

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.07, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 08 ноября 2018 года публичной защиты диссертации Тимошкина Александра Васильевича «Космологические модели Вселенной с обобщенной жидкостью» по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Присутствовали 16 из 24 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Багров В. Г., доктор физико-математических наук, профессор,<br>председатель диссертационного совета,                             | 01.04.02 |
| 2. Ивонин И. В., доктор физико-математических наук, старший научный<br>сотрудник, заместитель председателя диссертационного совета, | 01.04.10 |
| 3. Киреева И. В., доктор физико-математических наук, старший научный<br>сотрудник, ученый секретарь диссертационного совета,        | 01.04.07 |
| 4. Брудный В. Н., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.10 |
| 5. Бухбиндер И. Л., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.02 |
| 6. Войцеховский А. В., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.04.10 |
| 7. Коротаев А. Д., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.04.07 |
| 8. Ляхович С. Л., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.02 |
| 9. Мельникова Н. В., доктор физико-математических наук,   | 01.04.07 |
| 10. Потекаев А. И., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.07 |
| 11. Толбанов О. П., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.10 |
| 12. Трифонов А. Ю., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.02 |
| 13. Тюменцев А. Н., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.07 |
| 14. Чумляков Ю. И., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.07 |
| 15. Шаповалов А. В., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.04.02 |
| 16. Шарапов А. А., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.04.02 |

**Заседание провел председатель диссертационного совета, доктор физико-математических наук, профессор Багров Владислав Гаврилович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить А. В. Тимошкину ученую степень доктора физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.07,  
созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,  
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 08.11.2018 № 14

О присуждении **Тимошкину Александру Васильевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация **«Космологические модели Вселенной с обобщенной жидкостью»** по специальности **01.04.02** – Теоретическая физика, принята к защите 04.06.2018 (протокол заседания № 10) диссертационным советом **Д 212.267.07**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Тимошкин Александр Васильевич**, 1955 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Квантовые эффекты в теоретико-полевых моделях с внешними полями: теории Черна-Саймонса и Бранса-Дикке, система с внутренними степенями свободы» защитил в 2004 году в диссертационном совете государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный педагогический университет».

Работает в должности старшего научного сотрудника отдела исследований и разработок в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный педагогический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе исследований и разработок федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Томский государственный педагогический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, **Одинцов Сергей Дмитриевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный педагогический университет», отдел исследований и разработок, научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Бронников Кирилл Александрович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы», отдел 001, главный научный сотрудник

**Червон Сергей Викторович**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», кафедра физики и технических дисциплин, профессор

**Асташенок Артем Валерьевич**, доктор физико-математических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», институт физико-математических наук и информационных технологий, профессор  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Казанский (Приволжский) федеральный университет**», г. Казань, в своем положительном отзыве, подписанном **Сушковым Сергеем Владимировичем** (доктор физико-математических наук, доцент, кафедра теории относительности и гравитации, заведующий кафедрой), указала, что одна из основных задач теоретической физики на сегодняшний день состоит в объяснении физического происхождения космического ускорения Вселенной, открытого в 1998 году с помощью данных астрономических наблюдений, полученных независимо в лабораториях А. Рисса и С. Перлмуттера. Изучение космологических моделей Вселенной с учетом вязкости, описывающих ускоренное расширение Вселенной, начали проводиться сравнительно недавно, поэтому тема диссертационного исследования

А. В. Тимошкина является актуальной. Соискателем исследованы модели темной энергии поздней Вселенной, заданные уравнением состояния общего вида; изучены космологические модели типа Малый разрыв и Мнимый разрыв с зависящим от времени уравнением состояния; показано, что не сингулярные космологии типа Малый разрыв и Мнимый разрыв можно описать в терминах космологической постоянной или термодинамического параметра; рассмотрен космологический сценарий с Квази-разрывом; сделан вывод о том, что такой тип космологии может быть интерпретирован как эффект, вызванный объемной вязкостью космологической жидкости; получены условия возникновения Вселенной с турбулентной темной энергией в терминах параметров уравнения состояния; построена модель осциллирующей Вселенной в присутствии взаимодействия между темной энергией и темной материей в специальной форме в уравнении состояния, приводящая к появлению сингулярностей типа Большой разрыв; исследованы космологические модели типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и космологическая модель с отскоком для случая вязкой жидкости; показано, что эти модели могут быть связаны друг с другом через понятие объемной вязкости; доказано, что присутствие темной материи может привести к изменению сингулярного поведения параметра Хаббла; в модели энтропийной космологии диссипативные свойства Вселенной выражены через термодинамические параметры уравнения состояния; рассмотрено описание инфляционной стадии эволюции Вселенной с учетом вязкости; исследованы различные феноменологические уравнения состояния, приводящие к космологической эволюции IV типа; изучены модели инфляции, позволяющие избежать проблемы самовоспроизведения в очень ранней Вселенной; исследовано инфляционное расширение ранней Вселенной в терминах уравнения Ван дер Ваальса с учетом вязкости; получены решения гравитационного уравнения движения в форме масштабного фактора как функции плотности энергии; показано, что, учитывая свойство вязкости жидкости в модели Ван дер Ваальса, можно достичь согласия с результатами наблюдений миссии Планка. Теоретические результаты работы можно рекомендовать для использования в научных организациях, в которых проводятся исследования по космологии, теории гравитации и теоретической физике.

