На правах рукописи

Кирнос Илья Васильевич

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИЙ С ЛАГРАНЖИАНАМИ ЛАВЛОКА

01.04.02 — Теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Томск 2011

Работа выполнена в Томском государственном педагогическом университете и Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники

Научный руководитель:	кандидат физико-математических наук, доцент Макаренко Андрей Николаевич
Официальные оппоненты:	доктор физико-математических наук, профессор Гальцов Дмитрий Владимирович,
	доктор физико-математических наук, профессор Шаповалов Александр Васильевич
Ведущая организация:	Казанский (Приволжский) федеральный университет

Защита диссертации состоится "16" февраля 2012 года на заседании Диссертационного совета Д 212.267.07 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан "__" __________ 20__ года

Учёный секретарь
Диссертационного совета
д. ф.-м. н. И. В. Ивонин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Рубеж двадцатого и двадцать первого веков ознаменовался важными достижениями в области космологии. Это и открытие ускоренного расширения Вселенной на основании наблюдений за далёкими сверхновыми, и обнаружение анизотропии реликтового излучения, и вывод о существовании большого количества "скрытой массы", не поддающейся прямым наблюдениям, а проявляющей себя лишь в наблюдениях по гравитационному линзированию, в аномальном поведении кривых вращения галактик и движения галактик в скоплениях. Свидетельством признания научным сообществом большой важности этих открытий послужило присуждение двух Нобелевских премий по физике за работы в области космологии: в 2006 году награждены Д. Матер и Д. Смут за открытие анизотропии реликтового излучения, а в 2011 году награждены С. Перлмуттер, Б. Шмидт и А Райсс за открытие ускоренного расширения Вселенной.

Во многом аналогичное положение наблюдалось в космологии более четверти века назад, когда были осознаны такие противоречия стандартной фридмановской космологии как проблемы горизонта, кривизны и начальных возмущений. Анализ этих проблем привёл исследователей к выводу, что они могут быть решены введением в раннюю Вселенную кратковременной стадии ускоренного расширения, за время которой Вселенная должна расшириться приблизительно в e^{60} раз.

Всем этим явлениям — инфляции, современному ускоренному расширению, скрытой массе — должно быть найдено теоретическое обоснование. В качестве такового ряд исследователей предлагает введение новых видов материи: скалярного поля (инфлатона) для описания инфляции, материи с отрицательным давлением ("тёмной энергии") для описания современного ускоренного расширения, новых элементарных частиц для описания скрытой массы.

Существует, однако, и другой подход, предлагающий объяснить и инфляцию, и современное космологическое ускорение, и даже "скрытую массу" с помощью одного только изменения теории тяготения.

Основной теорией тяготения по сей день считается общая теория относительности (ОТО), разработанная в трудах А. Эйнштейна, М. Гроссмана и Д. Гильберта. Завершающим этапом построения ОТО можно считать получение в 1915 году уравнений гравитационного поля.

Все дальнейшие попытки построения иных уравнений гравитационного поля можно рассматривать как выход за рамки общей теории относительности. Все модификации ОТО обладают некоторыми из следующих недостатков:

1. Для описания тяготения, помимо метрического тензора Римана, вводятся дополнительные поля.

2. В уравнениях гравитационного поля возникают производные выше второго порядка.

3. Теория предполагает размерность пространства-времени выше четырёх.

Следует заметить, что введение дополнительных полей и дополнительных пространственных измерений требует объяснения их ненаблюдаемости. Возможно лишь одно изменение ОТО, свободное от всех трёх недостатков: введение космологической постоянной. Других возможностей избежать всех перечисленных недостатков не существует. Кратко обсудим некоторые из предлагаемых теорий:

1. Введение дополнительного скалярного поля. Первая теория подобного рода была предложена К. Брансом и Р. Дикке для согласования общей теории относительности с принципом Маха, согласно которому инерция возникает, когда тело ускоряется относительно общего распределения масс во Вселенной. В современных работах скалярное поле вводится более общим способом, при этом целью его введения обычно является получение в теории решений определённого вида.

