

На правах рукописи

Никифорова
Василиса Викторовна

Космологические решения в теории
гравитации с динамическим кручением

01.04.02 – Теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук.

Научный руководитель:

Рубаков Валерий Анатольевич, доктор физ.-мат. наук., академик РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Алексеев Станислав Олегович, доктор физ.-мат. наук., Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г.Москва), ведущий научный сотрудник;

Ахмедов Эмиль Тофикович, доктор физ.-мат. наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (Государственный университет)», Лаборатория физики высоких энергий, ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация:

Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна

Защита состоится _____ в _____ часов на заседании диссертационного совета Д002.119.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), расположенном по адресу: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, д. 7а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЯИ РАН или на официальном сайте ИЯИ РАН по адресу: <http://www.inr.ru/rus/referat/dis-zasch.html>

Автореферат разослан

Ученый секретарь диссертационного совета Д002.119.01

д. ф.-м. н., чл.-корр. РАН

С.В. Троицкий

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Интерес к модифицированным теориям гравитации определяется несколькими причинами. Среди них: а) поиск альтернативного объяснения некоторым примечательным космологическим фактам, таким как темная материя и темная энергия; б) поиск альтернативных теорий для интерпретации наблюдений и экспериментов.

В данной диссертационной работе внимание уделяется инфракрасной (ИК) модификации гравитации, то есть, гравитации, отличающейся от предсказаний общей теории относительности (ОТО) на больших масштабах. Такие теории интересны с точки зрения их космологических следствий и создания альтернативной модели ускользящей Вселенной без привлечения темной энергии. Причины, по которым теории ИК модифицированной гравитации могут быть признаны нежизнеспособными — это несоответствие астрофизическим и астрономическим тестам, а также внутренняя противоречивость. Чтобы проверить теорию гравитации на жизнеспособность, необходимо понять механизм модификации, а также исследовать ее внутреннюю структуру и феноменологию.

Эндемической проблемой ИК модифицированных теорий являются нестабильности, возникающие в спектре. Распространенной проблемой является феномен Бульвара–Дезера [1]. Он заключается в том, что в теории, имеющей стабильные возмущения на фоне пространства Минковского, в случае искривленного пространства-времени возникают дополнительные степени свободы, так называемые моды Бульвара–Дезера, которые обычно являются духовыми полями. Однако, даже в отсутствие лишних мод, в теории могут воз-

никнуть нестабильности: духовые и тахионные поля, градиентные неустойчивости.

Одним из интересных кандидатов на роль самосогласованной ИК модифицированной теории гравитации является гравитация с динамическим кручением [2–7]. Независимыми полями теории являются тетрады и связность, которая приобретает собственные динамические степени свободы благодаря наличию в лагранжиане инвариантов, квадратичных по тензорам кривизны и кручения. Спектр такой теории шире, чем спектр общей теории относительности. Закон взаимодействия точечных масс содержит, в общем случае, помимо стандартного ньютоновского слагаемого, также взаимодействие юкавского типа.

В работах [5, 7] были исследованы малые возмущения на фоне общего десятипараметрического лагранжиана теории гравитации с динамическим кручением, и было выделено 18 различных параметрических областей, внутри которых линейные возмущения стабильны. Исследуемая в данной диссертационной работе модель представляет собой один из 18 указанных частных случаев. В спектре модели на фоне плоского пространства-времени, помимо стандартного безмассового возмущения спина два, содержатся массивное возмущение спина два и массивное псевдоскалярное возмущение.

По результатам предыдущих исследований модель демонстрировала интересные свойства стабильности. В работах [8–10] были исследованы линейные возмущения на фоне произвольного четырехмерного многообразия Эйнштейна с нулевым кручением. Было показано, что число степеней свободы, распространяющихся на фоне многообразия Эйнштейна, равно числу степеней свободы, распространяющихся на фоне пространства Минковского. То есть, явление Бульвара–Дезера не наблюдается. Последний результат является неожиданным, если принять во внимание тот факт, что моды Бульвара–

Дезера возникают во многих теориях массивного поля спина два при рассмотрении их на фоне искривленного пространства-времени. Далее, было показано, что спектр линейных возмущений на фоне многообразия Эйнштейна с нулевым кручением не содержит ни духовых, ни тахионных мод, ни градиентных неустойчивостей, по крайней мере, при достаточно малой кривизне фонового пространства.