Соискатель имеет 36 опубликованных научных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 32 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 30 работ (из них 18 статей в ведущих зарубежных научных журналах, входящих в Web of Science и /или Scopus, 8 статей в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science), в сборниках материалов международных научных конференций опубликовано 2 работы. Общий объем публикаций – 23,2 а.л., авторский вклад – 13,9 а.л.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Brevik I. Dark energy fluid with time-dependent inhomogeneous equation of state / I. Brevik, O. G. Gorbunova, **A. V. Timoshkin** // European Physical Journal C. – 2007. – Vol. 51, is. 1. – P. 179–183. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-007-0278-7. – 0,5 / 0,3 а.л. (*Web of Science*)

2. **Timoshkin A. V.** Specially Coupled Dark Energy in the Oscillating FRW Cosmology / A. V. Timoshkin // Open Astronomy Journal. – 2009. – Vol. 2. – P. 39–42. – DOI: 10.2174/1874381100902010039. – 0,5/0,3 а.л. (*Scopus*)

3. Elizalde E. Inhomogeneous viscous dark fluid coupled with dark matter in the FRW universe / E. Elizalde, V. V. Obukhov, **A. V. Timoshkin** // Modern Physics Letters A. – 2014. – Vol. 29, is. 25. – Article number 1450132. – 10 p. – DOI: 10.1142/S0217732314501326. – 1,2 / 0,7 а.л. (*Web of Science*)

4. Brevik I. Inflationary universe in terms of a van der Waals viscous fluid / I. Brevik, E. Elizalde, S. D. Odintsov, **A. V. Timoshkin** // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – 2017. – Vol. 14. – 7 p. – DOI: 10.1142/S0219887817501857. – 1,3 / 0,8 а.л. (*Scopus*)

5. Brevik I. Inflationary universe with a viscous fluid avoiding self-reproduction / I. Brevik, E. Elizalde, V. V. Obukhov, **A.V. Timoshkin** // Annalen der Physik. – 2017. –

Vol. 529, is. 1–2. – Article number 1600195. – 7 p. – DOI: 10.1002/andp.201600195. – 0,8 / 0,5 а.л. (*Web of Science*).

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **А. Б. Балакин**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры «Теория относительности и гравитации» Казанского (Приволжского) федерального университета, *без замечаний*.
2. **С. Ю. Вернов**, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник отдела теоретической физики высоких энергий Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, *без замечаний*.
3. **А. В. Юров**, д-р физ.-мат. наук, проф., директор института физико-математических наук и информационных технологий Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, г. Калининград, *без замечаний*.
4. **В. Г. Дубровский**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой прикладной и теоретической физики Новосибирского государственного технического университета, *без замечаний*.
5. **С. Г. Рубин**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики элементарных частиц Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, *с замечаниями*: в автореферате следовало явно выписать основные динамические переменные и уравнение состояния, лежащие в основе диссертации; хотелось бы видеть численные оценки на основе полученных результатов, например, время жизни Вселенной в зависимости от физических параметров и конкретной модели.
6. **Г. С. Шаров**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой функционального анализа и геометрии Тверского государственного университета, *с замечаниями*: в тексте автореферата нет мотивировки рассмотрения уравнений состояния с параметрами  $\omega(t)$ ,  $\Lambda(t)$ , явно зависящими от времени; в описании главы 2 приведено много аналитических решений уравнений эволюции, но только для одного из них указан вид (14) функции взаимодействия  $Q$ . Смысл  $Q_1$  и  $Q_2$  в формуле (10) неясен.

