

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Клименко Максима 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.

Воздействие потока плазмы солнечного ветра на планеты играет важнейшую роль в эволюции атмосфер планет, а также является драйвером космической погоды. Так, к примеру, по современным представлениям именно воздействие солнечного ветра при отсутствии мощного глобального магнитного поля имеет большое значение для изменения альбедо поверхности Луны. Наша планета, как и многие другие планеты Солнечной системы, обладает собственным магнитным полем, в результате взаимодействия солнечного ветра с которым образуется сложный динамичный объект – магнитосфера Земли. Изучение динамики магнитосферы Земли играет ключевую роль в понимании и прогнозировании явлений космической погоды, которая оказывает существенное влияние на: движение и торможение спутников, находящихся в околоземном космическом пространстве; работе радиотехнических систем связи, навигации и пеленгации; безопасности полетов космонавтов; сбои в работе электросистем, нефте- и газопроводов.

Одним из основных подходов для интерпретации и прогноза динамики магнитосферной плазмы является численное моделирование в магнитогидродинамическом (МГД) приближении. Данный подход применяется для моделирования объектов, которые велики по сравнению с характерными масштабами плазмы. При описании процессов в плазме с функцией распределения далёкой от локального термодинамического равновесия требуется осуществлять численное решение кинетических уравнений с использованием современных суперкомпьютеров. К настоящему моменту отсутствует техническая возможность решать задачу глобального описания магнитосферной плазмы в кинетическом приближении. Поэтому в таком приближении рассматриваются только отдельно взятые структуры и явления в магнитосфере, например процесс магнитного пересоединения в бесстолкновительной плазме. В отличие от Земной магнитосферы мини-магнитосферы масштабом порядка 100 км и менее, образующиеся вокруг малых небесных тел, не обладают глобальным магнитным полем. Мини-магнитосферы можно считать промежуточным объектом исследования на пути к полностью кинетическим расчетам всей магнитосферы Земли.

Диссертация посвящена численному моделированию процессов в бесстолкновительной плазме магнитосферы и мини-магнитосфер Луны и кометы методом “частиц-ячейке”. Соискателем проделана огромная работа по созданию и применению численной модели для описания таких процессов как магнитное пересоединение в магнитосфере Земли, структура мини-магнитосферы Луны и кометы, крупномасштабные осцилляции токового слоя магнитного хвоста. Среди основных научных результатов диссертации хотелось бы выделить следующие. Установлено, что скорость пересоединения, основного взрывного процесса в космической плазме, в кинетическом режиме не является константой. Дано опровержение предположению о том, что холодные

33-06-1656 от 14.12.2023



ионы тормозят процесс магнитного пересоединения. Продемонстрирован механизм ускорения сверх-тепловых электронов амбиполярным электрическим полем, что позволило объяснить интенсивность наблюдаемых потоков энергичных электронов спутником Rosetta вблизи кометы. Доказано существование мини-магнитофер размером в несколько километров (областей, куда не проникает солнечный ветер). Показано, что искривление токового слоя является критическим параметром магнитосферного хвоста, приводящим к срыву суббури.

В качестве единственного замечания хотелось бы отметить, что в диссертации не обсуждается важность учета трехмерности при моделировании кинетических процессов в окрестности диффузионной области, поскольку как известно аномальное сопротивление вносит вклад в бесстолкновительную диссипацию и эффективное сопротивление. Других существенных замечаний по структуре, используемым методам и подходам, форме представления диссертации, и полученным научным достижениям не имею. Работы апробированы в России и за рубежом, имеют важное значение в развитие физики магнитосферы и представляют собой важный этап в развитие глобальной численной модели солнечно-земных связей.

Диссертация в виде научного доклада Дивина Андрея Викторовича 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.

Член диссертационного совета

д.ф.-м.н.,

в.н.с. КФ ИЗМИРАН

Клименко М.В.

Дата

7.12.2023

