

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический ИНСТИТУТ



имени

П.Н.Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, ГСП-1, Москва,
Ленинский проспект, 53, ФИАН

Телефоны: (499) 135 1429

(499) 135 4264

Телефакс: (499) 135 7880

<http://www.lebedev.ru>

postmaster@lebedev.ru

Дата

№

На №

от

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Физического института

им. П.Н. Лебедева РАН

член-корреспондент РАН,

профессор,

д.ф.-м.н. _____

Н.Н.Колачевский

« 16 » мая 2024 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации "Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН"

на диссертацию Петрова Павла Константиновича

"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.

Диссертация Петрова П.К. посвящена исследованию несингулярных космологических сценариев, а именно сценарию Вселенной с отскоком, а также построению векторных аналогов теории Хорндески и исследованию возможности создания новых несингулярных космологических сценариев на основе найденных теорий. Помимо этого, в диссертационной работе уделяется внимание проблеме сильной связи. Одной из проблем, которая возникает при попытке построить такие сценарии как генезис и Вселенная с отскоком, является проблема сильной связи. Как известно, полностью стабильные и

несингулярные космологические сценарии, построенные в рамках обобщенных галилеонов, запрещены No-go теоремой. Тем не менее модели с сильной гравитацией в прошлом нарушают эту теорему и позволяют строить такой тип космологий. Однако, в таком классе моделей является возможным возникновение режима сильной связи, иными словами, классическое описание может стать неприменимым. В диссертационной работе Петрова П.К. данный вопрос обсуждается как на основе размерных соотношений, так и как следствие унитарности S – матрицы. Действительно, масштаб сильной связи на ранних временах можно получить, рассматривая размерность и асимптотическое поведение префактора в членах взаимодействия. С другой стороны, можно потребовать унитарность S – матрицы, как следствие получить оптическую теорему и унитарные ограничения.

В диссертационном исследовании Петрова П.К. анализ проводится двумя способами, а также показывается, что унитарные ограничения позволяют получить более точную оценку масштаба сильной связи. Помимо этого, разрабатывается метод оценки масштаба сильной связи во всех порядках по теории возмущений. Данный метод актуален и применим, для различных несингулярных космологических моделей, которые построены в рамках теории Хорндески. Также в диссертационной работе Петрова П.К. данный метод применяется для космологического генезиса с сильной гравитацией в прошлом. Одним из главных предметов данного диссертационного исследования является построение несингулярного космологического сценария Вселенной с отскоком, предсказания которого совпадают с экспериментальными данными. Однако при реализации такой программы возникают трудности, а именно при попытках согласовать требование отсутствия сильной связи на ранних временах с малым значением g – отношения. В диссертационном исследовании Петрова П.К. это решается посредством использования более точного (чем размерные соображения) метода нахождения энергетического масштаба сильной связи из унитарных ограничений. Таким образом в данной диссертационной работе удалось построить полностью непатологичный и несингулярный сценарий Вселенной с отскоком в рамках теории Хорндески. Данный сценарий приводит к спектру космологических возмущений, который согласуется с экспериментальными данными. Но, помимо этого, этот сценарий приводит к ряду нетривиальных предсказаний, что делает данную теорию феноменологически отличимой от классической теории инфляции.

Первая глава диссертации Петрова П.К. посвящена построению векторных аналогов обобщенных галилеонов. В начале искомые лагранжианы строятся в пространстве Минковского. Затем полученные конструкции обобщаются на случай наличия динамической гравитации. Выясняется, что невозможно построить калибровочно-инвариантные лагранжианы со старшими производными, которые приводят к уравнениям движения, не содержащим старшие производные. Тем не менее в первой главе диссертации показывается,

что возможно найти устойчивое фоновое решение. Это решение нарушает изотропное условие энергодоминантности, что открывает путь к построению несингулярных космологических сценариев. Также в данной главе находятся условия устойчивости однородного и изотропного фонового решения и условия отсутствия сверхсветовых возмущений над фоновым решением.

