

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.04  
при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук  
по диссертации  
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 20.04.2023 г. №   2  

О присуждении Каляшовой Марии Евгеньевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Скопления молодых массивных звёзд как источники космических лучей и нетеплового излучения» в виде рукописи по специальности 1.3.1 – «физика космоса, астрономия» принята к защите 15 февраля 2023 г., протокол № 1 п.1, диссертационным советом ФТИ 34.01.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26. Диссертационный совет утверждён приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75 прил. 4 от 12 июля 2019 г., приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе от № 42 от 25.02.2022 г. об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.04 и приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 г. о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов.

Соискатель Каляшова Мария Евгеньевна, 06 декабря 1994 г.р., в 2018 году окончила с отличием магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по специальности 03.04.02 «Физика», и в том же году поступила в аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по специальности 03.06.01 – «Физика и астрономия», которую окончила в 2022 г. В настоящее время М.Е. Каляшова работает в должности исполняющего обязанности младшего научного сотрудника в лаборатории Астрофизики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».

Диссертация выполнена в лаборатории астрофизики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук» и в Высшей школе фундаментальных физических исследований Физико-механического института федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель — Быков Андрей Михайлович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий отделением Физики плазмы, атомной физики и астрофизики в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Догель Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН», дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий три замечания.

2. Лутовинов Александр Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук», дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий три замечания.

Оппоненты в отзывах указали, что диссертация «Скопления молодых массивных звёзд как источники космических лучей и нетеплового излучения» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук Положением о присуждении учёных степеней ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Главная (Пулковская) обсерватория Российской академии наук» предоставила положительное заключение, подписанное заместителем директора ГАО РАН по научной работе доктором физ.-мат. наук Ю.А. Наговицыным, и утверждённое Директором ФГБУН ГАО РАН доктором физ.-мат. наук Н.Р. Ихсановым. Заключение содержит 3 замечания. Ведущая организация в своём заключении указала, что поставленные в диссертации «Скопления молодых массивных звёзд как источники космических лучей и нетеплового излучения» задачи и полученные результаты соответствуют специальности 1.3.1 – «физика космоса, астрономия», а её автор, М.Е. Каляшова, несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они имеют учёные степени доктора физико-математических наук, работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении учёных степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что ГАО РАН с 1839 года является ведущим центром исследований в области астрономии и астрофизики. В частности, в этом институте ведутся теоретические исследования механизмов ускорения заряженных частиц и генерации излучения астрофизических объектов, близкие по тематике к предмету исследования диссертационной работы. Кроме того, в ГАО РАН имеется диссертационный совет 24.1.021.01 по специальности 1.3.1. — «физика космоса, астрономия».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ. В том числе по теме диссертации опубликовано 7 перечисленных ниже работ (в скобках указан личный вклад соискателя). Они опубликованы в рецензируемых научных изданиях, 6 из 7 – в индексируемых в международной системе цитирования Web of Science:

1. A. M. Bykov, D. C. Ellison, M. E. Kalyashova, S. M. Osipov *High-energy cosmic rays from supernovae in young clusters of massive stars // Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, Volume 30, Issue Suppl 1, p.155-158 (2019) (Моделирование анизотропии космических лучей высоких энергий, участие в анализе результатов и подготовке публикации);*

2. A. M. Bykov, M. E. Kalyashova, D. C. Ellison, S. M. Osipov *High-energy cosmic rays from compact galactic star clusters: Particle fluxes and anisotropy // Advances in Space Research, Volume 64, Issue 12, p. 2439-2444 (2019) (Моделирование анизотропии космических лучей высоких энергий, участие в анализе результатов и подготовке публикации);*

3. A. M. Bykov, A. Marcowith, E. Amato, M. E. Kalyashova, J. M. D. Kruijssen, E. Waxman *High-energy particles and radiation in star-forming regions // Space Science Reviews, Volume 216, Issue 3, article id.42 (2020) (Моделирование анизотропии космических лучей высоких энергий и изотопного отношения  $^{22}\text{Ne}$  в КЛ, участие в подготовке публикации);*

4. A. M. Bykov, M. E. Kalyashova *Modeling of GeV-TeV gamma-ray emission*

*of Cygnus Cocoon // Advances in Space Research, Volume 70, Issue 9, p. 2685-2695 (2022) (Постановка задачи, моделирование гамма-спектров звездных скоплений, участие в анализе результатов, участие в подготовке публикации);*

*5. M. E. Kalyashova, A. M. Bykov, S. M. Osipov, D. C. Ellison, D. V. Badmaev Wolf-Rayet stars in young massive star clusters as potential sources of Galactic cosmic rays // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1400, Issue 2, article id. 022011 (2019) (Моделирование изотопного отношения  $^{22}\text{Ne}$  в КЛ, анализ результатов, подготовка публикации);*

