

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.481.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК**

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 18 октября 2024 г. N 4

О присуждении Шустову Павлу Игоревичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Магнитные дыры в хвосте магнитосферы Земли» по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия» принята к защите 16 июля 2024 г. (протокол заседания N 3) диссертационным советом 24.1.481.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук 117997, гсп-7, Москва, Профсоюзная ул., 84/32, приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №83/нк от 26 января 2023г.

Соискатель Шустов Павел Игоревич, «26» июля 1995 года рождения.

В 2019 году соискатель окончил Физический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по специальности 03.04.02 Физика.

С 01.11.2019 по 31.10.2023 Шустов Павел Игоревич являлся аспирантом очной аспирантуры Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность (образовательная программа) «Физика и астрономия». С 2019 года соискатель работает младшим научным сотрудником в Институте космических исследований Российской академии наук. Диссертация выполнена на базовой кафедре физики космоса Института космических исследований Российской академии наук Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» и в отделе физики космической плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук.

Научный руководитель – Петрукович Анатолий Алексеевич, доктор физико-математических наук, чл.-корр. Российской академии наук, директор Института космических исследований Российской академии наук, заведующий базовой кафедрой физики космоса Института космических исследований Российской академии наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Официальные оппоненты:

Мингалев Олег Викторович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий сектором Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Полярный геофизический институт» (ПГИ) и

Апатенков Сергей Вячеславович, кандидат физико-математических наук, доцент Физического факультета кафедры Физики Земли Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), Москва, в своем положительном отзыве, составленном главным научным сотрудником отдела космических наук НИИЯФ МГУ, доктором физико-математических наук, профессором Антоновой Елизаветой Евгеньевной, подписанном директором НИИЯФ МГУ доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН Боосом Эдуардом Эрнстовичем, утверждённом проректором Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова профессором д.ф.-м.н. Федяниным А.А.,

указала, что в диссертационной работе Шустова П.И. получены новые научные результаты, являющиеся оригинальными, а сама работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, и её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Соискатель имеет **16** опубликованных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях **16** работ, по теме диссертации опубликовано **5** работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано **5** работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Shustov P. I. [et al.]. Kinetic models of sub-ion cylindrical magnetic hole // *Physics of Plasmas*. 2016. Dec. Vol. 23, no. 12. DOI:10.1063/1.4972093
2. Shustov P. [et al.]. 3D Magnetic Holes in Collisionless Plasmas // *Plasma Physics Reports*. 2018. Aug. Vol. 44, no. 8. P. 729—737. DOI: 10.1134/s1063780x18080068.
3. Shustov P. I. [et al.]. Statistical Properties of Sub-Ion Magnetic Holes in the Dipolarized Magnetotail: Formation, Structure, and Dynamics // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2019. Jan. Vol. 124, no. 1. P. 342—359. DOI: 10.1029/2018ja025852.
4. Shustov P. [et al.]. In-situ and optical observations of sub-ion magnetic holes // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2020. Oct. Vol. 208. P. 105365. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105365.
5. Shustov P. I. [et al.]. Electron magnetosonic waves and sub-ion magnetic holes in the magnetotail plasma // *Physics of Plasmas*. 2022. Jan. Vol. 29, no. 1. DOI: 10.1063/5.0075938.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается авторитетом в научном сообществе, компетентностью в области физики космоса и физики космической плазмы, которые подтверждаются публикациями в международных и российских журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: показано, что магнитные дыры в хвосте

магнитосферы Земли связаны с прохождением фронта диполизации и развитием в этой области неустойчивостей горячей анизотропной популяции электронов. Тем самым обеспечивается локализованный перенос горячих электронов через фронт диполизации.

Показано, что в трехкомпонентной плазме (компонента ионов и две компоненты электронов с разной температурой и плотностью), существует электромагнитная мода линейных колебаний, характеристики которой соответствуют свойствам наблюдаемых субионных магнитных дыр в хвосте магнитосферы. Сравнение с данными спутниковых наблюдений показало, что найденная электронно-магнитозвуковая мода является наилучшим кандидатом на роль линейной стадии генерации субионных магнитных дыр.

