



УТВЕРЖДАЮ

Проректор Национального
исследовательского университета
«Высшая школа экономики»

Сашин
К.Э.Н., доцент Рошин Сергей Юрьевич

«19» июня 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Диссертация Лукина Александра Сергеевича на тему: «Кинетика ночной магнитопаузы магнитосферы Земли» 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.

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени Лукин Александр Сергеевич работал в отделе физики космической плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника.

В 2019 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» по специальности 03.04.02 Физика.

С 2019 г. по настоящее время Лукин Александр Сергеевич является аспирантом четвертого года 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».

Справка об обучении с результатами сдачи кандидатских экзаменов выдана в 2023 г. в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Научный руководитель д.ф.-м.н., чл.-корр. Российской академии наук Петрукович Анатолий Алексеевич – работает в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт космических исследований Российской академии наук в должности директора, а также на базовой кафедре физики космоса Института космических исследований Российской академии наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» в должности заведующего кафедрой.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы

Исследование структуры и динамики ночной фланговой магнитопаузы представляет высокий интерес для современной физики космической плазмы, поскольку основная плазменная популяция магнитосферы Земли обеспечена транспортом заряженных частиц солнечного ветра через ночную магнитопаузу. На данный момент накоплена большая статистика наблюдений ночной магнитопаузы по данным спутниковых миссий ARTEMIS и MMS, позволяющая провести статистическое исследование структуры фланговой магнитопаузы и ее вариации с радиальным расстоянием, что позволяет лучше понять механизмы транспорта частиц солнечного ветра в магнитосферу. Кроме того, на фланговой магнитопаузе часто наблюдаются бессиловые конфигурации токовых слоев, редкие в магнитосфере Земли, но широко распространенные в других плазменных системах гелиосферы, т.е. результаты, полученные в рамках изучения структуры токового слоя магнитопаузы представляют интерес для широкого класса космических плазменных систем.

Обоснованность научных положений

Обоснованность научных положений подтверждается согласием полученных результатов с результатами теоретических и экспериментальных работ, имеющимися на данный момент в литературных источниках.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации

Все результаты, представленные в настоящей работе, получены соискателем лично, либо совместно с соавторами.

Степень достоверности результатов проведенных соискателем ученой степени исследований

Достоверность результатов, полученных в ходе выполнения работы, подтверждается их согласием с результатами опубликованных ранее работ других авторов, а также использованием надежно апробированных во многих задачах методов обработки спутниковых данных и специального программного обеспечения.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в использовании не имеющих в литературе аналогов наборов спутниковых наблюдений ночной фланговой магнитопаузы и первым применением алгоритмов машинного обучения к задаче о динамике заряженных частиц в токовых слоях, что делает все полученные в ходе работы результаты новыми.

Теоретическая значимость

Рассмотрена статистика наблюдений ночной фланговой магнитопаузы спутниковой миссией ARTEMIS. Показано, что на больших расстояниях от планеты магнитопауза представляет собой многомасштабную структуру, состоящую из переходных слоёв плотности, температуры и кинетической энергии плазмы различной

толщины, с характерными масштабами порядка 3000 км, сопоставимыми с гирорадиусом ионов плазменного слоя, а отношение ионной и электронной температур поперек магнитопаузы на лунной орбите остается постоянным.

Рассмотрена статистика совместных наблюдений фланговой магнитопаузы на двух радиальных расстояниях от планеты по данным спутниковых миссий ARTEMIS и MMS. Показано, что токовый слой ночной магнитопаузы на разных радиальных расстояниях представляет собой самоподобную кинетическую структуру; конфигурация магнитного поля и толщина токового слоя, измеренная в масштабах тепловых гирорадиусов протонов магнитосферы, остаются неизменными в диапазоне радиальных расстояний от 10 до 60 радиусов Земли.

Для анализа динамики заряженных частиц (ионов) в токовом слое ночной магнитопаузы применен метод машинного обучения AI Poincaré, и показано, что в присутствии нормальной к поверхности магнитопаузы компоненты магнитного поля ее токовый слой необходимо описывать динамическими, а не статическими кинетическими моделями.

Практическая значимость результатов проведенных соискателем ученой степени исследований

Полученные в рамках диссертационной работы результаты указывают на существенную роль низкочастотных электромагнитных колебаний в динамике заряженных частиц и необходимость учета этих колебаний при проведении численного моделирования динамики плазмы вблизи магнитопаузы. Показано, что магнитопауза как в ближнем, так и в дальнем хвосте магнитосферы Земли может быть описана одним и тем же классом моделей токовых слоёв, а полученные типичные оценки пространственного масштаба ночной магнитопаузы показывают, что для моделирования процессов вблизи магнитопаузы необходимо использовать кинетические или гибридные модели.

Кроме того, конфигурация токового слоя магнитопаузы является универсальной для ряда плазменных систем, и результаты, полученные в рамках диссертационной работы, применимы также для кинетических токовых слоёв солнечного ветра, магнитослоя и хвостовых областей магнитосфер Марса и Юпитера.

