АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности — 6D061100 «Физика и астрономия»

ҮСІПОВ НҰРЖАН МҰСАЙЫПҰЛЫ

МАСШТАБНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА КОСМИЧЕСКОМ СТОХАСТИЧЕСКОМ ФОНЕ

Общая характеристика работы

Работа посвящена исследованию масштабной инвариантности самоподобных сигналов гравитационных волн, а также разработке и применению методов их обнаружения и классификации. В диссертации анализируется гравитационные волны в условиях космического стохастического фона, что требует использования новых теоретических подходов и эффективных инструментов обработки данных. В рамках исследования изучаются как теоретические аспекты слабых гравитационных волн, так и численные методы их регистрации, включая информационно-энтропийные подходы и алгоритмы машинного обучения.

В первой главе описывается современное состояние исследований природы гравитационных волн, обоснование их существования из общей теории относительности, а также обсуждаются их источники и методы регистрации. Приведены краткие сведения теоретическим основам гравитационно-волновой астрономии и проблемам регистрации сигналов на фоне космического шума лазерно-интерференционными методами.

Вторая глава посвящена исследованию масштабно-инвариантного характера слабых гравитационных волн вдали от источника. В известном уравнении волновое число определяется через точки лагранжа где модуль масштабного фактора расширения Вселенной принимается равным. Фазовое пространство полученного решения имеет показатель скейлинга односторонней эволюции (расширения), соответствующего ZhF (Жанабаев фракталу) и каталогам наблюдений.

Третья глава акцентирует внимание на применении условной информации разности энтропии фазового пространства и условной энтропии, предложенного Жанабаевым З.Ж., для анализа данных LIGO. Использованный метод позволяет обнаруживать сигналы гравитационных волн без использования модельных шаблонов, что особенно важно для анализа волн, возникающих на фоне космического шума.

Четвертая глава рассматривает вопросы классификации гравитационных волн, поступающих от различных источников, таких как слияния черных дыр и нейтронных звезд, с использованием условной информации разности энтропий. Описаны подходы к обучению нейронных

сетей на данных коллаборации LIGO для повышения точности обнаружения и классификации волн.

В заключении подчеркивается важность развития методов нелинейной физики, вероятностных методов изучения гравитационных волн и обнаружения их на фоне космического шума, что открывает новые возможности для исследований в области космологии и астрофизики.

Актуальность темы исследования

Исследование гравитационных волн и их взаимодействие с космическим стохастическим фоном является одной из ключевых задач современной астрофизики и космологии. С момента первого прямого обнаружения гравитационных волн в 2015 году наблюдения этих волн открыли новое окно в изучении Вселенной. Гравитационные волны предоставляют информацию о таких экстремальных астрофизических процессах, как слияния черных дыр и нейтронных звезд, которые недоступны для наблюдений традиционными методами.

Однако, одной из главных проблем является сложность выделения слабых сигналов гравитационных волн на фоне шума, возникающего от различных космических и земных источников. В этих условиях особенно важным становится развитие новых методов анализа, таких как информационно-энтропийные методы, позволяющие улучшить точность обнаружения сигналов, а также изучение нелинейных вероятностных характеристик гравитационных волн, что помогает описать их поведение в условиях шумового фона.

Актуальность данной работы определяется необходимостью дальнейшего развития методов обнаружения и классификации гравитационных волн, а также углубленным теоретическим анализом их природы и взаимодействия с космическим фоном. Эти исследования важны для решения фундаментальных вопросов о структуре и эволюции Вселенной, а также для понимания роли гравитационных волн в космологических процессах.

Целью работы является исследование масштабной инвариантности гравитационных волн на космическом стохастическом фоне, а также разработка и внедрение новых методов их обнаружения и классификации.

Задачи исследования:

1 анализ сигналов уравнений гравитационных волн с учетом их фрактальной природы и их связи с параметром Хаббла;

2 применение нового метода условной информации разности энтропий для количественного обнаружения гравитационных волн в условиях хаотического и стохастического шума без использования модельных шаблонов;

3 применение методов условной информации, самоподобных значений информации и машинного обучения для классификации гравитационных волн по их источникам;

Объект исследования: Гравитационные волны, вызванные слиянием двойных массивных компактных объектов, таких как черные дыры или нейтронные звезды.

Методы исследования:

1 Исследование уравнений слабых гравитационных волн на основе общей теории относительности, определение фрактальной размерности аттрактора и его сопоставление с данными каталогов галактик.

2 Создание алгоритмов с применением информационно-энтропийного подхода для обнаружения гравитационных волн без необходимости использования модельных шаблонов сигналов, что позволяет повысить эффективность обнаружения волн.

3 Применение алгоритмов машинного обучения, таких как нейронные сети, для классификации гравитационных волн по источникам (слияние черных дыр, нейтронных звезд и систем черная дыра – нейтронная звезда).

