ОТЗЫВ
официального рецензента на диссертационную работу
Үсіпова Нұржана Мұсайыпұлы на тему «Масштабная инвариантность гравитационных волн на космическом стохастическом фоне», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D061100 – Физика и астрономия»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:	Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям приоритетному направлению развития науки «10. Научные исследования в области естественных наук», «10.2 Фундаментальные и прикладные исследования в области физики и астрономии, естественные науки и фундаментальное исследование». Диссертация выполнена в рамках проекта по ГФ КН МНВО РК «AP14872061 – Классификация типов модуляций шумовой смеси MIMO сигналов».
		1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);	
		2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы);	
		3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Исследование вносит значительный вклад в понимание фундаментальных свойств гравитационных волн, выявляя их масштабно-инвариантные характеристики через анализ аттрактора, обладающего

			фрактальной размерностью 0.465 и связанного с параметром Хаббла. Это открытие расширяет представление о динамике гравитационных возмущений и их роли в эволюции Вселенной. Кроме того, работа развивает новые методы обнаружения и классификации гравитационных волн, основанные на условной информации, предложенной З.Ж. Жанабаевым. Данный подход позволяет надежно детектировать гравитационные волны при SNR > 8 и достигать точности 94% (по последним данным 86%) при классификации источников (слияний черных дыр и нейтронных звезд) в диапазоне 0 < SNR < 30. Таким образом, результаты исследования способствуют улучшению методов гравитационно-волновой астрономии, повышая точность анализа сигналов на фоне космического шума. Это имеет важное значение для дальнейшего изучения природы гравитационных волн, тестирования общей теории относительности и понимания процессов, происходящих в

			компактных астрофизических объектах.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Принцип самостоятельности в исследовании проявляется в проведённом теоретическом анализе масштабной инвариантности и фрактальной природы гравитационных волн, а также в разработке новых подходов к описанию параметра Хаббла. Автор выполнил обзор современных методов обнаружения и классификации гравитационных волн, а также разработал оригинальные алгоритмы их обнаружения, не зависящие от заранее заданных шаблонов сигналов. В работе применён информационно-энтропийный подход, основанный на разности энтропий, предложенный отечественным научным руководителем З.Ж. Жанабаевым, но при этом автор самостоятельно адаптировал его к задаче классификации гравитационных волн. Также было проведено численное моделирование гравитационных волн и реализованы методы машинного обучения для анализа

			и классификации сигналов на основе данных LIGO. Все эти аспекты демонстрируют высокий уровень самостоятельности исследования, охватывая как теоретический анализ, так и разработку и применение новых методов обработки данных. Актуальность исследования в представленной работе раскрыта на высоком уровне. Автор чётко обозначает значимость изучения гравитационных волн, подчеркивая их фундаментальную роль в современной астрофизике и космологии. Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью совершенствования методов обнаружения и классификации гравитационных волн, что имеет фундаментальное значение для современной астрофизики и космологии. С момента первого их обнаружения в 2015 году гравитационные волны стали ключевым инструментом изучения экстремальных астрофизических процессов, таких как слияния черных дыр и

			нейтронных звезд. Однако одной из главных проблем остается сложность выделения слабых сигналов на фоне космического и инструментального шума. В данной работе автор рассматривает масштабную инвариантность гравитационных волн, устанавливает ее связь с параметром Хаббла и предлагает информационно-энтропийные методы анализа, позволяющие повысить точность их обнаружения. Это открывает новые возможности для изучения гравитационных волн и их взаимодействия с космическим фоном, что важно для понимания структуры и эволюции Вселенной.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>обоснована;</u> 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность исследования в представленной работе раскрыта на высоком уровне. Автор чётко обозначает значимость изучения гравитационных волн, подчеркивая их фундаментальную роль в современной астрофизике и космологии. Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью

			совершенствования методов обнаружения и классификации гравитационных волн, что имеет фундаментальное значение для современной астрофизики и космологии. С момента первого их обнаружения в 2015 году гравитационные волны стали ключевым инструментом изучения экстремальных астрофизических процессов, таких как слияния черных дыр и нейтронных звезд. Однако одной из главных проблем остается сложность выделения слабых сигналов на фоне космического и инструментального шума. В данной работе автор рассматривает масштабную инвариантность гравитационных волн, устанавливает ее связь с параметром Хаббла и предлагает информационно-энтропийные методы анализа, позволяющие повысить точность их обнаружения. Это открывает новые возможности для изучения гравитационных волн и их взаимодействия с космическим фоном, что важно для понимания структуры и эволюции Вселенной.

