

Тема ПЛАЗМА. Проведение фундаментальных исследований в области физики космической плазмы, солнечно-земных связей и физики магнитосферы.

Гос. регистрация № 0120.0 602992

Научный руководитель д.ф.-м.н Петрукович А.А.

I. Солнце и солнечная корона

1. Источник солнечных протонов: температура вспышечной плазмы и моменты инъекции

Исследовалась связь между моментами инъекции солнечных протонов ~ 100 МэВ в гелиосферу и температурой вспышечной плазмы в девяти событиях 23-го цикла. Моменты инъекции оценивались по времени прихода первых протонов до наблюдателя в плоскости эклиптики по данным антисовпадательной защиты спектрометра на ИНТЕГРАЛе (ACS SPI) и протонного канала 84-200 МэВ (GOES), а температура - по отношению интенсивностей рентгеновского излучения в двух энергетических каналах GOES. Выбор нулевого момента времени с учетом подобия временных профилей температуры в различных событиях приводит к организации временных профилей как жесткого рентгеновского и гамма излучения, так и интенсивности солнечных протонов на орбите Земли. Это свидетельствует о характерной перестройке конфигурации магнитного поля в конце импульсной фазы, приводящей к изменению режима нагрева плазмы и способствующей выходу СКЛ в гелиосферу.

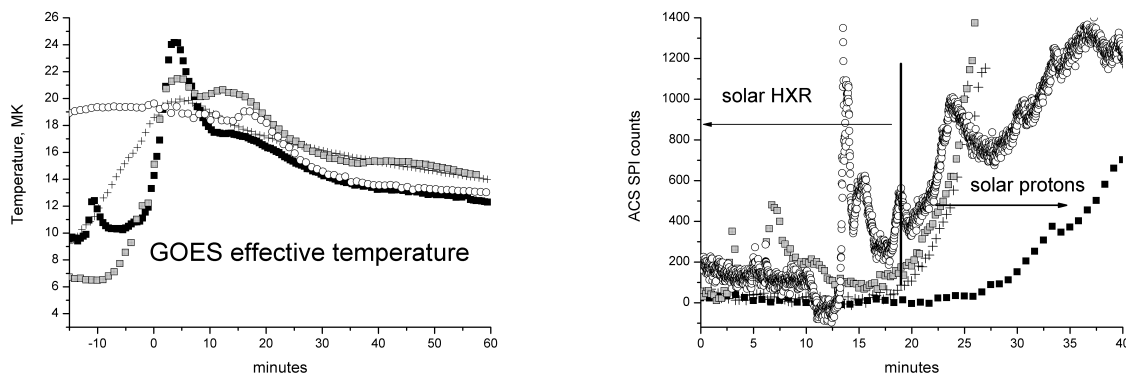


Рис. 1. Температура вспышечной плазмы и темп счета детектора ACS SPI в событиях 26 октября 2003 (кресты); 17 января 2005 (открытые кружки); 13 и 14 (открытые и черные квадраты) декабря 2006.

Струминский А.Б., Источник солнечных протонов: температура вспышечной плазмы и моменты инъекции, Известия РАН. Серия физическая, 2011, том 75, №6, с. 818.

А.Б. Струминский, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, astrum@iki.rssi.ru

2. Гигантские события 23-го цикла: свойства и различия

Рассматривались гигантские рентгеновские события ($>X17$) 23-го солнечного цикла (28 октября и 4 ноября 2003; 7 сентября 2005), чье жесткое рентгеновское излучение полностью наблюдалось с борта КА ИНТЕГРАЛ (ACS SPI >150 кэВ), но лишь частично КА RHESSI. Эти события сравниваются с двумя наибольшими событиями, наблюдавшимися полностью КА RHESSI (X8.3, 2 ноября 2003 и X7.1 20 января 2005). Временные профили эффективной температуры вспышечной плазмы, вычисленной по данным SXR GOES, в этих пяти событиях

имеют сходную структуру, что позволило выбрать нулевой момент времени в каждом событии и сравнивать динамику их развития. Интенсивности HXR и микроволнового излучения были выше фоновых значений более часа. Нетепловое излучение началось примерно за 10 мин до нулевого времени в предвспышечной фазе. Активная импульсная фаза длилась около 20 мин и состояла из нескольких пиков HXR излучения (ACS SPI), которые превышали фон на четыре порядка, и свидетельствовала о нескольких эпизодах ускорения электронов и нагрева плазмы с различной эффективностью. Показано, что предельные интенсивности SXR излучения гигантских вспышек были результатом изменения концентрации тепловых электронов, а, следовательно, меры эмиссии. При этом вариации интенсивности электронов, генерирующих HXR излучение с энергией >100 кэВ, играли незначительную роль. Наблюдения π^0 распада и времени прихода релятивистских протонов на Землю свидетельствует о достижении ускоренными протонами релятивистских энергий после 4 мин.

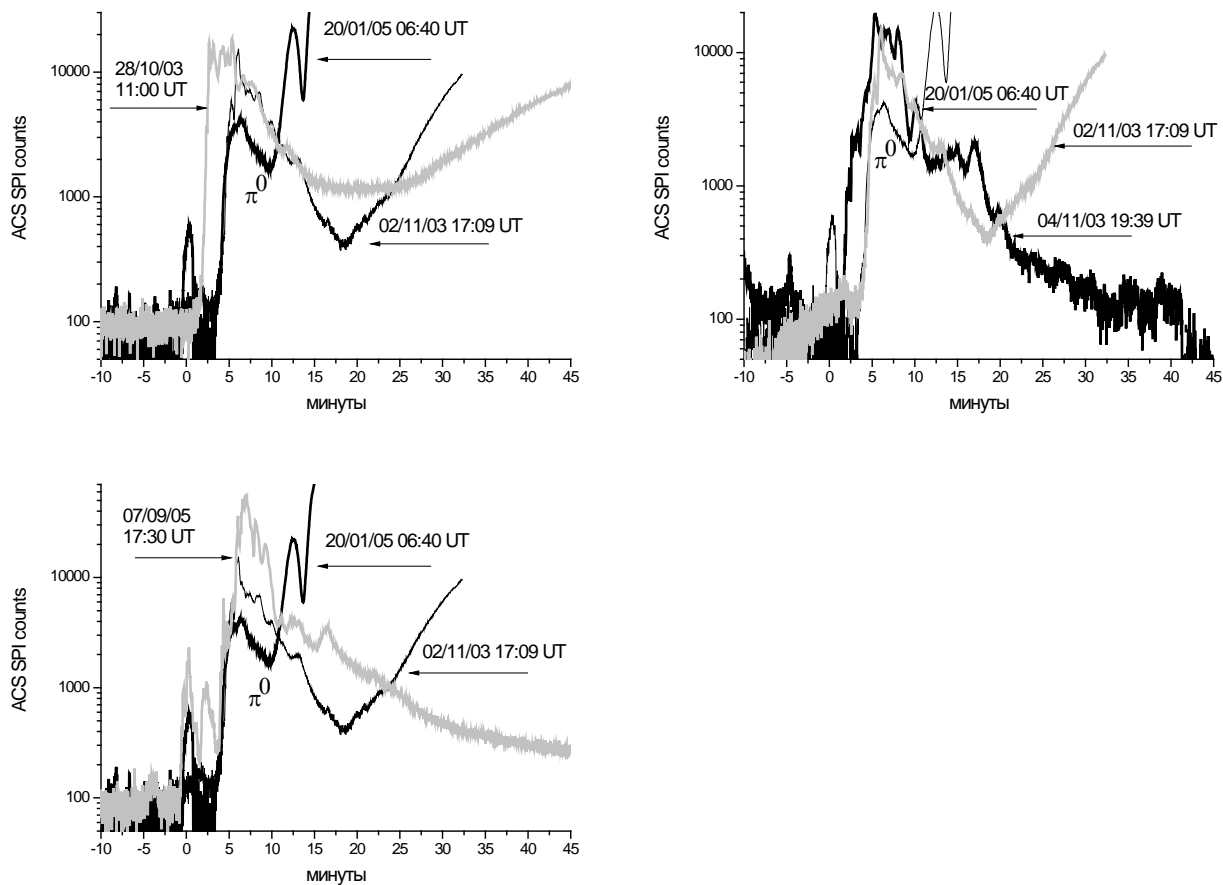


Рис. 2. Темп счета ACS SPI, показано время ожидаемого или наблюдавшегося π^0 распада.

Струминский А.Б. Гигантские события 23-го цикла: сходства и различия // Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца, солнечная и солнечно-земная физика-2011 /Под ред. А.В. Степанова и Ю.А. Наговицина, СПб, ГАО РАН, 2011 (в печати).

А.Б. Струминский, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, astrum@iki.rssi.ru

3. Медленные магнитозвуковые волны в двухленточных вспышках

Известно, что в некоторых двухленточных солнечных вспышках триггерное возмущение, инициирующее процесс энерговыделения, распространяется преимущественно вдоль оси

аркады магнитных петель со скоростью всего несколько десятков км/ч, что значительно ниже характерных альфвеновской и звуковой скоростей. Показано, что подобное триггерное возмущение может интерпретироваться как медленные магнитоакустические волны (ММВ). ММВ могут эффективно распространяться поперек силовых линий магнитного поля – вдоль оси аркады и линии инверсии магнитного поля – посредством эффекта волновода за счет отражения в подножиях петель аркады. Перпендикулярный магнитному полю компонент групповой скорости ММВ составляет десятые доли звуковой скорости, что соответствует наблюдениям. Максимальное значение групповой скорости ММВ увеличивается с ростом отношения звуковой и альфвеновской скоростей. Для широкого диапазона параметров задачи, соответствующих реальным физическим условиям во вспышечных областях, максимальное значение групповой скорости ММВ соответствует распространению под углами 25-28 градусов к магнитному полю. Показано, что рассмотренный механизм распространения ММВ может быть применим для объяснения квазипериодических пульсаций жесткого электромагнитного излучения двухленточных вспышек.

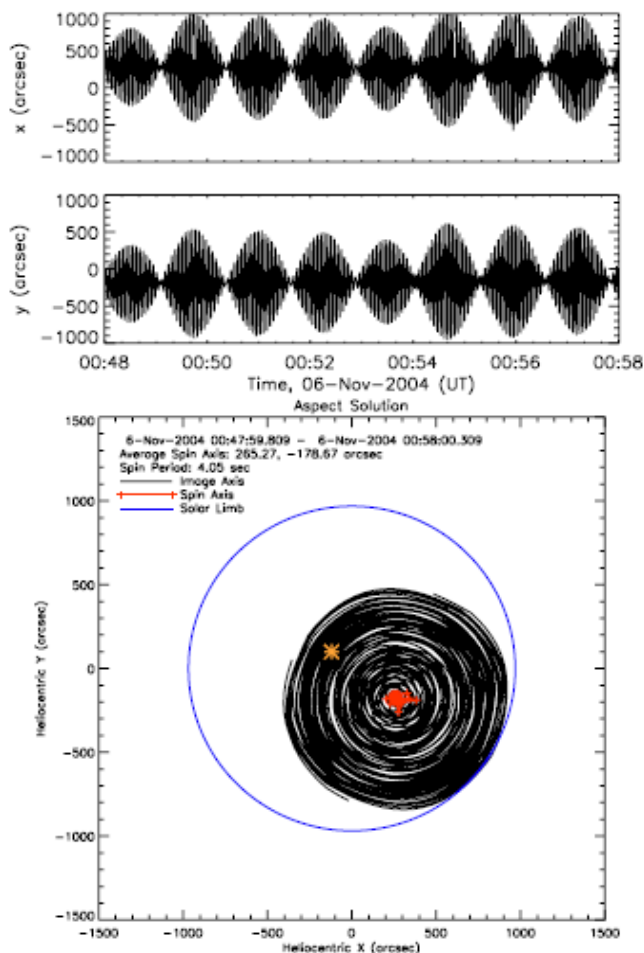


Рисунок 1. (Верхняя панель) Изменение положения “изображающей” оси телескопа-спектрометра рентгеновского излучения RHESSI во время солнечной вспышки 6 ноября 2004 г. по осям x и y солнечной системы координат. Прослеживается период обращения RHESSI вокруг собственной оси ~ 4 с и период нутации ~ 75 с. (Нижняя панель) Изменение положения “изображающей” оси (черная кривая) и оси вращения (красная кривая) RHESSI в интервале времени 00:48-00:58 UT. Рыжая звездочка указывает положение вспышки на диске Солнца. Синяя окружность – лимб Солнца, определенный с помощью системы оптических датчиков RHESSI.

Nakariakov, V.M. & Zimovets, I.V. *Slow Magnetoacoustic Waves in Two-ribbon Flares* // The Astrophysical Journal Letters, Volume 730, Issue 2, article id. L27 (2011).

И.В. Зимовец, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, ivanzim@iki.rssi.ru

4. Приборные осцилляции темпов счета телескопа-спектрометра рентгеновского излучения RHESSI во время солнечных вспышек

Многие солнечные вспышки сопровождаются квазипериодическими пульсациями (КПП) рентгеновского излучения, механизмы генерации которых до сих пор не известны. Единственным на сегодняшний день функционирующим инструментом, позволяющим изучать солнечные источники жесткого рентгеновского излучения с пространственным разрешением (до $2.3''$), является космический телескоп-спектрометр RHESSI. В рамках данной работы:

1. обнаружены не принимаемые ранее в расчет приборные осцилляции в данных RHESSI;
2. установлена причина этих осцилляций – модуляция потока детектируемого рентгеновского излучения за счет нутации космического аппарата RHESSI;
3. разработана методика избавления от этих приборных осцилляций для надежного изучения реальных вспышечных КПП с помощью RHESSI.

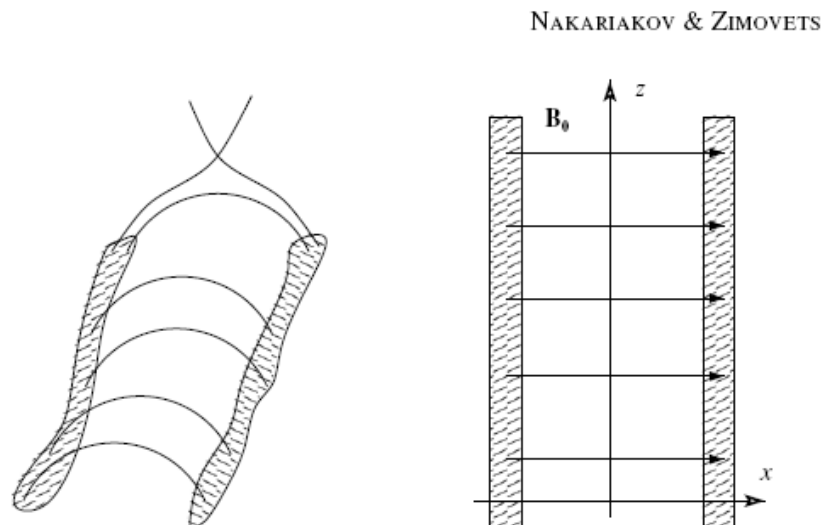


Figure 1. Magnetic arcade of a two-ribbon flare (on the left) and its model (on the right). The thick lines show the magnetic field lines. The hatched regions show the flare ribbons.

A.R. Inglis, I.V. Zimovets, B.R. Dennis, E.P. Kontar, V.M. Nakariakov, A.B. Struminsky, and A.K. Tolbert Instrumental oscillations in RHESSI count rates during solar flares // *Astronomy & Astrophysics*, 530, A47 (2011).

И.В. Зимовец, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, ivanzim@iki.rssi.ru

5. Предложен сценарий развития солнечной вспышки на основе взаимосвязи слабых и мощных солнечных событий.

Предложен сценарий развития солнечной вспышки на основе суперпозиции элементарных актов энерговыделения в слабых и мощных солнечных событиях. Данный сценарий развития вспышки предложен как интерпретация экспериментальных данных, полученных со спутников ИНТЕРБОЛ, GOES, RHESSI. Были исследованы слабые солнечные события с мощностью потока рентгеновского излучения не более 10^{-8} Вт/м² и общим энерговыделением 10^{25} эрг, описаны их характеристики. Предложен механизм возникновения таких событий. Были исследованы также крупные вспышки класса X. Обнаружены дискретные минутные импульсы в жесткой компоненте рентгеновского излучения вспышек класса X. Выдвинута гипотеза единого вспышечного механизма на основе взаимосвязи мощных и слабых солнечных событий.

Мирзоева И.К., “Сценарий развития солнечной вспышки на основе взаимосвязи слабых и мощных солнечных событий”, Сборник “Солнечно-земная физика”, СО РАН, т.19, с.10-17, 2011г.

Мирзоева И.К., к.ф.-м.н., colombo2006@mail.ru

6. Обобщенная ретроспективная работа по малым солнечным событиям. Исследование солнечных событий по данным проектов INTERBALL, GOES, RHESSI.

1. По данным, полученным в проекте “Интербол-Хвостовой зонд” был выделен и обработан ряд периодов (приведены данные в основном за 1995год), в которых наблюдались солнечные события очень малой мощности в рентгеновском диапазоне излучения Солнца. В области энергий от 2 до 15 кэВ выделен класс солнечных событий (класс 0) с общим энерговыделением от 10^{25} до 10^{26} эрг со следующими характеристиками:

- длительность: $30 \div 300$ с;
- мощность всплеска: $4.5 \times 10^{-9} \div 10^{-8}$ Вт/м²;
- превышение максимальной интенсивности всплеска над тепловым фоном: $1 \div 5$ имп/с;
- значение теплового фона: $6 \div 10$ имп/с.

2. Обнаружено существование нижнего предела в распределении слабых солнечных вспышек по энергиям, при этом, процессы, происходящие в микровспышках, лежащих близ данного предела имеют смешанный характер, т.е. являются комбинацией теплового и тормозного рентгеновского излучения. Получены кривые распределения числа микровспышек в зависимости от их мощности.

3. Выявлено смещение максимума энергетического спектра слабых рентгеновских всплесков в более жесткую область исследуемого диапазона при переходе от минимума цикла солнечной активности к его максимуму.

4. Определено значение теплового фона рентгеновского излучения Солнца в области малых энергий на различных участках цикла солнечной активности. Выявлена взаимная связь числа слабых всплесков в рентгеновском диапазоне и разброса значений теплового фона.

5. Выявлена корреляция среднесуточных значений максимумов потоков рентгеновских всплесков микровспышек разных классов с величинами среднесуточных значений теплового фона – рентгеновского излучения солнечной короны, что позволяет сделать вывод о существенном вкладе энерговыделения микровспышек в процесс нагрева солнечной короны. Однако, в связи с малым числом микровспышек, их энерговыделения не достаточно для поддержания постоянного нагрева по всему объему солнечной короны

Мирзоева И.К., “Микровспышки в рентгеновском диапазоне излучения Солнца”, международный издательский дом LAP (LAMBERT Academic Publishing), 2011г.

Мирзоева И.К., к.ф.-м.н., colombo2006@mail.ru

II. Солнечный ветер

7. Эксперимент «Плазма-Ф» работает на орбите

18 июля 2011 г. был запущен высокоапогейный спутник Земли «Спектр-Р», на котором установлен комплекс научного эксперимента «Плазма-Ф»
Этот комплекс включает в себя:

- монитор энергичных частиц МЭП (руководитель работ от ИКИ А.А. Петрукович);
- энергоспектрометр плазмы БМСВ (руководитель работ от ИКИ Г.Н. Застенкер);
- магнитометр ММФФ (руководитель работ от ИКИ А.А. Скальский);
- систему сбора научной информации ССНИ-2 (руководитель работ Л.С. Чесалин).

Приборы были включены после 05.07.2011 г. и с тех пор (за исключением прибора ММФФ) непрерывно работают на орбите выдавая качественно новую научную информацию. ССНИ-2 обеспечивает гибкое управление потоками информации от приборов в условиях жесткого ограничения длительности сеансов связи с КА.

Ключевой особенностью приборов МЭП и БМСВ является их чрезвычайно высокое (рекордное) временное разрешение, что позволяет исследовать тонкие структуры и быстрые процессы в солнечном ветре и во внешней магнитосфере Земли. Так, например, с помощью прибора БМСВ были обнаружены быстрые (за доли секунды) и большие (на несколько градусов) вариации углов прихода потока солнечного ветра, что до сих пор еще никем не наблюдалось. Прибор МЭП позволил наблюдать квази-периодическую структуру возрастания потока ионов с энергией около 200 кэВ с периодом, близким к периоду циклотронного вращения протонов в магнитном поле солнечного ветра.

Первые результаты работы комплекса «Плазма-Ф» уже опубликованы.

Застенкер Г.Н., Зеленый Л.М., Петрукович А.А., Назаров В.Н., Чесалин Л.С. и др., «Загадки солнечного ветра», «Российский космос», №10, 2011 г. стр. 26-31.

Г.Н. Застенкер, проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru

А.А. Петрукович, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

Л.С. Чесалин, к.ф.-м.н., т. 333-30-67, lchesali@iki.rssi.ru

В.Н. Назаров, т.333040-45

8. Исследование структуры аномалии горячего потока (АГП) плазмы у фронта околоземной ударной волны

Целью исследования является изучение структуры аномалии горячего потока (АГП), обнаруженной хвостовым зондом проекта Интербол, 14 марта 1996г. Работа основана на данных, полученных ионным спектрометром СКА-1, электронным спектрометром Электрон, а так же магнитометром МИФ-3. Вычислена ориентация межпланетного токового слоя, предположительно сформировавшего эту аномалию. По динамическим спектрам ионов и электронов выделено несколько характерных областей в самой аномалии. С помощью информации о локальной геометрии ударной волны выяснено, что электрическое поле, возникшее из-за движения заряженных частиц, было направлено к токовому слою по обе стороны от него, что согласуется с более ранними предположениями о причинах возникновения АГП.

Была произведена оценка скорости смещения аномалии вдоль ударной волны и оценка размера АГП. Анализ скоростей плазмы в аномалии показал, что образование является расширяющимся в стороны от токового слоя. Вероятной причиной этого расширения является соотношение внутреннего и внешнего давлений в области аномалии. Подробное изучение функций распределения ионов по скоростям показало, что аномалия состоит из двух частей, при этом в одной части образования скорости плазмы имеют солнечное направление, что может свидетельствовать о конвективных процессах в АГП. Анализ магнитных полей и функций распределения ионов по скоростям позволил определить область энерговыведения.

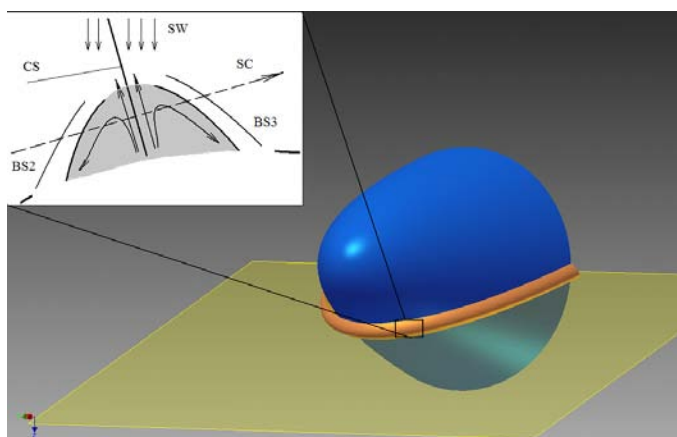


Схема образования и устройства АГП. Синим цветом – отошедшая ударная волна, жёлтым – межпланетный токовый слой, оранжевый – разогретая плазма. На схеме: BS2, BS3 – вторичные ударные волны, как на препятствии, SW – поток солнечного ветра, CS – линия токового слоя, секущего ударную волну, штриховой линией отмечено возможное направление сечения области космическим аппаратом (SC), серым цветом закрашена область термализованной плазмы, стрелками в этой области отмечено одна из возможных схем конвективных течений плазмы внутри.

А. Ю. Шестаков, О.Л. Вайсберг, Исследование структуры аномалии горячего потока (АГП) плазмы у фронта околоземной ударной волны, Геомagnetизм и Аэрономия, 2011, принято в печать.

А. Ю. Шестаков, sartiom1@yandex.ru
 О.Л. Вайсберг, д.ф.-м.н., olegv@iki.rssi.ru

9. Аналитическая модель электрических токов в переходной области магнитосферы.

Построена аналитическая модель объемных электрических токов в области между головной ударной волной Земли и магнитопаузой. Найдены поверхностные токи на головной ударной волне и на магнитопаузе при их параболической форме. Свободными параметрами модели являются: 1) вектор межпланетного магнитного поля, 2) число Маха в солнечном ветре, 3) расстояния от Земли до лобовой точки головной ударной волны и магнитопаузы; 4) фактор сжатия магнитного поля на магнитопаузе. Выполнены численные расчеты электрических токов в рамках модели при различных параметрах. Электрические токи могут по-разному соединять магнитосферу с гелиосферой.

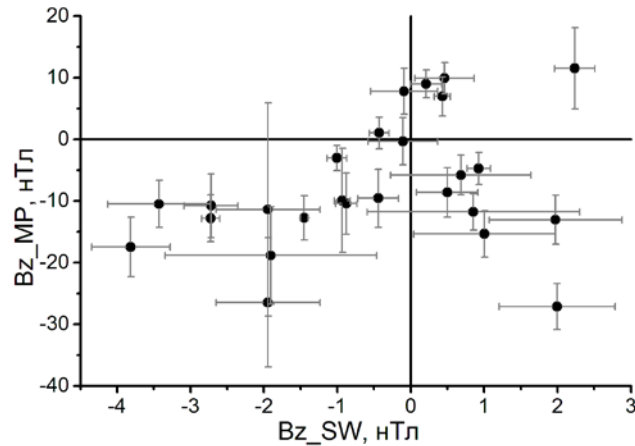
Е. Romashets, M.Vandas, I.S. Veselovsky. Analytical description of electric currents in the magnetosheath region, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2010, Volume 72, Issue 18, 1401-1407.

Веселовский И. С., д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

10. Исследование турбулентных флуктуаций в магнитослое

Результаты наблюдений в магнитослое неоднократно демонстрировали существование высокого уровня флуктуаций магнитного поля намного превышающего уровень флуктуаций в солнечном ветре. Существование таких флуктуаций требует определения зависимости величины и ориентации магнитного поля у магнитопаузы от величины и ориентации магнитного поля в солнечном ветре. Обычно при анализе процессов внутри магнитосферы используются данные, полученные на значительном удалении от магнитосферы (ACE, Wind и др.). При этом направление магнитного поля в солнечном ветре может измениться и не совпадать с полем, действующим на магнитосферу. Проект THEMIS давал возможность сравнивать поле непосредственно перед ударной волной и у магнитопаузы. Полученные предварительные результаты показывают (см. рис.), что вследствие развития турбулентных процессов в магнитослое, магнитное поле у магнитопаузы сильно отличается от предсказаний теории ламинарного течения плазмы с замороженным магнитным полем, вплоть до изменения

знака. Остается нерешенным вопрос об условиях баланса давлений на магнитопаузе при турбулентных флуктуациях магнитного поля в магнитослое. Работы в данном направлении продолжались с использованием методики, описанной в работе [Знаткова и др., 2011]. Был проведен отбор событий, позволяющих одновременно сравнивать параметры плазмы и магнитного поля вне и внутри магнитопаузы на близких расстояниях.



