

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Усманова Аркадия Владимировича на диссертацию в виде научного доклада 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

Работа А. В. Дивина посвящена изучению физических процессов в бесстолкновительной гелиосферной плазме. Исследование этих процессов, включающих взаимодействие расширяющейся солнечной короны – солнечного ветра – с магнитосферами планет и с другими объектами солнечной системы, является фундаментальной задачей, решение которой имеет ключевое значение для физики гелиосферы, физики космической плазмы, прогнозирования космической погоды и радиационной безопасности. Среди физических процессов в космической плазме исключительно важную роль играет процесс магнитного пересоединения, при котором энергия магнитного поля взрывным образом преобразуется в тепловую и кинетическую энергию плазмы. Одно из основных направлений работы А. В. Дивина как раз и посвящено построению моделей и исследованию эффектов магнитного пересоединения.

В работе А. В. Дивина моделирование процессов в бесстолкновительной плазме основано главным образом на кинетическом подходе с использованием двух- и трехмерного численного моделирования и больших параллельных вычислительных систем, но также включает трехмерные решения в магнитогидродинамическом (МГД) приближении. Построенные методом PIC (частиц в ячейках) модели с учетом холодных ионов и анизотропии электронного давления в области втекания позволили изучить свойства магнитного пересоединения, в том числе его скорость, энергоэффективность, структуру диффузионной области и баланс сил в окрестности нейтральной линии при различных параметрах плазмы в области втекания.

А. В. Дивиним впервые выполнено кинетическое моделирование магнитного пересоединения в присутствии холодных ионов и показано, что они нагреваются волнами, ускоряются электрическим полем пересоединения и не тормозят процесс пересоединения. Построенные модели успешно апробированы на данных спутников Cluster и MMS. В рамках кинетического подхода изучена структура мини-магнитосфер на поверхности Луны и картина высыпания частиц. Показано, что лунные мини-магнитосферы защищают от воздействия солнечного ветра в течение всех лунных суток. Исследованы особенности плазменной оболочки слабой кометы, позволившие объяснить интенсивность наблюдаемых потоков энергичных частиц на космическом аппарате Rosetta. В рамках трехмерного МГД моделирования исследована флэппинг-неустойчивость хвоста магнитосферы и показано, что искривление токового слоя является критическим параметром для срыва суббури.

Я полагаю, что объем и важность полученных А. В. Дивиним результатов, их научная новизна и практическая значимость являются существенным вкладом в физику гелиосферной плазмы. Результаты диссертации А. В. Дивина достаточно полно описаны в большом (42) количестве публикаций в ведущих мировых рецензируемых журналах.

Считаю, что диссертация в виде научного доклада Дивина Андрея Викторовича на тему: «Кинетическое и МГД моделирование процессов в бесстолкновительной гелиосферной плазме» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Дивин Андрей Викторович несомненно 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.

Член диссертационного совета, доктор физико-математических наук, научный сотрудник Университета Делавэра (г. Ньюарк, Делавэр, США) и Центра космических полетов им. Годдарда Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (г. Гринбелт, Мэриленд, США)



Усманов Аркадий Владимирович

30 ноября 2023 года