

**РЕФЕРАТ**

Есеп 45 бет, 6 сур, 35 дер. көз., 2 қос.

КОСМОЛОГИЯ, ГРАВИТАЦИЯ, ИНФЛЯЦИЯ, KҮНГІРТ ЭНЕРГИЯ, ҮДЕМЕЛI ҰЛҒАЮ

Зерттеу нысанасы. Тұтастай Ғалам.

Жобаның мақсаты Ғаламдық эволюцияны сипаттауына қарсы келмейтін және космологиялық бақылау деректерімен үйлесетін материяның жалпыланған өрістері бар гравитацияның кеңейтілген теорияларына негізделген космологиялық модельдерді жасау және олардың шешімдерін зерттеу болып табылады.

Зерттеу әдістері. Аналитикалық және сандық.

Жұмыс нәтижелері. Тиісті теориялық модельдер анықталып, эволюциялық теңдеулер алынды. Біртекті, изотропты, кеңістікті-жазық Ғалам шартындағы скалярлық, фермиондық және массалы векторлық өрістердің ықпал етуін, олардың динамикаға өзара әсерлесуін және әртүрлі космологиялық режімдер эволюциясын зерттеу. Біртекті, изотропты, кеңістікті-жазық Фридман-Робертсон-Уокер Ғаламымен бірге фермиондық және тахиондық өрістері бар, сондай-ақ, фермиондық және тахиондық өрістердің Юкава типті потенциалы арқылы өзара байланысқан космологиялық модельдер зерттелді.

Қолдану аясы. Зерттеулер іргелі сипатқа ие болғандықтан, оның негізгі тұтынушылары қазақстандық және шетелдік ғылыми қоғамдастықтар мен университеттері болады. Жұмыс нәтижелері оқу үдісісіне енгізілуі мүмкін және осылайша, жоғары курс студенттеріне, магистранттар мен PhD докторанттарға релятивистік астрофизика, релятивистік аспан механикасы, жалпы салыстырмалы теориясы сияқты арнайы курстарды оқуда қолданылуы мүмкін.

Экономикалық тиімділігі. Жоба бойынша зерттеулер іргелі сипаттамаға ие болғандықтан, бұл жоба аясында техника–экономикалық енгізілуі қарастырылмаған.

Жұмыстың маңыздылығы. Жоба бойынша нәтижелер теориялық физика саласында жаңа бәсекеге қабілетті ғылыми кадрларды дайындауда және осы бағыт бойынша жұмыс жасап жатқан қызметкерді қызықтыруға мүмкіндік беріп, осының салдарынан ҚР ғалымдарының ғылыми қызығушылық аясын кеңейтеді. Жобаның нәтижелері Ғаламның эволюциясы жайлы көзқарастардың дамуына әсер етеді.

**РЕФЕРАТ**

Отчет 45 с., 6 рис., 35 ист., 2 прил.

КОСМОЛОГИЯ, ГРАВИТАЦИЯ, ИНФЛЯЦИЯ, ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ, УСКОРЕННОЕ РАСШИРЕНИЕ

Объект исследования. Вселенная в целом.

Целью проекта является разработка космологических моделей и исследование их решений, основанных на расширенных теориях гравитации с обобщенными полями материи, непротиворечиво описывающими эволюцию Вселенной и согласующихся с космологическими наблюдательными данными.

Методы исследования. Аналитические и численные.

Результаты работы. Определены релевантные теоретические модели и получены эволюционные уравнения. Исследовали влияние скалярных, фермионных, массивных векторных полей и их взаимодействий на динамику и эволюцию различных космологических режимов в условии однородной и изотропной пространственно плоской Вселенной. Исследовали космологические модели с фермионными и тахионными полями, а также фермионными и тахионными полями, взаимодействующими через потенциал типа Юкавы вместе с однородной, изотропной и плоской Вселенной Фридмана-Робертсона-Уокера.

Область применения*.* Так как исследования носят фундаментальный характер, основными потребителями результатов будут казахстанское и международное научное сообщество и университеты. Результаты работы могут быть внедрены в учебный процесс и тем самым могут быть использованы при чтении спецкурсов для студентов старших курсов, магистрантов и докторантов PhD, таких как релятивистская астрофизика, релятивистская небесная механика, общая теория относительности.

Экономическая эффективность*.* Исследования по данному проекту имеют фундаментальный характер, поэтому технико-экономическое внедрение в рамках проекта не предусматривалось.

Значимость работы*.* Результаты по проекту могут повлиять на подготовку новых конкурентоспособных научных кадров в области теоретической физики и способствуют вовлечению уже работающего персонала в данное направление, тем самым расширяя область научных интересов ученых РК. Результаты проекта окажут влияние на развитие представлений об эволюции Вселенной.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| ВВЕДЕНИЕ ………………………………………………………………............................... | 6 |
| 1 Подбор физически релевантных теоретических моделей и получение эволюционных уравнений ……………………………………………………………………………………... | 10 |
| 1.1 Вывод эволюционных уравнений для обобщенной космологической модели ……… | 10 |
| 1.2 Исследование поведения плотности и давления исследуемой модели ……………… | 14 |
| 1.3 Выводы…………………………………………………………………………………… | 16 |
| 2. Космологическая модель с фермионными и тахионными полями ……………………… | 17 |
| 2.1 Вывод уравнений движения для фермионно-тахионной модели …………………… | 18 |
| 2.2 Вывод уравнений движения для фермионно-тахионной модели с потенциалом типа Юкавы ………………………………………………………………………………………… | 25 |
| 2.3 Выводы …………………………………………………………………………………… | 28 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ ………………………………………………………………………………. | 29 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ………………………………………… | 31 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Список опубликованных работ по результатам исследования ………. | 35 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Договор на реализацию научных, научно-технических проектов, техническая спецификация и календарный план работ…………………………………….. | 36 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Оценка современного состояния проблемы.

За последние двадцать лет в астрономии одним из наиболее важных открытий, стало обнаружение того факта, что космическое расширение ускоряется со временем. Причем этот процесс начался в относительно недавнюю эпоху космологической истории [1].

