

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13 октября 2025 года № 49

О присуждении Чернышову Дмитрию Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Самосогласованные модели распространения и ускорения космических лучей» по специальности 1.3.3. Теоретическая физика принята к защите 30 июня 2025 года (протокол заседания № 47) диссертационным советом 24.1.262.04, созданным 18 октября 2023 года приказом № 1975/нк на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), подведомственного Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Чернышов Дмитрий Олегович, 13 июля 1984 года рождения, работает высококвалифицированным старшим научным сотрудником в ФИАН.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Формирование нетепловых спектров в астрофизических объектах» защитил в 2010 году в диссертационном совете Д 212.156.07, созданном на базе государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ).

Диссертация выполнена в лаборатории проблем физики космоса отделения «Отдел теоретической физики им. И.Е. Тамма» ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Быков Андрей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, руководитель отделения физики плазмы федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ), г. Санкт-Петербург;
2. Зиракашвили Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Лаборатории астрофизических исследований федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), г. Москва;
3. Лагутин Анатолий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и теоретической физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный университет», г. Барнаул дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ), город Москва, в своем положительном отзыве, составленном и подписанном кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией галактических космических лучей Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ) Подорожным Дмитрием Михайловичем, также подписанном доктором физико-математических наук, заведующим отделом космических наук НИИЯФ МГУ Калегаевым Владимиром Владимировичем; доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом Российской академии наук директором НИИЯФ МГУ Боосом Эдуардом Эрнстовичем и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом Российской

академии наук, проректором МГУ Федяниным Андреем Анатольевичем, указала, что результаты диссертации составляют крупное научное достижение в теоретической физике и проясняют некоторые процессы, происходящие при ускорении и распространении космических лучей. О высокой актуальности темы диссертации говорит тот факт, что направления научных исследований, развиваемые в диссертации, входят в перечень приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований по физическим наукам Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы). Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым действующим Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а автор диссертации Чернышов Дмитрий Олегович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Соискатель имеет 68 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, опубликовано 12 работ, а в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, опубликовано 13 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Соискателем построено теоретическое описание кинетических процессов, происходящих при взаимодействии релятивистских и нерелятивистских заряженных частиц с веществом и магнитным полем. Основное внимание уделено исследованию реакции плазмы на распространяющиеся в ней космические лучи, а также на то, как данная реакция влияет на процессы ускорения и распространения самих космических лучей. Предложенные теоретические модели применены для описания некоторых явлений, обнаруженных при астрофизических наблюдениях, а также

сделаны теоретические предсказания, экспериментальная проверка которых может установить корректность данных моделей.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. **Chernyshov D. O.**, Dogiel V. A., Ko C. M. Stochastic Particle Acceleration and the Problem of Background Plasma Overheating // The Astrophysical Journal. ---2012. ---- Nov. ---- Vol. 759, no. 2. ---- P. 113. ---- 1210.1896.

2. Formation of the Cosmic-Ray Halo: Galactic Spectrum of Primary Cosmic Rays /Dogiel V. A., Ivlev A. V., **Chernyshov D. O.**, and Ko C. M. // The Astrophysical Journal. ---- 2020. ---- Nov. ---- Vol. 903, no. 2. ---- P. 135. ---- 2009.08799.

3. Formation of the Cosmic-Ray Halo: The Role of Nonlinear Landau Damping /**Chernyshov D. O.**, Dogiel V. A., Ivlev A. V., Erlykin A. D., and Kiselev A. M. //The Astrophysical Journal. ---- 2022. ---- Oct. ---- Vol. 937, no. 2. ---- P. 107. ---- 2209.12302.

4. Gamma-Ray Emission from Molecular Clouds Generated by Penetrating Cosmic Rays / Dogiel V. A., **Chernyshov D. O.**, Ivlev A. V., Malyshev D., Strong A. W., and Cheng K. S. // The Astrophysical Journal. ---- 2018. ---- Dec. ---- Vol. 868, no. 2. ----P. 114. ---- 1810.05821.

5. Multi-wavelength Emission from the Fermi Bubble. II. Secondary Electrons and the Hadronic Model of the Bubble / Cheng K. S., **Chernyshov D. O.**, Dogiel V. A., and Ko C. M. // The Astrophysical Journal. ---- 2015. ---- Jan. ---- Vol. 799, no. 1. ---- P. 112. ---- 1411.6395.

