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: 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).	Диссертационная работа Үсіпова Н.М. соответствует приоритетным направлениям развития науки и государственным программам Республики Казахстан в области фундаментальных исследований по физике и астрономии. Исследовательская работа выполнена в соответствии с планами фундаментальных научно-исследовательских работ Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан «Грантовое финансирование научных исследовании» по теме: «AP14872061 – Классификация типов модуляций шумовой смеси MIMO сигналов»
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Настоящее исследование вносит значимый вклад в понимание фундаментальных свойств гравитационных волн, выявляя их масштабно-инвариантные характеристики через анализ аттрактора, обладающего фрактальной размерностью 0.465 и имеющего связь с параметром

			Хаббла. Этот результат расширяет представления о динамике гравитационных возмущений и их влиянии на эволюцию Вселенной. Кроме того, автор предложил новые методы обнаружения и классификации гравитационных волн, основанные на концепции условной информации Жанабаева. Использование данного подхода позволяет эффективно регистрировать гравитационные волны при SNR > 8 и достигать 94% точности при классификации источников в диапазоне 0 < SNR < 30. Таким образом, работа способствует развитию гравитационно-волновой астрономии, улучшая методы анализа сигналов на фоне космического шума. Полученные результаты имеют важное значение для тестирования общей теории относительности, а также для дальнейшего изучения астрофизических процессов, происходящих в компактных объектах.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Самостоятельность данного исследования проявляется в комплексном подходе к изучению масштабной инвариантности и фрактальных свойств гравитационных волн, а также в разработке новых методов их анализа. Автор не только провел детальный обзор современных подходов к обнаружению и классификации гравитационных волн, но и предложил оригинальные алгоритмы,

			работающие без использования заранее заданных шаблонов сигналов. Важной частью исследования стало применение информационно-энтропийного метода, основанного на разности энтропий, который был предложен отечественным научным руководителем З.Ж. Жанабаевым. Автор самостоятельно модифицировал этот метод для решения задач классификации гравитационных волн, что позволило повысить точность анализа данных. Дополнительно были проведены численные моделирования, а также внедрены методы машинного обучения для обработки сигналов, полученных детекторами LIGO. Все это подчеркивает высокий уровень самостоятельности работы, сочетая как теоретические исследования, так и практическую реализацию новых методов обработки данных.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность диссертационного исследования определяется необходимостью углубленного анализа гравитационных волн, их взаимодействия с космическим стохастическим фоном и разработки новых методов их обнаружения и классификации. С момента первого экспериментального подтверждения существования гравитационных волн в 2015 году этот раздел науки стремительно развивается. Однако до сих пор остаются нерешенные задачи, связанные с точностью выделения сигналов на фоне шума,

			выявлением их фундаментальных характеристик и поиском новых способов обработки данных. В данной работе рассматриваются масштабно-инвариантные свойства гравитационных волн, их фрактальная структура и связь с параметром Хаббла, что способствует углубленному пониманию их природы. Кроме того, разработка методов обнаружения и классификации сигналов с использованием условной информацией позволяет существенно повысить точность идентификации источников гравитационных волн. Таким образом, проведенное исследование направлено на решение актуальных научных проблем, связанных с гравитационно-волновой астрономией, и открывает новые перспективы в изучении процессов, происходящих в астрофизических объектах.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание данной работы полностью соответствует теме диссертационной работы. Диссертация включает обзор современного состояния исследований гравитационных волн, анализ их масштабно-инвариантного характера, применение энтропийных методов для обнаружения сигналов без модельных шаблонов, разработку подходов к их классификации с использованием нейронных сетей и подчеркивает значимость развития методов нелинейной физики и вероятностного

			анализа для изучения гравитационных волн на фоне космического шума.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Поставленная в диссертации цель и сформулированные исследовательские задачи полностью соответствуют её тематике. Исследование направлено на выявление масштабной инвариантности гравитационных волн, разработку новых методов их обнаружения и классификации, что соответствует современным направлениям гравитационно-волновой астрономии.
		1) соответствуют;	
		2) частично соответствуют;	
		3) не соответствуют.	
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны, формируя целостное и последовательное исследование. Теоретический анализ масштабной инвариантности и фрактальной природы гравитационных волн плавно переходит в разработку новых методов их обнаружения и классификации.
		1) полностью взаимосвязаны;	
		2) взаимосвязь частичная;	
		3) взаимосвязь отсутствует.	
		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 подход к классификации источников сигналов, аргументированы с позиций теоретического анализа и численного моделирования. Сравнение с существующими методами, такими как шаблонные подходы, показало, что предложенный метод не требует предварительно заданных сигналов и позволяет детектировать гравитационные волны при SNR > 8, а также классифицировать источники с
		1) критический анализ есть;	
		2) анализ частичный;	
		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	
		4) анализ отсутствует.	

