

Отзыв

официального оппонента Арбузовой Елены Владимировны на диссертационную работу Агеевой Юлии Александровны "Космологические решения в скалярно-тензорной теории Хорндески", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика.

Диссертационная работа Агеевой Юлии Александровны посвящена классическим космологическим решениям без начальной сингулярности в скалярно-тензорных теориях гравитации со старшими производными (в подклассе теории Хорндески), анализу проблемы режима сильной связи в таких моделях и построению полной эволюции ранней Вселенной, устойчивой на всех временах.

В современной космологии господствующей является инфляционная парадигма, согласно которой, горячему этапу расширения Вселенной предшествовала стадия экспоненциального расширения. Однако, этот класс моделей пока нельзя считать совершенно доказанным, и Вселенная могла развиваться другими путями. Одними из допустимых и широко обсуждаемых вариантов являются модель циклической Вселенной, когда чередуются периоды сжатия и расширения (а момент смены сжатия расширением принято называть отскоком), а также модель генезиса, в которой Вселенная начинает свою эволюция с плоского пространства-времени Минковского, постепенно переходя на этап расширения. В работе Агеевой Ю. А. данные модели изучались в рамках скалярно-тензорной теории модифицированной гравитации Хорндески (также известную под названием теории обобщенного галилеона) с лагранжианами, содержащими производные второго порядка, однако приводящими к уравнениям поля, не содержащим производные выше второго порядка. В рамках такого подхода интересно исследовать устойчивость таких космологических сценариев на всех временах эволюции Вселенной, наличие в данных моделях проблемы сильной связи (применимость классического описания), генерацию первичных возмущений, их спектр и наклон, и другие вопросы.

Известно, что в подклассе теории Хорндески возможно построение эпох генезиса и Вселенной с отскоком, которые предшествуют инфляции и, таким образом, эти стадии решают проблему начальной сингулярности. В диссертации Агеевой Ю. А.

приводятся различные примеры лагранжианов, с помощью которых возможно построить стабильную (свободную от духовых и градиентных неустойчивостей) на протяжении всей космологической эволюции теорию — как Вселенную, которая начинается с генезиса, так и с отскоком. Однако, такие модели в далеком прошлом (ранние этапы жизни Вселенной) могут быть в режиме сильной связи: эффективная масса Планка стремится к нулю при больших отрицательных временах и классический анализ теории запрещен. Изучение и решение данной проблемы и является целью диссертационного исследования Агеевой Ю. А.

Научная новизна

Все основные результаты, выдвигаемые на защиту, являются новыми:

1. Впервые был проведен размерный анализ проблемы сильной связи в несингулярной, устойчивой на протяжении всего времени эволюции Вселенной модели генезиса в рамках подкласса теории Хорндески. Впервые получены соответствующие ограничения на параметры лагранжиана.
2. Впервые построены полные модели эволюции ранней Вселенной в рамках подкласса теории Хорндески, с конкретным видом функций лагранжиана этой теории. Эволюция может начинаться с конкретных несингулярных эпох — сжатия с отскоком, генезиса, а также их модификаций. Показано, что эти модели устойчивы на всех временах и находятся вне режима сильной связи. Впервые показано, что указанные ранние эпохи могут быть сшиты с последующей эпохой инфляции, а далее может происходить устойчивый переход с инфляции на стадию, где динамика определяется безмассовым действительным скалярным полем, а гравитация описывается ОТО.
3. Впервые исследована проблема, связанная с наивным размерным анализом масштаба сильной связи: последний не всегда дает правильный ответ. Для того, чтобы определить применимость классического описания в некоторых моделях требуется проводить более точный анализ проблемы сильной связи с помощью диаграммной техники, условия унитарности S -матрицы и унитарных ограничений.
4. Впервые в теории, которая содержит скалярные поля с различными скоростями звука, были получены соотношения унитарности для

парциальных амплитуд для процессов рассеяния $2 \rightarrow 2$. Используя эти соотношения унитарности, были впервые получены соответствующие унитарные ограничения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и четырех приложений. Общий объем работы 141 страница.

