

В диссертационный совет
Д 212.267.07, созданный на базе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский государственный
университет»

Отзыв официального оппонента

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

Диссертационная работа Тимошкина Александра Васильевича посвящена решению обширного набора задач, связанных с описанием как поздней стадии ускоренного расширения Вселенной, так и ранней инфляционной стадии ее эволюции в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера с материей в виде идеальной или вязкой жидкости с зависящими от времени параметрами уравнения состояния. В рамках этого подхода дано описание космологических моделей типа «малый разрыв», «мнимый разрыв» и «квази-разрыв», а также моделей темной энергии в космологии на бране с разрывом. Отдельное внимание в диссертации уделяется изучению взаимодействия между темной энергией и темной материей и влиянию темной материи на поведение вязких темных жидкостей. Важным объектом исследования является инфляционная Вселенная с источником гравитации в виде вязкой жидкости. Рассматриваются диссипативные свойства инфляционной Вселенной в терминах параметров уравнения Ван дер Ваальса.

Актуальность темы диссертации. Одной из основных задач теоретической физики является объяснение ускоренного расширения как ранней, так и поздней Вселенной. С решением этой задачи связано появление

новых моделей источников ранней инфляции и темной энергии, обуславливающей позднее ускорение расширения. Среди моделей темной энергии представляет интерес класс моделей идеальной или вязкой жидкости с обобщенными уравнениями состояния. В диссертации исследован характер эволюции Вселенной и выяснены типы возникающих сингулярностей при различных предположениях о термодинамических параметрах жидкости и космологической постоянной. Показано, как временная зависимость термодинамического параметра (отношения давления к плотности энергии) и коэффициента объемной вязкости влияет на появление известных типов сингулярностей. Диссертация содержит исследование диссипации энергии в космологических моделях типа «малый разрыв», «мнимый разрыв», а также в модели с отскоком с учетом взаимодействия между темной энергией и темной материей. В исследовании инфляционной Вселенной следует отметить предложенную модель двухкомпонентной жидкости и исследование влияния взаимодействия вязкой темной энергии и темной материи. Показано, что учет вязкости позволяет избежать самовоспроизведения инфляции, влияет на ее параметры и позволяет установить соответствие между теоретическими моделями и результатами астрономических наблюдений.

Результаты диссертации могут найти применение в работах по космологии ранней и поздней Вселенной и получить наилучшее согласие с данными, полученными из астрономических наблюдений (миссия спутника «Планк», исследования WMAP). Из сказанного следует вывод об актуальности диссертационной работы и её практической ценности.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 207 страниц текста, 4 рисунка, 1 таблицу и список литературы из 201 источника.

Во **введении** обосновывается актуальность темы, формулируются цели, задачи, приводятся основные положения, выносимые на защиту, содержится информация об апробации работы, изложена структура диссертации.

Первая глава посвящена исследованию модели Вселенной с линейным неоднородным уравнением состояния, в котором зависимость параметров

от времени выбрана в линейной или осциллирующей форме. Выбор параметров обобщенного уравнения состояния приводит к моделям типа «малый разрыв», «мнимый разрыв» и «квази-разрыв». Исследуются космологические модели в концепции мира на бране и модели с турбулентностью. Получено полное описание эволюционных переходов между ускоренным и замедленным расширением Вселенной. Описаны условия фазового перехода от ламинарной к турбулентной темной энергии, причем турбулентность описывается феноменологически в терминах параметров уравнения состояния жидкости.

Во **второй главе** исследуются модели темной энергии, взаимодействующей с темной материей. Изучается влияние взаимодействия между компонентами темной энергии и темной материи на возникновение в будущем различных типов сингулярностей. Построена модель осциллирующей Вселенной, которая может появиться после фазы доминирования материи до ускорения. Показано, что некоторый вид взаимодействия между темной энергией и темной материей приводит к появлению сингулярности типа «большой разрыв». В других случаях имеют место модели типа «малый разрыв» и «мнимый разрыв», а также модели с отскоком. Исследована устойчивость полученных решений в классе изотропных космологических моделей. Рассматривается диссипация энергии во Вселенной в феноменологической модели «энтропийной космологии» Комацу-Кимуры, в которой диссипативные свойства темных компонентов выражаются через параметры в уравнении состояния. Соответствующим выбором этих параметров получены модели с различными видами сингулярностей.