6. Multi-wavelength Emission from the Fermi Bubble. III. Stochastic (Fermi) Reacceleration of Relativistic Electrons Emitted by SNRs / Cheng K. S., **Chernyshov D. O.**, Dogiel V. A., and Ko C. M. // The Astrophysical Journal. ---- 2015. ----May. ---- Vol. 804, no. 2. ---- P. 135. ---- 1503.03939.

7. Multi-wavelength Emission from the Fermi Bubbles. I. Stochastic Acceleration from Background Plasma / Cheng K. S., **Chernyshov D. O.**, Dogiel V.

A., and Ko C.M. // The Astrophysical Journal. ---- 2014. ---- July. ---- Vol. 790, no. 1. ---- P. 23. ---- 1405.7478.

8. On a possible origin of the gamma-ray excess around the Galactic Center / **Chernyshov D. O.**, Egorov A. E., Dogiel V. A., and Ivlev A. V. // Symmetry. ---- 2021. ---- Vol. 13, no. 8. ---- P. 1432.

9. Penetration of Cosmic Rays into Dense Molecular Clouds: Role of Diffuse Envelopes / Ivlev A. V., Dogiel V. A., **Chernyshov D. O.**, Caselli P., Ko C. M., and Cheng K. S. // The Astrophysical Journal. ---- 2018. ---- Mar. ---- Vol. 855, no. 1. ---- P. 23. ---- 1802.02612.

10. Secondary cosmic-ray nuclei in the Galactic halo model with nonlinear Landau damping / **Chernyshov D. O.**, Ivlev A. V., Dogiel V. A. // Astronomy & Astrophysics. ---- 2024. ---- June ---- Vol. 686 ---- P. A165. ---- 2309.04772.

11. Self-modulation of Cosmic Rays in Molecular Clouds: Imprints in the Radio Observations / Dogiel V. A., **Chernyshov D. O.**, Ivlev A. V., Kiselev A. M., and Kopyev A. V. // The Astrophysical Journal. ---- 2021. ---- Nov. ---- Vol. 921, no. 1. ---- P. 43. ---- 2108.07559.

12. The Fermi Bubble as a Source of Cosmic Rays in the Energy Range $>10^{15}$ eV /Cheng K. S., **Chernyshov D. O.**, Dogiel V. A., Ko C. M., Ip W. H., and Wang Y. // The Astrophysical Journal. ---- 2012. ---- Feb. ---- Vol. 746, no. 2. ---- P. 116. ---- 1111.5127.

13. Влияние самомодуляции космических лучей на диффузное гамма-излучение галактики / **Чернышов Д. О.**, Ивлев А. В., Кулик Е. А. // Известия российской академии наук. Серия физическая. ---- 2023. ---- Том 87, № 7. ---- Стр. 947-950.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой научной квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации, полученными ими научными результатами мирового уровня и многолетним опытом проведения научных исследований по сходной тематике.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Показано, что диссипация энергии турбулентности в плазме приводит к формированию ярко выраженной нетепловой компоненты в функции распределения частиц плазмы. Получены аналитические оценки темпа разогрева плазмы, вызванного наличием нетепловой компоненты. Выяснено, что темп разогрева мал, и не превышает потери плазмы на излучение.
2. Продемонстрировано, что турбулентность в гигантских структурах нашей Галактики, пузырях Ферми, способно дополнительно ускорять электроны космических лучей, заполняющие Галактику, и тем самым формировать наблюдаемые спектры радио- и гамма-излучения из пузырей Ферми.
3. Предложена теоретическая модель происхождения космических лучей высоких энергий (выше 3 ПэВ) путем их доускорения в пузырях Ферми. Указано, что такая модель естественным образом объясняет наличие излома в спектре космических лучей на энергии 3 ПэВ.
4. Установлено, что спектр космических лучей в молекулярных облаках должен существенно отличаться от их спектра в межзвездной среде из-за взаимодействия с турбулентностью, созданной потоковой неустойчивостью. Получены универсальные аналитические выражения для спектров протонов, электронов и ядер в молекулярных облаках. Предсказано влияние данного эффекта на спектр радио- и гамма-излучения, наблюдаемого из молекулярных облаков.
5. Исследована теоретическая модель удержания космических лучей в Галактики турбулентностью, возбужденной самими космическими лучами, и диссипирующей за счет нелинейного затухания Ландау. Продемонстрировано, что данная модель хорошо воспроизводит спектры протонов и ядер космических лучей, наблюдаемые в окрестности Земли.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. В частности, новизна обусловлена тем, что

