

На правах рукописи

Петров Павел Константинович

Космологические решения в теориях
со старшими производными.
Самосогласованность классического описания

1.3.3 — теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Научный руководитель:

Миронов Сергей Андреевич, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел теоретической физики, старший научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Долгов Александр Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», лаборатория космологии и элементарных частиц, руководитель лаборатории.

Пастон Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра физики высоких энергий и элементарных частиц, заведующий кафедрой.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук, г. Москва.

Защита состоится _____ в _____ часов на заседании диссертационного совета 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук по адресу: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЯИ РАН и на сайте по адресу: <http://www.inr.ru>.

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.163.01,
кандидат физ.-мат. наук

Демидов Сергей Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время благодаря обширным теоретическим исследованиям и экспериментальным данным мы имеем детальное представление о свойствах ранней Вселенной как качественные, так и количественные. Инфляционная теория [1–5] сейчас является доминирующей парадигмой, соответствующей результатам экспериментов. Согласно этой теории, перед горячей стадией существовала фаза быстрого, почти экспоненциального расширения Вселенной. Это интенсивное расширение объясняет большие размеры видимой части Вселенной, ее однородность и изотропность, а также плоскостность метрики. После инфляции происходит разогрев, решающий проблему энтропии и неоднородностей [6–9], что естественным образом объясняет начальные условия Вселенной. Были предложены многочисленные варианты моделей инфляции [10–23]. Экспериментальные и наблюдательные данные ограничивают возможные параметры теорий, но не дают однозначного ответа на выбор единственно верной теории [24]. Для окончательного подтверждения инфляционной теории необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования современной Вселенной. Например, многие модели инфляции предсказывают наличие реликтовых гравитационных волн во Вселенной, однако пока что такие эффекты не были обнаружены экспериментально.

Несмотря на огромный успех инфляционной теории в описание прошлого Вселенной в ней существуют проблемы. Одна из них - это наличие начальной сингулярности. Начальная сингулярность является характерным свойством инфляционных космологических решений [25]. С одной стороны данная проблема может быть решена посредством построения полной теории квантовой гравитации, которая могла бы описать полностью прошлое Вселенной. Другой способ - это предположить существование некоторой эффективной теории гравитации, которая позволит построить несингулярный сценарий ранней Вселенной. Помимо этого, исследование данного вопроса позволит проверить, какие модификации теории гравитации возможны и расширят наше знание о фундаментальном устройстве природы.

Таким образом, интересно исследовать альтернативные и несингулярные космологические сценарии ранней Вселенной, помимо инфляции. Изучение таких сценариев может как подтвердить теорию инфляции, если другие сценарии окажутся непригодными из-за несовместимости с наблюдениями или наличия внутренних противоречий,

так и дополнить инфляционную модель, например, устранив проблему начальной сингулярности.

Для построения несингулярных сценариев ранней Вселенной зачастую требуется нарушение [26] изотропного условия энергодоминантности (NEC) [25, 27], [28, 29]. Это условие имеет вид:

$$T_{\mu\nu}n^\mu n^\nu > 0, \quad (1)$$

для любого светоподобного вектора n^μ . В космологическом контексте это условие принимает вид

$$\rho + p > 0. \quad (2)$$

До недавнего времени считалось, что непатологично (без возникновения градиентных или духовых неустойчивостей) нарушить NEC невозможно. Например, в теориях действительного скалярного поля, минимально связанного с гравитацией и с лагранжианами, содержащими только первые производные, нарушение условия NEC приводит к неустойчивостям [13, 30].

