

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 09.12.2021 г. № 2

О присуждении Кропотиной Юлии Андреевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Гибридное моделирование бесстолкновительных ударных волн в многокомпонентной плазме остатков сверхновых, скоплений галактик и солнечного ветра» в виде рукописи по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звёздная астрономия» принята к защите 6 октября 2021 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 ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75 прил. 4 от 12 июля 2019 г.

Соискатель Кропотина Юлия Андреевна, 08 июня 1987 г.р., в 2010 году окончила с отличием магистратуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по специальности «техническая физика», а в 2017 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», год окончания – 2021, в настоящее время работает в должности 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».

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. Петрукович Анатолий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук»,
 2. Глазырин Семён Игоревич, кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории "Центр фундаментальных и прикладных исследований" Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Главная (Пулковская) обсерватория Российской академии наук» в своём положительном заключении, подписанном Заместителем директора ГАО РАН по научной работе доктором физ.-мат. наук Ю.А. Наговицыным, утверждённым Директором ФГБУН ГАО РАН доктором физ.-мат. наук Н.Р. Ихсановым, указала, что диссертация «Гибридное моделирование бесстолкновительных ударных волн в многокомпонентной плазме остатков сверхновых, скоплений галактик и солнечного ветра» 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, поставленные в диссертации задачи и полученные результаты соответствуют специальности 01.03.02 – астрофизики и звёздная астрономия, а её автор, Ю.А. Кропотина, несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что один из них имеет учёную степень доктора физико-математических наук, а другой – учёную степень кандидата физико-математических наук, они 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 центром исследований в области астрономии и астрофизики. В частности, в этом институте ведутся теоретические исследования в области физики сверхновых звёзд и в области солнечно-земной физики, являющихся предметами исследования диссертационной работы. Кроме того, в ГАО РАН

имеется диссертационный совет Д 002.120.01 по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звёздная астрономия».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ. В том числе по теме диссертации опубликовано 9 перечисленных ниже работ (в скобках указан личный вклад соискателя). Они опубликованы в рецензируемых научных изданиях, 8 из которых индексируются в международной системе цитирования Web of Science:

1. *Гибридное моделирование бесстолкновительных ударных волн в космической плазме* / Ю. А. Кропотина [и др.] // *ЖТФ*. — 2015. — т. 85, № 2. — с. 73—81. (Гибридное моделирование бесстолкновительных ударных волн в плазме сложного состава, участие в анализе результатов, подготовка публикации)

2. *Релаксация тяжелых ионов в бесстолкновительных ударных волнах в космической плазме* / Ю. А. Кропотина [и др.] // *ЖТФ*. — 2016. — т. 86, № 4. — с. 40—46 (Гибридное моделирование бесстолкновительных ударных волн в плазме сложного состава, участие в анализе результатов, подготовка публикации)

3. *Нагрев и неравновесные распределения ионов в обратной ударной волне остатка сверхновой SN 1987A* / Ю. А. Кропотина [и др.] // *Ядерная физика*. — 2018. — т. 81, № 1. — с. 125—131. (Анализ научной литературы для определения параметров обратной ударной волны остатка сверхновой SN 1987A, гибридное моделирование обратной ударной волны остатка сверхновой SN 1987A, участие в анализе результатов, подготовка публикации)

4. *Evolution of anisotropic distributions of weakly charged heavy ions downstream collisionless quasiperpendicular shocks* / J. A. Kropotina [et al.] // *J. Phys. Conf. Ser.* — 2018. — Vol. 1038. — Id. 012014. (Участие в постановке задачи, гибридное моделирование ударных волн, линейный анализ устойчивости неравновесных распределений частиц, подготовка публикации)

5. *Maximus: a Hybrid Particle-in-Cell Code for Microscopic Modeling of Collisionless Plasmas* / J. A. Kropotina [et al.] // *Communications in Computer and Information Science*. — 2019. — Vol. 965. — P. 242–253. (Работа над усовершенствованием алгоритма гибридного кода, тестирование кода на примере ударной волны в солнечном ветре, подготовка публикации)

6. *Kropotina J. A., Levenfish K. P., Bykov A. Simulation of collisionless shocks in plasmas with high metallicity* // *J. Phys. Conf. Ser.* — 2019. — Vol. 1400. — Id. 022002. (Участие в постановке задачи, гибридное моделирование ударных волн различного состава, анализ влияния химического состава на структуру ударной волны, подготовка публикации)

7. *Shocks and non-thermal particles in clusters of galaxies* / A. M. Bykov, F. Vazza, J. A. Kropotina [et al.] // *Space Sci. Rev.* — 2019. — Vol. 215, no. 1. — P. 14.

