

## Отзыв

члена диссертационного совета Демехова Андрея Геннадьевича

на диссертацию **Дивина Андрея Викторовича**  
«Кинетическое и МГД моделирование  
процессов в бесстолкновительной гелиосферной плазме»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

В диссертации Андрея Викторовича Дивина приводятся результаты цикла его работ по развитию кинетических и магнитогидродинамических (МГД) моделей магнитного пересоединения в плазме и их применения для изучения фундаментальных закономерностей этого процесса и их проявлений во взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли и в динамике плазменного окружения тел со слабым магнитным полем.

**Актуальность темы** этой работы обусловлена важнейшей ролью магнитного пересоединения в энергообмене между солнечным ветром и магнитосферами Земли и планет и, с другой стороны, высокой сложностью этого процесса, включающего перестройку магнитной конфигурации под влиянием потоков плазмы и сильное обратное влияние возникающих электромагнитных полей на динамику самой плазмы. Интенсивное изучение особенностей магнитного пересоединения и его следствий продолжается уже несколько десятилетий, однако в этой проблеме по-прежнему много открытых вопросов. Отчасти это связано с взаимным влиянием процессов на сильно различающихся пространственных и временных масштабах. Исследование такого взаимодействия требует привлечения численных методов и больших компьютерных ресурсов. В свою очередь, использование мощных компьютеров требует специальных усилий для развития и настройки моделей и для физической интерпретации получаемых результатов.

**Практическое значение** компьютерных моделей магнитного пересоединения заключается в возможности адекватного описания и понимания результатов современных космических наблюдений, которого невозможно достичь без использования таких продвинутых моделей. В свою очередь, наблюдения проводятся для верификации знаний о космической погоде и моделей её проявлений, которые могут представлять опасность для техники космического и наземного базирования. Моделирование взаимодействия солнечного ветра с телами, имеющими слабое или нулевое собственное магнитное поле (мини-магнитосферы), имеет практическое приложение для исследования методов защиты космических аппаратов от радиации.

Автор диссертации **внес важный вклад** в развитие численного моделирования и физического исследования магнитного пересоединения. А.В. Дивиным исследованы принципиальные аспекты этого процесса, результаты его исследований вошли в 42 публикации в авторитетных журналах с 2013 по 2023 г.г., почти все статьи опубликованы в журналах Q1 по рейтингу Web of Science и/или Scopus.

Диссертация представлена в форме краткого научного доклада (23 страницы текста). В шести основных разделах доклада изложены поставленные задачи, история их исследования, методы, использованные автором для решения каждой задачи и полученные результаты.

К последним относятся: построение модели электронной диффузионной области, в которой учитывается анизотропия электронного давления; выяснение роли холодных ионов в процессе магнитного пересоединения; определение условий возникновения нижнегибридной турбулентности в области пересоединения и её роли в преобразовании энергии; объяснение ускорения сверхтепловых электронов в окрестности кометы Чурюмова–Герасименко; доказательство существования и определение параметров мини-магнитосфер в окрестностях лунных магнитных аномалий; выяснение роли искривления токового слоя в неустойчивости двойного градиента в хвосте магнитосферы Земли.

Доклад хорошо структурирован и легко читается, имеет логичные переходы от истории вопроса к описанию достижений автора. Последние, таким образом, представлены в контексте мировых исследований по данной тематике. Есть небольшие грамматические и стилистические замечания по тексту. Некоторые из них приведены ниже.

Научные положения сформулированы как результаты, что не вполне соответствует стилю этого раздела и несколько удлиняет его.

с.8: Как ясно из содержания доклада и опубликованных работ, “набор моделей” на самом деле является набором реализаций (прогонов) одной или двух моделей с разными входными параметрами.

с.10: “бинарные столкновения” — это, видимо, калька с английского для парных столкновений.

с.11: “баланс сил в нейтральной линии” — неудачно выбран предлог.

с.11: “Используя... было показано...” — грамматическая ошибка, которая повторяется еще в нескольких подобных фразах (например, “Основываясь на результатах... создана численная модель” — с.12).

с.12: “проводимость оказывается порядка боровской диффузии” — не вполне корректное выражение.

с.12: “разделение [чего?] на внешнюю и внутреннюю части ошибочно” — отсутствует дополнение, которое не совсем корректно появляется в тексте позже.

с.14: фраза “Неустойчивости в нижнегибридной области спектра на фронте пересоединения были впервые описаны в трехмерном моделировании кодом iPIC3D в цикле работ соискателя” не дает однозначного ответа на вопрос, принципиально ли трехмерное моделирование для описания этих неустойчивостей.

Эти замечания ни в коей мере не умаляют научного значения и не отменяют высокой оценки представленных в докладе работ.

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, являются обоснованными и имеют ясную физическую интерпретацию; они основаны на вдумчивом применении передовых численных методов, творческом развитии открытого кода для кинетического моделирования, использовании апробированных методов теоретической физики для анализа и интерпретации полученных результатов моделирования и сопоставления с экспериментальными данными. Результаты, как отмечено выше, опубликованы в наиболее авторитетных рецензируемых изданиях. Они широко цитируются специалистами в соответствующей области знания и являются крупным вкладом в исследования физики магнитного пересоединения — одного из важнейших процессов в космической и лабораторной плазме.

Считаю, что диссертация Дивина Андрея Викторовича на тему: «Кинетическое и МГД моделирование процессов в бесстолкновительной гелиосферной плазме» полностью соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Дивин Андрей Викторович, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета  
главный научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Полярный геофизический институт»  
д.ф.-м.н., доцент



А. Г. Демехов  
7 декабря 2023 г.

Подпись А. Г. Демехова заверяю.  
Ученый секретарь ПГИ



Т. А. Попова