		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:	Содержание работы полностью отражает тему диссертации. Тема диссертации: «Масштабная инвариантность гравитационных волн на космическом стохастическом фоне». В исследовании проведён анализ масштабной инвариантности слабых гравитационных волн, а также разработаны методы их обнаружения и классификации на основе информационно-энтропийного подхода и алгоритмов машинного обучения. Приведенные утверждения отражены в положениях диссертации.
		1) отражает;	
		2) частично отражает;	
		3) не отражает.	
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цель и задачи исследования полностью соответствуют теме диссертации, так как направлены на изучение масштабной инвариантности гравитационных волн, что имеет фундаментальное значение для понимания их природы и роли в космологических процессах. Автор последовательно исследует аттрактор слабых гравитационных волн, устанавливая его связь с параметром Хаббла, а также разрабатывает инновационные методы обнаружения и
		1) соответствуют;	
		2) частично соответствуют;	
		3) не соответствуют.	

			классификации гравитационных волн на основе информационно-энтропийного подхода. Эти задачи логично вытекают из поставленной цели и охватывают ключевые аспекты исследования, обеспечивая его научную обоснованность и актуальность.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Работа организована в логическую последовательность, начиная с теоретических предпосылок и гипотез (теорий), и заканчивая анализом данных, выводами и интерпретацией. Первая глава содержит обзор современных исследований гравитационных волн, их теоретического обоснования, источников и методов регистрации, включая лазерно-интерференционные технологии. Вторая глава посвящена изучению масштабно-инвариантного характера слабых гравитационных волн, описывая влияние расширения Вселенной на их параметры и связь с ZhF фракталом предложенный Жанабаевым З.Ж. Третья глава рассматривает применение условной информации разности энтропий для анализа данных LIGO, позволяя выявлять
		1) полностью взаимосвязаны;	
		2) взаимосвязь частичная;	
		3) взаимосвязь отсутствует.	

			гравитационные волны без использования модельных шаблонов. Четвертая глава затрагивает вопросы классификации гравитационных волн от астрофизических источников с использованием нейросетевых подходов, основанных на энтропийных характеристиках. В заключении подчеркивается значимость дальнейшего развития методов нелинейной физики и вероятностного анализа для улучшения обнаружения и классификации гравитационных волн в условиях космического шума.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	Предложенные автором новые решения, включая метод обнаружения гравитационных волн на основе условной информации разности энтропий и метод их классификации, аргументированы теоретически и подтверждены численным моделированием. Они сопоставлены с существующими методами, такими как корреляционный анализ и шаблонное распознавание сигналов, и показали преимущество в точности
		1) критический анализ есть;	
		2) анализ частичный;	
		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	
		4) анализ отсутствует.	

