

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы «Исследование космологических моделей в рамках общей и модифицированной теории гравитации» Цыбы Петра Юрьевича, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности: 6D060400-Физика

Актуальность темы исследования. За последнее десятилетие космология переживает большой рост активности, особенно в связи с получением большого количества наблюдательных данных. Недавними наблюдениями космического микроволнового излучения была подтверждена инфляция в ранней Вселенной и ускоренное расширение в поздней Вселенной. Также ускоренное расширение Вселенной было представлено недавними наблюдениями за сверхновыми типа Ia, крупномасштабной структурой Вселенной, барионными акустическими колебаниями и слабым линзированием. В этом смысле, наблюдения за сверхновыми типа Ia двумя независимыми группами в 1998 году (С. Перлмуттер и А. Рисс) впервые показали отклонение светимости от расстояния, что фактически было интерпретировано как следствие ускоряющегося расширения Вселенной. Эти хорошо подтверждаемые наблюдения совместно с предположением, что Вселенная на больших масштабах является однородной и изотропной, привели к большому количеству вариантов способных объяснить такое аномальное поведение.

Объяснить такое космическое ускорение позволяет введение так называемой темной энергии в рамках общей теории относительности или введением модифицированных теорий на больших масштабах. Следовательно, в уравнениях Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера, которые хорошо теоретически описывают Вселенную на больших масштабах, чтобы воспроизвести ускоряющее расширение, необходимо применить к описанию темной энергии жидкость с отрицательным давлением. Поведение такой жидкости может быть рассчитано несколькими путями: введением положительной космологической константы, скалярным полем, векторным полем, модифицированной гравитацией общей теории относительности или другими путями. Что касается возможных модификаций ОТО, которые могут привести к поведению эквивалентному темной энергии и способных реализовать позднереволюционное ускоренное расширение Вселенной, то возможно, так называемая, $f(R)$ теория гравитации является самой известной альтернативой, в которой происходит обобщение простейшего действия Гильберта-Эйнштейна к более общей функции от скаляра Риччи. Тем не менее, кроме инвариантов кривизны были исследованы и другие альтернативы ОТО, также приводящие к теориям способным очень хорошо воспроизводить космологическое расширение, например, теории содержащие инвариант Гаусса-Бонне.

Для решения проблемы темной энергии были рассмотрены некоторые обобщения, так называемой телепараллель теории гравитации. В телепараллель

теории гравитации для построения гравитационного действия взамен связанности Леви-Чивиты предполагается применение связанности Вейтзенбока. В этом случае инвариант кривизны обращается в ноль, в то время как скаляр кручения не будет нулевым, так, что действие, состоящее из линейных членов кручения приводит к теории эквивалентной ОТО. Следовательно, телепараллельная теория гравитации приводит к тем же уравнениям ФЛРУ, что и стандартная ОТО. Решения уравнений движения телепараллельной теории гравитации описывающих темную энергию приводят к ускоренно расширяющейся Вселенной. Тем не менее, по аналогии с $f(R)$ теориями были предложены некоторые обобщения телепараллельной теории под названием $f(T)$ теории гравитации, которые способны воспроизводить эпоху темной энергии. Во многих работах, где были исследованы обычные космологические модели и их свойства в рамках $f(T)$ теории гравитации проведен анализ такой возможности. Целью $f(R)$ теории является воспроизведение эпохи темной энергии только гравитацией без необходимости каких-либо дополнительных полей. Тем не менее, по сравнению с $f(R)$ теорией, в которой уравнения движения являются уравнениями четвертого порядка, уравнения гравитационного поля $f(T)$ теории второго порядка, что упрощает их и приводит к таким же моделям гравитационных волн как в ОТО. К тому же были исследованы другие теоретические аспекты $f(T)$ теории гравитации, такие как проблема причинности, инфляция, поведение космологических возмущений, некоторые конформные симметрии в телепараллельной теории или локальная лоренц-инвариантность теории.

С другой стороны, также исследовалась возможность воспроизводить темную энергию посредством спинорных полей. В этом смысле, любое космологическое решение может быть реконструировано соответствующим взаимодействующим членом спинорного поля в рамках ОТО или членами высшего порядка, таких как $f(R)$ теория так, что космологическая история могла бы объясняться такими источниками как дираковские поля. Кроме того были предложены некоторые модели инфляции со спинорными полями, а также модели, которые имитируют некоторые известные модели темной энергии – модели квинтэссенции с уравнением состояния типа газа Чаплыгина. Также были исследованы космологические решения со спинорными полями в гравитационных теориях с не нулевым кручением.

