

Восьмая ежегодная конференция
Физика плазмы в Солнечной системе

4-8 февраля 2013, ИКИ РАН

Научные программы Президиума РАН №22 и ОФН РАН №15

**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

8-я КОНФЕРЕНЦИЯ

**«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ
В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»**

4–8 февраля 2013г., ИКИ РАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

г. Москва, 2013г.

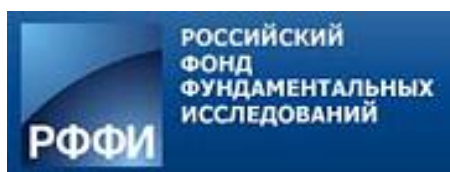
8-я КОНФЕРЕНЦИЯ
«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»

СБОРНИК ТЕЗИСОВ*

С О Д Е Р Ж А Н И Е

<i>Секция «Солнце», устные доклады.....</i>	<i>3</i>
<i>Секция «Солнце», стендовые доклады.....</i>	<i>19</i>
<i>Секция «Ионосфера», устные доклады.....</i>	<i>56</i>
<i>Секция «Ионосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>69</i>
<i>Секция «Магнитосфера», устные доклады.....</i>	<i>91</i>
<i>Секция «Магнитосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>102</i>
<i>Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи», устные доклады.....</i>	<i>122</i>
<i>Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи», стендовые доклады.....</i>	<i>132</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», устные доклады.....</i>	<i>152</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», стендовые доклады.....</i>	<i>155</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», устные доклады.....</i>	<i>156</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», стендовые доклады.....</i>	<i>165</i>
<i>Секция «Токовые Слои», устные доклады.....</i>	<i>169</i>
<i>Секция «Токовые Слои», стендовые доклады.....</i>	<i>175</i>

При поддержке:



*Тексты приводятся в редакции авторов

СЕКЦИЯ «СОЛНЦЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ 24 В КОРОНЕ, ХРОМОСФЕРЕ И ФОТОСФЕРЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ 'SOLAR DYNAMICS OBSERVATORY'

Е.Е. Беневоленская

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, benevolenskaya@mai.ru

Солнечный цикл 24 привлекает внимание исследователей в связи с 'необычным' поведением и благодаря многочисленным данным наблюдений солнечной активности в различных эмиссионных линиях. Эти линии испускаются плазмой, локализованной в фотосфере, хромосфере и короне, что позволяет анализировать солнечную активность на различных уровнях относительно поверхности Солнца, одновременно. В докладе представлены результаты детального исследования солнечной активности по данным космической обсерватории 'Solar Dynamics Observatory (SDO)' за период с мая 2010 по текущее время. Для данного исследования были использованы магнитные данные Helioseismic & Magnetic Imager (HMI) в виде компоненты магнитного поля по-лучу-зрения (временное разрешение 720 секунд) и интенсивности излучения Солнца в спектральных линиях с длинами волн $1600\text{\AA}$, $171\text{\AA}$, $193\text{\AA}$ и $304\text{\AA}$ по наблюдениям Atmospheric Imaging Assembly (AIA). В линии $1600\text{\AA}$ (C IV + continuum) мы наблюдаем переходную область и верхнюю фотосферу Солнца. Динамика хромосферы (хромосферной сетки) и переходной области представлена в линии гелия II (He II, $304\text{\AA}$). Линии $171\text{\AA}$ и $193\text{\AA}$, испускаемые многократно ионизованными ионами железа (Fe IX и Fe XII, XXIV), дают информацию о спокойной и активной короне, а также о вспышках и о корональных дырах. В результате анализа SDO данных обсуждается синоптическая структура солнечной активности (зональная и долготная) на уровнях фотосферы, хромосферы и короны. Показана роль транспорта магнитной энергии, а также, корональных процессов в формировании солнечного цикла.

ЗАВИСИМОСТЬ КВМ ОТ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

И.А. Биленко*

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Астрономический институт им. П.К. Штернберга,
г. Москва, Россия, bilenko@sai.msu.ru*

Корональные выбросы массы (КВМ) являются одним из основных факторов формирующих космическую погоду на орбите Земли. Однако до настоящего времени природа этого явления и причины вызывающие КВМ до конца не ясны. Главную роль в инициации КВМ играют солнечные магнитные поля. В данной работе проводится сопоставление влияния изменений локальных фотосферных магнитных полей и глобального магнитного поля Солнца на частотность и параметры КВМ. Фотосферные магнитные поля имеют сложную динамичную структуру. Продолжительное всплывание нового магнитного потока и сдвиг оснований замкнутых силовых линий коронального магнитного поля вызывает напряжение в корональном поле. Когда это напряжение превышает определенный предел, при котором дальнейшее равновесие не может дальше поддерживаться происходит эрупция коронального вещества. Быстрые изменения глобального магнитного поля

вызывают разрушение существующей корональной структуры, что также ведет к увеличению числа КВМ, имеющих, однако, другие параметры. Скорости этих КВМ имеют систематически более низкие значения, тогда как угол раствора и ускорение значительно выше. Показаны зависимости изменения частоты и параметров КВМ от эволюционных изменений локальных магнитных полей и глобального магнитного поля Солнца в 23 и 24 циклах солнечной активности.

О МЕЛКОМАСШТАБНОЙ АКТИВНОЙ СТРУКТУРЕ НИЖНЕЙ КОРОНЫ СОЛНЦА

В.М. Богод, С.Х. Тохчукова

САО РАН, п. Н.Архыз, г. Санкт-Петербург, Россия, vbog@sao.ru

Исследования хромосферы и нижней короны сегодня представляют повышенный интерес в связи с развитием ряда современных теорий коронального нагрева в которых главную роль играют процессы в хромосфере [1], и получением новых EUV данных о тонкой структуре хромосферы с помощью спутника Hinode [2]. Эти работы показывают, что, одной из трудностей остается измерение величины и сложности структуры хромосферных магнитных полей, как индекса явления перезамыкания в тонкой структуре хромосферы. Для получения оценок магнитных полей в мелкомасштабной структуре на уровне нижней короны мы использовали радионаблюдения на крупном радиотелескопе РАТАН-600. Несмотря на худшее по сравнению с EUV пространственное разрешение, тем не менее, чувствительность радиотелескопа позволяет регистрировать мелкомасштабную структуру хромосферной сетки в поляризованном излучении и дать оценки на величину магнитного поля. Мы представляем наблюдения мелкомасштабной микроволновой структуры спокойного Солнца в период с сентября 2005 по июль 2012 г, выполненные на радиотелескопе РАТАН-600 с новыми техническими возможностями. Приведены спектрально поляризационные характеристики радиогранул и дана их возможная интерпретация.

[1]. Markus J. Aschwanden et al. The coronal heating paradox. *Aph,J The Astrophysical Journal*, 659:1673 Y1681, 2007.

[2]. Jendersie, S.; Peter, H. Link between the chromospheric network and magnetic structures of the corona *Astronomy and Astrophysics*, Volume 460, Issue 3, December IV 2006, pp.901-908.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПЕРЕД МОЩНЫМИ РЕНТГЕНОВСКИМИ ВСПЫШКАМИ КЛАССА X

В.Е. Абрамов-Максимов, В.Н. Боровик, Л.В. Опейкина

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, vnborovik@mail.ru

На основе ежедневных многоволновых спектрально-поляризационных радионаблюдений Солнца на РАТАН-600 в диапазоне 1.6 – 5.0 см в 2011-2012 гг. исследована эволюция микроволнового излучения ряда активных областей, в которых были зарегистрированы мощные рентгеновские вспышки класса X. Показано, что, как и в эруптивных событиях, исследованных на РАТАН-600 в предыдущие годы, за 1-2 дня до вспышки наблюдается развитие источника микроволнового излучения («пекулярного») над нейтральной линией фотосферного магнитного поля (над областью максимального сближения полей противоположного знака). Этот источник доминирует над другими компонентами микроволнового излучения активной области. Появление такого радиоисточника возможно рассматривать как фактор краткосрочного прогноза мощной вспышки

О РОЛИ КОНВЕКЦИИ В УСИЛЕНИИ И СТРУКТУРИРОВАНИИ ПОДФОТОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А.В. Гетлинг¹, В.В. Колмычков², О.С. Мажорова²

¹*НИИЯФ им. Д.В. Скобелъцына МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия,
A.Getling@mail.ru*

²*ИПМ им. М.В. Келдыша, г. Москва, Россия, ksv@keldysh.ru, olgamazhor@mail.ru*

Сильные фотосферные магнитные поля часто зарождаются в узлах сетки, образуемой дорожками между конвективными ячейками того или иного масштаба. Это явление интерпретируется как результат «сгребания» магнитных силовых линий конвективным движением. С другой стороны, магнитные элементы могут появляться во внутренних частях супергранул [1], что может быть следствием «наматывания» силовых линий циркулирующим веществом. Такого рода процесс был предсказан Тверским [2] на основе простой кинематической модели. В данной работе численно моделируется МГД-конвекция в горизонтальном слое несжимаемой жидкости. Верхняя граница слоя считается либо жесткой, либо свободной. Задаются случайные (шумовые) начальные тепловые возмущения и слабое начальное магнитное поле. Показано, что квазиупорядоченная ячейчатая конвекция, взаимодействуя с магнитным полем, способна создавать разнообразные (в частности, биполярные) конфигурации значительно усиленного магнитного поля. Действие такого механизма определяется самой топологией ячейчатого течения, может проявляться в различных пространственных масштабах и не требует сильных начальных магнитных полей. Магнитные конфигурации развиваются как в центрах конвективных ячеек, так и в межячейчатой сетке. В частности, видна роль циркуляционного движения жидкости, «наматывающего» магнитные силовые линии. Исследование влияния граничных условий и структуры начального поля на развитие процесса. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-02-00792-а).

[1]. Title A. Лекция на XXVII Генеральной ассамблее МАС, Прага, 2006.

[2]. Тверской Б.А. *Геомагн. и аэрон.*, 1966, 6, 11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ТИПА ГАЛО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ

Я.И. Егоров, В.Г. Файнштейн

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, egorov@iszf.irk.ru

С использованием модели KBM «Ice-cream cone model» по данным SOHO/LASCO рассчитаны трехмерные (3-М) геометрические и кинематические параметры корональных выбросов массы типа гало (ГКВМ) в зависимости от времени для выбросов с различными скоростями. Установлено, что скорость большинства рассмотренных ГКВМ уменьшается со временем. В то же время существует группа самых медленных выбросов, скорость которых со временем растет. Для самых быстрых ГКВМ со скоростью в плоскости неба $V_p > 1500$ км/с определены параметры в трехмерном пространстве, как тела выброса, так и связанной с ним ударной волны. Показано, что скорость ударной волны для всех рассмотренных событий превышает скорость тела ГКВМ. Для некоторых рассмотренных событий установлено, что скорость ударной волны со временем медленно приближается к скорости тела ГКВМ. Обнаружена тенденция к уменьшению расстояния между телом ГКВМ и ударной волной с

увеличением скорости выброса. Показано, что движение как быстрых ГКВМ, так и медленных выбросов не является строго радиальным в пространстве.