Данная диссертационная работа призвана продолжить исследование жизнеспособности вышеупомянутой модели гравитации.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью диссертационной работы является исследование модели модифицированной теории гравитации с динамическим кручением в качестве кандидата на роль инфракрасной модификации гравитации и изучение ее самосогласованности. Для достижения этой цели требовалось решить следующие задачи:

- 1) прояснить механизм модификации путем изучения взаимодействия источников полей метрики и связности на фоне плоского пространства-времени;
- 2) исследовать существование самоускоряющегося решения в рассматриваемой модели и описать область параметров, в пределах которой указанное решение существует;
- 3) разработать методы исследования поведения линейных возмущений;
- 4) изучить поведение линейных возмущений на фоне найденного самоускоряющегося решения; прояснить вопрос о существовании параметрической области, внутри которой малые возмущения не содержат неустойчивостей.

Научная новизна и практическая значимость. В данной диссертации представлен ряд новых результатов.

1. Исследовано взаимодействие источников полей тетрады и связности на фоне плоского пространства-времени. Показано, что

рассматриваемая теория предлагает альтернативный способ генерации массивного поля спина два по сравнению со стандартным путем, основанным на уравнении Фирца-Паули. Прояснен механизм генерации поля кручения: а именно, показано, что ненулевое кручение генерируется даже в отсутствие его источников. Иными словами, масса порождает кручение. Это нетривиальный результат, поскольку источником кручения, как правило, считается спиновая материя.

2. Найденное новое самоускоряющееся решение в рассматриваемой модели гравитации с кручением. Показано, что параметры наиболее общего решения, характеризуемого метрикой де Ситтера, обязательно не зависят от времени.
3. В работе впервые исследованы возмущения на фоне самоускоряющейся расширяющейся Вселенной в модели гравитации с динамическим кручением и массивным возмущением спина два. Несмотря на обнадеживающие результаты предыдущих исследований, на фоне пространства де-Ситтеровского типа с ненулевым кручением были обнаружены нестабильности, которые не могут быть устранены подбором параметров.
4. Разработаны новые методы аналитического исследования поведения линейных возмущений на фоне космологических решений в теории гравитации с динамическим кручением. Для выполнения вычислений написаны компьютерные коды для систем компьютерной алгебры Maple и Mathematica.
5. Разработанные методы исследования малых возмущений могут быть применены к другим моделям класса гравитации с динамическим кручением, описанным в работах [5–7]. Более того, данные методы могут быть полезны для исследования широкого класса других модифицированных теорий гравитации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Исследовано взаимодействие источников тетрады и связности на фоне пространства Минковского. Подтверждено, что спектр линейных возмущений на фоне пространства Минковского содержит, помимо безмассового возмущения спина 2, также массивное возмущение спина 0 и массивное возмущение спина 2. Показано, что наличие массивного поля спина 2 влияет на закон гравитационного взаимодействия, приводя к его инфракрасной модификации. Показано, что возмущения метрики и связности смешиваются между собой, что приводит к генерации нетривиальных возмущений связности с ненулевым кручением даже в отсутствие источников кручения.
2. В модели найдено самоускоряющееся решение в отсутствие явной космологической постоянной в лагранжиане. Доказано существование этого решения при соответствующих ограничениях на параметры модели. Данное решение описывается метрикой де-Ситтера и ненулевым кручением, причем последнее ответственно за экспоненциальное расширение.
3. Исследованы малые возмущения на фоне самоускоряющегося решения. Установлено, что число степеней свободы на фоне самоускоряющегося решения равно числу степеней свободы на фоне пространства Минковского. Таким образом, явление Бульвара-Дезера не имеет места на фоне самоускоряющегося решения.