В истории расширения Вселенной существуют две сингулярности. Одна из сингулярностей является сингулярностью большого взрыва. Другая является конечнореальной сингулярностью, которая возникает на последней стадии или Big Crunch сингулярность.

Чтобы избежать этих сингулярностей, в различных космологических сценариях были предложены модели циклических Вселенных, экипротических Вселенных, пульсирующих Вселенных.

Кроме того, к циклическим Вселенным относятся узловые Вселенные. Используя функции Якоби и Вейерштрасса, было реконструировано уравнение состояния для циклической Вселенной в однородном и изотропном

пространстве ФЛРУ.

Необходимость изучения модифицированной телепараллель теории гравитации со спинорными полями и космологических моделей обладающих обобщенными уравнениями состояния обусловлена следующими причинами

Во-первых, существует проблема темной энергии. Целый ряд различных моделей описывает ускоренное расширение современной Вселенной. Однако в настоящее время не представляется возможным сделать выбор в пользу той или иной модели. Это объясняется, в том числе, и невозможностью прямого экспериментального исследования этих моделей в земных условиях. Сегодня надежды в этой области связаны с дальнейшим уточнением астрономических наблюдений. В такой ситуации наличие широкого круга разнообразных и простых моделей, описывающих ускоренное расширение современной Вселенной, позволит в дальнейшем сделать выбор в пользу наиболее адекватной. Уравнения поля модифицированной телепараллель теории гравитации позволяют получать космологические модели, которые легче поддаются анализу, вследствие того, что содержат производные не выше второго порядка.

Во-вторых, существующие космологические модели описывающие темную энергию обладают существенным недостатком – в них содержатся сингулярности. Поэтому необходимо построение космологических моделей, в которых отсутствуют подобные «объекты» и моделей согласующихся с эволюцией Вселенной.

Цель диссертационного исследования и научные результаты – построение расширенных моделей Вселенной с обобщенными уравнениями состояния вещества

Научные результаты, полученные в диссертационной работе

1. В рамках классической модели гравитации Эйнштейна исследованы космологические модели с эффективной k -эссенцией, модели с пересечением фантомного разрыва и фантомные космологические модели, обладающие периодическим и квазипериодическим параметром уравнения состояния. Исследованы космологические модели, возникающие из редукций эллиптической функции Вейерштрасса.

2. Для описания процесса ускоренного расширения Вселенной предложена эллиптическая функция Вейерштрасса в качестве обобщения моделей с уравнением состояния типа газа Чаплыгина.

3. Исследованы космологические модели, основанные на модифицированной телепараллель теории гравитации со спинорным полем. Реконструированы космологические модели темной энергии, содержащие спинорное поле с уравнением состояния газа Чаплыгина, обобщенного газа Чаплыгина и модифицированного газа Чаплыгина. Выполнена реконструкция космологических решений соответствующих Λ CDM-модели и степенному решению.

4. В рамках $F(T)$ теории гравитации с f -эссенцией методом симметрии Нетер получено космологическое решение, описывающее ускоренно расширяющуюся Вселенную. Для соответствующего лагранжиана получены

генератор симметрии векторного поля и закон сохранения.

Объект исследования – эволюция Вселенной на классическом уровне.

Предмет исследования – поиск космологических решений гравитационных уравнений с материей, адекватно описывающих эпоху темной энергии Вселенной.

Научная новизна.

– Рассмотрена модель модифицированной телепараллель теории гравитации со спинорным полем. Показано, что при определенном выборе члена модифицированной телепараллель теории гравитации в действии в качестве кандидата на роль темной энергии может претендовать спинорное поле.

– Проведена реконструкция космологических моделей с уравнениями состояния типа газа Чаплыгина, обобщенного газа Чаплыгина и модифицированного газа Чаплыгина. Показано, что спинорное поле может выступать в качестве кандидата на роль темной энергии с такими уравнениями состояния.

– Рассмотрена модель классической гравитации Эйнштейна. В рамках модели k -эссенции, фантомной модели и моделей с пересечением фантомного разрыва сделана реконструкция космологических моделей обладающих периодическим и квазипериодическим параметром уравнения состояния.

