

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Математического института  
им. В. А. Стеклова  
Российской академии наук  
академик РАН Д. В. Трещёв  
«18» августа 2025 г.

**ОТЗЫВ  
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Математического института им. В. А. Стеклова Российской академии наук на диссертацию Штенниковой Арины Михайловны «Динамика космологических возмущений в теории Хорндески», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика**

Диссертационная работа А. М. Штенниковой посвящена одной из наиболее фундаментальных и активно развивающихся областей современной теоретической физики – космологии ранней Вселенной и исследованию возможности использования модифицированных моделей гравитации для описания ранней Вселенной. Хотя сами по себе модифицированные модели гравитации не являются в полном смысле последовательными во всех аспектах, их применение к космологии ранней Вселенной представляет собой важное направление, в рамках которого можно ожидать прояснения чисто теоретических вопросов модифицированных моделей гравитации.

Первые две главы работы посвящены несингулярным космологическим сценариям, которые являются важной и актуальной темой современной теоретической космологии. Эти сценарии важны для понимания физических процессов в ранней Вселенной и проверки общей теории относительности и её модификаций. Кроме того, они могут дополнить стандартную инфляционную парадигму, предлагая элегантное решение проблемы начальной сингулярности.

Реализация таких несингулярных сценариев требует нарушения изотропного условия энергодоминантности, что в рамках стандартных теорий поля часто приводит к появлению патологических неустойчивостей (духов или градиентных нестабильностей). Теория Хорндески, самая общая скалярно-тензорная теория гравитации с уравнениями движения второго порядка, служит теоретической основой для построения стабильных несингулярных моделей.

Однако известна запрещающая теорема, которая накладывает серьёзные ограничения на возможность существования решений, устойчивых на протяжении всей космологической эволюции. В этой связи исследование путей обхода данных теорем, построение конкретных устойчивых несингулярных моделей и анализ их свойств, в том числе при более реалистичных условиях (например, при наличии анизотропии), а также расширение класса самих теорий, является чрезвычайно актуальной задачей. Работа А. М. Штенниковой

направлена на решение этих проблем.

Кроме того, современная эра многоканальной астрономии, открытая, в частности, наблюдением гравитационных волн от события GW170817, наложила жёсткие ограничения на модифицированные теории гравитации, потребовав очень точного совпадения скоростей гравитационных и электромагнитных волн. Эти ограничения значительно сужают класс допустимых теорий Хорндески. В этом контексте чрезвычайно актуальной становится задача построения новых теоретических моделей, в которых это равенство скоростей является не результатом тонкой подстройки параметров, а естественным следствием более глубокой симметрии. Решение этой задачи путём разработки новой скалярно-векторно-тензорной теории на основе размерной редукции Калуцы-Клейна, предпринятое в третьей главе, напрямую отвечает на вызовы, поставленные последними наблюдательными данными, и открывает новые перспективы для построения моделей тёмной энергии.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, пяти приложений и списка литературы, включающего 123 наименования. Общий объём работы составляет 106 страниц и включает в себя 14 рисунков.

Во введении автор обосновывает актуальность темы, формулирует цели и задачи диссертации и выносимые на защиту положения.

**В первой главе** рассматривается устойчивость космологических решений в теории Хорндески на изотропном фоне. Автор выводит квадратичное действие для скалярных и тензорных возмущений, анализирует известную запрещающую теорему и предлагает вариант её обхода, основанный на рассмотрении класса теорий, в которых запрещающая теорема не может быть корректно сформулирована. В качестве иллюстрации этого подхода построены конкретные примеры устойчивых космологических решений типа «отскок» и «генезис».

**Во второй главе** исследуется влияние космологической анизотропии на устойчивость найденных в первой главе решений. Рассматривается фон типа Бьянки I. Выводится квадратичное действие для возмущений над анизотропным фоном и показывается, что даже малая анизотропия приводит к появлению духовых и градиентных неустойчивостей вблизи точки отскока. Этот результат демонстрирует, что устойчивость несингулярных решений в изотропном случае является следствием высокой симметрии фона.

**В третьей главе** предложен и детально исследован новый подход к построению скалярно-векторно-тензорных (СВТ) теорий гравитации, свободных от неустойчивости Остроградского. Путём процедуры размерной редукции Калуцы-Клейна теории обобщённых галилеонов из пятимерного пространства получена новая четырёхмерная теория, включающая динамическую метрику,  $U(1)$ -калибровочное векторное поле и два скалярных поля. Проведён анализ квадратичного действия для возмущений и показано, что в рамках данной теории скорости распространения гравитонов и фотонов автоматически совпадают, что согласуется с современными астрофизическими ограничениями. Также обсуждается применимость механизма Вайнштейна для экранирования эффектов модифицированной гравитации.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы А. М. Штенниковой не вызывает сомнений. Основные новые результаты, полученные в диссертации, заключаются в следующем:

1. Впервые предложен и систематически исследован способ обхода запрещающей теоремы в теории Хорндески, основанный на рассмотрении класса теорий, в которых запрещающая теорема не может быть корректно сформулирована.
2. Построены конкретные примеры лагранжианов теории Хорндески, которые приводят к полностью устойчивым на всей временной оси космологическим решениям типа «отскок» и «генезис» в рамках общей теории относительности с неканоническим скалярным полем.
3. Проанализирована устойчивость данных решений относительно малых анизотропных возмущений. Показано, что симметрия изотропного фона играет ключевую роль в обеспечении стабильности, а её нарушение приводит к возникновению неустойчивостей.
4. Впервые получена новая скалярно-векторно-тензорная теория со старшими производными в действии, но с уравнениями движения второго порядка, путём редукции теории обобщённых галилеонов из пяти измерений. Эта теория обладает  $U(1)$ -калибровочной симметрией и расширяет класс экспериментально допустимых теорий гравитации.
5. Проанализированы скорости распространения всех типов возмущений в новой теории и выделен класс моделей, в которых скорости гравитационных и электромагнитных волн совпадают, что имеет важное значение для современной многоканальной астрономии.

