

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по специальности «6D060400 – Физика»

БЕКОВ САБИТ СЕГИЗБАЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ С НЕКАНОНИЧЕСКИМ ЛАГРАНЖИАНОМ МАТЕРИИ

Диссертационная работа посвящена изучению ранней и поздней эпохи эволюции Вселенной в рамках модифицированных теории гравитации, полученные космологические решения не противоречат современным данным наблюдений.

Актуальность темы

Сейчас принято считать, что наша Вселенная возникла примерно 14 млрд. лет назад после Большого Взрыва, где ее температура была необычно высокой ($T > 10^{28}$) и она начала ускоренно расширяться. Первые минуты ее расширения известны нам как инфляционная стадия расширения Вселенной, которая была предложена еще в 1981 году Аланом Гутом. Далее расширение Вселенной начала замедляться, а ее температура соответственно снижаться. После инфляционной стадии расширения начинается процесс рождения и взаимодействия элементарных частиц во Вселенной. Далее началась эпоха вещества, где начались формироваться звезды, галактики и т.д., то есть формировалась структура нашей Вселенной. В конце прошлого века при длительном наблюдении за сверхновыми типа Ia, было установлено, что наша Вселенная вновь начала ускоренно расширяться. В современных литературах эта эпоха известна нам как эпоха позднего расширения Вселенной. Причина такого расширения Вселенной нам все еще не известна, однако предложена гипотеза, что во Вселенной доминируют некая темная энергия и темная материя. Считается, что темная материя (скрытая материя) заставляет галактики во Вселенной вращаться с большой скоростью, а темная энергия играет роль антигравитации и имеет большое отрицательное давление.

В современной космологии для объяснения феномена ускоренного расширения поздней эволюции Вселенной применяются различные обобщения стандартной теории гравитации, основанная на общей теории относительности Эйнштейна. Обычно, такие обобщения теории можно разделить на два типа:

– это модели, где в функции Лагранжа в действии обобщают компоненты, отвечающие за геометрию четырехмерного пространства-времени, к примеру, теории $f(R)$ гравитации (где R - является скаляром Риччи), теория гравитации с телепараллелизмом, $f(T)$ гравитации (где T является скаляром кручения) и их различные модифицированные или объединенные теории. К примеру, телепараллельная гравитация является альтернативной теорией общей теории относительности, которая была

предложена самим А. Эйнштейном для объединения гравитационных и электромагнитных полей.

— модели, где в функцию Лагранжа в действии добавляют новые компоненты полей материи, такие как скалярные поля, квинтессенция, фантомные поля, тахионные поля, бозон Хиггса, фермионные поля и другие способны описать как раннюю, так и позднюю динамику расширения Вселенной, однако какой из них является более реалистичной и не противоречить основным законам физики покажут дальнейшие экспериментальные и наблюдательные данные.

Есть два способа нахождения уравнения движения поля. Первый из них стандартный метрический формализм, в котором уравнения поля определяются вариацией метрического тензора g_{ik} . В этом формализме аффинное отношение Γ_{jk}^i зависит от метрического тензора g_{ik} . Второй способ вывода уравнений движения состоит в том, что метрический тензор g_{ik} и аффинная связность Γ_{jk}^i являются независимыми переменными. Этот метод известен нам как формализм первого порядка (формализм Палатини), поскольку при варьировании по независимой метрике и связи, вместо системы уравнений второго порядка в метрическом формализме используется система дифференциальных уравнений первого порядка. Такой способ в некотором смысле, облегчает поиск решений уравнений движения. Два рассмотренных подхода приводят к различным уравнениям гравитационного поля для нелинейного Лагранжа, тогда как для общей теории относительности они идентичны друг другу. Другим хорошим методом решения уравнений поля широко применяемой в космологии является подход с использованием теоремы Нетер, основанный на связи законов сохранения и симметрии.

