

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.113.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 ноября 2020 г., протокол № 10 о присуждении Мингалеву Олегу Викторовичу ученой степени доктора физико-математических наук. Диссертация «Описание крупномасштабных процессов в бесстолкновительной космической плазме и численное моделирование тонких токовых слоев» по специальности 01.03.03 – Физика Солнца принята к защите 06 февраля 2020 года (протокол № 3) диссертационным советом Д 002.113.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32, приказ Министерства образования и науки № 156/нк от 01.04.2013 г. о создании совета.

Соискатель Мингалев Олег Викторович 1969 г. рождения работает в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Полярный геофизический институт» (ФГБНУ ПГИ) с 1996 г. по настоящее время. В 1992 году соискатель окончил Факультет аэрофизики и космических исследований Московского физико-технического института (МФТИ) по специальности «прикладная математика и физика» и поступил в аспирантуру этого института. В 1995 году соискатель окончил аспирантуру и защитил кандидатскую диссертацию "Неприводимые представления общих соотношений коммутации. Законы сохранения и асимптотика спектра квантовых гамильтонианов" по специальности 01.01.03 – математическая физика в диссертационном совете Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Диссертация выполнена в секторе «Теоретическое моделирование» Полярного геофизического института.

Официальные оппоненты:

Кочаровский Владимир Владиленович, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., заведующий отделом астрофизики и физики космической плазмы Института прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород);

Пилипенко Вячеслав Анатольевич, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией физики околоземного пространства Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (г. Москва);

Сомов Борис Всеволодович, профессор, д.ф.-м.н., заведующий отделом физики Солнца Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН) в своем положительном заключении (заключение составлено Шайхисламовым И.Ф., доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе и заведующим отделом лазерной плазмы), утвержденном директором ИЛФ СО РАН чл.-корр. РАН Тайченачевым А.В., указала, что диссертационная работа «Описание крупномасштабных процессов в бесстолкновительной космической плазме и численное моделирование тонких токовых слоев» представляет собой законченное фундаментальное научное исследование по актуальной по тематике и может быть квалифицирована как новое научное достижение, а также удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, которые установлены в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 года № 335, а ее автор, Мингалев Олег Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.03 — Физика Солнца. Автореферат отражает содержание диссертации. Результаты диссертации обсуждались на заседании семинара ИЛФ СО РАН (руководитель семинара научный руководитель ИЛФ СО РАН академик РАН Багаев С.Н.) 02 ноября 2020 года. Результаты

диссертации представляют интерес для физики солнечного ветра, магнитосферы и ионосферы Земли, а также магнитосфер планет, и могут быть использованы в научных исследованиях, которые выполняются в МГУ, СПбГУ, ИКИ РАН, ИЗМИРАН, ИПФ РАН, ПГИ. Результаты диссертации опубликованы в научных журналах из списка ВАК.

Соискатель имеет более 55 опубликованных работ в рецензируемых научных журналах. Из них по теме диссертации опубликовано более 25 работ. Основные результаты, которые вошли в диссертацию, опубликованы в 21 научной работе в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК.

Все выносимые на защиту результаты были получены автором или лично, или при его непосредственном и руководящем участии. Вклад автора во все рассмотренные в диссертации результаты является основным.

На автореферат диссертации поступили два положительных отзыва. Первый составил Марат Гарунович Деминов, д.ф.-м.н по специальности 01.04.12 – Геофизика, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН). Второй отзыв составил Владимир Михайлович Губченко, к.ф.-м.н, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН).

