

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Мырзакулова Нургисы Ансатбаевича
**“Космологические модели ранней и поздней Вселенной
с брадионными и тахионными полями”**,
представленной на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D060400 – Физика

Актуальность темы исследования. В настоящее время к основным нерешенным проблемам современной физики можно отнести проблемы ранней и поздней эпохи эволюции Вселенной. Сейчас принято считать, что Вселенная возникла примерно 15-20 млрд лет назад после Большого взрыва, когда она начала ускоренно расширяться. Этот период эволюции ранней Вселенной известен как инфляционный период расширения Вселенной, соответствующий первым мгновениям от ее рождения и с тех пор она непрерывно расширяется и охлаждается.

Сама формулировка модели Большого Взрыва началось в 1940-х годах с работы Дж. Гамова и его сотрудников Р. Альфера и Р. Германа. Для предположения, что все частицы нашей Вселенной имеют космологическое происхождение, они предположили, что ранняя Вселенная, которая когда-то была очень горячей и плотной, расширялась и остывала до ее настоящего состояния, следствием чего должно было быть наличие реликтового фонового излучения с температурой порядка нескольких Кельвинов, которое действительно было открыто спустя 16 лет в качестве микроволнового фонового излучения. Но это не объясняло ни проблему крупномасштабной однородности и изотропности нашей Вселенной, ни проблему плоской Вселенной, когда согласно данным наблюдений, средняя плотность Вселенной близка к критической плотности.

Для решения этих проблем в 1981 году А. Гуттом, была предложена инфляционная модель, которую в дальнейшем развили А. Старобинский, А. Линде, В. Муханов и другие. На данный момент эта модель считается наиболее вероятным претендентом на роль теории, объясняющей вышеуказанные проблемы модели Большого взрыва. Но имеются проблемы, с обнаружением причин, запускающих инфляционный механизм. Помимо этого, как нам известно, после периода инфляции Вселенная будет пустой, а вся материя во Вселенной рождается в результате квантовых процессов. Так, Галактики образовывались из квантовых флуктуаций, рождающихся на последних стадиях инфляционной эпохи. В ранней Вселенной длины волн всех квантовых флуктуаций скалярного поля возрастали по экспоненциальному закону. Когда длина волны флуктуации становится большей, чем H^{-1} , она прекращает осциллировать, и ее амплитуда замедляется на ненулевой величине $\delta\phi$ из-за вязкого члена $3H\dot{\phi}$ в уравнении гравитационного поля. В дальнейшем амплитуда флуктуации практически не меняется, в то время как ее длина волны растет экспоненциальным образом. В этой связи, ожидается, что квантовые эффекты вакуума или

гравитационные квантовые эффекты гравитации должны играть важную роль для космологической эволюции раннего времени эволюции Вселенной. Было показано, что квантовые эффекты, обусловленные конформно-инвариантными полями (конформные или следовые аномалии, индуцированные эффективным действием), будут наиболее актуальны в ранней Вселенной и могут привести к решению де Ситтера. Последние космологические данные показывают, что следовая аномалия или тесно связанная с ней R^2 и T^2 гравитация могут быть одним из самых реалистичных кандидатов на роль инфляционной теории. Такая модификация привлекает ряд исследователей к изучению различных аспектов R^2 и T^2 инфляции.

После окончания инфляционного периода начинается эпоха по идее описываемая фридмановской моделью, где четырехмерное пространство-время рассматривается как плоское, однородное и изотропное. Такая однородность и изотропность пространства-времени позволяют расширить принцип Коперника до космологического принципа, заявив, что все пространственные направления и отдельные участки достаточно большого размера во Вселенной, по существу, эквивалентны.

Но в конце XX века совместные анализы экспериментальных данных Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), а также результаты наблюдательных данных за сверхновыми типа Ia убедительно указали, что Вселенная в настоящее время расширяется ускоренно. Этот эффект называют инфляцией Вселенной позднего времени. Это наблюдаемое ускоренное расширение утверждает, что в настоящее время во Вселенной доминирует так называемая темная энергия, которую можно понять как равномерно распределенное вещество с отрицательным давлением. Проблема темной энергии, или почему текущая Вселенная расширяется с ускорением, считается одной из наиболее фундаментальных проблем современной физики.

Один из способов ввести темную энергию в общую теорию относительности в космологическом контексте это космологическая постоянная Λ введенная самим Эйнштейном, которая представляет собой физическую постоянную величину, характеризующую свойства вакуума, где полевые уравнения допускают пространственно однородное статистическое решение.