Поведение возмущений детально рассмотрено для двух случаев, характеризующихся разной величиной фонового кручения, являющегося параметром самоускоряющегося решения. В первом случае величина фонового кручения много больше параметра

Хаббла, во втором — сравнима с величиной параметра Хаббла.

В первом случае исследован скалярный сектор возмущений. Получено дисперсионное соотношение для мод под горизонтом и показано наличие экспоненциальной неустойчивости, неустраняемой подбором параметров.

Во втором случае исследованы скалярный, векторный и тензорный секторы возмущений. Получены дисперсионные соотношения для возмущений под горизонтом во всех трех секторах. В скалярном и тензорном секторах описаны области параметров, внутри которых возмущения стабильны. В векторном секторе найдена градиентная неустойчивость, которую не удается устранить подбором параметров модели так, чтобы это не приводило к появлению нестабильностей в других секторах.

Таким образом, сделан вывод о том, что самоускоряющийся гравитационный фон порождает неустойчивости.

Апробация результатов. Основные результаты доложены на следующих конференциях: «Межинститутская молодежная конференция „Физика элементарных частиц и космология“» (Москва, 12 ноября 2014), «Космология и квантовый вакуум» (Сеговия, Испания, 4-8 сентября 2017);

на международных семинарах: «Кварки–2016» (29 мая 2016 – 4 июня 2016), «Кварки–2018» (27 мая 2018 – 2 июня 2018);

на международных школах: «Школа по современной астрофизике» (Санкт-Петербург, 15–26 июля 2014), «Международная школа по астрофизике „Франческо Лучин“» (Терамо, Италия, 9–13 декабря 2014), «32-я зимняя школа по теоретической физике: 100 лет общей теории относительности» (Иерусалим, Израиль, 29 декабря 2014–8 января 2015), «Международная школа по субъядерной физике» (Эриче, Италия, 24 июня–3 июля 2015);

на научных семинарах отдела теоретической физики ИЯИ РАН (Москва, 28 марта 2016, 14 мая 2018) и Национальной научной лаборатории имени А. Алиханяна (Ереван, Армения, 29 апреля 2016).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав основного текста, заключения, трех приложений и библиографии. Общий объем диссертации 122 страницы, включая 2 рисунка. Библиография включает 57 наименований на 6 страницах.

Содержание работы

Во Введении описан предмет исследования диссертационной работы, обоснована актуальность работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведено подробное описание исследуемой модели: выписан лагранжиан, определены основные входящие в него величины, выписаны уравнения поля, указаны ограничения на параметры лагранжиана и описаны результаты, полученные для этой модели в более ранних работах.

В разделе 1.1 представлен лагранжиан модели. Базовыми полями действия являются связность $A_{j\mu} = -A_{ji\mu}$ и тетрады e^i_μ . Действие записывается в виде ($|e| \equiv \det e^i_\mu$)

$$S[e^i_\mu, A_{j\mu}] = \int d^4x |e| L[e, \partial e, \partial^2 e, A, \partial A],$$

где

$$L = \frac{3}{2} \tilde{\alpha} F - \frac{3}{2} \alpha R + c_2, \\ + c_3 F^{ij} F_{ij} + c_4 F^{ij} F_{ji} + c_5 F^2 + c_6 (\epsilon^{ijkl} F_{ijkl})^2$$

где $\alpha, \tilde{\alpha}, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ — константы связи, а ϵ^{ijkl} обозначает символ Леви-Чивиты. Далее, R_{ijkl} — обычный тензор кривизны Эйнштейна, определяемый через e^i_μ , тогда как F_{ijkl} — тензор кривизны, построенный с помощью связности $A_{ij\mu}$.

В разделе 1.2 выписаны уравнения, полученные из лагранжиана путем варьирования по двум независимым переменным модели — тетраде и связности.

