

## ОТЗЫВ

официального оппонента Пастона Сергея Александровича на диссертационную работу Петрова Павла Константиновича на тему «Космологические решения в теориях со старшими производными. Самосогласованность классического описания», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика

Диссертационная работа Петрова Павла Константиновича посвящена изучению несингулярных космологических сценариев и проблемы сильной связи, которая возникает при их построении. В работе изучены теории, содержащие векторные поля со старшими производными в действии, такие теории описывают аналоги обобщенных галилеонов. В рамках данных теорий построена начальная стадия космологического генезиса. Для данной стадии найдены условия того, что решение находится в режиме слабой связи. Помимо этого, в диссертационной работе генезис также изучается в рамках теории Хорндески. Исследован вопрос о наличии масштаба сильной связи во всех порядках теории возмущений. В работе предложен новый метод, который позволяет найти масштаб сильной связи во всех порядках по теории возмущений для широкого класса несингулярных космологических моделей.

В диссертационной работе в рамках теории Хорндески также построен новый и несингулярный космологический сценарий Вселенной с отскоком. Для данного сценария изучена проблема сильной связи, как из размерных соображений, так и из условия унитарности  $S$ -матрицы. Найдена область значений параметров лагранжиана, для которой фоновое решение, реализующее данный сценарий, устойчиво и находится в режиме слабой связи, что означает, что теорию можно законно описывать посредством классической теории поля. После этого в построенной модели был найден класс лагранжианов, который приводит к генерации спектра космологических возмущений, который согласуется с экспериментальными данными для значений амплитуды и наклона скалярного спектра, а также  $n$ -отношения. Таким образом построенный сценарий может являться либо альтернативой инфляционного сценария, либо его дополнением.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, десяти приложений и списка литературы. Общий объем работы составляет 155 страниц. Все основные положения, выдвигаемые на защиту, являются новыми.

Во **Введении** обсуждается актуальность исследования новых несингулярных космологических сценариев ранней Вселенной, основанных на скалярно-тензорных теориях гравитации (теории Хорндески). Также рассматривается возможность создания векторных аналогов теории Хорндески и их применимость для построения несингулярных космологий. Отмечается, что в таких моделях может возникнуть проблема сильной связи, когда эффективная масса Планка стремится к нулю при больших отрицательных временах. Далее обсуждается возможность анализа этой проблемы во всех порядках по теории возмущений. Наконец, рассматривается вопрос о возможности построения в рамках теории Хорндески несингулярного космологического сценария с сильной гравитацией в прошлом, который бы соответствовал экспериментальным данным. В **главе 1** строятся векторные аналоги обобщенных галилеонов. Далее, построенные модели рассматриваются в случае наличия динамической гравитации. Затем проверяется, какие из найденных лагранжианов по-прежнему приводят к уравнениям движения, содержащим только вторые производные в случае наличия динамической гравитации. Помимо этого, подробно обсуждается устойчивое решение, нарушающее нулевое условие энергодоминантности. Также получены условия устойчивости и условие отсутствия сверхсветовых возмущений над однородным и изотропным фоновым решением. **Глава 2** посвящена построению сценария степенного генезиса в рамках векторного аналога обобщенных галилеонов. Исследуется вопрос сильной

связи в рассматриваемой модели. Также строится начальная стадия космологического генезиса в рамках векторного аналога обобщенных галилеевых. Помимо этого, проверяется устойчивость найденного фонового решения и отсутствие сверхсветовых возмущений над этим решением. Далее, **глава 3** содержит исследование потенциальной проблемы сильной связи во всех порядках по теории возмущений. Это вопрос изучается для модели генезиса в теории Хорндески с сильной гравитацией в прошлом. Также разрабатывается общий метод для анализа применимости классического описания во всех порядках по теории возмущений для несингулярных космологических сценариях, построенных в рамках теории Хорндески. Наконец, в **главе 4** строится сценарий Вселенной с отскоком в рамках теории Хорндески, с сильной гравитацией в прошлом, который приводит к спектру возмущений, согласующемуся с экспериментальными данными. Также обсуждаются противоречия, возникающие при попытке построить сценарий Вселенной с отскоком, который одновременно бы приводил к малому значению  $g$ -отношения и при этом позволял произвести генерацию возмущений в режиме слабой связи. Для анализа проблемы сильной связи на этапе генерации космологических возмущений и применимости классического описания используется как размерный анализ, так и оптическая теорема и следующие из нее унитарные ограничения. Показано, что анализ вопроса о сильной связи на основе унитарных ограничений позволяет получить гораздо более точный результат (с учетом всех численных коэффициентов), чем анализ вопроса сильной связи на основе размерных соображений. Помимо этого, строится два примера сценариев Вселенной с отскоком, которые приводят к красному и плоскому спектру для возмущений, соответственно. **Заключение** содержит краткую формулировку результатов исследований, представленных в диссертации.