Тем не менее возможно нарушить NEC без возникновения неустойчивостей в теориях, чьи лагранжианы включают старшие производные от полей. Одним из примеров является *теория Хорндески*, [31, 32]. Теория Хорндески — это скалярно-тензорная модификация гравитации:

$$\mathcal{S} = \int d^4x \sqrt{-g} \mathcal{L},$$

где g — это детерминант метрики и

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & G_2(\phi, X) - G_3(\phi, X)\square\phi + G_4(\phi, X)R + G_{4X} [(\square\phi)^2 - (\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^2] \\ & + G_5(\phi, X)G_{\mu\nu}\nabla^\mu\nabla^\nu\phi - \frac{1}{6}G_{5X} [(\square\phi)^3 - 3\square\phi(\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^2 + 2(\nabla_\mu\nabla_\nu\phi)^3], \end{aligned}$$

где R — это скаляр Риччи, ϕ — это действительное скалярное поле, $X = -\frac{g^{\mu\nu}\partial_\mu\phi\partial_\nu\phi}{2}$, $\square\phi = g^{\mu\nu}\nabla_\mu\nabla_\nu\phi$, $G_{4X} \equiv \partial G_4/\partial X$ и т.д. Здесь $G_{2,3,4,5}$ — это произвольные функции поля ϕ и X . Одной из интересных, актуальных и нерешенных задач является попытка обобщения теории Хорндески на другие поля помимо скалярных. Данные обобщения потенциально могут приводить к новым космологическим сценариям, которые были бы нереализуемы в рамках обычной скалярно-тензорной теории гравитации. Поэтому в рамках данной работы будут построены и изучены обобщения теории Хорндески на векторные поля.

Другая интересная проблема, которая возникает при попытке построить несингулярные сценарии Вселенной на основе теорий со старшими производными - это потенциальная опасность несамосогласованности классического описания. В работах [33, 34] для общей теории Хорндески, были сформулированы так называемые *запрещающие* теоремы (от англ. "no-go theorem") о невозможности построения устойчивых и несингулярных космологических решений на протяжении всей эволюции Вселенной. Один из способов обойти "no-go" теорему - это потребовать, чтобы эффективная масса Планка стремилась к нулю в асимптотическом прошлом. Другой способ - это использовать "расширенные" теории Хорндески (от англ. "beyond Horndeski theories") [35–37]. В данной диссертации я не рассматриваю эту возможность. Поэтому, если идти первым путем (т.е. рассматривать теории с потенциальной сильной связью в прошлом), то необходимо научиться давать ответ на вопрос о применимости классического описания к тому или иному несингулярному космологическому сценарию.

Одной из **актуальных** и новых задач в этой области является разработка метода, который позволил бы провести данный анализ (применимости классического описания), учитывая все порядки по теории возмущений. В данной диссертации будет разработан данный метод и применен для сценария космологического генезиса, построенного в рамках теории Хорндески и с сильной гравитацией в прошлом [34].

После разработки данного метода естественным образом возникает новая **актуальная** и важная задача, а именно: построение устойчивого и несингулярного космологического сценария, для которого применимо классическое описание на ранних этапах эволюции, а также который приводит к наклонам спектров, согласующихся с экспериментальными данными. Данная задача обладает высокой актуальностью, так как данный сценарий способен быть полноценной и непатологической альтернативой теории инфляции. Он не только решает проблему начальной сингулярности, но и позволяет экспериментально проверить ультрафиолетовые модификации теории гравитации.

В данной диссертации будет построен и проанализирован подобный сценарий, а именно: сценарий Вселенной с отскоком в рамках теории Хорндески. Для данного сценария будет найден спектр космологических возмущений. А затем данный спектр будет сравнен с экспериментальными данными.

Цель диссертации

Цель данного диссертационного исследования - изучить теории с лагранжианами, содержащими старшие производные, и построить несингулярные космологические сценарии на основе этих теорий. Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

- Построить векторный аналог обобщенных галилеонов, а далее исследовать космологические сценарии, которые можно построить на их основе.
- Разработать метод исследования вопроса сильной связи для несингулярных космологических сценариев во всех порядках по теории возмущений. И применить данный метод к конкретным космологическим сценариям.
- Наконец, построить полный и устойчивый на всех временах сценарий Вселенной с отскоком, который приводит к спектру возмущений, согласующемуся с экспериментом.