Во второй главе рассмотрено линейризованное взаимодействие источников на фоне плоского пространства-времени. Определены источники, взаимодействующие с полями тетрады и связности:

$$S_{source} = \int d^4x \left(2h^i_\mu J_i^\mu - \frac{1}{2} A_{ij\mu} S^{ij\mu} \right), \quad (1)$$

где h^i_μ определено как

$$e^i_\mu = \delta^i_\mu + h^i_\mu,$$

и выписаны линейризованные на фоне пространства Минковского уравнения поля с учетом источников. Приведены решения этих уравнений в импульсном пространстве, представляющие из себя выражение полевых переменных через источники. Далее, эти решения подставлены в лагранжиан и получено действие, описывающее взаимодействие источников:

$$S_{int} = \int d^4k \left\{ \frac{1}{144\tilde{\alpha}} \frac{\bar{S}S}{k^2 + m_0^2} + \frac{1}{c_1} \frac{1}{k^2} \bar{\tau}_{ij} \left(\tau^{ij} - \frac{1}{2} \eta^{ij} \tau \right) - \frac{\tilde{\alpha}}{\alpha c_1} \frac{1}{k^2 + m^2} \left[\bar{\sigma}_{ij} \left(\sigma^{ij} - \frac{1}{3} \eta^{ij} \sigma \right) + 2 \frac{k^i k_m}{m^2} \bar{\sigma}_{ij} \left(\sigma^{jm} - \frac{1}{3} \eta^{jm} \sigma \right) \right] \right\}$$

где черта обозначает комплексное сопряжение, τ_{ij}, σ_{ij} — симметричные тензоры энергии-импульса, взаимодействующие как с тетрадами, так и со связностью:

$$\tau^{ij} = J^{(ij)} - \frac{1}{2} \partial_m S^{m(ij)},$$

$$\sigma_{ij} = J_{(ij)} - \frac{\tilde{\alpha}}{\alpha} \frac{1}{2} \partial^m S_{m(ij)}$$

S — псевдоскалярный источник связности:

$$S = \varepsilon_{ijkl} \partial_l S^{ijk},$$

а m_0 и m_2 — массы полей спинов ноль и два соответственно:

$$m_0^2 = \frac{\tilde{\alpha}}{16c_6},$$

$$m_2^2 = \frac{\tilde{\alpha}(\tilde{\alpha} - \alpha)}{2\alpha c_5}.$$

Три слагаемых в действии соответствуют обмену массивной частицей спина 0, безмассовой частицей спина 2 и массивной частицей спина 2, соответственно.

Далее, рассмотрен важный частный случай — взаимодействие источников, представленных симметричным тензором энергии-импульса, взаимодействующим с тетрадами и не взаимодействующим напрямую со связностью. В этом случае возмущение метрики содержит вклады как безмассового, так и массивного полей спина два, причем их относительная величина зависит от параметров модели. Возмущения связности в этом случае характеризуются ненулевым кручением, то есть имеет место смешивание полей метрики и кручения.

В третьей главе описан процесс получения самоускоряющегося решения. Найденное решение описывается метрикой де-Ситтера и ненулевым кручением, ответственным за ускоренное расширение. Доказано существование решения в соответствующей области параметров модели.

В разделе 3.1 рассмотрен наиболее общий анзац, удовлетворяющий условиям однородности, изотропности и ускоренного расширения:

$$e_m^i: \quad e_0^0 = N(t), \quad e_b^a = e^{\lambda t} \delta_b^a,$$

$$A_{ijk}: \quad A_{0ab} = f(t) \delta_{ab}, \quad A_{abc} = g(t) \varepsilon_{abc}.$$

После подстановки этого анзаца в действие и варьирования по независимым переменным получена система уравнений, решением которой является пространство с метрикой де-Ситтера:

$$e_\mu^i: \quad e_0^0 = 1, \quad e_b^a = e^{\lambda t} \delta_b^a$$

и связностью, необходимо не зависящей от времени, с ненулевым кручением:

$$A_{ijk}: \quad A_{0ab} = f \delta_{ab}, \quad A_{abc} = g \varepsilon_{abc}.$$

В разделе 3.2 описана область параметров, в рамках которой самоускоряющееся решение существует.