			высокой точностью (94% в диапазоне 0 < SNR < 30). Кроме того, выявленные масштабно-инвариантные свойства аттрактора гравитационных волн и их связь с параметром Хаббла расширяют фундаментальное понимание природы гравитационных возмущений.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Научные результаты и положения диссертационной работы являются новыми, поскольку в исследовании впервые выявлена масштабная инвариантность аттрактора слабых гравитационных волн, обладающего фрактальной размерностью 0.465, и установлена его связь с параметром Хаббла. Разработанный метод обнаружения гравитационных волн на основе анализа условной информации разности энтропий является оригинальным и позволяет детектировать слабые сигналы при SNR > 8. Кроме того, предложенная методика классификации источников гравитационных волн с применением информационно-энтропийного подхода обеспечивает высокую точность (до 94%) в диапазоне 0 < SNR < 30, что превосходит существующие методы анализа. Эти результаты расширяют современные представления о природе гравитационных волн, их взаимодействии с космическим фоном и повышают эффективность их обнаружения и классификации, что
		1) <u>полностью новые;</u>	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			подтверждает научную новизну исследования.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	Выводы диссертационной работы являются новыми, так как в исследовании впервые установлена масштабная инвариантность аттрактора слабых гравитационных волн, обладающего фрактальной размерностью 0.465, и выявлена его связь с параметром Хаббла. Данный результат имеет фундаментальное значение для понимания свойств гравитационных волн и их взаимодействия с космическим стохастическим фоном. Кроме того, в работе предложен оригинальный метод обнаружения гравитационных волн, основанный на анализе условной информации разности энтропий, позволяющий регистрировать сигналы при SNR > 8. Также разработана новая методика классификации источников гравитационных волн, обеспечивающая точность 94% в диапазоне 0 < SNR < 30.
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	Новизна предлагаемых технических решений в данной работе определяется использованием комплексного подхода, применением различных методов исследования и набором уникальных наблюдательных данных.
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

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 диссертационной работы обоснованы на тщательном теоретическом анализе, численных экспериментах и проверке полученных результатов на основе наблюдательных данных. В ходе исследования установлено, что аттрактор слабых гравитационных волн обладает фрактальной размерностью 0.465, что подтверждает его масштабно-инвариантные свойства и его связь с параметром Хаббла, а также согласуется с критериями самоподобия Жанабаева. Предложенный метод обнаружения гравитационных волн, основанный на анализе условной информации разности энтропий, продемонстрировал высокую эффективность при отношении сигнал/шум SNR > 8. Разработанный подход к классификации гравитационных волн на основе энтропийного анализа показал точность 94% в диапазоне 0 < SNR < 30, что подтверждается тестированием на данных LIGO.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 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?	В диссертации перечислены три основных положения, выносимых на защиту: 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

		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.	7.4 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 7.2 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:	В опубликованных научных работах подробно описана методология исследования, что позволяет читателю полностью понять процесс проведения исследования. Каждый этап исследования разбирается с детальным описанием используемых методов, приборов, программного обеспечения и процедур, что обеспечивает прозрачность и достоверность результатов.
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) да;	
		2) нет.	

		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований, включая информационно-энтропийный анализ, численное моделирование и алгоритмы машинного обучения. Обработка и интерпретация данных осуществлялись с применением компьютерных технологий, включая моделирование аттрактора гравитационных волн, анализ фрактальных свойств, а также методы статистической обработки сигналов. Кроме того, для классификации источников гравитационных волн использовались алгоритмы машинного обучения, обученные на данных гравитационно-волновых детекторов LIGO. Таким образом, работа опирается на современные вычислительные подходы, что подтверждает достоверность и актуальность полученных результатов.
		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 подтверждены численным моделированием гравитационных волн и анализом реальных данных гравитационно-волновых детекторов LIGO. Масштабная инвариантность аттрактора гравитационных волн и его связь с параметром Хаббла согласуются с наблюдательными данными.
		1) да;	
		2) нет.	