Научная новизна и практическая ценность

Все основные положения, выдвигаемые на защиту, являются новыми. Так, построение векторных аналогов обобщенных галилеонов является новой задачей, которая до этого не освещалась в литературе.

Также до сих пор не был разработан метод, который позволяет проанализировать сильную связь во всех порядках по теории возмущений для несингулярных космологических сценариев с сильной гравитацией в прошлом. Поэтому данная задача является новой.

До сих пор в рамках теории Хорндески не был построен сценарий Вселенной с отскоком, с сильной гравитацией в прошлом, который бы приводил к спектру возмущений, совпадающему с экспериментальными данными.

Все результаты, полученные в диссертации имеют теоретическое значение. Предложенный устойчивый космологический сценарий Вселенной с отскоком в рамках подкласса теории Хорндески без начальной сингулярности и без сильной связи в прошлом являет собой реалистичный пример модели ранней Вселенной. Также этот сценарий приводит к наклонам спектров, которые совпадают с экспериментальными данными. Благодаря тому, что построенная модель в будущем выходит на стадию, где динамика расширения определяется безмассовым скалярным полем и стандартной ОТО, указанный сценарий допускает естественный выход на горячую стадию после

отскока, что делает данное решение интересным с точки зрения построения полной модели Вселенной.

Положения, выносимые на защиту

1. Построены новые модели, содержащие векторные поля. Данные модели являются аналогами обобщенных галилеонов и представляют интерес для построения различных космологических сценариев. Также в рамках данной модели возможно существование фоновых решений, которые стабильны, несмотря на отсутствие калибровочной инвариантности. Некоторые из этих фоновых решений нарушают нулевое условие энергодоминантности.
2. В рамках класса моделей с векторными аналогами обобщенных галилеонов построена ранняя стадия космологического генезиса, для которой фоновое решение является устойчивым и находится вне режима сильной связи.
3. Для модели космологического генезиса с сильной гравитацией в прошлом проведен анализ проблемы сильной связи для всех порядков теории возмущений. Были сформулированы условия отсутствия сильной связи в данной модели.
4. Построена модель Вселенной с отскоком в рамках теории Хорндески. В рамках этой модели показано, что спектры космологических возмущений, совпадающие с экспериментальными, могут быть сгенерированы на ранней стадии сжатия. Малость r -отношения определяется малостью скалярной скорости звука. Произвольно малые значения r -отношения запрещены в нашей модели из-за условия отсутствия сильной связи в прошлом. Тем не менее, показывается, что возможно генерировать возмущения контролируемым образом, т.е. в режиме, где фоновая эволюция и возмущения законно описываются в рамках классической теории поля и слабосвязанной квантовой теории.

Апробация диссертации

Основные результаты, изложенные в диссертации, были представлены на следующих конференциях и семинарах:

1. "Степенной генезис: Сильная связь и векторные галилеонные поля". 30 апреля 2020 г. Семинары отдела теоретической физики ИЯИ РАН, Москва, Россия.

2. «Сценарий космологического генезиса в теории Хорндески, самосогласованность классического описания» 19-20 апреля. Молодежная конференция по физике элементарных частиц и космология, 2021, X, Москва, Россия.
3. "Генерация космологических возмущений в модели Вселенной с отскоком, в теории Хорндески". Международная конференция по физике элементарных частиц и космологии 02-07 октября 2023 г. Ереван, Армения.
4. «Космологические возмущение в модели Вселенной с отскоком в теории Хорндески.», Семинар теоретической группы МФТИ, 7 ноября 2023 г., Москва, Россия

Результаты также были представлены 19 февраля 2024 г. на семинаре отдела теоретической физики Института ядерных исследований Российской академии наук.