– Впервые продемонстрировано, что ускорение частиц в плазме за счет их взаимодействия с изотропной турбулентностью может проходить без существенного разогрева плазмы, а при специально подобранных значениях параметров – даже с охлаждением

– Впервые предложено объяснить излучение пузырей Ферми доускорением электронов космических лучей

– Впервые предложено связать спектр космических лучей выше 3 ПэВ с пузырями Ферми

– Впервые получены универсальные аналитические выражения для спектра космических лучей в молекулярных облаках

– Впервые продемонстрировано, что модель удержания космических лучей собственной турбулентностью с нелинейным затуханием Ландау способна воспроизвести ключевые изломы в спектрах протонов и ядер. Дано качественное аналитическое описание связи данных изломов с особенностями распределения газа в Галактике.

Теоретическая значимость исследования обоснована его вкладом в теорию космических лучей. Используемый соискателем самосогласованный подход ставит своей целью связать особенности распространения и ускорения космических лучей только с макроскопическими параметрами внешней среды, такими как ее температура, плотность, степень ионизации, величина крупномасштабного магнитного поля и подобными. Как следствие, данный подход обладает хорошей предсказуемостью, поскольку отсутствуют неопределенности, связанные с наличием неизвестных свободных параметров, таких как коэффициент пространственной диффузии. Если данный подход окажется успешным, он не только внесет существенный вклад в создание модели происхождения космических лучей, но и, за счет того, что все параметры доступны для экспериментальных оценок, поможет произвести экспериментальную проверку данной модели.

Результаты работы могут быть использованы в научных и образовательных организациях, таких как Московский государственный

университет им. Ломоносова, Московский физико-технический институт, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Институт ядерных исследований, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Физический институт им. Лебедева и других российских и международных организациях, ведущих исследования, связанные с астрофизикой космических лучей и смежных областях теоретической и экспериментальной физики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что построенная соискателем теория основана на известных фундаментальных физических законах. При построении теории использовались строгие аналитические методы и физически обоснованные приближения. Показано согласие полученных результатов и предсказаний с современными экспериментальными данными и результатами численного моделирования, а также сводимость результатов в частных случаях к ранее установленным теоретическим результатам.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном проведении научных исследований, построении теории исследуемых процессов и выполнении численных и аналитических расчетов, получении результатов и их сравнении с имеющимися экспериментальными данными и их апробации на научных конференциях и семинарах. Результаты из работ, опубликованных с соавторами, отражают личный вклад автора в эти работы.

В ходе защиты соискатель Чернышов Д.О. полно и аргументированно ответил на заданные ему вопросы, а также на замечания ведущей организации и официальных оппонентов.

На заседании 13 октября 2025 года диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в теоретической физике, присудить Чернышову Дмитрию Олеговичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **10** человек, из них **10** докторов наук по научной специальности

1.3.3. Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **10**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент Российской академии наук

Арсеев Петр Иварович

И.о. ученого секретаря диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

Губернов Владимир Владимирович

13 октября 2025 г.

Физический ИНСТИТУТ



имени

П.Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

ПРИКАЗ

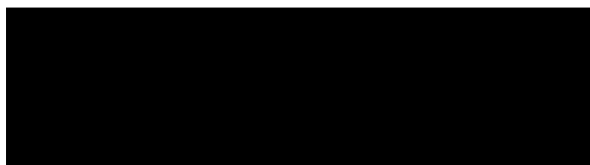
Дата 08.10.25 № 2025-10.08/1
Москва

На время проведения заседаний и подготовки документов по защите диссертации Чернышова Д.О. на соискание степени доктора физико-математических наук, поданной в диссертационный совет 24.1.262.04 приказываю:

- 1) На период с 08 октября 2025 года по 15 ноября 2025 года временно освободить от обязанностей ученого секретаря совета 24.1.262.04 Чернышова Дмитрия Олеговича
- 2) На тот же период возложить обязанности ученого секретаря совета 24.1.262.04 на члена совета Губернова Владимира Владимировича

Основание: Служебная записка председателя диссертационного совета 24.1.262.04 Арсеева П.И. от 06.10.2025

Директор ФИАН



Н.Н. Колачевский