

ОТЗЫВ

официального оппонента Головнева Алексея Валерьевича
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»

Диссертация посвящена, в первую очередь, вопросам устойчивости космологических решений в теориях Хорндески, в свете вопроса о возможности решений с отскоком или генезисом. Это напрямую относится к одному из очень важных аспектов современной теоретической физики. Дело в том, что модифицируя гравитационные теории, необходимо ясно оценивать степень внутренней самосогласованности получаемых моделей, а также их способность описывать физически интересные конфигурации. При этом теории Хорндески представляют собой весьма широкий класс используемых ныне конструкций. Штенникова Арина Михайловна даёт весьма полный анализ их устойчивости на языке линейных космологических возмущений, используя стандартные методы, принятые в научном сообществе. Это делает данную диссертацию важной и интересной.

С необходимостью, подобные исследования максимально общих в своём классе теорий приводят к весьма громоздким выражениям при вычислениях. Тем не менее, автор сумела весьма доходчиво объяснить все проблемы и результаты. Отдельно хочется отметить удачное выделение наиболее громоздких формул в приложения. В плане критических замечаний общего стиля отмечу, что текст порой получается слишком сух. Достаточно посмотреть на то, как начинается Глава 1. Также не вполне понятно, зачем было вводить столько много разных коэффициентов A в формуле (12), если многие из них абсолютно элементарным образом выражаются друг через друга (см. приложение А).

Перейдём к обсуждению основного содержания. Диссертация начинается с Введения, в котором дан достаточно удачный обзор состояния дел в теориях Хорндески, а также представлено место работ диссертанта в этой области исследований. При этом несколько первых страниц с описанием общей мотивации таких работ, с моей точки зрения, являются наиболее слабым местом представленной диссертационной работы. Классическая (доинфляционная) космология названа «теорией Большого взрыва». Однако же, по сути, за этим понятием не стоит никакой особой гипотезы или теории. Наблюдения прямо показывают расширение Вселенной, что конечно указывает на малый размер её видимой части в прошлом. Горячий «взрывной» характер получается при этом сам собой, если не вводить достаточно экзотических типов материи.

Первая же фраза о том, что «современные экспериментальные данные физики частиц и теоретические исследования в области космологии дают нам много информации о самых ранних этапах развития Вселенной», вызывает недоумение. В ней нет ничего по-настоящему ошибочного. Однако, экспериментальная физика элементарных частиц имеет гораздо менее прямое отношение к истории ранней Вселенной, чем прямые наблюдательные данные в работах по крупномасштабной структуре и флуктуациям реликтового фона. Соответственно, отнюдь не все космологические работы, дающие столь нужную нам информацию, являются теоретическими.

Отмечу также, что в контексте рассмотрения вопросов начальной сингулярности, было бы хорошо обсудить и статью A. Borde, A.H. Guth, A. Vilenkin; PRL 90 (2003) 151301, и дискуссии вокруг неё. Кроме того, при перечислении тех фактов, которые успешно объясняет инфляция, и соответствующих им проблем классической космологии, пункт о «плоской геометрии» неаккуратен, а уж тем более упоминание «практически нулевой кривизны пространства-времени», поскольку надо говорить про плоскостность пространственного сечения, а не всей геометрии. При этом разговоры о том, что «для окончательного подтверждения теории инфляции необходимы дополнительные исследования» в контексте того, что имеющиеся данные «не позволяют определить единственно верную модель»

инфляции, звучат излишне оптимистично, ибо в реальности трудно будет найти достаточно большое количество независимых параметров, доступных для практических измерений.

Ещё раз подчеркну, что приведённые выше замечания касаются только недостаточной аккуратности в изложении общих мотиваций для работы с модифицированными теориями гравитации и с экзотической материей, но они никак не затрагивают качества самой диссертации. Перейдём к рассмотрению представленных работ. Своё мнение об их важности я уже сформулировал выше.

Глава 1 посвящена изотропным космологиям в теориях Хорндески. Главным вкладом диссертанта здесь является обнаружение случая, к возмущениям вокруг которого неприменима ранее найденная по-го теорема, в силу использования унитарной калибровки при доказательстве. Отдельно стоит отметить использование калибровочно-инвариантных величин в диссертационной работе, что делает результаты действительно надёжными, поскольку подстановка выбранной калибровки напрямую в действие, вообще говоря, может существенно менять теорию.

Несколько странно при этом выглядит упоминание того, что действие в калибровочно-инвариантных переменных не меняет своего вида при выборе ньютоновской калибровки, как если бы это было неожиданной новостью. На самом деле, это общее свойство такой калибровки, поскольку ньютоновские потенциалы в ней оказываются просто равными бардиновским (калибровочно-инвариантным) переменным (30). Именно поэтому эта калибровка используется, например, в работах В. Муханова по космологическим возмущениям, включая его учебник космологии.

Замечу также, что в этой главе «не анализируется поведение векторных мод, поскольку они не являются динамическими», без доказательства последнего утверждения. Разумеется, это общеизвестный факт, что векторные и скалярные возмущения метрики не являются динамическими в ОТО, или даже в $f(R)$ гравитации, если речь идёт только о векторных. Но в модифицированных теориях это надо аккуратно проверять, а пятое слагаемое (5e) Хорндески не сводится к случаям, для которых это было бы очевидно с первого взгляда.

Глава 2 посвящена технически заметно более сложным исследованиям космологических возмущений в анизотропных космологиях, хоть и в простейшем случае типа Бьянки I. Новым и очень интересным результатом автора здесь является неустойчивость той модели, наивная устойчивость которой была установлена в предыдущей главе, обходя известную по-го теорему для генезисов и отскоков. В последние годы схожие проблемы сильной связи возникают во многих теориях модифицированной гравитации. Это указывает на ненадёжность анализа только линейных возмущений, а может и на фундаментальные проблемы теорий, что делает такие вещи важными для науки.