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и RSCI:

1. P. Petrov, "Galileon-like vector fields," Phys. Rev. D 100, no.2, 025006 (2019) [arXiv:1812.11134 [hep-th]].
2. P. K. Petrov, "Power-law Genesis: strong coupling and galileon-like vector fields," Mod. Phys. Lett. A 35, no.37, 2050305 (2020) [arXiv:2004.13123 [hep-th]].
3. Y. Ageeva, P. Petrov and V. Rubakov, "Horndeski genesis: consistency of classical theory," JHEP 12, 107 (2020) [arXiv:2009.05071 [hep-th]].
4. Y. Ageeva, P. Petrov and V. Rubakov, "Generating cosmological perturbations in non-singular Horndeski cosmologies," JHEP 01, 026 (2023) [arXiv:2207.04071 [hep-th]].

Личный вклад автора

Все результаты, выносимые на защиту, получены лично автором или при его непосредственном участии. Автор принимал прямое участие в написании текста и подготовке всех статей, которые легли в основу данной диссертации.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, десяти приложений и списка литературы. Общий объем работы 155 страниц. Диссертация содержит 20 рисунков. Список литературы включает 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** приводятся мотивация и актуальность исследования новых несингулярных космологических сценариев ранней Вселенной, альтернативных теории инфляции. Обсуждаются особенности построения таких несингулярных сценариев в рамках скалярно-тензорных теорий гравитации (теории Хорндески). Также обсуждается возможность построения векторных аналогов теории Хорндески и применение данных теорий для построения несингулярных космологий. Также во введении отмечается, что в рассматриваемых несингулярных моделях ранней Вселенной может возникнуть проблема сильной связи: эффективная масса Планка стремится к нулю при больших отрицательных временах, что кажется противоречивым для классического анализа теории. После обсуждается возможность анализа вопроса сильной связи во всех порядках по теории возмущений. А затем вопрос о построении несингулярного космологического сценария с сильной гравитацией в прошлом, который бы приводил к наклонам спектров, согласующихся с экспериментальными данными.

В **главе 1** рассматриваются векторные аналоги обобщенных галилеонов. Так, в параграфе 1.1 строятся векторные аналоги обобщенных галилеонов в пространстве Минковского. В параграфе 1.2 построенные модели рассматриваются в случае включения динамической гравитации. Затем проверяется, какие из построенных лагранжианов по-прежнему приводят к уравнениям движения, содержащим только вторые производные в случае включения динамической гравитации. В параграфе 1.3 подробно обсуждается устойчивое решение, нарушающее нулевое условие энергодоминатности. 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, который был построен в главе 1. В параграфе 2.1 исследуется вопрос сильной связи в рассматриваемой модели. Параграф 2.2 посвящен построению и анализу начальной стадии космологического генезиса в рам-

ках векторного аналога обобщенных галилеонов. Также показывается устойчивость найденного фонового решения и отсутствие сверхсветовых возмущений над этим решением. В параграфе 2.3 содержатся основные результаты, которые были получены в главе 2.

Далее, **глава 3** содержит исследование потенциальной проблемы сильной связи на ранних временах и во всех порядках по теории возмущений. Это исследование проводится для модели генезиса в теории Хорндески с сильной гравитацией в прошлом. В параграфе 3.1 описывается модель и выводятся общие формулы, которые будут применяться в дальнейшем. В параграфе 3.2 проводится предварительный анализ вопроса сильной связи в рассматриваемой модели генезиса. Параграф 3.3 посвящен полному анализу вопроса о потенциальном наличии сильной связи в асимптотическом прошлом для данного сценария. Наконец, в параграфе 3.4 содержатся основные результаты главы 3.

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. В параграфе 4.1 рассматриваются степенные решения в моделях, построенных на основе теорий Хорндески. Эти степенные решения соответствуют начальной стадии сжатия в сценарии Вселенной с отскоком. Параграф 4.2 посвящен вопросу генерации космологических возмущений на ранней стадии сжатия. В параграфе 4.3 рассматривается возможность получения плоского спектра в данной модели и связь этого вопроса с масштабной инвариантностью. Иными словами, показывается, что возможно получить плоский спектр для возмущений, при наличии масштабной инвариантности в теории. Параграф 4.4 посвящен анализу противоречий, возникающих при попытке построить сценарий Вселенной с отскоком, который одновременно бы приводил к малому значению r - отношения и при этом позволял произвести генерацию возмущений в режиме слабой связи. Параграф 4.5 посвящен выводу унитарных ограничений из оптической теоремы. Затем рассматривается вопрос о том, к какому масштабу сильной связи приводят эти 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. В параграфе 4.6 строятся два примера сценариев Вселенной с отскоком, которые приводят к красному и плоскому спектру для

возмущений, соответственно. В параграфе 4.7 приводятся основные результаты, полученные в главе 4.