Основные положения, выносимые на защиту

1. Аттрактор слабых гравитационных волн имеет дробную часть фрактальной размерности 0.465 и имеет связь с параметром Хаббла, что позволяет выявить масштабно-инвариантные свойства гравитационно-волновых сигналов.

2. Новый метод обнаружения гравитационных волн на основе условной информации разности энтропии фазового пространства и условной энтропии позволяет регистрировать гравитационно-волновые сигналы при низком уровне отношения сигнал/шум (SNR).

3. Классификация источников гравитационных волн от двойных слияний черных дыр и нейтронных звезд с использованием условной информации разности энтропий и теоретических значений их самоподобия (критериев Жанабаева З.Ж.) обеспечивает точную идентификацию их сигналов при низком уровне SNR.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

1 Впервые предложена фрактальная модель для описания масштабной инвариантности гравитационных волн, которая позволяет объяснить процессы расширения Вселенной без привлечения концепций темной энергии.

2 Разработаны алгоритмы метода условной информации разности энтропий – нового информационно-энтропийного метода обнаружения гравитационных волн, который не требует использования модельных шаблонов сигналов.

3 Применены методы машинного обучения для классификации гравитационных волн на основе условной информации разности энтропий.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке фрактальной модели, описывающей масштабную инвариантность гравитационных волн и расширение Вселенной без привлечения концепции темной энергии, что расширяет понимание структуры Вселенной и волновой природы гравитационных волн. Практическая значимость работы состоит в создании информационно-энтропийного метода для обнаружения

гравитационных волн, который повышает точность регистрации сигналов, а также в применении методов машинного обучения для их классификации, что способствует автоматизации обработки данных и дальнейшему развитию гравитационно-волновой астрономии.

Личный вклад автора

Результаты анализа были получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Достоверность результатов

Расчеты основаны на уравнениях общей теории относительности и фрактальной теории, что придает теоретическую строгость моделям расширения Вселенной и гравитационных волн. Применение информационно-энтропийного метода для обнаружения гравитационных волн было протестировано на реальных и синтетических данных коллаборации LIGO, что подтверждает его эффективность и корректность. Численные эксперименты и моделирование проводились с использованием современных программных средств, таких как PyCBC, что обеспечивает точность и воспроизводимость результатов. Применение методов машинного обучения для классификации гравитационных волн также подтверждено анализом данных, что свидетельствует о надежности предложенных подходов.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі» (2021 Алматы, Казахстан);

На основе полученных результатов опубликованы 8 печатных работ.

Статьи с высоким импакт-фактором в базе данных Thomson Reuters или в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:

Ussipov N., Zhanabaev Z., Almat A., Zaidyn M., Turlykozhayeva D., Akniyazova A., & Namazbayev T. (2024). Classification of Gravitational Waves from Black Hole-Neutron Star Mergers with Machine Learning. Journal of Astronomy and Space Sciences, 41(3), 149–158.

Статьи в изданиях, рекомендуемых КОКСНВО РК:

Ussipov N., Akhmetali A., Zaidyn M., Akniyazova A., Sakan A., Kalambay M., & Shukirgaliyev B. (2024). Fractal Dimension of Star Clusters. Eurasian Physical Technical Journal, 21(3).

Усипов Н., Ахметали А., Зайдын М., Акниязова А., Акнур С., & Субебекова Г. (2024). Entropy of Gravitational Waves. Доклады НАН РК, (3), 47–56.

Жанабаев З. Ж., & Усипов Н. М. (2023). Information-Entropy Method for Detecting Gravitational Wave Signals. Eurasian Physical Technical Journal, 20(2 (44)), 79–86.

Жанабаев З. Ж., Усипов Н. М., Хохлов С. А. Scale-invariant and wave nature of the Hubble parameter //Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Т. 18. – №. 2 (36). – С. 81-89.

Жанабаев З. Ж., & Усипов Н. М. (2019). Scale-Invariance of Many Galaxies. Вестник Казахского национального университета. Серия физическая, (2), 27–32.

Публикации в сборниках тезисов докладов:

Ахметали А., Үсіпов Н. М. Информациялық-энтропия әдісімен гравитациялық толқын көздерінің классификациясы. Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы, 2024.

Акниязова А. Ж., Жәңгірбай Д. М., Үсіпов Н. М. Галактикалардың корреляциялық өлшемділіктерін анықтау. Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы, 2019.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами прикладных научно-исследовательских работ КН МОН РК «Грантовое финансирование научных исследовании» по теме: «**AP14872061 -** Классификация типов модуляций шумовой смеси MIMO сигналов».

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 108 страницах машинописного текста, иллюстрируется 24 рисунками, приведены 193 формул, 3 таблиц, список использованных источников содержит 108 наименований.