Показано, что в рамках одномерного кинетического и трехмерного магнитодинамического подходов возможно построение стационарных моделей исследуемых магнитных дыр субионного масштаба, а также получение ограничений на параметры структур на основе полученных моделей.

Показано, что субионные магнитные дыры в хвосте магнитосферы могут являться источником мелкомасштабной структуры полярных сияний и, таким образом, поддерживать магнитосферно-ионосферную связь на малых (субионных) пространственных масштабах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Исследуемые субионные магнитные дыры в хвосте магнитосферы Земли обеспечивают процесс переноса горячей компоненты электронов, нагретой на фронте диполизации, в область спокойной плазмы за фронтом (в область диполизованного хвоста). Горячая компонента электронов, локализованная внутри магнитных дыр, представляет собой неоднородность, с которой активно взаимодействуют электронные циклотронные волны, излучаемые фоновыми электронами. Также, показано, что сами дыры должны взаимодействовать с фоновыми субтепловыми ионами (за счет обнаруженного дрейфа самих дыр). Таким образом, субионные магнитные дыры играют существенную роль в важном вопросе переноса энергии между компонентами плазмы в хвосте магнитосферы.

Представлено детальное описание и изучение новой плазменной моды линейных колебаний трехкомпонентной плазмы (компонента ионов и две компоненты электронов с разной температурой и плотностью), характерной для наблюдаемых субионных магнитных дыр.

Описанные в работе стационарные модели субионных магнитных дыр могут быть применены для моделирования рассеяния заряженных частиц на структуре магнитных дыр. Такое моделирование может пролить свет на важный вопрос термализации электронов в хвосте магнитосферы.

Представлено исследование, устанавливающее связь между мелкомасштабными структурами диффузионной авроры (полярных сияний) и субионными магнитными дырами в хвосте магнитосферы. Данный результат является значимым, как для изучения авроральных сияний, так и в общем контексте магнитосферно-ионосферного взаимодействия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Высокий уровень достоверности изложенных результатов, подтверждающийся комплексным многосторонним и согласованным подходом к изучению предмета исследования со строгим обоснованием представленных методов. Все результаты работы и защищаемые положения подробно изложены в публикациях диссертанта в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых научными базами Scopus, Web of Science, РИНЦ. Также изложенные в диссертации результаты докладывались на 12 международных и российских конференциях, представлены доклады на научных семинарах организаций, занимающихся данной тематикой исследования.

Личный вклад соискателя:

Представленная диссертация основана на пяти научных публикациях, объединённых тематикой исследования магнитных дыр, в которых соискатель является первым автором. Научные результаты данных работ получены лично автором или при его непосредственном участии. Все основные результаты, выносимые на защиту, были получены лично автором. Постановка и обсуждение

задач, представленных в работе, велась совместно с научным руководителем и коллегами.

В ходе защиты диссертации было отмечено, что в текстах диссертации и автореферата в формулировке основного положения, выносимого на защиту, номер 2 присутствует опечатка. Фраза «Разработаны двумерные кинетические и трехмерная магнитогидродинамическая модели...» должна читаться, как «Разработаны одномерные кинетические и трехмерная магнитогидродинамическая модели...», так как в главе III диссертации получены именно пространственно одномерные кинетические модели и это правильно указано в содержании диссертации и в других местах введения.

На заседании 18 октября 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Шустову Павлу Игоревичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 13 докторов наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия», участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 19, против нет. Недействительных бюллетеней 1

Зам. председателя диссертационного
совета 24.1.481.01

Чл.-корр. РАН

Ученый секретарь
к.ф.-м.н.



О.И. Кораблёв

А.Ю. Ткаченко

Дата оформления заключения 18 октября 2024г.