Далее, во **второй главе** диссертации Петрова П.К. на основе векторных аналогов теории Хорндески строится начальная стадия космологического генезиса. Для найденного космологического сценария исследуется вопрос устойчивости и отсутствия сверхсветовых возмущений для фонового решения. Приводится пример фонового решения, удовлетворяющего требованиям устойчивости и требованию отсутствия сверхсветовых возмущений. Помимо этого, находится значение параметра Хаббла и масштабного фактора. Также для построенного космологического сценария исследуются вопросы о применимости классического описания, т.е. определяется энергетический масштаб сильной связи.

Третья глава диссертационного исследования Петрова П.К. посвящена анализу проблемы сильной связи во всех порядках по теории возмущений. В данной главе разрабатывается метод, основанный на подсчете степеней и анализе структуры членов взаимодействия в лагранжианах для возмущений над однородным фоновым решением. Разработанный метод позволяет провести анализ вопроса сильной связи для широкого класса космологических моделей с сильной гравитацией в прошлом. Анализ проводится как для тензорных возмущений, так и для скалярных. Затем разработанный метод применяется для космологического генезиса, построенного в рамках теории Хорндески. Для рассматриваемой космологической модели определяется область параметров лагранжиана, для которой применимо классическое описание эволюции фонового решения. Также показывается, что самое сильное ограничение на параметры лагранжиана приходит из кубического лагранжиана для скалярных возмущений. После наложения условия отсутствия сильной связи и устойчивости удается построить космологический сценарий генезиса, который может быть либо альтернативой, либо дополнением к стандартному инфляционному сценарию.

Наконец, в **четвертой главе** диссертации строится модель Вселенной с отскоком с сильной гравитацией в прошлом. Показывается, что требование отсутствия сильной связи в прошлом находится в противоречии с требованием малости g – отношения. Тем не менее, при использовании более точного метода оценки масштаба сильной связи, следующего из унитарных ограничений и оптической теоремы, удается найти пространство параметров лагранжиана, для которого фоновое решение, описывающее Вселенную с отскоком, находится вне режима сильной связи. Для найденного решения исследуется вопрос устойчивости, как численно, так и аналитически. Затем вычисляются скалярные и тензорные спектры космологических возмущений, показывается, что при

небольшой подстройке параметров модели удается достигнуть предсказаний, совпадающих с современными экспериментальными данными. Также построенный сценарий приводит к ряду нетривиальных предсказаний, которые отличают его от стандартного инфляционного сценария. В заключении данной главы диссертационного исследования строятся два численных примера Вселенной с отскоком. Один из примеров дает красный наклон спектра скалярных возмущений. А второй пример приводит к плоскому спектру скалярных возмущений.

Замечания по работе

Диссертация Петрова П.К. в целом написана ясно, адекватно освещает цели, методы и результаты проделанной работы. К ней, однако, имеется несколько замечаний и вопросов, которые не снижают ее ценности. С точки зрения оформления в диссертации имеется ряд орфографических ошибок и пропущенных номеров формул, на которые делаются ссылки. Трудно также согласиться с терминологией, которая иногда нарушает нормы русского языка. Например, термин «отрешенное действие» очевидно нужно было бы заменить на «действие в физическом секторе», поскольку оно является следствием гамильтоновой редукции посредством решения связей и наложения калибровок. Также функция «хода» в формализме АДМ почему-то называется функцией «сдвига». Из числа вопросов по существу следует отметить, что решение связей как правило ведет к пространственным нелокальностям – отрицательным степеням пространственных производных, что следовало бы отдельно обсудить в контексте проблемы сильной связи. Главный вопрос в контексте этой проблемы заключается в том, что уточненное нахождение масштаба сильной связи из оптической теоремы основано на амплитудах рассеяния в плоском пространстве-времени, и хотелось бы иметь качественную и, возможно, количественную оценку поправок за счет кривизны пространства-времени с фоновой космологической метрикой.