Заключение содержит краткую формулировку результатов исследований, представленных в диссертации.

Приложение А содержит анализ возможных структур лагранжианов для векторных галилеонных полей. Приложение В посвящено разложению по теории возмущений лагранжиана для теории Хорндески. В приложение С решаются уравнения связи для нединамических переменных. В приложении D решаются уравнения связи, полученные в приложении В. В приложении Е приводятся общие формулы для модели Хорндески. Приложение F посвящено получению спектра для возмущений. В приложение G ищутся самые значимые (в смысле ограничения на отсутствие сильной связи) слагаемые в кубическом лагранжиане. В приложение H по лагранжиану, заданному в ADM формализме, строится ковариантный лагранжиан. Приложение I посвящено получению масштабного фактора и параметра Хаббла в системе Эйнштейна. В приложении J в рамках теории Хорндески строится численный пример стабильного космологического сценария Вселенной с отскоком, который приводит к спектру возмущений, совпадающему с экспериментальным.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В диссертации изучались теории со старшими производными и их применение к построению космологических решений без начальной сингулярности. Одним из важных вопросов при построении несингулярных сценариев является вопрос самосогласованности классического описания на ранних этапах эволюции Вселенной.

Также были построены векторные аналоги теории Хорндески. Для этих новых моделей была исследована возможность существования устойчивого фонового решения, нарушающего NEC, а также на основе этих моделей была построена начальная стадия космологического генезиса. Для анализа вопроса сильной связи в этой модели были рассмотрены Лагранжианы для M бозонных полей, которые в отсутствие гравитации ковариантны относительно однородных масштабных преобразований. Было доказано, что для моделей такого типа может существовать однородное и изотропное классическое решение полевых уравнений движения. Далее были изучены малые полевые возмущения над классическим фоновым решением. После этого был получен общий вид квадратичного и старшего Лагранжианов для скалярных полевых возмущений. Было показано, что члены взаимодействия, входящие в старшие Лагранжианы для возмущений, приводят к возникновению масштаба сильной связи Λ в данной теории, и то что этот масштаб имеет степенной закон поведения:

$$\Lambda \propto |t|^{-\sigma}.$$

Дальнейший анализ режима сильной связи или, иными словами, возможности применения классического решения уравнений движения для описания эволюции системы основан на сравнении характерных масштабов энергии: для того чтобы выяснить, является ли классический подход к описанию модели законным, необходимо найденный масштаб сильной связи сравнить с обратным характерным временем эволюции решения. Таким образом, для того чтобы классическое описание системы оставалось законным я требую, чтобы масштаб сильной связи был много больше характерной скорости эволюции классического решения. После наложения такого требования, приходим к условию на параметры масштабного преобразования.

Если квадратичный Лагранжиан для возмущений имеет невырожденный и диагональный вид, то утверждение про отсутствие сильной связи в модели применимо также и в том случае, когда присутствуют векторные поля в теории. В этом случае часть индексов

нумерирующих скалярные поля формально выступает в качестве Лоренцевых индексов и нумеруют компоненты векторного поля.