В четвертой главе выполнены предварительные вычисления для получения уравнений, описывающих линейные возмущения на фоне самоускоряющегося решения. Возмущения тетрады и кручения разложены на компоненты по секторам с определенной спиральностью: ноль (скалярный), один (векторный) и два (тензорный). В общем виде получены тождества Бьянки, связывающие различные полевые уравнения между собой.

В разделе 4.1 описаны преобразования, относительно которых действие модели остается инвариантным. На основе этой инвариантности выведены две группы тождеств Бьянки.

В разделе 4.2 для удобства вычислений введено конформное время

$$\eta = \int e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t}$$

и выполнены конформные преобразования метрики. Выписаны конформно-преобразованные уравнения поля в общем виде.

В разделе 4.3 описана используемая далее параметризация возмущений. Определены переменные, параметризующие возмущения в скалярном, векторном и тензорном секторах. Наложены условия калибровки.

В пятой главе линейные возмущения рассмотрены для случая величины фонового кручения (f, g) , много большей, чем параметр Хаббла (параметр самоускоренного расширения λ). В силу того, что нестабильности, если таковые имеются, обычно проявляют себя именно в скалярном секторе, был изучен именно этот сектор. Обнаружено, что число степеней свободы в скалярном секторе возмущений равно числу степеней свободы в скалярном секторе возмущений на фоне пространства Минковского (последний результат не зависит от величины фонового кручения). Получены дисперсионные соотношения для мод скалярного сектора. Найдена неустранимая экспоненциальная неустойчивость, поэтому векторный и тензорный секторы для случая большого фонового кручения не исследовались.

В разделе 5.1 получена и исследована система уравнений, описывающая скалярные возмущения. С использованием тождеств Бьянки, связывающих различные уравнения системы между собой, а также благодаря нетривиальной структуре этой системы, изначальная система уравнений сводится к системе четырех дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих четыре степени свободы.

Обосновывается применимость ВКБ-приближения в задаче исследования поведения малых возмущений на фоне самоускоряющегося решения. Для достижения поставленных целей достаточно исследовать только моды, находящиеся под горизонтом, то есть характеризующиеся следующими частотами и импульсами:

$$\frac{\omega}{H} \ll 1, \quad \frac{k}{H} \ll 1.$$

Для этого можно представить (в первом и достаточном для поставленных целей приближении) общее решение системы четырех дифференциальных уравнений первого порядка в виде:

$$y_i(\eta) = v_i e^{i\omega\eta},$$

где $y_i(\eta)$ — переменные, описывающие распространяющиеся возмущения, $i = 1..4$. После подстановки этих выражений в систему дифференциальных уравнений получается алгебраическая система. Далее можно получить дисперсионные соотношения на ω , вычислив характеристический полином.

Далее внимание уделяется случаю большого фонового кручения:

$$|f| \gg \lambda.$$

Рассмотрены две области значений пространственного импульса k , а именно:

$$k^2 \ll \lambda f \tag{2}$$

и

$$f^3 \lambda \ll k^4 \ll \frac{f^5}{\lambda}. \tag{3}$$

В каждой из этих областей применено приближение ВКБ и рассмотрен характеристический полином, ограниченный младшими порядками по малой величине λ . Получены дисперсионные соотношения.

В случае (2) для мод под горизонтом получены значения частот, по порядку величины равные

$$\omega \sim -i \frac{f^2}{\lambda} \quad (4)$$

и

$$\omega \sim -i \sqrt{\frac{\lambda^3 f}{k^2}}, \quad (5)$$

а в случае (3) — частоты вида

$$\omega \sim -i \frac{f^2}{\lambda}.$$

Все найденные частоты соответствуют экспоненциально неустойчивым модам. Однако, частоты нестабильностей вида (4) соответствующим подбором параметров можно сделать больше масштаба ультрафиолетового обрезания, необходимо присутствующего в любой низкоэнергетической теории, каковой и является рассматриваемая модель.