Апробация работы

Результаты исследований, вошедших в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на научно-исследовательских семинарах Института Космических Исследований Австрийской Академии Наук (IWF ÖAW). Основные положения и результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на российских и международных конференциях, в том числе:

1. Лукин А.С., Васько И.Ю., Артемьев А.В., Юшков Е.В., «Двумерные бессильные токовые слои: устойчивость магнитного хвоста», Тринадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 12-16 февраля 2018, ИКИ РАН, Москва, Россия;
2. Лукин А.С., Артемьев А.В., Петрукович А.А., Юшков Е.В., «Кинетическая структура ночной магнитопаузы земли», Четырнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 11-15 февраля 2019, ИКИ РАН, Москва, Россия;
3. A.S. Lukin, I.Y. Vasko, A.V. Artemyev, E.V. Yushkov, «Two-dimensional self-

- similar plasma equilibria», 41st Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», 12-16 March 2018, Apatity, Russia;
4. A.S. Lukin, A.V. Artemyev, E.V. Panov, A.A. Petrukovich, E.V. Yushkov, «Spatial structure of night-side magnetopause: Simultaneous observations of ARTEMIS and MMS missions», 42nd Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», 11-15 March 2019, Apatity, Russia;
 5. A.S. Lukin, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich, «Machine learning technique for searching of motion integrals in the magnetotail current sheet equilibrium», 45th Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», 14-18 March 2022, Apatity, Russia
 6. Lukin A.S., Artemyev A.V., Petrukovich A.A., Yushkov E.V., «Fine structure of the night-side equatorial magnetopause: ARTEMIS observations», 5th Cluster-THEMIS workshop, 24-28 september 2018, Chania, Creta, Greece;
 7. Alexander Lukin, Anton Artemyev, Evgeny Panov, Anatoly Petrukovich, Egor Yushkov, «Comparison of near-Earth and distant night-side magnetopause: MMS and ARTEMIS simultaneous observations», 29th Cluster workshop, 7-11 october 2019, Lanzarote, Spain;
 8. Alexander Lukin, Anton Artemyev, Anatoly Petrukovich, and Egor Yushkov, «Fine structure of the night-side equatorial magnetopause: ARTEMIS observations», European Geosciences Union General Assembly 2018, 8-13 April 2018, Vienna, Austria;
 9. Alexander Lukin, Anton Artemyev, Evgeny Panov, Anatoly Petrukovich, and Egor Yushkov, «Night-side magnetopause: simultaneous observations of ARTEMIS and MMS», European Geosciences Union General Assembly 2019, 7–12 April 2019, Vienna, Austria;
 10. Лукин А.С., Артемьев А.В., Панов Е.В., Петрукович А.А., Юшков Е.В., «Структура ночной магнитопаузы Земли», Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде», XVI Конференция молодых ученых, «Взаимодействие полей и излучения с веществом», 16-21 сентября 2019, Иркутск, Россия.

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 4 работах общим объемом 5 п.л.; личный вклад автора составляет 1.5 п.л.

Научная публикация	Личный вклад	Публикация входит в		
		международные базы данных и системы цитирования (Web of Science/ Scopus/ MathSciNet...)	Список рекомендованных журналов НИУ ВШЭ**	Перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК
1. Lukin A. et al. Two-dimensional self-similar plasma equilibria // Physics of	в соавт., 0,25 п.л.	Web of Science, Q2, Scopus, Q1	да	да

Plasmas. – 2018. – Т. 25. – №. 1. – С. 012906.				
2. Lukin A. S. et al. Spatial scales and plasma properties of the distant magnetopause: Evidence for selective ion and electron transport // Journal of Geophysical Research: Space Physics. – 2019. – Т. 124. – №. 7. – С. 5027-5041.	в соавт., 0,5 п.л.	Web of Science, Q2, Scopus, Q2	да	да
3. Lukin A. S. et al. Comparison of the Flank Magnetopause at Near-Earth and Lunar Distances: MMS and ARTEMIS Observations // Journal of Geophysical Research: Space Physics. – 2020. – Т. 125. – №. 11. – № статьи e2020JA028406.	в соавт., 0,5 п.л.	Web of Science, Q2, Scopus, Q2	да	да
4. Lukin A. S. et al. Regimes of ion dynamics in current sheets: The machine learning approach // Physical Review E. – 2022. – Т. 106. – №. 6. – статьи. 065205.	в соавт., 0,25 п.л.	Web of Science, Q2	да	да

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают её основные положения.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикациями в ведущих международных рецензируемых изданиях. Результаты работ имеют множество приложений и представляют интерес для научного сообщества в области физики космической плазмы.

Диссертация Лукина Александра Сергеевича на тему: «Кинетика ночной магнитопаузы магнитосферы Земли» – это законченная научно-квалификационная

работа, которая соответствует: требованиям пунктов 9, 10, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а также Паспорту научной специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Диссертация Лукина Александра Сергеевича на тему: «Кинетика ночной магнитопаузы магнитосферы Земли» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Заключение принято на заседании базовой кафедры физики космоса Института космических исследований Российской академии наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» «17» апреля 2023 г., протокол № 1.

Присутствовало на заседании 19 человек.

Результаты голосования: «за» – 16 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 3 человека.

Доцент базовой кафедры
Физики космоса Института космических
исследований РАН,
к.ф.-м.н.



Балюкин Игорь Игоревич



Подпись заверяю

ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ
КАДРОВОМУ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВУ
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
БОЙКО Л.О.

19. 05. 2023