В связи с получением, в последние два десятилетия, большого количества наблюдательных данных, космология переживает большой рост активности. Недавними наблюдениями космического микроволнового излучения была подтверждена инфляция в ранней Вселенной и ускоренное расширение поздней Вселенной [2]-[5]. Также в качестве подтверждения ускоренного расширения Вселенной были представлены наблюдательные данные за суперновыми типа Ia [6]-[9], крупномасштабной структурой Вселенной [10], барионными акустическими колебаниями и слабым гравитационным линзированием в [11].

За счет какого взаимодействия происходит расширение Вселенной? Убедительного ответа на этот вопрос до сих пор нет, но обычно его пытаются найти, комбинируя уравнения общей теории относительности с уравнениями состояния вещества.

Одно из возможных объяснений такого космологического ускорения в рамках общей теории относительности было получено в [12] или введением на больших масштабах модифицированных теорий в [13], что позволило ввести, так называемую, темную энергию. В настоящее время никакие экспериментальные данные напрямую не требуют модификации эйнштейновской теории гравитации. Однако этого требуют теоретические проблемы, связанные с многочисленными попытками построить непротиворечивую квантовую теорию гравитации. Для решения проблемы темной энергии также 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 [14]. Одним из преимуществ такой теории гравитации является то, что уравнения движения, возникающие из действия, являются дифференциальными уравнениями второго порядка, в то время как уравнения движения, возникающие из ОТО, являются дифференциальными уравнениями четвертого порядка. Также, исследовалась возможность воспроизводить темную энергию посредством спинорных полей в [15]. Мощной альтернативой ОТО, также приводящей к теориям способным очень хорошо воспроизводить инфляцию и темную энергию, являются теории содержащие инварианты более высокого порядка, чем скаляр Риччи, например инвариант Гаусса-Бонне [16]. Инвариант Гаусса-Бонне был привлечен для изучения эволюции Вселенной чтобы исследовать возможное влияние на ее эволюцию поправок более высокого порядка кривизны в лагранжиане. Также для исследования темной энергии были привлечены инварианты более высокого порядка, возникающие из гравитации с телепаралелизмом. Для моделирования и исследования темной энергии были привлечены такие теории гравитации как биметрическая теория, в основе которой положено взаимодействие двух метрик; массивная теория гравитации, в которых частица-переносчик взаимодействия предполагается массивной; унимодулярная теория гравитации в основе которой положено нарушение законов сохранения.

В настоящее время получен целый ряд ценных теоретических моделей, которые описывают ускоряющее расширение современной Вселенной. В космологии существует несколько способов позволяющих классифицировать полученные космологические решения. Наиболее простым способом классификации полученных моделей или полученых решений, является связь давления  и плотности полной энергии  каждой из компонент жидкости которая называется уравнением состояния компоненты жидкости и описывается соотношением .

Для более глубокого анализа применяют, так называемые, космографические параметры, такие как параметр замедления , параметр рывка , параметр отскока  и другие параметры описанные в [17]. Зависимость масштабного фактора *a(t)* от времени является ключевой космологической характеристикой, для построения которой необходимы уравнения движения и допущения о материальном составе Вселенной, для построения тензора энергии-импульса. Эффективность космографии состоит в том, что она даёт возможность тестировать любые космологические модели, не противоречащие космологическому принципу. Модификация ОТО или введение новых компонентов изменяет зависимость *a(t)*, но никак не влияет на соотношение между кинематическими харакеристиками [18].

Другим способом классификации моделей являются условия энергодоминантности. Эти условия накладывают ограничения на компоненты тензора энергии-импульса . При выборе модели среды эти условия могут быть трансформированы в неравенства, ограничивающие возможные значения давления и плотности среды [18].

Актуальность. В настоящее время исследованиями эволюции Вселенной занимаются многие группы ученых-космологов США, Европы, России и других стран. Космология является бурно развивающейся областью знаний не только в качестве теоретического аспекта. В результате развития космологического направления появляются новые методы исследований, привлекаются для анализа и обработки результатов новейшие электронно-вычислительные машины. В совокупности это является важным, поскольку косвенно способствуют развитию и внедрению в повседневную жизнь общества новых методов анализа и технологий.

Новизна. Рассматриваем наблюдательную составляющую в изучении вопроса эволюции Вселенной. Именно эта часть является вершиной в данном проекте. Важную информацию для выявления класса наиболее реалистичных теоретических моделей можно получить от космологических наблюдательных данных таких как Supernova Ia, BAO. Благодаря наличию сверхновых было установленно [7], [8], что в рамках плоской и однородной Вселенной космологический лямбда член имеет положительный знак. Если проводить обобщение, то можно сказать, что Вселенная содержит темную энергию. Задача состоит в исследовании ее свойств. И в этом исследовании сверхновые играют одну из важных ролей.

Связь с другими научно-исследовательскими работами. Многочисленные экспериментальные тесты теории гравитации – лабораторные, в Солнечной системе, в нашей галактике и космологические – в состоянии обнаружить даже малое (порядка процента и менее) отклонение закона гравитационного взаимодействия от эйнштейновского. Однако, необходимо создание надежной и обоснованной теоретической модели. Вследствие этого, такая тематика стала востребованной во многих странах мира, как на Западе, так и на Востоке, возникли сильные теоретические группы, работающие в этой области.

Перспективность и научно-практическая значимость. Основной идеей данного проекта является выявление новых расширенных космологических моделей динамических форм эволюции Вселенной и их сравнение с космологическими наблюдательными данными и проверка теоретическими методами. В этой области работает большое количество ведущих зарубежных теоретических групп. Предлагаемый нами проект также лежит в этом русле, а в качестве конкретных его направлений мы выбрали те, что помогут поддержать на современном уровне отечественную школу теоретической физики.

Сведения о научно–техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них. Научно–технический уровень разработки соответствует уровню, принятому для аналогичных задач в мировой практике. Выполнение проекта проводится по этапам, в соответствии с календарным планом и калькуляцией сметной стоимости. При выполнении данного проекта не планировалось проводить патентные исследования.

Целью проекта является разработка космологических моделей и исследование их решений, основанных на расширенных теориях гравитации с обобщенными полями материи, непротиворечиво описывающими эволюцию Вселенной и согласующихся с космологическими наблюдательными данными.

Основные задачи проекта за 2020-2021 гг. в целом (ПРИЛОЖЕНИЕ Б)

– за 2020 год:

Задача 1. Подбор физически релевантных теоретических моделей и получение эволюционных уравнений.