Зависимость z -компоненты магнитного поля у магнитопаузы от магнитного поля солнечного ветра непосредственно перед ударной волной для рассмотренного набора из 26 событий при усреднении за период 30 секунд с момента пересечения магнитопаузы [Pulinets et al., 2011]

Знаткова С. С., Е. Е. Антонова, Г.Н. Застенкер, И. П. Кирпичев, Баланс давлений на магнитопаузе вблизи подсолнечной точки по данным наблюдений спутников проекта THEMIS, *Космические исследования*, т. 49, №1, с. 5-23, 2011.

Pulinets M. S., M. O. Riazantseva, E. E. Antonova, I. P. Kirpichev, The Dependence of the Magnetic Field Near the Subsolar Magnetopause on IMF in Accordance with THEMIS Data, 20th Annual Conference of Doctoral Students WDS'11 "Week of doctoral students 2011" Charles university faculty of mathematics and physics Prague, Czechia, May 31, 2011 to June 3, 2011, Part II Physics of Plasmas and Ionized Media, editors J. Šafránková and J. Pavlů, pp. 45-51, 2011. ISBN 978-80-7378-185-9.

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru

Застенкер Г.Н., проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru

Кирпичев И. П., к.ф.-м.н., т. 333-1467, ikir@iki.rssi.ru

11. Использование спутниковых данных для понимания процессов переноса горячей плазмы, удерживаемой в термоядерных установках

Сравнительный анализ фундаментальных свойств флуктуаций в турбулентных погранслоях (ТПС) вблизи границ плазмы, удерживаемой в термоядерных установках, и на магнитосферных границах (по данным спутников ИНТЕРБОЛ-1, GEOTAIL и CLUSTER) показал схожесть их основных статистических характеристик, в том числе, зависимости от масштабов (скейлинга) структурных функций (см. Рисунок) и параметров мультифрактальности. Наблюдаются перемежаемый характер флуктуаций и аномальный перенос массы и импульса за счет спорадических инъекций быстрых плазменных потоков (деформирующих магнитосферу на глубину зоны взаимодействия с потоком и проникающих на стенки камер), которые имеют существенно негауссовский характер функции распределения значений параметра X (плотность и поток плазмы и величина магнитного поля) и описываются лог-пуассоновской моделью с квазиодномерными диссипативными структурами и со скейлингом $\zeta(q)$ [1]:

$$\zeta(q) = (1-\Delta)\frac{q}{3} + \frac{\Delta}{1-\beta} \left[1 - \beta^{\frac{q}{3}} \right]$$

где $S_q(\tau) = \langle |\delta_\tau X|^q \rangle \sim \tau^{\zeta(q)}$ – структурная функция порядка q , $\delta_\tau X = X(t+\tau) - X(t)$.

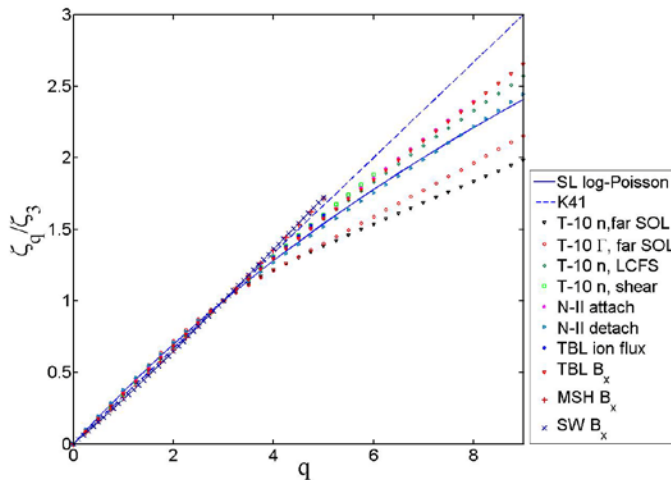
Закон среднеквадратичного смещения частиц, $\langle \delta x^2 \rangle$, со временем, τ , полученный из экспериментально определенных параметров лог-пуассоновского распределения Δ и β ,

$$\langle \delta x^2 \rangle \sim \tau^\alpha,$$

с показателем $\alpha = 1 + \Delta(1-\beta)/\beta \approx 1,2 \div 1,8$ [1,2] свидетельствует о наличии супердиффузии в изучаемых ТПС как в термоядерных установках, так и на границе магнитосферы.

Преимуществом магнитосферных измерений является малый размер датчиков по отношению к характерным масштабам (инерционные длины и гирорадиусы) и малые характерные частоты из-за много меньшего магнитного поля и плотности. Лабораторные же измерения позволяют получить множественные пространственные профили (с меньшим разрешением), для которых были бы необходимы несколько десятков спутников.

Определение характера обобщенного диффузионного процесса из регулярных данных является одним из шагов на пути количественного описания процессов переноса в ТПС.



Скейлинги $\zeta(q)/\zeta(3)$, нормированные на скейлинг 3 порядка, для ТПС в термоядерной и геомагнитной плазме [1]. Колмогоровский K41 (пунктир) и лог-пуассоновской с $\beta=\Delta=2/3$ (линия) спектры. Токамак T-10 (T-10 n far SOL – плотность плазмы, T-10 Г far SOL – поток частиц), у последней замкнутой магнитной поверхности (T-10 LCFS), и в слое, разрушенном широм скорости (T-10 Shear); в NAGDIS-II при ухудшенном (N-II attach) и при улучшенном удержании плазмы (N-II detach); поток ионов в ТПС по данным «ИНТЕРБОЛ-1» (TBL ion flux, 29.03.1996 г.), магнитное поле в ТПС (TBL B_x , 19.06.1998 г.) и вне ТПС (MSH B_x), в солнечном ветре (SW B_x).

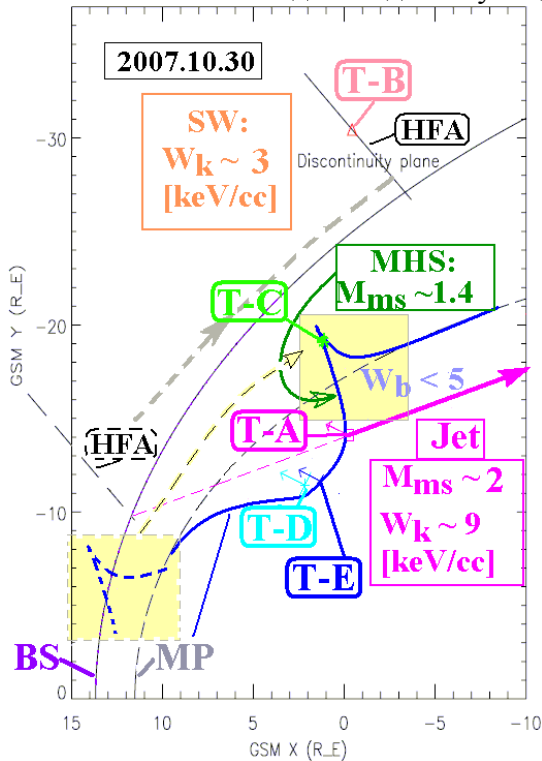
В. П. Будаев, С. П. Савин, Л. М. Зеленый, Наблюдения перемежаемости и обобщенного самоподобия в турбулентных пограничных слоях лабораторной и магнитосферной плазмы: на пути к определению количественных характеристик переноса, УФН, т. 181, №9, с. 905-952, 2011.

С. П. Савин, д.ф.-м.н., т. 333 11 00, E-mail: ssavin@iki.rssi.ru

12. Аномальное взаимодействие потока плазмы с погранслоем геомагнитной ловушки.

На основе данных спутников ИНТЕРБОЛ-1, GEOTAIL, THEMIS и CLUSTER объяснен механизм аномальной динамики магнитослоя, границы которого могут локально деформироваться на расстояния, сравнимые с его толщиной. Так, граница магнитосферы – магнитопауза – прогибается на несколько радиусов Земли R_E под действием сверхмагнитозвуковых плазменных струй (СПС), а не минимумов давления плазмы, как предполагалось ранее. СПС с кинетическим давлением в несколько раз большим давления солнечного ветра и магнитного давления под магнитопаузой способны смять ее и даже вытолкнуть ее край из области магнитослоя, определяемой средним балансом давлений. Аномальная динамика магнитослоя инициируется аномалиями потока плазмы (АП), вызываемыми вращательными разрывами, скачками давления в солнечном ветре и межпланетными ударными волнами, взаимодействующими с головной ударной волной. Нами

показано, что механизм образования СПС, прилегающих к АП, связан с компенсацией уменьшения потока в АП за счет ускорения потока в СПС, обусловленного полем поляризации на внешней границе АП. Статистически СПС являются экстремальными событиями со свойствами перемежаемости и мультифрактальности в погранслоях геомагнитной ловушки. Т.о. СПС обеспечивают «дальнодействующую» связь между глобальными и микромасштабами.



Деформация магнитопаузы (обозначено "MP", THEMIS, 30.10. 2007 г.) под действием СПС ("Jet", $M_{ms} \sim 2$), вызванным, по всей видимости, АП ("HFA"). Обозначено также: "SW"- солнечный ветер, "MSH"- магнитослой, магнитное давление - W_b в $[кэВ/см^3]$. Приблизительная позиция АП ("HFA") в событии "B", в которой образовался СПС ("Jet"), показана пунктиром (см. "HFA" в пунктирной рамке в левой нижней части Рис.), тонким пунктиром на продолжении вектора "Jet" дана вероятная траектория СПС ("Jet") от ударной волны до магнитопаузы.

В дневном магнитослое выступ магнитопаузы (пунктир в залитом квадрате с пунктирной границей) может выходить за среднюю ударную волну ("BS") [1].

С С. П. Савин, В. П. Будаев, Л. М. Зеленый, Э. Амата, Д. Сайбек, В. Н. Луценко, Н. Л. Бородкова, Х. Занг, В. Ангелопулос, Я. Шафранкова, З. Немечек, Я. Бленцки, Й. Бюхнер, Л.В. Козак, С. А. Романов, А. А. Скальский, В. Красносельских, Аномальное взаимодействие потока плазмы с погранслоем геомагнитной ловушки, Письма в ЖЭТФ, т. 93, вып. 12, с. 837-846, 2011.
В. П. Будаев, С. П. Савин, Л. М. Зеленый, Наблюдения перемежаемости и обобщенного самоподобия в турбулентных пограничных слоях лабораторной и магнитосферной плазмы: на пути к определению количественных характеристик переноса, УФН, т. 181, №9, с. 905-952, 2011.

С. П. Савин, д.ф.-м.н., т. 333 11 00, E-mail: ssavin@iki.rssi.ru

III. Магнитосфера Земли.

13. Построена новая модель магнитопаузы, применимая при больших значениях межпланетного магнитного поля.

Показано, что наблюдения магнитопаузы спутниками серии Прогноз могут быть описаны следующей двухмерной моделью:

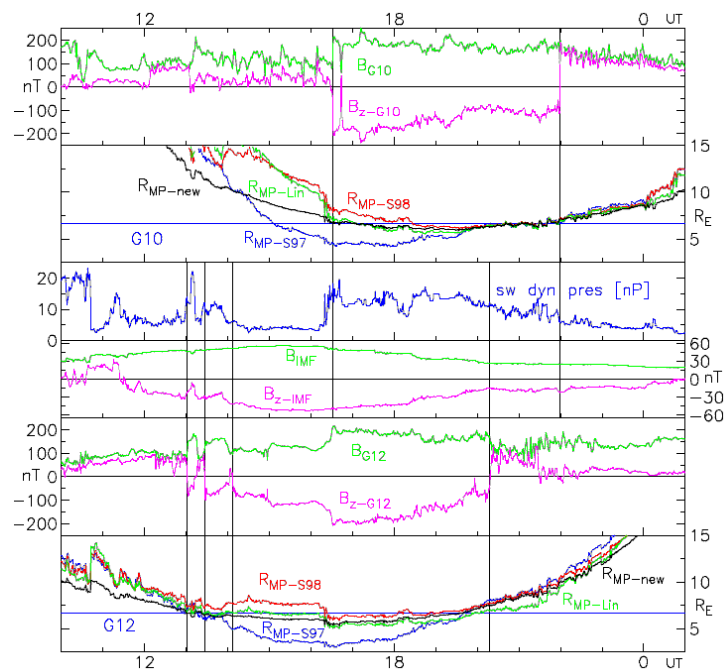
$$X(Y) = r_0 - \frac{D^2}{2\pi^2 R_0} \tan^2\left(\frac{\pi Y}{D}\right),$$

где X – геоцентрическое расстояние в направлении прихода аберрированного солнечного ветра, Y – в перпендикулярном этому направлении, $r_0 = 11.16R_e \cdot P^{-1/6}$ – расстояние до магнитопаузы в

подсолнечной точке, $R_0 = 16.51R_e \cdot P^{-1/6}$ – радиус кривизны магнитопаузы в этой точке, $D = 98.06R_e \cdot P^{-1/6}$ – асимптотический диаметр геомагнитного хвоста, и P – суммарное тепловое и магнитное давление в магнитошите у магнитопаузы. Это давление может быть оценено с использованием динамического давления солнечного ветра ρV^2 как

$$P = k\rho V^2 \left(1 + \frac{4\text{Sin}^2 \mathcal{G}_{bv}}{kM_a^2} + \frac{4\text{Sin}^2 \mathcal{G}_{bv}}{kM_a^2} \sqrt{1 + \frac{kM_a^2}{2\text{Sin}^2 \mathcal{G}_{bv}}} \right),$$

где $k \approx 0.88$, M_a – Альвеновское число Маха в солнечном ветре и \mathcal{G}_{bv} - угол между его направлением и вектором межпланетного магнитного поля. Такая модель хорошо описывает перемещение магнитопаузы вплоть до геостационарной орбиты $\sim 6.6R_e$.



Multispacecraft observations of the terrestrial bow shock and magnetopause during large geomagnetic storms, *Annales Geophysicae*, 2011.

Веригин М.И. , д.ф.-м.н., в.н.с., verigin@iki.rssi.ru

14. Завершение работы по анализу и интерпретации данных о пучках почти моноэнергетических ионов (ПМИ) в спектрах энергичных частиц (E=30-800 кэВ) около границ магнитосферы Земли, открытых в эксперименте ДОК-2 (проект Интербол).

Пучки почти моноэнергетических ионов (ПМИ) перед фронтом околоземной ударной волны, в магнитослое и в плазменном слое хвоста магнитосферы были открыты в эксперименте ДОК-2 (проект Интербол) благодаря рекордно высокому энергетическому и временному разрешению аппаратуры ДОК-2. В спектрах ионов в диапазоне энергий от 30 до 800 кэВ наблюдались от одной до трех узких линий с характерными соотношениями энергий 1:2:(5-6) и средней относительной шириной линий на половине высоты $dE/E=0.25$. Первые результаты изучения отдельных событий, опубликованные в 1999 и 2000 гг., показали, что они не могут быть объяснены обычно используемыми моделями ускорения частиц. В этих работах была предложена модель ускорения ионов во всплесках потенциального электрического поля, возникающих при разрыве волокон токовых слоев в магнитосфере и на ее границах. С тех пор

На второй сверху и последней панели рисунка тонкими черными линиями показано расстояние до магнитопаузы по этой модели в направлении геостационарных спутников GOES 10 и GOES 12, соответственно. Горизонтальные голубые линии соответствуют положению этих спутников, а вертикальные черные – моментам пересечения ими магнитопаузы. Как можно видеть прогнозы новой модели часто лучше соответствуют наблюдениям, чем предсказания широко распространенных моделей Shue et al. (1998,1997) и Lin et al. (2010).

M. Tátrallyay, G. Erdős, Z. Németh, M. I. Verigin, and S. Vennerstrøm,

нами был проведен детальный анализ 722 ПМИ событий, обнаруженных за весь 5-летний период работы Интербола-1. В частности, рассмотрены статистика свойств ПМИ, их природа и происхождение. Анализ большого массива новых данных подтвердил предположенные нами ранее идеи о природе, происхождении и модели ускорения ПМИ. Эти идеи были уточнены и получили дальнейшее развитие. Показано, что пучки ПМИ, не наблюдавшиеся до проекта Интербол и не предсказанные теорией, являются весьма распространенным явлением. Установлено, что генерация ПМИ, наблюдавшихся перед фронтом околослойной ударной волны и в магнитослое, происходит при разрыве волокон токового слоя околослойной ударной волны. Причиной разрыва чаще всего являются аномалии горячего течения (HFA), наблюдаемые при пересечении приносимого солнечным ветром токового слоя (тангенциального разрыва) с околослойной ударной волной. Расчет траекторий ионов в области ускорения позволил оценить размеры этой области. Показано, что изучение ПМИ может дать информацию о свойствах и динамике токового слоя ударной волны, которая не может быть получена сейчас другими способами.

V. N. Lutsenko and E. A. Gavrilova, Properties and the origin of Almost Monoenergetic Ion (AMI) beams observed near the Earth's bow shock, *Annales Geophysicae*, Vol. 29, Number 8, Page(s) 1439-1454, 2011/ doi:10.5194/angeo-29-1439-2011

Луценко В.Н., к.ф.-м. н., т. 333-2000, vlutsenk@iki.rssi.ru

15. Продолжены исследования магнитной турбулентности бесстолкновительной плазмы в области внешнего магнитосферного каспа Земли, на основе анализа магнитных и плазменных измерений четырех спутников миссии Кластер в области каспа.

1. Впервые получены 3-х мерные энергетические распределения турбулентных спектров магнитного поля в пространстве волновых векторов в диапазоне волновых чисел от 0,002 до 0.6 рад/км или длин волн от ~3000 до ~ 10 км вдоль целого участка орбиты Кластера, проходящего через прилежащую к каспу область магнитослоя, магнитопаузу, касп и начало плазменной мантии. Прослежена их динамика. Найденные распределения в системе отсчета, покоящейся в плазме, анизотропны и, за малым исключением, обладают центральной симметрией. Характер и степень анизотропии зависят от области наблюдения, величины фонового магнитного поля, от плазменного параметра β , а также от угла между средним полем и средним вектором скорости V_0 . На рис. 1 показано распределение, составленное из спектров, полученных для десяти перекрывающихся 90-секундных временных интервалов измерений с последовательным сдвигом окна данных на 4 с. Этот случай относится к магнитослою вблизи магнитопаузы. Здесь наблюдается последовательность анизотропных спектров с $k_{\perp} \gg k_{\parallel}$, с вращающимися векторами в области высоких значений волновых чисел вокруг фонового магнитного поля со средней угловой скоростью ~5°/сек. В других областях, наряду с похожими, наблюдались большей частью совершенно иные распределения, с другими типами анизотропии, в том числе, с анизотропией, при которой $k_{\perp} \ll k_{\parallel}$, с вращением в разных плоскостях, включая плоскость фонового поля, и т. д.

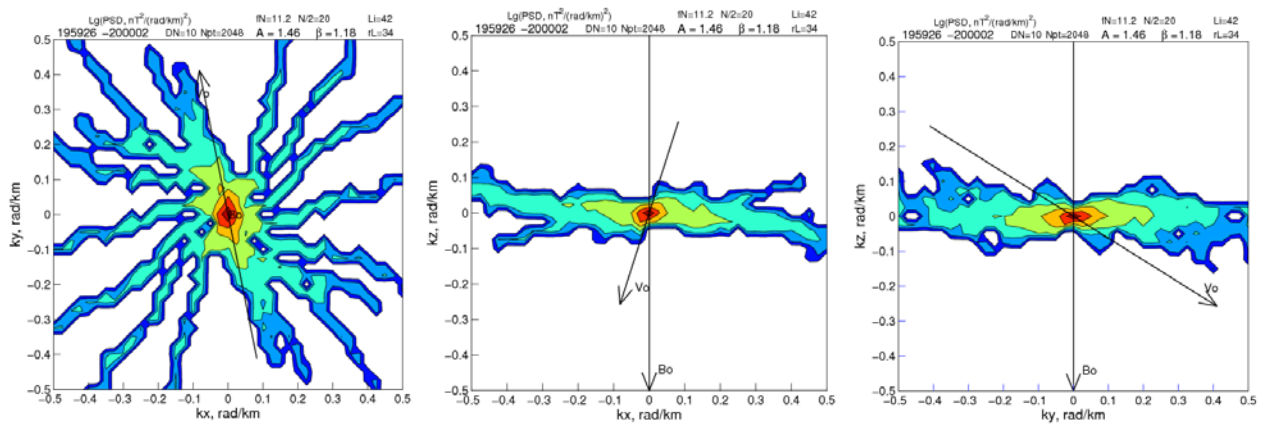


Рис.1 Трехмерное распределение волновых векторов в проекциях на три координатные плоскости, составленное из десяти k -спектров магнитных флуктуаций, полученных по измерениям флуктуаций поля в магнитослое над каспом со сдвигом окна данных в 4 секунды. Использована система координат, в которой ось z направлена по $-\mathbf{B}_0$, где \mathbf{B}_0 – среднее магнитное поле. Можно видеть: (1) центральную симметрию каждого спектра; (2) анизотропию, при которой $k_{\perp} \gg k_{\parallel}$; (3) вращение коротковолновых частей спектров вокруг \mathbf{B}_0 .

2. Найденные k -спектры аппроксимировались степенным законом. Было показано, что каждый спектр в логарифмическом масштабе аппроксимируется одной прямой, наклон которой к оси абсцисс характеризуется одним, относящимся к данному спектру, спектральным индексом. Таким образом, впервые, на основании k -спектров, полученных прямым путем из экспериментальных данных, доказано, что инерционный интервал турбулентности бесстолкновительной плазмы простирается за пределы волновых векторов, соответствующих длинам волн порядка ларморовского радиуса протонов и протонной инерционной длины. На этом основании область диссипации должна находиться на значительно меньших (возможно, электронных) масштабах. Усредненная по 300 спектрам всего интервала наблюдений величина спектрального индекса, по нашим данным, составила величину -1.72 ± 0.15 , очень близкую колмогоровскому значению $-5/3$.

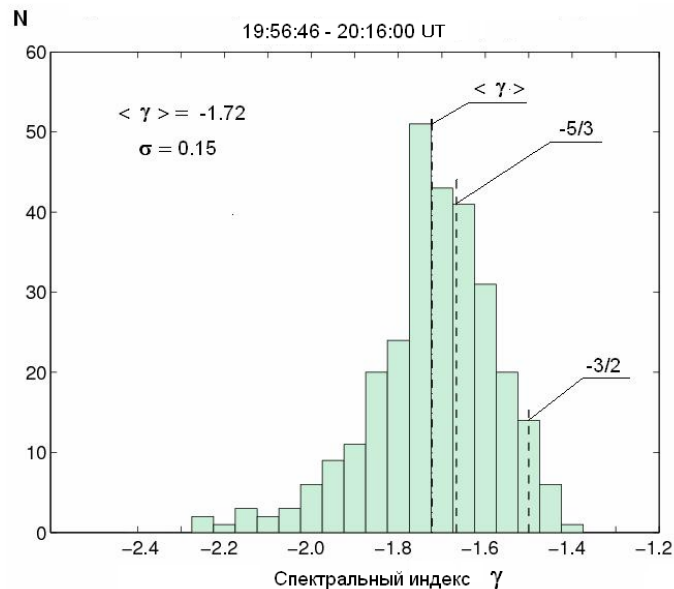


Рис. 2. Гистограмма значений и средняя величина спектрального индекса (в одномерной интерпретации) для 300 инерционных k -спектров магнитных флуктуаций по результатам обработки измерений четырех спутников Кластера в области каспа и в соседних с ним областях.

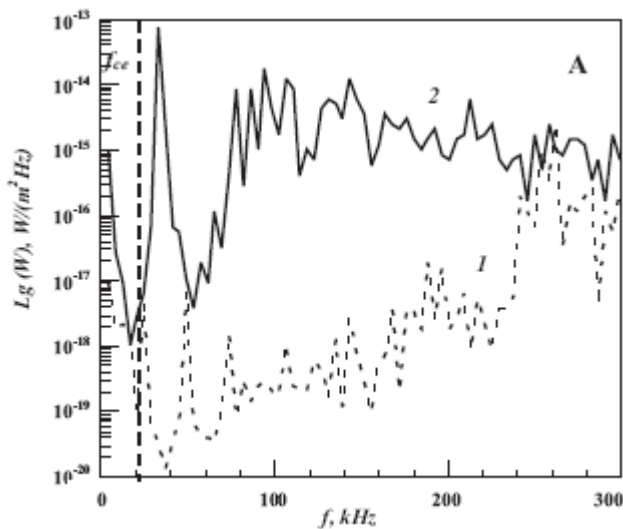
С. А. Романов, Магнитная турбулентность в области магнитосферного каспа: степенной закон зависимости энергии от волнового числа, Тезисы доклада на конференции «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ, февраль, 2011 г.

Романов С.А., к.ф.-м.н., с.н.с. отдела №54, sroman@mx.iki.rssi.ru

16. Регистрация волноводной моды в пространственно ограниченном источнике АКР

На основе прямых измерений электромагнитного излучения в диапазоне частот 4 кГц – 1 МГц, сделанных на борту спутника ИНТЕРБОЛ-2 при помощи прибора ПОЛЬРАД, рассматриваются вопросы генерации низкочастотного аврорального километрового излучения (АКР) в пространственно ограниченном источнике. Особенностью орбиты спутника ИНТЕРБОЛ-2 является длительное движение вдоль магнитной оболочки ($L = \text{const}$) в авроральной области магнитосферы, что позволяет в этой области разделить пространственные и временные изменения параметров излучения.

Обнаруженное в эксперименте увеличение интенсивности АКР вблизи локальной гирочастоты электронов, интерпретируется нами как наблюдение медленных, волноводных мод внутри источника. «Классическое» АКР, представляющее собой X-моду электромагнитного излучения, является результатом трансформации волноводных мод на границе источника. Из сравнительного анализа измерений электромагнитного поля и параметров плазмы делается заключение, что на полярной границе авроральной области, во время геомагнитных возмущений образуется область с пониженной плотностью фоновой плазмы. В этой области развивается циклотронная мазерная неустойчивость, результатом чего является наблюдаемое излучение. Особенности изменения максимума спектра излучения позволяют оценить характерные поперечные размеры источника и относительную скорость движения спутника и источника.



Спектры мощности АКР за 27.01.97: 1- спектр «классического» АКР, 2 - спектр низкочастотного АКР. Вертикальная пунктирная линия – значение локальной (вблизи спутника) циклотронной частоты электронов

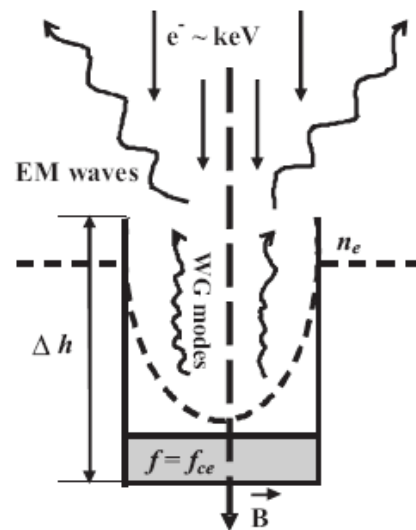


Схема пространственно ограниченного источника АКР: заполненная область ($f=f_{ce}$)-область развития циклотронной мазерной неустойчивости, WG modes-регистрируемые волноводные моды внутри источника, EM waves- X-мода электромагнитного излучения

I. Moiseenko, M. Mogilevsky, D. Chugunin, T. Romantsova, J. Hanasz, Waveguide modes in the AKR source, монография "Излучение планет – PRE VII", стр. 253-259, 2011

М.М. Могилевский, И.Л. Моисеенко, Т.В. Романцова, Я. Ханаш, Т.М. Буринская, Д.В. Чугунин, Прямые измерения аврорального километрового радиоизлучения в ограниченном источнике, Письма в ЖЭТФ, том 93, вып. 6, стр. 359-362, 2011.

