

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Андрея Владиславовича Ковалёва на диссертацию в виде научного доклада Андрея Викторовича Дивина 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 Андрея Викторовича Дивина представлена в виде научного доклада на основании работ, опубликованных автором за 10 лет. При помощи суперкомпьютерного численного моделирования кодом iPIC3D соискатель диссертации получил фундаментальные результаты о свойствах магнитного пересоединения в магнитосфере Земли, а также исследовал характерные плазменные процессы в окрестности слабозамагниченных тел солнечной системы. Большая часть работ опубликована в международных журналах первого квартала, что говорит как об актуальности данной тематики, так и высоком уровне самих работ.

Численное моделирование является основным методом теоретического анализа и прогнозирования в тех случаях, когда строгое аналитическое описание процесса затруднено или просто невозможно. Соискателем диссертации получен ряд новых важных результатов и показана принципиальная важность именно кинетического подхода к описанию явлений в бесстолкновительной плазме гелиосферы. Важно отметить, что автор не просто проводил расчеты с использованием конечного программного продукта, но и принимал активное участие в тестировании и разработке дополнений кода iPIC3D. Для достижения целей работы соискателем успешно решен целый ряд вычислительных и технических задач. Так, выполнена задача добавления открытых граничных условий в iPIC3D для проблем, связанных с численным моделированием окрестности Луны и слабых комет. Таким образом, соискатель внес существенный вклад в развитие данного инструмента исследования на стыке физики плазмы и технологий параллельных вычислений.

Главные научные результаты, полученные соискателем:

- В диссертации развиваются модели бесстолкновительного пересоединения в плазме магнитосферы Земли, изучена структура диффузионной области, получено замыкание для тензора электронного давления с учётом незамагниченных траекторий электронов. Сделан вклад в изучение проблемы скорости процесса в кинетическом режиме. Рассмотрено магнитное пересоединение с холодной фоновой компонентой и показано, что холодные ионы ускоряются Холловскими полями на сепаратрисах и не уменьшают скорость пересоединения. Изучена роль нижнегибридных волн на сепаратрисах и фронтах магнитного пересоединения в двух- и трехмерных расчетах.

- Большой научный интерес представляет комплекс разработанных автором диссертации моделей мини-магнитосфер на поверхности Луны, в которых учитывается как простая конфигурация магнитного поля (вертикальный, горизонтальный диполь), так и эмпирическое магнитное поле, полученное с помощью спутниковых наблюдений. Фундаментальным результатом данной части диссертации является получение карты высыпаний частиц солнечного ветра на поверхность для области "Рейнер Гамма". Вычисления показывают хорошее соответствие с оптическими наблюдениями окраски поверхности, что позволяет сделать заключение о ведущей роли сложной конфигурации магнитных полей аномалии в формировании лунного вихря на поверхности.

- Изучено плазменное окружение кометы Чурюмова-Герасименко в режиме слабого испарения. Автором обнаружено ускорение электронов за счет развития амбиполярного потенциала.

- Теоретически и численно изучена неустойчивость двойного градиента ("флэппинг-мода") в МГД приближении. Наиболее важным фактором, вызывающим рост неустойчивости, является искривление магнитосферного хвоста.

Незначительные замечания приведены ниже.

1. Научная новизна численного исследования диффузионной области. Диффузионные области магнитного пересоединения в магнитосфере Земли активно исследуются различными международными группами как посредством численного моделирования, так и экспериментально спутниками MMS, Cluster. Такая особенность, как негиротропия электронного давления в окрестности диффузионной области, известна в численном моделировании с 1990-х годов, а исследованию электронных полумесяцев в функциях распределения посвящено большое количество работ. Соискателю диссертации следовало бы более аккуратно представить собственные результаты и отделить их в тексте от литературного введения по данной тематике.

2. Несомненным является большой личный вклад соискателя в развитие исследования кометных атмосфер методом "частица в ячейке". Данный метод наиболее полно описывает динамику бесстолкновительной плазмы, однако может давать нефизичную картину вблизи кометного ядра, где нейтральный газ обладает большой плотностью и где более разумно использовать МГД приближение с конечной вязкостью. В публикациях автора диссертации отсутствуют количественные оценки зависимости длины свободного пробега частиц от скорости дегазации кометы, что должно давать оценку столкновительности плазмы.

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", 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
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры физики атмосферы СПбГУ

09 декабря 2023 г.



Коваль А.В.