2. Введение в теорию кручения (несимметричной части аффинной связности) и векторного поля, нарушающего сохранение длины при параллельном переносе, преследовало, помимо прочего, цели квантования гравитации и построения единой теории тяготения и электромагнетизма. В настоящее время предпринимаются попытки использовать кручение для построения "новой космологии".

3. Модификация лагранжиана. Пожалуй, наиболее широко используются ныне так называемые $f(R)$-теории, в которых лагранжиан представляет собою некоторую функцию скалярной кривизны. В этом случае в уравнениях поля возникают производные 4-го порядка и появляется возможность переформулировать теорию таким образом, что порядок уравнений понизится до 2-го, однако возникнет дополнительное скалярное поле. В простейших моделях $f(R)$-теории лагранжиан разбивается на 3 части, первая из которых преобладает в случае большой кривизны и отвечает за инфляцию, вторая преобладает в случае средней кривизны и отвечает за замедленное расширение, а третья часть преобладает на малых кривизнах и ответственна за современное ускоренное расширение. Сюда же примыкают теории с лагранжианами вида $R + f(\mathcal{G})$ и $f(R, \mathcal{G})$, где $\mathcal{G} = R_{\mu\nu\alpha\beta}R^{\mu\nu\alpha\beta} - 4R_{\mu\nu}R^{\mu\nu} + R^2$ — инвариант Гаусса-Бонне-Дженни. Следует также упомянуть о теориях с выражениями вида $\Box R$ и $\Box^{-1}R$ (нелокальные теории) в лагранжиане, а также о теориях, где гравитация неминимально связана с материей.

В диссертации исследуется одна из теорий, предлагающих модификацию лагранжиана гравитационного поля — теория Лавлока — единственная модификация общей теории относительности, свободная от первого и второго из перечисленных недостатков, то есть единственная теория, не вводящая ни дополнительных полей, ни высших производных. Данная теория, однако, требует наличия дополнительных пространственных измерений, что, на взгляд диссертанта, является наименее существенным недостатком, поскольку дополнительные измерения возникают в рамках многих других физических теорий и приёмы работы с ними являются хорошо разработанными.

Общие требования, предъявляемые ко всем вновь выдвигаемым теориям тяготения, таковы:

1. Описывать стадию инфляции с переходом к замедленному расширению и последующим переходом вновь к ускоренному.

2. Не противоречить данным наблюдений в отношении реликтового излучения и гравитационного микролинзирования.

3. Описывать движение планет, звёзд и галактик в строгом соответствии с данными наблюдений.

4. Допускать существование сферически симметричных тел.

5. Решения, отвечающие наблюдаемым явлениям, должны быть устойчивы относительно возмущения начальных данных.

6. Если предполагается наличие дополнительных пространственных измерений, то должна быть объяснена их ненаблюдаемость.

Диссертация посвящена исключительно проверке условий 1, 5 и 6 из этого списка (не претендуя, однако, на полную проверку и этих условий). Для рассмотрения выбрана теория, лагранжиан которой является функцией лагранжианов Лавлока, а также, в ряде случаев, дополнительного скалярного поля и его производных первого порядка. Как правило, лагранжианы Лавлока входят в линейной комбинации, т. е. рассматривается собственно теория Лавлока или она же с дилатоном (скалярным полем).

Исследования в этой области вызывают большой интерес. Обычно рассматривается только 2-й порядок теории Лавлока без дилатона (называемый теорией Эйнштейна-Гаусса-Бонне, хотя заслуга построения этой теории принадлежит Ланцошу). Значительно реже (по причине большой громоздкости вычислений) используется третий порядок, но и эти редкие работы посвящены почти исключительно чёрным дырам. Имеется также ряд работ во втором порядке с дилатоном. Кроме того, Бриггс вывел явный вид 4-го и 5-го лавлоковых тензоров (непосредственно расписав их через тензор Римана, тензор Риччи и скалярную кривизну), а С. А. Павлюченко получил некоторые решения в произвольном порядке. Следует упомянуть также исследования теорий с лагранжианами вида функции от первых двух лавлоковых лагранжианов.