			обнаружения и классификации гравитационных волн при низком отношении сигнал/шум. Разработанные методы обеспечивают более надежное выделение сигналов на фоне космического шума, что делает их перспективными для дальнейшего использования в гравитационно-волновой астрономии.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Представленные научные результаты и положения являются новыми. Выявление фрактальной размерности аттрактора слабых гравитационных волн с дробной частью 0.465, связанной с параметром Хаббла, подтверждает масштабно-инвариантные свойства гравитационных волн и открывает новые возможности для изучения их связи с космологическими процессами. Разработанный метод обнаружения гравитационных волн, основанный на анализе условной информации разности энтропий фазового пространства и условной энтропии, демонстрирует высокую эффективность, позволяя
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			регистрировать сигналы даже при отношении сигнал/шум SNR > 8, что вполне удовлетворительно для практических целей при SNR>10. Предложенная классификация источников гравитационных волн, таких как слияния двойных черных дыр, нейтронных звезд и черных дыр с нейтронными звездами, основанная на условной информации разности энтропий, обеспечивает высокую точность в диапазоне 0 < SNR < 30.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	Выводы диссертации являются новыми, так как они основаны на оригинальных теоретических и методологических разработках, которые ранее не применялись в данном контексте. Впервые выявлена масштабная инвариантность аттрактора слабых гравитационных волн. Разработан новый метод обнаружения гравитационных волн, основанный на анализе условной информации разности энтропий фазового пространства и условной энтропии, который позволяет регистрировать слабые гравитационные сигналы. Кроме того, предложена новая
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			классификация источников гравитационных волн с использованием условной информации разности энтропий.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	Технические, технологические, экономические или управленческие решения в данной работе являются полностью новыми, и обоснованы через достижение цели работы.
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	Для решения поставленных задач автором работы была использована уникальная методика, включающая в себя комплекс различных и зарекомендовавших себя методов. Основные выводы диссертации обоснованы теоретическим анализом, численным моделированием и сравнением с наблюдательными данными. Фрактальная структура аттрактора слабых гравитационных волн с дробной размерностью 0.465 имеет связь с параметром Хаббла, что подтверждает ее масштабно-инвариантные свойства. Данное значение также согласуется с Критериями самоподобия Жанабаева, что дополнительно

			подтверждает его физическую обоснованность. Новый метод обнаружения гравитационных волн, основанный на условной информации разности энтропий, продемонстрировал высокую чувствительность при SNR > 8. Предложенная классификация источников гравитационных волн обеспечила точность до 94% в диапазоне 0 < SNR < 30. Эти результаты подтверждают достоверность и научную значимость выводов.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы диссертации обоснованы теоретическим анализом, численным моделированием и сравнением с наблюдательными данными. Фрактальная структура аттрактора слабых гравитационных волн с дробной размерностью 0.465 имеет связь с параметром Хаббла, что подтверждает ее масштабно-инвариантные свойства. Данное значение также согласуется с Критериями самоподобия Жанабаева, что дополнительно подтверждает его физическую обоснованность. Новый метод обнаружения гравитационных волн, основанный на условной

			информации разности энтропий, продемонстрировал высокую чувствительность при SNR > 8. Предложенная классификация источников гравитационных волн обеспечила точность до 94% в диапазоне 0 < SNR < 30. Эти результаты подтверждают достоверность и научную значимость выводов.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:	На защиту выносятся следующие положения: 1. Аттрактор слабых гравитационных волн имеет дробную часть фрактальной размерности 0.465 и связан с параметром Хаббла, что позволяет выявить масштабно-инвариантные свойства гравитационных волн. 7.1 доказано 7.2 нет 7.3 да 7.4 средний 7.5 да 2. Условная информация, основанная на разности энтропии фазового пространства и условной энтропии, позволяет обнаруживать гравитационные волны при отношении сигнал/шум SNR > 8. 7.1 доказано
		7.1 Доказано ли положение?	
		1) доказано;	
		2) скорее доказано;	
		3) скорее не доказано;	
		4) не доказано;	
		5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.	
		7.2 Является ли тривиальным?	
		1) да;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	
		7.3 Является ли новым?	
		1) да;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	
		7.4 Уровень для применения:	
		1) узкий;	

		2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	7.2 нет 7.3 да 7.4 широкий 7.5 да 3. Условная информация разности энтропий обеспечивает точность классификации 94% источников гравитационных волн от двойных слияний черных дыр и нейтронных звезд в пределах отношении сигнал/шум 0<SNR<30. 7.1 доказано 7.2 нет 7.3 да 7.4 широкий 7.5 да
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием проверенных теоретических методов, численного моделирования и сравнением с данными наблюдений. В работе опираются на фундаментальные уравнения общей теории относительности, анализируется масштабно-инвариантная структура гравитационных волн и их связь с параметром Хаббла. Метод обнаружения гравитационных волн, основанный на условной информации разности энтропий,
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) да;	
		2) нет.	