М.М. Могилевский, к.ф.-м.н., т. 333-14-33, mogilevsky@romance.iki.rssi.ru

И.Л. Моисеенко, м.н.с., т. 333-14-33

17. Источники магнитного поля V_y в хвосте магнитосферы Земли

По итогам анализа 11 лет наблюдений спутником Geotail проанализированы источники и характеристики V_y компонента магнитного поля в плазменном слое хвоста. Построена эмпирическая модель V_y в зависимости от ММП, координат X , Y , и угла наклона геодиполя (сезона). Зависимость V_y от сезона проявляющаяся в связи с изгибанием и задирированием нейтрального слоя (warping, hinging) имеет нечетный профиль в зависимости от Y . В дополнение к ней, был обнаружен новый компонент V_y , четный по отношению к Y , который положительно коррелирует с углом наклона диполя и имеет максимальную амплитуду $\pm 1-2$ нТл. В послеполуночном секторе хвоста эти сезонные факторы взаимно компенсируются, а в пердполуночном – складываются, составляя в сумме величину, сравнимую с основным фактором (проникновением ММП). Такая сезонная зависимость V_y создает принципиальную азимутальную несимметрию хвоста магнитосферы, что находится в согласии с данными по ионосферной конвекции и полярным сияниям. Часто наблюдается величина V_y значительно большая, чем предсказывается статистической моделью. Этот эффект может быть интерпретирован как «усиление» в ходе внутренней динамики плазменного слоя.

A.A. Petrukovich, Origins of plasma sheet V_y , Journal of Geophysical Research, vol. 116, A07217, doi:10.1029/2010JA016386, 2011.

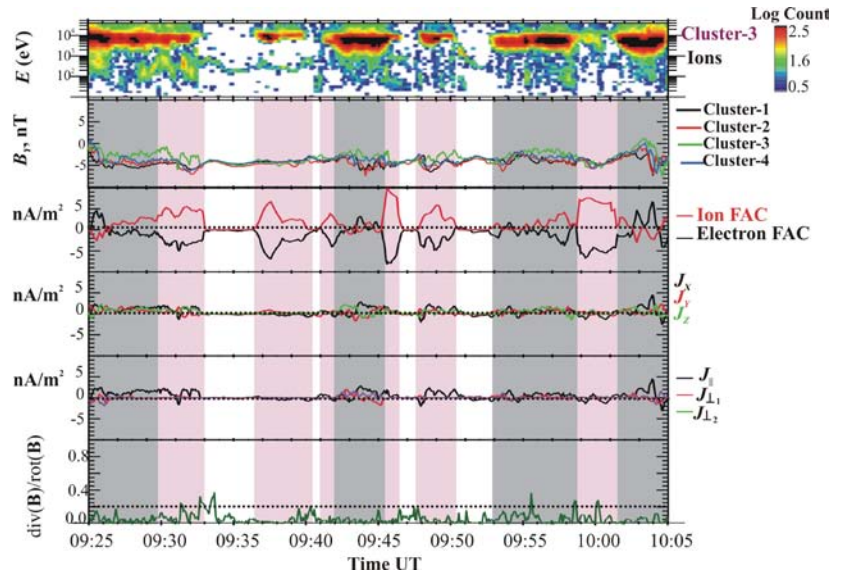
Петрукович А.А., д.ф.-м.н., зав. отд., 333-3267 (apetruko@iki.rssi.ru)

18. Экспериментальное изучение процессов ускорения плазмы в хвосте магнитосферы Земли.

а) Экспериментально установлено, что в те периоды, когда ускорение ионов в Токовом Слое (ТС) хвоста происходит в областях замкнутых силовых линий магнитного поля, распространение ускоренных ионов в Пограничном Плазменном Слое (ППС) не сопровождается протеканием заметных продольных электрических токов. Статистически установлено, что характерные плотности продольных электрических токов, текущих в ППС в такие периоды, не превышают 2 нА/м^2 , что существенно меньше характерных плотностей продольных токов, создаваемых ускоренными ионами, движущимися вдоль силовых линий магнитного поля ППС. Это связано с тем, что в тех областях ТС, где силовые линии магнитного поля еще замкнуты, однако напряженность поля достаточно мала, чтобы размагнитить ионы, электроны все еще замагничены, и их эффективного ускорения не происходит. Направленная скорость электронов в ППС существенно меньше тепловой и сравнима по величине и направлению со скоростью ионов. Медленное ускорение электронов, захваченных внутри Плазменного Слоя (ПС), в такие интервалы, происходит за счет бетатронного механизма при их конвекции к Земле в области с более сильным магнитным полем. Таким образом, несмотря на наблюдаемую коллимацию высокоскоростных ионов в ППС по энергиям и пич-углам, их нельзя считать пучками, а

следует рассматривать как часть высокоскоростного потока плазмы (Grigorenko et al., 2011a) (Рис.1).

Рис.1. Наблюдение в ППС хвоста (12.09.2001) квазистационарного потока ионов, ускоренных в ТС хвоста в области замкнутых силовых линий магнитного поля. *Сверху вниз*: спектрограмма ионов (HIA, Cluster-3), B_y с четырех спутников Cluster; продольный электрический ток, создаваемый ионами $J_{\parallel}^{\text{ион}} = eNV_{\parallel}$ (показан красным) и электронами $J_{\parallel}^{\text{элект}} = (\nabla \times \mathbf{B})_{\parallel} - J_{\parallel}^{\text{ион}}$ (показан черным); три GSE-компоненты плотности полного электрического тока: $(\nabla \times \mathbf{B})$; продольная и поперечные компоненты $(\nabla \times \mathbf{B})$; временной ход величины $(\nabla \mathbf{B})/(\nabla \times \mathbf{B})$. Розовым цветом показаны интервалы пересечения высокоширотной границы ППС, серым цветом – интервалы, когда Cluster находился внутри ППС.



б) Также установлено, что в такие периоды вблизи высокоширотной границы полярного овала не наблюдается интенсификаций аврорального свечения, а на магнитограммах, измеренных наземными станциями расположенными вблизи проекции Cluster, – заметных вариаций горизонтальной компоненты магнитного поля (Рис.2). Структуры ускоренных ионов, высыпаясь из ППС в высокоширотной авроральной области, участвуют в формировании квазистационарных пространственных энерго-диспергированных ионных структур (т.н. VDIS в англоязычной литературе) (Grigorenko et al., 2011b).

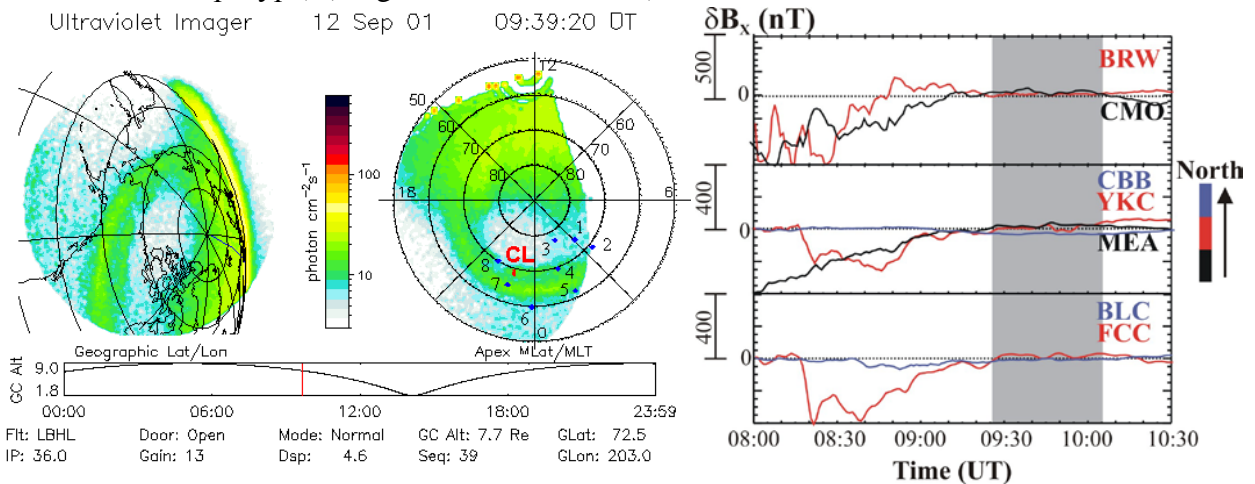


Рис.2. *Слева*: Наблюдение аврорального УФ свечения спутником Polar в период наблюдения в ППС хвоста квазистационарного потока ускоренных ионов. Красной точкой отмечено положение проекции Cluster на ионосферу. Синими точками отмечены наземные станции вблизи проекции Cluster, измерения которых (горизонтальная компонента магнитного поля) представлены в правой части рисунка. Интервал наблюдения ускоренных ионов в ППС отмечен на магнитограммах серым цветом.

в) Когда ускорение ионов происходит вблизи магнитной X-линии (что, как правило, имеет место во время возмущенных геомагнитных периодов) в ППС наблюдается система противоположно направленных продольных токов, формируемых в результате пространственного разделения зарядов вблизи области магнитного пересоединения (Рис.3). Эта система токов поддерживается в основном за счет электронов: ток, текущий вблизи

высокоширотной границы ППС к Земле, создается, в основном, потоком еще не ускоренных электронов, движущихся в направлении области пересоединения (что соответствует направлению от Земли на тех расстояниях, где производились измерения). Продольный ток, текущий в ППС от Земли создается потоком ускоренных электронов, движущихся к Земле из области пересоединения. Характерные плотности высокоширотного продольного тока не превышали 5 nA/m^2 , в то время как характерные плотности низкоширотного тока варьировали от случая к случаю в пределах от 5 до 16 nA/m^2 и в каждом случае величина их плотности превышала плотность соответствующего высокоширотного тока. Благодаря многоточечным наблюдениям Cluster, для 11 событий удалось оценить пространственный размер (вдоль нормали к поверхности ППС) продольного тока, текущего вдоль высокоширотной границы ППС, который оказался порядка инерционной длины ионов. Этот факт подтверждает механизм формирования данной системы токов за счет холловского разделения зарядов вблизи магнитной X-линии. Длительности наблюдения в ППС холловской системы продольных токов в большинстве случаев были порядка длительности наблюдения в ППС ускоренных ионов, что указывает на общий источник их генерации – магнитное пересоединение в ТС ближнего хвоста. (Grigorenko et al., 2011a).

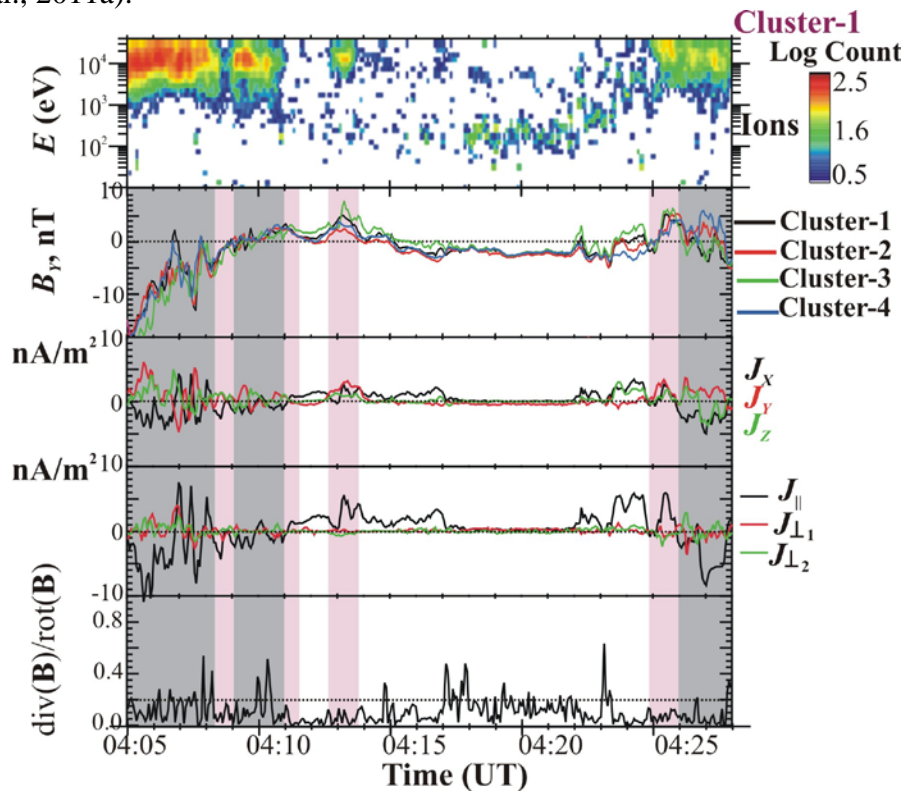


Рис.3. Наблюдение в ППС хвоста пучков ионов, ускоренных вблизи магнитного пересоединения 27.08.2001. Формат рисунка такой же, как Рис.1.

г) Установлено, что в такие периоды магнитные силовые трубки ППС, вдоль которых распространяются ускоренные пучки, проецируются в области интенсификации авроральных свечений. На магнитограммах наземных станций, находящихся вблизи проекции Cluster, наблюдались заметные вариации горизонтальной компоненты магнитного поля (Рис.4). Энергичные ионные пучки, ускоряемые в хвосте вблизи магнитной X-линии, высыпаясь в высокоширотной авроральной области, участвуют в формировании короткоживущих энерго-диспергированных ионных структур (т.н. TDIS) (Grigorenko et al., 2011b).

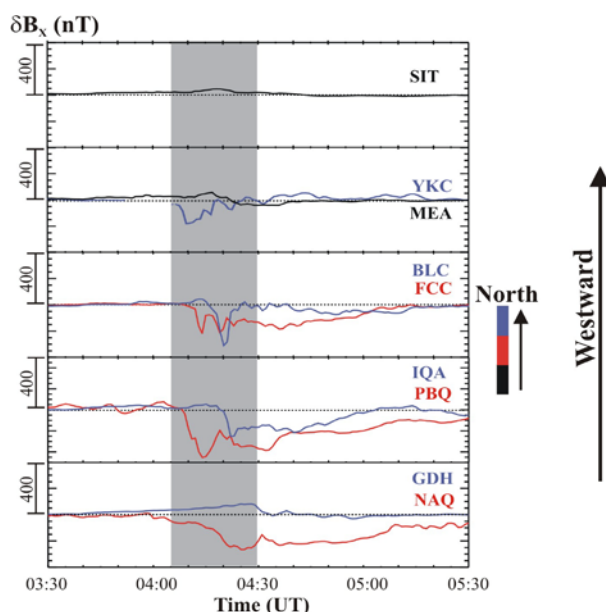
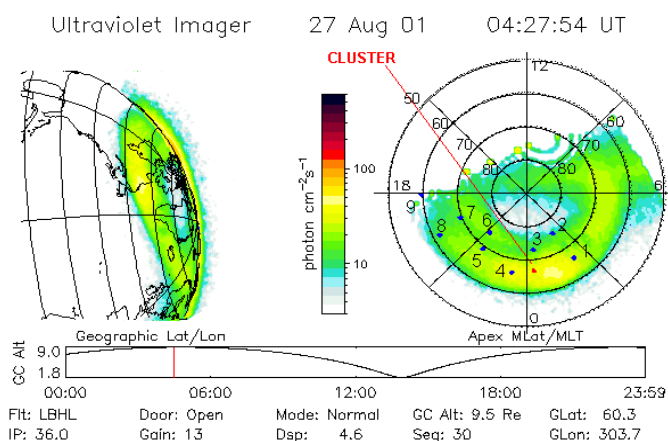
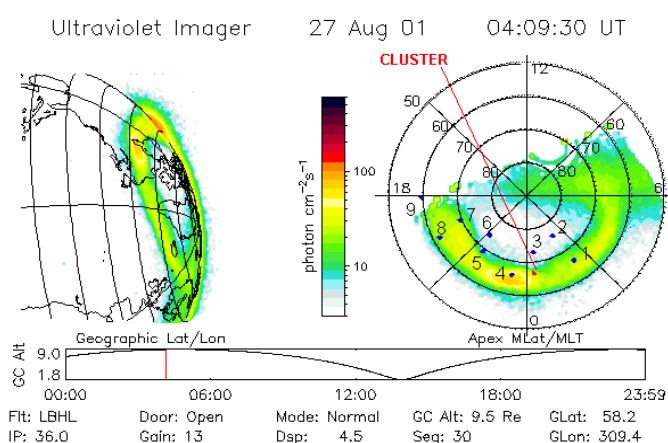


Рис.4. Слева: наблюдения авроральных свечений в УФ диапазоне спутником Polar в течение периода регистрации в ППС хвоста ускоренных пучков ионов и электронов (на магнитограммах правой части рисунка этот интервал выделен серым цветом). Формат рисунка тот же, что и Рис.2. В правой части показаны вариации горизонтальной компоненты геомагнитного поля, измеренные наземными станциями вблизи проекции Cluster.

E.E. Grigorenko, L.M. Zelenyi, M.S. Dolgonosov, A.V. Artemiev, C. J. Owen, J.-A. Sauvaud, M. Hoshino, M. Hirai, Non-adiabatic ion acceleration in the Earth magnetotail and its various manifestations in the Plasma Sheet Boundary Layer, Space Sci. Rev., accepted for publication in November 2011a.

Grigorenko E.E., Koleva R, Zelenyi L.M., Sauvaud J.-A., PSBL plasma structure during different periods of geomagnetic activity observed by Cluster spacecraft and ground station network, International Workshop “Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere, Созопол, Болгария, 6-10 июня, 2011b.

Grigorenko E.E., Different regimes of particle acceleration in the Earth magnetotail and their PSBL manifestations, CLUSTER 21th Workshop and ESLAB 2011 “Solar System Plasma Physics: Remote and in-situ Measurements”, Брюгге, Бельгия, 19-23 сентября, 2011.

Григоренко Е. Е., д.ф.-м.н., т. 333-14-67, elenagrigenko2003@yahoo.com, grig@romance.iki.rssi.ru

19. Исследование турбулентных флуктуаций в геомагнитном хвосте по данным спутников проектов THEMIS и CLUSTER

В середине 90-х годов в работах Антоновой и Овчинникова была развита теория квазиравновесного плазменного слоя, в которой толщина слоя в условиях магнитоэстатического равновесия определялась из условия равенства регулярного и квазидиффузионного потоков поперек слоя. В данной теории плазменный слой рассматривался в качестве турбулентного следа, который турбулентный солнечный ветер образует за обтекаемым препятствием –

магнитным полем Земли. Теория предсказывала величину коэффициента квазидиффузии в плазменном слое. Анализ результатов наблюдений на спутниках ISEE-2, Интербол/Хвостовой зонд и Geotail подтвердил предсказания теории. Глобальный анализ уровня флуктуаций первоначально на спутнике Интербол/Хвостовой зонд, а затем на всех спутниках проекта THEMIS (опубликованный в этом году в работе [Stepanova et al., 2011]), показал, что уровень флуктуаций и соответственно коэффициент квазидиффузии зависит от фазы магнитосферной суббури и геоцентрического расстояния, резко уменьшаясь на геоцентрических расстояниях менее $10R_E$. Данную статистическую картину удалось проверить в магнитоспокойных условиях, сопоставляя одновременные измерения вытянувшихся в одну цепочку спутников проекта THEMIS [Pinto et al., 2011]. Для дальнейшей проверки предсказаний теории требовались одновременные измерения коэффициента квазидиффузии поперек плазменного слоя, толщины слоя и крупномасштабного поля утро-вечер. Такая проверка была проведена для события 12 сентября 2004 г. в работе [Stepanova and Antonova, 2011], когда спутники проекта CLUSTER пересекали плазменный слой и имелись одновременные данные измерений радара SuperDARN, позволяющие оценить величину поля утро-вечер. Результаты анализа показали, что экспериментально определенная толщина турбулентного плазменного слоя хорошо соответствует теоретическим предсказаниям.

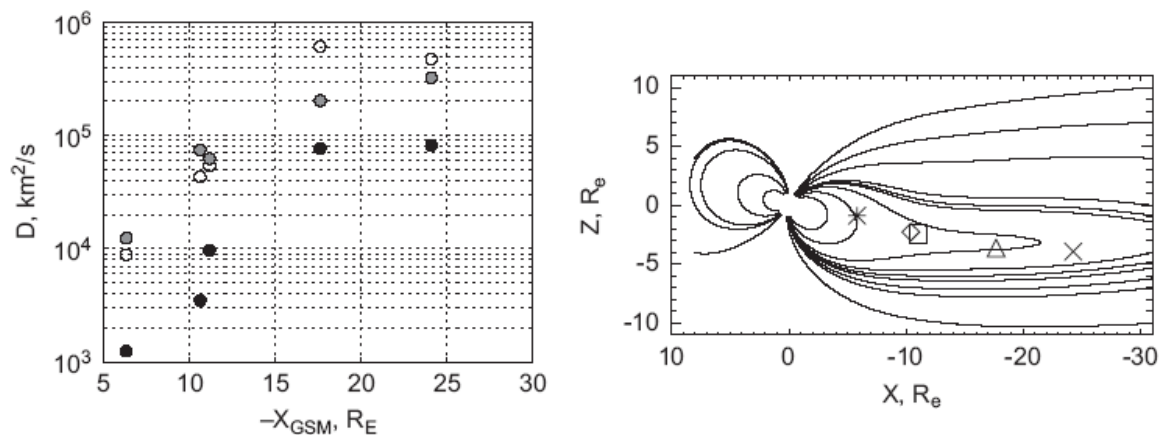


Рис. Зависимость одновременно измеренных диагональных элементов тензора вихревой диффузии от геоцентрического расстояния, полученная в ходе анализа наблюдений в проекте THEMIS с 05:00 до 06:00 UT 22 февраля 2008 (левая часть рисунка). Светлые кружки – D_{xx} , серые кружки – D_{yy} , темные кружки – D_{zz} [Pinto et al., 2011]. Справа показано положение спутников во время наблюдений.

Stepanova, M., V. Pinto, J. A. Valdivia, and E. E. Antonova, Spatial distribution of the eddy diffusion coefficients in the plasma sheet during quiet time and substorms from THEMIS satellite data, *J. Geophys. Res.*, 116, A00I24, 2011.

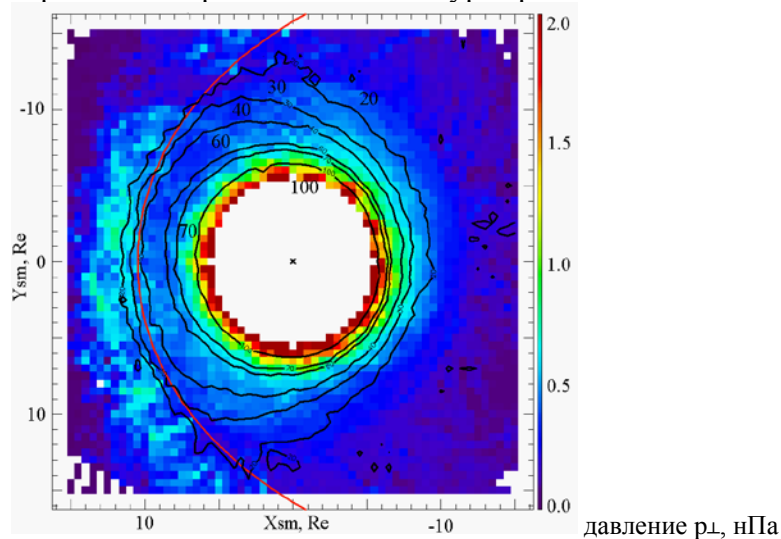
Stepanova M., E.E. Antonova, Modeling of the turbulent plasma sheet during quiet geomagnetic conditions, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 73, 1636–1642, 2011.

Pinto V., M. Stepanova, E.E. Antonova, J.A. Valdivia, Estimation of the eddy-diffusion coefficients in the plasma sheet using THEMIS satellite data, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 73, 1472–1477, 2011.

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru

20. Изучение характеристик окружающего Землю плазменного кольца и его роли в суббуревой и буревой динамике

Создана база данных измерений давления плазмы более чем за 3 года работы спутников проекта THEMIS, за период с августа 2007 по сентябрь 2010 г. Анализировались моменты функций распределения ионов и электронов, восстанавливаемые двумя различными приборами: ESA - электростатический анализатор ионов в диапазоне энергий от 1.6 эВ до 25 кэВ и электронов от 2 эВ до 32 кэВ, SST - твердотельный телескоп, регистрирующий ионы в диапазоне энергий от 25 кэВ до 6 МэВ и электроны от 25 кэВ до ~900 кэВ. Произведено статистическое исследование распределения плазменного давления в экваториальной плоскости при $15R_E > X_{SM} > -15R_E$ и $15R_E > Y_{SM} > -15R_E$. Проведен анализ радиальной зависимости давления плазмы на меридианах день-ночь и утро вечер. Показано, что окружающее Землю кольцо плазмы имеет структуру близкую к азимутально симметричной. Показано, что в пределах ошибок определения давления, в перекрывающихся областях полученные результаты согласуются с результатами, полученными ранее. Проведен анализ, демонстрирующий локализацию начала взрывной фазы изолированной суббури внутри окружающего Землю плазменного кольца, в котором сосредоточены основные источники крупномасштабных продольных токов. Продолжены работы, демонстрирующие доминирующий вклад токов в окружающем Землю плазменном кольце (топологически – кольцевого тока и его высокоширотного продолжения) в создании Dst вариации во время магнитных бурь средней интенсивности.



Elizaveta E. Antonova, Igor P. Kirpichev, Ilya L. Ovchinnikov, Maria S. Pulinets, Svetlana S. Znatkova, Ksenia G. Orlova, and Marina V. Stepanova, Topology of High-Latitude Magnetospheric Currents, IAGA Special Sopron Book Series, Volume 3, The Dynamic Magnetosphere, Editors William Liu and Masaki Fujimoto, Springer, 2001-2010, 2011.

Кирпичев И.П., Антонова Е.Е., Распределение давления плазмы в экваториальной плоскости магнитосферы Земли на геоцентрических расстояниях от 6 до $10R_E$ по данным международного проекта THEMIS, Геомагнетизм и аэрномия, т. 51, № 4, р. 456-461, 2011.

Вовченко В. В., Е. Е. Антонова, Зависимость объемов магнитных силовых трубок от давления плазмы в осесимметричном магнитном поле и Dst вариация, Геомагнетизм и аэрномия, т. 52, № 1, 2012 г., принято к печати.