			Кроме того, разработанные методы обнаружения и классификации гравитационных волн, основанные на анализе условной информации разности энтропий, продемонстрировали свою эффективность при обработке реальных данных, обеспечивая точность классификации на уровне 94%.
		8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Все работы, имеющие прямую отсылку из утверждений опубликованы в журналах с высоким рейтингом.
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы достаточны для литературного обзора.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Диссертация обладает значительным теоретическим значением, поскольку в ней исследуется масштабная инвариантность гравитационных волн и их фрактальная природа, что углубляет понимание фундаментальных свойств гравитационных возмущений. Выявленная связь аттрактора гравитационных волн с параметром Хаббла расширяет теоретические представления о динамике гравитационных волн и их влиянии на эволюцию Вселенной. Кроме того, предложенные методы анализа и классификации гравитационных волн, основанные на информационно-энтропийном подходе, способствуют развитию гравитационно-волновой астрономии и расширению
		1) да;	
		2) нет.	

			возможностей исследования астрофизических процессов.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть применены для исследования характеристик гравитационных волн, классификации их источников, а также для определения астрофизических параметров компактных объектов.
		1) да;	
		2) нет.	
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложения для практики диссертационной работы являются новыми. Применяемые методы анализа (моделирование и т.д.) и интерпретация комплексного анализа необходимы для понимания свойств гравитационных волн и классификации их источников.
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма:	Все материалы работы Ycipова Н.М. написана достаточно хорошо, доступным академическим языком.
		1) высокое;	
		2) среднее;	
		3) ниже среднего;	
		4) низкое.	
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) Статья на тему « Classification of Gravitational Waves from Black Hole-Neutron Star Mergers with Machine Learning», имеет высокий научный уровень. Исследование посвящена классификации гравитационных волн, возникающих при слиянии черной дыры и нейтронной звезды, с использованием методов машинного обучения. Опубликовано в журнале с высоким импакт-фактором. Поэтому, я считаю, что данная статья полностью совпадает темой исследования соискателя. 2) Следующая статья «Fractal Dimension of Star Clusters» показывает такой же высокий научный уровень как и предыдущяя статья. Исследование посвящена исследованию фрактальной размерности звездных скоплений и анализу их структуры с использованием современных методов вычислений. Я считаю, что данная статья полностью совпадает темой исследования докторанта.	

		3) Следующая статья «Entropy of Gravitational Waves» показывает такой же высокий научный уровень как и предыдущие статьи. Статья посвящена исследованию энтропийных характеристик гравитационных волн и их применению для анализа гравитационно-волновых данных. Я считаю, что данная статья полностью совпадает темой исследования докторанта. 4) Следующая статья «Information-Entropy Method for Detecting Gravitational Wave Signals» показывает такой же высокий научный уровень как и предыдущие статьи. Статья посвящена разработке и применению информационно-энтропийного метода для обнаружения сигналов гравитационных волн. Я считаю, что данная статья полностью совпадает темой исследования докторанта. 5) Следующая статья «Scale-invariant and wave nature of the Hubble parameter» показывает такой же высокий научный уровень как и предыдущие статьи. Статья посвящена масштабно-инвариантной и волновой природе параметра Хаббла, рассматривая его эволюцию в контексте космологических моделей. Я считаю, что данная статья полностью совпадает темой исследования докторанта. 6) Следующая статья «Scale-Invariance of Many Galaxies» показывает такой же высокий научный уровень как и предыдущие статьи. Статья посвящена исследованию масштабной инвариантности структуры множества галактик и анализу её проявлений в космологических наблюдениях. Я считаю, что данная статья полностью совпадает темой исследования докторанта.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Исходя из вышеизложенного, считаю обоснованным присвоение Үсіпову Нұржану Мұсайыпұлы ученой степени доктора философии (PhD).

Официальный рецензент:

Научный сотрудник Энергетической Космической Лаборатории
Назарбаев Университета, PhD
(место работы, научное звание)

АДАМИ КАПИТАЛДЫ ДАМЫТУ ДЕПАРТАМЕНТІ
DEPARTMENT OF HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT

(подпись)

Көмеш Тоқтархан