– за 2021 год:

Задача 2. Построение аналитических космологических решений и их проверка специальными методами космологии.

Задача 3. Построение численных космологических решений и их проверка специальными методами космологии.

Задача 4. Определение независимых оптимальных параметров моделей и сравнение их с наблюдательными данными

Основные задачи и ожидаемые результаты на отчетный период (ПРИЛОЖЕНИЕ Б)

Задачи на 2020 год

– Подбор физически релевантных теоретических моделей и получение эволюционных уравнений.

Ожидаемые результаты 2020 года

– Будут определены релевантные теоретические модели и получены эволюционные уравнения

Основание и исходные данные для выполнения проекта.

Выписка №1 из Протокол заседания №4 Национального научного совета по приоритетному направлению «Научные исследования в области естественных наук» от 4 октября 2020 года.

Договор №312 от 16 ноября 2020 года на реализацию научных, научно-технических проектов по грантовому финансированию по проекту «Исследование эволюции Вселенной в расширенных теориях гравитации» между Государственным учреждением «Комитет науки Министерства образования и науки Республики Казахстан» и Некоммерческим акционерным обществом "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" Министерства образования и науки Республики Казахстан (ПРИЛОЖЕНИЕ Б).

Сроки выполнения проекта – 01.10.2020 г. – 30.09. 2021 г.

Объем финансирования на 2020 год – 3 000 тысяч тенге.

**1 Подбор физически релевантных теоретических моделей и получение эволюционных уравнений**

**1.1 Вывод эволюционных уравнений для обобщенной космологической модели**

Современная космология берет начало в первые десятилетия ХХ в., в ту эпоху, когда были созданы также теория относительности и квантовая теория, составляющие ныне фундамент всей физики, включая и космологию. История космологии, если говорить коротко, складывается из четырех крупнейших наблюдательных открытий: первое это космологическое расширение; второе реальность Большого Взрыва космическая эволюция; третье «Темный сектор космологии» (темная материя и темная энергия); четвертое проблемы, идеи, гипотезы [13], [19]-[21].

В 1998 году было обнаружено ускоренное расширение Вселенной на основе измерений звездных величин сверхновых типа Ia. Динамика расширения Вселенной подтверждается другими космологическими наблюдениями, в том числе измерениями анизотропии температуры и полязризации космического микроволного фонового излучения. Существуют многочисленные модели, объясняющие ускоренное расширение Вселенной, наиболее популярная модель предполагает, что значительная часть находится в форме темной энергии или темной матермм. Необычным свойствам темной энергии является то, что она оказывает отрицательное давление на пространство. Происхождение темной энергии (ТЭ) и понимание ее природы является одной из наиболее важных и до сих пор нерешенных проблем в современной космологии [22]-[27].

Мы используем сигнатуру , а также единицы измерения выбираем так, что .

Рассмотрим модель с разными источниками поля в виде уравнения (1.1)

*.* (1.1)

Лагранжиан безмассового фермионного поля с потенциалом самовзаимодействия записывается формулой (1.2)

 (1.2)

где  и  представляют спинорное поле и сопряженное ему соответственно. Ковариантные производные в (1.2) записываются формулами (1.3) и (1.4)

 (1.3)

 (1.4)

где  является константой, которая связывает фермионное поле  с векторным полем . -спиновая связанность записывается формулой (1.5)

 (1.5)

где обозначают символы Кристоффеля.

Лагранжиан массивного скалярного поля без потенциала самовзаимодействия записывается формулой (1.6)

 (1.6)

где функция скалярного поля, зависящая от времени *t* и  обозначает массу скалярного поля.

Лагранжиан массивного векторного поля  записывается формулой (1.7)

 (1.7)

где  - масса векторного поля и .

Лагранжиан, соответствующий взаимодействию Юкавы связывающему фермионные и скалярные поля записывается формулой (1.8)

 (1.8)

где  константа связи потенциала Юкавы.

Следовательно, действие модели (1.1) после подстановки в него всех источников (1.2), (1.6)-(1.8) в ее явном виде примет вид (1.9)

 (1.9)

Чтобы изучить эволюцию однородной и изотропной пространственно плоской Вселенной, используем метреку Фридмана-Робертсона-Уокера (ФРУ) (1.10)

 (1.10)

где  является масштабным фактором Вселенной.

Кинетический член скалярного поля, зависящего только от времени *t* для метрики ФРУ (1.10) равен выражению (1.11)

 (1.11)

Кинетический член фермионного поля для метрики ФРУ (1.10) равен выражению (1.12)

 (1.12)

Введем обозначения ** Здесь мы рассмотрим случай, когда векторное поле является временеподобным, а именно равно выражению (1.13)

 (1.13)

такое значение является единственным возможным анзацем, совместимым с однородной, изотропной и плоской Вселенной ФРУ, который приводит к диагональному тензору энергии-импульса с компонентами . Эта гипотеза подразумевает, что антисимметричный тензор исчезает, т. е. . Кроме того, мы примем, что потенциал самовзаимодействия фермионного поля равен , где  и *n* - постоянные.

Для выбранного нами анзаца (1.13) все компоненты . Значит в лагранжиане массивного векторного поля  второй член полностью обнуляется и равен (1.14), (1.15)

 (1.14)

 (1.15)

Подставив в действие (1.9) все полученные выше выражения получим точечный лагранжиан (1.16)

 (1.16)

Зная вид лагранжиана (1.16) с помощью уравнений Эйлера-Лагранжа и «условия нулевой энергии» найдем уравнения движения исследуемой модели (1.17)-(1.25)

 (1.17)

 (1.18)

 (1.19)

 (1.20)

 (1.21)

 (1.22)

 (1.23)

где

 (1.24)

 (1.25)

Уравнения (1.17), (1.18) являются уравнениями Фридмана, уравнениe (1.19) является уравнением Клейна-Гордона, уравнение (1.20) является уравнением векторного поля, уравнения (1.21), (1.22) уравнения Дирака, уравнения (1.23) уравнение сохранения, (1.24), (1.25) плотность энергии и давление, соответственно.