Кирпичев И. П., к.ф.-м.н., т. 333-1467, ikir@iki.rssi.ru

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru

Вовченко В. В., м.н.с. отд.54, т. 333-11-22, a1246@rambler.ru

21. Исследование локализации областей ускорения энергичных электронов

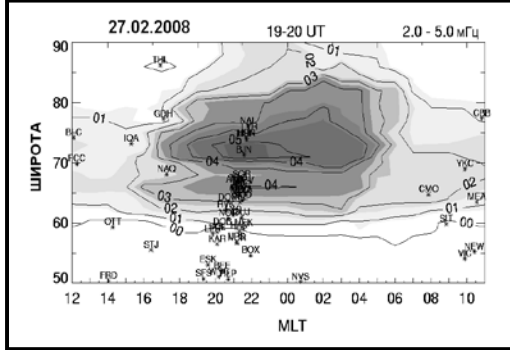
Анализ результатов наблюдений на низкоорбитальном спутнике КОРОНАС-Ф продемонстрировал возникновение возрастных потоков энергичных электронов (с энергией более 300 кэВ) к полюсу от внешней границы внешнего радиационного пояса в области квазизахвата. Некоторые возрастные потоки имели квазистационарный характер, т.е. повторялись на 2-4 орбитах с почти неизменной амплитудой и формой. Было установлено, что исследуемые возрастные потоки наблюдаются на широтах аврорального овала, но не имеют азимутальной симметрии. Возникла гипотеза о возможности формирования локальных ловушек для энергичных частиц, в которых дрейфовые траектории энергичных частиц не окружают Землю. Возможность образования таких ловушек была продемонстрирована при определении изолиний минимальных значений магнитного поля на магнитной силовой линии с использованием моделей Цыганенко-1996, 2001, 2005. Начаты работы по моделированию процессов образования локальных ловушек при конвекции плазмы.

Antonova E.E., I.M. Myagkova, M.V. Stepanova, M.O. Riazantseva, I.L. Ovchinnikov, B.V. Mar'in, M.V. Karavaev, Local particle traps in the high latitude magnetosphere and the acceleration of relativistic electrons, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73 (2011) 1465–1471.

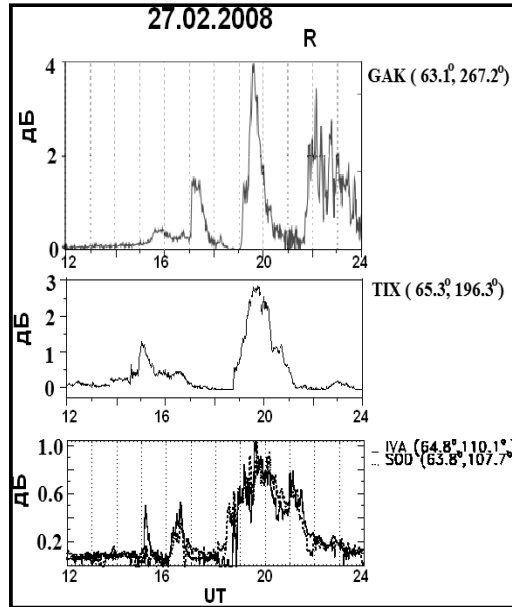
Е.Е. Антонова, проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru
М.О. Рязанцева, к.ф.м.н., т. 333-13-88, orearm@hotbox.ru

22. ОНЧ-хоры, Pc5 геомагнитные пульсации и риометрическое поглощение в начальную фазу магнитной бури

Выполнен анализ комплекса геофизических явлений (геомагнитные пульсации, ОНЧ излучения, риометрическое поглощение и полярные сияния) в начальную фазу рекуррентной магнитной бури 27 февраля – 2 марта 2008 г. в минимуме солнечной активности. Начальная фаза этой бури развивалась на фоне длительного периода отрицательных значений B_z ММП, вероятно, поэтому интенсивные волновые возмущения наблюдались не в дневном, что типично для большинства бурь, а в вечернем и ночном секторах. Обнаружено одновременное появление ОНЧ хоров, сопровождаемых всплесками риометрического поглощения и Pc5 пульсациями, в необычно большом долгом интервале авроральных широт ($L \sim 5$) – от предполуночных до утренних часов MLT. Сделан вывод, что в начальную фазу магнитной бури резкое возрастание динамического давления солнечного ветра на переднем фронте высокоскоростного потока солнечного ветра на фоне длительных отрицательных значений B_z ММП привело к глобальному по долготе развитию электронно-циклотронной неустойчивости в магнитосфере Земли.



Карта пространственного распределения амплитуд геомагнитных пульсаций ($f=2-5$ МГц)



Одновременные всплески риометрического поглощения в 20 UT (09 MLT-GAK, 04 MLT-TIX, 23 MLT-SOD)

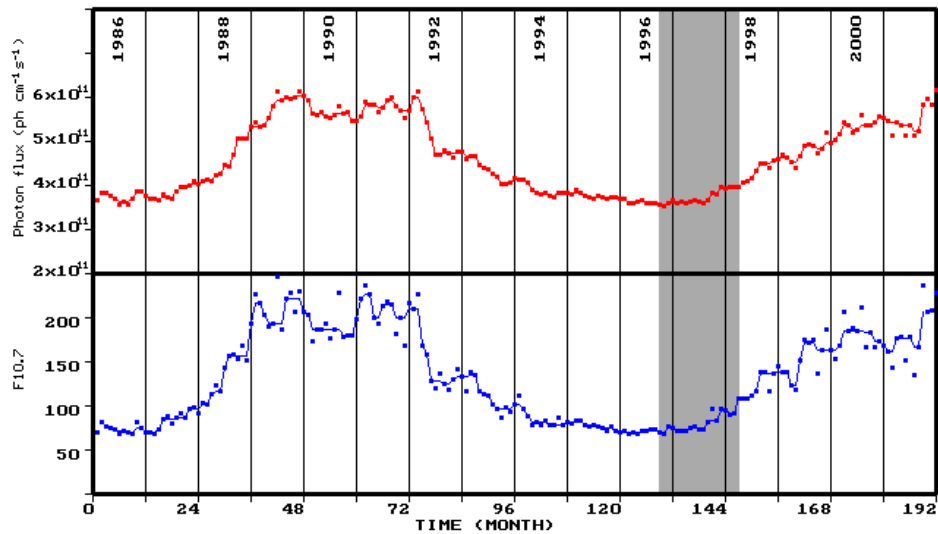
Клейменова Н.Г., Козырева О.В, Маннинен Ю., Райта Т., Корнилова Т.А., Корнилов И.А., Высокоширотные геомагнитные возмущения в начальную фазу рекуррентной магнитной бури (27 февраля–2 марта 2008 г.), Геомагнетизм и Аэрономия, т. 51, № 6, 746-756. 2011.

Клейменова Н. Г., д.ф.-м.н., проф., 254-42-90, kleimen@ifz.ru

23. Фотоэмиссионные свойства магнитосферных спутников при низкой солнечной активности на примере спутника Интербол-2

Изучение фотоэмиссии спутника Интербол-2 основывается на сопоставлении одновременных измерений потенциала спутника зондовыми приборами ИЭСП-2 (измеритель электрических полей) и КМ-7 (датчик электронной температуры). Плотность фототока со спутника Интербол-2 в Авроральной зоне магнитосферы составляла, как правило, $1.8 \div 3.6$ nA cm^{-2} , что характерно для ионосферных спутников. Но фототок быстро возрастал со временем функционирования аппарата в космосе. В феврале-марте 1998 года плотность фототока тока со спутника Интербол-2 достигла $3.6 \div 4.0$ nA cm^{-2} . Такие величины регистрируются на ионосферных спутниках только в максимуме солнечной активности.

На рисунке показан график среднемесячных изменений параметров $F_{10.7}$ и $L_{\alpha}(1215 \text{ \AA})$ в цикле солнечной активности. Период изучения фотоэмиссии со спутника Интербол-2 показан на рисунке затемненной областью. Быстрый рост фотоэмиссии с этого спутника при небольшом росте потока L_{α} , по-видимому, связан с модификацией фотоэлектрических свойств поверхности спутника за время проведения измерений.



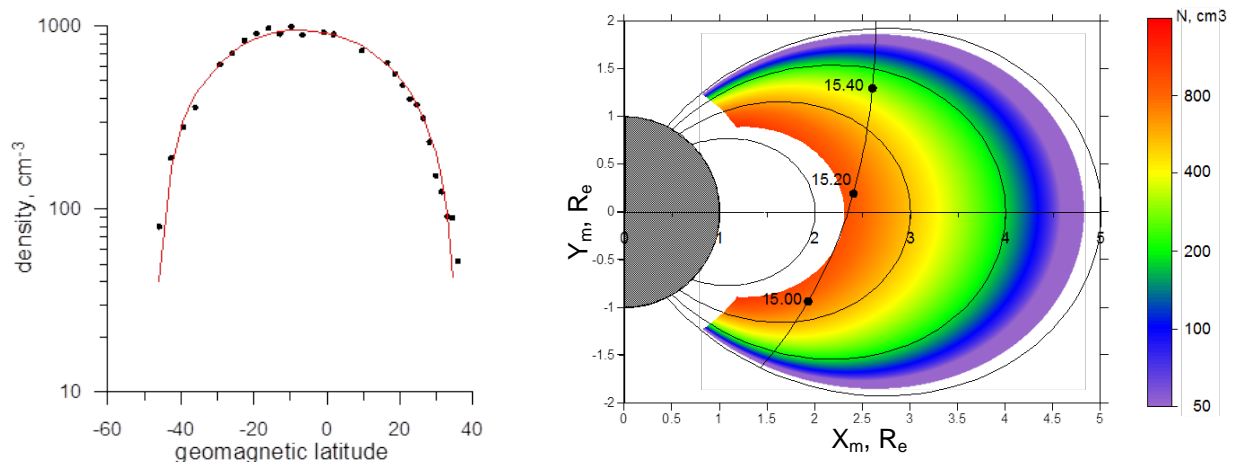
Смирнова Н.Ф., Мулярчик Т.М., Станев Г., Терехов С.А., Особенности заряжения космических аппаратов в магнитосферной плазме в период низкой солнечной активности на примере спутника Интербол-2. //сборник тезисов конференции "Физика плазмы в солнечной системе", 14-18 февраля 2011 г., ИКИ РАН, с. 109-110.

Смирнова Н.Ф., н.с., nsmirnova@romance.iki.rssi.ru

IV. Плазмосфера и ионосфера Земли.

24. Полуэмпирическое моделирование распределения плазмы в плазмосфере Земли.

С использованием результатов измерений холодной плазмы в эксперименте АЛЬФА-3 на спутнике ИНТЕРБОЛ-1 (1995-2000 гг.) разработана полуэмпирическая двумерная модель плазмосферы Земли, которая позволяет по измерениям вдоль одного пролета спутника через плазмосферу восстановить распределение плазмы во всей меридиональной плоскости. Модель также хорошо описывает данные космического аппарата IMAGE. Модель основана на уравнениях, описывающих распределение плазмы в плазмосфере для случаев теплового равновесия и бесстолкновительного начального этапа заполнения плазмосферных оболочек. Параметры построенной модели имеют ясный физический смысл.



На рисунке слева показано сопоставление зависимости плотности холодной плазмы от геомагнитной широты λ вдоль орбиты спутника ИНТЕРБОЛ-1 2 марта 1996 г. (точки) с модельной зависимостью (сплошная кривая):

$$N(L, \lambda) = N_{ex} \frac{\frac{1}{L} - \frac{8L_{pp} - 1}{8L_{pp}^2 + 4L_{pp}}}{\frac{R_e}{R_e + h_{ex}} - \frac{8L_{pp} - 1}{8L_{pp}^2 + 4L_{pp}}} \cdot e^{q_{eq} - q} \cdot \left\{ \frac{1 - (1 - \alpha) \sqrt{1 - \eta} e^{-\frac{\eta q}{1 - \eta}}}{1 - (1 - \alpha) \sqrt{1 - \eta_{eq}} e^{-\frac{\eta_{eq} q_{eq}}{1 - \eta_{eq}}}} \right\},$$

где $q(L, \lambda) = \frac{m_p g_e R_e}{2kT_p L} \left[\frac{1}{\cos^2 \lambda_0} - \frac{1}{\cos^2 \lambda} + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{L_R} \right)^3 (\cos^6 \lambda_0 - \cos^6 \lambda) \right]$ - приведенная потенциальная

энергия, $\eta(L, \lambda) = \sqrt{\frac{4 - 3 \cos^2 \lambda}{4 - 3 \cos^2 \lambda_0}} \cdot \frac{\cos^6 \lambda_0}{\cos^6 \lambda}$ - величина обратно пропорциональная зависимости

площади поперечного сечения силовой трубки геомагнитного поля от λ , m_p и T_p - масса и температура протонов, соответственно, g_e - ускорение свободного падения на поверхности Земли, k - постоянная Больцмана, R_e - радиус Земли, $L_R = 5.78$ - предел Роша, и

$\lambda_0 = a \cos \sqrt{\frac{R_e + h_{ex}}{LR_e}}$ - геомагнитная широта экзобазы, расположенной на высоте $h_{ex} \approx 3000$ км.

Показанная на левом рисунке модельная зависимость построена при плотности плазмы на высоте экзобазы в экваториальной плоскости $N_{ex} = 1960 \text{ см}^{-3}$, положении плазмопаузы $L_{pp} = 4.19$, и коэффициенте заполнения плазмосферы $\alpha = 0.86$.

В правой части рисунка показано распределение холодной плазмы в меридиональной плоскости утренней плазмосферы, восстановленное по измерениям 2 марта. Линией с временными метками показана орбита спутника ИНТЕРБОЛ-1. Тонкими черными линиями показаны L -оболочки.

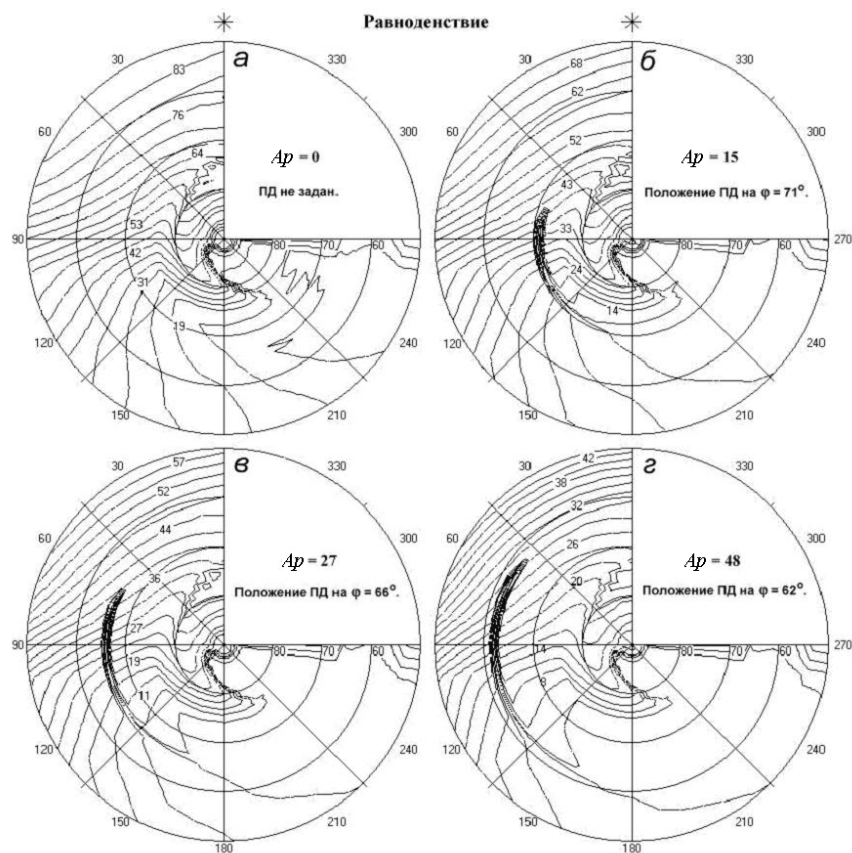
Kotova G.A., Verigin M.I., Bezrukikh V.V., Aken'tieva O.S., Solar influence on plasmasphere and modeling of 3D plasmaspheric density distribution, in: Third workshop "Solar influence on magnetosphere, ionosphere and atmosphere", Book of Abstracts, Sozopol, Bulgaria, 6-10 June 2011, p.12.

Котова Г.А., Веригин М.И., Безруких В.В., Акенътиева О.С., Восстановление трехмерного распределения плотности и температуры протонов в плазмосфере Земли по измерениям вдоль орбиты спутника ИНТЕРБОЛ-1, Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ РАН, 14 - 18 февраля 2011 г, Сборник тезисов, с. 91.

Котова Г.А., к.ф.-м.н., с.н.с., kotova@iki.rssi.ru

25. Моделирование эффектов поляризационного джета в высокоширотной ионосфере.

Проведены модельные расчеты распределения максимальной электронной плотности в области F ионосферы в спокойных условиях и при воздействии поляризационного джета (ПД). Показано, что при наличии электрического поля поляризационного джета формируется узкий и протяженный по долготе провал в электронной плотности (см. панели б, в, г на рисунке).



Картини изолиний равной электронной плотности N_e (в ед. 10^4 см^{-3}). *а*- спокойный период равноденствия без включения дополнительного локального электрического поля. *б, в, з* – изолинии при скоростях западного дрейфа 500 м/с, 1000 м/с и 1000 м/с

Khalipov V.L., Stepanov A.E., Golicov I.A., Popov V.I., Bondar' E.D., A study of polarization jet influence on the structure of subauroral ionosphere, , in: Third workshop “Solar influence on magnetosphere, ionosphere and atmosphere”, Book of Abstracts, Sozopol, Bulgaria, 6-10 June 2011, p.20.

Халипов В.Л., к.ф.-м.н., н.с., khalipov@iki.rssi.ru

26. УНЧ волны в верхней ионосфере по данным синхронных спутниковых и наземных наблюдений

Проведено исследование пространственной и поляризационной структуры различных типов УНЧ волн ($Pc3$, $Pi2$) в верхней ионосфере на низкоорбитальном спутнике СНАМР и на сети наземных среднеширотных станций. Особенностью зарегистрированных сигналов было то, что на наземных магнитометрах они были лучше выражены в H компоненте, в то время как в верхней ионосфере они содержали значительную продольную компоненту (или компоненту сжатия) магнитного поля. Построена аналитико-численная модель взаимодействия разных типов МГД волн с многослойной системой магнитосфера - ионосфера - атмосфера - Земля. Построенная теория позволила количественно интерпретировать данные наблюдений и определить физическую природу волн в верхней ионосфере. Вопреки общепринятым представлениям, оказалось, что волны $Pc3$ и $Pi2$ типов преимущественно обусловлены быстрой магнитозвуковой волной, а не альвеновскими колебаниями.

Pilipenko V., E. Fedorov, B. Heilig, M. J. Engebretson, P. Sutcliffe, and H. Luehr, ULF waves in the topside ionosphere: Satellite observations and modeling, "The Dynamic Magnetosphere", IAGA Special Sopron Book Series, vol.3, eds. W. Liu and M. Fujimoto, Chapter 14, Springer, 257-269, doi: 10.1007/978-94-007-0501-2, 2011.

Пилипенко В.А., д.ф.-м.н., 8-903-6184666, pilipenko_va@mail.ru

27. По данным спутников CLUSTER протестированы параметры модели лампы обратной волны, предложенной В.Ю. Трахтенгерцем в качестве механизма генерации хоровых ОНЧ излучений.

С помощью анализа скорости изменения частоты в хоровых элементах, зарегистрированных на спутниковой системе CLUSTER, определено среднее значение и распределение безразмерного параметра, характеризующего «ступеньку» на функции распределения. Эти значения согласуются с результатами численного моделирования хоровых элементов, выполненного на основе модели лампы «обратной волны».

Titova, E., Kozelov, B., Demekhov, A., Santolik, O., Macusova, E., Decreau, P., Rauch, J-L., Trotignon J-G., Gurnett, D., Pickett, J., Testing of the backward wave oscillator model by spectral characteristics of VLF chorus elements, XXX URSI General Assembly and Scientific Symposium, HP1.25, August 13-20, 2011 Istanbul, Turkey. Abstract Book \& Papers. ISBN 978-1-4244-5118-0, 2011. (<http://ursigass2011.org/abstracts/ursi/HP1-25.pdf>)

Kozelov, B.V., Titova, E.E., Demekhov, A.G., Santolik, O., On statistical distribution of characteristics of chorus element generation, XXX URSI General Assembly and Scientific Symposium, HP1.27, August 13-20, 2011 Istanbul, Turkey. Abstract Book \& Papers, ISBN 978-1-4244-5118-0, 2011. (<http://ursigass2011.org/abstracts/ursi/HP1-27.pdf>)

Е.Е. Титова, к.ф.-м.н., в.н.с., [lena.Titova@gmail.com](mailto:lana.Titova@gmail.com)

28. Теоретически исследовано рассеяние свистовых волн на мелкомасштабных флуктуациях плотности в околоземной плазме.

Рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях является одним из процессов, обеспечивающих выход свистовых волн, распространяющихся по магнитосферным траекториям, в атмосферу. Рассмотрено рассеяние на неоднородностях, занимающих конечную область пространства и имеющих различные спектральные функции, которые характерны для неоднородностей в F-слое ионосферы. Получено выражение для плотности потока энергии волн, рассеянных в конус прохождения, то есть, выходящих в атмосферу.

Kuzichev, I.V. On whistler-mode wave scattering on small scale density irregularities. XXX URSI General Assembly and Scientific Symposium, HP1.9, August 13-20, 2011 Istanbul, Turkey. Abstract Book \& Papers, ISBN 978-1-4244-5118-0, 2011. (<http://ursigass2011.org/abstracts/ursi/HP1-9.pdf>)

И.В. Кузичев, аспирант, м.н.с., Mar-cuss@yandex.ru

29. Продольные токи и конвекция ионосферной плазмы, обусловленные азимутальной компонентой ММП

Две модели - статистическая модель продольных токов (ПТ), построенная по данным низкоорбитальных спутников и численная модель глобального распределения электрического

потенциала - использовались для выделения структур ПТ и конвекции ионосферной плазмы, контролируемых азимутальной компонентой ММП в различные сезоны года. Декомпозиция полных картин ПТ и конвекции на элементы, каждый из которых контролируется определенным параметром ММП, позволила обнаружить в обоих полушариях асимметричные элементы, обусловленные действием B_y компоненты ММП, которая создает разность потенциалов между полярными шапками противоположных полушарий. В области открытых силовых линий геомагнитного поля обнаруживается ПТ кругового сечения, который втекает в одном полушарии и вытекает в другом, а также межполушарные ПТ на более низких широтах, В картинах конвекции этому соответствуют круговые вихри, закручивающиеся вокруг полюса. Результаты модельных расчетов были подтверждены измерениями скорости течения ионосферной плазмы с помощью радара EISCAT, расположенного на Шпицбергене вблизи границы полярной шапки. Статистический анализ 8-летнего ряда данных, полученных в экспериментах при ориентации антенны в направлении полярной шапки, показал, что направление и интенсивность азимутального течения плазмы связаны со знаком и величиной B_y ММП. Были получены количественные соотношения между скоростью конвекции и значением B_y ММП в различных секторах местного времени, показывающие, что эффект наиболее выражен в полуденной и полуночной областях. В утреннем и вечернем секторах связь между скоростью течения и B_y ММП ослаблена, что объясняется значительным сдвигом границ полярной шапки вдоль утренне-вечернего меридиана под действием B_y . Новым является обнаружение несимметрии отклика скорости конвекции и сдвига границы шапки на утренней и на вечерней сторонах при изменении B_y , а именно, эффект более явно выражен в секторе 00–12 MLT, чем в секторе 12–24 MLT. Отсутствие симметрии может быть связано с межполушарными ПТ, неоднородностью ионосферной проводимости, генерацией электрического поля в магнитосфере при взаимодействии с ММП и топологией магнитосферы.

Lukianova R. and A.Kozlovsky, IMF B_y effects in the plasma flow at the polar cap boundary, Ann. Geophys., 29, 1305-1315, 2011.

Лукьянова Р.Ю., А. Козловский, Ф. Христиансен, Продольные токи в зимнем и летнем полушариях, обусловленные B_y ММП, Геомагнетизм и аэрономия (принято в печать), 2011.

Лукьянова Р.Ю., к.ф.- м.н., renata@aari.nw.ru

30. Фронтальные структуры спорадических слоев E ионосферы.

Образование фронтальных структур спорадических слоев E известно по наблюдениям ионосферы посредством ионозондов, начиная с 60-х годов прошлого века. В наблюдениях такие структуры могут следовать одна за другой с характерной длиной волны (10-40) км и ассоциируются с так называемыми квазипериодическими радиоотражениями от E области ионосферы, регистрируемыми посредством когерентных радаров. На сегодняшний день, сложилась концепция, по которой образование фронтальных крупномасштабных структур в E и F областях ионосферы, а также их взаимное влияние, обуславливается плазменными неустойчивостями (E_s и Перкинса соответственно). Однако ряд экспериментов указывает на неправдоподобие такого сценария взаимодействия областей ионосферы и на существование в нижней ионосфере дрейфующих фронтальных структур, которые явно не соответствуют развитию E_s - неустойчивости. В настоящей работе показано, что развитие фронтальных структур в E области ионосферы допускает иное и более адекватное наблюдением описание. Предложен механизм образования фронтальных структур, основанный на неустойчивости экмановского типа, когда важным оказывается учет спиральности крупномасштабного потока и турбулентности в нейтральной компоненте слабоионизованной плазмы ионосферы.

О.Г.Чхетиани, С.Л.Шалимов. О механизме образования фронтальных структур ионосферных спорадических слоев E, Геомагнетизм и аэрономия, 2012 (принята к печати).

Чхетиани О. Г., д.ф.-м.н., тел.8-495-333-22-23, ochkheti@mx.iki.rssi.ru

31. Результаты наблюдения F области ионосферы двумя радарными.

По одновременным наблюдениям двух радаров (радар некогерентного рассеяния EISCAT, Svalbard и SuperDARN, Hankasalmi) F области ионосферы вблизи полярной шапки обнаружено, что спектральная ширина ионосферного эха обычно увеличена. Показано, что эта ширина растет с ростом ионосферного электрического поля. Эта зависимость может быть объяснена в терминах нелинейной эволюции градиентно-дрейфовой неустойчивости при каскадном процессе распада неоднородностей в диапазоне от сотен метров до метров.

Kozlovsky A., Shalimov S., Koustov A.V.Lukianova, R.Turunen. Dependence of spectral width of ionospheric F region HF echoes on electric field // J. Geophys. Res., 2011, Volume 116, Issue A7, CiteID A07302, doi: 10.1029/2011JA016804

Шалимов Сергей Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, pmsk7@mail.ru

32. Существование областей дополнительной ионизации в ионосфере над грозовыми разрядами.

Теоретически и экспериментально обосновано предположение о существовании областей дополнительной ионизации в ионосфере над грозовыми разрядами и их связи с TLE (transient luminous events). Показано, что эти области являются источником вторичных КНЧ-УНЧ волн. Предложен способ определения момента заряда в спайт-производящих грозовых разрядах.