Наиболее значимые работы автора по теме диссертации:

1. *Мингалева О.В., Мингалева И.В., Мельник М.Н., Артемьев А.В., Малова Х.В., Попов В.Ю., Шен Чао, Зелёный Л.М.* Кинетические модели токовых слоев с широм магнитного поля // *Физика плазмы*. 2012. Т. 38, № 4, С. 329–344. (In Engl.: *Mingalev et al., Plas. Phys. Rep.* 2012, V. 38, № 4, pp. 300–314).
2. *Malova H.V., Popov V.Yu., Mingalev O.V., Mingalev I.V., Mel'nik M.N., Artemyev A.V., Petrukovich A.A., Delcourt D.C., Shen C., Zelenyi L.M.,* Thin current sheets in the presence of a guiding magnetic field in the Earth's magnetosphere // *J. Geophys. Res.* 2012. VOL. 117, A04212, doi:10.1029/2011JA017359.
3. *Grigorenko E.E., Malova H.V., Artemyev A.V., Mingalev O.V., Kronberg E.A., Koleva R., Daly P.W., Cao J.B., Sauvaud J.-A., Owen C.J., Zelenyi L.M.* Current sheet

structure and kinetic properties of plasma flows during a near-Earth magnetic reconnection under the presence of a guide field // *J. Geophys. Res. Space Physics*. 2013. VOL. 118, P. 3265-3287.

4. *Malova H.V., Mingalev O.V., Grigorenko E.E., Mingalev I.V., Melnik M.N., Popov V.Yu., Delcourt D.C., Petrukovich A.A., Shen C., Rong D., Zelenyi L.M.* Formation of self-organized shear structures in thin current sheets // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2015. VOL. 120, DOI: 10.1002/2014JA020974.
5. *Мингалеv О.В., Мингалеv И.В., Малова Х.В., Мельник М.Н., Зелёный Л.М.* Система кинетических уравнений для описания крупномасштабных процессов в бесстолкновительной космической плазме // *Физика плазмы*. 2017. Т. 43, № 10, С. 837-849. (In Engl.: *Mingalev et al., Plas. Phys. Rep.* 2017, V. 43, № 10, pp. 1004–1015).
6. *Мингалеv О.В., Мингалеv И.В., Малова Х.В., Мерзлый А.М., Зелёный Л.М.,* Система кинетических уравнений для бесстолкновительной космической плазмы в приближении силового равновесия электронов вдоль магнитного поля // *Физика плазмы*. 2018. Т. 44, № 11, С. 889–904. (In Engl.: *Mingalev et al., Plas. Phys. Rep.* 2018, V. 44, № 11, pp. 889–904).
7. *Мингалеv О.В., Малова Х.В., Мингалеv И.В., Мельник М.Н., Сеуко П.В., Зелёный Л.М.,* Модель тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы Земли с кинетическим описанием замагниченных электронов // *Физика плазмы*. 2018. Т. 44, № 10, С. 769-790. (In Engl.: *Mingalev et al., Plas. Phys. Rep.* 2018, V. 44, № 10, pp. 769–790).
8. *Мингалеv О.В., Мингалеv И.В., Малова Х.В., Мерзлый А.М., Мингалеv В.С., Хабарова О.В.,* Описание крупномасштабных процессов в околоземной космической плазме // *Физика плазмы*. 2020. Т. 46, № 4, С. 329-350. (In Engl.: *Mingalev et al., Plas. Phys. Rep.* 2020, V. 46, № 4, pp. 374–395).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации определялся их научным авторитетом и компетентностью в физике околоземной космической плазмы, входящей как составная часть в специальность 01.03.03 — Физика Солнца.

Диссертационный совет на основании выполненных соискателем исследований отмечает следующее.

Актуальной научной проблемой является изучение пространственных распределений токов, электромагнитного поля и гидродинамических параметров плазмы в магнитосфере и обтекающем ее солнечном ветре. Изучить эту систему на основе только спутниковых измерений невозможно из-за их локальности, а также больших размеров системы, ее сложности и изменчивости в зависимости от внешних условий. Для интерпретации данных измерений и оперативного прогноза необходимо создать глобальную численную самосогласованную модель магнитосферы и ионосферы, которая бы достоверно воспроизводила крупномасштабное распределение параметров.