С другой стороны, нестабильность вида (5) не может быть устранена подбором параметров по причине того, что величина фонового кручения f также ограничена сверху масштабом ультрафиолетового обрезания.

Таким образом, сделан вывод о наличии неустранимой нестабильности, переходящей в нелинейный режим за хаббловское время, в скалярном секторе возмущений в случае большого фонового кручения.

В шестой главе рассмотрен случай, когда величина фонового кручения (f, g) порядка параметра Хаббла (порядка λ). Получены дисперсионные соотношения для мод скалярного, векторного и тензорного секторов. Показано, во всех трех секторах явления Бульвара-Дезера не наблюдается (последний результат справедлив вне

зависимости от величины фонового кручения). Обнаружена неустрашимая градиентная неустойчивость в векторном секторе возмущений.

В разделе 6.1 описана альтернативная схема использования приближения ВКБ в данной задаче. В качестве параметра приближения рассматривается не малый параметр ускоренного расширения λ , а параметр,

$$z \equiv k\eta \equiv -\frac{k_{\text{phys}}}{\lambda},$$

равный отношению радиуса горизонта Хаббла к физической длине волны возмущения. Интересные для исследования стабильности моды под горизонтом соответствуют величине $|z| \gg 1$. Подробно описан метод получения дисперсионных соотношений в этом случае.

В разделе 6.2 получено дисперсионное соотношение для мод под горизонтом в скалярном секторе возмущений. Дисперсионное соотношение выглядит следующим образом:

$$\omega^2 \left(\omega^2 - c^{\text{scalar}} \left(\frac{f}{\lambda}, \frac{g}{\lambda}, \frac{c_3}{c_5} \right) k^2 \right) = 0 .$$

Для стабильности возмущений требуется выполнение условия:

$$c^{\text{scalar}} > 0$$

Последнее неравенство ограничивает область параметров, внутри которой скалярные возмущения стабильны.

В разделе 6.3 получено дисперсионное соотношение для мод под горизонтом в тензорном секторе возмущений. Дисперсионное соотношение выглядит следующим образом:

$$\omega^4 - 2b' \left(\frac{f}{\lambda}, \frac{g}{\lambda} \right) \omega^2 k^2 + k^4 = 0 ,$$

причем для стабильности необходимо выполнение неравенства

$$b' > 1 . \tag{6}$$

Определена соответствующая область параметров, внутри которой тензорные возмущения стабильны.

В разделе 6.4 получено дисперсионное соотношение для мод под горизонтом в векторном секторе возмущений, которое выглядит следующим образом:

$$\omega \left[\omega^2 - c^{\text{vector}} \left(\frac{f}{\lambda}, \frac{g}{\lambda} \right) k^2 \right] = 0.$$

Для отсутствия неустойчивостей необходимо выполнение неравенства $c_{\text{vector}} \geq 0$. Показано, что выполнение последнего неравенства возможно только при $f^2 + g^2 = \lambda^2$, что соответствует $c_{\text{vector}} = 0$, то есть нулевой скорости распространения возмущений. Однако условие $f^2 + g^2 = \lambda^2$ несовместимо с требованием выполнения неравенства (6), характеризующего стабильность возмущений тензорного сектора. Таким образом, последний результат показывает неизбежное присутствие неустойчивости вида

$$\omega \sim k. \tag{7}$$

Такой вид неустойчивостей в литературе называется градиентной неустойчивостью. Закон дисперсии (7) показывает, что неустойчивости с меньшими длинами волн растут с большей экспоненциальной скоростью.

В **Заключении** приводится краткая сводка результатов работы. Также обсуждаются направления возможного дальнейшего исследования теории и расширения полученных результатов.

В **Приложениях** приведены уравнения, описывающие возмущения в тензорном, векторном и скалярном секторах.

