

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Математического института
им. В. А. Стеклова
Российской академии наук
академик РАН
Д. В. Трещев

« 20 » _____ мая _____ 2026 г

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**на диссертационную работу Дмитриева Антона Сергеевича
«Динамика Бозе-звезд из аксионов темной материи»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика**

Диссертация А.С. Дмитриева посвящена актуальной проблеме современной космологии и физики частиц – динамике гравитационно-связанных конденсатов Бозе–Эйнштейна, формирующихся из аксионов – перспективных кандидатов на роль холодной темной материи. Несмотря на интенсивные экспериментальные поиски, природа темной материи остается неизвестной, а аксионные сценарии, особенно в контексте образования компактных объектов (Бозе-звезд), вызывают растущий интерес. В этой связи работа, направленная на изучение устойчивости вращающихся Бозе-звезд, кинетики аксионного газа и закономерностей роста конденсата, является безусловно своевременной и представляет бесспорный интерес.

Перечислим основные результаты, полученные в диссертации:

- 1) В работе впервые проведен систематический анализ устойчивости вращающихся Бозе-звезд из аксионов при различных типах короткодействующего самодействия (притяжение, отталкивание, его отсутствие). Полученный результат о нестабильности таких объектов (кроме случая достаточно сильного отталкивания при угловом моменте в один квант) имеет принципиальное значение, поскольку исключает ряд ранее предложенных сценариев (например, взрывное параметрическое радиоизлучение) и направляет дальнейшие исследования.
- 2) Автором на основе теории линейных возмущений доказана неустойчивость вращающихся Бозе-звезд для любого ненулевого углового момента при притягивающем или пренебрежимо малом самодействии. Это ключевой результат, подкреплённый как численным расчетом спектров возмущений для малых l , так и асимптотическим аналитическим решением для больших l . Механизм нестабильности интерпретирован как эффективное «раскручивание» объекта с переносом частиц и «вынос» углового момента на периферию.
- 3) Для однородного ансамбля гравитационно-взаимодействующих аксионов в приближении Ландау построено и решено уравнение Больцмана. Обнаружено двухпараметрическое семейство автомодельных решений, являющихся аттракторами. Введён и обоснован режим адиабатической автомодельности – важное обобщение концепции «нетепловых аттракторов» на системы с явно нарушенной масштабной

инвариантностью. Этот подход имеет самостоятельную теоретическую ценность для неравновесной статистической физики.

4) Вывод о приближенно автомодельном поведении функции распределения частиц в облаке, окружающем Бозе-звезду, подтвержден прямыми численными расчетами системы уравнений Шрёдингера–Пуассона, что придает высокую степень достоверности предложенному закону роста массы Бозе-звезды со временем.

5) Сделан вклад в понимание возможных наблюдательных проявлений темной материи. А именно, диссертация вносит существенный вклад в понимание возможных наблюдательных проявлений темной материи, в частности, путем исключения ряда ранее предложенных сценариев (вращающиеся Бозе-звезды) и уточнения законов роста массы таких объектов, что важно для их поиска в астрофизических данных. Автор также обсуждает космологические ограничения на массу аксионов (нижний предел из наблюдений ультратускых карликовых галактик и Lyman- α леса, верхний предел из данных SN1987A), что задаёт ориентиры для экспериментальных поисков.

В целом, в диссертации получены значимые результаты для дальнейшего развития космологии и астрофизики.

Имеются небольшие замечания.

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

2) 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 именно, отсутствует чёткого описания алгоритма 2D релаксации для вращающихся звёзд (Глава 1). Алгоритм конкретных итераций неформализован, остаётся значительный простор для интерпретации. Не указаны явные критерии сходимости.

3) В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки: «симетрия», встречаются «инстантонные», «наршения», «принебрежимо», «вычислена», «пренебрежимо», «произвольционируем», «посвещена», «фитирования», «самой действия», «экстремизируют» и др. Хотя они не влияют на научное содержание, но желательно было бы обойтись без них.

Данные замечания не снижают общей высокой оценки работы. Выводы логичны, последовательны и хорошо аргументированы. Достоверность результатов подтверждается публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus. Основные положения работы были представлены и обсуждены на различных международных конференциях. Его работы привлекли внимание специалистов и активно цитируются, имеется около 100 ссылок. Диссертационная работа А.С. Дмитриева хорошо написана. Он сделал 22 апреля 2026 детальный доклад на семинаре Отдела теоретической физики МИАН, активно участвовал в дискуссии и ответил на многочисленные вопросы участников семинара.