Заключение

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертационная работа Петрова П.К. является законченной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 1.3.3 - теоретическая физика. Она вносит существенный вклад в исследование альтернативных несингулярных сценариев эволюции ранней Вселенной. А также в диссертационной работе строится новый космологический сценарий Вселенной с отскоком, который согласуется с современными экспериментальными данными, но при этом приводит к нетривиальным предсказаниям, которые отличаются от теории инфляции. Таким образом построенный сценарий может являться альтернативой стандартной инфляционной теории.

Результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, неоднократно докладывались автором на конференциях и семинарах. Содержание диссертации полно и точно отражено в автореферате.

Результаты диссертации Петрова П.К. были заслушаны, обсуждены и одобрены на научном семинаре в отделении теоретической физики имени И. Е. Тамма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН.

Диссертация Петрова Павла Константиновича «Космологические решения в теориях со старшими производными. Самосогласованность классического описания» 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 построение космологического сценария Вселенной с отскоком с сильной гравитацией в прошлом, который приводит к предсказаниям, согласующимся с современными экспериментальными данными.

Отзыв составил:

ведущий научный сотрудник лаборатории теории фундаментальных взаимодействий
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН

доктор физ.-мат. наук
Тел.: +7(499)132-60-49
Email: barvin@lpi.ru

А.О.Барвинский

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук
Адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, дом 53
Телефон: 8(499)135-42-64
E-mail: postmaster@lebedev.ru

Список основных публикаций работников организации по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

1. A. O. Barvinsky, A.V.Kurov and S.M. Sibiryakov, Asymptotic freedom in (3+1)-dimensional projectable Horava gravity: Connecting the ultraviolet and infrared domains. //Phys. Rev. D – 2023. – Vol. – 108. – No.12. – L. 121503.
2. A. O. Barvinsky, N. Kolganov, Nonequilibrium Schwinger-Keldysh formalism for density matrix states: Analytic properties and implications in cosmology. //Phys. Rev. D –2024. –Vol. 109. – No. 2. – 025004
3. A. O. Barvinsky, G. H. S. Camargo, A. E. Kalugin, N. Ohta and I. L. Shapiro, Local term in the anomaly-induced action of Weyl quantum gravity. //Phys.Rev.D – 2023 –Vol. 108. – No. 8. – 086018
4. A. O. Barvinsky and W. Wachowski, Notes on conformal anomaly, nonlocal effective action, and the metamorphosis of the running scale. //Phys. Rev. D 2023 – Vol. 108. –No. 4. –045014
5. A. O. Barvinsky, W. Wachowski, Heat kernel expansion for higher order minimal and nonminimal operators. // Phys. Rev. D. – 2022. – Vol. 105. – No. 6. – P. 065013.
6. A.O. Barvinsky, N. Kolganov, A. Vikman, Generalized unimodular gravity as a new form of k-essence. // Phys. Rev. D. – 2021. – Vol. 103. – No. 6. – P. 064035.
7. A.O. Barvinsky, N. Kolganov, Inflation in generalized unimodular gravity. // Phys. Rev. D. – 2019. – Vol. 100. – No. 12. – P. 123510.
8. A.O. Barvinsky, P.I. Pronin, W. Wachowski, Heat kernel for higher-order differential operators and generalized exponential functions. // Phys. Rev. D. – 2019. – Vol. 100. – No. 10.–P.105004.
9. A.O. Barvinsky, N. Kolganov, A. Kurov, D. Nesterov, Dynamics of the generalized unimodular gravity theory. // Phys. Rev. D. – 2019. – Vol. 100. – No. 2. – P. 023542.
10. A.O. Barvinsky, Mario Herrero-Valea, Sergey M. Sibiryakov, Towards the renormalization group flow of Hořava gravity in 3+1 dimensions. // Phys. Rev. D. – 2019. – Vol. 100. – No. 2. – P. 026012.