Также был построен пример векторного галилеевского Лагранжиана, который ковариантен относительно масштабных преобразований и имеет диагональный и невырожденный квадратичный Лагранжиан для полевых возмущений над однородным и изотропным фоновым решением. Также в этом разделе даётся явный вид искомого фонового решения. Таким образом был построен пример Лагранжиана для векторных галилеевских полей, имеющий фоновое решение, которое применимо для классического описания системы, в том случае, когда пренебрегаем влиянием динамической гравитации. Затем был найден тензор энергии-импульса для фонового решения. Также было получено условие нарушения NEC этим фоновым решением. Затем были получены условия устойчивости и условия отсутствия сверхсветовых возмущений для сконструированного Лагранжиана для однородного и изотропного фонового решения в плоском пространстве. Была показана возможность существования области значений свободных параметров приводящих к устойчивости решения, отсутствию сверхсветовых возмущений над решением и к нарушению условия NEC. Таким образом построенный Лагранжиан, аналогично теориям со скалярными галилеевскими, может быть одним из кандидатов на роль эффективной полевой теории, пригодной для построения различных нестандартных космологических сценариев, например сценария генезиса.

Также было найдено устойчивое решение, нарушающее изотропное условие энергодоминантности. Это означает, что на основе лагранжианов с векторными галилеевскими полями также возможно построение космологических моделей, рассматривающих нарушения условия NEC.

Был разработан метод, который позволяет оценить масштаб сильной связи во всех порядках по теории возмущений. Данный метод был применен для сценария генезиса, построенного в рамках теории Хорндески. Подводя итог, можно сказать, что рассматриваемый сценарий генезиса допускает описание классической теорией поля ранней стадии генезиса при условии, что параметры модели выбраны в диапазоне

$$2\mu > 1 + \delta > 1,$$

$$\mu + \frac{3}{2}\delta < 1,$$

где δ и μ - параметры лагранжиана. Эта эпоха генезиса примечательна тем, что при $t \rightarrow -\infty$, эффективная планковская масса стремится к нулю, что является необходимым условием в теориях Хорндески (в отличие от их обобщений) для избежания нестабильностей в течение всей эволюции. Тем не менее, энергетический масштаб сильной связи E_{strong} остается значительно выше энергетического масштаба классической эволюции $E_{class} \sim t^{-1}$, в той мере, в какой

$$\frac{E_{strong}(t)}{E_{class}(t)} \rightarrow \infty \quad \text{при } t \rightarrow -\infty .$$

Это связано с тем, что члены взаимодействия в действии для возмущений достаточно быстро стремятся к нулю на минус бесконечности. Рассматриваемая модель, является всего лишь одним из примеров непротиворечивой несингулярного космологического сценария.

Также в диссертации были изучены, в рамках теории Хорндески, космологическая стадия, которая впоследствии, через стадию отскока, переходит к реалистичному космологическому расширению. Было обнаружено, что этот этап способен обеспечить экспериментально согласованный скалярный спектр и достаточно малое тензорно-скалярное r - отношение. В построенной модели малое значение r - отношения требует малой скалярной скорости звука. Последнее свойство находится в потенциальном противоречии с требованием слабой связи во время генерации скалярных возмущений. Таким образом, очень малые значения r - отношения недостижимы для построенной модели. Это свойство иллюстрируется на численных примерах, которые были построены в рамках теории Хорндески.

Основные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и RSCI:

1. P. Petrov, "Galileon-like vector fields," Phys. Rev. D 100, no.2, 025006 (2019) [arXiv:1812.11134 [hep-th]].
2. P. K. Petrov, "Power-law Genesis: strong coupling and galileon-like vector fields," Mod. Phys. Lett. A 35, no.37, 2050305 (2020) [arXiv:2004.13123 [hep-th]].

3. Y. Ageeva, P. Petrov and V. Rubakov, “Horndeski genesis: consistency of classical theory,” JHEP 12, 107 (2020) [arXiv:2009.05071 [hep-th]].
4. Y. Ageeva, P. Petrov and V. Rubakov, “Generating cosmological perturbations in non-singular Horndeski cosmologies,” JHEP 01, 026 (2023) [arXiv:2207.04071 [hep-th]].