(Гибридное моделирование ударных волн в скоплениях галактик, участие в подготовке публикации)

8. *Моделирование диффузии ускоренных частиц в бесстолкновительных ударных волнах с примесью ионов тяжелее водорода / Ю. А. Кропотина [и др.] // ЖТФ. — 2020. — т. 90, № 1. — с. 18—25. (Постановка задачи, гибридное моделирование ударных волн с примесью различных ионов, аналитическое обобщение квазилинейной теории диффузии на случай произвольного сорта диффундирующих частиц, исследование законов переноса частиц в гибридной модели и сравнение с теоретическими представлениями, подготовка публикации)*

9. *Solar Wind Discontinuity Transformation at the Bow Shock / J. A. Kropotina [et al.] // ApJ. — 2021. — June. — Vol. 913, no. 2. — P. 142. (Гибридное моделирование прохождения вращательного разрыва через головную ударную волну Земли, участие в интерпретации наблюдательных данных, участие в подготовке публикации)*

10.

На автореферат поступило четыре отзыва.

Отзыв от Владимира Александровича Догеля, профессора, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, положительный и замечаний не содержит.

Отзыв от Леонтия Ивановича Мирошниченко, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Отдела физики Солнца и солнечно-земных связей Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, положительный и замечаний не содержит.

Отзыв от Евгения Александровича Михайлова, кандидата физико-математических наук, Высококвалифицированного старшего научного сотрудника Отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, положительный, содержит два замечания:

- 1) из автореферата не вполне понятно, какие именно вычислительные ресурсы использовались при моделировании;
- 2) в списке опубликованных работ статья А6 указана не в соответствии со стандартом.

Отзыв от Сергея Ивановича Блинникова, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории физики плазмы и астрофизики НИЦ “Курчатовский институт”, ИТЭФ, положительный, содержит одно замечание:

Несколько режет глаз частое использование слова “эжекты” для английского “ejecta”, когда давно существует устойчивый русский термин “выброс”. Это замечание никак не влияет на научные выводы автора и не снижает очень высокий уровень диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем исследований получен ряд результатов, важных для физики бесстолкновительных ударных волн (БУВ), а именно:

- Автором впервые проведено гибридное моделирование БУВ в космической плазме с составом, существенно отличающимся от солнечного, и из первых принципов исследована инжекция частиц в процесс ускорения Ферми I порядка в таких средах.

- Впервые квазилинейная теория диффузии ускоренных частиц обобщена на различные сорта ионов и проверена из первых принципов в этом случае. Впервые обозначены пространственные границы её применимости в предвестнике БУВ.

- Впервые созданы гибридные модели БУВ при слиянии скоплений галактик с учётом состава плазмы и предложена методика спектральной диагностики локального содержания гелия.

- Впервые показано влияние надтепловых частиц на усиление тока во вращательном разрыве при пересечении им БУВ на границе магнитосферы Земли, а также показано, что вращательный разрыв эффективно удерживает частицы и переносит их в область за фронтом.

Научная и практическая значимость исследования обоснована тем, что результаты моделирования ускорения частиц на обратных ударных волнах остатков сверхновых могут быть использованы для оценки вклада обратных ударных волн сверхновых в спектр и химический состав наблюдаемых в солнечной системе распределений космических лучей. Кроме того, давление нетепловой компоненты может быть важным при создании гидродинамических моделей остатков сверхновых. Результаты моделирования процесса переноса частиц вблизи БУВ могут быть использованы при параметризации коэффициента диффузии в полуаналитических моделях ускорения космических лучей. Форма смоделированных распределений ионов железа в БУВ в

скоплениях галактик может использоваться при анализе спектроскопических данных будущих рентгеновских обсерваторий XRISM и ATHENA и послужить индикатором локального содержания гелия. Результаты моделирования взаимодействия вращательного разрыва с головной ударной волной на границе магнитосферы Земли могут использоваться как для предсказаний магнитосферных явлений, так и в приложении к другим объектам с разрывными течениями, например — к пульсарным туманностям.

Достоверность результатов обеспечена несколькими факторами:

1. В коде точно сохраняется нулевая дивергенция магнитного поля.

2. В коде использованы дискретные схемы второго порядка точности в пространстве и времени, а также реализовано несколько методик подавления численных осцилляций. Благодаря этому во всех решённых задачах за всё время численного эксперимента закон сохранения полной энергии выполнялся с точностью не хуже 10%, а закон сохранения импульса — с точностью не хуже 3%, что является высокой точностью для рассматриваемых задач.

3. Результаты гибридного моделирования ударных волн в скоплениях галактик с хорошей точностью согласуются с результатами, независимо полученными с помощью Particle-in-Cell кода “TRISTAN-MP”.

4. С помощью гибридного кода “Maximus” можно с высокой точностью воспроизвести решение ряда задач, допускающих аналитический подход.

5. Результаты, полученные с кодом “Maximus”, показали хорошее согласие с непосредственными наблюдениями спектров ускоренных частиц и структуры магнитных полей в солнечном ветре, а также с результатами полуаналитического кода Эллисона и гибридного кода Шолера по интерпретации тех же данных.

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

Соискатель Кропотина Ю.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

Диссертация Кропотиной Ю.А. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в физику бесстолкновительных ударных волн в астрофизических объектах.

На заседании 09 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Кропотиной Ю.А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 9 докторов по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звёздная астрономия», участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14 , 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