ПРИРОДА ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В.Г. Еселевич

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, esel@iszf.irk.ru

Краткий обзор современного состояния исследований природы СМЕ позволяет сделать вывод о том, что солнечные вспышки, эруптивные протуберанцы и сам СМЕ не независимые явления, а результат различных проявлений внезапной и мощной дестабилизации коронального магнитного поля. Предполагается, что эта дестабилизация связана с усилением коронального магнитного поля за счет фотосферных движений или всплывающего из-под фотосферы нового магнитного потока (магнитной трубки). Анализ “импульсных” СМЕ, возникающих как в активных областях, так вне них, показал, что в обоих случаях причиной формирования СМЕ может быть всплывающая с большой скоростью из-под фотосферы магнитная трубка, которая затем и составляет основу СМЕ. Причиной такого всплывания магнитных трубок, как показали выполненные в рамках МГД приближения расчеты, может быть неустойчивость “медленной” волны (неустойчивость Паркера).

ИНДУКЦИОННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ ФОТОСФЕРНОЙ КОНВЕКЦИЕЙ, И УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В КОРОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПЕТЛЯХ

В.В. Зайцев

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, za130@appl.sci-nnov.ru

Обнаружена корреляция между квазипериодическими изменениями электрического тока в корональных магнитных петлях и осцилляциями скорости фотосферной конвекции с периодами в несколько минут. Показано, что квазипериодические изменения тока, вызванные фотосферными колебаниями, сопровождаются генерацией индукционного электрического поля, что приводит к периодическому ускорению частиц с периодом, приблизительно равным половине периода фотосферных колебаний. Ускоренные частицы, сталкиваясь с плазмой, отдают ей свою энергию, что приводит к нагреву корональных магнитных петель и поддержанию относительно высокой температуры в течение длительного времени. Этот процесс можно рассматривать как нагрев корональных магнитных петель микровспышками, инициированными осцилляциями скорости фотосферной конвекции. Вычислена усредненная функция нагрева плазмы в корональных магнитных петлях, а также соответствующие значения температур в зависимости от амплитуды осцилляций скорости на примере 5-минутных фотосферных колебаний.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ, ЗАХВАЧЕННЫХ КОРОНАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В ТОНКОЙ СТРУКТУРЕ СПЕКТРА СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Е.Я. Злотник

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, zlotnik@inbox.ru

Солнечное радиоизлучение является существенным источником информации о параметрах корональной плазмы и физических процессах, происходящих в солнечной атмосфере. Наблюдения с высоким пространственным, частотным и временным разрешением, наряду с развитой теорией, позволяют восстановить физические условия в источниках излучения и определить механизмы генерации, ответственные за различные компоненты солнечного радиоизлучения. В частности, высокая яркостная температура многих солнечных радиовсплесков свидетельствует о когерентных механизмах излучения, т.е. о плазменных неустойчивостях в короне. В качестве примера рассматривается тонкая структура динамического спектра, имеющая вид квазигармонических полос повышенной и пониженной интенсивности излучения. Наблюдающаяся на фоне континуума IV типа на послевспышечной стадии солнечной активности. Показано, что такое излучение генерируется в источнике ловушечного типа, заполненном слабоанизотропной равновесной плазмой с примесью электронов, неравновесных по поперечным относительно магнитного поля скоростям. При этом континуум обусловлен конусной неустойчивостью горячих неравновесных электронов, а излучение с полосатым спектром возникает в областях двойного плазменного резонанса, где плазменная частота совпадает с гармониками электронной гирочастоты. Приводятся оценки электронной концентрации и магнитного поля в магнитной корональной ловушке, а также оценки концентрации горячих электронов и их скорости, необходимые для генерации излучения с наблюдаемой тонкой структурой. Показано также, что в некоторых случаях наблюдаемая тонкая структура (в частности, зебра-структура в быстродрейфующих оболочках) может быть объяснена только в предположении, что одновременно несколько групп неравновесных электронов сосуществует в источнике излучения.

РОЛЬ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА В ГЛОБАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Е.В. Иванов

ИЗМИРАН, Московская обл., г. Троицк, Россия, ivstp@mail.ru

Проведен сравнительный анализ моделей образования крупномасштабного магнитного поля Солнца – Бэбкока-Лейтона и МакИнтоша-Вильсона – на основе наблюдений крупномасштабного магнитного поля Солнца (КМПС) и полей солнечных пятен и активных областей. С этой целью проведена суперпозиция Стэнфордских карт крупномасштабного магнитного поля Солнца и синоптических карт солнечных магнитных полей, полученных с MDI для различных фаз 23-го цикла активности. Показано, что 1) КМПС существует практически всегда, в том числе и в период минимума солнечной активности, когда пятен практически нет, 2) все наиболее заметные группы пятен (с площадью более 1000 мдп) и активные области возникают или непосредственно на границах структурных элементов КМПС или в их непосредственной близости (что проявляется в виде т.н. активных долгот), 3) структура КМПС возникает (или уже существует) за 1-2 оборота до появления заметных пятен и активных областей. Полученные результаты свидетельствуют о справедливости

модели МакИнтоша-Вильсона и некорректности диффузионной модели образования КМПС на основании теории Бэбкока-Лейтона. Показана тесная связь индекса эффективного солнечного мультиполя $ESMI = -0.5 \lg(I_{ss}/I_{ph})/\lg(2.5)$, определяемого как логарифмическое отношение индекса энергии глобального магнитного поля Солнца на поверхности источника I_{ss} к величине этого индекса на поверхности фотосферы I_{ph} , с максимальной скоростью и частотой появления наиболее мощных корональных выбросов массы (КВМ). Поскольку этот индекс пропорционален некоторому среднему характерному размеру структурных элементов крупномасштабного магнитного поля Солнца, изменения структуры КМПС практически определяют характер солнечной активности, проявляющейся в виде солнечных пятен, активных областей, вспышек и корональных выбросов массы. Показано, что изменения структуры КМПС определяют также и характер поведения корональных дыр и истекающих из них потоков солнечного ветра.

ТЕКУЩИЙ МОМЕНТ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, ishkov@izmiran.ru

Возможность прогноза хода развития текущего и, возможно, последующих солнечных циклов, выявление периодов экстремальной вспышечной активности, как на Солнце, так и в ОКП, актуальная задача современной солнечной физики. На малой статистике научных исследований ряда чисел Вольфа (временная шкала в 163 г. – 14 циклов СА) невозможно перебрать все возможные характеристики и тренды развития отдельных циклов СА и выявить взаимосвязи с более длительными циклами, что не даёт возможность найти механизмы образования солнечной цикличности и построить её модель. В настоящий момент в рамках уже реализованной истории достоверных циклов СА становится понятно, что, начиная с максимума 22 и по конец 23 солнечных циклов, условия генерации магнитных полей на Солнце значительно изменились и дали начало новому периоду «пониженной» СА – эпохе циклов средней и низкой величины (период спада 150-летнего цикла). Наиболее вероятными признаками этой перестройки стали: – появление больших групп пятен на высоких широтах ($\geq 35^\circ$) на фазе роста и в максимуме 22 цикла; – реализация наиболее мощных солнечных вспышек в фазе максимума; – полное отсутствие вспышек рентгеновского бала X на фазе спада цикла; – единственный из статистики достоверных циклов случай нарушения правила Гневывшева – Оля, по которому нечётный цикл должен быть выше предыдущего чётного; – сильно затянутая ветвь спада 23 цикла; – продолжающееся с 2000 г. падение напряжённости магнитного поля в тенях пятен (вероятно из-за резко возросшего относительного количества малых солнечных групп пятен. Предыдущий такой период «пониженной» СА начался с 12 цикла СА (XII 1878 г.) и продолжался до начала 18 (II 1944 г.). Начавшийся в таких условиях текущий 24 цикл СА к концу 2012 г. немного превзошёл по высоте самый низкий 14 цикл СА и развивается как цикл низкой высоты ($W^*_{\max} \leq 80$). Текущий цикл – первый компонент физического 22-летнего солнечного цикла и по правилу Гневывшева – Оля следующий 25 солнечный цикл должен быть выше. Основные характеристики 24 цикла СА следующие: – начало I 2009 г. с $W^*_{\min} = 1.7$; – первая группа текущего цикла появилась в N-полушарии в I 2009 г., а в южном полушарии только в V 2009; – начало фазы роста – IV 2011 г. ($W = 54.4$, $F_{10.7} = 112.6$); – появление первой большой ($S_p \geq 500$ м.д.п.) группы солнечных пятен – II 2011, а первой очень большой ($S_p \geq 1500$ м.д.п.) – XI 2011 года; – явное преобладание пятнообразовательной активности N-полушария Солнца: за 3.8 года развития на видимом диске Солнца появилось 564 групп пятен, из которых только 219 – в южном; – первая большая вспышка ($M \geq 5$) осуществилась в II 2010 г.; – первая мощная солнечная вспышка X6.9/2B осуществилась 9.08.2011 г.; – ожидаемый максимум W^* – X 2012 – II 2013 г.; ожидаемая величина $W^*_{\max} = 75 \pm 5$. Одной из самых интересных особенностей 24 цикла является необычно большое

количество комплексов активных областей (КАО), промежуточной структуры между АО и комплексами активности. На 1 VIII 2012 г. 74 КАО включало 175 АО. Из сказанного выше следует, что 24 цикл развивается по сценарию типичному для нормальных циклов СА. По этому сценарию наиболее мощные вспышечные события обычно происходят на фазе спада цикла и иногда на фазе роста. Геоэффективность солнечных вспышечных явлений и корональных дыр остаётся аномально низкой: за ~4 г. зарегистрировано две большие магнитные бури ($A_p \geq 70$) и лишь четыре солнечных протонных событий ($E_{pr} > 10$ MeV) с потоком протонов больше 100 p.f.u.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕЖПЯТЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Т.И. Кальтман¹, В.М. Богод¹, А.Х. Ступишин², Л.В. Яснoв²