*6. М. Е. Каляшова, А. М. Быков, С. М. Осипов Молодые звездные скопления как источники обогащенных  $^{22}\text{Ne}$  Галактических космических лучей // Известия Российской академии наук. Серия физическая, т. 85, вып. 4, 482–485 (2021) (Уточнение модели изотопного отношения  $^{22}\text{Ne}$  в КЛ, анализ результатов, подготовка публикации);*

*7. M. E. Kalyashova, A. M. Bykov Modeling of cosmic ray  $^{22}\text{Ne}$ -enrichment in compact star clusters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2103, Issue 1, id. 012008 (2021) (Уточнение модели изотопного отношения  $^{22}\text{Ne}$  в КЛ, анализ результатов, подготовка публикации).*

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва:

1. Отзыв от Троицкого Сергея Вадимовича, доктора физ.-мат. наук, профессора РАН, чл.-корр. РАН, главного научного сотрудника отдела теоретической физики ФГБУН «Институт ядерных исследований РАН», отзыв положительный и замечаний не содержит.
2. Отзыв от Блинникова Сергея Ивановича, доктора физ.-мат. наук, главного научного сотрудника лаборатории физики плазмы и астрофизики НИЦ «Курчатовский институт», отзыв положительный и замечаний не содержит.
3. Отзыв от Острякова Валерия Митрофановича, доктора физ.-мат. наук, профессора Физико-механического института ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого, положительный, содержит шесть замечаний:
  - 1) из автореферата не до конца ясна степень влияния учёта движения КЛ в регулярном магнитном поле Галактики на расчет анизотропии;
  - 2) в автореферате нет разъяснения термину «эффективность ускорения КЛ»;

- 3) индекс функции Макдональда почему-то называется в работе «показателем», что не является общепринятым термином;
- 4) имеется вопрос о том, как соотносятся полученные в работе эффективности конверсии механической энергии в КЛ с оценками Птускина и Зиракашвили;
- 5) в автореферате говорится о «скорости начального вращения звезды», хотя правильнее говорить об угловой скорости вращения звезды, т.к. «скорости начального вращения» зависят от радиуса;
- 6) при объяснении отношения  $^{22}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}$  в ускоренных частицах неясно, учтена ли в работе какая-либо зависимость процесса ускорения от заряда и массы частиц.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем исследований получен ряд новых результатов, важных для астрофизики космических лучей, а именно:

- Построена реалистическая модель распространения высокоэнергичных частиц, ускоренных в компактных скоплениях, в магнитном поле Галактики; на её основе найдены величины анизотропии и потоков галактических космических лучей с энергиями выше 100 ПэВ.
- Построены спектры гамма-излучения галактических скоплений молодых звёзд посредством модификации теории ускорения космических лучей ансамблями ударных волн и МГД-турбулентностью.
- Разработана модель обогащения космических лучей изотопами  $^{22}\text{Ne}$  в галактических звёздных скоплениях, учитывающая современные модели эволюции массивных звёзд и процессы ускорения частиц, влияющих на химический состав космических лучей.

Достоверность результатов обеспечена тем, что использованные в работе модели, хорошо изучены, непротиворечивы и успешно используются для решения задач, сходных с задачами работы, а использованные в работе методы (метод Монте-Карло, уравнения движения частиц и их численное и аналитическое решение, кинетические и МГД модели) адекватны поставленным задачам.

Разработанные в диссертации методы были протестированы на простых задачах, а все полученные результаты находятся в удовлетворительном согласии с наблюдательными данными. Полученные в диссертации результаты прошли апробацию на восьми российских и международных конференциях.

Научная и практическая значимость исследования обоснована тем, что результаты моделирования ускорения КЛ в звёздных скоплениях могут быть полезны для установления происхождения наблюдаемых КЛ вплоть до сверхвысоких энергий, а полученные при этом оценки эффективности ускорения частиц – для дальнейшего усложнения моделей ускорения КЛ ударными волнами. Модели нетеплового излучения звёздных скоплений могут быть использованы для моделирования гамма-, рентгеновского и нейтринного излучения других, не рассмотренных в диссертации объектов, в частности, галактик с повышенным звездообразованием, где ожидается, что большая часть массивных звёзд являются членами звёздных скоплений. Инструменты, разработанные для решения задач диссертации, такие как код Монте-Карло для распространения частиц в магнитном поле Галактики, программа построения спектров гамма-излучения, универсальны и могут использоваться для исследования других астрофизических объектов.

Личный вклад соискателя состоял во включенном участии в решении всех поставленных задач, формулировке выводов и подготовке публикаций.

Соискатель Каляшова М.Е. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

Диссертация Каляшовой М.Е. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в актуальную область современной астрофизики – астрофизику космических лучей высоких энергий.

На заседании 20 апреля 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Каляшовой М.Е. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 9 докторов по специальности 1.3.1 – «физика космоса, астрономия», участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13 , против 0 , недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

Левшаков Сергей Анатольевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат физ.-мат. наук

Штернин Пётр Сергеевич