

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. К.А. Бронникова о диссертационной работе Макаренко Андрея Николаевича «**Космологические решения в модифицированных теориях гравитации**», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертационная работа А.Н. Макаренко посвящена исследованию различных космологических моделей в теориях гравитации, обобщающий общую теорию относительности (ОТО) Эйнштейна. Как известно, эта теория, возникшая почти столетие назад и приведшая к радикальному изменению тогдашних физических представлений о природе пространства-времени, до сих пор удивительно успешно проходит все экспериментальные и наблюдательные тесты в рамках Солнечной системы и локальных объектов типа двойных пульсаров. В то же время ОТО сталкивается с определенными трудностями при объяснении явлений галактического масштаба (проблема «темной материи») и космологических наблюдений, которые образуют огромный и постоянно растущий объем информации.

В мировой научной литературе представлены различные подходы к преодолению этих трудностей, таких как объяснение ускоренного расширения Вселенной в современную эпоху (проблема «темной энергии») и свойств галактик (проблема «темной материи»), описание переходов между различными фазами эволюции Вселенной, интерпретация свойств микроволнового фонового излучения и т.д. Эти подходы можно разделить на два крупных направления. В первом из них для описания Вселенной используется классическая ОТО с добавлением различных материальных источников гравитации, происхождение которых связано либо с квантовыми эффектами, либо с существованием пока не наблюдаемых физических полей или частиц. Наиболее известным примером такого подхода является использование космологиче-

ской постоянной как источника ускоренного расширения Вселенной, что приводит к моделям, достаточно хорошо описывающим современное состояние Вселенной. Но в этом случае возникают вопросы, связанные с происхождением этой постоянной и с переходами между различными фазами расширения Вселенной. Подобные вопросы возникают и в моделях с привлечением различных скалярных полей типа «квинтэссенции» и других полей с экзотическими свойствами.

Второй подход, имеющий достаточно много сторонников, связан с выходом за рамки ОТО и переходом к новой, альтернативной теории, выбор которой может следовать, например, из теории струн. Именно такой подход и реализован в работе А.Н. Макаренко. Несомненным преимуществом такого подхода является тот факт, что в этом случае не вводятся какие-либо дополнительные поля, а нужный режим расширения модели Вселенной возникает из свойств теории. Можно сказать, что мы имеем дело с гравитационной альтернативой темной энергии. Наблюдательные данные допускают интерпретацию в рамках весьма разнообразных теорий, разрабатываемых многими группами физиков и космологов во всём мире; данное исследование вносит заметный вклад в эту работу, так что его актуальность вполне очевидна. Следует также заметить, что в данной работе демонстрируются математические связи между различными теориями, которые позволяют получать одно и то же решение в различных подходах.

Диссертация имеет объем в 266 страниц и состоит из введения, шести глав, заключения и списка используемой литературы из 254 наименований.

Во введении сделан обзор литературы, обоснована актуальность темы исследования, и приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации посвящена в первую очередь построению фантомных космологических моделей. Интерес к таким моделям связан с тем, что, по последним наблюдательным данным, наиболее вероятное значение эффективного параметра уравнения состояния  $w$  меньше минус единицы, что, по определению, и указывает на фантомный режим расширения Вселен-

ной. Правда, погрешность измерения этого параметра не позволяет однозначно утверждать, что именно в таком режиме расширяется Вселенная. Поэтому автор исследует и другие возможные режимы расширения Вселенной - деситтеровский ( $w=-1$ ) и в типа так называемой квинтэссенции ( $w > -1$ ). Построен ряд моделей, удовлетворяющих достаточно широкому спектру наблюдательных данных. Рассмотрены также предсказания различных моделей, касающиеся поведения Вселенной в будущем.

Во второй главе автор исследует модели, содержащие в действии лагранжевы множители. В качестве основы выбрана теория гравитации, вид которой инспирирован теорией струн. Наличие лагранжевых множителей полезно при тонкой настройке теории для согласования с наблюдательными данными. Кроме того, недавно появились модели, в которых лагранжевы множители позволяют построить достаточно интересный переход между фазами преобладания пылевидной материи и ускоренного расширения. Автором показано, что наличие лагранжевых множителей ведет к возникновению новых, интересных с космологической точки зрения, решений. Однако не всегда наличие лагранжевых множителей приводит к таким следствиям. Построена модель, в которой наличие лагранжевых множителей ведет к существенным ограничениям.

Третья глава посвящена еще одной известной концепции, популярной в последние годы – это то, что автор называет «циклической» космологией, или космология с отскоком. В этом подходе космологическая сингулярность отсутствует, и текущее расширение Вселенной наступает после фазы сжатия. Для построения моделей автор использует так называемую реконструкцию, или метод обратной задачи, в котором по заданному поведению масштабного фактора восстанавливается конкретный вид  $f(R)$ - или  $f(G)$ -теории гравитации, где  $G$  - инвариант Гаусса-Бонне. Этим методом построены космологические модели, описывающие различные фазы эволюции Вселенной, а также несколько различных фаз в единой модели.

В четвертой главе автор строит космологические модели в рамках предложенной в его работах теории Эддингтона-Борна-Инфельда, содержащей произвольную функцию от скалярной кривизны. Следует отметить, что теории такого типа довольно плохо изучены, так как при отсутствии материи существует только решение с космологической постоянной, а наличие материи приводит к сложным и неудобным для работы уравнениям. В диссертации показано, что добавление функции от скалярной кривизны позволяет получить космологические решения в вакууме, а также предложен механизм исследования таких теорий с материей. Однако окончательный анализ таких теорий возможен только численными методами. Показано, что возникающие в таких теориях космологические модели обладают рядом интересных свойств, в частности, могут успешно описывать инфляционную стадию и переход между фантомной и нефантомной стадиями ускоренного расширения.

