку прародители белых карликов теряют углерод, азот и кислород на стадии звезды главной последовательности, они вносят значительный вклад в химическую эволюцию нашей галактики и, возможно, являются важным источником химических соединений, поддерживающих жизнь. Таким образом, все эти факты полностью оправдывают **актуальность** данной докторской диссертации. Поэтому важно изучить формирование, физические свойства, устойчивость и эволюцию БК и построить для них реалистичную модель.

**Целью диссертационной работы** является исследование свойств равновесных конфигураций белых карликов с основным акцентом на эффекты общей теории относительности, конечных температур, ядерного состава и вращения.

**Задачи исследования.** Для достижения цели диссертации были поставлены следующие задачи:

– изучить как внутренние, так и внешние метрики уравнений поля Эйнштейна для описания гравитационного поля белых карликов в общей теории относительности (ОТО);

– изучить эффекты ОТО, конечных температур и ядерного состава на структуру невращающихся белых карликов;

– изучить влияние вращения на структуру белых карликов как в ньютоновской гравитации, так и в общей теории относительности;

– изучить зависимость соотношений I-Love-Q и I-Love-e в случае вращающихся белых карликов с различными уравнениями состояния.

**Объект исследования.**

Равновесные конфигурации холодных и горячих, статических и вращающихся, классических и релятивистских белых карликов.

**Предмет исследования.**

Основные параметры устойчивых, холодных и горячих, статических и вращающихся белых карликов, такие как масса, радиус, центральное давление и т. д.

**Методы исследования.**

Используются методы тензорного анализа и общей теории относительности, численные методы для интегрирования дифференциальных уравнений, метод теории возмущений и формализм Хартла.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая и физическая эквивалентность приближённых стационарных аксиально-симметричных решений Хартла-Торна и Седракяна-Чубаряна уравнений поля Эйнштейна (с точностью до второго порядка по угловой скорости), описывающие гравитационные поля астрофизических компактных объектов, в том числе белых карликов, в предельном случае медленного вращения и малой деформации.

2. Эффекты общей теории относительности становятся существенными в соотношении масса-радиус для белых карликов с массами, близкими к пределу Чандрасекара; тепловые эффекты наиболее ярко выражены для масс белых карликов ниже предела Чандрасекара, в то время как вращение и ядерный состав важны во всех диапазонах значений масс белых карликов.

3. Температуры ядра спутников-белых карликов в двойных системах миллисекундных пульсаров PSR J1738+0333, PSR J1012+5307 и PSR J1911-5958A, по оценкам, находятся в диапазоне $(1.55\text{-}6.5)\times10^7$ K, $(1.4\text{-}2.4)\times10^7$ K и $(0.4\text{-}9.5)\times10^7$ K, соответственно.

4. Соотношения I-Love-Q (момент инерции, вращательное число Лява и квадрупольный момент) и I-Q-e (момент инерции, квадрупольный момент и эксцентриситет) являются универсальными и независимыми от уравнений состояния (уравнения состояния Чандрасекара и Салпитера) белых карликов.

**Новизна работы.** В рамках данной диссертации впервые были получены следующие результаты:

– Набор алгебраических выражений, связывающих полную массу, момента импульса и массового квадрупольного момента решения Хартла-Торна с константами интегрирования решения Седракяна-Чубаряна. Альтернативно, соответствующие мультипольные моменты обоих решений были рассчитаны, и было показано, что они идентичны. Математическая и физическая эквивалентность двух метрик также была доказана.

– Рассчитаны соотношения массы-радиуса белых карликов с учетом эффектов общей теории относительности, конечных температур, ядерного состава и вращения.

– Значения температур для ядра спутников-белых карликов в двойных системах миллисекундных пульсаров PSR J1738+0333, PSR J1012+5307 и PSR J1911-5958A были оценены с помощью графического метода.

– Было показано, что соотношения I-Love-Q и I-Love-e для белых карликов являются универсальными и независимыми от уравнений состояния Чандрасекара и Салпитера.