Вообще, стоит заметить, что, несмотря на обилие работ по применению теории Лавлока к чёрным дырам и по космологическим приложениям второго порядка теории Лавлока, работы, посвящённые космологическим приложениям высших порядков теории Лавлока, почти отсутствуют.

Цель работы

Исследование космологических приложений теории Лавлока с дилатоном и без него, а также теории с лагранжианом вида функции первых двух лагранжианов Лавлока. Именно, основными задачами является изучение следующих вопросов:

1. Возможность описания ускоренного расширения Вселенной.

2. Изотропизация космологического расширения при наличии материи.

3. Устойчивость расширения по закону де Ситтера.

Научная новизна

1. Во втором и третьем порядках теории Лавлока, а также во втором порядке с дилатоном, получен ряд решений, описывающих ускоренное расширение видимого пространства и сжатие дополнительных измерений.

2. В произвольном порядке теории Лавлока (в пренебрежении всеми прочими порядками) в пространстве произвольной размерности получены анизотропные степенные решения, одно из которых (вакуумное) обобщает решение Казнера, другое (отвечающее наличию идеальной жидкости с определённым параметром уравнения состояния) обобщает решение Якобса.

3. Во втором и третьем порядках теории Лавлока в пространстве произвольной размерности, заполненном произвольной идеальной жидкостью, получены анизотропные показательные решения. Эти решения, как и указанные в предыдущем пункте, доказывают возможность неизотропизующегося расширения в рамках теории Лавлока, что позволяет дополнительным пространственным измерениям оставаться малыми.

4. Выявлен подкласс $f(R, \mathcal{G})$-теорий, для которых решение де Ситтера является устойчивым.

Апробация диссертации

Результаты, полученные в диссертации, докладывались на следующих конференциях и семинарах:

1. 5-ая международная конференция "Перспективы развития фундаментальных наук" (Томск, 2008).
2. 13-ая Российская гравитационная конференция (Москва, 2008).
3. II Российская летняя школа-семинар "Современные теоретические проблемы гравитации и космологии" (Казань-Яльчик, 2009).
4. Школа-семинар "Квантовая теория поля и гравитации" (Томск, 2011).
5. 14-ая Российская гравитационная конференция (Ульяновск, 2011).

Публикации

По результатам проведённых исследований опубликовано 8 печатных работ (не считая тезисов конференций), в которых отражено основное содержание диссертации.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 84 страницы. Список литературы содержит 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и аргументирована научная новизна исследований, описана структура работы по главам. Здесь же приведён краткий обзор открытий наблюдательной космологии и связанных с ними теоретических исследований. Описаны два пути решения проблем ускоренного расширения и скрытой массы: разработка теорий тёмной энергии и тёмного вещества и модификация теории тяготения. В рамках последнего пути приведён краткий обзор наиболее широко используемых модификаций общей теории относительности. Сформулированы требования, которым должна удовлетворять всякая теория, претендующая на адекватное описание Вселенной.

В **главе 1** изложена теории Лавлока как теория, предусматривающая отказ от линейности уравнений гравитационного поля по вторым производным и приводящая к уравнениям вида

$$\sum_{p=1}^{m-1} \alpha_p G^{(p)\mu}{}_{\nu} + \Lambda \delta^{\mu}{}_{\nu} = \varkappa T^{\mu}{}_{\nu}, \tag{1}$$