¹ *САО РАН, п. Н.Архыз, г. Санкт-Петербург, Россия, vbog@sao.ru*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

В работе на основе результатов современных наблюдений и модельных расчетов радиоизлучения отдельных компонентов структуры уточняется модель активной области. Наиболее противоречивой является интерпретация излучения межпятенной структуры активной области, в которой находятся источники типа NLS, располагающиеся над линией раздела полярностей магнитного области и межпятенный компонент типа «гало». В интерпретации излучения гало использовалось нетепловое гиротронное излучение нетепловых электронов, тепловое циклотронное излучение в поперечном магнитном поле и др. В данной работе продолжена работа исследования межпятенного излучения с использованием новых наблюдательных данных в широком диапазоне волн с повышенной точностью поляризационных измерений. На основе результатов современных наблюдений и модельных расчетов уточняется модель активной области. В данной работе также предлагаются приемы, помогающие усовершенствовать методику разделения пятенной и межпятенной компонент и уточнить наблюдаемые характеристики излучения – скорректировать оценки размеров компонентов активной области и, соответственно, яркостных температур. Для оценки физических параметров и интерпретации излучения компонент применено диагностическое моделирование, основанное на многоволновых поляризационных наблюдениях микроволнового излучения Солнца на РАТАН-600, экстраполяции фотосферного магнитного поля в корону и модельных расчетах радиоизлучения. С помощью развитого нами метода для выбранных активных областей восстановлено трехмерное распределение магнитного поля и рассчитано радиоизлучение всей магнитосферы активной области. Построены карты яркостных температур обеих круговых мод радиоизлучения с учетом инверсии моды излучения при распространении в поперечных магнитных полях, найдены эффективные высоты излучения и оценен вклад различных гармоник циклотронного излучения а также вклад теплового тормозного механизма излучения в разных частях активной области. По сопоставлению результатов расчета излучения и наблюдательных данных уточняются параметры модели активной области с источни

ПРЕДВЕСТНИК «ФАЗОВОЙ КАТАСТРОФЫ» 11-ЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНОГО МИНИМУМА АКТИВНОСТИ

В.И. Козлов, Козлов В.В., Плотников И.Я.

ИКФИА им. Ю.Г. Шафера, СО РАН, г. Якутск, Россия, cosmoprognoz@mail.ru

Методом траекторного анализа колебаний на комплексной фазовой плоскости изучается поведение чисел Вольфа в циклах №№ 4-23. В анализе используются годовые значения чисел Вольфа. Установлено, что *предвестником сбоя 11-летней цикличности («фазовой катастрофы» режима автоколебаний*, по нашим представлениям) является *наибольшая* площадь «заметаемая» фазовой траекторией единичного 11-летнего цикла (№№ 4, 11 19). С использованием метода аналитического сигнала анализировались также данные космических лучей с высоким, 5-минутным разрешением в течение последних 5 циклов №№ 20-24. В результате, получено подтверждение того, что неординарный сбой 11-летней цикличности Солнца в современную эпоху начался еще в 22 цикле (Козлов и Марков, 2007 г.) и продолжился в циклах 23-24. Если 11-летняя цикличность есть *автоколебательный* режим дискретного (за цикл) стравливания избыточной энергии, то сбой 11-летней цикличности или выход на режим «фазовой катастрофы», может произойти параметрически (например, при *нарушении* режима конвекции в конвективной зоне Солнца). Предложенный подход позволил по данным космических лучей с высоким разрешением вести, по сути, мониторинг *переходного режима* к эпохе современного глобального минимума активности (<http://www.forshock.ru/predvlong.html>). Выявлен квазипериодический или импульсный характер структуры фазы роста нового 24 цикла, с характерным временным масштабом ~1 год. По результатам мониторинга космических лучей впервые дан среднесрочный прогноз импульсной фазы развития комплексов активности на Солнце (<http://www.forshock.ru/predlong.html>) на ветви роста и в окрестности максимума текущего 24 цикла с заблаговременностью ~1 солнечный оборот.

ИЗОТРОПНА ЛИ ТОКОВАЯ СПИРАЛЬНОСТЬ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА?

К.М. Кузанын, Р.А. Степанов, Д.Д. Соколов, Х. Щу, Х. Жанг, Ю. Гао

ИЗМИРАН, г. Троицк/ г. Москва, Россия, kuzanyan@gmail.com

В предположении изотропии по векторным магнитограммам активных областей Солнца можно определить токовую спиральность (проекцию электрического тока на магнитное поле). За последние 20 лет реализации этой возможности и ее теоретическому осмыслению посвящено большое количество работ. Задачей нашей работы является проверка гипотезы изотропии самой токовой спиральности. Обычно токовую спиральность представляют как сумму трех слагаемых (след тензора). Непосредственно наблюдаемо только одно из этих слагаемых, а в силу изотропии все три слагаемых должны быть равны. Токовую спиральность можно разложить на три пары составляющих, две из которых мы можем непосредственно рассчитать из наблюдений. Все 6 составляющих в предположении изотропии должны быть равны. Мы показываем, что внутри каждой пары значения составляющих близки друг другу, в то время как между двумя доступными нам двумя парами составляющих имеется систематическое различие. Следовательно, степень анизотропии токовой спиральности значительна. Мы изучаем поведение этих различных составляющих в ходе солнечного цикла, и делаем вывод о сложных циклических изменениях анизотропии, которые необходимо учитывать в моделях солнечного динамо.

О ПРИРОДЕ ЯРКИХ ИСТОЧНИКОВ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВЕРШИНЕ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

В.Ф. Мельников¹, И.В. Кудрявцев^{2,1}, Ю.Е. Чариков²

¹ ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gao.spb.ru

² ФТИ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В последние годы с помощью КА RHESSI зарегистрированы источники жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) с максимумами яркости не только в основаниях, но и в корональной части вспышечных петель. Существующие модели генерации ЖРИ сталкиваются с трудностями при интерпретации этого факта. В настоящей работе появление коронального источника объясняется особенностями питч-углового распределения ускоренных электронов, инжектируемых в вершину корональной магнитной петли. Рассмотрены случаи анизотропной вдоль поля и изотропной длительной, нестационарной инжекции энергичных электронов. Распределения электронов вдоль петли найдены путем решения нестационарного релятивистского кинетического уравнения в форме Фоккера-Планка, учитывающего кулоновские столкновения и неоднородность магнитного поля. На основе рассчитанных функций распределения вычислена яркость ЖРИ вдоль оси петли. В результате показано следующее. Для анизотропной инжекции электронов характерным является наличие максимумов яркости ЖРИ в основаниях петли и минимума яркости в ее вершине. В случае изотропной инжекции, в вершине вспышечной петли формируется новый яркий источник, который может быть виден наряду с источниками в основаниях. По своим характеристикам этот источник похож на наблюдаемые корональные источники ЖРИ. Таким образом, наблюдения ярких источников ЖРИ в вершинах корональных петель является свидетельством в пользу моделей ускорения, предполагающих появление существенной изотропной (или анизотропной поперек поля) составляющей в питч-угловом распределении ускоренных электронов.

ДЛИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Ю.А. Наговицын, А.А. Певцов, А.А. Тлатов, А.Л. Рыбак

ГАО РАН, С.-Петербург, Россия, nag@gao.spb.ru

По данным семи обсерваторий Бывшего СССР составлен полувековой ряд средней напряженности магнитного поля крупных солнечных пятен. Ряд показывает отчетливую 11-летнюю цикличность: в минимуме цикла значения пятенных полей на ~25% меньше, чем в его максимуме. Следовательно, с циклом изменяется не только число носителей активности, но и их свойства. Показано, что распределение пятен по площади представляет собой два логнормальных распределения, так что «крупные» и «мелкие» пятна физически разделены. Это может свидетельствовать о двух различных физических механизмах их генерации. В контексте двух популяций пятен обсужден результат В.Ливингстона и М.Пенна о вековом уменьшении средних магнитных полей пятен.

ЗАТУХАЮЩИЙ И НЕЗАТУХАЮЩИЙ РЕЖИМЫ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАЗМЕННЫХ ПЕТЕЛЬ В КОРОНЕ СОЛНЦА

В.М. Накаряков

Physics Dept. University of Warwick, UK;

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, V.Nakariakov@warwick.ac.uk

The unprecedented time resolution and signal-to-noise ratio of the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) instrument on board the Solar Dynamics Observatory (SDO) spacecraft allows us to advance significantly our understanding of wave and oscillatory processes in the solar corona. In particular, kink oscillations of off-limb loops are observed, for the first time, before and after a flare in the active region NOAA 11494. Oscillations are depicted and analysed by time-distance maps, extracted from the cuts taken parallel or perpendicular to the loop axis. Moving loops are followed in time by steadily moving slits. The period of oscillations and its time variation are determined by best-fitting harmonic functions. We found that before and well after the occurrence of the flare, the loops experience low-amplitude decay-less oscillations. The flare and an associated CME are seen to trigger large-amplitude oscillations that decay exponentially in time. The periods of the kink oscillations in both regimes (about 240 s) are close to each other. An empirical model of the phenomenon in terms of a damped linear oscillator excited by a continuous low-amplitude harmonic driver (e.g., the effect of Alfvénic vortex shedding) and by an impulsive high-amplitude driver is found to be consistent with the observational findings.

ГЛОБАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АКТИВНОСТИ

В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, obridko@izmiran.ru

Излагается новая концепция Глобальных комплексов активности, заключающаяся в объединении в рамках единого понятия объектов глобальных и локальных полей. Традиционно в течение многих лет комплексы активности определялись только на основе наблюдений активных областей. В настоящей работе показано, что Глобальный комплекс включает в себя Корональные дыры и Активные области. Для анализа использовался большой набор данных наблюдений магнитного поля разных пространственных масштабов, наблюдения активных областей и магнитных полей SOHO MDI, наблюдения корональных дыр в ультрафиолетовом диапазоне. Показана общность эволюции корональных дыр и активных областей в едином комплексе. Обсуждается проблема связи полей разных масштабов в процессе генерации цикла.

АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ СОЛНЦА В ПРЕДВСПЫШЕЧНОМ СОСТОЯНИИ И ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕК

И.М. Подгорный, А.И. Подгорный

ИНАСАН, г. Москва, Россия, podgorny@inasan.ru

Исследовано магнитное поле активных областей, вызвавших большие вспышки. Типичное время формирования предвспышечного состояния активной области, вызывающей вспышки класса X составляет 3 – 5 дней. Необходимым условием возникновения вспышки класса X

является возрастание магнитным потоком активной области значения $\sim 10^{22}$ Мкс. Нормальная компонента фотосферного поля для вычисления магнитного потока находилась решением уравнения Лапласа с использованием компоненты поля вдоль луча зрения из данных SOHO MDI и SDO HMI. Только области со сложным распределением магнитного поля и линией обладают высокой вероятностью произвести вспышку. Активные области с одним ведущим и одним ведомым пятнами вспышек не создают. Над областью с простым арочным полем, где нет особых линий магнитного поля, не может образоваться токовый слой, в поле которого накапливается энергия, выделяемая при вспышке. Принципиально новым результатом является сохранения магнитного потока активной области во время вспышки остается. Предварительные данные указывают на отсутствие каких-либо характерных изменений распределения магнитного поля активной области во время вспышки. При некоторых вспышках наблюдаются локальные мелкомасштабные флуктуации магнитного поля (~ 100 Г) при максимальном поле 2000 – 3000 Г, но они практически не влияют на величину магнитного потока. Такие же флуктуации наблюдаются и в отсутствии вспышек. Можно утверждать о несостоятельности теории, предполагающей инжекцию в корону магнитной энергии во время вспышки, что является прямым доказательством накопления магнитной энергии в короне в предвспышечном состоянии и реализации этой энергии при вспышке.

БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИЗГИБНЫХ ВОЛН В КРОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПЕТЛЯХ

М.С. Рудерман, Е. Пелиновский, Н.С. Перухин, Т. Талипова

Шеффилдский университет, Шеффилд, Англия, m.s.ruderman@sheffield.ac.uk

Распространяющиеся изгибные волны постоянно наблюдаются в корональных магнитных петлях в солнечной атмосфере. Рассматривается возможность распространения этих волн без отражения несмотря на присутствие неоднородности. Кратко описывается общая теория одномерного безотражательного распространения волн в неоднородных средах. Общая теория затем используется для описания распространения изгибных волн в корональных магнитных петлях. Рассматриваются магнитные петли полукруглой формы погружённые в изотермическую атмосферу и предполагается что плазма имеет одну и ту же температуру внутри и вне петли. Показано что при определённой зависимости радиуса поперечного сечения петли от расстояния вдоль петли возможно безотражательное распространение изгибных волн. Разумное предположение что радиус поперечного сечения петли монотонно увеличивается от основания петли к её апексу налагает ограничение снизу на степень расширения петли, которая определяется как отношение радиусов поперечных сечений петли у её апекса и у основания. Это минимальное значение степени расширения петли увеличивается при увеличении высоты петли. Однако даже для петель с высотой вдвое превышающей атмосферную шкалу высот это минимальное значение достаточно мало и удовлетворяет ограничениям налагаемым наблюдениями. Таким образом, можно сделать вывод что безотражательное распространение изгибных колебаний возможно в достаточно реалистических моделях корональных магнитных петель.

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ АСПЕКТЫ ФИЗИКИ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

Б.В. Сомов

ГАИШ им. П. К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, somov@sai.msu.ru

Красота короны Солнца заставляет многих людей лететь в далекие страны, чтобы полюбоваться изумительным явлением солнечного затмения. Однако не только своей красотой привлекает нас корона. Все ли мы знаем о солнечной короне? – Вовсе нет. Физика солнечной короны не случайно является частью современной плазменной астрофизики. Космические наблюдения короны в рентгеновском и ультрафиолетовом излучении демонстрируют наличие в короне плазмы, имеющей очень широкий диапазон температур. Не до конца исследованы механизмы нагрева столь многотемпературной короны и формирования солнечного ветра. В докладе представлен обзор «открытых вопросов» теории нагрева коронами волнами различных типов и вспышечно-подобными явлениями, обусловленными пересоединением магнитных полей в масштабах от самых малых (нано-вспышки Паркера) до самых больших (крупномасштабное пересоединение в корональных стримерах и солнечном ветре). Современные технологии многоволновых наблюдений солнечной короны позволяют изучать специфические особенности эффекта магнитного пересоединения в короне, например, наличие в корональных стримерах движущихся «магнитных островов». В сочетании с численными и лабораторными экспериментами это позволяет лучше понять физические процессы в короне, источнике солнечного ветра.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ В БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

**Ю.И. Стожков, Г.А. Базилевская, В.С. Махмутов,
А.К. Свиржевская, Н.С. Свиржевский**

ФИАН, г. Москва, Россия, stozhkov@fian.fiandns.mipt.ru

Рассматриваются вопросы поведения солнечной активности и потоков космических лучей (солнечных и галактических) в настоящее время и ближайшие десятилетия. Показано, что до ~ 2050 г. солнечная активность будет иметь низкую величину, подобно той, которая наблюдалась в длительном минимуме Дальтона (1790 – 1835 гг.). В обычных циклах максимальные значения числа солнечных пятен $R_z > 100$, а в минимуме Дальтона максимальные значения R_z не превосходили 70. Анализируются данные о потоках галактических космических лучей, полученные методом регулярного зондирования в земной атмосфере. Принимая во внимание связь между уровнем солнечной активности, параметрами межпланетной среды и потоками космических лучей, делается вывод, что в 24-ом, 25-ом и 26-ом циклах солнечной активности вплоть до ~ 2050 г. потоки космических частиц будут достаточно высокими по сравнению с предыдущими солнечными циклами. Проводится анализ характеристик межпланетной среды, числа солнечных вспышек космических лучей, числа геомагнитных бурь в текущем 24-ом солнечном цикле и проводится их сравнение с прошлыми солнечными циклами.

МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА ВИХРЕВЫМ ДИНАМО

А.Г. Тлатов

Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Россия, tlatov@mail.ru

В настоящее время считается, что генерация магнитного поля Солнца происходит в результате дифференциального вращения, при действии которого из полоидального магнитного поля формируется тороидальное поле, сосредоточенное сферической оболочке у основания конвективной зоны. Вместе с тем наблюдаемые поля на фотосфере представлены в виде локальных силовых трубок магнитного поля относительно малого размера. Другая проблема заключается в том, что величина первичного полоидального поля составляет порядка несколько гаусс, а интенсивность наблюдаемых полей пятен несколько килогаусс. Есть основания считать, что в зоне генерации напряженность поля еще на несколько порядков выше. Однако вследствие ω -эффекта в течение цикла коэффициент усиления поля не превышает одного-двух порядков. Для решения этих проблем представлена модель генерации поля отличная от ω -эффекта. В ней рассмотрена возможность генерации магнитного поля локальными вихревыми потоками у основания конвективной зоны. Цикл генерации магнитного поля в данной модели можно представить виде последовательности процессов. Первоначально, поверхностное магнитное поле вследствие дифференциального вращения преобразуется в тороидальное и меридиональным потоком переносится к основанию конвективной зоны на высоких широтах. Вблизи основания конвективной зоны существуют вихри с осью вращения направленной азимутально, подобные вихрям Тейлора. Это приводит к генерации скрученных силовых трубок вследствие винтового динамо. Рост магнитного поля приводит к всплытию петель. В процессе всплытия и вытягивания азимутальное поле силовых трубок преобразуется в аксиальное и достигает поверхности в виде биполей солнечных пятен. Из них формируется поверхностное поле и цикл повторяется. Т.о. в данной модели основной механизм генерации связан с предполагаемыми вихрями, преобразующими азимутальное поле винтовое и обратного процесса преобразования азимутального поля в аксиальное при всплытии и расширение петель. На основе данной модели был предложен новый прогностический индекс для определения амплитуды последующего цикла солнечной активности по данным площадей и широты групп солнечных пятен текущего цикла. Коэффициент корреляции данного индекса с наблюдениями составил $R=0,86$.

«ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ» СОЛНЕЧНЫХ ВОЛОКОН

Б.П. Филиппов

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Троицк, Россия, bfilip@izmiran.ru

Солнечные волокна в процессе эволюции могут сближаться, объединяться, замыкаться в кольцевые образования. Характер взаимодействия волокон зависит от их внутренней структуры, определяемой, в частности, таким параметром как хиральность или связанным с ним знаком спиральности магнитного поля волокна. Обсуждаются возможности пересоединения магнитных силовых линий соседних волокон в различных магнитных конфигурациях. Проанализированы ежедневные На фильтрограммы в период максимальной активности 23 цикла. Найдены примеры изменения связности волокон при эволюции фотосферных полей.

РЕЖИМЫ ПИТЧ-УГЛОВОЙ ДИФФУЗИИ И ВРЕМЕННЫЕ ЗАДЕРЖКИ СЕКУНДНЫХ НЕТЕПЛОВЫХ ВСПЛЕСКОВ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Ю.Т. Цап, Ю.Г. Копылова, А.В. Степанов

*НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», Крым, г. Научный, Украина
ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, yur@crao.crimea.ua*

Рассматриваются временные задержки между наступлением пиков жесткого рентгеновского и микроволнового излучения солнечных вспышек. Их происхождение связываются с изменением режимов питч-угловой диффузии быстрых электронов, захваченных корональной аркой, которая моделируется в виде магнитной ловушки. Показано, что временные задержки разного знака могут быть обусловлены генерацией развитой электромагнитной турбулентности в корональной арке. Изучена зависимость продолжительности временных задержек от длительности импульса. Установлено, что вывод Ашвандена и др. (1998) о доминирующей роли кулоновской диффузии в корональных петлях не является достаточно обоснованным. В свете стандартной модели солнечной вспышки обсуждаются следствия полученных результатов.