Третья глава посвящена исследованию инфляционной Вселенной с взаимодействующими энергией и материей с учетом вязкости. Исследуются различные обобщенные формы параметра Хаббла, которые могут привести к будущим сингулярностям. Рассмотрена инфляционная Вселенная с моделями вязкой жидкости без самовоспроизведения, дающая возможность плавного выхода из процесса инфляции. Продемонстрировано согласие рассматриваемых моделей инфляции с новейшими астрономическими данными от спутника

«Планк». Исследуется инфляция в ранней Вселенной в терминах параметров уравнения Ван дер Ваальса, показано, что при некоторых условиях, наложенных на параметры в уравнении состояния, получается хорошее согласие с результатами астрономических наблюдений.

В **заключении** подводятся итоги и подчеркиваются основные результаты, полученные автором и представленные в диссертации, обозначаются перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Все основные научные результаты, полученные в диссертационной работе, являются **новыми**. Основные результаты работы перечислены автором в положениях, выносимых на защиту (14 пунктов), повторять их нет необходимости, подчеркнем лишь некоторые, наиболее интересные из них:

– Получены условия возникновения турбулентности во Вселенной в терминах параметров уравнения состояния темной жидкости без явного описания турбулентности.

– Построена модель осциллирующей Вселенной при некотором виде взаимодействия между темной энергией и темной материей

– В рамках моделей с вязкой жидкостью получены условия, позволяющие избежать в ранней Вселенной явления самовоспроизведения инфляции.

– Инфляция в ранней Вселенной описана в терминах параметров уравнения Ван дер Ваальса, показано, что согласие с данными астрономических наблюдений можно получить с учетом объемной вязкости.

Достоверность полученных результатов подтверждается правильностью выбранных математических моделей, корректностью проведенных расчетов и взаимосвязью с известными результатами из процитированных источников, а также совпадением полученных результатов с известными частными случаями, отмеченными в диссертации.

Научная значимость полученных в работе результатов. Полученные результаты имеют существенное значение для описания эволюции Вселенной на ранней и поздней стадиях ее эволюции. Результаты диссертации представляют интерес с точки зрения перспектив объединения эпохи инфляции

в модели с вязкостью и моделях поздних стадий эволюции Вселенной. Теория вязких жидкостей в космологии может быть распространена на случай нескольких связанных жидкостей.

В диссертации последовательно излагаются все основные результаты. Это позволяет сделать вывод об **обоснованности** защищаемых в ней положений. Каждая глава содержит решение поставленной научной задачи, и можно заключить, что эти задачи успешно решены.

При рассмотрении диссертации появились следующие **замечания**.

1. В ряде случаев отсутствует физическая мотивация сделанных предположений о поведении масштабного фактора или параметра Хаббла (например, это зависимости типа экспоненты от экспоненты).

2. Автор пользуется понятиями сингулярностей II, III и IV типов, «внезапной будущей сингулярности», «асимптотической ломки», не приводя их точных определений. Следовало бы привести полную классификацию всех видов особенностей моделей, упомянутых в работе, вместе с их определяющими признаками, в отдельном параграфе или в приложении.

3. Неверно используется выражение «неоднородная жидкость» для жидкости с неоднородным уравнением состояния. В диссертации рассматриваются исключительно однородные изотропные модели Вселенной, так что никакие неоднородные источники гравитации невозможны.

4. Имеются серьезные стилистические недостатки текста, начиная с названия, в котором либо слово «космологические», либо слово «Вселенной» – явно лишнее. Многие предложения выглядят как неотредактированный машинный перевод с английского, например: (1) «было доказано, что расширенная Вселенная ускоряется» (вместо «расширение Вселенной ускоряется») – стр. 6, начало введения. (2) «Некоторые общие проблемы, связанные с космологией с вязкостью, обсуждены и расширены в работах [41–44]» (комментарии излишни), стр. 8, 2–3 строки снизу). И т.д.

Указанные недостатки не носят принципиального характера, не уменьшают ценность полученных в диссертации оригинальных научных

результатов и не влияют на **положительную оценку работы**. Считаю, что диссертационная работа по своему содержанию, объему выполненных исследований, новизне и практической значимости соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным п. 9 «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 ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Официальный оппонент
главный научный сотрудник
отдела 001
доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.02 – Теоретическая физика)

Бронников Кирилл Александрович

E-mail: kb20@yandex.ru

19.09.2018



ФГУП ВНИИМС – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы», почтовый адрес: 119361, Москва, ул. Озерная, 46; тел. 8 (495) 437-37-29, E-mail: office@vniims.ru; адрес сайта: <http://vniims.ru>

Подпись К. А. Бронникова удостоверяю:



Свердловский по телефону  *Калмышева Н.В.*