

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

\_\_\_\_\_  
Баган Виталий  
Анатольевич

«13» мая 2026 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Хуана Маурисио Валенсии Вильегаса** «Свойства возмущений в скалярно-векторно-тензорных и Хорндески-Картановских космологиях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика

Диссертационная работа Валенсии Вильегаса Х.М. «Свойства возмущений в скалярно-векторно-тензорных и Хорндески-Картановских космологиях» посвящена исследованию устойчивости несингулярных космологических решений в теории Хорндески, обобщенной на пространства-времени с кручением (теории Хорндески-Картана), а также построению скалярно-векторно-тензорных расширений вырожденных скалярно-тензорных теорий высшего порядка (DHOST), которые согласуют скорость гравитационных волн со скоростью света и подавляют их распад на темную энергию.

Актуальность.

Современная космология, основанная на Общей теории относительности (ОТО) и модели Lambda-CDM, успешно описывает широкий спектр наблюдательных данных. Однако неизбежное появление сингулярностей в решениях ОТО и необходимость объяснения позднего ускоренного расширения Вселенной мотивируют изучение модифицированных теорий гравитации. Среди них выделяется теория Хорндески как наиболее общая скалярно-тензорная теория с уравнениями поля второго порядка, а, следовательно, свободная от духов Остроградского. Она допускает нарушение Изотропного условия энергодоминантности и, как следствие, построение несингулярных космологических сценариев, таких как модели с отскоком.

Тем не менее, известная Запрещающая теорема утверждает, что в теории Хорндески на пространстве-времени без кручения полностью устойчивые несингулярные космологии невозможны при весьма общих предположениях. Более того, большинство классов теории Хорндески предсказывают, что гравитационные волны распространяются на космологическом фоне со скоростью, в общем случае отличной от скорости света в вакууме. Это вступает в противоречие с недавними экспериментальными наблюдениями, которые показали, что скорость гравитации и скорость света практически совпадают даже в космологической среде.

Поиск способов обойти первую Запрещающую теорему и решить вторую проблему, связанную со скоростью, представляет большой теоретический и феноменологический интерес для модифицированных теорий гравитации. Первая часть диссертации посвящена непосредственно первой проблеме и решает ее путем расширения теории Хорндески на пространства-времени, обладающие одновременно кривизной и кручением, с введением так называемых теорий Хорндески-Картана. Анализ устойчивости возмущений и формулировка Запрещающих теорем в этих обобщенных теориях, а также явное построение устойчивых решений с отскоком важны для понимания их жизнеспособности. В более широком смысле, они важны для понимания того, насколько устойчива проблема нестабильностей в теории Хорндески применительно к модификациям пространства-времени, в котором формулируется теория.

Вторая часть работы решает вторую проблему путем введения специфических скалярно-фотонных связей, полученных из компактификации Калуцы-Клейна пятимерной DHOST теории. Предложенные теории определяются тем свойством, что скорость гравитационных волн и скорость фотона в точности совпадают без какого-либо ограничения скалярно-тензорного лагранжиана. Более того, дополнительная свобода позволяет удовлетворить условию, которое может быть использовано для подавления распада гравитационных волн в кванты темной энергии. Это исследование открывает новые возможности для построения новых типов моделей темной энергии в рамках DHOST теорий и, следовательно, является весьма актуальным.

Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения, трех приложений и списка литературы.

Во **Введении** излагается мотивация работы, обсуждается Изотропное условие энергодоминантности и его нарушение в модифицированной

гравитации, вводится теория Хорндески и формулируются две центральные проблемы, рассматриваемые в диссертации: запрещающая теорема для несингулярных космологий и ограничения на скорость гравитационных волн. Четко сформулированы цели исследования, перечислены положения, выносимые на защиту, и описана методология работы. Обоснованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Приведены сведения об апробации работы и публикациях по теме диссертации.