Shalimov S., Bosinger T. Sprite-producing lightning-ionosphere coupling and associated low-frequency phenomena. // Space Sci. Rev. 2011. doi: 10.1007/s11214-011-9812-x

Шалимов С. Л., д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, pmsk7@mail.ru

V. Планеты и гелиосфера

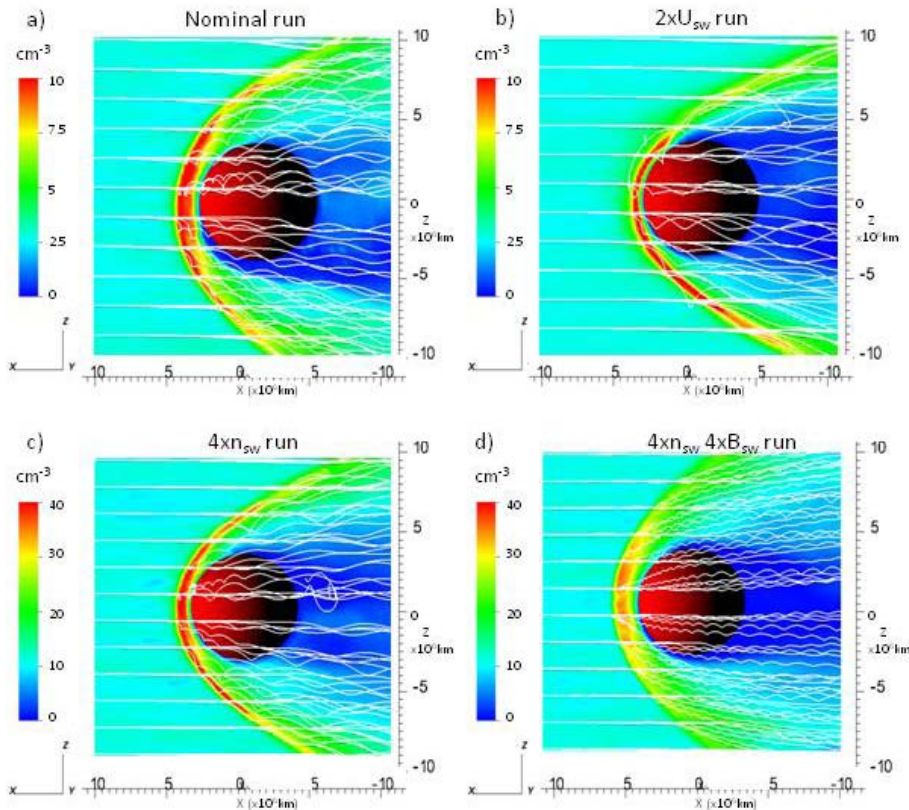
33. Физические условия на трассе полета космического аппарата к Юпитеру и его спутнику Европе.

Исследованы физические условия на трассе полета планируемой российской миссии к Юпитеру и его спутнику Европе. Обобщены известные данные и модели радиационных поясов Юпитера и его магнитного поля. Представлены предварительные результаты расчета радиационных нагрузок и потоков энергичных заряженных частиц. Выполнена оценка радиационных условий вблизи Европы с учетом влияния спутника на потоки частиц с различными энергиями с целью оптимизации траектории.

Podzolko, M.V.; Getselev, I.V.; Gubar, Yu.I.; Veselovsky, I.S.; Sukhanov, A.A. Charged particles on the Earth-Jupiter-Europa spacecraft trajectory. Advances in Space Research, 2011, Volume 48, Issue 4, p. 651-660. DOI: 10.1016/j.asr.2010.11.011

34. Моделирование особенностей распределения энергичных протонов в области взаимодействия солнечного ветра с Марсом.

Проведено моделирование взаимодействия солнечного ветра с Марсом с целью интерпретации экспериментально наблюдавшегося прибором СЛЕД на КА «Фобос-2» магнитного затенения при обтекании планеты солнечным ветром. Для вычислений тестовых частиц использовалась 3-D самосогласованная гибридная модель НУВ-Mars. Показано, что магнитное затенение зависит от скорости и плотности солнечного ветра и от величины и направления межпланетного магнитного поля.



На рисунке показано движение Н⁺ ионов солнечного ветра для 4 случаев: (а) номинальный прогон для скорости $U_{sw} = 485 \text{ км с}^{-1}$, $N_{sw} = 2.7 \text{ см}^{-3}$, $IMF = [-1.634, 2.516, 0] \text{ нТ}$, (б) скорость $2 \times U_{sw} = 970 \text{ км с}^{-1}$, $N_{sw} = 2.7 \text{ см}^{-3}$, $IMF = [-1.634, 2.516, 0] \text{ нТ}$, (с) плотность $= 4 \times N_{sw} = 10.8 \text{ см}^{-3}$, $U_{sw} = 485 \text{ км с}^{-1}$, $N_{sw} =$, $IMF = [-1.634, 2.516, 0] \text{ нТ}$ и (д) $4 \times N_{sw}$, $4 \times IMF$ для $U_{sw} = 485 \text{ км с}^{-1}$, $N_{sw} = 10.8 \text{ см}^{-3}$, $IMF = [-6.536, 10.064, 0] \text{ нТ}$. Тестовые частицы с начальной температурой 0 К генерировались вблизи плоскости $x = 10\,000 \text{ км}$ на сетке 15 (в направлении y) \times 15 (в направлении z) grid. Цветом в плоскости $y = 0$ меридиана полдень-полночь) показана полная плотность протонов. Белые линии – траектории тестовых частиц. Темно-синяя область за планетой – область пониженной концентрации Н⁺ является “SW-flow shadow”.

McKenna-Lawlor, S., E. Kallio, R. Jarvinen and V. V. Afonin, Magnetic shadowing of high energy ions at Mars: SLED/Phobos-2 observations and hybrid model simulations, Earth Planets and Space, 2011, *accepted*.

35. Исследование границы гелиосферы с помощью анализа экспериментальных данных по рассеянному Лайман-альфа излучению.

В 2011 году были проанализированы данные по рассеянному солнечному Лайман-альфа излучению, полученные на космическом аппарате SOHO/SWAN. А именно, изучались карты интенсивности излучения и карты первого момента спектра или величины доплеровского сдвига относительно центра линии. Проводилось сравнение экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов, выполненных на основании разработанной нами кинетической модели распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере. Задача нахождения функции распределения атомов по скоростям в гелиосфере решалась в наиболее реалистичной трехмерной и нестационарной постановке. При этом учитывалась гелиоширотная анизотропия параметров солнечного ветра, влияние 11-летнего цикла солнечной активности, а также влияние межзвездного магнитного поля. Сравнение карт интенсивности показало, что в период минимума солнечной активности наблюдается хорошее совпадение между теорией и экспериментом; в период максимума активности возникают различия в хвостовой части гелиосферы. Также исследовалось отклонение движения межзвездных атомов водорода по сравнению с атомами гелия. Этот эффект был зафиксирован экспериментально на КА SOHO/SWAN, и объясняется влиянием межзвездного магнитного поля. Нами были проведены расчеты величины отклонения для различных величин и направлений межзвездного магнитного поля. Было показано, что эта величина существенно зависит от напряженности межзвездного магнитного поля. Это означает, что такое исследование является способом удаленной диагностики параметров межзвездной среды (в частности, магнитного поля).

Katushkina O.A., Izmodenov V.V., Spectral properties of backscattered solar Ly-alpha radiation in the heliosphere: a theoretical search of the heliospheric boundaries effects, *Advances in Space Research*, Volume 48, pp. 1967-1979, 2011.

Катушкина О.А., Кинетические эффекты в распределении межзвездных атомов водорода в межпланетном пространстве: анализ данных по рассеянному лайман-альфа излучению. Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского №4, часть 5 (сборник трудов X Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики), 2011. (В печати).

Измоденов В.В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru

Катушкина О.А., м.н.с., т. 333-41-88, okat@iki.rssi.ru

36. Первое измерение галактического излучения в линии лайман-альфа водорода и рассеянное лайман-альфа излучение в области гелиосферного ударного слоя: анализ данных КА Вояджер 1

До настоящего времени лайман-альфа излучение от нашей Галактики не могло быть измерено из-за того, что оно «замаскировано» другими более яркими источниками излучения. Вне экзосферы основным источником лайман-альфа излучения является рассеянное на межзвездных атомах водорода солнечное излучение. Измерения лайман-альфа излучения на КА Вояджер 1 и 2, которые в настоящее время пересекли гелиосферную ударную волну и удаляются от Солнца со скоростью 3.5 а.е. в год, показывают, что с увеличением гелиоцентрического расстояния интенсивность лайман-альфа гелиосферного происхождения падает. На основе детального моделирования распределения межзвездных атомов во внешней гелиосфере, а также моделирования рассеянного солнечного лайман-альфа излучения с учетом многократного рассеяния, было показано, что начиная с 40 а.е. на КА Вояджер 2 было зарегистрировано

лайман-альфа излучение, имеющее галактическое происхождение. В работе показано, что пространственное распределение галактического лайман-альфа излучения не согласуется с гелиосферными моделями, однако хорошо согласуется с распределением галактического излучения балмеровской серии (H-alpha).

Было проведено сканирование в направлениях пересекающих плоскость Галактики, соответствующих хорошо известным областям образования звезд. Интенсивность галактического излучения составляет порядка 3-4 рэлей в наиболее ярких областях. Показано, что эти области коррелируют, но не совпадают с областями максимума свечения H-alpha излучения, что хорошо согласуется с моделями переноса излучения в областях III окруженных горячим газом. Также показано, что увеличение интенсивности свечения наблюдается в областях существенно выше плоскости галактики, там, где свечение в H-alpha не наблюдается. Теоретические оценки показывают, что наблюдаемое нами излучение в наиболее ярких областях составляет всего лишь ~3% свечения от областей III и имеет сильные пространственные неоднородности. Остальные 97 % свечения поглощаются в окружающем области III нейтральном газе.

Проведенные измерения галактического лайман-альфа на КА Вояджер-1 открывают путь будущим картографическим и спектральным экспериментам по изучению галактического лайман-альфа излучения, а также позволяют провести верификацию моделей переноса излучения, которые в настоящее время используются для далеких галактик.

Lallement R., Quémenerais E., Bertaux J., Sandel B., Izmodenov V., Voyager makes the first measurements of Hydrogen Lyman- alpha diffuse emission from the Galaxy, Science, принята в печать, электронная версия опубликована 1 декабря 2011 на сайте журнала (<http://www.sciencemag.org/content/early/recent>).

Измоденов В.В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru

37. Моделирование нестационарного течения солнечного ветра на границе гелиосферы при прохождении межпланетных ударных волн

Целью данного исследования являлось изучение прохождения пар ударных волн, формирующихся в солнечном ветре в период солнечного минимума, к границам гелиосферы, в область за гелиосферной ударной волной. Измерения плазмы солнечного ветра в этой области на космическом аппарате Вояджер 2 показывают сильные флуктуации параметров солнечного ветра. Причины такого сильно нестационарного течения солнечного ветра пока не объяснены. На основе трехмерной МГД модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой исследовано прохождение пары ударных волн из сверхзвукового солнечного ветра в область гелиосферного ударного слоя, где солнечный ветер дозвуковой. Модель учитывает влияние нейтральных атомов водорода, межпланетное и межзвездное магнитное поле. Исследовано изменение структуры пары ударных волн в сверхзвуковом солнечном ветре, прохождение через гелиосферную ударную волну, распространение в гелиосферном ударном слое и взаимодействие с гелиопаузой. Показано, что при распространении пары передней и обратной ударных волн в сверхзвуковом солнечном ветре ударные волны ослабевают. Взаимодействие с гелиосферной ударной волной приводит к возникновению нескольких сильных и слабых разрывов в области ударного слоя, обуславливающих сильные флуктуации в течении солнечного ветра. Результаты показали, что в гелиосферном ударном слое возникают ударные волны. Наблюдения Вояджера 2 показывают отсутствие ударных волн в гелиосферном ударном слое. Расхождение результатов моделирования и экспериментальных данных показывает необходимость учета в модели процессов, приводящих к диссипации ударных волн.

Provornikova E., Opher M., Izmodenov V., Toth G., 3D MHD modeling of the CMIR propagation in the heliosheath, Solar Heliospheric and Interplanetary Environment - 2011, 11-15 июля 2011, г.Сноумасс, Колорадо, США, 2011.

Provornikova E., Opher M., Izmodenov V., Toth G., Oran R., 3D MHD modeling of non-stationary flow in the heliosheath, AGU Fall - 2011, Abstract ID SH11A-1910.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru

Проворникова Е. А., м.н.с., т. 333-41-88, provea@iki.rssi.ru

38. Сравнение результатов трехмерной кинетико-магнитогидродинамических и многожидкостных моделей взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой.

Было проведено сравнение результатов, полученных в рамках кинетико-магнитогидродинамической модели, разработанной в ИКИ РАН, с результатами упрощенных многожидкостных моделей, разрабатываемых американскими коллегами. Показано, что, несмотря на качественное совпадение многих результатов, результаты моделей существенно отличаются количественно. Следовательно, использование многожидкостного подхода неприемлемо при анализе экспериментальных данных.

Alouani-Bibi, F.; Opher, M.; Alexashov, D.; Izmodenov, V.; Toth, G., Kinetic vs. multi-fluid approach for interstellar neutrals in the heliosphere: exploration of the interstellar magnetic field effects, Astrophysical Journal, Volume 734, Issue 1, article id. 45, 2011.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru

Алексашов Д. Б., с.н.с., т. 333-41-88

39. Взаимодействие межзвездного частично холодного облака с окружающей горячей плазмой

Продолжено исследование взаимодействия холодного нейтрального межзвездного облака и горячей плазмы в рамках двухжидкостной модели. Проанализированы адиабатическое и изотермическое течения плазменной компоненты в области взаимодействия. Результаты адиабатической модели позволяют заключить, что процесс перезарядки может быть одним из важнейших механизмов, который обеспечивает существование холодных межзвездных облаков в горячей плазме Локального пузыря. Численное решение показывает, что существуют волны, периодически рождающиеся на границе облака. Эти возмущения распространяются внутрь облака и затем отражаются от его центра.

В рамках модели, учитывающей изотермическое течение окружающей плазмы, было получено, что радиус межзвездного облака меняется в течение времени взаимодействия, облако расширяется. Нейтральный газ в облаке нагревается, концентрация нейтральных атомов в облаке уменьшается, а концентрация заряженных частиц увеличивается. Решение для изотермического случая позволяет определить время жизни межзвездных облаков в горячей плазме. Расчеты были проведены для облаков различных радиусов и с различной концентрацией атомов водорода. Для Локального межзвездного облака, в котором движется Солнце, время жизни составляет 1,5 млн. лет.

Provornikova, E. A., Izmodenov, V. V.; Lallement, R., Two-component model of the interaction of an interstellar cloud with surrounding hot plasma, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 415, Issue 4, pp. 3879-3886, 2011.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru
 Проворникова Е.А., м.н.с., т. 333-41 88, provea@iki.rssi.ru

40. Влияние граничных условий на сжатие самогравитирующего газа.

Аналитически и численно исследовано сжатие ограниченных объемов совершенного газа с целью определить возможные режимы установления гравитационного равновесия. Рассматривались одномерные плоские и сферически симметричные движения. Граница слоя (сферы) в начальный момент времени считалась произвольным разрывом. Выявлено два характерных режима движения. Первый реализуется при не слишком больших (по сравнению с длиной Джинса λ_J) толщинах слоя h и сопровождается продолжительным временем осцилляциями параметров газа, рис.а,б. При этом время установления гравитационного равновесия определяется диссипативными свойствами применяемых разностных схем и потерями кинетической энергии вследствие возникновения ударных волн. Режим второго типа, называемый режимом быстрого сжатия (рис. в,г), отвечает значениям $h \sim \lambda_J$ и характеризуется быстрым по сравнению со временем λ_J/c (c – изотермическая скорость звука) увеличением плотности среды в области с масштабом много меньшим h . Построена аналитическая модель сжатия, позволяющая определить максимум плотности в центре сжимающегося слоя.

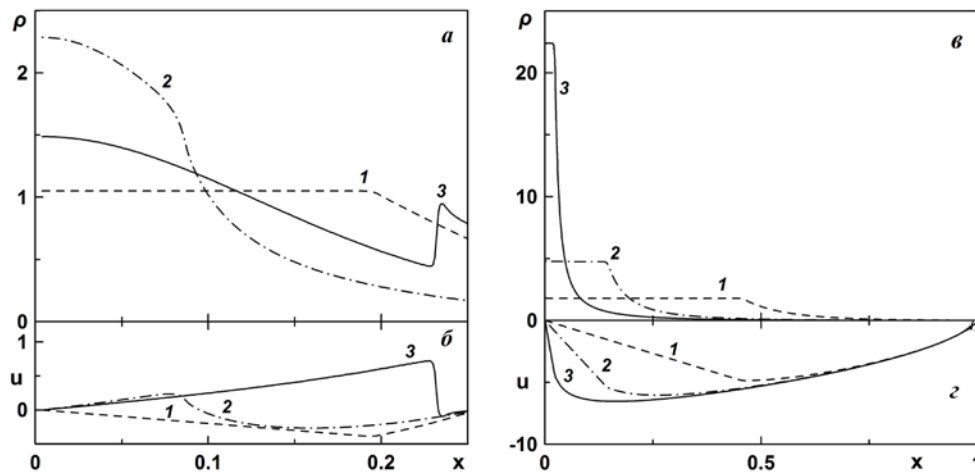


Рис. 1.1 Распределение плотности (а, в) и скорости (б, г) при изотермическом сжатии слоя $h/\lambda_J = 0.25$ (а, б); 1 - 3 - $tc/\lambda_J = 0.05, 0.25, 0.5$; $h/\lambda_J = 1$ (в, г): 1 - 3 - $tc/\lambda_J = 0.15, 0.2, 0.22$. Плотность отнесена к начальному значению ρ в слое, а скорость – к скорости звука c .

Рассмотрено влияние граничных условий на характеристики движения. Показано, что изменение плотности в центре сферы при наличии контактного разрыва существенно больше, чем в его отсутствие. Исследовано действие давления окружающей среды на слой. В случае, когда давление во внешней среде превышает давление в слое, внутрь слоя распространяется ударная волна. Путем численных расчетов определены возрастание плотности за фронтом ударной волны и соответствующее уменьшение длины Джинса. Тем самым подтверждены качественные выводы о том, что ударные волны могут стимулировать процессы фрагментации среды. Для астрофизических приложений полученные результаты означают, что в межзвездной среде при весьма разнообразных физических условиях возможно присутствие очень плотных сгустков веществ, не находящихся в гравитационном равновесии.

Арафайлов С.И., Краснобаев К.В., Тагирова Р.Р. Одномерное сжатие ограниченных объемов самогравитирующего газа. Журнал Изв. РАН, Механ. жидкости и газа (принята в печать).

Краснобаев К.В. д.ф.-м.н., 333-4188, kvk-kras@list.ru
Тагирова Р.Р., к.ф.-м.н., 333-4188, tarenata@rambler.ru

41. Моделирование движения неоднородных самогравитирующих газовых слоев и сферических оболочек в межзвездной среде

В нелинейной постановке исследована эволюция малых начальных возмущений плотности в сжимающемся самогравитирующем газе. Рассмотрено сжатие плоских слоев, сферического объема, газовой оболочки. Особенность моделирования заключается в неоднородности и нестационарности основного течения.

Установлено, что возмущения с масштабами, меньшими длины Джинса λ_J , не только не затухают, но их относительная амплитуда может даже увеличиваться. Если длина волны возмущений порядка или превышает λ_J , то возмущения нарастают. Однако характерное время роста меньше времени перехода к режиму быстрого сжатия. В результате не происходит разбиения газа на плотные сгустки, разделенные областями низкой плотности. Значительно большее различие между минимальной и максимальной плотностями имеет место при развитии возмущений в оболочке.

На основе разработанной авторами двухфронтной модели распространения ионизационно-ударного фронта получены следующие результаты.

- Начальное возмущение параметров газа приводит к возникновению неоднородностей в плотном слое между фронтами. Происходит также смещение фронтов относительно их невозмущенного положения. В зависимости от рассматриваемой модели движения – «обжатие» неоднородности I-S фронтом, расширение области III, продвижение I-S фронта вглубь облака – комплекс разрывов смещается соответственно в сверхзвуковой поток, в направлении ионизованного газа или это смещение вообще невелико.

- При фиксированном расстоянии между фронтами на величину неоднородностей и смещение разрывов оказывает значительное влияние эффективность охлаждения газа за фронтом ударной волны. С уменьшением эффективности охлаждения роль самогравитации возрастает.

- С увеличением расстояния между фронтами возрастает масса заключенного в плотном слое вещества. Вследствие этого возрастают и силы взаимного притяжения между частицами среды. При этом возмущения плотности сопоставимы с плотностью в невозмущенном слое.

Выполненные расчеты позволяют полагать, что установление равновесия между фронтами сопровождается сильными колебаниями параметров среды и возникновением неоднородной структуры плотного слоя газа. Таким образом, известные в литературе модели, состояния гравитационного равновесия, нуждаются в существенной модификации.

Арафайлов С.И., Краснобаев К.В., Тагирова Р.Р. Неустановившееся одномерное сжатие ограниченного объема самогравитирующего газа. Материалы научной конференции «Ломоносовские чтения». Секция механики. Ноябрь 2011. С. 77.

К.В. Краснобаев, Р.Р. Тагирова. «Гравитационное сжатие неоднородного газового слоя (сферы) под воздействием давления внешней среды». Материалы Всероссийской конференции «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра (HEA-2011)». 2011.

Краснобаев К.В. д.ф.-м.н., 333-4188, kvk-kras@list.ru

VI. Исследования звезд

42. Развитие магниторотационной модели взрыва сверхновой

Проведены двумерные численные расчеты магниторотационного (МР) взрыва сверхновой с коллапсирующим ядром с использованием уравнения состояния (Shen et al.). При моделировании, в дополнение к численно решаемым ранее уравнениям МГД с самогравитацией, решались также уравнения для доли электронов Y_e и доли нейтрино Y_{ν} . Более точно учитывались нейтринные потери. Результаты расчетов МР взрыва сверхновой с использованием упрощенного уравнения состояния сравнивались с результатами моделирования МР взрыва с уравнением состояния Shen et al.. Было также проведено сравнение результатов нашего моделирования МР взрыва при начальных условиях, использованных японской группой из университета Токио (рук. К.Сато), с результатами расчетов японской группы по Эйлеровой схеме. Было показано, что при больших значениях начального магнитного поля $H=10(12)$ Гаусс взрыв происходит одновременно с отскоком ударной волны, и в результате взрыва формируется коллимированный джет (Рис.1) также как и в расчетах японской группы. При начальных полях меньшей интенсивности $H \leq 10(9)$ Гаусс МР взрыв сверхновой не приводит к формированию коллимированного джета (Рис.2) в отличие от результатов японской группы. Различие результатов, по-видимому, связано с тем, что при использовании Лагранжевого численного метода (в отличие от Эйлерового) угловой момент сохраняется. При расчетах по Лагранжевой и по Эйлеровой схемам, при одинаковых начальных данных, получаются схожие значения энергии МР взрыва.

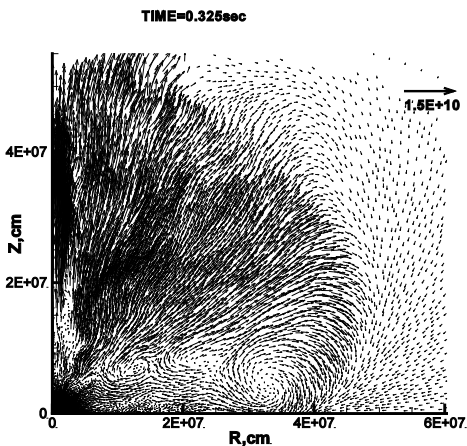


Рис. 1. Поле скоростей при начальном магнитном поле $H=10(12)$ Гаусс.

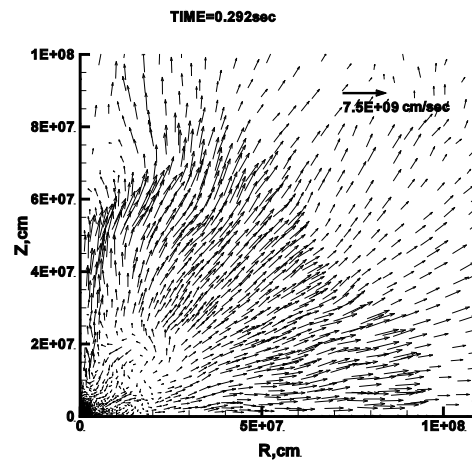


Рис. 2. Поле скоростей при начальном магнитном поле $H=10(9)$ Гаусс.

С.Г.Моисеенко, Г.С.Бисноватый-Коган, Н.В.Арделян, Моделирование магниторотационных процессов в астрофизике (магниторотационные сверхновые). Сборник трудов семинара "Вычислительные технологии в естественных науках. Системы глобального масштаба." 9-11 июня 2010г., Таруса, под редакцией Р.Р.Назирова, Л.Н.Щура, ИКИ РАН, Москва 2011 стр. 91-104

S.G.Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan, N.V.Ardeljan, Magnetorotational processes in core-collapse supernovae, Proc. 6th Annual International Conference on Numerical Modeling of Space Plasma Flows. Astronomical Society of the Pacific Conference Series 2011 (accepted).

Г.С.Бисноватый-Коган, д.ф.-м.н., 333-45-88, gkogan@iki.rssi.ru
С.Г.Моисеенко, д.ф.-м.н., 333-45-88, moiseenko@iki.rssi.ru

43. Сильное гравитационное линзирование в плазме.

Рассмотрена задача о сильном гравитационном линзировании на шварцшильдовской черной дыре при наличии плазмы. Внимание уделено случаю, когда лучи света проходят вблизи гравитационного радиуса и отклоняются на большие углы. На основе гамильтонова подхода (Синг) были записаны уравнения движения фотона в шварцшильдовской метрике, в неоднородной плазме, в сферических координатах. С помощью этих уравнений было выведено в виде интеграла точное выражение для угла отклонения фотона при движении в шварцшильдовской метрике в плазме со сферически-симметричным распределением плотности. Был детально рассмотрен случай однородной плазмы. Для однородной плазмы угол отклонения был выражен через эллиптические интегралы. Для заданного отношения частот существует критическое значение расстояния минимального сближения, при приближении к которому угол отклонения логарифмически расходится (стремится к бесконечности). Было получено аналитическое выражение для угла отклонения фотона в приближении сильного отклонения, в шварцшильдовской метрике, в однородной плазме. Получено, что присутствие однородной плазмы увеличивает критическое значение минимального сближения, по сравнению со случаем вакуума. Это важно с точки зрения исследования возможности наблюдений изображений источника, образованных фотонами, совершившими один или несколько оборотов вокруг черной дыры и затем попавшими к наблюдателю (релятивистских изображений).

O. Tsupko, G. Bisnovatyi-Kogan, Gravitational Lensing in Plasma, Proceedings of the 25th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics. December 6-10, 2010. Heidelberg, Germany. Editors: Frank M. Rieger (Chair), Christopher van Eldik and Werner Hofmann. Published online at <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=123>, id.30

G.S. Bisnovatyi-Kogan, A.I. Neishtadt, Z.F. Seidov, O.Yu. Tsupko, Yu.M. Krivosheyev, Dynamical chaos in the problem of magnetic jet collimation, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 416, Issue 1, pp. 747-756.