Из других способов решения проблемы темной энергии можно упомянуть скалярные (квинтэссенция или фантом) модели, темную жидкость со сложным уравнением состояния, более сложные теории поля с фермионами, абелевые или неабелевые векторные поля, теорию струн/М-теорию, пространство более высокой размерности и т.д. Тем не менее, несмотря на ряд попыток, все еще нет какого-либо удовлетворительного объяснения происхождения темной энергии. Это понятно, имея в виду, что даже текущие значения космологических параметров еще не определены с достаточно высокой точностью, и еще меньше известно об их эволюции.

Для уточнения видов космической материи в большинстве случаев используется соотношение между давлением p и плотностью энергии ρ , так называемый параметр уравнения состояния, записываемы в виде

$$\omega = \frac{p}{\rho},$$

где ω – параметр УС. По данным последних астрофизических наблюдений, параметр уравнения состояния для темной энергии стремится к $\omega = -1$ и, вероятно, принадлежит промежутку

$$\omega = -1,13_{-0,25}^{+0,23}.$$

Указанный промежуток параметра УС затрагивает три существенно различных варианта значений $\omega > -1$, $\omega = -1$ и $\omega < -1$.

Модификация теории гравитации является альтернативой введению различных полей в действие, описывающее эволюцию нашей Вселенной. Одним из наиболее удачных примеров модифицированной теории гравитации, к примеру, считается хорошо объясняющая инфляцию раннего времени, модель Старобинского или R^2 - гравитация.

Телепараллель гравитация соответствует калибровочной теории для группы трансляции (параллельный перенос). Впервые теория телепараллель гравитации была предложена самим Эйнштейном. Из-за специфического характера параллельных переносов, любая калибровочная теория, включая эти преобразования, будет отличаться во многих отношениях от обычных внутренних калибровочных моделей, и наиболее существенным является наличие тетрады поля. С другой стороны, тетрады поля, естественным образом, могут быть использованы для определения линейной связности Вейценбока, которая представляет собой связность, определяемую кручением, но не кривизной пространства. Тетрадное поле можно также естественно использовать для определения римановой метрики, в терминах которой может быть построена связность Леви-Чивиты. Важно отметить, что кручение и кривизна являются свойством связности, и различные связности могут быть определены на том же пространстве. Таким образом, можно сказать, что наличие нетривиального тетрадного поля в калибровочной теории индуцирует одновременно телепараллельную и риманову структуру в пространстве-времени. Первое связано со связностью Вейценбока, а второе со связностью Леви-Чивиты. Благодаря универсальности гравитационного взаимодействия, можно связать эти геометрические структуры в гравитации.

В контексте телепараллельной гравитации кривизна и кручение способны обеспечить эквивалентные описания гравитационного взаимодействия. Но между ними имеются концептуальные различия. Согласно общей теории относительности (ОТО), кривизна используется для геометризации пространства-времени, и таким образом успешно описывает гравитационное взаимодействие. С другой стороны, в телепараллель гравитации кручение является атрибутом гравитации, в этом случае кручение

учитывает гравитацию, не геометризуя взаимодействие, а действует в качестве гравитационной силы.

В 1970 году Х.А. Бухдаль предложил модифицировать действие Эйнштейна-Гилберта заменяя лагранжиан посредством функции от скаляра кривизны в виде $F(R)$. Эта МТГ была применена для описания инфляции, ТЭ, космологического возмущения, сферически-симметричных решений. Для того чтобы вывести уравнения движения в $F(R)$ гравитации существуют два формализма. Первым из них является стандартный метрический формализм, в котором уравнения поля могут определяться с помощью вариации действия по метрическому тензору g_{ik} . В этом формализме, аффинная связность Γ_{jk}^i зависит от метрического тензора g_{ik} . В формализме Палатини, в котором g_{ik} и Γ_{jk}^i рассматриваются как независимые переменные при варьирований действия, эти два подхода приводят к различным уравнениям гравитационного поля для нелинейного лагранжиана в терминах R , в то время как для действия ОТО, они идентичны друг другу.

С другой стороны, за последние два десятилетия сделано много попыток модифицировать теорию гравитации для того, чтобы можно было в состоянии описать эволюцию наблюдаемой Вселенной, а также облегчить проблемы перенормируемости теории гравитации. Большинство работ в литературе сформулированы на основе кривизны пространства, а также модифицирования действия Эйнштейна-Гильберта. Тем не менее, имея в виду это обсуждение, было бы разумно начать с телепараллельного эквивалента ОТО, и использовать его в качестве основы для построения гравитационной модификации. Простейшая из таких модификаций, - это $F(T)$ гравитация.

Ключевым вопросом является то, что телепараллельный эквивалент ОТО полностью совпадает с ОТО на уровне уравнений, но $F(T)$ гравитация различна от $F(R)$ гравитации, так как уравнения поля $F(T)$ гравитации являются дифференциальными уравнениями второго порядка, в то время как $F(R)$ уравнении поля являются четвертого порядка. Модифицированная $F(T)$ гравитация имеет интересные космологические решения, которые обеспечивают альтернативные интерпретации ускоренного расширения Вселенной.