где

$$m = \frac{1}{2}n, \qquad \text{если } n \text{ четно,}$$

$$m = \frac{1}{2}(n+1), \qquad \text{если } n \text{ нечетно,}$$

$$G^{(p)\mu}{}_{\nu} = \delta^{\mu\lambda_1\lambda_2\cdots\lambda_{2p}}_{\nu\sigma_1\sigma_2\cdots\sigma_{2p}} R_{\lambda_1\lambda_2}{}^{\sigma_1\sigma_2} R_{\lambda_3\lambda_4}{}^{\sigma_3\sigma_4} \cdots R_{\lambda_{2p-1}\lambda_{2p}}{}^{\sigma_{2p-1}\sigma_{2p}}, \tag{2}$$

α_p, Λ — произвольные постоянные, а $\delta^{\mu_1\cdots\mu_k}_{\nu_1\cdots\nu_k}$ равно единице, если $\nu_1\cdots\nu_k$ — чётная перестановка $\mu_1\cdots\mu_k$, минус единице, если нечётная, и нулю в остальных случаях.

Данная теория допускает лагранжеву формулировку, причём лагранжиан гравитационного поля принимается равным

$$\mathcal{L} = \sum_{p=1}^{m-1} \alpha_p \mathcal{L}_p + 2\Lambda, \tag{3}$$

где слагаемые

$$\mathcal{L}_p = 2\delta^{\lambda_1\cdots\lambda_{2p}}_{\sigma_1\cdots\sigma_{2p}} R_{\lambda_1\lambda_2}{}^{\sigma_1\sigma_2} R_{\lambda_3\lambda_4}{}^{\sigma_3\sigma_4} \cdots R_{\lambda_{2p-1}\lambda_{2p}}{}^{\sigma_{2p-1}\sigma_{2p}} \tag{4}$$

называются лавлоковыми лагранжианами p-го порядка.

Следует заметить, что в 4-мерном пространстве-времени теория Лавлока совпадает с классическим вариантом общей теории относительности, поэтому для получения новых результатов требуется вводить дополнительные пространственные измерения.

В **главе 2** рассмотрено пространство с двумя максимально симметричными подпространствами, из которых одно должно соответствовать наблюдаемому 3-мерному пространству, а другое — ненаблюдаемому пространству дополнительных измерений. Поставлена задача построить решения, описывающие ускоренное расширение наблюдаемого пространства и сжатие дополнительного. При этом в **разделе 2.1** в 7-мерном пространстве изучен третий порядок теории Лавлока ($\alpha_p = 0 \; \forall p > 3$) и найдено (в неявном виде) общее решение во втором порядке, а также показательное решение в третьем порядке:

$$a(t) = a_0 \exp\left(\frac{t}{\sqrt{2\alpha_2}}\right), \quad b(t) = b_0 \exp\left(-\frac{t}{\sqrt{2\alpha_2}}\right),$$

возникающее при определённом соотношении между параметрами α_2 и α_3:

$$\alpha_3 = -\frac{\alpha_2^2}{12}.$$

Данное решение показывает возможность существования в рассмотренной модели инфляционного периода. В **разделе 2.2** в пространстве произвольной размерности изучен второй порядок теории Лавлока с дилатоном:

$$\mathcal{L}_{EGBd} = R - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}\partial_\mu\varphi\partial_\nu\varphi - V(\varphi) + \varepsilon(\varphi)\mathcal{L}_2 + \mathcal{L}_M(\Phi^I, g_{\mu\nu}). \tag{5}$$

При этом найдены равновесные решения (масштабные факторы и дилатон φ не зависят от времени), показательные решения при постоянном дилатоне, в том числе описывающие ускоренное расширение видимого пространства и сжатие дополнительного:

$$H_1 = -\zeta_1\sqrt{\frac{3+\zeta_2\sqrt{5}}{2\alpha_2}} \cdot \frac{575+257\zeta_2\sqrt{5}}{3010+1346\zeta_2\sqrt{5}}, \qquad H_2 = \zeta_1\sqrt{\frac{3+\zeta_2\sqrt{5}}{8\alpha_2}}, \tag{6}$$