За последние несколько лет появились важные технологические программы, такие как Python, Maple, Wolfram Mathematica, которые помогают улучшить процесс сбора, анализа и хранения данных. Но в любом исследовании трудно решить какую-либо проблему, не проводя прямых экспериментов. В некотором смысле это является проблемой в общей теории относительности, поскольку невозможно проводить прямые эксперименты над Вселенной. Но на решение некоторых проблем можно ответить с помощью методов машинного обучения. Машинное обучение в настоящее время является одной из самых популярных и интересных областей исследований в космологии.

Цель диссертации

Теоретическое исследование динамики первой и второй фазы эволюции ускоренного расширения Вселенной в рамках модифицированной теории гравитации с неканоническим лагранжианом материи с использованием современных аналитических и численных методов для решения полевых уравнений, а также сравнения полученных результатов с наблюдательными данными.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Описать динамику ранней (инфляционной) стадии эволюции Вселенной в теории $f(R)$ гравитации и формализме Палатини. Определить для рассматриваемых моделей режимы медленного скатывания скалярного поля и сравнить их с наблюдательными данными;

2. Реконструировать потенциалы квинтэссенции темной энергии по информационному критерию Байеса. Изучить проблему $H(z)$ натяженности Вселенной, характеризующейся квинтэссенционной темной энергией;

3. Сравнить полученные космологические решения с наблюдательными данными с применением подхода использующей теорему Нетер в космологических моделях со скалярным и фермионными полями;

Объект исследования

Эволюция однородной и изотропной Вселенной в различных космологических моделях.

Предмет исследования

Поиск космологических решений, правильно объясняющих этапы эволюции Вселенной.

Методы исследования

В рассмотренных космологических моделях использовались методы: вариационный метод, метод разделения переменных для решения нелинейных дифференциальных уравнений, метод использования теоремы Нетера, метрический формализм и формализм Палатини. Также в численных расчетах использовался метод Байесовского анализа.

Новизна исследования

– Определены параметры, определяющие динамику раннего (инфляционного) периода эволюции Вселенной с использованием формализма Палатини и теории $f(R)$ гравитации со скалярным полем для метрического формализма. При сравнении полученных результатов с данными наблюдений установлено, что космологические параметры, определенные с использованием формализма Палатини для модели $f(R)$ гравитации, точнее характеризуют инфляционный период эволюции Вселенной.

– Используя значения, определенные методами дифференциального возраста и Барионного акустического осцилятора (BAO), а также метод машинного обучения типов квинтэссенциального потенциала независимой от модели темной энергии квинтэссенции, реконструирован потенциал темной энергии квинтэссенции для параметра Хаббла, определенного в миссиях Планка и Хаббла.

– Сравнили решения, полученные из рассмотренных космологических моделей методом использующим теорему Нетер в космологических моделях со скалярным и фермионными полями с наблюдательными данными.

Положения, выносимые на защиту

1. Формализм Палатини эффективно описывает инфляционный период эволюции Вселенной, когда число e -*фолд* составляет $N = 65$ в теории $f(R)$ гравитации.

2. При значениях параметра Хаббла $H_0 = 67.40 \pm 0.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}$ и $H_0 = 73.52 \pm 1.62 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}$ потенциал темной энергии определенный методом машинного обучения согласуется с моделью квинтэссенции.

3. В теории $f(T, B)$ гравитации, в которой фермионное поле и гравитационное поле неминимально связаны, параметр m : 1) при $m = -1$, уравнение состояния $\omega = 1/3$, это решение описывает период, когда преобладало доинфляционное излучение; 2) при $m > 4$, $\omega < -1$ уравнение состояния соответствует модели фантомного поля; 3) когда $1 < m < 3$ параметр уравнения состояния в интервале $-1 < \omega < -1/3$ соответствует модели квинтэссенции; 4) $m = 3$, $\omega = -1$ полученный результат соответствует модели темной энергии.