Глава 3 рассматривает теории Хорндески в 5D, с последующей редукцией размерности типа Калуцы и Кляйна. С точки зрения работы внутри нашего 4D, это обобщает модель до частного случая скалярно-векторно-тензорных теорий. Вся история попыток построения объединённых теорий, начиная ещё с Эйнштейна, заставляет меня настороженно относиться к возможности отождествления векторных возмущений с фотоном. Однако, результаты о выравнивании скоростей распространения без неестественной подстройки параметров модели выглядят весьма любопытно.

В плане критики отмечу, что на стр. 47 надо бы было подчеркнуть, что разложение (94) предполагает не только топологию прямого произведения, но и выбор «дополнительной» координаты, принимающей значения от нуля до двух π . На стр. 56 утверждение об «общепринятой практике» отождествления тензорных возмущений с гравитоном выглядит несколько загадочно. Как ещё можно воспринимать динамические моды геометрии? Другое дело, что скалярные (и при наличии, и векторные) моды тоже можно рассматривать как новые поляризации гравитона, но это не лишает тензорные моды их статуса.

В целом, проделанная работа очень серьёзна и интересна, и может стать основой для многих новых исследований. В частности, сравнение первой и второй глав уже указывает на необходимость изучения нелинейных аспектов стабильности. Можно также размышлять над

правильностью стандартных приёмов подстановки решения связей в действие. Да и механизм Вайнштейна тоже не без своих проблем, особенно если выходить за рамки наивной эффективной теории поля. Всё-таки дополнительная динамическая степень свободы на самом деле присутствует.

Замечу также, что в последние годы становится понятным, что духовые степени свободы тоже не обязательно являются проблемой, вопреки интуитивным ожиданиям, см. например работу С. Deffayet, A. Held, Sh. Mukohyama, A. Vikman; arXiv: 2504.11437 и ссылки в ней. В этом плане, условия типа (21) следует рассматривать как не совсем аккуратное определение градиентной нестабильности, поскольку при изменении обоих знаков сразу, и у градиентной и у кинетической энергии, никакой нестабильности линейных возмущений не ожидается.

Наконец, отмечу некоторое количество опечаток. Большинство из них является несогласованными падежами: «которая стала обобщением теория скалярного поля» на стр. 7, «рассматривается линеаризованную теорию» на стр. 14, «после подстановке» на стр. 20; или числами: «поперечные бесследовый тензор» на стр. 53. На стр. 12 есть слово «проанализированны», когда нужно только одно «н», а на стр. 65 – загадочная фраза «упрощаются до следующим образом». На стр. 26 есть, по всей видимости ошибочная, ссылка на формулу (79) со стр. 38.

Все приведённые мною замечания не умаляют значимости представленных к защите статей и результатов. Представленная работа, используя общепринятые методы, отвечающие текущим стандартам надёжности и достоверности, достигла ряда новых результатов, существенно продвигающих наши знания о стабильности космологических решений в теориях Хорндески, представляющих собой весьма актуальную область современной теоретической космологии и модифицированной гравитации.

Диссертация Штенниковой Арины Михайловны полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 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.

01.07.2025

Официальный оппонент Головнев Алексей Валерьевич, _____
доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика,
профессор-исследователь центра теоретической физики
Британского университета в Египте

Санкт-Петербург, первого июля две тысячи двадцать пятого года.

подпись

Головнев Алексей Валерьевич

Российская Федерация, Санкт-Петербург
Первого июля две тысячи двадцать пятого года

Я, Кушнов Александр Сергеевич, нотариус нотариального округа Санкт-Петербурга, свидетельствую подлинность подписи Головнева Алексея Валерьевича, (личные данные). Подпись сделана в моем присутствии. Личность подписавшего документ установлена.

Зарегистрировано в реестре: № 78/142-н/78-2025-1-1130.

А.С. Кушнов

Головнев Алексей Валерьевич, доктор физико-математических наук, специальность 01.04.02 — Теоретическая физика, Британский Университет в Египте (British University in Egypt - BUE), El Sherouk City , Suez Desert Road , Cairo 11837 - P.O. Box 43, Центр теоретической физики (Centre for Theoretical Physics - CTP), профессор-исследователь (research professor), alexey.Golovnev@bue.edu.eg, +20 101 6204860.

Список Основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях на последние 5 лет:

1. A. Golovnev. On the degrees of freedom count on singular phase space submanifolds. International Journal of Theoretical Physics 63 (2024) 212
2. A. Golovnev, A.N. Semenova, V.P. Vandelev. Conformal Transformations and Cosmological Perturbations in New General Relativity. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, JCAP04(2024)064
3. D. Blixt, A. Golovnev, M.J. Guzman, R. Maksyutov. Geometry and covariance of symmetric teleparallel theories of gravity. Physical Review D 109 (2024) 044061
4. A. Golovnev. More on the fact that Rastall = GR. Annals of Physics 461 (2024) 169580
5. A. Golovnev, A.N. Semenova, V.P. Vandelev. Gravitational Waves in New General Relativity. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics JCAP01(2024)003
6. A. Golovnev. The Variational principle, Conformal and Disformal transformations, and the degrees of freedom. Journal of Mathematical Physics 64 (2023) 012501
7. D. Blixt, R. Ferraro, A. Golovnev, M.J. Guzman. Lorentz gauge-invariant variables in torsion-based theories of gravity. Physical Review D 105 (2022) 084029
8. A. Golovnev, M.J. Guzman. Lorentz symmetries and primary constraints in covariant teleparallel gravity. Physical Review D 104 (2021) 124074