

## ОТЗЫВ

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 посвящена численному моделированию процессов в бесстолкновительной плазме магнитосферы и гелиосферы методом "particle-in-cell". Для вычислений используется параллельный открытый код, а соискатель является одним из его авторов и принимал непосредственное участие в его развитии. Вычисления по теме диссертации проводились с использованием как российских, так и зарубежных суперкомпьютеров. Хотя исследование носит, в основном, теоретический характер, но результаты расчетов постоянно сопоставляются со спутниковыми наблюдениями. Особо следует подчеркнуть, что соискателем развита область, слабо представленная в России, - численное моделирование кинетических процессов в бесстолкновительной плазме с помощью суперкомпьютерных расчетов. Из новых результатов для физики космической плазмы, по моему мнению, следует отметить следующие:

Построена кинетическая модель электронной диффузионной области, в которой развивается пересоединение на дневной магнитопаузе. Установлено, что скорость взрывного пересоединения в кинетическом режиме имеет заметную зависимость от внешних параметров. Аналитическая модель электронной диффузионной области успешно апробирована по спутниковым данным.

Впервые проведено кинетическое численное моделирование магнитного пересоединения в ночной магнитосфере в присутствии холодных ионосферных ионов. Создана модель диффузионной области в много-температурной плазме, которая показала, что холодные ионы ускоряются в электрическом поле пересоединения и нагреваются возбуждаемыми волнами.

Много важных результатов по динамике фронтов магнитного пересоединения было получено посредством кинетического моделирования. Выявлены механизмы преобразования энергии на фронте диполизации.

Цикл статей посвящен исследованию взаимодействия солнечного ветра с атмосферой комет и созданию численной модели их плазменного окружения. Продемонстрирован механизм ускорения сверх-тепловых электронов амбиполярным электрическим полем, что позволило объяснить особенности потоков энергичных электронов, зарегистрированных на спутнике Rosetta.

Весьма актуальным оказалось трехмерное моделирование плазменного окружения Луны в полностью кинетическом приближении. Очень интересным представляется образование локальных мини-магнитосфер в области магнитных аномалий на Луне. Формирование мини-магнитосфер и мини-форшока подтвердилось в лабораторном эксперименте.

С помощью трехмерного МГД моделирования изучены линейная и нелинейная стадии неустойчивости двойного градиента (flapping-моды) хвоста магнитосферы Земли. Один из важнейших полученных результатов состоит в том, что искривление токового слоя

является критическим параметром магнитосферного хвоста, определяющим возможность срыва суббури.

С формальной точки зрения автору стоило более четко очертить свой вклад во впечатляющий список работ в высокорейтинговых журналах. В большинстве статей соискатель не является первым автором, что говорит об ограниченном вкладе в работу. Надо пояснить, в чем состоял его вклад по сравнению с зарубежными соавторами.

Диссертация 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", 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.

Результаты диссертации заслушаны и одобрены 3 ноября 2023 г. (онлайн) на заседании семинара Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН.



Пилипенко Вячеслав Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики околоземного пространства Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН

05.12.2023

*Подпись В. А. Пилипенко заверяю*  
Лиходеев Дмитрий Владимирович  
Ученый секретарь Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН



05.12.2023

Почтовый адрес: 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН телефон: +7 (903) 618-4666