

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию  
Тимошкина Александра Васильевича  
«Космологические модели Вселенной с обобщенной жидкостью»,  
представленной на соискание ученой степени доктора физико-  
математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика

Фундаментальная проблема теоретической физики этого столетия заключается в понимании происхождения космического ускорения ранней и поздней Вселенной. Существует большое количество космологических моделей, описывающих это явление в эволюции Вселенной. Их целью является объяснение ускорения Вселенной с физической точки зрения и возможное возникновение сингулярностей, которые могут возникать в будущем или возникали в прошлом. Согласно современной космологической картине Вселенная заполнена космической жидкостью (темной энергией) с отрицательным давлением, которая не дает вклад в кластеризацию, является невидимой и не взаимодействует с обычной материей. Одной из наиболее перспективных моделей, описывающих темную энергию, является модель идеальной жидкости с обобщенным уравнением состояния.

Основными направлениями исследования в диссертационной работе А.В. Тимошкина являются следующие: описание поздней Вселенной в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера с помощью модели идеальной жидкости с обобщенным уравнением состояния; изучение взаимодействия между темной энергией и темной материей; влияние темной материи на поведение вязких темных жидкостей, а также исследование диссипативных свойств инфляционной Вселенной в присутствии сингулярности IV типа и инфляционного расширения ранней Вселенной. В частности, показано, что взаимодействие между темной энергией и темной материей может привести к появлению сингулярностей типа Большой разрыв и изменению сингулярного поведения параметра Хаббла.

Следует также отметить результаты исследования инфляционной Вселенной, основанные на двухкомпонентной модели жидкости с учетом вязкости жидкости. Подобный подход позволяет получить условия, при которых отсутствует в очень ранней Вселенной ее самовоспроизведение и дает возможность получить согласие с результатами астрономических наблюдений космической обсерватории PLANCK.

### **Актуальность темы диссертации**

Тема диссертационной работы А.В. Тимошкина, посвященной исследованию характера эволюции Вселенной и типов, возникающих сингулярностей, находится в активно разрабатываемом в теоретической космологии направлении. Актуальным аспектом в теории поздней стадии эволюции Вселенной является обсуждение космологии с вязкостью. Оказывается, что учет свойства объемной вязкости темной жидкости влияет на появление известных типов сингулярностей. В русле актуальных

направлений современной космологии лежит исследование влияния взаимодействия между темной энергией и темной материей на характер сингулярного поведения параметра Хаббла.

Результаты, полученные в диссертации, позволяют получить более подробное описание ранней и поздней Вселенной в известных космологических моделях и найти лучшее совпадение с результатами астрофизических наблюдений. Все сказанное позволяет сделать вывод об актуальности темы диссертационной работы и её практической значимости.

**Диссертационная** работа содержит введение, три главы, заключение, 4 рисунка, 1 таблицу и список литературы из 201 источника.

Во Введении обсуждается актуальность темы диссертации, сформулированы цели, задачи и научная новизна исследования, приводятся положения, выносимые на защиту, а также содержится информация об апробации работы и структуре диссертации.

Первая глава содержит исследование модели Вселенной с линейным неоднородным уравнением состояния и исследование различных режимов ускорения Вселенной. С помощью параметров обобщенного уравнения состояния построены космологические модели темной энергии. Получены условия возникновения Вселенной с турбулентной темной энергией в терминах параметров уравнения состояния.

Вторая глава посвящена изучению моделей темной энергии, взаимодействующей с темной материей. Показано, что присутствие взаимодействия между темной энергией и темной материей в уравнении состояния приводит к возникновению в будущем различных типов сингулярностей. Доказано, что присутствие темной материи может привести к изменению сингулярного поведения параметра Хаббла. В рамках феноменологической модели энтропийной космологии рассматривается описание теплового рассеяния во Вселенной применительно к моделям типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и космологии с отскоком. Диссипативные свойства Вселенной, взаимодействующей с темной материей, выражаются через термодинамические параметры в уравнении состояния. С помощью подбора этих параметров, получены различные категории Вселенных, содержащие сингулярности.

В Третьей главе рассматривается инфляционная Вселенная. В пространственно-плоской космологии Фридмана исследованы двухкомпонентные модели с взаимодействующими жидкостями, принимая во внимание свойство вязкости жидкости. Рассматривается сингулярная инфляция II и IV типа. Изучается инфляционная Вселенная с моделями вязкой жидкости без самовоспроизведения. Получены условия, позволяющие избежать в ранней Вселенной явления самовоспроизведения. Исследовано инфляционное расширение ранней Вселенной в терминах параметров модифицированного уравнения Ван дер Ваальса. Показано, что учет свойства вязкости жидкости в уравнении состояния, позволяет получить хорошее согласие теоретической модели с результатами астрофизических наблюдений.

В Заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

### **Новизна выполненных исследований и полученных результатов**

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

– Построена модель наблюдаемой Вселенной в терминах параметров уравнения состояния для идеальной жидкости с линейной и осциллирующей зависимостью от времени в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера.

– Получено представление космологических моделей типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и Квази-разрыв в терминах параметров уравнения состояния для темной энергии.

– Получены условия возникновения поздней Вселенной с турбулентностью в терминах параметров уравнения состояния.

– Построена модель осциллирующей Вселенной, принимая во внимание взаимодействие между темной энергией и темной материей специального вида.