ПОЧЕМУ УМЕРЕННАЯ СОЛНЕЧНАЯ ЭРУПЦИЯ ВЫЗВАЛА СИЛЬНЕЙШУЮ ГЕОМАГНИТНУЮ БУРЮ 23-его ЦИКЛА – СОБЫТИЕ 18-20.11.2003

**В.В. Гречнев¹, А.М. Уралов¹, И.М. Черток², А.В. Белов², Б.П. Филиппов²,
В.А. Слемзин³, Б.В. Джексон⁴**

¹ *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, grechnev@iszf.irk.ru*

² *ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, ichertok@izmiran.ru*

³ *ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия*

⁴ *Центр астрофизики и космических исследований Калифорнийского университета, Сан-Диего, Ла Джолла, Калифорния, США*

Выяснены загадочные причины экстремальной геоэффективности солнечного события 18 ноября 2003 г., когда заурядная по своим основным проявлениям солнечная эрупция в активной области 10501 несколько восточнее центра солнечного диска, сопровождавшаяся умеренными вспышечными эпизодами балла до M3.9 и средними по размерам и скоростям (≈ 1660 км/с) корональными выбросами, вызвала 20 ноября сильнейшую геомагнитную бурю 23-его цикла с $Dst = -422$ нТл. По данным многих спектральных диапазонов проведен детальный анализ особенностей самой эрупции и ее межпланетных последствий. Сочетание сильнейшей бури со сравнительно небольшим Форбуш-понижением ($\approx 4,7\%$), характеристики анизотропии космических лучей, изображения межпланетного транзита, полученные при помощи Solar Mass Ejection Imager (SMEI), данные прямых измерений в межпланетном пространстве показывают, что возмущение пришло к Земле в виде магнитного облака малых размеров. Расширяясь необычно слабо при распространении от Солнца до Земли, облако сохранило высокую напряженность внутреннего магнитного поля ≈ 56 нТл. Дополнительными факторами, благоприятствовавшими возникновению супербури, было точное попадание середины магнитного облака по земной магнитосфере и ориентация вектора магнитного поля в облаке почти точно на юг. Показано, что это магнитное облако было оторвано от Солнца и имело конфигурацию сферомака. Правовинтовой сферомак возник в результате топологической катастрофы левовинтового эруптивного волокна при прохождении им корональной нулевой точки. Положительная спиральность образовавшегося в результате цепочки магнитных пересоединений сферомака определилась

знаком взаимной спиральности взаимодействовавших магнитных структур. Результатами этой коллизии («аномальной» эрупции) стали эрупция сферомака вблизи центра солнечного диска и образование огромного Y-образного облака, содержавшего холодную плазму прежнего волокна и имевшего размеры порядка солнечного радиуса. Это облако разлеталось вдоль солнечной поверхности и наблюдалось телескопом КОРОНАС-Ф/СПИРИТ в канале 304 Å как движущееся потемнение.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НЕТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ

И.Н. Шарыкин, А.Б. Струминский, И.В. Зимовец

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivan.sharykin@iki.rssi.ru

Рассматриваются общие закономерности развития солнечных вспышек М и Х класса. В выбранных событиях мы выделяем фазы интенсивного роста температуры и меры эмиссии и исследуем в них свойства и пространственную структуру энерговыделения ускоренных электронов. По данным наблюдений рентгеновского излучения КА RHESSI проводится анализ спектров и изображений, а для уточнения пространственной структуры вспышечной области используются наблюдения ультрафиолетового излучения КА TRACE и SDO. Показано, что в фазе роста температуры нетепловые электроны характеризуются мягким спектром, а источники жесткого рентгеновского излучения наблюдаются в корональной области. Интенсивный рост меры эмиссии соответствует наиболее жесткому спектру нетепловых электронов и жесткому рентгеновскому излучению из плотных слоев солнечной атмосферы. По результатам спектрального анализа жесткого рентгеновского излучения рассчитана кинетическая мощность нетепловых электронов, которая сравнивается с изменением внутренней энергии с учетом потерь тепла.

ON THE ONSET TIME OF SEVERAL SPE/GLE EVENTS: INDICATIONS FROM HIGH-ENERGY GAMMA-RAY AND NEUTRON MEASUREMENTS BY CORONAS-F

Victoria Kurt,¹ B. Yushkov,¹ Karel Kudela,² and V. Galkin¹

¹ *Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

² *Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Science, Kosice, Slovakia,
vgk@srd.sinp.msu.ru*

We analyzed the high-energy gamma and neutron emissions observed by the SONG instrument onboard the CORONAS-F satellite during four powerful solar flares, namely August 25, 2001, October 28, 2003, November 4, 2003, and January 20, 2005. These flares produced neutrons and/or protons recorded near the Earth. We demonstrated that the SONG response was consistent with detection of the pion-decay gamma emission and neutron fluxes in these events. We supposed that a time profile of the soft X-ray derivative was a good proxy of time behavior of the flare energy release. Basing on this assumption we showed that in the flares under consideration time intervals of the maximum both of energy release and pion-decay-emission coincided well. We determined the onset time of GLEs 65, 69 accompanying October 28, 2003, and January 20, 2005 flares on the basis of neutron monitor data using the method of superposed epoch. The time of high-energy proton onset during SPE on November 4, 2003 was found from the data obtained by GOES 10 and 12 detectors. The time delay between observation of the high-energy gamma rays and the onset time of high-energy protons at the Earth's orbit in the events under consideration was <5 minutes. This

time lag of GLE/SPE corresponds to the least possible proton propagation time. So, we suggest that in the events which took place on October 28, 2003, November 4, 2003, and January 20, 2005 both protons interacted in the solar atmosphere and the first protons which arrived to the Earth, belonged to one and the same population of the accelerated particles.

PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS OF THE SOLAR MAGNETIC FIELDS IN THE CYCLES 21-23 AND IT'S IMPLICATIONS FOR THE FUTURE SOLAR ACTIVITY

V.V. Zharkova¹, S.J. Shepherd², S.I. Zharkov³

¹ *Department of Mathematics, University of Bradford, UK, v.v.zharkova@brad.ac.uk;*

² *School of Engineering, Design and Technology, University of Bradford, UK;*

³ *Physics and Mathematics Department, University of Hull, UK.*

In this paper we present the principal components (PCs) in variations of (a) the solar background magnetic field (SBMF) measured by the Wilcox Solar Observatory with low spatial resolution for solar cycles 21-23, and, (b) the sunspot magnetic field (SMF) in cycle 23 obtained by SOHO/MDI (Zharkova *et al*, 2012). PCA analysis reveals two main temporal PCs in SBMF of opposite polarities originating in the opposite hemispheres and running noticeably off-phase (with about a two and half year delay), with their maximums over-lapping in the most active hemisphere for a given cycle. Their maximum magnitudes are reduced by factor 3 from cycle 21 to 23 overlapping in the Northern hemisphere for cycle 21, the Southern one in cycle 22 and in the Northern again in cycle 23. The reduction of magnitudes and slopes of the maximums of the SBMF waves from cycle 21 towards cycle 23 leads us to expect lower magnitudes of the SBMF wave in cycle 24 and further cycles. Also PCA allowed us to detect 4 pairs of EOFs in the SBMF latitudinal components: the two main latitudinal EOFs attributed to symmetric and another three pairs of EOFs assigned to asymmetric types of meridional flows. The results allow us to postulate the existence of dipole and quadruple (or triple dipole) magnetic structures in the SBMF, which varies from cycle to cycle and takes the form of two waves travelling off phase, with the phase shift of one quarter of the 11 year period. Similar PC and EOF components were found in temporal and latitudinal distributions of the sunspot magnetic field for cycle 23 revealing the polarities opposite to the SBMF polarities and double maximum in time or maximums in latitude corresponding to the maximums of the SBMF PC residuals or minimums in SBMF EOFs, respectively. This allows to suggest that the SBMF waves also modulate the occurrence and magnitudes of sunspot magnetic field in time and latitude. Zharkova, V.V., Shepherd S.J., Zharkov S.I., 2012, MNRAS, 424, 2943.

С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО ОДНОВРЕМЕННЫМ НАЗЕМНЫМ И КОСМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

В.Е. Абрамов-Максимов, В.И. Ефремов, Л.Д. Парфиненко, А.А. Соловьёв

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, beam@gao.spb.ru

На основе наземных радиоастрономических наблюдений и измерений магнитных полей пятен с помощью космических аппаратов выполнен анализ колебательных процессов с периодами в нескольких десятков минут в ряде одиночных пятен. Используются магнитограммы **HMI/SDO** с интервалом 45 сек, магнитограммы **MDI/SOHO** с интервалом 1 мин и радиокарты на волне 1.76 см, полученные с помощью радиогелиографа Нобеляма. Наличие в спектрах колебаний, полученных принципиально разными методами, похожих частот и общих цугов свидетельствует в пользу реальности таких колебаний. Обсуждаются возможные интерпретации долгопериодных колебаний.

ДРОБЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УЧАСТКА СИЛОВОЙ ТРУБКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В УСЛОВИЯХ СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЫ

Л.М. Алексеева¹, С.П. Кшевецкий²

¹ *НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, lilialeks@yandex.ru*

² *Балтийский федеральный университет им. Имм. Канта, г. Калининград, Россия, renger@mail.ru*

В связи с проблемой появления хромосферного магнитного поля часто используют образ всплывшей магнитной трубки. При этом обычно не обсуждается, как в сечении всплывшей трубки будут распределены величина магнитного поля и термодинамические характеристики плазмы – ее плотность, температура, давление. Поскольку всплытие объекта, тем более, не имеющего жесткой границы, – это сложный динамический процесс, можно ожидать, что названные распределения в разных случаях окажутся разными. Что произойдет с трубкой в хромосфере и как повлияет (предполагаемый) конкретный вид таких распределений на последующее изменение поля и состояния плазмы, изучается в настоящей работе. Рассматривается полностью ионизированная водородная плазма в области верхушечной, т.е. почти горизонтальной, части трубки. В предположении неизменности всех физических величин вдоль линий магнитного поля мы численно решаем задачу с начальными условиями для системы полностью самосогласованных нелинейных 2D уравнений столкновительной магнитогазодинамики (МГД) с учетом конечной электро- и теплопроводности. В начальный момент плазма считается всюду неподвижной и имеющей температуру 50000 К. Показано, что магнитная трубка с изначально гладкой поверхностью со временем начинает дробиться под действием нелинейных процессов и распадается на мелкие трубочки. В результате магнитное поле приобретает типичную для хромосферы структуру, известную по наблюдениям. Так, при значении характерного плазменного параметра $\beta=1.5$ поле (найденное нами из решения системы МГД уравнений) демонстрирует дробление уже через 2 мин; эта эрозия появляется, прежде всего, в той области первоначальной границы трубки, где в начальный момент был наибольший градиент магнитного давления.

О ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ «СТРУКТУР» СЕВЕРО-ЮЖНОЙ АСИММЕТРИИ

О.Г. Бадалян

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Троицк, Россия, badalyan@izmiran..ru

По данным о яркости зеленой корональной линии 530.3 нм Fe XIV за 1943-2001 гг продолжено исследование пространственного распределения северо-южной асимметрии. Асимметрия определяется как $A = (N-S)/(N+S)$, где N и S – яркость зеленой линии в северном и южном полушариях, соответственно. Рассмотрение синоптических карт индекса A в 784 последовательных кэррингтоновских оборотах показывает, что широтно-долготные области, в которых доминирует северное или южное полушарие, образуют своеобразные «структуры» различной формы. В основном, это вертикально (вдоль широты) или горизонтально (вдоль кэррингтоновской долготы) ориентированные широтно-долготные области. Дальнейший анализ показал, что выявляется циклическая зависимость в образовании вертикально ориентированных структур. Наиболее выраженные вертикальные структуры возникают на ветви спада в цикле активности, после прохождения ее середины. В этот период на Солнце наблюдаются восточный и западный сектора, в каждом из которых в целом регистрируется или положительная асимметрия (северное полушарие ярче), или отрицательная (южное полушарие ярче). Северо-южная асимметрия является особой, очень информативной характеристикой солнечной активности, и индекс A при этом служит мерой несинхронности работы двух полушарий Солнца.

РАКЕТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ HI-C ПО ИССЛЕДОВАНИЮ КОРОНЫ СОЛНЦА СО СВЕРХВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

С.В. Кузин¹, С.А. Богачев¹, Н.Н. Салашенко², Л. Голуб³,
Дж. Сертайн⁴, К. Кобаяши⁵

¹ ФИАН, г. Москва, Россия, bogachev@lebedev.ru

² ИФМ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

³ Смитсоновская астрофизическая обсерватория, Гарвард, США

⁴ Центр космических полетов Маршалла, НАСА, США

⁵ Центр космических и авиационных исследований, Университет Алабамы, Хантсвилл, США

11 июля 2012 года с ракетного полигона Уайт Сендз в штате Нью-Мексико (США) был произведен запуск ракеты НАСА Hi-C с научным оборудованием, предназначенным для получения изображений Солнца в вакуумном УФ диапазоне спектра, недоступном для регистрации с поверхности Земли. Установленный на борту двухзеркальный телескоп, имел рекордное на сегодняшний день угловое разрешение, порядка 0.15 угл. секунд на пиксель, что соответствует размеру около 100 км на поверхности Солнца. Объектом исследования была активная солнечная область NOAA 1520, в момент наблюдения находившаяся почти в центре солнечного диска. Всего за 620 секунд полета было получено 165 изображений размером 4096×4096 пикселей в ВУФ области длин волн вблизи 193 Å. Со стороны Российской академии наук в эксперименте участвовали ФИАН и ИФМ РАН, поставившие для телескопа полный набор рентгеновских тонкопленочных фильтров: фильтр детектора и входной фильтр. Основной задачей эксперимента было наблюдение тонкой структуры короны Солнца, энерговыделение в которой, как считается, ответственно за нагрев короны Солнца. В результате были впервые получены наблюдения ряда специфических структур,

которые, по некоторым предположениям, могут играть ключевую роль в накоплении и высвобождении энергии для нагрева короны. В докладе обсуждаются эти результаты, а также их значение для планируемых отечественных солнечных экспериментов, в частности для проекта «Арка» на спутнике МКА-ФКИ № 5, в ходе которого предполагается впервые провести длительный эксперимент по изучению тонкой структуры короны с пиксельным разрешением 0.75 угловой секунды.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В ЗОНЕ ПЯТНООБРАЗОВАНИЯ СОЛНЦА

Е.С. Вернова¹, М.И. Тясто¹, Д.Г. Баранов²

¹ Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, С.-Петербург, Россия, helena@ev13934.spb.edu

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

Сильные фотосферные магнитные поля в зоне пятнообразования Солнца изучались на основе синоптических карт обсерватории Китт Пик за 1976-2003 гг. Потoki положительных и отрицательных магнитных полей для северного и южного полушарий Солнца были рассмотрены раздельно. Каждый из четырех указанных магнитных потоков в соответствии с его полярностью можно интерпретировать как магнитный поток ведущих или ведомых пятен одного из полушарий Солнца. Все четыре потока следуют 11-летнему солнечному циклу, тем не менее, имеются определенные отличия в их временном ходе. Основная задача данной работы – рассмотреть закономерности проявления этих отличий. С этой целью мы рассматриваем: 1) корреляционную связь этих потоков; 2) дисбаланс положительных и отрицательных потоков относящихся к одному и тому же полушарию Солнца; 3) дисбаланс положительных и отрицательных потоков, относящихся только к ведущим пятнам; 4) дисбаланс положительных и отрицательных потоков только ведомых пятен. Дисбаланс потоков, относящихся к ведущим пятнам обоих полушарий, изменяется в ходе солнечного цикла, подчиняясь следующей закономерности. Для фазы подъема солнечной активности (от минимума до инверсии) всегда доминируют потоки северного полушария, для фазы спада (от инверсии до минимума) – потоки южного полушария. Аналогично изменяется дисбаланс потоков ведомых пятен: доминирование потока ведущих пятен в данной полусфере сопровождается доминированием потока ведомых пятен для этой же полусферы. Таким образом, северо-южная асимметрия магнитных потоков складывается из доминирования как ведущих, так и ведомых пятен одной из полусфер Солнца. Знак северо-южной асимметрии магнитных потоков определяется четвертью 22-летнего магнитного цикла, в течение которой магнитная конфигурация локальных и глобальных полей остается неизменной (от минимума до инверсии общего магнитного поля Солнца (ОМПС) и от инверсии до минимума). Дисбаланс положительных и отрицательных потоков для всей приэкваториальной области ($\pm 40^\circ$ гелиошироты) изменяется так же, как и дисбаланс ведущих пятен. Знак дисбаланса не меняется в течение 11 лет от одной инверсии ОМПС до другой и всегда совпадает со знаком ОМПС в северном полушарии. Знак северо-южной асимметрии и знак дисбаланса магнитных потоков определяются четвертью 22-летнего магнитного цикла, для которой магнитная конфигурация локальных и глобальных полей сохраняется (от минимума, где солнечные пятна меняют полярность согласно закону Хейла до инверсии ОМПС и от инверсии до минимума). Знак северо-южной асимметрии определяется только фазой 11-летнего цикла (до или после инверсии ОМПС). Знак общего дисбаланса определяется как фазой 11 летнего цикла, так и четностью солнечного цикла.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ДИСКРЕТНОГО МАСШТАБНОГО СПЕКТРА СОЛНЕЧНОЙ КОНВЕКЦИИ

А.В. Гетлинг, О. С. Мажорова, О. В. Щерица

*НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
A.Getling@mail.ru*

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва, Россия,
olgamazhor@mail.ru, shchery@mail.ru*

Дискретность спектра масштабов солнечной конвекции пока не нашла убедительного объяснения. Кажется вероятным, что возникновение многомасштабности течения связано с особенностями стратификации, конвективно неустойчивой на всех высотах. В работе исследуется влияние специально выбранной стратификации горизонтального слоя на масштабный спектр конвективных движений. Для этого конвекции моделируется численно на основе нестационарных уравнений движения и переноса энергии. Рассматривается простая двумерная модель, не учитывающая сжимаемости, и уравнения решаются для длинной прямоугольной области. Стратификация создается либо путем задания соответствующей зависимости коэффициента температуропроводности либо от температуры, либо от вертикальной координаты. Исследуются случаи двух жестких горизонтальных границ и случаи жесткой нижней и свободной верхней границы. Кондуктивный градиент температуры велик в тонком приповерхностном подслое и относительно мал в остальной части слоя. В определенных условиях наблюдается расщепление масштабов: картина конвекции выглядит как семейство двумерных ячеек (валов) некоторого основного масштаба, на которое наложены более мелкие ячейечные образования. С целью выделения последних применяются несколько методов обработки результатов расчетов. Мелкомасштабные ячейки, вообще говоря, могут наблюдаться вблизи обеих горизонтальных границ слоя. Исследовано влияние условий задачи на характер течения.

КИНЕТИЧЕСКАЯ СПИРАЛЬНОСТЬ ЯЧЕЕЧНОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ

А.В. Гетлинг

*НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, A.Getling@mail.ru*

Генерация крупномасштабных магнитных полей в турбулентной проводящей среде определяется α -эффектом, зависящем от средней спиральности поля скоростей $\langle \mathbf{v} \cdot \text{rot } \mathbf{v} \rangle$ (кинетической спиральности). Средняя спиральность и коэффициент α сильно зависят от структуры турбулентности, поэтому оценки α для солнечной конвективной зоны весьма неопределенны и варьируют в пределах четырех порядков. С другой стороны, конвективные течения солнечной плазмы обладают определенной степенью упорядоченности, и «детерминистское» численное моделирование ячейечной конвекции может быть использовано для оценок ее эффективности как генератора магнитных полей. В работе выполнено конечно-разностное численное моделирование конвективных течений в горизонтальном слое сжимаемой среды (газа), подогреваемого снизу и вращающемся вокруг вертикальной оси. Среда считается политропно стратифицированной. В начальный момент вносится тепловое возмущение — либо неупорядоченное (шумовое), либо с правильной симметрией, создающее систему шестиугольных конвективных ячеек бенаровского типа. Относительные размеры расчетной области достигают $28 \times 24 \times 1$. Найдено, что средняя спиральность

ячеечных течений может значительно превышать спиральность течений малоупорядоченных. При данных числах Рэлея и Прандтля ее максимальное значение растет с уменьшением индекса политропы (т.е. с ростом кривизны статического профиля энтропии) и имеет максимум при некоторой скорости вращения слоя. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №12-02-00792-а).

ВАРИАЦИИ ЯРКОСТИ В ВЕРШИНЕ ПЕТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ НА ЛИМБЕ 19 ИЮЛЯ 2012 г.

А.А. Головки

ИСЗФ СО РАН, golovko@iszf.irk.ru

С помощью хромосферного телескопа полного диска в линии Н-альфа Байкальской астрофизической обсерватории, получены фильтрограммы лимбовой солнечной вспышки балла М7.7 за 19 июля 2012 г. Съемка велась с временным разрешением 1 мин, а в отдельные интервалы – сериями по 200 и 500 кадров через 0.4 с. Построены временные реализации интенсивности яркого узла в вершине петельной системы. Реализации на тонкой (0.4 с) временной шкале не показывают значимых квазипериодических пульсаций, а только шумовые вариации. Фрактальный их анализ показывает присутствие в реализациях свойства масштабной инвариантности. Оценки фрактальной размерности дают величину $D=1.4 - 1.8$.