Диссертационная работа А.С. Дмитриева на тему «Динамика Бозе-звезд из аксионов темной материи» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены важные научные задачи в области космологии и астрофизики. Содержание диссертации полно и точно отражено в автореферате.

Результаты диссертации А.С. Дмитриева были доложены автором, обсуждены и одобрены на семинаре Отдела теоретической физики МИАН им. В. А. Стеклова 22 апреля 2026 г.

Работа соответствует всем требованиям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Дмитриев Антон Сергеевич, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Отзыв составила:

доктор физ.-мат. наук,
профессор, член-корр. РАН,
главный научный сотрудник
отдела теоретической физики
МИАН имени В. А. Стеклова
Тел.: +7 (499) 135-13-70
E-mail: arefeva@mi-ras.ru

И. Я. Арефьева

Подпись И. Я. Арефьевой «удостоверяю»
учёный секретарь МИАН, к. ф.-м. н.

Поликарпов Сергей Алексеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт имени В. А. Стеклова Российской академии наук (МИАН) Адрес: 119991, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д. 8 Телефон: +7 (495) 984-81-41 E-mail: steklov@mi-ras.ru

Список публикаций работников организации по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Aref'eva I.V., Volovich I. V., stepanenko D. O. Black brane/Bose gas duality and the third law of thermodynamics // *Theoretical and Mathematical Physics*. - 2025. - Т.222. - № 2. - С. 276-284.
2. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Pavel Slepov, Maria Usova, Beta-functions and RG flows for holographic QCD with heavy and light quarks: Isotropic case // *Physical Review D*. - 20205. - Т.111. С.46013
3. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, A. Nikolaev and P. Slepov, jet quenching in holographic QCD as an indicator of phase transition in anisotropic regimes // *Physical Review D*. - 2025. - Т.112. - С.126007
4. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, A. Nikolaev and P. Slepov, "Holographic QCD running coupling for heavy quarks in strong magnetic field," *Eur Phys. J. C, Part. Fields*, **85** (2025)
5. D. S. Ageev, I. Y. Arefeva, T. A. Rusalev Black holes, cavities, and blinking islands // *Physical Review D*. - 2025. - Т.111. - №2 - С.026002
6. I. Arefeva and I. Volovich, Bose gas modeling of the Schwarzschild black hole thermodynamics // *Theoretical and Mathematical Physics*. - 2024. - Т.218. - № 2. - С. 192-204.
7. I. Arefeva and I. Volovich, "Violation of the third law of thermodynamics by black holes, Riemann zeta function and Bose gas in negative dimensions," *Eur. Phys. J. Plus* 139, no. 3, 300 (2024)
8. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, A. Nikolaev and P. Slepov, "Holographic QCD running coupling for light quarks in strong magnetic field," *Phys. Rev. D* 110 (2024) 086021
9. I. Y. Aref'eva, A. Hajilou, P. Slepov and M. Usova, "Running coupling for holographic QCD with heavy and light quarks: Isotropic case," *Phys. Rev. D* 110 (2024) no. 12, 126009
10. D. S. Ageev, I. Y. Arefeva, A. I. Belokon, A. V. Ermakov, V. V. Pushkarev and T. A. Rusalev, "Infrared regularization and finite size dynamics of entanglement entropy in Schwarzschild black hole," *Phys. Rev. D* 108, 046005 (2023)
11. I. Y. Arefeva, A. Ermakov, K. Rannu and P. Slepov, "Holographic model for light quarks in anisotropic hot dense QGP with external magnetic field", *Eur. Phys. J. C* **83, Part. Fields**, **83** (2023), 79,21 pp
12. I. Y. Arefeva, A. Hajilou, K. Rannu and P. Slepov, "Magnetic Catalysis in Holographic Model with Two Types of Anisotropy for Heavy Quarks", *Eur. Phys. J. C* **83**, no. 12, 1143 (2023), 28 pp
13. D. S. Ageev and I. Y. Arefeva, "Thermal density matrix breaks down the Page curve," *Eur. Phys. J. Plus* 137, 1188 (2022)
14. I. Arefeva, I. Volovich, T. A. Rusalev Entanglement entropy of a near-extremal black hole // *Theoretical and Mathematical Physics*. - 2022. - Т.212. - № 3. - С. 1284-1302.