– Исследовано влияние темной материи на поведение вязких темных жидкостей. Установлена зависимость появления известных типов сингулярностей от изменения аналитической формы термодинамического параметра и коэффициента объемной вязкости.

– С помощью формализма энтропийной космологии дано описание теплового рассеяния в космологических моделях типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и космологии с отскоком, учитывая взаимодействие между темной энергией и темной материей.

– Построена модель двухкомпонентной жидкости в инфляционной Вселенной в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера. Исследовано влияние взаимодействия компонент жидкости с учетом вязкости на параметры инфляции.

– Исследованы модели вязкой жидкости в инфляционной Вселенной для пространственно-плоской метрики Фридмана-Робертсона-Уокера. Получены условия, позволяющие избежать в ранней Вселенной явления самовоспроизведения инфляции.

– Рассмотрены диссипативные свойства инфляционной Вселенной при наличии сингулярности IV типа в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера. Установлено свойство сингулярности инфляционных параметров.

– Получено описание в терминах параметров уравнения Ван дер Ваальса инфляционного расширения ранней Вселенной с учетом свойства вязкости жидкости.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов основана на адекватном применении физических моделей, корректности проведенных

математических расчетов. Материал, представленный в диссертации, достаточен для независимой проверки вычислений и соответствующих выводов. Полученные в диссертации результаты связаны с известными результатами из процитированных источников и совпадают в частных случаях с результатами других авторов.

### **Научная значимость полученных в работе результатов**

Результаты, полученные в диссертации, представляют интерес в исследованиях по космологии для описания эволюции ранней и поздней Вселенной. Они имеют перспективу с точки зрения дальнейшей разработки темы: существует возможность объединить эпоху инфляции с поздней Вселенной в расширенной модели с вязкостью. Можно распространить область применения теории вязких жидкостей в космологической инфляции на случай нескольких связанных жидкостей. Перспективным является исследование космологических моделей инфляции, приводящих к сингулярности IV типа с учетом взаимодействия с материей.

### **Заключение**

Оценивая диссертацию в целом, следует отметить, что она является законченным теоретическим трудом, выполненным автором на высоком научном уровне. В диссертации последовательно ясным научным языком излагаются основные результаты проведенного исследования. Это позволяет сделать вывод об обоснованности защищаемых в ней положений. Следует отметить, что представленная диссертационная работа А.В. Тимошкина обладает тем достоинством, что каждая глава посвящена рассмотрению отдельной научной задачи, которая успешно решается.

Диссертационная работа, содержит, в основном, недостатки технического характера:

1. В тексте диссертации по отношению к метрике изотропной и однородной Вселенной используются два наименования: метрика Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера и метрика Фридмана-Робертсона-Уокера.

2. Нумерация ссылок во Введении начинается с [132, 130], затем [1-4] и т.д. Лучше выдерживать последовательную нумерацию для первых страниц Введения.

3. В работе рассматривается двухкомпонентная жидкость в инфляционный период. Поскольку скалярные поля могут описываться идеальной жидкостью, было бы интересно сопоставить двухкомпонентную жидкость с двухкомпонентной киральной космологической моделью, которая описывает позднюю инфляцию (см., например, Аббязов, Червон, Мюллер, *Modern Physics Letters A*. v. 30, No. 26, 1550114 (11 pages), 2015).

4. В диссертации, на стр. 9, утверждается, что «Самовоспроизведение Вселенной, означающее, что процесс инфляции не имеет путей к завершению, может считаться одной из таких проблем – инфляция никогда не заканчивается.» В рамках стандартной фридмановской космологии эта проблема, которая возникла в работе 1981 года А. Гуса («старая инфляция»),

была решена в 1982 году в работах Линде и Альбрехта и Стейнхарда («новая инфляция»). К сожалению, эти основополагающие работы по космологической инфляции не вошли в список литературы.

Перечисленные недостатки не влияют на общую положительную оценку результатов, полученных в диссертации.

Диссертация А.В. Тимошкина «Космологические модели Вселенной с обобщенной жидкостью», представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, является научно-квалификационной работой, совокупность теоретических положений которой можно квалифицировать как научное достижение в теоретической космологии.

Полученные автором результаты проведенных исследований достоверны и обоснованы, своевременно опубликованы в центральной и международной печати, представлены на российских и зарубежных научных форумах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа «Космологические модели Вселенной с обобщенной жидкостью» соответствует критериям, установленным для диссертаций на соискание ученой степени доктора наук пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 28.08.2017), а ее автор, Тимошкин Александр Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Официальный оппонент  
 профессор кафедры физики и технических дисциплин  
 федерального государственного бюджетного  
 образовательного учреждения высшего образования  
 «Ульяновский государственный педагогический университет  
 имени И. Н. Ульянова»,  
 доктор физико-математических наук  
 (специальность 01.04.02 – Теоретическая физика),  
 профессор

Червон Сергей Викторович

08.10.2018

Адрес: 432071, г. Ульяновск, пл. Ленина, д. 4/5; Тел: (422) 44-30-66;  
 E-mail: rector@spbu.ru; http://www.ulspu.ru



Подпись *Червон С.В.*  
 Заверяю: *Синица*  
 Начальник управления кадров  
 ФГБОУ ВО УлГПУ им. И.Н. Ульянова