Диссертационная работа написана понятным языком, введение дает возможность познакомиться с предметом исследования. В качестве **недостатка изложения** можно отметить некоторую небрежность, проявленную при оформлении текста: длинные формулы иногда выходят за рамки страницы, встречаются опечатки и признаки использования машинного перевода (очевидно – с англоязычных публикаций диссертанта). В главе 4 заметное число раз встречаются ссылки на несуществующие формулы, рисунки и источники, также в этой главе (в отличие от предшествующих) отсутствует вводная часть, что усложняет понимание целей проводимого в данной главе исследования.

По существу работы хотелось бы сделать два **замечания**.

**Первое замечание** связано с обсуждаемой автором возможностью нарушения "изотропного условия энергодоминантности" (формулы (1) и (2) диссертации). Автор никак не обсуждает имеющие гораздо более ясный физический смысл "слабое энергетическое условие" (смыслом которого является положительность плотности энергии в любой системе отсчета) и "условие энергодоминантности" (смыслом которого является требование отсутствия переноса энергии быстрее скорости света), терминология соответствует монографии [25] из списка литературы диссертации. Конкретно обсуждаемое в работе нарушение неравенства (2) соответствует нарушению слабого энергетического условия, что означает отрицательную плотность энергии в некоторой системе отсчета и было бы интересно обсудить, не может ли это приводить к неустойчивости теории, связанной с возможным рождением частиц с отрицательной энергией. Нарушение же условия энергодоминантности было бы интересно обсудить в контексте присутствующего в работе изучения наличия или отсутствия сверхсветовых возмущений. Также интересно было бы понять, для всех ли возмущений выполняется такое отсутствие при найденных в диссертации параметрах изучаемой теории, или это верно только для малых возмущений.

**Второе замечание** касается записи поведения величин при масштабном преобразовании в главе 2, в формулах, не имеющих номеров (что не слишком удобно) на стр. 29. Поскольку эти формулы не имеют вид равенств, из них оказывается непросто понять, что лагранжиан имеет размерность  $N$  не в единицах длины, а именно в единицах обратной длины. В результате проводимого ниже исследования обнаруживается, что для величины  $N$

критическим значением оказывается 4, что в четырехмерном пространстве-времени соответствует безразмерности стоящей перед действием константы связи. При меньших же значениях  $N$  эта константа связи имеет размерность отрицательной степени длины. Полезно было бы обсудить этот факт в тексте работы, поскольку наивные размерные соображения сразу показывают отсутствие сильной связи в этом случае при больших значениях времени  $t$ .

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, которая является актуальной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне и содержащую новые результаты. Поставленные цели и задачи диссертации П.К. Петрова **актуальны** и важны в контексте современной теоретической космологии ранней Вселенной. Полученные результаты **апробированы** выступлениями на различных научных конференциях международного и всероссийского уровня. **Достоверность** и степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывают сомнений. Автор использует достаточно обширный список литературы. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Все основные результаты диссертации являются **новыми**, они опубликованы в 4 печатных научных публикациях в ведущих реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Диссертация Петрова Павла Константиновича «Космологические решения в теориях со старшими производными. Самосогласованность классического описания» удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного 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.

Дата: 14.05.2024 г

Официальный оппонент,  
профессор, заведующий кафедрой физики высоких энергий и элементарных частиц  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет»,  
доктор физико-математических наук

Пастон Сергей Александрович

Адрес служебный: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7-9

Телефон: 8(812)428-45-53

E-mail: [s.paston@spbu.ru](mailto:s.paston@spbu.ru)

подпись Пастона С.А. заверил И.О. начальник отдела кадров

И.И. Константинова.

**Пастон Сергей Александрович**, доктор физико-математических наук по специальности: 01.04.02. - теоретическая физика.

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

1. A.D. Kapustin, M.V. Ioffe and S.A. Paston. Explicit isometric embeddings of collapsing dust ball // *Classical and Quantum Gravity* – 2020 – 37 – 075019
2. A.A. Sheykin, M.V. Ioffe, S.N. Manida, S.A. Paston. Polyakov-like approach to the modified gravity and other geometric theories // *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics* – 2020 – 17 – 2050037
3. A.A. Sheykin, D.P. Solovyev, V.V. Sukhanov, S.A. Paston. Modifications of gravity via differential transformations of field variables // *Symmetry* – 2020 – 12 – 240
4. S.A. Paston, Dark matter from non-relativistic embedding gravity // *Modern Physics Letters A* – 2021 – 36 – 2150101
5. A. D. Kapustin, S. A. Paston. Analytical analysis of the origin of core-cusp matter density distributions in galaxies // *JCAP* – 2022 – 11 – 025
6. S. Kuptsov, M. Ioffe, S. Manida, S. Paston. Weak Field Limit for Embedding Gravity // *Universe* – 2022 – 8 – 635
7. R. V. Ilin, S. A. Paston. Dual models for p-form mimetic gravity and their connection to perfect fluids consisting of (p+1)-branes // *Phys. Lett. B* – 2023 – 841 – № 137952
8. S. A. Paston. Dark matter as a gravitational effect in the embedding theory approach // *Theor. Math. Phys.* – 2023 – 216 – № 1382-1395