Одной из интересных и перспективных версий модифицированной теорий гравитации является $F(R,T)$ гравитация, где R является скаляром кривизны и T - скаляром кручения. Таким образом теория $F(R,T)$ гравитации представляет собой объединение теории $F(R)$ и $F(T)$ гравитации. В этом случае мы можем учесть вклад каждой из предполагаемых моделей в гравитацию, что даст возможность оценить степень влияния каждой.

В физике элементарных частиц все элементарные частицы классифицируются по скоростям их движения следующим образом:

– брадионы - частицы, которые движутся медленнее скорости света в вакууме и у которых масса покоя имеет ненулевое значение. К ним могут принадлежать все известные частицы, кроме безмассовых частиц;

– люксоны - частицы, которые движутся со световой скоростью в вакууме и не имеют массы покоя. К ним относятся фотоны, глюоны и гравитоны;

– тахионы - гипотетические частицы, движущиеся быстрее скорости света в вакууме и имеющие мнимую массу.

В качестве брадионных полей, в частности, рассматривают обычные скалярные и фермионные поля как содержащие материю. В последнее время скалярные и фермионные поля активно исследуются в космологических приложениях. На данный момент поиск моделей, которые удовлетворительно объясняют прошлые и нынешние периоды ускорения, является объектом интенсивных исследований. Самыми популярными моделями являются скалярные поля, которые минимально или неминимально связаны с гравитационным полем. Они играют роль поля инфлатона или темной энергии. Также и фермионные поля могут быть ответственны за ускоренные периоды с различными режимами. В некоторых из этих моделей фермионное поле играет роль инфлатона в ранний период расширения Вселенной и темная энергия для недавнего сценария расширения Вселенной без необходимости введения космологической постоянной или скалярного поля.

Понятие тахиона известно уже более 50 лет в качестве последовательной физической теории частиц, движущихся со сверхсветовой скоростью. Однако до настоящего времени у нас нет экспериментального доказательства их существования или неопровержимых аргументов против них. Тем не менее, гипотеза оказалась чрезвычайно плодотворной для физики в целом, а не только для развития теории относительности. Тахионные модели колебаний бран и струн обсуждались уже в течение длительного времени в бозонных теориях и суперструнах фундаментальных взаимодействий. Тахионные поля также рассматриваются как возможные кандидаты на роль темной энергии ранней и современной Вселенной.

Одним из лучших примеров очень тесной связи, которая сложилась между ядерной физикой, физикой элементарных частиц, астрофизикой и космологией является нейтрино. В настоящее время массивные нейтрино являются единственным кандидатом на роль темной материи. Эксперименты солнечных, атмосферных, реакторных и ускорительных нейтрино подтверждают колебания нейтрино, подразумевая, что нейтрино имеют ненулевую массу, но не имеют абсолютные значения. Это очень убедительные доказательства для новой физики за пределами Стандартной модели.

Актуальность диссертации доказывает теоретическое исследование проблем инфляции раннего и позднего времени эволюции Вселенной в рамках модифицированной теории гравитации с брадионными и тахионными полями, с учетом следовых аномалий, которое дает возможность объяснить данные наблюдений, изучать новые космологические модели, что

обеспечивает лучшее понимание современной Вселенной, а также будущего состояния Вселенной.

Актуальность данной работы заключается в том, что в ней получены новые космологические модели ранней и поздней Вселенной с различными полями материи, которые не противоречат современным астрономическим данным.

Цель диссертационного исследования и научные результаты. Построить и исследовать теории новых космологических моделей ранней и современной Вселенной в рамках модифицированной гравитации, взаимодействующей с различными видами материи.

Результаты, полученные в диссертационной работе

– Исследована роль конформной аномалии в индуцировании неустойчивости, приводящей к инфляции в модифицированной $F(T)$ модели гравитации. Показано, что инфляция де Ситтера может быть реализована в моделях $F(T)=T^2 + AT + Be^{\frac{T}{T_0}}$, $F(T)=T + T^2$ и $F(T)=\beta T^n$ с космологической постоянной. Было показано, что инфляция в исследуемых моделях неустойчива из-за конформной аномалии. В случае $F(T)=T + T^2$ для индуцирования неустойчивости конформной аномалией необходимо, чтобы космологическая константа была мала.

– Исследована модель $F(T)$ гравитации, которая не минимально связана с фермионными полями для плоской, однородной и изотропной метрики ФРУ. Также была рассмотрена $F(T)$ модель гравитации со скалярными и фермионными полями для $(2+1)$ -размерности. Используя теорему Нетер найдены точные космологические решения для данной модели.

– Рассмотрена модифицированная миметик $F(R)$ - гравитация, где скаляр кривизны R зависит от метрического тензора и скалярного поля. Выведены уравнения движения для масштабного фактора и скалярного поля. Показано, что полученные решения де Ситтера являются стабильными.