**1.2 Исследование поведения плотности и давления исследуемой модели**

Мы можем показать полную плотность энергии гравитационного поля в виде суммы  вкладов, которые связаны с бозонным, фермионным полями, а также потенциалом типа Юкавы и векторного поля, сооответственно. Их выражения из (1.24) имеют вид уравнений (1.26)-(1.29)

 (1.26)

 (1.27)

 (1.28)

 (1.29)

Таким же образом мы можем показать полное давление энергии гравитационного поля в виде суммы  вкладов, которые связаны с бозонным, фермионным и векторным полями, сооответственно. Давление потенциала типа Юкавы равно нулю. Их выражения из (1.25) имеют вид уравнений (1.30)-(1.33)

 (1.30)

 (1.31)

 (1.32)

 (1.33)

Мы исследовали различные типы решений данной модели для масштабного фактора в виде степенной, показательной и экспоненциальной функций. Например, для степенной функции масштабного фактора в виде где  и  некоторые константы графики зависимости компонентов давления и плотности темной энергии показаны на рисунках 1 и 2.

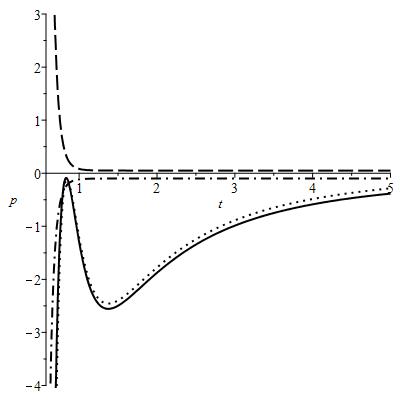


Рисунок 1 - Давление *p* в зависимости от времени *t*, при 

На рисунке 1 показано полное давление модели (сплошная линия), давление скалярного поля  (точечная линия), давление фермионного поля  (штрих-пунктирная линия), давление векторного поля  (пунктирная линия).

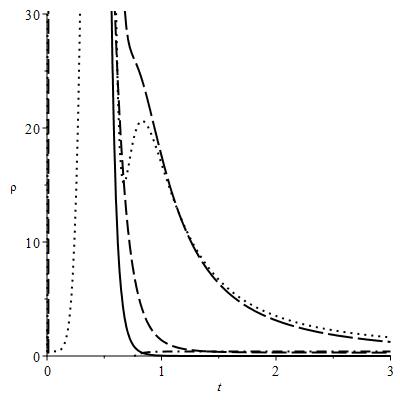


Рисунок 2 - Плотность энергии  в зависимости от времени *t*, при 

На рисунке 2 показана полная плотность энергии  (разомкнутая линия), плотность скалярного поля  (точечная линия), плотность фермионного поля  (штрих-пунктирная линия), плотность потенциала типа Юкавы  (пунктирная линия), плотность векторного поля  (сплошная линия).

**1.3 Выводы**

Мы исследовали влияние скалярных, фермионных, массивных векторных полей и их взаимодействий на динамику и эволюцию различных космологических режимов в условии однородной и изотропной пространственно плоской Вселенной. Наблюдая за поведением давления фермионного поля по отношению к скалярному и векторному полю мы можем сказать, что именно оно ответственно за два ускоренных режима - в ранней и поздней Вселенной. Давление в рассматриваемой модели отрицательно и стремится в позднее время к нулю. Поэтому в позднее время происходит переход в замедленный режим. Изучили энергетические условия. Энергетические условия описывают свойства, характерные для всех состояний вещества и все негравитационные области, которые изученые в физике. С помощью энергетических условий можно исключить много нефизических решений уравнений Эйнштейна. Для рассматриваемой модели выполняются нулевое энергетическое условие, сильное энергетическое условие, доминирующее энергетическое условие. Но не выполняется слабое энергетическое условие.

**2 Космологическая модель с фермионными и тахионными полями**

В контексте специальной теории относительности фундаментальные взаимодействия - это неприводимые представления группы Лоренца, к которым относятся и спинорные представления. Когда нам необходимо учитывать гравитационные эффекты, мы следуем принципу общей ковариантности. При этом возникает проблема отсутствия спинорного представления этой группы, и решение необходимо находить с использованием тетрадного формализма. Основная идея состоит в том, чтобы сопоставить каждой точке пространства-времени набор координат, которые являются локально-инвариантными метрике Минковского . Метрический тензор в этом случае записывается в виде формулы (2.1)

(2.1)

где является тетрадой. В этих выражениях латинские индексы соответствуют локальному пространству-времени Минковского, а греческие индексы - искривленному многообразию [28].

Чтобы определить компоненты тензора Риччи для любой метрики, необходимо проделать большие вычисления. Поэтому для упрощения этих расчетов использовали различные формулы. Такие формулы включают выражение тензора кривизны в тетрадной форме.

Для этого введем набор из четырех линейно независимых 4-векторов в виде выражения (2.2) [29, с.372]

(2.2)

где - постоянная симметричная матрица с сигнатурой ; обратная ей матрица обозначается .

Производные, которые действуют на спинорное поле , заменяются их ковариантными аналогами с помощью формул (2.3) [48]

(2.3)

Здесь, является сопряженной функцией и является спиновой связанностью определяющейся формулой (2.4)

(2.4)

где является символами Кристоффеля.

**2.1 Вывод уравнений движения для фермионно-тахионной модели**

Мы будем исследовать действие в виде формулы (2.5)

(2.5)

где скалярная кривизна. Динамика спинорного поля задается с помощью плотности лагранжиана в виде выражения (2.6)

(2.6)

с обозначающим самовзаимодействующий потенциал спинорного поля, который зависит от значения билинейной функции .

Тахионное поле описывается плотностью лагранжиана в виде выражения (2.7)

(2.7)

где - самовзаимодействующий потенциал тахионного поля.

Мы предполагаем, что тахионное и фермионное поля взаимодействуют между собой через потенциал типа Юкавы [34,35], вклад которого в полный лагранжиан определяется выражением (2.8)

(2.8)

Из вариации действия (2.5) относительно спинорного поля и его сопряженного поля следуют уравнения Дирака (2.9)

(2.9)

Вариация действия (2.5) по отношению к дает уравнение типа Клейна-Гордона для тахионного поля, которое имеет вид выражения (2.10)

(2.10)

Уравнения поля Эйнштейна получаются из вариации действия (2.5) относительно тетрад в виде выражения (2.11)

(2.11)

где это тензор энергии-импульса, который равен выражению (2.12)

(2.12)

При создании общей теории относительности было важно найти зависимость кривизны пространства-времени от распределения и свойств содержащейся в нем материи, что было сделано на рубеже 1915 и 1916 годов открытием теории уравнений Эйнштейна. Уравнения должны были связывать геометрические величины и физические характеристики материи. В качестве источника гравитации следует выбрать значение, содержащее плотность или массу материи. Искомая характеристика вещества должна содержать скорость и быть тензорной величиной. На роль источника кривизны был предложен тензор энергии-импульса вещества . Это предположение оказалось верным [30].