НАПРАВЛЕННОСТЬ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ ПО СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ НА КА МАРС ОДИССЕЙ (ХЕНД), RHESSI И КОРОНАС-Ф (СОНГ)

**М.А. Лившиц, И.Г. Митрофанов, Д.В. Головин, А.С. Козырев, М.Л. Литвак,
А.Б. Санин, В.И. Третьяков, Л.К. Кашапова, В.Ф. Мельников,
А.В. Богомолов, И.Н. Мягкова**

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, golovin@l503.iki.rssi.ru

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Аппаратурой ХЕНД на КА МАРС ОДИССЕЙ было зарегистрировано жесткое рентгеновское излучение более 50 мощных солнечных вспышек за период с 2001 по 2010 гг. Как правило, временные профили в диапазоне от 30 кэВ до 1 МэВ зарегистрированные внешним сцинтиллятором ХЕНДа и другими приборами в экспериментах на RHESSI и КОРОНАС-Ф, хорошо согласуются между собой (если условия видимости источников были одинаковыми, т.е. никакая часть источника не находилась за лимбом для какого либо из аппаратов). При наблюдении вспышек 14 июля 2005г события наблюдались с космических аппаратов на околомарсианской и околоземной орбитах, разнесенных на 42 градуса по долготе. Профили и спектры рентгеновского излучения первого мощного всплеска (~ 7:22-7:23 UT), полученные по данным ХЕНД и прибора СОНГ на КА КОРОНАС-Ф, практически совпадали. Стереоскопические наблюдения заключительной части второго всплеска (~10:20-11:10 UT) показали, что с 11:00 до 11:10 на РЕССИ и на микроволнах (1.41 ГГц) отчетливо наблюдался еще один всплеск, в то время как на ХЕНДе в период с 11:00 до 11:04 сигнал уменьшался и далее достиг уровня фона. Был проведен подробный анализ, согласно

которому в первом временном интервале различие потоков в сторону Марса и Земли достигло 2.0, а для второго интервала анизотропия излучения формально превысила 3.0 с вероятностью 0.997, и 4.1 с вероятностью 0.68.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВУФ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ КОРОНАЛЬНОГО СТРИМЕРА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕЛЕСКОПА PROBA2/SWAP

Ф.Ф. Горяев, В.А. Слемзин, Л.А. Вайнштейн

*Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, г. Москва, Россия,
goryaev_farid@mail.ru*

В изображениях солнечной короны, получаемых с помощью ВУФ телескопов с широким полем зрения (КОРОНАС-Ф/СПИРИТ, КОРОНАС-ФОТОН/ТЕСИС, PROBA2/SWAP) в линиях ионов железа FeIX-FeXI при температурах порядка 1 МК, часто наблюдаются яркие протяженные структуры (ВУФ стримеры), которые, предположительно, являются индикаторами потоков медленного солнечного ветра, истекающего из участков между активными областями и корональными дырами. Аналогичные структуры, наблюдаемые в линиях тех же ионов в видимом диапазоне спектра, видны благодаря резонансному рассеянию излучения солнечного диска. Однако, из-за отсутствия надежных данных о плотности и температуре плазмы соотношение столкновительного возбуждения и резонансного рассеяния линий излучения ионов FeIX-FeXI в ВУФ стримерах до сих пор не установлено. Мы рассмотрели радиальное распределение яркости в ВУФ стримере, наблюдавшемся в канале 174 А телескопа SWAP на западном лимбе Солнца 20-21 октября 2010 г. и сравнили данные измерений с расчетами ВУФ излучения с использованием различных распределений для электронной плотности и температуры в корональной плазме. Стример располагался над активной областью AR 11112 и простирался до расстояний $\approx 2.2R_{\text{sun}}$ от центра Солнца. Форма стримера в плоскости луча зрения была восстановлена по изменению яркости на разных высотах при вращении Солнца (томографические проекции) в предположении, что распределение плотности поперек стримера имеет гауссовский профиль. Было установлено, что на высотах выше $1.15R_{\text{sun}}$ наилучшее согласие с данными наблюдений достигается для модели излучения плазмы с постоянной температурой порядка 1.2-1.3 МК и радиальным распределением плотности, выведенным для диффузной короны Саито и др. (1977) и умноженным на поправочный коэффициент ≈ 5 . Для определения параметров плазмы (электронных плотности и температуры) в основании стримера на расстояниях $1-1.2R_{\text{sun}}$ использовались данные спектрометра EIS на спутнике Hinode (Япония). Полученные максимальные плотности в ВУФ стримере от $2 \times 10^9 \text{ см}^{-3}$ на лимбе до $3 \times 10^7 \text{ см}^{-3}$ на расстоянии $\approx 2R_{\text{sun}}$ показывают, что их значения в этой структуре могут меняться на порядок, что согласуется с выводами Тернисена и Ховарда (2006), полученными из наблюдений стримеров в видимом диапазоне по данным коронографа LASCO/SOHO. Показано, что в этих условиях столкновительный механизм возбуждения спектральных линий ионов FeIX-FeXI в канале 174 А телескопа SWAP превалирует над радиационным до расстояний порядка $3R_{\text{sun}}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЁСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 6 ДЕКАБРЯ 2006 ГОДА

П.А. Грицык, Б.В. Сомов

ГАИ им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Ускоренные в солнечной вспышке электроны, распространяясь из области ускорения (высокотемпературного турбулентного токового слоя на сепараторе магнитного поля в короне) вдоль трубок магнитного поля к основаниям вспыхивающих петель в хромосфере, порождают всплески жёсткого рентгеновского излучения. Представлена самосогласованная модель источника излучения в нетепловой интерпретации с учетом электрического поля обратного тока. В аналитическом виде найдена функция распределения ускоренных электронов, на основе которой промоделирован процесс их распространения вдоль вспыхивающих петель. Рассчитаны характеристики жёсткого рентгеновского излучения, а также нагрев фоновой плазмы для белой вспышки 6 декабря 2006 года. В задаче учтён нагрев холодной плазмы частицами обратного тока. Полученные результаты с высокой степенью точности соответствуют результатам высокоточных наблюдений на космических аппаратах RHESSI, Hinode и Trace. Лит.: Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part I, Fundamentals and Practice. Springer SBM, New York, 2013, Chap. 4.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ АТЛАС ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА СОЛНЦА

Р.А. Гуляев

ИЗМИРАН, г.Троицк, Россия rgulyaev@izmiran.ru

По наблюдениям на солнечных телескопах ИЗМИРАН составлен фотографический атлас ближней инфракрасной области спектра Солнца (6760 – 12160 Å). Атлас ИЗМИРАН может служить продолжением широко известного атласа Роуланда, охватывающего область 3000 – 6950 Å.

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ МНОЖЕСТВЕННЫХ ХРОМОСФЕРНЫХ МИКРОСТРУЙ В ПОЛУТЕНИ СОЛНЕЧНОГО ПЯТНА

Ю.В. Думин^{1,2}, П.А. Родин³

¹ *ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

³ *МГУ ПС, г. Москва, Россия*

Одно из наиболее интересных явлений, обнаруженных при исследовании нижней атмосферы Солнца с рекордно высоким пространственно-временным разрешением со спутника Hinode – это совокупности множества микроструй в полутени солнечных пятен на высотах хромосферы. Они представляют собой светящиеся структуры с температурой около 10 000 К, взрывообразно выбрасываемые вверх; их поперечный размер составляет порядка нескольких сотен, а продольный – нескольких тысяч километров [1]. На сегодняшний день не существует единой точки зрения относительно природы таких микроструй; в частности, не ясно, представляют ли они собой движение реальных сгустков плазмы, или же просто светящихся областей с повышенной температурой. С нашей точки зрения, одна из

перспективных интерпретаций вышеупомянутого явления может быть основана на модели самоподдерживающихся тепловых волн [2]. Эти волны инициируются динамо-процессами в области перехода от столкновительного к бесстолкновительному режиму движения частично-ионизованной плазмы и далее распространяются вверх, вдоль трубок магнитного потока, с нарастающей амплитудой до тех пор, пока выполняются условия для генерации динамо-токов. Такая интерпретация позволяет удовлетворительно объяснить основные качественные особенности хромосферной микроструи – взрывообразное развитие светящейся области, начиная с некоторой высоты, а затем постепенное затухание всей структуры в целом. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 13-02-00458а.

1. Y. Katsukawa, T.E. Berger, K. Ichimoto, et al. Small-Scale Jetlike Features in Penumbral Chromospheres. *Science*, v.318, p.1594 (2007).
2. Yu.V. Dumin. Heating the Solar Atmosphere by the Self-Enhanced Thermal Waves Caused by the Dynamo Processes. *Astrophysical Journal*, v.751, p.36 (2012).

О ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Ю.В. Думин^{1,2}, Б.В. Сомов³

¹ ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия

Ключевую роль в развитии процесса магнитного пересоединения играют, как известно, нулевые точки магнитного поля. В квази-двумерном приближении они имеют универсальную топологию Х-типа, а в общем случае трехмерного пересоединения возможны гораздо более разнообразные конфигурации. К настоящему времени сложилась точка зрения, что наиболее общим типом трехмерного пересоединения является структура “пропеллерного” типа, т.е. “столкновение” двух противоположно направленных магнитных потоков с последующим “растеканием” вдоль экваториальной плоскости. Как частные случаи такой структуры, обычно рассматривают конфигурации с конечным числом “лопастей” пропеллера. Насколько нам известно, вопрос о вероятности реализации различных структур никогда систематически не исследовался; хотя он имеет принципиальное значение, например, для проблемы прогнозирования солнечных вспышек. Цель настоящего доклада – изложить результаты анализа вероятности появления трехмерных нулевых точек с различной топологией в приближении потенциального поля. Основные результаты наших расчетов могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) Наиболее типичным случаем трехмерного пересоединения (т.е., реализуемым с подавляющей вероятностью) является объемная “6-хвостка”, в которой шесть линий магнитного поля выходят из нулевой точки во взаимно перпендикулярных направлениях.
- 2) Пропеллерная структура общего вида (с бесконечным числом “лопастей”), в принципе, возможна, но реализуется с крайне малой вероятностью, стремящейся к нулю.
- 3) Возникновение “4-хвостки” также возможно, однако при этом все четыре ее “хвоста” должны лежать в одной плоскости. Таким образом, она сводится к общеизвестной двумерной структуре Х-типа. Эти результаты могут иметь практическое значение при построении топологических моделей магнитного поля активных областей перед солнечными вспышками с целью их прогнозирования, поскольку они накладывают существенные ограничения на возможные топологические конфигурации поля, используемые для аппроксимации наблюдательных данных. Работа выполнена в рамках проектов РФФИ № 11-02-00843а и № 13-02-00458а

ОПРЕДЕЛЕНИЕ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ РАДИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВДОЛЬ НАПРАВЛЕНИЙ, БЛИЗКИХ К ОСИ СОЛНЦЕ – ЗЕМЛЯ

Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Пичуев В.А.

