

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **04.06.2026** года № **45/7**

О присуждении **Дмитриеву Антону Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика Бозе-звезд из аксионов темной материи» по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика» принята к защите 11.03.2026 г., протокол № 42/4 диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель **Дмитриев Антон Сергеевич** 1997 года рождения. В 2021 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ). По окончании МГУ **Дмитриев** поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика. С 01.12.2022 на основании приказа Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. №118 переведен на научную специальность 1.3.3 — «Теоретическая физика». В 2025 году соискатель успешно освоил программу аспирантуры Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук по направлению 03.06.01 - «Физика и астрономия» по специальности 1.3.3 - «Теоретическая физика». В настоящее время работает в должности стажера-исследователя в

Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук в лаборатории обработки больших данных в физике частиц и астрономии.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), в отделе теоретической физики.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук **Панин Александр Григорьевич**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), заместитель директора по научной работе.

Официальные оппоненты:

Дворников Максим Сергеевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего теоретическим отделом,

Иванчик Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), отделение физики плазмы, атомной физики и астрофизики, ведущий научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт имени В.А. Стеклова Российской академии наук (МИАН)** (г. Москва) - в своем положительном заключении, подписанном Арефьевой Ириной Ярославной, доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, главным научным сотрудником отдела теоретической физики, и утверждённом директором, доктором физико-математических наук, академиком РАН, Трещёвым Дмитрием Валерьевичем, указала, что диссертация Дмитриева А.С. отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №

842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика.

Соискатель имеет **3** работы по теме диссертации, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список основных работ, по результатам диссертационного исследования:

1. A. S. Dmitriev, D. G. Levkov, A. G. Panin, E. K. Pushnaya, I. I. Tkachev. Instability of rotating Bose stars. // *Physical Review D*. — 2021 — Vol. 104, no. 2. — P. 023504.

2. A. S. Dmitriev, D. G. Levkov, A. G. Panin, and I. I. Tkachev. Self-Similar Growth of Bose Stars // *Physical Review Letters* — 2024 — Vol. 132, no. 9. — P. 091001.

3. A.S. Dmitriev, D.G. Levkov, A.G. Panin, I.I. Tkachev. Self-similar kinetics for gravitational Bose-Einstein condensation // *Physical Review D*. — 2025 — Vol. 112, no. 12 — P. 123533.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, отвечает требованиям к диссертационным работам, установленным ВАК. Все полученные диссертантом результаты являются новыми. Обоснованность и достоверность результатов не вызывают сомнений. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, которые предъявляются к кандидатским диссертациям.

В отзывах оппонентов и ведущей организации были высказаны следующие критические замечания и пожелания:

По представленной диссертационной работе можно сделать следующие **замечания:**

1) В первой главе диссертации исследуется устойчивость вращающихся Бозе-звезд. Получено, что такая Бозе-звезда в большинстве случаев является неустойчивой. Однако, в диссертации обходится вопрос о возможности образования вращающихся Бозе-звезд, что само по себе является неочевидной проблемой. Таким образом, в диссертации изучается сущность, которая, возможно, в принципе и возникнуть не может.

2) В главах 2 и 3 диссертации изучается динамика образования Бозе-звезды из кластера скалярных частиц. Однако, в любой реальной ситуации кластер из частиц темной материи не является изолированным объектом. Он окружен барионным веществом с тем или иным пространственным распределением, которое неизбежно будет гравитационно влиять на образующуюся Бозе-звезду. Это влияние не обсуждается в диссертации.

3) Диссертационная работа носит ярко выраженный теоретический характер, поэтому естественно возникает множество вопросов, связанных с диапазонами конкретных физических параметров исследуемых в диссертации объектов, и о практической применимости полученных результатов.

(i) Желательно более четко понимать характерные диапазоны размеров и масс Бозе-звезд и степень их устойчивости при различных взаимодействиях с реальным астрофизическим окружением галактики.

(ii) Из диссертации не ясно, какова их гравитационная устойчивость в различных градиентных гравитационных полях, создаваемых компактными молекулярными облаками, звездами главной последовательности, компактными звездами (белые карлики или нейтронные звезды) или черными дырами.

(iii) Взаимодействие Бозе-звезд с сильными магнитными полями магнитных звезд, белых карликов, нейтронных звезд и магнетаров может вызывать их более сильное (в сравнении с «неконденсатными» аксионами темной материи) свечение в результате конверсии аксионов в фотоны. Знание характерных

параметров аксионных Бозе-звезд как раз и позволило бы оценить, насколько эти эффекты значимы.

4) Результаты второй и третьей главы получены в приближении изотропного падения частиц, которое определяется лишь их энергией. Но во Вселенной мало (практически нет) невращающихся объектов или объектов с нулевым прицельным параметром (исключением могут стать Бозе-звезды из главы 1). Это означает, что в реальности падающие частицы будут передавать ненулевой момент Бозе-звезде, а из главы 1 мы знаем, что она его будет сбрасывать, т.е. суммарно в среде с ненулевым моментом импульса по отношению в Бозе-звезде, рост ее массы будет насколько-то заторможен по сравнению с рассматриваемым случаем.

5) В главе 3 численное моделирование демонстрирует возникновение и эволюцию лишь одной Бозе-звезды, в то время как гравитационная неустойчивость зачастую демонстрирует эффекты дефрагментации, когда большие гравитационно-связанные масштабы дробятся на более мелкие. Было бы желательно более детальное разъяснение полученного результата.

6) В тексте диссертации отсутствует систематическое обсуждение границ применимости приближения Ландау. Хотя это приближение является ключевым для второй и третьей глав, его обоснование дано лишь фрагментарно. Рассмотрение происходит в основном на качественном уровне и разбросано по тексту.