и наоборот:

$$H_1 = \zeta_1\sqrt{\frac{3+\zeta_2\sqrt{5}}{8\alpha_2}}, \qquad H_2 = -\zeta_1\sqrt{\frac{3+\zeta_2\sqrt{5}}{2\alpha_2}} \cdot \frac{575+257\zeta_2\sqrt{5}}{3010+1346\zeta_2\sqrt{5}}, \tag{7}$$

где постоянные ζ_1 и ζ_2 принимают значения $+1$ и -1 независимо друг ото друга, а $\alpha_2 > 0$. Также найдены решения, в которых дилатон зависит от времени логарифмически:

$$\varphi = -\frac{2}{\gamma}\ln\left(C_1 - \frac{\gamma\varphi'}{2}t\right),$$

а масштабные факторы принимают вид экспоненты от экспоненты:

$$a(t) = a_0 \exp\left\{\frac{2u_1'c_0}{\varphi'}e^{\varphi' t/2}\right\}, \tag{8}$$

$$b(t) = b_0 \exp\left\{\frac{2u_2' c_0}{\varphi'} e^{\varphi' t/2}\right\}. \tag{9}$$

Эти решения также описывают ускоренное расширение наблюдаемого подпространства и сжатие дополнительного (u_1', u_2', φ' — постоянные, получаемые путём численного решения уравнений). Решения подобного вида (экспонента от экспоненты) в последнее время приобрели большую популярность, поскольку позволяют избежать сингулярностей, связанных с обращением в бесконечность масштабного фактора или параметра Хаббла за конечное время. Таким образом, подтверждена реалистичность модели в описании ускоренного расширения поздней Вселенной.

В **главе 3** приведён краткий обзор физических теорий, предполагающих размерность пространства-времени больше четырёх, и указаны способы объяснить его наблюдаемую четырёхмерность. Приведено возражение, что возникающая в общей теории относительности изотропизация космологического расширения противоречит ненаблюдаемости дополнительных измерений. Сказано о попытках объяснить эту ненаблюдаемость анизотропностью уравнения состояния материи. **Раздел 3.1** посвящён изложению решений, полученных другими авторами в первом порядке теории Лавлока (который совпадает с общей теорией относительности): решений Казнера и Якобса, а также изотропизующихся решений для Вселенной, заполненной пылью, тёмной энергией и предельно жёсткой материей. **Раздел 3.2**, посвящённый второму порядку теории Лавлока, открывается аналогом решения Казнера, обобщенным автором диссертации на случай произвольной размерности. Далее следуют уже собственные достижения автора: для идеальной жидкости с параметром уравнения состояния $w = 1/3$ получен (в пренебрежении линейными по кривизне членами) аналог решения Якобса

$$g_{\mu\nu} = \mathrm{diag}\{-1, t^{2p_1}, t^{2p_2}, \ldots, t^{2p_n}\},$$

где p_i удовлетворяют условиям

$$\sum_i p_i = 3, \qquad 3\sum_{i<j<k<l} p_i p_j p_k p_l = \frac{2\pi G\varepsilon_0}{\alpha_2 c^4}; \tag{10}$$

для идеальной жидкости с произвольным параметром уравнения состояния получено (без пренебрежения линейными по кривизне членами) показательное решение

$$g_{\mu\nu} = \mathrm{diag}\{-1, e^{2H_1 t}, e^{2H_2 t}, \ldots, e^{2H_n t}\},$$

$$\begin{aligned}
&\textstyle\sum_i H_i = 0,\\
&\textstyle\sum_i H_i^2 = (1-3w)\varkappa_0,\\
&\textstyle\sum_i H_i^4 = \dfrac{w-1}{2\alpha_2}\varkappa_0 + \dfrac{(1-3w)^2}{2}\varkappa_0^2,
\end{aligned}$$

где $\varkappa_0 \equiv \dfrac{8\pi G}{c^4}\varepsilon_0$. Кроме того, во втором порядке теории Лавлока с дилатоном найдены степенные решения, отвечающие не полностью анизотропному случаю, а случаю наличия двух максимально симметричных подпространств.