**Научная и практическая ценность диссертации.** Полученные результаты могут быть непосредственно использованы для объяснения наблюдательных данных в анализе и в исследованиях проблем астрономии, релятивистской астрофизики, физики белых карликов и космологии.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов**. В диссертации использованы известные физические модели, математические методы, одобренные и общепринятые в научном сообществе. Результаты, полученные в диссертации, хорошо согласуются с данными литературы и наблюдательными данными. Кроме того, достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждаются публикациями в журналах с высокими импакт-факторами, индексируемых в Scopus и Web of Science, а также в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан и в материалах отечественных и зарубежных международных научных конференций.

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие в постановке исследовательской задачи вместе с научными консультантами, в проведении всех аналитических и численных расчетов, проводя сравнения и анализы результатов, делая заключения, представляя полученные результаты на международных конференциях, подготавливая результаты работы для публикаций.

**Публикации.** По материалам, представленным в диссертации, всего было опубликовано 30 работ. Из них 6 статей были опубликованы в международных журналах и материалах конференций, индексируемых в Scopus (Elsevier, Нидерланды) и Web of Science (Clarivate Analytics, США). Также 7 статей были опубликованы в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан. Также 1 статья была опубликована в научном журнале Республики Казахстан. Тезисы и статьи в количестве 16 работ были опубликованы в материалах местных и зарубежных международных научных конференций.

**Апробация диссертационной работы.** Результаты работы были представлены и обсуждены на следующих зарубежных и местных международных конференциях:

– XII-th International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology, Dedicated to the centenary of Einstein's General Relativity theory (Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia, June 28-July 5, 2015);

– The Fourteenth Marcel Grossmann Meeting on Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics, and Relativistic Field Theories (Sapienza University of Rome, Rome, Italy, July 12-18, 2015);

– V международная научная конференция «Физика и физическое образование: Достижения и перспективы развития» (Кыргызский Национальный Университет, Бишкек, Кыргызская Республика, 21 сентября, 2015 г.);

– 9-th Alexander Friedmann International Seminar on Gravitation and Cosmology and 3-rd Satellite Symposium on the Casimir Effect (Saint Petersburg, Russia, June 21-27, 2015);

– 9-ая Международная научная конференция «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование» (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 12-14 октября, 2016 г.);

– Supernovae, Hypernovae and Binary Driven Hypernovae, An Adriatic Workshop (International Center for Relativistic Astrophysics Network, Pescara, Italy, June 20-30, 2016);

– Phenomenology of Strong Gravity Workshop (Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan, September 14-16, 2016);

– 5-th International conference on Cosmology, Relativistic and Nuclear Astrophysics (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, October 31-November 4, 2017);

– Международная научная конференция Абдильдинские чтения: Актуальные проблемы современной физики посвященной 80-летию академика Абдильдина М.М. (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 12-15 апреля, 2018 г.);

– Международная научная конференция студентов и молодых ученных «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 13-16 апреля, 2015; 14-16 апреля, 2016 г.; 10-13 апреля, 2017 г.; 10-13 апреля, 2018 г.; 8-11 апреля, 2019 г.);

– The 6-th International Workshop «Nuclear Physics, Nuclear Astrophysics and Cosmic Rays» (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, April 16-18, 2019).

**Связь темы диссертации с планами научных работ.** Диссертационная работа выполнена в рамках планов следующих научно-

исследовательских проектов Министерства образования и науки Республики Казахстан:

1) «Исследование белых карликов с учетом температуры и вращения в общей теории относительности» (2015-2017, 3101/ГФ4, № госрегистрации: 0115RK01047);

2) «Исследования по вращающимся и деформированным объектам в общей теории относительности и релятивистской астрофизике» (2013-2015, 1597/ГФ3, № госрегистрации: 0113РК00369).

**Объем и структура диссертации**. Диссертация состоит из титульного листа, содержания, списка сокращений, введения, пяти разделов, заключения и списка литературы с 161 источником. Она содержит 7 таблиц и 65 рисунков. Общий объём диссертации составляет 135 страниц.