Пятая глава посвящена многомерным теориям гравитации. Основное внимание уделяется теориям Лавлока, характерная особенность которых состоит в том, что полевые уравнения являются уравнениями второго порядка, несмотря на присутствие высших инвариантов кривизны в лагранжиане. Рассмотрен ряд космологических моделей (как изотропных, так и казнеровского типа) в шести- и семимерном пространстве-времени с лавлоковскими лагранжианами второго и третьего порядков, т.е. содержащих два или три сомножителя в виде компонент тензора кривизны. Исследован ряд многомерных моделей Гаусса-Бонне с дилатоном и в космологии мира на бране. Показано, в частности, что в наблюдаемом секторе таких моделей можно получить решения, описывающие изотропизацию анизотропной Вселенной как на ранних этапах эволюции, так и при достаточно больших временах.

В шестой главе изучаются модели, содержащие спинорные поля. Для космологии первого типа Бианки построено точное решение уравнений Эйнштейна-Вейля. Показано, что с помощью спинорных полей, как и в других рассмотренных подходах, можно описывать различные фазы эволюции наблюдаемой Вселенной, однако в описанных здесь моделях включение спи-

норного поля приводит к замедлению расширения и не позволяет получить ускоренное расширение. В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Новизна полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку построен достаточно широкий спектр новых реалистичных космологических моделей, описывающих как отдельные фазы эволюции Вселенной и переходы между ними, так и несколько различных этапов в рамках единой теории. Существенно, что автор исследовал не только уже известные теории, но и теории, предложенные в его собственных работах.

Сделанные в диссертации выводы, несомненно, достоверны, это можно утверждать, опираясь на внутреннюю согласованность работы и на совпадение полученных результатов с результатами других исследователей в соответствующих частных случаях. Кроме того, в работе использовались корректные математические методы и подходы, некоторые из них являются общепринятыми в подобных исследованиях, а некоторые разрабатывались и в работах автора. Положения, выносимые на защиту, находят обоснование в работе и полностью соответствуют заявленной специальности.

Вместе с тем нельзя не отметить ряд недостатков диссертации А.Н. Макаренко. Прежде всего, при большом количестве различных теорий, рассматриваемых в работе, отсутствует сравнительный анализ, нет подробного обсуждения их преимуществ и недостатков и каких-либо выводов о том, какая теория или класс теорий и какие из построенных моделей выглядят наиболее предпочтительными и перспективными с физической точки зрения. Не проведено сопоставление моделей с полным спектром имеющихся наблюдательных данных. Эти замечания можно рассматривать как пожелание для дальнейшего развития данной работы, они не умаляют значения полученных автором результатов.

Есть также замечания методического и стилистического характера. Так, например, в начале раздела 3.2 говорится «мы рассмотрим метод реконструкции для  $F(R)$ -гравитации...» - однако не говорится, что на «входе» и что

на «выходе» этой операции, а только приводится вид уравнения Фридмана – т.е. заявленная цель данного раздела не достигнута, и смысл операции реконструкции удастся понять только на последующих примерах.

На стр. 115 рассматривается «экспиротик сценарий» - во-первых, это не по-русски – если есть необходимость изобретать новый для русскоязычной литературы термин, надо это делать по правилам русского языка. Во вторых – главное – остается загадкой, в чём же заключаются идея и отличительные особенности такого сценария, это указать необходимо, а не ограничиваться ссылками на литературу.

Есть примеры предложений, неправильных с точки зрения русского языка, а также неудачного использования терминов. Так, на стр. 21 читаем: «Выбирая различные значения постоянных, модель будет иметь различное поведение». На стр. 53: «Это позволяет решить ряд недостатков подобных теорий». Термин «циклический», как правило, предполагает некую периодичность, тогда как автор называет циклической любую космологию с «отскоком», например, с масштабным фактором  $a(t) = \exp(\alpha t^2)$ , где никакой периодичности нет. В тексте много опечаток и есть неисправленные грамматические ошибки. На имеющихся рисунках на многих графиках невозможно разобрать, что отложено по осям.

Впрочем, все такие замечания носят частный характер и не снижают ценности полученных результатов.

Результаты исследования прошли необходимую апробацию в виде докладов на многочисленных научных семинарах и конференциях. Публикации по теме диссертации раскрывают положения, выносимые на защиту. Автореферат диссертации верно и достаточно полно отражает ее содержание.

Все сказанное позволяет заключить, что диссертация «Космологические решения в модифицированных теориях гравитации» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, имеющую существенное значение для теоретической физики и космологии, и соответствует требованиям действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

ВАК РФ. Автор диссертации, Макаренко Андрей Николаевич, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник ВНИИМС  
Бронников Кирилл Александрович  
E-mail: [kb20@yandex.ru](mailto:kb20@yandex.ru)



ФГУП «ВНИИМС» - Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы, 119361, Москва, Озерная ул., 46, тел. (495) 437 55 77  
10.10.14

Подпись К.А. Бронникова удостоверяю:



*1 к 2/к* *ГМУ* (Колмогорова Н.В.)