Список литературы

- [1] Guth A. H. The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems // Phys. Rev. D. — 1981. — Vol. 23. — P. 347–356.
- [2] Starobinsky A. A. A New Type of Isotropic Cosmological Models Without Singularity // Phys. Lett. B. — 1980. — Vol. 91. — P. 99–102.
- [3] Sato K. First Order Phase Transition of a Vacuum and Expansion of the Universe // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1981. — Vol. 195. — P. 467–479.
- [4] Linde A. D. A New Inflationary Universe Scenario: A Possible Solution of the Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems // Phys. Lett. B. — 1982. — Vol. 108. — P. 389–393.
- [5] Albrecht A., Steinhardt P. J. Cosmology for Grand Unified Theories with Radiatively Induced Symmetry Breaking // Phys. Rev. Lett. — 1982. — Vol. 48. — P. 1220–1223.
- [6] Hawking S. W. The Development of Irregularities in a Single Bubble Inflationary Universe // Phys. Lett. B. — 1982. — Vol. 115. — P. 295.
- [7] Starobinsky A. A. Dynamics of Phase Transition in the New Inflationary Universe Scenario and Generation of Perturbations // Phys. Lett. B. — 1982. — Vol. 117. — P. 175–178.
- [8] Guth A. H., Pi S. Y. Fluctuations in the New Inflationary Universe // Phys. Rev. Lett. — 1982. — Vol. 49. — P. 1110–1113.

- [9] Bardeen J. M., Steinhardt P. J., Turner M. S. Spontaneous Creation of Almost Scale - Free Density Perturbations in an Inflationary Universe // Phys. Rev. D. — 1983. — Vol. 28. — P. 679.
- [10] Adams F. C., Freese K. Double field inflation // Phys. Rev. D. — 1991. — Vol. 43. — P. 353–361. — hep-ph/0504135.
- [11] Natural inflation: Particle physics models, power law spectra for large scale structure, and constraints from COBE / Adams F. C., Bond J. R., Freese K., Frieman J. A., and Olinto A. V. // Phys. Rev. D. — 1993. — Vol. 47. — P. 426–455. — hep-ph/9207245.
- [12] Peebles P. J. E., Vilenkin A. Quintessential inflation // Phys. Rev. D. — 1999. — Vol. 59. — P. 063505. — astro-ph/9810509.
- [13] Armendariz-Picon C., Damour T., Mukhanov V. F. k - inflation // Phys. Lett. B. — 1999. — Vol. 458. — P. 209–218. — hep-th/9904075.
- [14] Dvali G. R., Shafi Q., Solganik S. D-brane inflation // 4th European Meeting From the Planck Scale to the Electroweak Scale. — 2001. — 5. — hep-th/0105203.
- [15] Alishahiha M., Silverstein E., Tong D. DBI in the sky // Phys. Rev. D. — 2004. — Vol. 70. — P. 123505. — hep-th/0404084.
- [16] Boubekour L., Lyth D. H. Hilltop inflation // JCAP. — 2005. — Vol. 07. — P. 010. — hep-ph/0502047.
- [17] Kobayashi T., Yamaguchi M., Yokoyama J. G-inflation: Inflation driven by the Galileon field // Phys. Rev. Lett. — 2010. — Vol. 105. — P. 231302. — 1008.0603.
- [18] Higgs G-inflation / Kamada K., Kobayashi T., Yamaguchi M., and Yokoyama J. // Phys. Rev. D. — 2011. — Vol. 83. — P. 083515. — 1012.4238.
- [19] Higgs inflation: consistency and generalisations / Bezrukov F., Magnin A., Shaposhnikov M., and Sibiryakov S. // JHEP. — 2011. — Vol. 01. — P. 016. — 1008.5157.
- [20] Germani C., Kehagias A. New Model of Inflation with Non-minimal Derivative Coupling of Standard Model Higgs Boson to Gravity // Phys. Rev. Lett. — 2010. — Vol. 105. — P. 011302. — 1003.2635.