Список публикаций

1. V. Nikiforova, S. Randjbar-Daemi and V. Rubakov, “Infrared Modified Gravity with Dynamical Torsion,” *Phys. Rev. D* **80**, 124050 (2009) [arXiv:0905.3732 [hep-th]].
2. V. Nikiforova, S. Randjbar-Daemi and V. Rubakov, “Self-accelerating Universe in modified gravity with dynamical torsion,” *Phys. Rev. D* **95**, no. 2, 024013 (2017) [arXiv:1606.02565 [hep-th]].
3. V. Nikiforova, “The stability of self-accelerating Universe in modified gravity with dynamical torsion,” *Int. J. Mod. Phys. A* **32**, no. 23n24, 1750137 (2017) [arXiv:1705.00856 [hep-th]].
4. V. Nikiforova, “Stability of self-accelerating Universe in modified gravity with dynamical torsion: the case of small background torsion,” *Int. J. Mod. Phys. A* **33**, no. 07, 1850039 (2018) [arXiv:1711.03718 [hep-th]].
5. V. Nikiforova and T. Damour, “Infrared modified gravity with propagating torsion: instability of torsionfull de Sitter-like solutions,” *Phys. Rev. D* **97**, no. 12, 124014 (2018) doi:10.1103/PhysRevD.97.124014 [arXiv:1804.09215 [gr-qc]].

Цитированная литература

1. Boulware D. G., Deser S. Can gravitation have a finite range? // *Phys. Rev.* 1972. Vol. D6. P. 3368–3382.
2. Hayashi K., Shirafuji T. Gravity from Poincare Gauge Theory of the Fundamental Particles. 1. Linear and Quadratic Lagrangians // *Prog. Theor. Phys.* 1980. Vol. 64. P. 866. [Erratum: *Prog. Theor. Phys.* 65,2079(1981)].
3. Hayashi K., Shirafuji T. GRAVITY FROM POINCARÉ GAUGE THEORY OF THE FUNDAMENTAL PARTICLES. 2. EQUATIONS OF MOTION FOR TEST BODIES AND VARIOUS LIMITS // *Prog. Theor. Phys.* 1980. Vol. 64. P. 883. [Erratum: *Prog. Theor. Phys.* 65,2079(1981)].

4. Hayashi K., Shirafuji T. Gravity From Poincare Gauge Theory of the Fundamental Particles. 3. Weak Field Approximation // Prog. Theor. Phys. 1980. Vol. 64. P. 1435. [Erratum: Prog. Theor. Phys.66,741(1981)].
5. Hayashi K., Shirafuji T. Gravity From Poincare Gauge Theory of the Fundamental Particles. 4. Mass and Energy of Particle Spectrum // Prog. Theor. Phys. 1980. Vol. 64. P. 2222.
6. Sezgin E., van Nieuwenhuizen P. New Ghost Free Gravity Lagrangians with Propagating Torsion // Phys. Rev. 1980. Vol. D21. P. 3269.
7. Sezgin E. Class of Ghost Free Gravity Lagrangians With Massive or Massless Propagating Torsion // Phys. Rev. 1981. Vol. D24. P. 1677–1680.
8. Nair V. P., Randjbar-Daemi S., Rubakov V. Massive Spin-2 fields of Geometric Origin in Curved Spacetimes // Phys. Rev. 2009. Vol. D80. P. 104031. [arXiv:hep-th/0811.3781](https://arxiv.org/abs/hep-th/0811.3781).
9. Deffayet C., Randjbar-Daemi S. Non linear Fierz-Pauli theory from torsion and bigravity // Phys. Rev. 2011. Vol. D84. P. 044053. [arXiv:hep-th/1103.2671](https://arxiv.org/abs/hep-th/1103.2671).
10. Nikiforova V., Randjbar-Daemi S., Rubakov V. Infrared Modified Gravity with Dynamical Torsion // Phys. Rev. 2009. Vol. D80. P. 124050. [arXiv:hep-th/0905.3732](https://arxiv.org/abs/hep-th/0905.3732).

Научное издание

Никифорова Василиса Викторовна

Космологические решения в теории
гравитации с динамическим кручением

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук на тему

Ф-т 60x84/16 Уч.-изд.л. 0,9 Зак. № 22430 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