В **первой главе** был построен сценарий генезиса в теории Хорндески. Как уже было упомянуто ранее, одним из возможных сценариев генезиса, свободным от неустойчивостей во все космологические эпохи, является тот, в котором, по крайней мере на первый взгляд, возникает режим сильной связи на очень ранних временах. Действительно, некоторые функции рассматриваемого в данной главе лагранжиана имеют нулевые асимптотики на больших отрицательных временах, и эффективная масса Планка стремится к нулю. Вообще говоря, это может сделать некорректным описание динамики методами классической теории поля. Анализ режима сильной связи, точнее, возможности применения классического полевого описания эволюции Вселенной на ранних стадиях производился путем сравнения двух характерных масштабов энергии. С одной стороны, это масштаб сильной связи, который имеется благодаря нелинейным слагаемым в лагранжиане, отвечающим за взаимодействия возмущений метрики. Были рассмотрены скалярные и тензорные возмущения метрики и третий порядок действия для этих возмущений. С другой стороны, имеется классический масштаб энергий — обратное характерное время эволюции космологического «фонового» решения (например, обратный параметр Хаббла). Чтобы говорить о применимости классического описания эволюции Вселенной на ранних временах, необходимо потребовать, чтобы этот классический масштаб был много меньше характерного масштаба сильной связи. Из этого условия и были получены ограничения на параметры теории. Отметим, что для нахождения масштаба сильной связи были рассмотрены все сектора возможных взаимодействий в третьем порядке: три скалярных возмущения, три тензорных, а также смешанный сектор, взаимодействия типа «скаляр-скаляр-тензор» и «скаляр-тензор-тензор». Интересно, что наиболее сильное условие на параметры лагранжиана следует из анализа вершин взаимодействия трех скалярных возмущений.

Во **второй главе** были построены уже конкретные несингулярные модели ранней Вселенной: отскок, генезис, а также их модификации. Показано, что эти модели устойчивы на всех временах и находятся вне сильной связи. Эти ранние эпохи могут переходить на последующую эпоху инфляции, а далее выйти с инфляции на стадию первичного разогрева.

Далее, в **третьей главе** была рассмотрена модель сжимающейся Вселенной, которая конформно связана с моделью инфляции. В такой модели не может быть никакого масштаба сильной связи, кроме планковской массы. Наивный же размерный анализ в такой модели отскока показал, что некоторый масштаб сильной связи все же есть. Поэтому в данной главе был проведен более точный анализ проблемы сильной связи с помощью диаграммной техники и он показал, что в действительности никаких масштабов сильной связи, кроме массы Планка в рассматриваемой модели сжимающейся Вселенной нет. Таким образом, было показано, что наивный анализ масштаба сильной связи не всегда дает правильный ответ и для того, чтобы определить применимость классического описания в некоторых моделях требуется проводить более точный анализ проблемы сильной связи с помощью диаграммной техники, соотношения унитарности и унитарных ограничений.

Наконец, в **четвертой главе** была рассмотрена теория, которая содержит скалярные поля с различными скоростями звука. Получены соотношения унитарности для парциальных амплитуд для процессов рассеяния. Используя соотношения унитарности, также были получены унитарные ограничения. Такие унитарные ограничения позволяют получить более точные оценки масштаба энергии сильной связи (например, в моделях отскока и генезиса, которые были построены в диссертации ранее). В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Замечания по работе

Поставленные цели и задачи диссертации Агеевой Ю. А. актуальны и важны в контексте современной теоретической космологии ранней Вселенной. Подводя итоги и оценивая диссертацию в целом, следует заключить, что она представляет собой актуальную научно-квалификационную работу, выполненную на достаточно высоком уровне и содержащую многочисленные новые результаты. Автор использует

обширный список литературы. В качестве недостатков, не снижающих значимости полученных результатов, можно отметить следующее:

1. Встречаются повторы в тексте, небольшое количество орфографических ошибок, а также использование жаргона.
2. В каждой главе диссертации стоило бы отдельно привести выводы по данной главе, а также указать, в каких именно статьях автора диссертации опубликованы результаты данной главы.
3. В разных главах диссертации используются обозначения из разных статей, в том числе не принадлежащих автору. При этом обозначения не всегда расшифровываются. Например, в главе 1 в тексте на стр. 24 обсуждается аддитивное слагаемое $D(\varphi)$, далее в формуле (16) и формулах, идущих перед ней, используются обозначения $D_\varphi, D, D \setminus B \circ x \varphi, \dots$ без дополнительных пояснений.
4. Лишь на части рисунков в главе 2 указано, что во всех вычислениях положено $(M_{Pl}^2)/2 = 1$. Следовало бы указать этот момент на каждом рисунке с поведением различных функций.
5. В главе 2 при рассмотрении конкретного численного примера параметры X_0 и Y_0 на странице 59 выбирались, по словам автора, «методом «проб и ошибок»». При этом не обсуждается, насколько сильно результат зависит от величины выбранных значений этих параметров.
6. В главе 3 в формулах (146) – (150) для массы Планка используются обозначения M_{Pl} и M_P , при этом не делается различие между $M_{Pl} = 1/\sqrt{G}$ и редуцированной массой Планка $M_P = 1/\sqrt{8\pi G}$.

Заключение

Отдельные перечисленные недостатки ни в коей степени не снижают высокого уровня диссертации. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Следует подчеркнуть общий высокий уровень работы, актуальность и научная новизна которой не вызывают сомнений. Все полученные результаты опубликованы. Всего по теме диссертации опубликовано 5 работ в ведущих реферируемых журналах из списка ВАК.

Очевиден большой, решающий вклад автора в работы, вошедшие в диссертацию. Достоверность и степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений. Диссертация Агеевой Юлии Александровны «Космологические решения в скалярно-тензорной теории Хорндески» удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика – за исследование и решение проблемы сильной связи в несингулярных космологических моделях ранней Вселенной.

Дата:

04.09.23

Официальный оппонент, профессор кафедры высшей математики Государственного Университета «Дубна», доктор физико-математических наук

Арбузова Елена Владимировна,

Адрес: Россия, 141980,

г. Дубна, ул. Университетская, 19

Тел.: +7 (496)216-60-79

Email: arbuzova@uni-dubna.ru

Подпись Арбузовой Е. В. удостоверяю:
начальник отдела кадров федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)

_____ В. А. Виноградова

М.П.

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Arbuzova E. V., Dolgov A. D., Panasenko L. A. On graviton propagation in curved space-time background // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2022. – Vol. 135. – №. 3. – P. 304-311.

2. Arbuzova E. V., Dolgov A. D., Singh R.S. R²-cosmology and new windows for superheavy dark matter // Symmetry. – 2021. – Vol. 13. – № 5. – P. 877-920.

3. Arbuzova E. V., Dolgov A. D., Singh R.S. Superheavy dark matter in R+R²-cosmology with conformal anomaly // The European Physical Journal C. – 2020. – Vol. 80. – № 11. – P. 1047-1058.

4. Arbuzova E. V., Dolgov A. D. Instability effects in F(R)-modified gravity and in gravitational baryogenesis // Physics of particles and nuclei. – 2019. – Vol. 50. – № 6. – P. 850 -943.

5. Arbuzova E. V., Dolgov A. D., Singh R.S. Dark matter in R+R²-cosmology // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. – 2019. – Vol. 4. – P. 014 -029.

6. Arbuzova E. V. Spontaneous and gravitational baryogenesis // International Journal of Modern Physics A. – 2018. – Vol. 33. – №. 31. – P. 1844023.

7. Arbuzova E. V., Dolgov A. D., Singh R. S. Distortion of the standard cosmology in R+R² theory // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. – 2018. – Vol. 2018. – №. 07. – P. 019.