Было разработано несколько моделей, объясняющих ускоренное расширение Вселенной. Одна из этих моделей заключается в исследовании некоторой (необычной) материи, которая, в общем, может быть ответственна за ускорение расширения Вселенной. Источники в виде фермионных полей могут привести к ускоренному расширению. Некоторые модели фермионных полей все еще исследуются. Как показано в этих моделях, фермионное поле может играть важную роль в инфляционных моделях ранней Вселенной или в моделях темной энергии поздней Вселенной. Кроме того, изначально испирированное из теории струн, тахионное поле может также вызывать инфляцию в очень ранней Вселенной [31] – [33].

Мы исследуем модель с фермионными и тахионными полями. Идея существования поля фермионов и тахионов основана на некоторых доказательствах того, что нейтрино, как мы ожидаем от фермионных тахионов [34], могут принимать отрицательную эффективную массу. [35]. Конечно, поле фермионных тахионов не обязательно является нейтринным. В этом пункте исследуем действие фермионных и тахионных полей без учета потенциала типа Юкавы. Действие (2.5) мы рассматриваем совместно с метрикой ФРУ (1.10) и выражений (2.6), (2.7). Окончательный вид лагранжиана исследуемой модели будет выглядеть в виде выражения (2.13)

(2.13)

Найдем систему уравнений движения, для этого воспользуйтесь уравнением Эйлера-Лагранжа (2.14)

(2.14)

где *q* - обобщенная координата. Уравнение Эйлера-Лагранжа (2.14) для масштабного фактора найдем по формуле (2.15), в результате получим (2.16), (2.17)

(2.15)

(2.16)

(2.17)

Уравнение Эйлера-Лагранжа (2.14) для тахионного поля найдем по формуле (2.18), в результате получим (2.19)

(2.18)

(2.19)

Уравнение Эйлера-Лагранжа (2.14) для фермионного поля найдем по формуле (2.20), в результате получим (2.21)

(2.20)

(2.21)

Уравнение Эйлера-Лагранжа (2.14) для сопряженного фермионного поля найдем по формуле (2.22), в результате получим (2.23)

(2.22)

(2.23)

Условие “нулевой энергии” в этом случае имеет вид формулы (2.24)

(2.24)

Из уравнения (2.24) получим (2.25), (2.26)

, (2.25)

(2.26)

Используя уравнение сохранения (2.27) и выражение для плотности (2.26) можно упростить выражение для давления темной энергии (2.17). В результате получим (2.28)

(2.27)

(2.28)

Полная система уравнения движения для лагранжиана (2.13) равна

(2.29)

(2.30)

(2.31)

(2.32)

(2.33)

(2.34)

где

(2.35)

(2.36)

где (2.29), (2.30) – уравнения Фридмана, (2.31) – уравнение Клейн-Гордона, (2.32), (2.33) – уравнения Дирака, (2.34) – уравнение сохранения, (2.35) и (2.36) уравнение плотности и давления темной энергии, соответственно.

Полную плотность темной энергии можно представить в виде суммы вкладов , плотности фермионного (2.37) и тахионного (2.38) поля

(2.37)

(2.38)

Таким же образом мы можем представить полное давление в виде суммы вкладов давления фермионного (2.39) и тахионного (2.40) поля

(2.39)

(2.40)

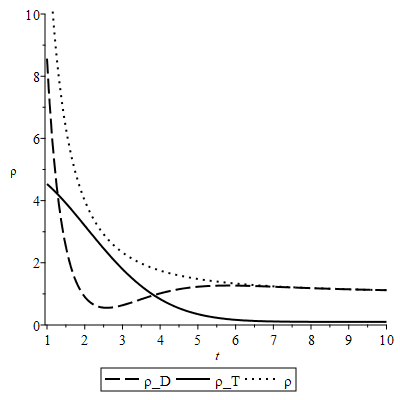


Рисунок 3 – Зависимость плотности темной энергии от времени ,

при , , , ,

На рисунке 3 для степенного вида функции скалярного поля показаны зависимости плотности: спинорного поля (пунктирная линия), тахионного поля (сплошная линия) и полной плотности темной энергии (точечная линия) от времени t.

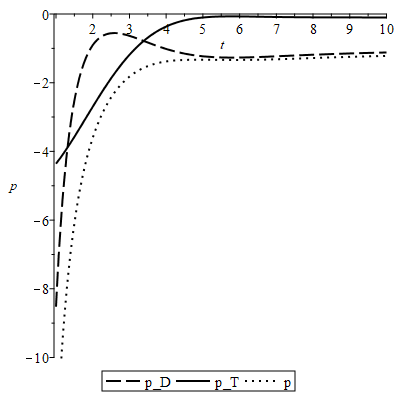


Рисунок 4 – Зависимость давления темной энергии от времени ,

при , , , , , ,

На рисунке 4 для степенного вида функции скалярного поля показаны зависимости давления: спинорного поля (пунктирная линия), тахионного поля (сплошная линия) и полной плотности темной энергии (точечная линия) от времени *t*.

Тахионное и фермионное поля в раннюю эпоху ответственны за ускоренный режим, но, поскольку в более позднее время полное давление стремится к нулю, происходит переход в замедленный режим. Тахионное поле дает свой вклад в ускоренное расширение Вселенной только в ранний период. Изотропизация, происходящая в позднюю эпоху, связана с наличием тахионного и фермионного поля как источников гравитационного поля.

Для плоской Вселенной энергетические условия могут быть преобразованы в ограничения на параметр замедления .

Нулевое энергетическое условие (NEC) соответствует формуле (2.41)

(2.41)

Сильное энергетическое условие (SEC) соответствует формуле (2.42)

(2.42)

Доминирующее энергетическое условие (DEC) соответствует формуле (2.43)

(2.43)

Среди этих условий нет слабого условия (WEC), так как оно полностью выполняется для произвольного вещественного масштабного фактора .

