



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Рахмановой Людмилы Сергеевны «Динамика быстрых вариаций параметров плазмы в магнитослое», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – физика Солнца.

Работа Рахмановой Л.С. вполне **актуальна** и представляет как теоретический так и практический интерес. Это связано с тем, что плазменные структуры солнечного ветра, воздействующие на магнитосферу Земли, и влияющие на состояние плазменных оболочек Земли и функционирование спутниковых и наземных систем, могут существенно трансформироваться на головной ударной волне и в магнитослое, и эти многообразные трансформации недостаточно изучены. С другой стороны, спектр турбулентных флуктуаций в магнитослое, несущий важную информацию о диссипативных кинетических процессах в плазме, до сих пор не был изучен для плазменных параметров на коротких (кинетических ионных) масштабах; получение спектра в широком диапазоне масштабов (включая инерционную и кинетическую область) и экспериментальное изучение его изменений в магнитослое важно для понимания процессов диссипации энергии и трансформации плазменных структур.

Целью работы является экспериментальное изучение мелкомасштабных флуктуаций параметров плазмы в магнитослое, включая корреляцию флуктуаций в солнечном ветре и магнитослое, определение характеристик турбулентности плазмы в магнитослое на ионных масштабах и выявление изменений характеристик спектров турбулентности при пересечении магнитослоя.

Задачи работы:

- определение по одновременным измерениям двух спутников степени модификации резких скачков плотности и модуля магнитного поля при переходе этих структур из солнечного ветра в магнитослой;
- установление параметров солнечного ветра, контролируемых корреляцию флуктуаций в солнечном ветре и магнитослое, а также различий корреляции для разных типов солнечного ветра;
- определение характеристик спектров турбулентности плазмы в магнитослое на ионных масштабах;

-выявление систематических изменений характеристик спектра турбулентности в широком диапазоне частот при пересечении магнитослоя.

Научная новизна работы несомненна, поскольку в ней

- Впервые по отечественным спутниковым измерениям, проведенным с высоким временным разрешением в магнитослое, статистически исследованы спектры флуктуаций плазменных параметров в широком диапазоне частот, включающем наряду со средними (инерционными) масштабами и малые (кинетические) масштабы.

- Впервые показаны систематические изменения спектра турбулентности плазмы в магнитослое в широком диапазоне частот в зависимости от положения спутника по отношению к магнитопаузе и околоземной ударной волне.

- По данным одновременных измерений перед и за околоземной ударной волной выявлены основные факторы, влияющие на корреляцию флуктуаций потока плазмы в солнечном ветре и магнитослое. Подтверждено, что высокая корреляция характерна для квазиперпендикулярных ($\theta_{BN} > 45^\circ$) участков ударной волны (УВ), показано что она существенно возрастает при увеличении в солнечном ветре плотности плазмы и модуля межпланетного магнитного поля. На основе корреляционного анализа показано, что в различных крупномасштабных типах солнечного ветра резкие фронты плотности плазмы в разной степени подвержены модификации в магнитослое.

Практическое значение работы связано с тем, что состояние солнечного ветра и сильные его неоднородности определяют космическую погоду. Проходя через магнитослой возмущения солнечного ветра, особенно его транзиенты, значительно трансформируются, причем трансформации многообразны, зависят от типов транзиентных структур, местоположения точки наблюдения в магнитослое и, в сравнении со средним обтеканием магнитосферы, слабо изучены. Выполненная работа расширяет наши знания об этих явлениях.

Материал и методы исследования. В основу работы положен материал измерений параметров плазмы (величины потока и его полярного угла) прибором БМСВ на отечественном спутнике Спектр-Р (с 2011 г), не имеющем аналога по своему высокому временному разрешению. Помимо анализа отдельных событий (индивидуальных плазменных структур), используются известные хорошо апробированные статистические методы (фурье- и корреляционный анализ). Для исследования трансформации индивидуальных структур (скачков плазменных параметров) при переходе в магнитослой в главе 2 проанализированы измерения пары спутников проекта ТЕМИС за 2008-2009гг. База данных ТЕМИС дополненная измерениями спутника СПЕКТР-Р использована для корреляционного анализа одновременных измерений флуктуаций параметров плазмы в солнечном ветре и магнитослое.

Структура работы

Работа объемом 120 стр. состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы (213 наименований); включает 36 рисунков и 3 таблицы.

Введение содержит краткий обзор представлений о магнитослое и свойствах турбулентности космической плазмы в солнечном ветре и магнитослое. Сформулированы цели исследования, отмечается их значимость и новизна, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Информация об использованных экспериментальных данных, методиках их обработки и моделях применявшихся для определения положения границ магнитослоя приведена в Главе 1.

Глава 2 посвящена сравнению одновременных измерений в солнечном ветре и в магнитослое. С целью определить степень модификации поступающих в магнитослой плазменных структур, проведен анализ 15 событий измерений спутниками ТЕМИС в примерно сопряженных по потоку плазмы участках солнечного ветра и переходной области. На существенно большем материале получены сведения о зависимости коэффициента корреляции параметров в двух областях и факторах способствующих высокой корреляции. Найдены заметные различия в уровне корреляции флуктуаций для разных типов солнечного ветра.