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru
О.Ю.Цупко к.ф.-м.н. 333-45-88 tsupko@iki.rssi.ru

44. Аккреция Бонди-Хойла на звезду с магнитным полем.

Для исследования аккреции Бонди-Хойла на одиночную нейтронную звезду с магнитным полем было проведено численное осесимметричное МГД моделирование. Предполагалось, что звезда движется в межзвездной среде со сверхзвуковой скоростью (число Маха $M = 3$). Звезда обладает дипольным магнитным полем, вектор поля сонаправлен с вектором скорости звезды. Радиус магнитосферы R_m меньше аккреционного радиуса R_{BH} (радиуса Бонди-Хойла), таким образом гравитационная фокусировка была существенной. (В большинстве предыдущих работ рассматривались случаи, когда радиус магнитосферы R_m был больше аккреционного радиуса, либо звезда находилась в режиме пропеллера).

Мы показали, что

1. Межзвездное вещество захватывается нейтронной звездой, если радиус магнитосферы R_m меньше аккреционного радиуса R_{BH} . Вблизи звезды аккрецирующее вещество падает на поверхность звезды вдоль магнитных полюсов, большой поток массы идет с подветренной

стороны звезды. Даже в случае относительно слабого поля темп аккреции на звезду с магнитным полем меньше, чем в случае немагнитной звезды с теми же параметрами.

2. В случае относительно сильного магнитного поля звезды ($R_m > R_{BH}$) силовые линии магнитного поля вытягиваются в направлении потока вещества вне магнитосферного радиуса R_m . В случае относительно слабого магнитного поля ($R_m < R_{BH}$) наблюдаются осцилляции замкнутой магнитосферы. Эти осцилляции сопровождаются колебаниями темпа аккреции вещества.

3. Темп аккреции уменьшается с увеличением магнитного момента.

4. Старые медленно вращающиеся радиотихие нейтронные звезды могут быть видны в рентгеновском диапазоне благодаря аккреции межзвездного вещества. Для нейтронной звезды, движущейся сквозь межзвездную среду с числом Маха = 3, мы оценили аккреционную светимость как $< 10^{30}$ эрг / сек. В общем случае скорость движения звезды, магнитный момент и вектор угловой скорости могут иметь разные направления, поэтому аккреционная светимость будет модулироваться скоростью вращения звезды.

Toropina, O. D.; Romanova, M. M.; Lovelace, R. V. E., Bondi-Hoyle accretion on to a magnetized neutron star, 2012, 2011MNRAS.tmp.2016T (<http://arxiv.org/abs/1111.2460>)

О.Д.Торопина, к.ф.-м.н., 333-45-88, toropina@iki.rssi.ru

45. Модели аккреционных дисков высокой светимости вокруг черных дыр

В работе рассматривается стационарная задача аккреции на вращающуюся черную дыру. Учитывается адвекция и используются обобщенные формулы для радиационного давления, описывающие одновременно оптически тонкий и оптически толстый случаи. Делается особый упор на рассмотрение моделей с большой скоростью аккреции. Исследованы свойства глобальных решений для аккреционного диска, описывающих непрерывный переход между оптически толстой внешней и оптически тонкой внутренней областями. Данная задача сводится к численному решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Модель с корректно учтенным переходом между оптически толстой и оптически тонкой областью показывает наличие пика температуры во внутренней (оптически тонкой) области. Присутствие этого пика может проявиться в спектре наличием жесткой составляющей, которая может быть зафиксирована в наблюдениях. Высокая температура во внутренней области аккреционного диска может приводить к рождению электрон-позитронных пар, и изменять спектр излучения диска в области энергий в районе 500 Kev и выше. Показано, что существование и размер оптически тонкой области непосредственно зависит от параметра вязкости и вращения черной дыры. В случае вращающейся черной дыры максимальные температуры во внутренних областях диска превосходят соответствующие температуры, получаемые для невращающейся черной дыры.

Для случая аккреции на вращающуюся черную дыру показано существование высокотемпературной, оптически тонкой области на более широком (чем в случае аккреции на невращающуюся черную дыру) диапазоне значений мощности аккреции и параметра вязкости. Кроме того, температура в этой области достигает настолько высоких значений (выше 10^{11} K), что становится возможным рождение электронно-позитронных пар.

40-ая студенческая конференция "Физика космоса". Россия, Екатеринбург. 31.01.2011-4.02.2011
VIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования". Россия, Москва. 14-15.04.2011

X-ray Astrophysics up to 511 keV. Ferrara (Italy).September 14-16, 2011

Г.С.Бисноватый-Коган, д.ф.-м.н., 333-45-88, gkogan@iki.rssi.ru
А.С.Клепнев, 333-45-88, klepnev@gmail.com

46. Исследование механизмов нагрева джетов

Было завершено исследование энергетического баланса джетов микроквazarов. В рамках исследования были проведены количественные расчеты профиля температуры в джете с учетом различных процессов охлаждения и нагрева джета: охлаждения за счет излучения, нагрева за счет прохождения ударных волн, нагрева за счет кулоновских столкновений протонов джета и окружающего вещества. Были определены вклады процессов в тепловой баланс джетов, выявлен наиболее важный процесс - трансформация кинетической энергии движения джета в тепловую за счет кулоновских столкновений протонов джета и окружающего его газа. Также была показана возможность образования так называемой узлообразной структуры джета, которая видна в наблюдениях, вследствие диссипации энергии ударных волн, проходящих по джету.

Yuri Krivosheyev, G.S. Bisnovaty-Kogan, "Subrelativistic Jets' Heating Mechanisms", Proceedings of the 25th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, December 6-10, 2010 (опубликовано онлайн)

2. G.S. Bisnovaty-Kogan, A.I. Neishtadt, Z.F. Seidov, O.Yu. Tsupko, Yu.M. Krivosheyev "Dynamical chaos in the problem of magnetic jet collimation", MNRAS, 416, 747-756 (2011)

3. Г.С. Бисноватый-Коган, Ю.М. Кривошеев "Исследование механизмов нагрева джетов на примере микроквзара SS433", АЖ (2012) (принято в печать)

Г.С.Бисноватый-Коган, д.ф.-м.н., 333-45-88, gkogan@iki.rssi.ru
Ю.М.Кривошеев, 333-45-88, krivosheyev@iki.rssi.ru

47. Активные ядра галактик и молодые звездные скопления.

Исследованы гидродинамические процессы в ядрах активных галактик на основе одномерных расчетов, для моделирования пылевого тороидального образования в околоядерной области. Получено, что существование тора, поддерживаемого давлением инфракрасного потока излучения, получаемого при переработке жесткого излучения от центрального объекта, - аккреционного диска вокруг сверхмассивной черной дыры в пылевом торе. За счет большого сечения взаимодействия инфракрасного излучения с пылью происходит отток вещества преимущественно вдоль большой оси тора. Рассчитана модель образования ветра из молодых звездных скоплений, формируемых за счет газа от звездных ветров, поставляющих массу и энергию газу скопления. Решена задача о сферически симметричном ветре для неоднородного по радиусу распределения звезд, с усредненным источником массы и энтропии (нагрева). Найдено положение особой точки, и рассмотрены различные режимы формирования ветра в зависимости от мощности источников массы и нагрева.

Dorodnitsyn, A., G.S. Bisnovaty-Kogan, T.Kallman, Active Galactic Nucleus Obscuration through Dusty Infrared-dominated Flows. I. Radiation-hydrodynamics Solution for the Wind ApJ, 2011, 741, id29

Silich, Sergey, Bisnovaty-Kogan, Gennady; Tenorio-Tagle, Guillermo; Martínez-González, Sergio, The Steady-state Wind Model for Young Stellar Clusters with an Exponential Stellar Density Distribution, ApJ 2011, 743, id120

48. Исследование транзиентных явлений в оптическом и гамма - диапазоне.

- 1) Проводился поиск и наблюдения послесвечения гамма-всплесков в оптическом и радио диапазонах на российских и зарубежных телескопах сети наблюдения за гамма-всплесками: 50см телескоп (Уссурийская Астрофизическая обсерватория), АЗТ-33ИК (ИСЗФ СО РАН), АЗТ-22 (г.Майданак, Институт Астрономии Уз. АН), Ц-2000, Ц-600 (п.Терскол, ИНАСАН), АЗТ-11, ЗТШ (КрАО), Цейсс-600, ЗТЭ (Южная станция ГАИШ), РТ-22 (КрАО).
- 2) Проведены длительные наблюдения в оптическом диапазоне (от первого дня до 6-х месяцев после триггера) внегалактического источника Swift J164449.3+573451. Успешно проведен поиск родительской галактики короткого гамма-всплеска с продленным излучением GRB 110402. Завершено построение модели оптически темного гамма-всплеска 051008 для чего, совместно с зарубежными участниками, проведены наблюдения и калибровки источника в ИК диапазоне на телескопах Gemini и PAIRITEL.
- 3) Продолжено исследование коротких гамма-всплесков. Предложена модель коротких гамма-всплесков, объясняющая их продленное излучение.
- 4) Продолжена совместная работа с Институтом ядерных исследований РАН по обработке данных с установки «Андырчи». В частности, проводится анализ значимости возможной регистрации сигнала от ансамбля коротких гамма-всплесков.
- 5) Совместно с ИПИ РАН завершены работы по отбору в режиме реального времени вторичных фотометрических стандартов в полях наблюдения послесвечения гамма-всплесков. Вторичные фотометрические стандарты распространяются в режиме реального времени через Интернет.
- 6) Продолжено исследование астроклимата в двух точках Центральной Азии (ССО, п. Монды, Россия и Таванталгой, Монголия). Результаты представлены на конференции.
- 7) Проведены анализ возможности и частоты регистрации земных гамма-вспышек и космических гамма-всплесков в эксперименте Чибис.

Barkov, Maxim V.; Pozanenko, Alexei S., Model of the extended emission of short gamma-ray bursts, MNRAS 417, Issue 3, pp. 2161-2165 (2011).

Petkov, V. B.; Pozanenko, A. S.; Loznikov, V. M., Searching for GeV energy from short Gama-Ray Bursts, AIP Conference Proceedings, Volume 1358, pp. 217-220 (2011).

Petkov, V. B.; Pozanenko, A. S.; Loznikov, V. M.; Gaponenko, A. N.; Andreev, M. V.; Sergeev, A. V., Search for high energy gamma-ray bursts, Astrophysics and Space Sciences Transactions, Volume 7, Issue 2, 2011, pp.97-100 (2011)

П.Ю. Минаев, 3335366

В.М. Лозников, к.ф.-м.н., 3334123

А.С. Позаненко, к.ф.-м.н., 3335366

VII. Теоретические исследования

49. Метастабильные токовые слои в бесстолкновительной плазме: изучение равновесий, неустойчивостей и процессов ускорения частиц.

1) Кинетические модели токовых слоев с широм магнитного поля

Многочисленные спутниковые измерения указывают на то, что в хвосте магнитосферы Земли могут формироваться тонкие токовые слои (толщиной порядка одного или нескольких ларморовских радиусов ионов), в которых нормальная компонента магнитного поля (B_z)

практически постоянна, а другие его компоненты (тангенциальная B_x и сдвиговая B_y) зависят от поперечной координаты (z). Плотность тока в таком слое также имеет две самосогласованные компоненты (j_x и j_y , соответственно), а силовые линии магнитного поля деформированы, и не лежат в одной плоскости. Для исследования таких фактически одномерных равновесных токовых конфигураций были использованы две кинетические модели - численная, основанная на методе крупных частиц, и аналитическая. Результаты расчетов показывают, что для одних и тех же входных данных могут существовать две различные моды самосогласованного сдвигового магнитного поля B_y , и соответственно, две конфигурации тонкого токового слоя. Для антисимметричной (относительно z -координаты) моды B_y магнитные силовые линии закручены внутри слоя, однако профили плотности плазмы, компоненты j_y плотности тока и компоненты B_x магнитного поля практически мало отличаются от случая с магнитным полем без сдвига ($B_y=0$). Для симметричной B_y моды магнитные силовые линии лежат на изогнутой поверхности, при этом плотность плазмы в слое мало изменяется, а толщина токового слоя становится вдвое больше. Анализ зависимости структуры токового слоя от потоковой анизотропии демонстрирует существенное утоньшение слоя при уменьшении отношения тепловой и дрейфовой скоростей плазмы, что обусловлено динамикой квазиадиабатических ионов. Показано, что результаты аналитической и численной моделей хорошо согласуются друг с другом. Обсуждаются вопросы применения данной модели к описанию токовых слоев на магнитопаузе и вблизи областей пересоединения.

Мингалев О.В., И.В. Мингалев, М.Н. Мельник, А.В. Артемьев, Х.В. Малова, В.Ю. Попов, Шен Чао, Л.М. Зелёный, Кинетические модели токовых слоев с широким магнитным полем, Физика Плазмы, принято к печати, 2011.

2) Изгибная неустойчивость цилиндрического токового слоя.

Работа посвящена исследованию изгибной неустойчивости одномерного цилиндрического токового слоя. В качестве начального равновесия выбрана модель самосогласованного θ -пинча с постоянными дрейфовыми частотами ионов и электронов. Показано, что в данной равновесной конфигурации может развиваться изгибная неустойчивость; получены зависимости инкрементов и действительных частей частоты неустойчивости от номера моды. Найденные зависимости показывают, что длина волны неустойчивой моды с наибольшим инкрементом растёт пропорционально толщине токового слоя, а значение инкремента при этом уменьшается. Неустойчивые моды развиваются лишь в узком диапазоне значений длин волн, определяемом относительной толщиной токового слоя. С ростом радиуса цилиндрического токового слоя растут инкремент неустойчивости и номер неустойчивой моды. В работе обсуждается возможность применения полученных результатов для описания динамики токовых слоёв в магнитосферах Урана и Нептуна.

Попоудин С.Ю., А.В. Артемьев, Х.В. Малова, Изгибная неустойчивость цилиндрического токового слоя, Космические исследования, принято к печати, 2011.

3) Кинетическая модель двумерного цилиндрического токового слоя

Работа посвящена построению класса стационарных решений системы уравнений Власова-Максвелла в виде двумерных цилиндрических токовых слоёв с током вдоль азимутального направления $\mathbf{j} = j_\theta(\rho, z)\mathbf{e}_\theta$. Магнитное поле такой системы обладает двумя компонентами $\mathbf{B} = B_z(\rho, z)\mathbf{e}_z + B_\rho(\rho, z)\mathbf{e}_\rho$. Математически задача сводится к нахождению решений нелинейного уравнения в частных производных для функции $u(\rho, z)$: $\partial^2 u / \partial x^2 + x^{-1} \partial^2 u / \partial z^2 = e^{-u}$, где $x = \rho^2$.

Методами теории групп найдено трехпараметрическое семейство точных решений этого уравнения и рассмотрены асимптотики решений при больших значениях ρ и вблизи оси цилиндрической системы координат ($\rho \sim 0$). Обсуждается применение построенного класса решений для описания токовых слоёв, наблюдаемых в магнитосферах планет солнечной системы, магнитные диполи которых лежат в плоскости эклиптики.

Васько И.Ю., Попов В.Ю., Кинетическая модель двумерного цилиндрического токового слоя, Вестник МГУ, принято к печати.

4) Тонкие токовые слои в бесстолкновительной плазме: равновесная структура, плазменные неустойчивости и ускорение частиц

Обзор посвящён плазменным структурам с предельно малым поперечным масштабом – тонким токовым слоям, открытым и исследованным в процессе спутниковых наблюдений, проводившихся в хвосте магнитосферы Земли в последние десятилетия. Образование тонких слоёв связано с проявлением сложных динамических процессов, развивающихся в бесстолкновительной космической плазме во время геомагнитных возмущений и вблизи областей пересоединения. В статье приведен обзор моделей, описывающих тонкие токовые структуры в хвосте магнитосферы Земли. В основе этих моделей лежат представления о квазиadiaбатической динамике ионов в относительно слабом магнитном поле нейтрального слоя хвоста магнитосферы, где ионы могут размагничиваться. Показано, что функция распределения ионов может быть представлена в виде функции от интегралов движения частиц: полной энергии и квазиadiaбатического инварианта. Рассмотрены различные модификации исходного равновесия, включающие в себя учет токов замагниченных электронов, вклад ионов кислорода, асимметрию источников плазмы и эффекты, связанные с «немаксвелловским» видом функций распределения частиц. Проведено сопоставление теоретических результатов и данных наблюдений, полученных спутниковой миссией *Cluster*. Исследованы различные плазменные неустойчивости, развивающиеся в тонких токовых слоях. Проведён анализ эволюции разрывной моды и найдены параметрические области, в которых данная мода может расти. Таким образом, на основе квазиadiaбатической модели токового слоя решён парадокс полной стабилизации разрывной моды в токовых слоях с нормальной компонентой магнитного поля. Показано, что в широком диапазоне значений параметров токового слоя и направлений распространения крупномасштабных неустойчивых волн в системе могут развиваться различные модификации дрейфовых неустойчивостей (изгибная и перетяжечная моды). На основе концепции турбулентного электромагнитного поля, образующегося в результате развития и насыщения неустойчивых волн, предложен механизм ускорения заряженных частиц в турбулентных токовых слоях и получены степенные энергетические спектры ускоренных частиц.

Зелёный Л.М., Х.В. Малова, А.В. Артемьев, В.Ю. Попов, А.А. Петрукович, Тонкие токовые слои в бесстолкновительной плазме: равновесная структура, плазменные неустойчивости и ускорение частиц, Физика плазмы, том 37, № 2, с. 137–182, 2011; (Engl. Transl. Zelenyi, L. M.; Malova, H. V.; Artemyev, A. V.; Popov, V. Yu.; Petrukovich, A. A., Thin current sheets in collisionless plasma: Equilibrium structure, plasma instabilities, and particle acceleration, Plasma Physics Reports, Volume 37, Issue 2, pp.118-160, 2011).

5) Вложенные тонкие токовые слои в хвосте магнитосферы.

Проведено исследование тонких токовых слоев, вложенных в намного более толстый изотропный токовый слой – такие структуры неоднократно наблюдались во время суббурь в хвосте магнитосферы Земли. Исходное равновесие включает в себя токи неadiaбатических

ионов и замагниченных электронов, а также крупномасштабный фоновый ток, поддерживаемый горячими изотропными частицами плазмы. Обсуждаются и используются количественные параметры, описывающие такую вложенную многомасштабную систему. Используется статистика спутников Cluster, эмпирическая модель и самосогласованная модель, которые помогают понять процессы образования и развития вложенных токовых структур, в частности, во время суббури. Как экспериментальные, так и теоретические данные показывают, что толщина вложенного токового слоя порядка ионного ларморовского радиуса. Вложенный токовый слой может быть описан двумя основными B_0/B_{ext} and F_0/F_{ext} , где B_0 - магнитное поле на границе вложенного слоя, B_{ext} - магнитное поле на границе фонового плазменного слоя, а F_0 и F_{ext} , величины соответствующих магнитных потоков. Во время фазы накопления суббури плотность тока вложенного слоя увеличивается, и, соответственно, растет величина магнитного поля B_0 , в то время как толщина вложенного слоя уменьшается. Слои с наиболее интенсивными токами (большими B_0) наблюдаются после взрывной фазы. Самосогласованная модель анизотропного токового слоя, состоящего из комбинации двух вложенных токовых слоев, показала, что когда вложенный токовый слой достигает предельно малой толщины (порядка ионного гирорадиуса), внутри него возникает токовый слой с характерным масштабом электронного вращения благодаря усилению дрейфа кривизны электронов.

Petrukovich, A. A.; Artemyev, A. V.; Malova, N. V.; Popov, V. Y.; Nakamura, R.; Zelenyi, L. M., Embedded current sheets in the Earth's magnetotail, Journal of Geophysical Research, Volume 116, CiteID A00I25, 2011.

6) Статистика пересечений тонких токовых слоев по данным спутников Cluster.

Исследована статистика 70 пересечений тонких токовых слоев спутниками Cluster для сравнения свойств токовых слоев на вечернем и утреннем флангах хвоста магнитосферы Земли. Особое внимание уделено свойству вложенности токовых слоев: мы определили вложенность как $b_e = B_{ext}/B_0$ (B_0 и B_{ext} - величины магнитных полей на границах токовых слоев и в долях хвоста). Плотность тока была определена методом курлометра, и была оценена толщина токовых слоев. Было показано, что токовый слой в утреннем секторе имеет большую вложенность b_e , меньшее значение плотности тока и относительно большую толщину (в единицах ларморовского радиуса) по сравнению с вечерним сектором. Протоны в токовых слоях делятся на две популяции (носители тока и фоновые частицы). Температуры этих популяций были оценены. Распределение температуры протонов T_p внутри токового слоя аппроксимированы выражением $T_p \approx T_p(1 - \alpha_T(B_x/B_{ext})^2)$, где T_p - значение температуры протонов в центральной области токового слоя. Среднее значение составляет $\alpha_T \approx 0.8$. Плотность тока протонов (поток в Y - направлении) положителен на вечернем фланге и отрицателен на утреннем фланге, в то время как плотность электронного тока положительная на обоих флангах. Эта разница в плотности протонного тока на обоих флангах объясняется дрейфом $E \times B$ частиц в присутствии электростатического поля к Земле E_x . Развита простая модель электростатического поля к Земле, чтобы учесть эффекты вложенности и магнитной компоненты в направлении «утро-вечер».

Artemyev, A. V.; Petrukovich, A. A.; Nakamura, R.; Zelenyi, L. M., Cluster statistics of thin current sheets in the Earth magnetotail: Specifics of the dawn flank, proton temperature profiles and electrostatic effects, Journal of Geophysical Research, Volume 116, Issue A9, CiteID A09233, 2011.

7) Ускорение заряженных частиц в электромагнитной турбулентности с переменным уровнем перемежаемости.

Исследована роль перемежаемости в процессе ускорения и транспорта заряженных частиц электромагнитной турбулентностью. Предложена простая модель электромагнитной турбулентности с переменным уровнем перемежаемости. Магнитное поле описывается как суперпозиция ансамбля магнитостатических плоских волн и пространственно локализованных магнитных облаков. Амплитуды магнитных облаков распределены по перемежающейся сетке. Модель аппроксимирует основные свойства турбулентности, наблюдаемой 'in situ' в нейтральной плоскости хвоста магнитосферы Земли. Численное интегрирование траекторий частиц в подобном динамическом электромагнитном окружении показало, что, для фиксированного интервала времени, чем выше уровень перемежаемости, тем больше набор энергии. Более того, в достаточно перемежающейся турбулентности ускорение частиц происходит без значительного пространственного транспорта.

Zelenyi, L. M.; Rybalko, S. D.; Artemyev, A. V.; Petrukovich, A. A.; Zimbardo, G., Charged particle acceleration by intermittent electromagnetic turbulence, *Geophysical Research Letters*, Volume 38, Issue 17, CiteID L17110, 2011.

8) Распределение электронной температуры в тонких токовых слоях в хвосте магнитосферы Земли

Статья посвящена исследованию вертикального распределения электронной температуры в тонких токовых слоях в хвосте магнитосферы Земли. Зависимость температуры электронов от магнитного поля $T_e(B_x)$ исследовано для 62 пересечений тонких токовых слоев космическими аппаратами Cluster. Профили $T_e(B_x)$ аппроксимированы простым выражением $T_e \approx T_{\text{max}}(1 - \alpha(B_x/B_{\text{ext}})^2)$, где α - постоянный параметр, T_{max} - максимальное значение температуры электронов и B_{ext} - амплитуда магнитной компоненты B_x , полученной из баланса давлений плазмы в вертикальном направлении. Среднее значение параметра α описано на рис. 1. Профили $T_e(B_x)$ описаны в рамках теории адиабатического электронного нагрева в процессе плазменной конвекции к Земле. Сравнение между наблюдаемыми величинами и теоретическим предсказанием позволяет оценить масштаб L_x наблюдаемых токовых слоев вдоль магнитосферного хвоста и отношение величин L_x и толщины токового слоя L_z . Для большинства наблюдаемых токовых слоев L_x принадлежит интервалу масштабов от $5R_E$ до $20R_E$ и среднее отношение масштабов составляет приблизительно $L_x/L_z \approx 25$.

Artemyev, A. V.; Zelenyi, L. M.; Petrukovich, A. A.; Nakamura, R., Hot electrons as tracers of large-scale structure of magnetotail current sheets, *Geophysical Research Letters*, Volume 38, Issue 14, CiteID L14102, 2011.

9) Одномерная модель токового слоя.

Представлена модель токового слоя, учитывающая продольные токи и конечную поперечную компоненту магнитного поля. Модель основана на сохранении квазиадиабатического инварианта движения ионов плазмы, в то время как для электронов использовано МГД - приближение. Часть тока через слой имеет параллельное к магнитному полю направление благодаря шире магнитного поля, однако перпендикулярная компонента тока также присутствует в системе. Различие плазменного давления в центре токового слоя и на его границах составляет половину от его значения в модели, свободной от параллельных токов. Значение модели и ее приложения к экспериментальным исследованиям в статье обсуждаются.

Artemyev, A. V., A model of one-dimensional current sheet with parallel currents and normal component of magnetic field, *Physics of Plasmas*, Volume 18, Issue 2, pp. 022104-022104-4, 2011.

10) Нелинейная динамика заряженных частиц под действием косых электромагнитных волн.

Исследована динамика заряженных частиц под действием электромагнитной волны и внешнего магнитного поля. Динамика описывается гамильтоновой системой с быстрыми и медленными переменными. Показано, что основным эффектом является захват частицы в резонанс с волной и выход из резонанса. Получено соотношение для вариации энергии захваченной частицы. Обсуждаются возможные применения полученных результатов.

Vasiliev A., Neishtadt A., Artemyev A. Nonlinear dynamics of charged particles in an oblique electromagnetic wave. *Physics Letters A*, 2011, v. 375, p. 3075–3079

11) Ускорение заряженных частиц при случайных флуктуациях.

Предложено количественно описание ускорения частицы в серфотронном резонансе в присутствии случайных флуктуаций магнитного поля. Показано, что захват в серфотронный резонанс является достаточно устойчивым по отношению к влиянию флуктуаций магнитного поля. Получены аналитические оценки максимальной энергии, которую может набрать частица в таком резонансе.

Artemyev A., Vainchtein D., Neishtadt A., Zelenyi L., Resonant acceleration of charged particles in the presence of random fluctuations, 2011. *Phys. Rev. E*, 84, 046213, doi: 10.1103/PhysRevE.84.046213

12) Скачки адиабатического инварианта при вырожденной седловой особой точке

Рассмотрена динамика заряженной частицы в полностью бифурцированном токовом слое. Показано, что данная динамика описывается гамильтоновой системой с быстрыми и медленными переменными (две степени свободы). Одна степень свободы соответствует медленным переменным, в то время, как вторая степень свободы – быстрым. Характерное отношение скоростей изменения медленных и быстрых переменных определяется малым параметром карра. При каждом фиксированном значении медленных переменных на фазовой плоскости быстрых переменных имеется сепаратриса, проходящая через седловую точку. Изменение медленных переменных может привести к тому, что траектория частицы пересечёт сепаратрису на плоскости быстрых переменных. Переменная действия для быстрых переменных является адиабатическим инвариантом для полной системы, пока траектория находится вдали от сепаратрисы. Прохождение вблизи от сепаратрисы приводит к скачку адиабатического инварианта. Система с полностью бифурцированным токовым слоем соответствует случаю, когда особая седловая точка является вырожденной. Мы получили асимптотическую формулу для скачка адиабатического инварианта, который оказался пропорциональным $\kappa^{3/4}$ (в классическом случае, соответствующем не вырожденной особой точке, скачок адиабатического инварианта пропорционален κ).