**Первая глава** посвящена теории Хорндески, сформулированной в пространствах-времени с кривизной и кручением (теории Хорндески-Картана). Первый раздел ограничен лагранжианами, содержащими члены не выше квадратичных по вторым производным скалярного поля. В нем строится однопараметрическое ('с' параметру по) семейство квадратичных теорий Хорндески-Картана. Выполнен анализ возмущений первого порядка на FLRW-фоне с разложением возмущений кручения на неприводимые компоненты. Показано, что по сравнению со стандартной теорией Хорндески без кручения новых динамических степеней свободы не появляется: а именно, обнаружено, что распространяются только две тензорные поляризации гравитона и одна скалярная мода. Объяснено, что влияние кручения сводится к модификации дисперсионных соотношений этих мод. Установлено, что параметр (с), классифицирующий теорию внутри семейства, также влияет на дисперсионное соотношение скалярной моды. Приведена классификация свойств скаляра в зависимости от параметра (с), в которой различаются теории, где скаляр является или не является духом. Установлено, что теория с нулевым параметром (с) дает стандартное дисперсионное соотношение, аналогичное тому, что наблюдается в теории Хорндески без кручения.

Во втором разделе доказывается новая запрещающая теорема для несингулярных космологий в квадратичных теориях Хорндески-Картана с нулевым параметром (с). Теорема утверждает, что при следующих предположениях: несингулярный космологический фон, отсутствие духов и градиентных неустойчивостей, стандартные асимптотики, а также гравитон, всегда распространяющийся со скоростью, меньшей или равной скорости света, — стабильных решений не существует. Важно отметить, что условие на скорость гравитона является дополнительным требованием по сравнению со случаем без кручения.

Используя новые свойства возмущений теории Хорндески-Картана, построенной в данной диссертации, сконструирована модель отскока,

устойчивая в любой момент времени, в которой гравитон становится сверхсветовым на короткое время перед отскоком. Существенное отличие от теории Хорндески без кручения заключается в том, что космологическое решение устойчиво во все времена. Лагранжевы функции реконструированы в явном виде, и показано, что модель сводится к эйнштейновской гравитации с безмассовым скаляром в асимптотическом прошлом и будущем.

В третьем разделе анализ распространяется на полную теорию Хорндески-Картана, включая в действие члены, кубические по вторым производным скаляра. Демонстрируется, что в этой более общей постановке запрещающая теорема перестает выполняться. Смешивание между возмущениями метрики и кручения усиливается, разрывая жесткие связи между квадратичными действиями для тензорных и скалярных мод, которые в более простых теориях приводили к неустойчивостям. Представлена конкретная модель несингулярной, полностью устойчивой космологии с отскоком, в которой все моды возмущений в любой момент времени распространяются со скоростями, не превышающими скорость света. Гравитон в этой модели демонстрирует нетривиальное дисперсионное соотношение, зависящее от волнового числа.

**Вторая глава** посвящена скалярно-векторно-тензорным расширениям DHOST теорий для решения проблемы скорости гравитационных волн. В первом разделе объясняются следствия для скалярно-тензорных теорий, вытекающие из недавнего измерения скорости гравитационных волн. Затем вводятся DHOST теории в четырех измерениях и приводится мотивация для решения проблемы скорости по крайней мере в некоторых из этих теорий.

Во втором разделе DHOST теория рассматривается в пяти измерениях, и путем проведения компактификации Калуцы-Клейна с цилиндрическим условием впервые получена четырехмерная теория, содержащая исходной DHOST сектор плюс новые специфические скалярно-фотонные связи. Векторное поле инвариантно относительно  $U(1)$  калибровочных преобразований. Вычислены квадратичные действия для тензорных и векторных возмущений на FLRW-фоне, и показано, что скорости гравитационных волн и электромагнитных волн совпадают при выполнении одного единственного условия на DHOST теорию. А именно, впервые показано, что если скалярная функция  $b_3$  в DHOST теории обращается в нуль, то скорости векторной и тензорной мод становятся одинаковыми. Это условие совместимо с условиями вырожденности для нескольких феноменологически значимых классов DHOST, включая смешанную квадратично-кубическую

теорию Beyond Horndeski (BH). Для этой конкретной BH теории показано, что новая свобода в лагранжевых функциях позволяет одновременно удовлетворить условию подавления распада гравитационных волн на темную энергию, тем самым обходя еще одно сильное ограничение.

В **Заключении** суммированы основные результаты, полученные в диссертации. В **Приложениях** приведены детальные выражения для фоновых уравнений движения, коэффициентов квадратичных действий для возмущений в квадратичной и вплоть до кубической теориях Хорндески-Картана.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Достоверность полученных результатов основывается на их согласии в частных случаях с уже известными в литературе данными и их логической непротиворечивости. Кроме того, в тексте описаны различные методы проверки на всех этапах вычислений. Все основные результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными и опубликованы в виде 4 статей в ведущих международных рецензируемых журналах, индексируемых Web of Science и входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии, а также в 1 сборнике трудов конференции, и были представлены на различных научных конференциях и семинарах.