Энергетические условия, рассматриваемые по отдельности, оставляют фундаментальную возможность как для замедленного так и для ускоренного расширения Вселенной. Смысл ограничений на NEC весьма прозрачен. Как следует из второго уравнения Фридмана, условием ускоренного расширения Вселенной является неравенство , т.е. ускоренное расширение Вселенной возможно только при наличии компонентов с большим отрицательным давлением . Энергетическое условие SEC исключает существование таких компонентов. Поэтому, в этом случае . Условия NEC и DEC совместимы с условием , поэтому они допускают режимы, в которых [18]. Эти условия накладывают ограничения и не зависят от ограничений модели на поведение плотности энергии и давления. Для нашей модели нулевое энергетическое условие NEC, сильное энергетическое условие SEC, доминирующее энергетическое условие DEC выполняются, а слабое энергетическое условие WEC, которое не является обязательным, не выполняется.

Таким образом, мы рассмотрели космологическую модель с фермионными и тахионными полями вместе с однородной, изотропной и плоской Вселенной ФРУ, задав масштабный фактор в виде степенной функции. Для этой модели мы изучили энергетические условия. В рассматриваемой модели тахионное и фермионное поля имеют отрицательное давление. В раннюю эпоху тахионное и фермионное поля ответственны за ускоренный режим, но, поскольку полное давление стремится к нулю в более позднее время, происходит переход в замедленный режим. Тахионное поле дает большой вклад в ускоренное расширение Вселенной только в раннюю эпоху развития.

**2.2 Вывод уравнений движения для фермионно-тахионной модели с потенциалом типа Юкавы**

В предудущем параграфе мы рассмотрели космологическую модель с фермионными и тахионными полями. Теперь посмотрим, как эти поля взаимодействуют между собой через потенциал типа Юкавы. Используя методы, описанные выше, через уравнения Эйлера-Лагранжа и уравнение нулевой энергии, мы получаем уравнения движения для действия с фермионным и тахионным полями с учетом потенциала типа Юкавы. Лагранжиан для этой модели имеет вид формулы (2.44)

(2.44)

Полная система уравнения движения для лагранжиана (2.44) запишется уравнениями (2.45)-(2.51)

(2.45)

(2.46)

(2.47)

(2.48)

(2.49)

где

(2.50)

(2.51)

Полную плотность темной энергии можно представить как сумму трех вкладов , которые связаны со спинорным и тахионным полями и потенциалом типа Юкавы, соответственно уравнениями (2.52)-(2.54)

(2.52)

(2.53)

(2.54)

Таким же образом мы можем представить полное давление темной энергии как сумму давлений , связанных со спинорным и тахионным полями, потенциал типа Юкавы не оказывает никакого влияния на полное давление, соответственно уравнениями (2.55)-(2.57)

(2.55)

(2.56)

(2.57)

На рисунке 5 показана зависимость плотности темной энергии: спинорного поля (пунктирная линия), тахионного поля (сплошная линия), потенциала типа Юкавы (штрихпунктирная линия) и полной плотности энергии (пунктирная линия) от времени *t.*



Рисунок 5 – Зависимость плотности темной энергии от времени *t*, где

, , , , , ,

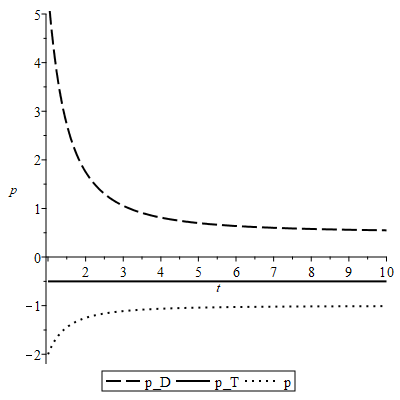


Рисунок 6 – Зависимость давления темной энергии от времени *t*, где

, , .

На рисунке 6 показаны зависимости давления: спинорного поля (пунктирная линия), тахионного поля (сплошная линия) и полной плотности темной энергии (точечная линия) от времени .

В исследуемой модели давление фермионного поля в ранний период развития Вселенной положительно и отвечает за замедленние расширения, давление тахионного поля отрицательно и отвечает за ускоренный режим, поскольку давление потенциала типа Юкавы равно нулю, оно не оказывает влияния на расширение Вселенной. Суммарное давление на всем временном интервале отрицательно, что соответствует ускоренному расширению Вселенной.

**2.3 Выводы**

Мы исследовали космологические модели с фермионными и тахионными полями, а также фермионными и тахионными полями, взаимодействующими через потенциал типа Юкавы вместе с однородной, изотропной и плоской Вселенной Фридмана-Робертсона-Уокера. Нашли уравнения движения в обоих случаях. Построили энергетических условий. Для всех моделей выполняется нулевое, слабое и доминирующее энергетическое условие, а сильное энергетическое условие не выполняется, что является необязательным. Сравнивая две модели, мы видим, что потенциал типа Юкавы не оказывает никакого влияния на давление, но влияет на плотность темной энергии в ранний период развития и стремится к нулю в более позднее время.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Краткие выводы по результатам работы 2020 года и отдельных ее этапов.

Результаты первого года работы по проекту выполнены в полном объеме в соответствии с календарным планом. Полученные результаты могут быть кратко сформулированы в следующем виде:

По задаче “Подбор физически релевантных теоретических моделей и получение эволюционных уравнений” за отчетный период были получены следующие основные результаты.

1 Мы исследовали влияние скалярных, фермионных, массивных векторных полей и их взаимодействий на динамику и эволюцию различных космологических режимов в условии однородной и изотропной пространственно плоской Вселенной. Наблюдая за поведением давления фермионного поля по отношению к скалярному и векторному полю мы можем сказать, что именно оно ответственно за два ускоренных режима - в ранней и поздней Вселенной. Давление в рассматриваемой модели отрицательно и стремится в позднее время к нулю. Поэтому в позднее время происходит переход в замедленный режим. Изучили энергетические условия. Энергетические условия описывают свойства, характерные для всех состояний вещества и все негравитационные области, которые изученые в физике. С помощью энергетических условий можно исключить много нефизических решений уравнений Эйнштейна. Для рассматриваемой модели выполняются нулевое энергетическое условие, сильное энергетическое условие, доминирующее энергетическое условие. Но не выполняется слабое энергетическое условие.