- [21] Germani C., Kehagias A. Cosmological Perturbations in the New Higgs Inflation // JCAP. — 2010. — Vol. 05. — P. 019. — [Erratum: JCAP 06, E01 (2010)]. 1003.4285.
- [22] Germani C., Kehagias A. UV-Protected Inflation // Phys. Rev. Lett. — 2011. — Vol. 106. — P. 161302. — 1012.0853.
- [23] Kobayashi T., Yamaguchi M., Yokoyama J. Generalized G-inflation: Inflation with the most general second-order field equations // Prog. Theor. Phys. — 2011. — Vol. 126. — P. 511–529. — 1105.5723.
- [24] Aghanim N. et al. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters // Astron. Astrophys. — 2020. — Vol. 641. — P. A6. — [Erratum: Astron.Astrophys. 652, C4 (2021)]. 1807.06209.
- [25] Hawking S. W., Ellis G. F. R. The Large Scale Structure of Space-Time. Cambridge Monographs on Mathematical Physics. — Cambridge University Press, 2023. — 2. — ISBN: 978-1-00-925316-1, 978-1-00-925315-4, 978-0-521-20016-5, 978-0-521-09906-6, 978-0-511-82630-6, 978-0-521-09906-6.
- [26] Penrose R. Gravitational collapse and space-time singularities // Phys. Rev. Lett. — 1965. — Vol. 14. — P. 57–59.
- [27] Tipler F. J. Energy conditions and spacetime singularities // Phys. Rev. D. — 1978. — Vol. 17. — P. 2521–2528.
- [28] Aref'eva I. Y., Volovich I. V. On the null energy condition and cosmology // Theor. Math. Phys. — 2008. — Vol. 155. — P. 503–511. — hep-th/0612098.
- [29] Rubakov V. A. The Null Energy Condition and its violation // Phys. Usp. — 2014. — Vol. 57. — P. 128–142. — 1401.4024.
- [30] Garriga J., Mukhanov V. F. Perturbations in k-inflation // Phys. Lett. B. — 1999. — Vol. 458. — P. 219–225. — hep-th/9904176.
- [31] Horndeski G. W. Second-order scalar-tensor field equations in a four-dimensional space // Int. J. Theor. Phys. — 1974. — Vol. 10. — P. 363–384.
- [32] General second order scalar-tensor theory, self tuning, and the Fab Four / Charmousis C., Copeland E. J., Padilla A., and Saffin P. M. // Phys. Rev. Lett. — 2012. — Vol. 108. — P. 051101. — 1106.2000.

- [33] Libanov M., Mironov S., Rubakov V. Generalized Galileons: instabilities of bouncing and Genesis cosmologies and modified Genesis // JCAP. — 2016. — Vol. 08. — P. 037. — 1605.05992.
- [34] Kobayashi T. Generic instabilities of nonsingular cosmologies in Horndeski theory: A no-go theorem // Phys. Rev. D. — 2016. — Vol. 94, no. 4. — P. 043511. — 1606.05831.
- [35] Zumalacárregui M., García-Bellido J. Transforming gravity: from derivative couplings to matter to second-order scalar-tensor theories beyond the Horndeski Lagrangian // Phys. Rev. D. — 2014. — Vol. 89. — P. 064046. — 1308.4685.
- [36] Healthy theories beyond Horndeski / Gleyzes J., Langlois D., Piazza F., and Vernizzi F. // Phys. Rev. Lett. — 2015. — Vol. 114, no. 21. — P. 211101. — 1404.6495.
- [37] Exploring gravitational theories beyond Horndeski / Gleyzes J., Langlois D., Piazza F., and Vernizzi F. // JCAP. — 2015. — Vol. 02. — P. 018. — 1408.1952.

Научное издание
Петров Павел Константинович
Космологические решения в теориях
со старшими производными.
Самосогласованность классического описания

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Принято в печать 28.03.2024

Ф-т 60x84/16 Уч.-изд.л. 0,9 Зак. № 22536 Тираж 80 экз. Бесплатно

Печать цифровая

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук

Издательский отдел

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а