В отзывах указано, что актуальность темы диссертационной работы А. В. Тимошкина обусловлена тем фактом, что 20 лет назад было обнаружено ускоренное расширение нашей Вселенной, но до сих пор нет однозначного

и признанного всеми космологами объяснения этому явлению. С этой целью автором предложено описание космологических моделей, описывающих ускоряющуюся Вселенную с помощью обобщенного уравнения состояния. Еще одна важная тема современной космологии, исследуемая в диссертации, связана с изучением влияния взаимодействия темной энергии с темной материей относительно ускоренного космического расширения. Здесь следует отметить изложенные в диссертации космологические модели с вязкой темной жидкостью (темной энергией), взаимодействующей с темной материей. Доказано, что присутствие темной материи может привести к изменению сингулярного поведения параметра Хаббла. В диссертационной работе также проводились исследования, посвященные инфляционной стадии эволюции Вселенной с помощью модели двухкомпонентной жидкости: энергии и материи, принимая во внимание свойство вязкости жидкости. Рассмотрена инфляционная Вселенная с моделями вязкой жидкости без самовоспроизведения. Исследованы модели диссипативной инфляционной Вселенной с сингулярностью IV типа. Получено описание рассеяния в инфляционной Вселенной в терминах параметров моделей, имеющих сингулярность IV типа. Изучено инфляционное расширение ранней Вселенной в терминах параметров уравнения Ван дер Ваальса с учетом свойства вязкости жидкости. Исследовано влияние эффекта вязкости на итоговые параметры инфляции. Приведены примеры, в которых согласие с данными астрономических наблюдений Планка можно получить с учетом объемной вязкости. Научные положения, сформулированные в диссертационной работе А. В. Тимошкина, есть результат успешного международного сотрудничества с всемирно признанными учеными; результаты исследований опубликованы в международных журналах с высокой научной репутацией. Материалы, вошедшие в диссертационную работу, известны широкому кругу российских ученых как по публикациям, так и по докладам на конференциях, организованных под эгидой Российского гравитационного общества. Полученные результаты являются новыми и имеют теоретическое и практическое значение для космологии и теории гравитации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **К. А. Бронников** является высококвалифицированным специалистом в области общей теории относительности, теории гравитации и космологии; **С. В. Червон** – высококвалифицированный специалист в области классической и квантовой космологии, теории гравитации и астрофизики; **А. В. Асташенок** – известный специалист в области теории гравитации, космологии и астрофизики; **Казанский (Приволжский) федеральный университет** известен достижениями в области теоретической физики и, в частности, в области общей теории относительности, классической и квантовой космологии и гравитации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработана* новая научная идея исследования инфляционной Вселенной на основе моделей вязкой космологической двухкомпонентной жидкости с учетом взаимодействия между ее компонентами; *проведено* исследование влияния темной материи на поведение вязких темных жидкостей; *дано* описание теплового рассеяния в космологических моделях ускоряющейся Вселенной в формализме энтропийной космологии с учетом взаимодействия между темной энергией и темной материей;

*предложено* описание космологических моделей ускоряющейся Вселенной с помощью обобщенного уравнения состояния с учетом свойства вязкости космической жидкости;

*доказано*, что с учетом свойства объемной вязкости космической жидкости можно получить условия, позволяющие избежать в ранней Вселенной явления самовоспроизведения инфляции, а также достичь согласия итоговых параметров инфляции с данными астрономических наблюдений Планка.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*доказано*, что применение формализма обобщенного уравнения состояния позволяет получить результаты, представляющие интерес с точки зрения более подробного описания Вселенной на ранней и поздней стадиях эволюции в известных космологических моделях;



*применительно к проблематике в диссертации результативно использованы методы интегрирования обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, теория специальных функций.*

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что**

*определены перспективы практического использования теории в исследованиях по космологии для получения лучшего совпадения с результатами, полученными из астрономических наблюдений (миссия Планка, исследования WMAP).*

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Теоретические результаты и разработанные методы, полученные в диссертационной работе, могут найти применение в исследованиях по космологии, теории гравитации и теоретической физике, проводимых в Институте ядерных исследований РАН (Москва), Институте теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН (Черноголовка), Объединенном институте ядерных исследований (Дубна), Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, в том числе в Государственном астрономическом институте имени П. К. Штернберга, Казанском (Приволжском) федеральном университете, Балтийском федеральном университете имени Иммануила Канта (Калининград), Томском государственном педагогическом университете, и других вузах и организациях, в которых ведутся работы по теоретической физике и космологии.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*теория построена на известных, проверяемых фактах, достоверность результатов обеспечивается их внутренней согласованностью, строгими математическими доказательствами, а также совпадением полученных в диссертации результатов с известными частными случаями, процитированными в диссертации;*

*использовано сопоставление полученных результатов с опубликованными результатами исследований других авторов;*

*установлена непротиворечивость, качественное и количественное согласие полученных результатов с результатами, представленными в независимых источниках.*