Теоретическая и практическая значимость работы

Указанные в диссертации методы направлены на построение конкретных космологических моделей и их сравнение с данными наблюдений, применение в теоретической и экспериментальной космологии. Также полученные результаты могут использоваться при создании моделей ускоренного расширения Вселенной, а также при преподавании специализированных дисциплин в высших учебных заведениях.

Личный вклад автора

В ходе проведения научных исследований автор непосредственно участвовал во всех этапах написания диссертации и статей. Постановка задач, выбор методов исследования и обсуждения результатов проводились совместно с научными консультантами.

Апробация диссертационной работы

Результаты диссертации были представлены на следующих конференциях и семинарах:

– 15-я Международная научная конференция Marcel Grossmann Meeting, -Рим, Италия. – 2018 г. 1-7 июля;

– 8-я Международная конференция по математическому моделированию в физических науках Международная научная конференция, -Братислава, Словакия. – 2019 г. 26-29 августа;

– III Международная научная конференция «Астрофизика, гравитация и космология», – Астана, Казахстан. – 2016 г., 30 ноябрь-2 декабрь;

– XI Международная научная конференция, Наука и образование – 2016. – Астана, Казахстан. – 2016 г., 14 апрель;

– Ломоносова - 2018 Международная научная конференция, – Астана, Казахстан. – 2018 г., 20-21 апрель;

Кроме того, полученные результаты обсуждались на кафедре общей и теоретической физики ЕНУ имени Л.Н. Гумилева и на семинарах физического факультета Калифорнийского государственного университета (г. Фресно) США.

Публикации

По результатам диссертационной работы опубликовано 20 работ, 1 статья в журнале с ненулевым импакт-фактором, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды); 5 статей в зарубежных научных конференциях и 3 статьи в периодических изданиях, рекомендованных комитетом по обеспечению качества в области науки и высшего образования РК; 5 статей и 3 тезис в материалах международных конференций в РК, 3 статьи опубликовано в научных изданиях РК.

1. Bekov S., Myrzakulov K., Myrzakulov R., Gómez D.S.-C. General slow-roll inflation in $f(R)$ gravity under the Palatini approach// Symmetry.- 2020. - Vol. 12. - P. 1–13. (Q2)

2. Myrzakulov K., Bekov S., Myrzakulov R. Some cosmological solutions of $F(R)$ gravity with f -essence // Proceedings of the «Marcel Grossmann Meeting XV» Meeting on General Relativity, University of Rome «La Sapienza». - – Italy. – 2018. ISBN 978-3-030-83714-3.

3. Myrzakulov N., Bekov S., Myrzakulov K. Cosmological model of $f(T)$ gravity with fermion fields in (2+1) dimensions // Proceedings of the «Marcel Grossmann Meeting XV» Meeting on General Relativity, University of Rome «La Sapienza». – Italy. – 2018. ISBN 978-3-030-83714-3

4. Myrzakulov N., Bekov S., Myrzakulova S., Myrzakulov R. Cosmological model of $f(T)$ gravity with fermion fields via Noether symmetry// Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1391.

5. Myrzakulov Y., Bekov S., Myrzakulov K. Noether symmetry approach in $f(T, B)$ teleparallel gravity with a fermionic field// Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2090. – P. 12058.

6. Tsyba P., Razina O., Bekov S., Barkova Z., Myrzakulov, R. Scenario of the evolution of the universe with equation of state of the Weierstrass type gas// Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1391. – P. 12162.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Отдельные части диссертационной работы выполнены в рамках программы МНВО РК «Грантовое финансирование фундаментальных и прикладных научных исследований молодых ученых по проекту «Жас Галым» на 2022-2024 годы» при финансировании из государственный бюджет. Название проекта: AP14972745 «Исследование космологических моделей со скалярными и фермионными полями с некоторым применением теоремы Нетер».

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 108 страницах машинописного текста, содержит 10 рисунков и графиков, приведено 337 формул, 1 таблица, список использованных источников содержит 153 наименований.