В **разделе 3.3** показательные решения обобщены на третий порядок теории Лавлока:

$$g_{\mu\nu} = \mathrm{diag}\{-1, e^{2H_1 t}, e^{2H_2 t}, \ldots, e^{2H_n t}\},$$

$$\begin{aligned}
&\sigma_1 = 0,\\
&\sigma_4 = \frac{1}{2}\sigma_2^2 - \frac{\alpha_1}{2\alpha_2}\sigma_2 - \frac{1-5w}{16\alpha_2}\varkappa\varepsilon_0,\\
&\sigma_6 = \frac{1}{3}\sigma_3^2 + \frac{1}{4}\sigma_2^3 - \frac{3\alpha_1}{8\alpha_2}\sigma_2^2 + \frac{1}{96}\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_3} - \frac{9(1-5w)}{2\alpha_2}\varkappa\varepsilon_0\right)\sigma_2 + \frac{1-3w}{384\alpha_3}\varkappa\varepsilon_0,
\end{aligned}$$

где

$$\sigma_s \equiv \sum_i H_i^s.$$

Наконец, в **разделе 3.4** степенные решения Казнера и Якобса обобщены на произвольный p-й порядок теории Лавлока. Обобщение решения Казнера:

$$\sum_i p_i = 2p-1, \qquad \sum_{i_1<i_2<\ldots<i_{2p}} p_{i_1}p_{i_2}\cdots p_{i_{2p}} = 0,$$

обобщение решения Якобса, отвечающее параметру уравнения состояния $w = 1/(2p-1)$:

$$\sum_i p_i = 2p-1, \qquad \sum_{i_1<i_2<\ldots<i_{2p}} p_{i_1}p_{i_2}\cdots p_{i_{2p}} = -\frac{1}{\alpha_p 2^p (2p)!}\cdot\frac{8\pi G}{c^4}\varepsilon_0.$$

Таким образом, показана возможность неизотропизующегося расширения Вселенной в рамках теории Лавлока, что означает допустимость существования ненаблюдаемых дополнительных измерений.

В последней, **4-й главе** изучается устойчивость решения де Ситтера

$$g_{\mu\nu} = \{-1, e^{2H_0 t}, e^{2H_0 t}, e^{2H_0 t}\}$$

в рамках $f(R, \mathcal{G})$-теории, то есть теории гравитационного поля, чей лагранжиан является функцией первых двух лагранжианов Лавлока. Исследована устойчивость относительно изотропных и анизотропных (Бианки-I) возмущений:

$$g_{\mu\nu} = \{-1, a^2(t), b^2(t), c^2(t)\},$$
$$a(t) = e^{H_0 t} + \delta a(t), \quad b(t) = e^{H_0 t} + \delta b(t), \quad c(t) = e^{H_0 t} + \delta c(t).$$

Показано, что решение де Ситтера является устойчивым, если функция $f(R, \mathcal{G})$ удовлетворяет следующему условию:

$$\frac{f'_R(H_0)}{f''_{RR}(H_0) + 8H_0^2 f''_{R\mathcal{G}}(H_0) + 16H_0^4 f''_{\mathcal{G}\mathcal{G}}(H_0)} > 12H_0^2.$$

Приведён пример функции, удовлетворяющей условию устойчивости:

$$f(R, G) = -72H_0^6 + 15H_0^4 R^2 - 7H_0^2 R\mathcal{G} + \mathcal{G}^2.$$

В **Заключении** излагаются основные достижения автора, включённые в диссертацию.

Положения, выносимые на защиту

1. Во втором порядке теории Лавлока получено (в неявном виде) общее точное решение для случая семимерного пустого пространства с двумя максимально симметричными плоскими трёхмерными подпространствами.

2. В третьем порядке теории Лавлока в семимерном пустом пространстве с двумя максимально симметричными трёхмерными подпространствами получено (при определённом условии на коэффициенты) решение показательного вида, описывающее ускоренное расширение видимого подпространства и сжатие дополнительного. Таким образом, показана возможность существования в рассмотренной модели инфляционного периода.