Artemyev A.V., Neishtadt A.I., Zelenyi L.M., Jumps of adiabatic invariant at the separatrix of a degenerate saddle point, 2011. *Chaos*, 21, 043120, doi:10.1063/1.3657916

Зеленый Л. М., академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

Малова Х. В., д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

Попов В. Ю., д.ф.-м.н., гл. спец., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru

Артемьев А. В., к.ф.-м.н., м.н.с., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

Петрукович А. А., д.ф.-м.н., тел. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

Васько И. Ю., математик ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoiy@yandex.ru
Кислов Р. А., студент МФТИ, тел. 333-25-00, kr-rk@bk.ru

50. Предложен механизм передачи энергии между различными группами энергичных частиц при их резонансном взаимодействии с волной в радиационных поясах Земли, в котором сама волна является лишь «посредником».

Обмен энергией между волной и резонансными (обычно энергичными) частицами является существенным моментом во взаимодействии волн и частиц в плазме. Если резонансное взаимодействие в неустойчивой магнитоактивной плазме включает два или более резонансов, то возбуждение волны может в то же время сопровождаться обменом энергией между различными группами энергичных частиц. Этот эффект особенно выражен в случае, когда плазма находится на границе устойчивости. Такая ситуация часто реализуется в радиационных поясах Земли.

Shklyar, D.R., 2011. Wave-particle interactions in marginally unstable plasma as a means of energy transfer between energetic particle populations. *Physics Letters A* **375**, 1583–1587.

Shklyar, D.R. Particle-wave-particle interactions involving whistler-mode waves in the magnetosphere. XXX URSI General Assembly and Scientific Symposium, H03.7, August 13-20, 2011 Istanbul, Turkey. Abstract Book & Papers. ISBN 978-1-4244-5118-0, 2011.

(<http://ursigass2011.org/abstracts/ursi/H03-7.pdf>)

Шкляр Д. Р., д.ф.-м.н., зав. лаб., т. 333 45 34, david@iki.rssi.ru

51. Установлено, что при нелинейном взаимодействии квазимонохроматических волн и частиц в неоднородной плазме наиболее существенный обмен энергией происходит не между волной и частицами, как это считалось раньше, а между двумя группами резонансных частиц: так называемыми «захваченными» и «пролетными» частицами.

Если амплитуда квазимонохроматической волны, распространяющейся в неоднородной плазме, достаточно велика, то существуют «захваченные» по фазе частицы, энергия которых возрастает или убывает в зависимости от «знака» неоднородности. Изменение плотности энергии таких частиц может существенно превосходить плотность энергии волны, что противоречит закону сохранения энергии, если предполагать, как это считалось ранее, что источником (или стоком) энергии является волна. Показано, что в действительности рост (или уменьшение) энергии «захваченных» частиц обусловлен передачей энергии от (к) «пролетных» частиц, а волна лишь является посредником в этом процессе. Важность понимания этого процесса состоит в том, что оно дает возможность установить правильные количественные ограничения на изменение энергии частиц. Полученные результаты важны с точки зрения, по крайней мере, двух фундаментальных процессов в физике магнитосферы: динамики частиц в радиационных поясах и триггерного излучения.

Shklyar, D.R., 2011. On the nature of particle energization via resonant wave-particle interaction in the inhomogeneous magnetospheric plasma. *Ann. Geophys.* 29, 1179-1188.

Шкляр Д. Р., д.ф.-м.н., зав. лаб., т. 333 45 34, david@iki.rssi.ru

52. Выполнено исследование неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в цилиндрической геометрии.

Аналитически получено общее дисперсионное уравнение и численно проанализированы его решения в зависимости от параметров задачи. В приближении несжимаемой плазмы подробно

исследована устойчивость системы в широком диапазоне параметров, и показано, что система абсолютно устойчива, если скорость потока меньше суммы альфвеновских скоростей в потоке и в окружающей плазме. Построена диаграмма устойчивости цилиндрического потока в зависимости от величин магнитного поля вне и внутри потока и отношения плотности окружающей плазмы к плотности плазмы в потоке. Показано, что при исследовании устойчивости цилиндрического потока наибольший интерес представляет винтовая мода, которая приводит к смещению центра масс потока и закручиванию его по спирали как целого. Сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными, полученными в ходе четырехспутникового проекта CLUSTER в пограничной области плазменного слоя хвоста магнитосферы Земли, показало, что рассматриваемая неустойчивость может являться источником генерации наблюдаемых колебаний, причем развитие винтовой моды позволяет объяснить наблюдаемую деформацию потока как целого в двух направлениях, перпендикулярных скорости распространения потока.

Буринская, Т.М., М.М. Шевелёв, Ж.-Л. Рош. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца для ограниченного потока плазмы в продольном магнитном поле, Физика плазмы, Т.37, №1, стр. 46-59, 2011.

Шевелёв, М.М., Т.М. Буринская. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца для цилиндрического потока плазмы с произвольной температурой. Физика плазмы, Т. 37, №12, стр. 1081-1059, 2011.

Т.М. Буринская, к.ф.-м.н., в.н.с., 333 45 34, tburinsk@iki.rssi.ru

М.М. Шевелёв, аспирант, м.н.с., mposimba@gmail.com

53. Численно изучено затухание Ландау ленгмюровских волн в плазме, распространяющихся перпендикулярно внешнему однородному магнитному полю.

Показано, что эволюция волны носит бифуркационный характер, т.е. при изменении некоторых управляющих параметров (а именно, соотношений между гиропериодом, обратной плазменной частотой и нелинейным временем) затухание волны прекращается, или, наоборот, начинается. Например, если в отсутствие магнитного поля волна затухала (т.е. её эволюция происходила в режиме Ландау), то магнитное поле препятствует затуханию волны. Если же в отсутствие магнитного поля волна не затухала (режим О'Нейла), то магнитное поле влияет на эволюцию волны совершенно иным образом: очень слабое магнитное поле (когда гиропериод большой по сравнению с остальными характерными временами) не вызывает качественных изменений в поведении волны, однако увеличение магнитного поля до некоего порогового значения приводит к затуханию волны. Если же магнитное поле очень сильно, то оно препятствует затуханию волны, как и в режиме Ландау.

Долгоносков, М.С., И.В. Кузичев, Л.М. Зеленый. Эволюция электростатической волны, распространяющейся перпендикулярно однородному магнитному полю в плазме. Труды Московского физико-технического института (государственного университета), т. 3, вып. 2, стр. 53-63, 2011.

М.С. Долгоносков, к.ф.-м.н., н.с., russia.on.mars@gmail.com

И.В. Кузичев, аспирант, м.н.с., Mar-cuss@yandex.ru

54. Проведено численное исследование справедливости квазилинейной теории диффузии в слабой турбулентности.

Представлены новые результаты численного моделирования неустойчивости теплого электронного пучка в бесстолкновительной плазме. Они основаны на теоретической модели, самосогласованно учитывающей резонансные взаимодействия частиц пучка с многими волнами; эта модель близка к начальной системе квазилинейных уравнений, с которой начинается стандартный вывод уравнений диффузии в теории слабой турбулентности, однако не использует предположение о случайных фазах волн. С высокой точностью с помощью симплектического кода вычислены траектории большого числа частиц в течение длительного времени. Используя эти траектории проводится статистический анализ движения частиц с помощью различных алгоритмов. Изучена динамика релаксации пучка и установление волнового спектра, и проведено их сравнение с аналитическими решениями, получаемыми в квазилинейной теории слабой турбулентности. Наиболее интересные результаты касаются наличия сильной и длительно сохраняющейся неоднородности в энергетическом спектре волн, что, по-видимому, связано с резкими скачками скорости частиц, которые не подчиняются законам локальной гауссовской диффузии. Получены количественные оценки коэффициентов диффузии, которые сравниваются с предсказаниями теории слабой турбулентности.

Volokitin, A., and C. Krafft, Velocity diffusion in plasma waves excited by electron beams : a numerical experiment, Phys. Plasmas, submitted.

А.С. Волокитин, к.ф.-м. н., ст.научн.сотр., email: a.volokitin@mail.ru

55. Развитие методов расчета самосогласованных электромагнитных полей и параметров бесстолкновительной плазмы для локальных и волновых возмущений в магнитосфере Земли.

Исследована структура и устойчивость стационарной поперечной волны с захваченными заряженными частицами, распространяющейся в изотропной плазме со скоростью меньшей скорости света, по отношению к продольным возмущениям. Обнаружены два типа неустойчивостей, в результате которых возбуждаются электростатические и электромагнитные колебания. Установлено общее дисперсионное уравнение, которое позволяет исследовать основные режимы этих неустойчивостей. Определены спектры неустойчивых колебаний и максимальные инкременты роста малых возмущений. Выявлено существенное отличие неустойчивости досветовой волны от неустойчивостей, близких по геометрической конфигурации, свистовых волн с захваченными электронами.

Построен ряд моделей досветовых волн с эллиптической поляризацией. Определены основные отличия структуры таких волн от строения подобных волн, поляризованных по кругу.

Продолжена необходимая работа для последовательного описания локализованных трехмерных возмущений бесстолкновительной плазмы. Разработаны алгоритмы для решения широкого класса смежных задач физики космической плазмы и подготовлено программное обеспечение для их реализации.

В.Л. Красовский. Влияние захваченных частиц на скорость циркулярно поляризованных волн в изотропной плазме. XLVII Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники. Тезисы докладов. Москва, Российский университет дружбы народов, 2011. Стр.13-14

Красовский В. Л., д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-78, vkrasov@mx.iki.rssi.ru

56. Исследование разрушения адиабатической инвариантности на резонансах и хаотизации динамики в системах с быстрыми и медленными движениями, в частности, в задачах о движении заряженных частиц в электромагнитных полях сложной конфигурации

Исследована динамика заряженной частицы в поле электромагнитной волны, распространяющейся под углом к фоновому магнитному полю. Показано, что динамика может быть описана гамильтоновой системой с медленными и быстрыми переменными. В задаче возможен резонанс типа «волна-частица» между скоростью ларморовского движения частицы в однородном магнитном поле и фазовой скоростью волны. Основными явлениями являются захват частицы в резонанс, выход из резонанса и рассеяние на резонансе. Показано, что всякий захват сопровождается выходом из резонанса, определены параметры входа-выхода. Обнаружено, что вся энергия, набираемая частицей между захватом и выходом из резонанса, аккумулируется в единственной степени свободы, соответствующей движению вдоль фонового магнитного поля. Обсуждены возможные приложения полученных результатов для описания процессов ускорения частиц нелинейными волнами. По результатам работы опубликована статья.

А.Нейштадт, А.Васильев, А.Артемьев. Индуцированное резонансами серфотронное ускорение релятивистской частицы. Московский математический журнал, т.11, № 3, с.531-545 (2011) A.Neishtadt, A.Vasiliev and A.Artemyev. Resonance-induced surfatron acceleration of a relativistic particle, Moscow Mathematical Journal, Vol. 11, No. 3, pp. 531-545 (2011).

А.И.Нейштадт (руководитель), д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

А.В.Артемьев, к.ф.-м.н., т. 333-2500, e-mail: ante0226@yandex.ru

А.А.Васильев, к.ф.-м.н., т. 333-53-46, e-mail: valex@iki.rssi.ru

57. Статистические характеристики турбулентных течений проводящей жидкости над твердой поверхностью.

Рассмотрены результаты экспериментов для турбулентных течений в тонком слое проводящей жидкости над твердой поверхностью, возбуждаемых силой Ампера при пропускании тока и действия пространственно-периодического магнитного поля. Показано, что статистические характеристики течений проявляют трехмерную динамику даже на масштабах по горизонтали, на порядок превышающих толщину слоя. При этом продольные структурные функции третьего порядка поля скорости приближенно линейны по пространственному смещению и отрицательны, как в трехмерной турбулентности, из-за доминирующего вклада диссипации энергии при выполнении граничного условия прилипания на нижней поверхности. Для уравнения баланса энергии проведены оценки диссипации и основных слагаемых производства энергии.

А.Е.Гледзер, Е.Б.Гледзер, А.А.Хапаев, О.Г.Чхетиани. Структурные функции квазидвумерной турбулентности в лабораторном эксперименте. ЖЭТФ, 2011, том 140, вып.3, с.590-605

Чхетиани О. Г., д.ф.-м.н., тел.8-495-333-22-23, ochkheti@mx.iki.rssi.ru

58. Анализ оптимальных условий для эффективного ультрарелятивистского серфотронного ускорения заряженных частиц в космической плазме волновыми пакетами с плавной огибающей амплитуды.

Проведены численные расчеты захвата и последующего ультрарелятивистского ускорения заряженных частиц пакетами электромагнитных волн с плавной огибающей амплитуды в космической плазме (механизм серфинга зарядов на волнах) при распространении волн поперек внешнего магнитного поля. Задача решается численно на основе нелинейного, нестационарного уравнения второго порядка для фазы на несущей частоте волнового пакета на траектории ускоряемой частицы. Целью работы является исследование эффективности ускорения заряженных частиц волновым пакетом с плавной огибающей его амплитуды, оптимальных условий для ультрарелятивистского серфинга зарядов. В центральной части пакета максимальная амплитуда электрического поля была выше порогового значения, что обеспечивало возможность захвата заряженных частиц электромагнитной волной в режим серфинга. Начальные энергии частиц были существенно релятивистские. Расчеты показали, что в диапазоне благоприятных фаз, который оказывается достаточно широким, при реализации черенковского резонанса имеют место захват и последующее ультрарелятивистское ускорение зарядов. Набор энергии частицей возрастает с увеличением характерной полуширины волнового пакета. Рассмотрена временная динамика компонент импульса и скорости ускоряемых частиц, фазовая плоскость заряда, характерные особенности их траектории, зависимость эффективности ускорения от исходных параметров задачи для достаточно больших времен ускорения. Проведены расчеты траекторий ускоряемых заряженных частиц, возникновение циклотронного вращения после вылета из эффективной потенциальной ямы с возможностью повторного их возвращения в центральную часть пакета. Отмечена возможность дополнительного ускорения частиц после ларморовского вращения при попадании их в благоприятную фазу на несущей частоте. В случае неблагоприятного соотношения знаков поперечных компонент импульса вначале идет торможение частицы вдоль волнового фронта, а после смены знака этой компоненты импульса имеет место сильное ускорение заряда. Темпы торможения-ускорения захваченной волной частицы были практически постоянными. Важно то, что на стадии торможения заряд остается захваченным. При благоприятном соотношении знаков компонент скорости заряда $v_x(0)$, $v_y(0)$ его ускорение максимально. Оптимальным условием резкого повышения эффективности серфотронного ускорения заряженных частиц является также близость фазовой и групповой скоростей на несущей частоте пакета.

Проведенное исследование представляет интерес для интерпретации экспериментальных данных по регистрации потоков релятивистских частиц в космических условиях включая околоземное пространство. Серфотронный механизм может работать как в экстремальных условиях (взрывы сверхновых), так и в более спокойной обстановке, например, в солнечной гелиосфере.

Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Кузнецов Е.А., Михайловская Л.А. Зависимость серфотронного ускорения зарядов электромагнитной волной от знака компоненты импульса частицы вдоль волнового фронта. Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники. Тезисы докладов, Москва, РУДН, 2011, с.20-21.

Ерохин Н. С., д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

59. Анализ физической кинетики нелинейных (плазменных) систем и возникновения степенных спектров возмущений электронной компоненты, гамма излучения в грозовых разрядах.

Предполагая тормозной механизм гамма-всплесков, выявлена форма (вид) функции распределения электронов, приводящая к наблюдаемым степенным спектрам излучения: с показателями Парето $\beta \sim 3$ для частот ω гамма-излучений, соответствующих энергии $\mathcal{E} > 10$ Мэв, и с $\beta = 1$ при ω , отвечающих энергиям $\mathcal{E} \ll 10$ Мэв. Используя регулярный метод

нахождения интегралов столкновений и методы физической кинетики сложных систем, удалось не только "угадать" определяющий эту форму закон движения точки в фазовом пространстве, но и перейти от формы распределения к его полной (теоретической) конкретизации. Для степенных гамма-спектров, определив задающие их и распределения электронов коэффициенты, вычислены показатели Парето $\beta(\mathcal{E}) \geq 3$ - как функции коэффициента вариации энергии электронов \mathcal{E} .

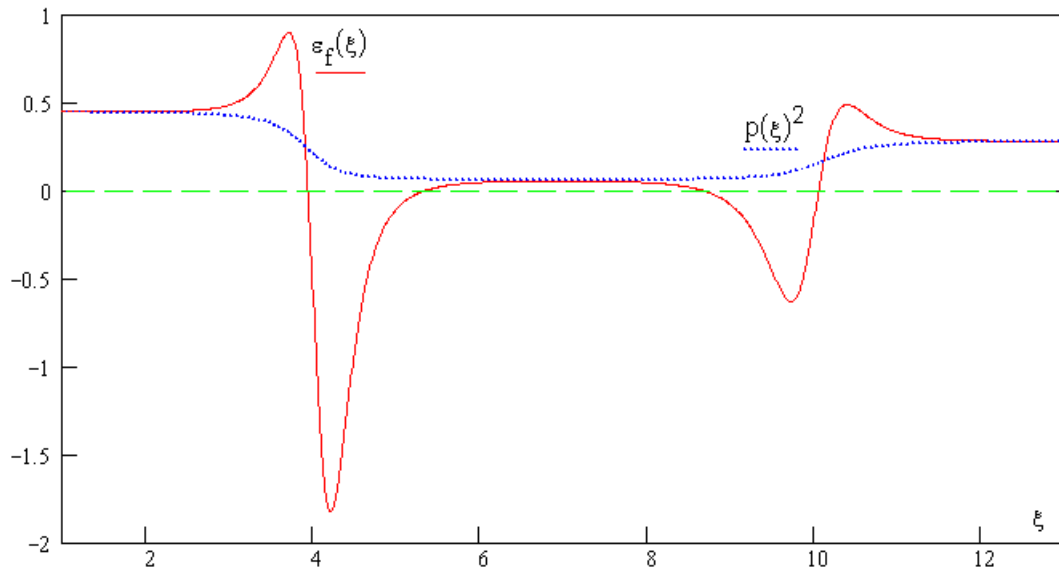
Интерпретация наблюдаемых в грозовых разрядах степенных гамма-спектров с показателями Парето $\beta < 3$ оказывается возможной, если в механизме формирования функции распределения электронов учесть при больших энергиях еще и фактор снижения скорости ее роста. Введя фактор b , «облагающий» прогрессивным «налогом» высокоэнергетическую часть электронов при формировании их функции распределения, можно найти конкретные зависимости показателей Парето $\beta(\mathcal{E}, b)$ от коэффициента вариации энергии \mathcal{E} и фактора b . Тормозной механизм излучения γ -квантов позволит тогда не только интерпретировать весь наблюдаемый спектр g -вспышек при грозовых разрядах, но и наблюдаемый диапазон соответствующих значений показателя ($\beta \sim 2.7 \div 4.1$) при частотах ω гамма излучения, для которых $\mathcal{E} > 10$ Мэв.

Туганов В.Ф. Регулярный метод нахождения интегралов столкновений и спектры гамма-частиц в грозовых разрядах. Доклад на конференции «Физика плазмы в солнечной системе», 14-18 февраля 2011 г., ИКИ РАН.

Туганов В.Ф., г. спец., тел. 8-495-333-41-00, princet@rambler.ru

60. Резонансное туннелирование электромагнитных волн через неоднородную плазму с мелкомасштабными структурами большой амплитуды.

На основе точно решаемой модели рассмотрено безотражательное прохождение электромагнитной волны через слой неоднородной плазмы с мелкомасштабными структурами большой амплитуды. Связь амплитуды поля электромагнитной волны с эффективной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{ef}(\eta)$ описывается нелинейным уравнением и при безотражательном распространении важен эффект сильной пространственной дисперсии $\epsilon_{ef}(\eta)$, обусловленной присутствием в среде субволновых структур большой амплитуды. Подтверждено, что в задаче имеются свободные параметры, изменением которых можно существенно варьировать профиль неоднородности плазмы в слое с включением любого числа различных субволновых структур, областей непрозрачности. Показано возникновение в некоторых слоях плазменного слоя солитоноподобных всплесков волнового поля со значительным его усилением за счет резкого понижения величины волнового вектора. При учете кубической нелинейности возможно и точное решение одномерной задачи о нелинейном просветлении неоднородной плазмы. Безотражательное прохождение электромагнитной волны через неоднородную плазму возможно как при наличии внешнего магнитного поля, так и в его отсутствие и не зависит от толщины плазменного слоя, в котором могут быть достаточно широкие области непрозрачности, в которых квадрат показателя преломления отрицателен.



На рисунке приведен вариант профилей диэлектрической проницаемости и квадрата показателя преломления при безотражательном прохождении неоднородного слоя. Видно кардинальное их различие уже в линейной задаче. Следует отметить, что рассматриваемые точно решаемые модели могут выявлять новые особенности в динамике колебаний и в распространении электромагнитных волн через неоднородную плазму, в развитии нелинейных процессов при сильной неоднородности, а также они могут демонстрировать интересные возможности практических приложений при контролируемых изменениях ее параметров. Безотражательное туннелирование волн через плазму важно для понимания механизмов выхода излучения от источников, находящихся в плотной плазме в астрофизике, оно представляет интерес для повышения эффективности поглощения мощного электромагнитного излучения при нагреве плазмы до термоядерных температур за счет проникновения волн в область достаточно плотной плазмы. Далее, в радиофизике с этим связано направление исследований по повышению эффективности просветляющих и поглощающих покрытий в диапазоне радиоволн, для разработки тонких радиопрозрачных обтекателей для антенн, где интерес представляет поиск оптимального распределения диэлектрической проницаемости по толщине просветляющего слоя, при котором будут обеспечены минимальный коэффициент отражения или эффективная передача электромагнитных сигналов от антенн, покрытых слоем плотной плазмы. Выполненный для ряда ситуаций анализ показал, что можно обеспечить безотражательное туннелирование электромагнитных волн из вакуума в неоднородный слой несмотря на скачок диэлектрической проницаемости на границе раздела. Таким образом анализ точно решаемых моделей позволит значительно улучшить существующие представления о пространственно-временной динамике электромагнитных полей в неоднородных диэлектрических структурах с сильной пространственной дисперсией.

Ерохин Н.С., Захаров В.Е. Безотражательное прохождение электромагнитной волны через неоднородные плазменные слои. Физика плазмы, 2011, т.37, № 9, с. 818-823.

Ерохин Н.С., Захаров В.Е. Генерация сильных всплесков поля электромагнитной волны при безотражательном просветлении слоя неоднородной среды. ДАН, 2011, т.439, № 2, с.180-183.

Ерохин Н. С., д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

61. Использование вейвлет-преобразования в квантовой теории поля, анализ поправок в эффекте Казимира.

Вейвлет-преобразование рассматривается как перспективный инструмент регуляризации расходимостей в квантовой теории поля. В работе на основе непрерывного вейвлет-преобразования построено калибровочное преобразование для масштабно зависимых полей вида $A_{ma}(x) \rightarrow A_{ma}(x) + m f_a(x)$, где $A_{ma}(x)$ амплитуда поля $A_m(x)$, измеренная в точке x с разрешением a , и получены нелокальные тождества Уорда-Такахаша, следующие из калибровочной инвариантности для этих полей. В пространстве масштаб-импульс эти тождества представлены в интегральной форме через Фурье-образ вершинного оператора, вершинную функцию и базисный вейвлет. Результат представляет интерес для физики плазмонов и плазменных явлений в астрофизике.

Рассмотрены поправки к эффекту Казимира, зависящие от разрешения измерительного прибора. В современных нанoeлектронных устройствах, таких как атомный силовой микроскоп, сверхтонкие конденсаторы, микрополостные резонаторы, законы обычной электродинамики уступают место квантовым законам. Силы, испытываемые отдельными атомами, имеют квантовые флуктуации, связанные как с флуктуациями самих атомов и их взаимодействием с окружением, так и с вакуумными флуктуациями электромагнитного поля и, следовательно, становятся существенными радиационные поправки квантовой электродинамики. Измерительный прибор в эти расчеты не включается, а его состояние описывается классически. В данной работе исследуются поправки к силе Казимира, обусловленные конечностью смещения одной из проводящих пластин при измерении силы. Казимир в 1948 году предположил, что сила притяжения между двумя проводящими пластинами зависит только от расстояния между пластинами, постоянной Планка \hbar и скорости. В связи с развитием нанотехнологий увеличивается поток работ, связанных с проявлением эффекта Казимира в наномеханике и фотонике. Поскольку при вычислении силы Казимира возникают сингулярности, в работе используя обрезавшую функцию специального вида, найдены поправки к силе Казимира между двумя параллельными пластинами. Если разрешение прибора ограничивает частоты вакуумных флуктуаций, то найденные поправки могут быть получены экспериментально путем проведения измерений при одном и том же невозмущенном расстоянии между пластинами, но с разной амплитудой смещения в процессе измерений. Результаты исследований важны для корректной интерпретации данных измерений на наномасштабах и могут быть использованы в квантовой электродинамике метаматериалов, в наномеханике, а также при квантовополевых расчетах в физике высоких энергий.

Albeverio, S. and Altaisky, M.V. A remark on gauge invariance in wavelet-based quantum field theory. *New Advances in Physics*, Vol.5, 2011, pp.1-8.

Altaisky M.V. and Kaputkina N.E. On the corrections to the Casimir effect depending on the resolution of measurement. *Письма в ЖЭТФ*, 2011, т.94, вып.5, с.371-373.

Алтайский М. В., д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, altaisky@mail.ru

62. Устойчивость солитонов и волновой коллапс.

Рассмотрены два альтернативных сценария эволюции нелинейных волновых систем, в результате чего формируются либо солитоны, либо возникают коллапсы. Для первого сценария достаточно, чтобы гамильтониан был ограничен снизу (либо сверху), и тогда солитон, реализующий этот минимум (максимум), будет устойчивым (по Ляпунову). В этом случае приход к такому экстремуму осуществляется за счет излучения волн малой амплитуды - процессу, который отсутствует в системах с конечным числом степеней свободы. На примере

уравнений НУШ и системы трех волн показано, как используя метод интегральных оценок, основанный на теоремах вложения Соболева, можно установить строго ограниченность гамильтонианов и соответственно устойчивость солитонов, реализующих минимум.

Впервые получена ограниченность гамильтониана снизу для системы трех волн для произвольного дисперсионного тензора. Найдены ограничения на величину расстройки частоты от трехволнового резонанса для существования устойчивых солитонов для этой системы. В случае неограниченности гамильтонианов снизу в волновых системах должен реализовываться коллапс, который можно понимать как процесс падения некоторой частицы в неограниченном потенциале. Обсуждается также роль излучения в коллапсе.