**Научная новизна работы** заключается в том, что предложено описание текущей наблюдаемой Вселенной с помощью линейной и осциллирующей зависимости от времени параметров уравнения состояния для идеальной жидкости и исследован характер ее эволюции при различных формах термодинамического параметра и космологической постоянной. Исследован тип возникающих сингулярностей. Впервые получено представление космологических моделей типа Малый разрыв и Мнимый разрыв, реализующих фантомный сценарий эволюции Вселенной, в терминах параметров уравнения состояния. Для каждой модели сделана оценка промежутка времени от настоящего момента до момента, когда Солнечная система или галактика во Вселенной становятся гравитационно-несвязанными. Получено описание космологии типа Квази-разрыв, на основе параметров уравнения состояния. Впервые показано, что космологическую модель типа Квази-разрыв можно интерпретировать в терминах объемной вязкости темной жидкости. Впервые получено представление моделей темной энергии в космологии на бране с разрывом, соответствующих случаю Большого разрыва, асимптотического режима де Ситтера и космологической сингулярности III типа из  $4d$  космологии Фридмана–Робертсона–Уокера без введения точного понятия браны. Впервые построена модель осциллирующей Вселенной с учетом взаимодействия между темной энергией и темной материей в специальной форме. Найдены значения параметров, при которых Вселенная расширяется с ускорением (квинтэссенция) и с замедлением. Показано, что взаимодействие между темной энергией и темной материей может привести к появлению сингулярностей. Впервые получено представление космологических моделей Вселенной типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и космологической модели с отскоком в терминах параметров уравнения состояния с учетом поправок, обусловленных взаимодействием темной энергии с темной материей. Исследовано влияние темной материи на поведение вязких темных жидкостей. Показано, что изменение аналитической формы термодинамического параметра и коэффициента объемной вязкости влияет на появление известных типов сингулярностей. Впервые в общем виде получено представление в терминах объемной вязкости космологических моделей типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и космологической модели

с отскоком с учетом поправок, обусловленных взаимодействием темной энергии с темной материей. Для всех моделей исследованы общие свойства поправок в объемную вязкость на взаимодействие с темной материей и на выбор термодинамического параметра. Впервые получено описание диссипации тепловой энергии через параметры в уравнении состояния в формализме энтропийной космологии в космологических моделях Вселенной типа Малый разрыв, Мнимый разрыв и космологической модели с отскоком с учетом взаимодействия между темной энергией и темной материей. Получены поправки для плотности энергии темной материи, вызванные процессами рассеяния. На основе модели двухкомпонентной жидкости в инфляционной Вселенной исследовано влияние взаимодействия энергии и материи, учитывая свойство вязкости жидкости. Показано, что взаимодействие между жидкостями приводит к поправкам в выражениях для плотности энергии и материи. Установлено, что изменение параметров инфляции позволяет установить соответствие между теоретическими моделями и результатами астрономических наблюдений. Впервые исследованы феноменологические уравнения состояния, приводящие к космологической сингулярности IV типа в инфляционной Вселенной без учета взаимодействия энергии с материей. Получены аналитические приближения уравнения состояния вблизи сингулярностей. Исследована инфляционная Вселенная с моделями вязкой жидкости в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера. Получены условия, позволяющие избежать в ранней Вселенной явления самовоспроизведения инфляции. Показано согласие космологических моделей с данными наблюдений Планка. Исследованы диссипативные свойства инфляционной Вселенной в присутствии сингулярности IV типа в пространственно-плоской метрике Фридмана-Робертсона-Уокера через термодинамические параметры в модифицированном уравнении состояния. Показано, что параметры инфляции содержат точки сингулярности, означающие с физической точки зрения наличие неустойчивости динамической системы. Впервые исследовано инфляционное расширение ранней Вселенной в терминах параметров уравнения Ван дер Ваальса с учетом свойства вязкости жидкости. Исследованы особенности влияния эффекта вязкости на итоговые параметры

инфляции. Приведены примеры, в которых согласие с данными астрономических наблюдений Планка можно получить, только учитывая объемную вязкость.

**Личный вклад соискателя состоит в:** получении всех результатов, вошедших в диссертацию, как в индивидуальных, так и в коллективных исследованиях; постановке задач и анализе полученных результатов при выполнении всех работ; решении задач совместно с соавторами под руководством автора; подготовке публикаций по теме диссертации; апробации полученных результатов в докладах на научных конференциях и семинарах.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований с помощью обобщенного уравнения состояния проблемы объяснения космического ускорения ранней и поздней Вселенной разработаны теоретические положения описания инфляционной Вселенной на основе двухкомпонентной вязкой жидкости и эры темной энергии, совместимые с данными астрономических наблюдений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области современной теоретической космологии.

На заседании 08.11.2018 диссертационный совет принял решение присудить **Тимошкину А. В.** ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

08.11.2018



Багров Владислав Гаврилович

Киреева Ирина Васильевна