3. Во втором порядке теории Лавлока с дилатоном получено решение вида экспоненты от экспоненты, также описывающее ускоренное расширение видимого подпространства и сжатие дополнительного. Таким образом, подтверждена реалистичность модели в описании ускоренного расширения поздней Вселенной.

4. В произвольном порядке теории Лавлока (в пренебрежении всеми прочими порядками) получено анизотропное (типа Бианки-I) степенное решение для пустого пространства произвольной размерности. Данное решение обобщает решение Казнера.

5. В произвольном порядке теории Лавлока (в пренебрежении всеми прочими порядками) получено анизотропное (типа Бианки-I) степенное решение для пространства произвольной размерности, заполненного однородной материей в виде идеальной жидкости с определённым параметром уравнения состояния ($w = 1/(2p-1)$, где p — рассматриваемый порядок теории). Данное решение обобщает решение Якобса.

6. Во втором и в третьем порядках теории Лавлока (без пренебрежения низшими порядками) получены анизотропные (типа Бианки-I) показательные решения для пространства произвольной размерности, заполненного однородной материей в виде идеальной жидкости с произвольным параметром уравнения состояния. Таким образом, доказана возможность существования ненаблюдаемых дополнительных измерений в рамках данной модели.

7. Найдено условие устойчивости решения де Ситтера в $f(R, \mathcal{G})$-теории.

Публикации по теме диссертации

1. И. В. Кирнос, А. Н. Макаренко. Космологические решения в теории Лавлока // Перспективы развития фундаментальных наук: труды V международной конференции студентов и молодых учёных. — Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — с 251 – 252.

2. I. V. Kirnos, A. N. Makarenko, K. E. Osetrin. Cosmological solutions in the Lovelock theory and the Einstein-Gauss-Bonnet theory with a dilaton // Gravitation and Cosmology, 2009, vol. 15, № 1, pp. 59 – 61.

3. I. V. Kirnos, A. N. Makarenko. Accelerating cosmologies in Lovelock gravity with dilaton // The Open Astronomy Journal, 2010, No. 3, pp. 32 – 43.

4. I. V. Kirnos, A. N. Makarenko, S. A. Pavluchenko, A. V. Toporensky. The nature of singularity in multidimensional anisotropic Gauss-Bonnet cosmology with a perfect fluid // General Relativity and Gravitation, 2010, Vol. 42, No. 11, pp. 2633-2641.

5. И. В. Кирнос. Устойчивость решения де Ситтера в f(R,G)-теории // II Российская летняя школа-семинар "Современные теоретические проблемы гравитации и космологии" — GRACOS-2009, 24 – 29 августа 2009 г., Казань-Яльчик. Труды семинара. — Казань: Изд-во "Фолиантъ", 2009, с. 88 – 92.

6. И. В. Кирнос. Анизотропные космологические решения показательного и степенного вида в теории Эйнштейна-Гаусса-Бонне с материей в пространстве типа Бианки-I произвольной размерности // II Российская летняя школа-семинар "Современные теоретические проблемы гравитации и космологии" — GRACOS-2009, 24 – 29 августа 2009 г., Казань-Яльчик. Труды семинара. — Казань: Изд-во "Фолиантъ", 2009, с. 93 – 98.

7. I. V. Kirnos, S. A. Pavluchenko, A. V. Toporensky. New features of a flat (4 + 1)-dimensional cosmological model with a perfect fluid in Gauss-Bonnet gravity // Gravitation and Cosmology, 2010, Vol. 16, No. 4, pp. 274 – 282.

8. И. В. Кирнос. Обобщение решений Казнера и Якобса на произвольный порядок теории Лавлока, а также анизотропное показательное решение в третьем порядке теории Лавлока в пространстве произвольной размерности // Gravitation and Cosmology — направлено в печать.