Анализу частотных спектров флуктуаций потока плазмы и его полярного угла по измерениям прибором БМСВ с уникально высоким временным разрешением посвящена Глава 3. Полученные спектральные характеристики сопоставлены с известными измерениями в солнечном ветре и (в более узком диапазоне частот) в магнитослое.

В Главе 4 анализируются индивидуальные пролеты и средние пространственные изменения типов и количественных характеристик спектров турбулентности плазмы внутри магнитослоя при его пересечениях спутником Спектр-Р через магнитослой. Установлены систематические различия формы частотных спектров флуктуаций потока ионов и их количественных параметров в зависимости от расстояния спутника по отношению к магнитопаузе и головной ударной волне.

Основные результаты и выводы работы приведены в Заключении.

Обоснованность и достоверность защищаемых положений определяется большим объемом проанализированных измерений и использованием для детального статистического исследования апробированных статистических методов. Полученные авторами характеристики спектров для области солнечного ветра и (в более узком диапазоне частот) магнитослое согласуются с полученными ранее независимыми определениями других авторов. В целом обоснованность и достоверность защищаемых положений и выводов не вызывает сомнений.

В то же время к работе можно сделать ряд замечаний.

1. В главе 2, где по экспериментальным данным анализируется прохождение скачков плотности через ударную волну, стоило учесть и использовать теоретические результаты о взаимодействии тангенциальных разрывов с ударными волнами. В будущем можно также порекомендовать активнее использовать возможности глобального МГД моделирования, которое естественно применять для рассматриваемой задачи. Почему-то убраны из анализа случаи квазипараллельной ударной волны УВ, для которых, судя по обзору, вариации плотности наблюдаются чаще.
2. Если интересоваться приложениями результатов гл.2 о трансформации разрывов при их прохождении через ударную волну и магнитослой, то было бы уместно привести результаты не только об изменении амплитуды и длительности скачка, но скорее об изменении их отношения (dN/dt) , которое имеет более прямое отношение к генерации индукционных теллурических токов, создающих помехи в трубопроводах, ЛЭП и пр.

длинных линиях. При дальнейшем развитии этой темы целесообразно включить в рассмотрение межпланетные ударные волны, являющиеся основным генератором экстремальных величин dB/dt .

3. В итоговом разделе главы 2 получен интересный результат о различии корреляции флуктуаций в ветре и магнитослое в разных типах солнечного ветра. К сожалению на этом глава заканчивается, хотя у читающего остается вопрос- сводятся ли эти различия к различиям средних значений параметров (изменчивости, угла θ_{BN} , и пр., см.разделы 2.3-2.4) контролирующей корреляцию флуктуаций в двух сравниваемых областях, или причины различий какие-то иные?
4. Результат о систематической зависимости параметров спектра флуктуаций от расстояния спутника по отношению к ударной волне (УВ) и магнитопаузе (в зависимости от параметра D) важен и интересен для последующей разработки, однако его следует считать предварительным вследствие специфических условий наблюдения на Спектре-Р. Действительно, параметры при разных D определялись на траекториях течения плазмы, стартующих с разных участков ударной волны (с головной части для линий течения у магнитопаузы и с хвостовой части УВ для измерений в ее окрестности). и имеющих разную длину. При этом участки УВ в подсолнечной точке и в хвостовой области сильно отличаются по интенсивности УВ и величине диссипации энергии.
5. Можно указать на ряд методических погрешностей. Так, классификация условий на ударной волне в Главах 3, 4 проводится на основании данных спутника WIND. Почему не использованы данные спутника ACE, который в среднем располагается ближе к линии Солнце-Земля и дает более точные параметры для плазмы взаимодействующей с магнитосферой? Также, из текста неясно –проводилось ли трассирование линии течения (и определение условий на ударной волне) для каждого интервала построения спектра, или один раз за пересечение магнитослоя (чего недостаточно).

Сделанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку диссертации. В целом работа выглядит достаточно последовательной, профессиональной, содержит большой научный материал и новые результаты, которые были хорошо представлены научной общественности.

Л.В.Рахманова овладела методами экспериментального анализа плазменных явлений в околоземной турбулентной плазме и показала себя квалифицированным специалистом. Основные результаты были представлены на многих международных и российских конференциях и опубликованы в 18 статьях, включая 10 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК, учитываемых в базах WoS, Scopus и РИНЦ .

Тема диссертации соответствует специальности 01.03.03 – физика Солнца; автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Рассматриваемая диссертация представляет собой важное научное исследование, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842). Автор диссертации, Рахманова Людмила Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности:01.03.03 – физика Солнца

Отзыв составил доктор физико-математических наук, профессор В.А.Сергеев . Отзыв обсуждался и утвержден на заседании кафедры физики Земли Санкт-Петербургского государственного университета, протокол № 88.08/15-04-3 от 19.04. 2019г.

Сергеев Виктор Андреевич,

доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Земли

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Университетская наб.7/9

Санкт-Петербург,199034

e-mail: v.sergeev@spbu.ru

тел. (812) 328-9489

Личную подпись заверяю

НАЧАЛЬНИК ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ № 3

Н. И. М.



19.04.2019