Теоретическая и практическая значимость диссертации состоит в том, что её результаты вносят существенный вклад в развитие теории ранней Вселенной и модифицированных теорий гравитации. Предложенные устойчивые космологические решения позволяют строить реалистичные модели ранней Вселенной без начальной сингулярности. Полученная новая СВТ-теория открывает новые возможности для построения моделей тёмной энергии и модифицированной гравитации, совместимых с последними наблюдательными данными. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований, в частности, для вычисления наблюдаемых предсказаний (спектра возмущений, негауссовости) и их сравнения с астрофизическими данными.

Результаты диссертации получены с использованием строгого математического аппарата современной теоретической физики, включая методы дифференциальной геометрии и теории возмущений. Выводы логичны, последовательны и хорошо аргументированы. Достоверность результатов подтверждается публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus. Основные положения работы были представлены и обсуждены на различных международных конференциях и школах. Её работы об устойчивых космологических решениях в теории Хорндески и о возрождении моделей Хорндески после GW170817 с помощью компактификаций привлекли внимание специалистов и активно цитируются.

Диссертационная работа Арины Штенниковой хорошо написана и легко читается, несмотря на достаточно громоздкие формулы. Она сделала 28 мая 2025 г. детальный доклад на

семинаре Отдела теоретической физики МИАН, активно участвовала в дискуссии и ответила на многочисленные вопросы участников семинара.

Диссертационная работа А. М. Штенниковой на тему «Динамика космологических возмущений в теории Хорндески» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены важные научные задачи в области космологии ранней Вселенной и модифицированной гравитации. Содержание диссертации полно и точно отражено в автореферате.

Результаты диссертации Штенниковой А. М. были доложены автором, обсуждены и одобрены на семинаре Отдела теоретической физики МИАН им. В. А. Стеклова 25 июня 2025 г.

Работа соответствует всем требованиям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней», утверждённом Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Штенникова Арина Михайловна, безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Отзыв составила:

доктор физико-математических наук,  
профессор, член-корр. РАН,  
главный научный сотрудник  
отдела теоретической физики  
МИАН имени В. А. Стеклова  
Тел.: +7 (499) 135-13-70  
E-mail: [arefeva@mi-ras.ru](mailto:arefeva@mi-ras.ru)

И. Я. Арефьева

Подпись И. Я. Арефьевой удостоверяю  
учёный секретарь МИАН, к. ф.-м. н.

Поликарпов Сергей Алексеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт имени В. А. Стеклова Российской академии наук (МИАН)  
Адрес: 119991, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д. 8  
Телефон: +7 (495) 984-81-41  
E-mail: [steklov@mi-ras.ru](mailto:steklov@mi-ras.ru)

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

1. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, A. Nikolaev and P. Slepov, "Holographic QCD running coupling for light quarks in strong magnetic field," *Phys. Rev. D* 110 (2024) 086021
2. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, P. Slepov and M. Usova, "Running coupling for holographic QCD with heavy and light quarks: Isotropic case," *Phys. Rev. D* 110 (2024) no. 12, 126009
3. D. S. Ageev, I. Y. Arefeva, A. I. Belokon, V. V. Pushkarev and T. A. Rusalev, "Entanglement entropy in de Sitter: no pure states for conformal matter," *JHEP* 05, 308 (2024)
4. I. Arefeva and I. Volovich, "Violation of the third law of thermodynamics by black holes, Riemann zeta function and Bose gas in negative dimensions," *Eur. Phys. J. Plus* 139, no. 3, 300 (2024)
5. D. S. Ageev, I. Y. Arefeva, A. I. Belokon, A. V. Ermakov, V. V. Pushkarev and T. A. Rusalev, "Infrared regularization and finite size dynamics of entanglement entropy in Schwarzschild black hole," *Phys. Rev. D* 108, 046005 (2023)
6. I. Y. Arefeva, A. Ermakov, K. Rannu and P. Slepov, "Holographic model for light quarks in anisotropic hot dense QGP with external magnetic field", *Eur. Phys. J. C* 83, no. 1, 79 (2023)
7. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, K. Rannu and P. Slepov, "Magnetic Catalysis in Holographic Model with Two Types of Anisotropy for Heavy Quarks", *Eur. Phys. J. C* 83, no. 12, 1143 (2023)
8. I. Y. Arefeva, A. Ermakov and P. Slepov, "Direct photon emission rate and electric conductivity in twice anisotropic QGP holographic model with first-order phase transition", *Eur. Phys. J. C* 82, no. 1, 85 (2022)
9. D. S. Ageev and I. Y. Arefeva, "Thermal density matrix breaks down the Page curve," *Eur. Phys. J. Plus* 137, 1188 (2022)
10. I. Y. Arefeva, A. A. Golubtsova and E. Gourgoulhon, "Holographic drag force in 5d Kerr-AdS black hole," *JHEP* 04, 169 (2021)
11. I. Y. Arefeva, K. Rannu and P. Slepov, "Holographic model for heavy quarks in anisotropic hot dense QGP with external magnetic field," *JHEP* 07, 161 (2021)
12. I. Y. Arefeva, K. Rannu and P. Slepov, "Holographic anisotropic model for light quarks with confinement-deconfinement phase transition", *JHEP* 06, 090 (2021)