Кузнецов Е.А. Устойчивость солитонов и волновой коллапс. Труды научной школы "Нелинейные волны - 2010", под ред. А.В. Гапонова-Грехова и В.И. Некоркина, ИПФ РАН, Нижний Новгород, стр. 205-230 (2011).

Кузнецов Е. А., д.ф.м.н., 8-495-333-41-00, kuznetso@itp.ac.ru

63. Нелинейная динамика магнитогидродинамических течений тяжёлой плазмы в приближении мелкой воды.

Найдены все центрированные автомодельные решения системы уравнений магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды: магнитогравитационные волны разрежения, магнитогравитационные ударные волны и альфвеновские волны. Решена задача распада произвольного разрыва для уравнений магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды над ровной поверхностью. Показано, что решение представляет собой одну из пяти конфигураций: «две центрированные магнитогравитационные волны разрежения, две альфвеновские волны», «две магнитогравитационные ударные волны, две альфвеновские волны», конфигурация «магнитогравитационная волна разрежения, обращенная назад, правая магнитогидродинамическая ударная волна, две альфвеновские волны», «левая магнитогравитационная ударная волна, магнитогравитационная волна разряжения, обращенная вперед, две альфвеновские волны», «две гидродинамические волны Римана, зона вакуума». Из полученных результатов следует, что решение является суперпозицией двух решений: распада разрыва для мелкой воды без магнитного поля (с учётом изменённой скорости звука) и двух альфвеновских волн. При нулевом магнитном поле две альфвеновские волны совпадают и превращаются в контактный разрыв. Конфигурация «две гидродинамические волны Римана, зона вакуума» существенно отличается от остальных, поскольку может реализовываться лишь при изначальном равенстве нулю нормальной компоненты магнитного поля.

Карельский К.В., Петросян А.С., Тарасевич С.В. Нелинейная динамика магнитогидродинамических течений тяжёлой жидкости в приближении мелкой воды. ЖЭТФ, 2011, том 140, вып. 3(9), стр.606-620.

Karelsky Kirill, Petrosyan Arakel , Tarasevich Stepan. Simple waves in magnetohydrodynamic flows of heavy fluid over an arbitrary surface in shallow water approximation. Proceedings. 8 th International RAMIR conference on “ Fundamental and Applied MHD” Borgo, Corsica,France, 2011, 261-265.

Петросян А.С., д.ф.-м.н., т.: 333-54-78, apetrosy@iki.rssi.ru

VIII. Космическая погода

64. Ретроспективный анализ методов предсказания солнечных протонных событий на

основе использования данных глобальной сети нейтронных мониторов в реальном времени.

Результаты применения опубликованных методов для предупреждения о приходе к Земле потоков протонов с энергией $\sim 10\text{-}100$ МэВ после мощных эруптивных событий на Солнце были проверены путем сравнения со спутниковыми наблюдениями в 2001-2006 гг. Более 50% от числа событий оказались пропущенными при таком способе прогнозирования. Сделан вывод о необходимости привлечения дополнительной информации о состоянии солнечной и гелиосферной активности для повышения надежности кратковременных прогнозов названными методами.

И.С. Веселовский, О.С. Яковчук, О прогнозе солнечных протонных событий по данным наземных нейтронных мониторов. *Астрономический Вестник* 2011, Т. 45, №4, С. 365-375.

Веселовский И. С., д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

65. Прогнозирование полного 24 –ого цикла солнечной активности несколькими вариантами авторегрессии и методом предвестника

Официальный прогноз в соответствии с решением Третьей официальной комиссии по предсказанию циклов солнечной активности, созданной НАСА и НОАА, а также Международной службой охраны окружающей среды, показал, что существует значительный разброс результатов и пока нет единого мнения о величине амплитуды и времени наступления максимума. Приводятся два различных варианта – R_z (число Вольфа - солнечных пятен) = 90 и август 2012 года, соответственно, или $R_z = 140$ и октябрь 2011 года.

В данной работе пересмотрен прогноз 24 – ого цикла при помощи сравнительного анализа, основанного на различных вариантах сингулярного спектрального прогноза, нелинейном прогнозе с использованием нейронной сети, а также методе предвестника. В качестве предвестника использовалась динамика солнечных магнитных полей, формирующих солнечные пятна, индексом которых являются числа Вольфа. Предсказание, основанное на использовании нейросетевого подхода, дало значение амплитуды максимума 24–ого цикла равное 70. В соответствии с двумя предшествовавшими работами, использовавшими нейросетевой подход, (McPherson et al., 1995, Fessant, Pierret, Lantos, 1996), амплитуда максимума 24 цикла оказывалась порядка 145. Предсказание в данной работе, основанное на методе предвестника, дало значение амплитуды 50 и время наступления максимума в апреле 2012. С учетом того, что прогноз методом предвестника делался по усредненным за 4,4 года данным, амплитуда максимума может быть на 20-30 % выше, порядка 60 -70, то есть близкой к значениям, предсказанным нейросетевым методом. Затянувшийся минимум 23 цикла и предсказанные низкие значения максимума 24 –ого цикла напоминают сценарий поведения солнечной активности в историческом Далтоновском минимуме.

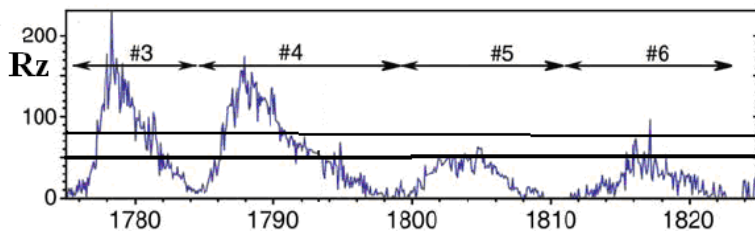


Рис.1. Числа Вольфа R_z в период циклов 3, 4, 5 и 6, соответствующих входу солнечной активности в далтоновский минимум. Черными уровнями отмечены величины R_z для предсказанного нами 24-го цикла (см. Рис.2)

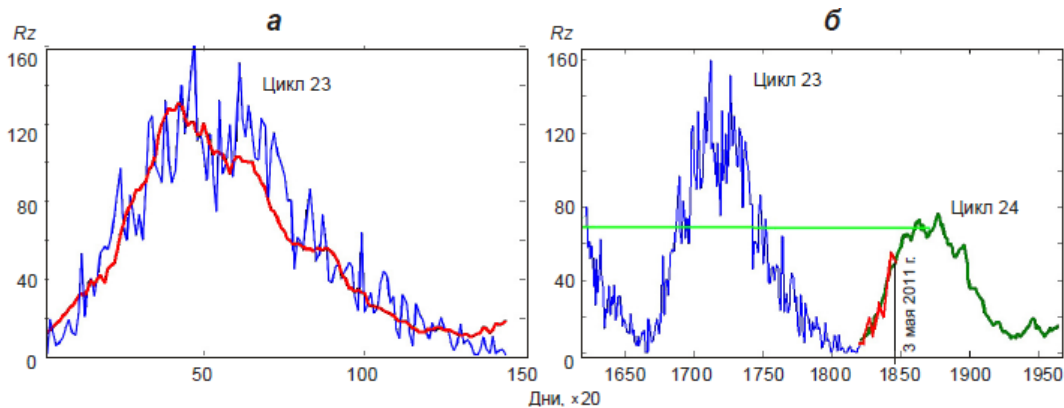


Рис.2. Итеративный прогноз 23-го и 24-го циклов с помощью нейросетевого метода. Синие кривые на а и б – реальные значения Rz для 23-го цикла; красные кривые на а и б – прогноз 23-го цикла (а) и реальные отсчеты Rz начальной фазы 24-го цикла (б); зеленая кривая на б – прогноз 24-го цикла

Ожередов, В.А., Бреус Т.К., Обридко В.Н. Прогнозирование полного 24-го цикла солнечной активности несколькими вариантами авторегрессии и методом предвестника// Геофизические процессы и биосфера, 2011, т. 10, № 3, с. 51–65.

Ожередов В.А., к.ф.-м.н., вед.мат. Отд.54, 333-3012, ojymail@mail.ru,
 Бреус Т.К. д.ф.-м.н. гл.н.с. отд 54, 333-3012, breus36@mail.ru

66. Иерархический подход к прогнозированию рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра.

Одновременное использование изображений Солнца в различных линиях спектра, полученных с нескольких космических аппаратов, в сочетании с новыми алгоритмами обработки данных позволило добиться более высокой точности и надежности прогноза скорости солнечного ветра в период роста солнечной активности. Использовались данные о суточных значениях площадей корональных дыр, рассчитанные по изображениям Солнца в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, а также информация об измеренной скорости потоков солнечного ветра за предыдущие обороты Солнца. Площади корональных дыр рассчитывались по изображениям, полученным прибором SWAP со спутника PROBA2 в спектральном диапазоне с центром на длине волны 17.4 нм и прибором AIA с космического аппарата SDO с центром на длинах волн 19.3 нм и 17.1 нм. Для прогноза были взяты данные за 2010 год, период роста 24-го цикла солнечной активности. На первом уровне иерархии было получено несколько простых модельных оценок скорости потоков на основе входных данных каждого типа. На втором уровне иерархии из полученных оценок формировался окончательный прогноз скорости солнечного ветра на 3 дня вперед. Предложенный иерархический подход позволяет повысить точность прогноза скорости солнечного ветра. Кроме того, при такой методике прогнозирования пропуски в данных одного космического аппарата не оказывают критического влияния на конечный результат прогнозирования всей системы в целом.

Ю.С. Шугай, И.С. Веселовский, Д. Б. Ситон, Д. Бергманс, Иерархический подход к прогнозированию рекуррентных потоков солнечного ветра. *Астрономический Вестник* 2011, Т. 45, №6, С. 560-571.

Веселовский И.С., д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

67. Исследование частоты появления различных межпланетных драйверов магнитных бурь, их геоэффективности (вероятности) и эффективности генерации бурь (соотношение между «выходом» и «входом» физического процесса).

Исследуется относительная роль разных типов течений солнечного ветра в генерации магнитных бурь. На основе данных межпланетных измерений базы OMNI за период 1976-2000 г анализируются 798 магнитных бурь с $Dst \leq -50$ нТ и их межпланетные источники: коротирующие области взаимодействия (CIR), межпланетные CME (ICME), включающие магнитные облака (MC), поршни (Ejecta) и области сжатия перед ними (Sheath). Для разных типов солнечного ветра исследуются следующие относительные характеристики: частота появления; потоки массы, импульса, энергии и магнитный поток; вероятность генерации магнитной бури (геоэффективность) и эффективность процесса генерации бури. Полученные результаты показывают, что несмотря на то, что магнитные облака имеют более низкую частоту появления и более низкую эффективность, чем CIR и Sheath, они играют существенную роль в генерации магнитных бурь, благодаря более высокой геоэффективности генерации магнитной бури (т.е. более высокой вероятности содержать большую и продолжительную южную компоненту $B_z < 0$ ММП).

Yermolaev, Yu. I.; Nikolaeva, N. S.; Lodkina, I. G.; Yermolaev, M. Yu. Geoeffectiveness and efficiency of CIR, Sheath and ICME in generation of magnetic storms, препринт, <http://arxiv.org/abs/1109.1073> 2011 (представлено в Journal of Geophysical Research)

Николаева Н.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Зависимость геомагнитной активности во время магнитных бурь от параметров солнечного ветра для разных типов течений // Геомагнет. и Аэронав. №1. 2011. том 51. № 1. С. 51–67.

Николаева Н. С., к.ф.-м.н., с.н.с., 333-11-78, nnikolae@iki.rssi.ru

Ермолаев Ю. И., д.ф.-м.н., зав.лаб., т.333-13-88, yermol@iki.rssi.ru

68. Анализ данных метеорологических наблюдений и выявление собственных колебаний климатической системы при воздействии солнечной активности, исследование ее долгопериодических вариаций.

В опубликованных до настоящего времени работах предположения о возможности связи между солнечными и климатическими вариациями основываются либо на корреляции между этими вариациями или просто на присутствии в климатической вариации периодов близких к фундаментальным солнечным периодам. Подобный подход, однако, мало помогает в выявлении возможного физического механизма, который мог бы связывать эти вариации. Развита новая модель – описать солнечные и климатические вариации причинно-следственным математическим уравнением, воспроизводящим климатическую вариацию из известной солнечной. Используемое уравнение предполагает определенный физический процесс – возникновение вынужденных климатических колебаний под воздействием внешней силы, под которой понимается солнечная активность. Важным следствием такого предположения является необходимость существования собственных климатических колебаний. В работе рассмотрена простая модель взаимодействия внешних воздействий с внутренними (собственными) вариациями климатической системы. В рамках данной модели удается объяснить нерегулярные сдвиги фаз в десятилетних и междесятилетних вариациях количества осадков в Форталезе (Бразилия). Ранее подобные несовпадения фаз рассматривались, как противоречащие наличию связи между солнечной и климатическими вариациями. Полученный результат указывает на возможность преодоления этого противоречия.

Необходимо дальнейшее исследование физического механизма солнечно-климатической связи, в частности, анализ возможности связи вариации осадков с вариацией положения или/интенсивности осадков такого глобального компонента климатической системы, как внутритропическая зона конвергенции (Intertropical Convergence Zone - ITCZ). Это указывает возможное направление последующих работ и рассмотрения локальных вариаций климатических параметров с учетом глобальной динамики атмосферы.

Anatoly A. Gusev, Inacio M. Martin. On possible relation between Inter-Tropical Convergence Zone location and the solar cycles. Sun and Biosphere, 2012, принято к печати.

А.А.Гусев, к.ф.м.н., тел.8-495-333-30-45, vpan-iki@yandex.ru

69. Физическая модель воздействия мощных источников ионизации на термодинамические и электродинамические процессы в атмосфере, ионосфере и магнитосфере.

На основе теории открытых диссипативных самоорганизующихся систем создана физическая модель воздействия мощных источников ионизации (аварии на атомных реакторах, галактические космические лучи, естественная радиоактивность Земли и др.) на термодинамические и электродинамические процессы в атмосфере, ионосфере и магнитосфере. С помощью многопараметрического мониторинга параметров атмосферы и ионосферы обнаружены предвестники катастрофических землетрясений в Японии 11 марта 2011 г. И в Турции 23 октября 2011 г., а также атмосферные и ионосферные эффекты аварии на атомной электростанции Фукусима, Япония.

Sergey Pulinets and Dimitar Ouzounov. Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling (LAIC) model – an unified concept for earthquake precursors validation, European Geoscience Union General Assembly 2011, Vienna, Austria, 03-08 May 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-9105, 2011

Pulinets S., Ouzounov D. Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model - an unified concept for earthquake precursors validation, Journal of Asian Earth Sciences, 41, 371-382, 2011

Пулинец С. А., д.ф.м.н., тел. 8-495-333-41-00, pulse1549@gmail.com

70. Методики распознавания образов в задаче визуализации биотропной формы волн температуры и давления

Длительные периоды с неблагоприятной погодой негативно сказываются на заболеваемости сердечно-сосудистыми болезнями. В ряде работ был установлен нижний предел длительности периодов неблагоприятной погоды – около пяти дней. Однако вопрос о том, как именно выглядит негативная динамика основных характеристик погоды – атмосферных температуры и давления – создающих биотропные эффекты оставался открытым. В настоящей работе предлагается использовать конъюнкционный метод теории распознавания образов в гелиобиологии. Показано, что данный метод приближает глобально-оптимальную в смысле ошибок распознавания неймановскую критическую область. В качестве иллюстрации эффективности метода показано, что определенным образом быстро релаксирующие короткие последовательности временных рядов атмосферных температуры и давления – (так называемые температурные волны и волны изменения атмосферного давления) вызывают рост сердечно-сосудистых заболеваний, который может приводить к серьезным органическим поражениям, таким как инфаркты миокарда. Показано, что для температурных волн превышение среднего уровня заболеваемости инфарктом миокарда над средними значениями может происходить

вплоть до 90%, а для волн атмосферного давления – до 110%. Давление оказалось более биотропным фактором, чем температура атмосферы.

Ожередов В.А. Методики распознавания образов в задаче визуализации биотропной формы волн температуры и давления, Геофизические процессы и биосфера, 2011, т. 10, № 4,

Ожередов В.А., к.ф.-м.н., вед.мат. отд.54, 3333012, ojymail@mail.ru,

71. Сравнение случаев индивидуальной метеочувствительности человека в экстремальных условиях зимы северных и средних широт

Проанализированы длительные (от 2 до 4 месяцев каждый) временные ряды ежедневных измерений показателей систолического и диастолического артериального давлений 16 лиц среднего и старшего возраста, имеющих диагноз «артериальная гипертензия 1-й и 2-й степени», постоянных жителей городов Сыктывкар и Москва. Показано, что в условиях аномально суровой зимы, независимо от региона проживания, для всех испытуемых характерной является реакция повышения уровня АД при снижении значений температуры и относительной влажности ниже определенного порога. В то же время при наблюдении в относительно мягких условиях, близких к средне-климатической норме, преобладает противоположная картина реакции показателей артериального давления на изменение атмосферных факторов. Высказано предположение, что степень экстремальности погодных условий в период проведения измерений может являться фактором, обуславливающим не только амплитуду, но и знак метеотропной реакции.

Т. А. Зенченко, А. М. Мёрзлый, Ю. Г. Солонин, Сравнение случаев индивидуальной метеочувствительности человека в экстремальных условиях зимы северных и средних широт, // Экология человека, 2011, №11, 3-13

Т. А. Зенченко Т. А. ., к.ф.-м.н., снс отд. 54, 333-3012, e-mail: zench@mail.ru
Мёрзлый А. М. к.т.н., м.н.с. отд.54, 3333012, pinega@list.ru

IX. Экспериментальные и методические разработки

72. Проведение квалификационных испытаний плазменно-волнового комплекса ПВК для эксперимента «Обстановка 1-й этап» на борту Российского сегмента Международной космической станции.

Созданный в ИКИ РАН, в кооперации с организациями академий наук Болгарии, Польши, Украины, университетов Англии и Венгрии, плазменно-волновой комплекс (ПВК) предназначен для проведения в 2012г. длительного (>5 лет) международного космического эксперимента (КЭ) «Обстановка 1-й этап» на борту МКС. КЭ реализуется в рамках «Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте МКС» (Версия 2008 г), являющейся составной частью Российской Федеральной Космической Программы.

Определены основные цели КЭ «Обстановка 1-й этап».

1. Геофизические исследования, которые предполагают долгосрочные мониторинговые измерения параметров плазмы и плазменно-волновых процессов, связанных с проявлением в ионосфере солнечно-магнитосферно-ионосферных и ионосферно-атмосферных связей.

2. Исследования в приповерхностной зоне плазменно-волновых процессов взаимодействия сверхбольшого КА, каким является МКС, с ионосферой необходимы как для прикладных, так и для фундаментальных геофизических исследований.

Проведены все квалификационные испытания технологического (ТО) и лётного (ЛО) образцов ПВК, подтвердившие возможность решения поставленных целей. На комплексном стенде (КС) в РКК «Энергия» проведена отработка командного и телеметрического программного обеспечения. В декабре 2011г. ЛО ПВК будет передан в РКК «Энергия» для проведения на КС предполётной подготовки.

Корепанов, В. Є., А. А. Марусенков, С. М. Беляев, С. І. Клімов, Л. М. Зелений, Д. Новіков, Ч. Ференц, Я. Ліхтенбергер, Л. Боднар. Хвильовий експеримент на мікросупутнику «Чібіс-м». Космічна наука і технологія. 2010. Т. 16. № 3. С. 69-77 (на украинском языке).

H. Rothkaehl, M. Morawski, W. Puccio, J. Bergman, and S. I. Klimov, Diagnostics of Space Plasma on Board International Space Station - ISS Contrib. Plasma Phys. 51, No. 2-3, 1 – 7 (2011) / DOI 10.1002/ctpp.201000066.

Климов, С., Х. Ротхель. «ПВО» - Плазменно-волновая обстановка. Научное сотрудничество между Российской академией наук и Польской академией наук в области фундаментальных космических исследований. Результаты совместных исследований. Москва 2011, Ротапринт ИКИ РАН, с. 104-113. (Klimov, S., H.Rothkaehl. PWO – Srodowisko plazmowo-falowe. Wspolpraca naukowa miedzy Rosyjska academia nauk a Polska academia nauk w dziedzinie podstawowych badan kosmicznych. Wynki wspolnych badan. Москва 2011. с. 104-113).

Руководитель работы – Климов С.И., проф., д.ф.-м.н., т.: 333-11-00, sklimov@iki.rssi.ru

73. Отладка аппаратных и программных компонентов Плазменно-волнового комплекса (ПВК), который предназначен для установки на Международной космической станции (МКС) в рамках проекта «Обстановка».

В 2011 году отрабатывался механизм предопределённых сценариев проведения измерений в полёте. Варианты циклограмм управления (сценарии) закладываются в блок управления комплексом и могут инициироваться короткой командой, содержащей номер выбираемого сценария. Две выделенные циклограммы осуществляют начальное включение комплекса после подачи питания и цикл измерений «по умолчанию» при отсутствии внешнего управления. Использование данного механизма позволяет минимизировать поток управляющей информации и застраховаться на случай неполадок в интерфейсах передачи команд. Были запрограммированы сценарии для систематической проверки отдельных приборов, а также, сценарии комплексных измерений в интересах обнаружения нескольких предполагаемых событий.

Грушин В.А., т. 333-40-24, vgrushin@iki.rssi.ru

74. Реализация комплексной программы экспериментальной отработки космического эксперимента «Микроспутник».

Космический эксперимент (КЭ) «Микроспутник» предназначен для детального исследования одного из самых загадочных природных явлений - атмосферных грозных разрядов, несмотря на их высокую частоту проявления и наблюдений. Последние десятилетия принесли серьезные изменения в наше понимание природы атмосферных грозных разрядов, что было также связано и с космическими исследованиями. В их основе лежит физическое явление, которое было в

начале 90-х годов теоретически предсказано А.В. Гуревичем и К.П. Зыбиным в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН. Оно получило название «пробой на убегающих электронах». Важным фактором является то, что оптимальный приборный состав комплекса научной аппаратуры (КНА), обеспечивающий возможность решить данную проблему, может иметь общий вес (массу) ~ 12 кг. Естественным стал вопрос создания микроспутниковой платформы «Чибиc-М», способной обеспечить размещение КНА, её бортовое обслуживание, передачу на Землю телеметрической информации и т.д. Разработка КЭ, оснащенного специальным КНА «Гроза» и ориентированного на исследования разрядов на больших высотах, является уникальным проектом по количеству и скорости измеряемых одновременно параметров. Подобный проект Российской академии наук до настоящего времени как в России, так и нигде в мире не проводился, несмотря на возрастающий интерес к проблеме происхождения и механизма разрядов в верхних слоях атмосферы. Входящий в КНА «Гроза» МВК – магнитно-волновой комплекс (0.1-40 кГц) – (Украина, Венгрия) направлен также на анализ ряда электромагнитных параметров космической погоды в ионосфере.

За отчётный период проведены все квалификационные электрические и эксплуатационные испытания технологического (ТО) и лётного (ЛО) образцов как КНА «Гроза», так и всего микроспутника, подтвердившие возможность решения поставленных целей. 02 ноября 2011г. микроспутник «Чибиc-М» транспортно-грузовым кораблём (ТГК) «Прогресс М-13М» доставлен на Российский сегмент МКС. В начале 2012 запланированы: загрузка транспортно-пускового контейнера (ТПК) с «Чибиc-М» в ТГК; отделение ТГК от МКС; подъём ТГК на высоту ~ 500 км; выход «Чибиc-М» из ТПК; начало автономной работы «Чибиc-М» на орбите.

Руководитель работ от отд. № 54 – Климов С.И., проф., д.ф.-м.н., т.: 333-11-00, sklimov@iki.rssi.ru

Бондаренко, А.В., Л. Боднар, Г.К. Гарипов, В.М. Готлиб, Л.М. Зелёный, В.Н. Каредин, С.И. Климов, В.М. Козлов, И.В. Козлов, В.Е. Корепанов, Д.И. Новиков, В.Г. Родин, С.И. Свертилов, И.В. Яшин. Комплекс научной аппаратуры «Гроза» на микроспутнике «Чибиc-М». Шестая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 14 – 18 февраля 2011 г., ИКИ РАН, с. 56-57. <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>

Гуревич, А.В., Л.М.Зелёный, С.И.Климов. Космическая миссия «Чибиc-М». Экология и жизнь 7(116)'2011, с. 50-56.

75. Формирование комплекса НЧА-РЧА проекта РЭЛЕК.

Эксперимент направлен на одновременные наблюдения с высоким временным разрешением вариаций потоков энергичных электронов и протонов и интенсивности низкочастотного электромагнитного излучения. Решение научных задач требует непрерывного мониторинга электрического и магнитного поля, для чего эксперимент РЭЛЕК включает комплекс НЧА-РЧА (низкочастотный анализатор - радиочастотный анализатор). Аппаратура комплекса НЧА-РЧА создаётся в кооперации РФ, Польша, Украина, Венгрия. Компоненты комплекса были испытаны в других космических экспериментах и будут проверены в эксперименте «Обстановка 1-й этап» на РС МКС.

Основным постановщиком эксперимента РЭЛЕК на МКА-2 является НИИЯФ им. Д.В.Скобельцына МГУ.

За отчётный период проведены все квалификационные испытания технологического (ТО) образца комплекса НЧА-РЧА.

Климов С. И., проф., д.ф.-м.н., т.: 333-11-00, sklimov@iki.rssi.ru

Грушин В.А., Т.В. Гречко, Л.Д. Белякова. Формирование комплекса НЧА-РЧА проекта РЭЛЕК. Шестая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 14 – 18 февраля 2011 г., ИКИ РАН, с. 59, <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>

76. Эскизный проект по эксперименту с комплексом изображающих приборов «Авровизор-ВУФ-ВО» (проект «Электро-ВО» входит в ФКП, головная организация НПО им.Лавочкина).

Орбита КА «Электро-ВО»: апогей 40000 км, перигей 1500 км, наклонение 63°, период 12 часов. Комплекс «Авровизор-ВУФ-ВО» входит в состав гелиогеофизического комплекса ГГЭК-ВО (НЦОМЗ) и состоит из трех изображающих приборов: 1. Для получения глобальных изображений аврорального овала в диапазоне 135-160 нм, 2. Для получения глобальных изображений аврорального овала в диапазоне 160-180 нм. 3. Для получения глобальных изображений аврорального овала в фиксированных длинах волн: 121,8 (Ly α) и 135,6 [OI] нм.

Реализация проекта (разработка приборов) начинается с 1 января 2012 г. Запуск КА в 2015 г.

Цель эксперимента: Получение мгновенных глобальных пространственных распределений (в рамках поля зрения) потока энергии высыпавшихся электронов и протонов и их средней энергии. Одновременно на борту «Электро-ВО» будут измеряться распределения заряженных частиц и градиенты магнитного поля.

Работа по текущим проектам в 2011 г.:

1. Началась разработка прибора Летиция для КА «Зонд» (проект Ионозонд). Научный руководитель Кузьмин А.К.

2. Началась разработка прибора «Авровизор-ВИС/МП» для КА Метеор-МП (головной ЦАО Росгидромет). Научный руководитель Кузьмин А.К.

Кузьмин А.К., к.ф.-м.н., гл. спец., alkkuzmin@mail.ru