Задачи исследования. Основные задачи диссертационной работы состоят в следующем:

1. В рамках общей теории относительности получить космологические модели, описывающие ускоренное расширение Вселенной. Рассмотреть в качестве обобщения моделей типа газа Чаплыгина эллиптическую функцию Вейерштрасса.

2. В рамках модифицированной теории гравитации со спинорным полем показать, что спинорное поле с уравнениями состояния типа газа Чаплыгина, обобщенного газа Чаплыгина и модифицированного газа Чаплыгина может выступать в роли кандидата на темную энергию.

3. В рамках $F(T)$ теории гравитации с f -эссенцией методом симметрии Нетер получить космологическое решение, описывающее ускоренно расширяющуюся Вселенную и получить, соответствующему лагранжиану модели, генератор симметрии векторного поля и закон сохранения.

На защиту выносятся:

– Разработанные расширенные модели Вселенной, с эффективной k -эссенцией, с пересечением фантомного разрыва и фантомные космологические модели, обладающие обобщенным уравнением состояния вещества, описывающие темную энергию.

– Эллиптическая функция Вейерштрасса, как обобщение уравнений состояния в космологических моделях с уравнением состояния типа газа Чаплыгина.

– Космологические модели, основанные на модифицированной телепараллель теории гравитации со спинорным полем подчиняющимся уравнениям состояния типа газа Чаплыгина, обобщенного газа Чаплыгина и

модифицированного газа Чаплыгина способные описывать процесс ускоренного расширения Вселенной.

– Космологические модели, основанные на модифицированной телепараллель теории гравитации с f -эссенцией, и полученные из них решения, способные описывать процесс ускоренного расширения Вселенной.

Практическое значение полученных результатов.

Диссертационная работа носит теоретический характер. Ее результаты могут быть использованы для построения моделей темной энергии и объяснения современных наблюдательных данных, косвенно демонстрирующих явление ускоренного расширения Вселенной. Полученные в диссертации точные решения могут быть использованы для дальнейших исследований в современной космологии.

Также результаты диссертационной работы могут быть применены в учебном процессе для чтения элективных курсов магистрантам и докторантам специальности «Физика».

Личный вклад автора. В процессе выполнения исследований автор под руководством научных руководителей принимал непосредственное участие во всех этапах работы: провел все расчеты, построил графики найденных решений, лично подготовил публикации.

Апробация результатов работы. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на

– Astrophysics, Gravity and Cosmology. I Eurasian International Conference. Astana, 2012;

– Актуальные проблемы современной физики. Международная научная конференция, посвященная 75-летию академика НАН РК Абдильдина М.М. – Алматы. – 2013;

– Валихановские чтения – 17. Международная научно-практическая конференция. Кокшетау. – 2013;

– Ломоносов – 2013. Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых. – Астана. – 2013;

– Наука и образование –2013. VIII Международная научная конференция студентов и молодых ученых. Астана. – 2013;

– Современные проблемы физики. Международная научная конференция, посвященная 70-летию академика НАН РК Такибаева Н.Ж. Алматы. – 2013;

– Astrophysics, Gravity and Cosmology. II Eurasian International Conference. Astana, 2014;

– XIII International Conference on Mathematical Physics and Application. Istanbul. – 2015;

– Наука и образование – 2016. XI Международная научная конференция студентов и молодых ученых. Астана. – 2016.

Кроме того, полученные результаты докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры Общей и теоретической физики ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, на семинарах Евразийского международного центра теоретической физики и семинарах департамента физики Калифорнийского государственного университета, Фресно.

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 15 работ, из них: 2 статьи в зарубежных журналах с высоким импакт-фактором входящие в базу данных Thomson Reuters и Scopus; 5 статей в периодических изданиях Республики Казахстан, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; 1 статья в зарубежной международной конференции; 4 статьи и 2 тезиса в материалах международных конференций (труды 1 конференции опубликованы в зарубежном журнале); 1 монография.

Импакт-фактор журналов. В целом докторант имеет опубликованных 7 статей в зарубежных журналах, в том числе 5 в журналах с высоким импакт-фактором.

H-индекс и цитируемость работ. Докторант имеет следующие наукометрические показатели по базам данных Google Scholar и Thomson Reuters, которые приведены в таблице.

Таблица – Наукометрические показатели

База данных	H-индекс	Цитируемость
Google Scholar	5	173
Thomson Reuters	3	59

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения и списка использованных источников из 184 наименований, содержит 100 страниц основного компьютерного текста, включая 20 рисунков и 2 таблицы.