2 Мы исследовали космологические модели с фермионными и тахионными полями, а также фермионными и тахионными полями, взаимодействующими через потенциал типа Юкавы вместе с однородной, изотропной и плоской Вселенной Фридмана-Робертсона-Уокера. Нашли уравнения движения в обоих случаях. Построили энергетических условий. Для всех моделей выполняется нулевое, слабое и доминирующее энергетическое условие, а сильное энергетическое условие не выполняется, что является необязательным. Сравнивая две модели, мы видим, что потенциал типа Юкавы не оказывает никакого влияния на давление, но влияет на плотность темной энергии в ранний период развития и стремится к нулю в более позднее время.

Основной задачей на 2020 год был подбор моделей и получене для этих моделей уравнений движения, что и было сделано. В дальнейшем, согласно календарному плану, планируется построение аналитических и численных космологических решений подобранных моделей, их проверка специальными методами космологии и сравнение полученных результатов с наблюдательными данными.

Рекомендации по использованию результатов. Результаты работы могут использоваться учеными, работающими по аналогичным направлениям.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Технико–экономическое внедрение в рамках проекта не предусматривалось.

Обоснование научно-технического уровня. Научно–технический уровень проводимых исследований соответствует уровню, принятому для аналогичных задач в мировой практике.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Блинников С.И., Долгов А.Д. Космологическое ускорение // Успехи физических наук. – 2019. – том. 189, №6. – С. 561-602.

2. Spergel D.N., Verde L., Peiris H.V., Komatsu E., Nolta M.R., Bennett C.L., Halpern M., Hinshaw G., Jarosik N., Kogut A., Limon M., Meyer S.S., Page L., Tucker G.S., Weiland J. L., Wollack E., Wright E.L. First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters // Astrophysical Journal Supplements Series. – 2003. – Vol. 148, №1. – P. 175.

3. Spergel D.N., Bean R., Dor O., Nolta M.R., Bennett C.L., Dunkley J., Hinshaw G., Jarosik N., Komatsu E., Page L., Peiris H.V., Verde L., Halpern M., Hill R.S., Kogut A., Limon M., Meyer S.S., Odegard N., Tucker G.S., Weiland J.L., Wollack E., Wright E.L. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) three year results: Implications for cosmology // Astrophysical Journal Supplement Series. – 2003. – Vol. 172, №2. – P. 377.

4. Komatsu E., Dunkley J., Nolta M.R., Bennett C.L., Gold B., Hinshaw G., Jarosik N., Larson D., Limon M., Page L., Spergel D.N., Halpern M., Hill R.S., Kogut A., Meyer S.S., Tucker G.S., Weiland J.L., Wollack E., Wright E.L. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Cosmological Interpretation // Astrophysical Journal Supplement Series. – 2009. – Vol. 180, №2. – P.330.

5. Komatsu E., Smith K.M., Dunkley J., Bennett C.L., Gold B., Hinshaw G., Jarosik N., Larson D., Nolta M.R., Page L., Spergel D.N., Halpern M. , Hill R.S., Kogut A., Limon M., Meyer S.S., Odegard N., Tucker G.S., Weiland J.L., Wollack E., Wright E.L. Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation // Astrophysical Journal Supplement Series. – 2011. – Vol. 192, №2. – P. 18.

6. Perlmutter S., Aldering G., Goldhaber G., Knop R.A., NugentP., Castro P.G., Deustua S., Fabbro S., Goobar A., Groom D.E., Hook I. M., Kim A.G., Kim M.Y., Lee J.C., Nunes N.J., Pain R., Pennypacker C.R., Quimby R., Lidman C., Ellis R.S., Irwin M., McMahon R.G., Ruiz-Lapuente P., Walton N., Schaefer B. , Boyle B.J., Filippenko A.V., Matheson T., Fruchter A.S., Panagia N., Newberg H.J.M., Couch W.J. Measurements of  and  from 42 High-Redshift Supernovae // Astrophysical Journal. – 1999. – Vol. 517, №2. – P.564.

7. Riess A.G., Filippenko A.V., Challis P., Clocchiattia A., Diercks A., Garnavich P.M., Gilliland R.L., Hogan C.J., Jha S., Kirshner R.P., Leibundgut B., Phillips M.M., Reiss D., Schmidt B.P., Schommer R.A., Smith R.Ch., Spyromilio J., Stubbs Ch., Suntzeff N.B., Tonry J. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant // Astronomical Journal. – 1998. – Vol. 116, №3. – P. 1009.

8. Tegmark M., Strauss M., Blanton M., Abazajian K., Dodelson S., Sandvik H., Wang X., Weinberg D., Zehavi I., Bahcall N., Hoyle F., Schlegel D., Scoccimarro R., Vogeley M., Berlind A., Budavari T., Connolly A., Eisenstein D., Finkbeiner D., Frieman J., Gunn J., Hui L., Jain B., Johnston D., Kent S., Lin H., Nakajima R., Nichol R., Ostriker J., Pope A., Scranton R., Seljak U., Sheth R., Stebbins A., Szalay A., Szapudi I., Xu Y. Cosmological parameters from SDSS and WMAP // Physical Review D. – 2004. – Vol. 69, №10. – P. 3501.

9. Seljak U., Makarov A., McDonald P., Anderson S., Bahcall N., Brinkmann J., Burles S., Cen R., Doi M., Gunn J., Ivezic Z., Kent S., Lupton R., Munn J., Nichol R., Ostriker J., Schlegel D., Tegmark M., Van den Berk D., Weinberg D., York D. Cosmological parameter analysis including SDSS Ly-alpha forest and galaxy bias: Constraints on the primordial spectrum of fluctuations neutrino mass, and dark energy // Physical Review D. – 2005. – Vol. 71, №10. – P. 3515.

10. Eisenstein D.J., Zehavi I., Hogg D.W., Scoccimarro R., Blanton M.R., Nichol R.C., Scranton R., Seo H., Tegmark M., Zheng Z., Anderson S., Annis J., Bahcall N., Brinkmann J., Burles S., Castander F.J., Connolly A., Csabai I., Doi M., Fukugita M., Frieman J. A., Glazebrook K., Gunn J.E., J. S. Hendry J.S., Hennessy G., Ivezic Z., Kent S., Knapp G.R., Lin H., Loh Y., Lupton R.H., Margon B., McKay T., Meiksin A., Munn J.A., Pope A., Richmond M., Schlegel D., Schneider D., Shimasaku K., Stoughton C., Strauss M., SubbaRao M., Szalay A.S., Szapudi I., Tucker D., Yanny B., York D. Detection of the Baryon Acoustic Peak in the Large-Scale Correlation Function of SDSS Luminous Red Galaxies // Astrophysical Journal. – 2005. – Vol. 633, №2. – P.560.