			подтвержден вычислительными экспериментами и согласуется с характеристиками сигналов детекторов LIGO. Источники данных включают рецензируемые научные публикации и наблюдательные результаты, что подтверждает достоверность представленной информации. В диссертационной работе соискатель использовал современные и новейшие методы научного исследования, обработки данных (РуCBC) и их анализа, а также компьютерное моделирование для симуляции гравитационных волн, классификации сигналов и применения нейросетевых технологий.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	В диссертационной работе соискатель использовал современные и новейшие методы научного исследования, обработки данных (РуCBC) и их анализа, а также компьютерное моделирование для симуляции гравитационных волн, классификации сигналов и применения нейросетевых технологий.
		1) да;	
		2) нет.	

		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):	Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены численным моделированием и анализом данных. В частности, показано, что масштабная инвариантность гравитационных волн имеет связь с параметром Хаббла, что согласуется с наблюдательными данными. Разработанные методы классификации и обнаружения гравитационных волн были протестированы на данных LIGO, что подтвердило их эффективность и соответствие реальным физическим процессам.
		1) да;	
		2) нет.	
		8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения полностью подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу в рецензируемых научных изданиях и авторитетные источники информации (базы данных и каталогов).
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы достаточны для литературного обзора. В числе работ также присутствует несколько обзорных статей по исследуемой тематике последних лет.

9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	На основании результатов научной работы можно сделать вывод о высоком теоретическом значении в представлении о масштабной инвариантности гравитационных волн, их детектировании на фоне космического шума и применении информационно-энтропийных методов для анализа гравитационно-волновых данных.
		1) да;	
		2) нет.	
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Работа имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике. Результаты диссертационной работы могут быть использованы для анализа свойств гравитационных волн, идентификации их источников и определения астрофизических характеристик компактных объектов.
		1) да;	
		2) нет.	
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложенные в диссертации практические решения являются новыми. Используемые методы моделирования и комплексного анализа необходимы для изучения свойств
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			гравитационных волн и идентификации их источников.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Работа Усіпова Н.М. написана достаточно хорошо, доступным академическим языком. Текст излагается последовательно и самосогласованно.
11.	Замечания к диссертации	Нет никаких замечаний к работе соискателя	
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	1) Первая публикация – «Classification of Gravitational Waves from Black Hole-Neutron Star Mergers with Machine Learning»– представляет собой исследование, посвященное классификации гравитационных волн, возникающих при слиянии черной дыры и нейтронной звезды, с использованием методов машинного обучения. Работа опубликована в журнале с высоким импакт-фактором и соответствует теме исследования соискателя. 2) Вторая публикация – «Fractal Dimension of Star Clusters» – посвящена исследованию фрактальной размерности звездных скоплений и анализу их структуры с применением современных вычислительных методов. Исследование имеет высокий научный уровень и соответствует тематике диссертации докторанта. 3) Третья публикация – «Entropy of Gravitational Waves» – рассматривает энтропийные характеристики гравитационных волн и их применение для анализа гравитационно-волновых данных. Работа соответствует направлению исследования докторанта и подтверждает значимость предложенных методов. 4) Четвертая публикация – «Information-Entropy Method for Detecting Gravitational Wave Signals» – посвящена разработке и применению информационно-энтропийного метода для обнаружения сигналов гравитационных волн. Данная публикация имеет высокий научный уровень и полностью соответствует теме исследования. 5) Пятая публикация – «Scale-invariant and wave nature of the Hubble parameter» – рассматривает масштабно-инвариантную и волновую природу параметра Хаббла, анализируя его эволюцию в рамках космологических моделей. Данное исследование связано с темой диссертации и соответствует ее научному направлению. 6) Шестая публикация – «Scale-Invariance of Many Galaxies» – посвящена изучению масштабной инвариантности структуры множества галактик и анализу ее проявлений в космологических наблюдениях. Публикация имеет высокий научный уровень и соответствует тематике исследования докторанта.	

13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	На основании вышеизложенного предлагаю присвоить Үсіпову Нұржану Мұсайыпұлы ученую степень доктора философии (PhD).

Официальный рецензент:
профессор кафедры "Общая и теоретическая физика"
Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева,
PhD по специальности «01.04.00 – Физика»
(место работы, научное звание)

(подпись)

Мырзақұл Шынарай Ратбайқызы

Қолын куәландырамын
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
КАДР ҚЫЗМЕТІ
«6» 03 2025 г.