7) Диссертация содержит развёрнутое, но всё же неполное описание численных методов. Приведённых деталей достаточно для понимания общего подхода и проверки качественных выводов, но недостаточно для точного количественного воспроизведения всех результатов без обращения к дополнительным источникам или исходным кодам. А именно, отсутствует чёткое описание алгоритма 2D релаксации для вращающихся звёзд (Глава 1). Алгоритм конкретных итераций не формализован, остаётся значительный простор для интерпретации. Не указаны явные критерии сходимости.

8) В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки: «симетрия», встречаются «инстантонные», «наршения», «принебрежимо», «вычисленна», «пренебережимо», «произвольционируем»,

«посвещена», «фитирования», «самойдействия», «экстремизируют» и др. На стр. 18: «привпедет к величению энергии». Кроме того, во многих местах текста используется сокращение «ур.» вместо «уравнение», что допустимо для конспекта, но не для рукописи, которой является диссертация. Помимо этого, используется ряд жаргонных выражений типа «в двумерных терминах» и «экстремизируем энергию» на стр. 38. Хотя они не влияют на научное содержание, но желательно было бы обойтись без них.

9) Также имеется ряд стилистических замечаний.

1. Формулировка целей работы на стр. 11 составлена так, что из нее уже видно, что тот, кто ставит цели исследования уже знает точный ответ.

2. На странице 22 имеется непонятное утверждение «Скорее, они являются седловыми точками энергии, которые могут быть разрушены сколь угодно малым возмущением, растущим экспоненциально со временем».

3. Впечатляющая фраза на стр. 82 «Заметим, что последние могут приводить к «впечатляющим» наблюдательным эффектам, см., например, [53, 128, 145, 146].» - содержит орфографическую ошибку и сильно интригует.

4. На стр. 85 диссертант уже благодарит оппонентов за внимательное прочтение диссертации.

Выводы логичны, последовательны и хорошо аргументированы. Достоверность результатов подтверждается их согласием с результатами других авторов в ряде предельных случаев, а также публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus и входящих в перечень журналов, рекомендованных ВАК. Основные положения работы были представлены и обсуждены на международных конференциях. Работы соискателя привлекли внимание специалистов и активно цитируются, имеется около 100 ссылок. Диссертационная работа А.С. Дмитриева хорошо написана.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого научного уровня по близкой тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) Доказана теорема о нестабильности вращающихся Бозе-звезд из аксионов темной материи в случаях притягивающего или пренебрежимо малого (отсутствующего) короткодействующего самодействия между частицами. Проведено полное численное моделирование, демонстрирующее процесс разрушения вращающейся Бозе-звезды с угловым моментом, равным единичному кванту.

2) Построена модель однородного ансамбля гравитационно-взаимодействующих аксионов темной материи, основанная на кинетическом уравнении Больцмана. В интеграле столкновений учтены парные гравитационные взаимодействия с малой передачей импульса (приближение Ландау). Модель описывает обмен частицами с Бозе-звездой, помещенной в ансамбль. Для данной системы найдено двухпараметрическое семейство автомодельных решений.

3) Показано, что эволюция функции распределения частиц ансамбля по энергии в построенной модели под действием внешнего источника, не инвариантного относительно масштабных преобразований, происходит приближенно автомодельно. В этом режиме параметры, определяющие форму автомодельного решения, слабо зависят от времени.

4) Проведено масштабное численное моделирование эволюции ансамбля гравитационно взаимодействующих аксионов, содержащего Бозе-звезду. На основе полученных численных результатов показано, что эволюция функции распределения частиц в ансамбле от времени является приближенно автомодельной. Данная зависимость подтверждена прямым сравнением с эволюцией функции распределения в модели, построенной на основе уравнения Больцмана. Это позволило определить закон роста массы Бозе-звезды со временем.

Все вынесенные на защиту результаты являются новыми и не имеют аналогов в научной литературе.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1) Вычисленные времена жизни Бозе-звезд с ненулевым угловым моментом указывают на то, что они не могут образовываться в реалистичных

сценариях формирования вращающихся Бозе-звезд, а также не могут считаться долгоживущими квазистационарными состояниями.

2) Применение разработанного в диссертации адиабатического подхода к росту Бозе-звезд из аксионов темной материи успешно воспроизводит результаты трехмерных симуляций.

3) Метод адиабатической автомодельности, примененный к обычной негравитационной кинетике, может обобщить существующие «нетепловые аттракторы» на системы со слегка нарушенной масштабной симметрией.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что результаты диссертационного исследования могут быть использованы для получения распределения Бозе-звезд в современной Вселенной, что позволит предложить новые пути для поиска темной материи.

Оценка достоверности результатов показала, что они получены с использованием строгого математического аппарата современной теоретической физики, а также современных численных методов. Кроме того, результаты диссертации в ряде предельных случаев согласуются с результатами, полученными в работах других авторов. Основные результаты диссертации прошли апробацию на международных и российских конференциях и семинарах, а также опубликованы в трех рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Таким образом, результаты диссертации обоснованы и достоверны.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все основные результаты, представленные в диссертации, получены соискателем лично или при его определяющем участии. Вклад соискателя во всех опубликованных совместно с соавторами работах по теме диссертации является ключевым.

На заседании 4 июня 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Дмитриеву Антону Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук за исследование динамики Бозе-звезд из аксионов темной материи.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 17, против - 0, недействительных бюллетеней - 1.

Председатель

диссертационного совета 24.1.163.01

доктор техн. наук, чл.-корр. РАН

_____ Кравчук Л.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.163.01

кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

04.06.2026 г.

М.П.