11. Jain B., Taylor A. Cross-correlation Tomography: Measuring Dark Energy Evolution with Weak Lensing // Physical Review Letters. – 2003. – Vol. 91, №14. – P.1302.

12. Hawking S W, Ellis G F R The Large Scale Structure of Space-time. – Cambridge: Univ. Press, 1973. – 384 p.

13. Copeland E.J., Sami M., Tsujikawa S. Dynamics of dark energy // International Journal of Modern Physics D. – 2006. – Vol. 15, №11. – P. 1753.

14. Nojiri S., Odintsov S.D. Unified cosmic history in modified gravity: from F(R) theory to Lorentz non-invariant models // Physics Reports. – 2011. – Vol. 505, №2-4. – P. 59.

15. Hehl F.W., Von Der Heyde P., Kerlick G.D., Nester J.M. General relativity with spin and torsion: Foundations and prospects // Review of Modern Physics. – 1976. – Vol. 48. – P. 396.

16. Ribas M.O., Devecchi F.P., Kremer G.M. Fermions as sources of accelerated regimes in cosmology // Physical Review D. – 2005. – Vol. 72, №12. – P. 3502.

17. Nojiri S., Odintsov S.D., Sasaki M. Gauss-Bonnet dark energy // Physical Review D. – 2005. – Vol. 71, №12. – P. 3509.

18. Болотин Ю.Л., Ерохин Д.А. Лемец О.А. Расширяющаяся вселенная: замедление или ускорение? // Успехи физических наук. – 2012. – Том 182, №9. – С. 941-986.

19 Joyce A., Jain B., Khoury J., and Trodden M. Beyond the Cosmological Standard Model // Physics Reports. – 2015. – Vol. 568. – P.1-98.

20 Bamba K., Capozziello S., Nojiri S., Odintsov S. Dark energy cosmology: the equivalent description via different theoretical models and cosmography tests // Astrophysics and Space Science. – 2012. – Vol. 342. – P. 155-228.

21 Peebles J. E., Bharat Ratra The Cosmological Constant and Dark Energy // Reviews of Modern Physics. – 2003. – V.75.-P.559-606.

22 Capozziello S., De Laurentis M., Nojiri S., Odintsov S.D. Classifying and avoiding singularities in the alternative gravity dark energy models // Physical Review D. – 2009. – Vol.79. – P.124007.

23 Hehl F.W. and Obukhov Yu.N. Elie Cartan’s torsion in geometry and in field theory, an essay // Annales de la Fondation Louis de Broglie. – 2007. – P.38.

24 Myrzakulov Y., Serikbaev N., Myrzakulov S., Razina O., Nugmanova V., Myrzakulov R. G-essence cosmologies with scalar-fermion interactions // European Physical Journal Plus. – 2011. – Vol.126, N9. – P.85.

25 Razina O.V., Tsyba P.Yu. Exponential solution of the f(R) graviity with Maxwell term and g-essence // Вестник ЕНУ им.Гумилева. Серия естественно-технических наук, Астана. – 2018. – Vol.3(123). – P.33-41.

26 Razina O., Tsyba P., Meirbekov B., Myrzakulov R. Cosmological Einstein-Maxwell model with g-essence // International Journal of Modern Physics D. – 2019. – Vol. 28, N10. – P. 1950126.

27 Razina O., Tsyba P., Sagidullayeva Z. M. Power solution of the f(R)-gravity with Maxwell term and g-essence // Bulletin. of the University of Karaganda-Physics. – 2019. – Vol.1, N93. – P. 94-102.

28 Ribas M.O., Devecchi F.P., Kremer G.M. Cosmological model with fermion and tachyon fields interacting via Yukawa-type potential // Modern Physics Letters A. - 2016. - Vol. 31, N. 6. - P. 1650039.

29 Landau L.D., Lifshitz E.M. Fields theory. - M.: Science Press, 1973. - Vol. 2. - P. 504.

30 Vladimirov Ju.S. Classical Theory of Gravity. - Tutorial. - M.: Book house "LIBRIKOM", 2009. - P. 264.

31 Jentschura U. D., Wundt, B. J. Pseudo-Hermitian quantum dynamics of tachyonic spin-1/2 particles // Journal of Physics A Mathematical General. - 2012. - Vol. 45, N. 44. - P. 444017.

32 Saha B. Nonlinear spinor field in isotropic space-time and dark energy models //General Relativity and Quantum Cosmology. - 2016. - Vol. 131, N. 7. - P. 242.

33 Salesi G. Slower-than-light spin-particles endowed with negative mass squared // International Journal of Modern Physics A. - 1997. - Vol. 12, N. 28. - P. 5103-5122.

34 Chodos A., Hauser A.I., Kosteleck V.A. The neutrino as a tachyon // Physics Letters B. - 1985. - Vol. 150. - P. 431-435.

35 Ehrilic R. Six observations consistent with the electron neutrino being a tachyon // Astroparticle Physics. - 2015. - Vol. 66. - P. 11-17.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

# Список опубликованных работ по результатам исследования

1 Цыба П.Ю., Разина О.В. Вывод эволюционных уравнений для обобщенной космологической модели // Вестник Кокшетауского государственного университета имени Ш.Уалиханова. Серия Естественные науки. – 2020. – №3. – С. 11-19.

# Научные публикации, отправленные на рецензирование для печати в научных журналах:

1 Цыба П.Ю., Разина О.В. Фазовые портреты f(G) моледей гравитации // Вестник КазНИТУ. – 2020. – №6. – отправлена в журнал.

2 Разина О.В., Цыба П.Ю. Космологическая модель с фермионными и тахионными полями // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Серия Физика. Астрономия. – 2020. – №4. – отправлена в журнал.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

# Договор на реализацию научных, научно-технических проектов, техническая спецификация и календарный план работ

# 

# 

# 

# 

# 

# 

# 

# 

# 

# 