– Изучена $F(R)$ гравитация с k -эссенцией. Исследована не минимальная связь между гравитацией и полем материи. Получены уравнения Эйнштейна для данной теории. Рассмотрены частные случаи для генераторов симметрии и получены космологические решения.

– Теоремой Нетер реконструирован лагранжиан для $F(R, T, X, \phi)$ модели гравитации. Показана равнозначность R , T и X компонентов данной модели.

– Исследована система, в которой тахионное поле неминимально связано с массивной нейтринной материей. Для этой системы исследовали потенциал вида $V = \phi^{-2}$, таким образом тахионное поле демонстрирует масштабируемое поведение. Также рассмотрен случай экспоненциального потенциала, инспирированного струнной теорией, который не приводит к масштабируемому решению для рассматриваемой модели. В этом случае, решение, подобное модели с темной материей, является аттрактором системы позднего времени.

Объект исследования. Эволюция Вселенной в разных космологических моделях.

Предмет исследования. Космологические решения гравитационных уравнений с материей, описывающих эпоху доминирования инфляции и темной энергии Вселенной.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в следующем:

- Модель Вселенной в рамках теории $F(T)$ гравитации с конформной аномалией;
- Модель Вселенной в рамках теории $F(T)$, $F(R)$ и $F(R,T)$ гравитации со скалярными и фермионными полями;
- Модель Вселенной с тахионными полями, не минимально связанными с массивной нейтринной материей.

Задачи исследования Основные задачи диссертационной работы состоят в следующем:

- В рамках модифицированной теории гравитации получить космологические решения, описывающие ранее и позднее ускоренное расширение Вселенной. Исследовать эффект конформной аномалии;
- В рамках модифицированной $F(R)$, $F(T)$ и $F(R,T)$ теории гравитации с фермионными полями и используя метод симметрии Нетер показать как полученные космологические решения описывают темную энергию;
- В рамках миметик $F(R)$ теории гравитации удостовериться, что решение де Ситтера становится стабильным;
- В пространстве времени Фридмана-Робертсона-Уокера рассмотреть тахионное поле, которое не минимально связано с массивной нейтринной материей. Полученные решения сравнить с наблюдательными данными.

На защиту выносятся.

– В рамках $F(T)$ модели гравитации показано влияние конформной аномалии на устойчивость решения типа де-Ситтера для плоского, однородного и изотропного пространства-времени Фридмана-Робертсона-Уокера. Выявлена неустойчивость решения, приводящая к окончанию инфляционного периода Вселенной;

– Космологическая модель поздней Вселенной в рамках модифицированной теории $F(T)$ и $F(R)$ гравитации с неминимально связанными со скалярным и фермионными полями. Показано, что такие модели описывают ускоренное расширение Вселенной, приводя к Большому разрыву;

– Модель тахионного поля, неминимально связанного с массивной нейтринной материей. Решения для обратного квадратного потенциала и экспоненциального потенциала инспирированного струнной теорией. Построен нормированный параметр Хаббла и проведено сравнение полученных результатов с наблюдательными данными.

Практическое значение полученных результатов.

Полученные в диссертационной работе результаты носят теоретический характер и могут быть использованы для построения новых космологических моделей ранней и поздней Вселенной в рамках модифицированной теории гравитации со скалярно - фермионными полями и тахионными полями.

Личный вклад соискателя.

В процессе выполнения исследований диссертант 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, обсуждались и докладывались на:

- 4th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences (IC-MSquare2015). Mykonos, Greece, 5–8 June 2015;
- Международной конференции, в честь 70 - летия академика НАН РК Такибаева Нургали Жабагаевича, 21-22 февраля 2014 г;
- IX международной научной конференции студентов и молодых ученых "Наука и образование - 2014". 11 апреля 2014 г;
- XI международной научной конференции студентов и молодых ученых "Наука и образование - 2016". 14 апреля 2016 г.

К тому же, полученные результаты обсуждались и докладывались в научных семинарах кафедры “Общая и теоретическая физика” ЕНУ им. Л.Н. Гумилева и на семинарах Евразийского международного центра теоретической физики, а также на научных семинарах института космических исследований (Испания) и департамента физики Калифорнийского государственного университета (США).

Публикации.

По результатам диссертационной работы опубликовано 10 работ, из них 2 статьи в зарубежных журналах с высоким импакт-фактором; 1 статья докладывалась на зарубежной конференции 4th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences и была опубликована в журнале Journal of Physics: Conference Series; 3 статьи в периодических изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; 4 статьи в материалах международных конференций в Казахстане.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников из 290 наименований, содержит 102 страниц основного компьютерного текста, включая 6 рисунков и 2 таблицы.