

ОТЗЫВ

Маловой Хельми Витальевны на диссертацию Дивина Андрея Викторовича на тему «Кинетическое и МГД моделирование процессов в бесстолкновительной гелиосферной плазме», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности

1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертация А.В. Дивина посвящена численному моделированию нестационарных процессов в бесстолкновительной плазме магнитосферы Земли и околоземного окружения, в солнечном ветре и гелиосфере с помощью параллельного открытого кода iPIC3D, основанного на методе макрочастиц. Автор рассматривает широкий круг сложных многомасштабных явлений солнечном ветре и магнитосфере Земли, формирующих космическую погоду. Особое внимание в диссертации уделено процессам магнитного пересоединения в космической плазме, которые являются ключевыми для изменений топологии магнитных полей в космосе, ускорения и переноса частиц, генерации волновой активности и турбулентности. Нестационарные процессы в космосе сложны для исследований *in situ* с помощью космических аппаратов. Построение физических моделей и их компьютерное моделирование являются достаточно надежными средствами, позволяющими исследовать многомасштабные процессы в космосе, интерпретировать и предсказывать взаимозависимые явления в условиях недостатка данных наблюдений. Компьютерные вычисления, однако, могут иметь существенные ограничения, что особенно касается наличия доступных вычислительных мощностей.

На мировом уровне численное моделирование процессов в космической среде является очень важной частью работы по интерпретации и прогнозированию наблюдательных данных. Для расчётов моделей космических систем на современных суперкомпьютерах используются параллельные коды, работа с которыми требует высокой физической и математической подготовки, обширных профессиональных знаний. Диссертация А.В. Дивина по моделированию плазменно-магнитных процессов в космосе актуальна и значима для развития данного направления исследований. Разрабатываемые численные модели могут играть важную роль в научных исследованиях – они позволяют предсказывать новые эффекты, проводить сравнение с экспериментальными данными, а также интерпретировать их и выявлять закономерности.

Долгое время считалось, что токовые слои в магнитосферах планет и солнечном ветре являются структурами, которые следует описывать в рамках магнитогидродинамического приближения. Однако спутниковые миссии в космосе, такие как CLUSTER и MMS, выявили существование тонких токовых структур, масштабы которых сопоставимы с протонными или даже электронными гирорадиусами, и которые вовлечены в процессы магнитного пересоединения. Ценность работ А. В. Дивина состоит в том, что он в течение ряда лет развивает сравнительно новое направление - численное моделирование плазменных процессов в космосе на кинетическом уровне, используя для этого суперкомпьютеры и параллельные вычисления.

С помощью компьютерного моделирования и сравнения с данными наблюдений А.В. Дивиним получены новые интересные результаты в области изучения магнитного пересоединения, в частности, им построена модель электронной диффузионной области с учетом анизотропии электронного давления и произведено сравнение результатов с имеющимися спутниковыми данными. Это актуальная работа, находящаяся на переднем крае

науки - процессы пересоединения уже многие десятилетия находятся в центре внимания в космофизических исследованиях в гелиосфере, короне Солнца, в магнитосферах планет. К сожалению, в диссертации не отражен ответ на вопрос, который несколько десятилетий вызывал ожесточенные споры специалистов по исследованию разрывной (тиринг-) неустойчивости в хвосте магнитосферы Земли – является ли тиринг-мода в хвосте электронной или ионной? Этот вопрос прозвучал в недавнем обзоре (Зеленый и др., Альберт Галеев: проблема метастабильности и взрывного пересоединения, Физика плазмы, 2021, Т. 47, № 9, стр. 771-792, doi: 10.31857/S0367292121090092).

С помощью численного эксперимента А.В. Дивиним изучены процессы магнитного пересоединения в присутствии холодных ионов и показано, что пересоединение возможно. Им изучена динамика фронтов и сепаратрис при пересоединении магнитных полей. Исследована задача срыва взрывного процесса в хвосте магнитосферы Земли благодаря трехмерному моделированию линейной и нелинейной стадий неустойчивости токового слоя хвоста. Большим достижением следует считать работы А.В. Дивина по моделированию мини-магнитосферы кометы Чурюмова-Герасименко, которые позволили объяснить интенсивность наблюдаемых потоков энергичных электронов, и мини- магнитосферы участка лунной поверхности в области магнитной аномалии Рейнер Гамма, позволившему дать объяснение различной окраске лунного грунта в области магнитных аномалий.

В целом диссертация А.В. Дивина производит впечатление многолетней серьезной научной работы, основанной на численном моделировании широкого круга нестационарных процессов в космосе. Список работ, опубликованных автором по теме диссертации, включает 42 публикации в российских и международных журналах.

Несмотря на замечание в отношении роли электронной и ионной популяций в магнитном пересоединении, это несколько не умаляет ценности и значимости диссертации соискателя в целом. Считаю, что диссертация Дивина Андрея Викторовича на тему: «Кинетическое и МГД моделирование процессов в бесстолкновительной гелиосферной плазме» удовлетворяет основным требованиям, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 "О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете", соискатель Дивин Андрей Викторович заслуживает присуждения 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.

Доктор физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
Института космических исследований
Российской Академии наук,

Дата

Х.В. Малова

08 декабря 2023 г.

Подпись Х.В. Маловой заверяю
Ученый секретарь ИКИ РАН

к.ф.-м.н.

Дата



А.М. Садовский

08 декабря 2023 г.