Результаты имеют научную и практическую значимость. Классификация квадратичных теорий Хорндески-Картана и вывод условий устойчивости и дисперсионных соотношений для возмущений представляют теоретическую ценность. Так же несомненную ценность представляют формулировка и доказательство новой запрещающей теоремы для несингулярных космологий в квадратичной теории Хорндески-Картана и построение устойчивой модели с отскоком в кубической теории.

Вывод новой скалярно-векторно-тензорной теории, в которой тензорные и векторные моды распространяются с одинаковой скоростью на космологическом фоне, имеет как теоретическую, так и потенциально феноменологическую значимость, поскольку предлагает новые жизнеспособные альтернативы для обхода наблюдаемых ограничений на скорость и потенциальный распад гравитационных волн на скаляр темной энергии.

По тексту диссертации имеются следующие замечания:

1. Анализ в Главе 1 выполнен на линейном уровне теории возмущений. Есть ли какие-либо указания на то, что результаты сохранятся и в высших порядках пертурбативного разложения? Исследовались ли менее симметричные фоны?

2. В Главе 2 скалярно-фотонные связи выводятся из 5D модели Калуцы-Клейна с замороженным дилатоном. Насколько чувствительны результаты к динамике дилатона? Если бы дилатон оставался динамическим, потребовалась бы дополнительная тонкая настройка для сохранения условия светоподобности?

3. В Главе 2 теории были выведены на основе равенства скоростей векторной и тензорной мод, главным образом потому, что экспериментальные ограничения связаны именно с ними. Существуют ли какие-либо известные результаты для скорости скалярной моды в этих теориях?

Данные замечания, однако, не влияют на высокую оценку работы и полученных результатов.

Диссертация «Свойства возмущений в скалярно-векторно-тензорных и Хорндески-Картановских космологиях» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Хуан Маурисио Валенсия Вильегас, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика.

Настоящий отзыв обсужден и одобрен на расширенном научном семинаре Лаборатории математической и теоретической физики МФТИ 8 апреля 2026 года, протокол № 01.

Кандидат физ.-мат. наук \_\_\_\_\_

Пополитов А.В.

**Почтовый адрес:** 141701, Московская область, г Долгопрудный Институтский пер. 9.

**Телефон:** 8 (495) 408-57-00,

**Адрес электронной почты:** [popolitov.av@mipt.ru](mailto:popolitov.av@mipt.ru)

**Организация – место работы:** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Лаборатория математической и теоретической физики

**Должность:** Научный сотрудник

**Web-сайт организации:** <https://mipt.ru>

**Почтовый адрес:** 141701, Московская область, г Долгопрудный Институтский пер. 9.

**Телефон:** 8 (495) 408-57-00,

**Адрес электронной почты:** popolitov.av@mipt.ru

**Организация – место работы:** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Лаборатория математической и теоретической физики

**Должность:** Научный сотрудник

**Web-сайт организации:** <https://mipt.ru>

Список основных публикаций работников организации по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. **Popolitov A.** Towards mixed phase correlators in monomial matrix models // European Physical Journal C. – 2025. – Vol. 85, No. 12. – P. 1447.

2. Mironov A., Morozov A., **Popolitov A.** Twisted Baker–Akhiezer function from determinants // European Physical Journal C. – 2025. – Vol. 85, No. 5. – P. 574.

3. Mironov A., Morozov A., **Popolitov A.** Commutative families in DIM algebra, integrable many-body systems and  $q, t$  matrix models // Journal of High Energy Physics (JHEP). – 2024. – Vol. 09. – P. 200.

4. Mironov A., Morozov A., **Popolitov A.**, Shakirov Sh. Summing up perturbation series around superintegrable point // Physics Letters B. – 2024. – Vol. 852. – P. 138593.

5. Drachov Ya., Mironov A., **Popolitov A.**  $W_{1+\infty}$  and  $W_{\sim}$  algebras, and Ward identities // Physics Letters B. – 2024. – Vol. 849. – P. 138426.

6. Wang L.-Y., Mishnyakov V., **Popolitov A.**, Liu F., Wang R.  $W$ -representations for multi-character partition functions and their  $\beta$ -deformations // Physics Letters B. – 2024. – Vol. 851. – P. 138570.