Важной проблемой численного моделирования космической плазмы является правильный расчет электрического поля. Воспроизведение в численной модели реальной плотности заряда и соответствующей ей потенциальной части электрического поля требует большого объема вычислений. Автором разработан новый подход к вычислению электрического поля при помощи замены уравнения Пуассона условиями квазинейтральности и силового равновесия электронов вдоль линий магнитного поля, а также и исключения частных производных по времени в уравнениях для полей аналогично приближению Дарвина.

Автором выведена модификация системы уравнений Максвелла для плазмы в приближении квазинейтральности и схема ее замыкания системой уравнений переноса. Для каждой системы уравнений переноса получается система уравнений для определения полей, которая удовлетворяет двум важным условиям. Во-первых, учитывает крупномасштабное электрическое поле разделения зарядов и определяет его из условий квазинейтральности и силового равновесия электронов, во-вторых, соответствует мгновенному дальнему действию, то есть магнитное и электрическое поля в области моделирования определяются текущим пространственным распределением гидродинамических параметров плазмы и граничными условиями уравнений эллиптического типа. Рассмотрено шесть наиболее актуальных вариантов системы уравнений переноса для бесстолкновительной плазмы. Выведенные автором системы уравнений позволяют разрабатывать численные самосогласованные кинетические модели крупномасштабных процессов в магнитосфере и в солнечном ветре с физически корректным описанием крупномасштабных низкочастотных полей и с пространственным разрешением

порядка теплового гирорадиуса протонов. Важный класс задач, рассмотренный с помощью этих методов – исследование структуры тонких токовых слоев в бесстолкновительной плазме. Автору удалось получить конфигурации ТТС с шировой компонентой магнитного поля, а также несимметричные конфигурации токовых слоев.

Автором создана новая численная модель рассматриваемого ТТС, которая, по сравнению с предшествующими моделями, имеет более широкую область применимости, и позволяет изучать общий случай рассматриваемого ТТС с двумя самосогласованными компонентами магнитного поля, а также с несимметричными граничными условиями, порождающими нормальный поток плазмы через слой и нейтрализующий продольный ток электронов. Такое обобщение позволяет исследовать ТТС в солнечной короне и солнечном ветре. Сравнение результатов показало высокую точность приближения квазинейтральности.

Для численного решения стационарного уравнения Власова для протонов вместо метода частиц используется разработанный автором новый метод, который позволяет выполнять основной объем вычислений на графических процессорах. В случае использования метода частиц для таких расчетов потребовался бы мощный кластерный суперкомпьютер. С помощью новой модели получены симметричные конфигурации с очень точным выполнением условий силового баланса, для которых впервые рассчитана функция распределения протонов с высоким разрешением в пространстве скоростей и исследовано влияние на конфигурацию слоя анизотропии давления электронов, а также гидродинамической скорости образующих токовый слой потоков протонов.

Впервые в численном моделировании получены и детально исследованы конфигурации тонкого токового слоя с профилем шировой компоненты магнитного поля в форме колокола. Такие конфигурации ТТС часто встречаются в солнечном ветре, в хвостах магнитосфер Земли и Юпитера, а также на флангах магнитопаузы в хвосте магнитосферы Земли в области низкоширотного пограничного слоя.

Представленные в диссертации результаты базируются на использовании общепризнанных моделей физических явлений, методов и подходов кинетической теории плазмы и численного моделирования плазмы. Правильность выбранных

теоретических подходов подтверждается также тем, что полученные в работе результаты численного моделирования хорошо согласуются с данными измерений на космических аппаратах. Полученные результаты неоднократно докладывались на всероссийских конференциях и были опубликованы в ведущих зарубежных и российских научных журналах. Их достоверность подтверждена независимым предварительным рецензированием.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, установленным в Положении о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 года № 335, и принял решение присудить Мингалеву Олегу Викторовичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 12 докторов наук по каждой научной специальности 01.03.03, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 23, против 1.

Председатель диссертационного
совета Д 002.113.03
Академик



Л.М. Зеленый

И.о. учёного секретаря
д.ф.-м.н.

А.Б. Струминский

Дата оформления заключения 26 ноября 2020 г.

Печать