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, egorov@iszf.irk.ru

Опираясь на метод нахождения величины и радиальных профилей магнитного поля в солнечной короне, описанный в работе «N. Gopalswamy and S. Yashiro. The strength and radial profile of the coronal magnetic field from the standoff distance of a coronal mass ejection-driven shock. The Astrophysical Journal Letters, 736, L17, 2011», и применявшийся для направлений вблизи плоскости неба, определены радиальные распределения величины магнитного поля вдоль направлений, близким к оси Солнце – Земля. Для этого с использованием модели KBM «Ice-cream cone model» по данным SOHO/LASCO найдены трехмерные характеристики быстрых KBM типа гало и связанных с ними ударных волн. В этом случае для некоторых событий значения магнитного поля, найденные на больших расстояниях от центра Солнца, удалось откалибровать по измерениям радиальной компоненты магнитного поля на орбите Земли и тем самым повысить точность нахождения значений магнитного поля на других расстояниях.

О ВОЗМОЖНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ВЗРЫВНОЙ И ПОРШНЕВОЙ УДАРНЫХ ВОЛН, ВЫЗВАННЫХ КОРОНАЛЬНЫМ ВЫБРОСОМ МАССЫ

М. Еселевич¹, В. Еселевич¹, И. Зимовец²

¹ *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, mesel@iszf.irk.ru*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Впереди коронального выброса массы 3 ноября 2010 г. по данным AIA/SDO (каналы 193A, 211A) были одновременно зарегистрированы и измерены фронты поршневой и взрывной ударных волн. Каждому из этих типов волн соответствует распространяющийся впереди фронта всплеск радиоизлучения II-го типа. Предложена качественная картина, согласно которой всплески радиоизлучения происходят в форшоке этих ударных волн, находящихся на стадии формирования.

СТРУКТУРА СПЕКТРОВ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК КАК РЕЗУЛЬТАТ СОВМЕСТНОГО УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ И КОЛЛАПСИРУЮЩИХ МАГНИТНЫХ ПЕТЛЯХ

И.В. Зимовец, А.В. Артемьев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivanzim@iki.rssi.ru

Рассматривается проблема формирования энергетических спектров нетеплового жесткого рентгеновского излучения в эруптивных солнечных вспышках в рамках модели ускорения электронов при магнитном пересоединении в квазивертикальных токовых слоях. Особое внимание уделяется спектрам, содержащим излом. Исследуется роль дополнительного

ускорения электронов бетатронным механизмом и механизмом Ферми первого рода в коллапсирующих магнитных петлях в формировании излома.

КАППА-ЭФФЕКТ И ВНЕАТМОСФЕРНЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

Ю.Д. Жугжда, Н.И. Лебедев, В.Д. Кузнецов

ИЗМИРАН, г.Москва, г. Троицк, Россия, yzhugzhda@mail.ru

Обычно флуктуации яркости звезд рассчитываются в приближении черного тела, при котором единственным определяющим фактором являются колебания температуры фотосферы. В действительности, существенное влияние на флуктуации яркости также оказывают изменения прозрачности фотосферы, которые, в свою очередь, определяются флуктуациями как температуры плазмы так и ее плотности. Это явление называется каппа-эффектом, который хорошо известен, например, в связи с колебаниями яркости цефеид. До настоящего времени данный эффект не учитывался при исследованиях фотосферных слоев, которые ответственны за флуктуации яркости звезды. В отличие от каппа-механизма, приводящему к возбуждению колебаний яркости цефеид в глубоких слоях звезды, фотосферный каппа-эффект не столь эффективен. Он не приводит к возбуждению колебаний, но может быть причиной значительного уменьшения флуктуаций яркости звезды под влиянием ее собственных колебаний. Возможно, примером этого является звезда Процион, собственные колебания которого обнаруживаются в доплеровских смещениях спектральных линий и практически не заметны во флуктуациях яркости, наблюдаемых с космических аппаратов. Помимо этого, каппа-эффект может увеличивать время релаксации температурных возмущений в фотосфере благодаря тому, что часть энергии лучистого потока, проходящего через фотосферу, переходит в энергию колебаний. Р-моды колебаний, наблюдаемые в солнечной фотосфере, близки к адиабатическим, хотя, исходя из оценок времен релаксации, основанных на приближении черного тела, они должны заметно отличаться от адиабатических. Нами установлено, что каппа-эффект имеет значительную спектральную зависимость, что также нужно брать во внимание при анализе наблюдений. В этой связи особую ценность для изучения каппа-эффекта имеют многоцветные наблюдения флуктуаций яркости Солнца, проводившиеся на спутниках SOHO и серии КОРОНАС. Проведенный нами качественный анализ фотосферного каппа-эффекта на Солнце и Проционе показал, что его необходимо учитывать в гелиосейсмологических и астросейсмологических исследованиях, что раньше не делалось.

ФФО–ХФО ГИПОТЕЗА ОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (PFO–CFO HYPOTHESIS OF SOLAR SYSTEM FORMATION): ОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ, РАЗОГРЕВ КОРОНЫ И ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ

Е.А. Кадышеви, В.Е. Островский

ИФА им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, kadyshovich@mail.ru

НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Москва, Россия, vostrov@cc.nifhi.ac.ru

Известно около 270 стабильных изотопов, являющихся разновидностями 83 элементов. Распространено мнение, что из субстанции солнцеподобной звезды могут образоваться только два элемента (H и He) и только на основе термоядерных реакций и что элементы Солнечной Системы (СС) возникли на различных объектах Вселенной в различные эпохи ее

существования на основе разных механизмов, некоторые из которых никогда не наблюдались в природе и реализация которых сомнительна. Между тем, наличие в хромосфере Солнца более чем семидесяти известных элементов доказано анализом фраунгоферовых линий. Считают, что элементы образовались в ранних звездных поколениях и локализовались в результате коллапса вещества Вселенной. Но так ли это? Солнечная корона разогрета до 1–2 млн. К, в то время как конвекционная зона, фотосфера и хромосфера – до 5800, 6400 и 10000–30000 К соответственно. Разогрев объясняют магнитными полями конвективной зоны. Но почему он растет с расстоянием? Согласно ФФО–ХФО Гипотезе [1], СС сформировалась полностью на основе субстанции предсолнечной звезды, которая в «зрелом возрасте» мало отличалась от современного Солнца, а все изотопы, присутствующие в СС, образовались по единому механизму из тех радиоактивных и нерадиоактивных пико-капель субстанции предсолнечной звезды, которые были извергнуты протуберанцами в процессе ее трансформации и которые возникли в результате взрывного разрушения радиационной зоны (РЗ); капли трансформировались в стабильные атомы сразу после отделения от звезды, если их размеры и степень нейтронизации соответствовали этим параметрам в стабильных атомах, или после отделения от нее и нескольких радио-распадов, если эти параметры не соответствовали стабильным атомам, т.е. если капли были радиоактивными. Высокая температура звездной короны и моменты вращения планет объясняются тем, что большинство пико-капель подверглись экзотермическим радио-распадам и получили добавочные импульсы, прежде чем получившиеся из них атомы образовали корону. Мы считаем [1], что в «зрелой» предсолнечной звезде (и в Солнце) ядро отделено от РЗ слоем вырожденных электронов, а субстанция ядра ионизуется и нейтронизуется. Степень нейтронизации и плотность растут во времени; последняя – также вследствие гравитации. Для 140 стабильных изотопов 55-ти элементов, образовавшихся в результате цепи последовательных распадов радиоактивных прекурсоров, мы проанализировали зависимости числа протонов p от степени нейтронизации (n_0/p_0) первичного радиоактивного атома в каждой цепи (n_0 – число нейтронов и p_0 – число протонов в первичном атоме). Для этого использовали имеющиеся в литературе таблицы [2, 3], идентифицирующие радиоактивные прекурсоры каждого изотопа с заданным значением p . В каждой цепи выявляли первичный радиоактивный атом и определяли значения n_0 , p_0 , и n_0/p_0 в нем. Принимали, что p – p состав первичных прекурсоров стабильных атомов отвечает составу исходной пико-капли, n_0 , p_0 . Для радиоактивных и нерадиоактивных пико-капель звездной субстанции получены зависимости $p=f(n_0+p_0)$, $p=f(n_0/p_0)$ и $(n_0+p_0)=f(n_0/p_0)$, дающие информацию об образовании стабильных изотопов по мере нейтронизации ядра до взрыва РЗ и после взрыва.

[1]. В.Е. Островский, Е.А. Кадышев, *Сборник тезисов данной конференции.*

[2]. J.K. Tuli, *Nuclear Wallet Cards. Nat. Nucl. Data Center, Brookhaven Nat. Lab., Upton, N.-Y., 2005.*

[3]. G. Audi et al., *Nuclear Physics A*, 729 (2003) 3-128.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАССИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ИРКУТСКОГО РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА

Л.К. Кашапова, Р.В. Васильев, Д.С. Кушнарёв, В.П. Лебедев, А.В. Медведев, Н.И. Невидимов Н.И.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия, roman_vasilyev@iszf.irk.ru

Радары некогерентного рассеяния, используемые для проведения исследований верхней атмосферы земли, в связи с необходимостью регистрации слабого радиосигнала рассеянного в ионосфере обладают высокой чувствительностью, что также позволяет проводить на этих установках наблюдения источников космического радиоизлучения.

Иркутский радар некогерентного рассеяния расположенный 52°52' С. 103°15' В. активно эксплуатируется около 100 дней в году. Модернизация оборудования радара привела к возможности организации непрерывных пассивных наблюдений за космическими радиоисточниками в экономичном, полуавтоматическом режиме. Диапазон радиочастот работы ИРНР 149-162 МГц, ширина апертуры около 40°x20° с возможностью сканирования по одному из направлений, минимальное временное разрешение измеряемых радиосигналов составляет 42 мс. Широкий динамический диапазон регистрирующей аппаратуры позволяет проводить одновременные наблюдения солнца и дискретных космических радиоисточников, что делает возможным осуществление абсолютной калибровки регистрируемого потока солнечного радиоизлучения. В работе представлены первые результаты наблюдения Солнца на Иркутском радаре некогерентного рассеяния.

ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ В СЛАБЫХ ВСПЫШКАХ

**Д.К. Кашапова¹, С.Х. Тохчукова², Д.А. Жданов¹, В.М. Богод²,
Г.В. Руденко¹, И.И. Мышьяков¹**

¹ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, lk@iszf.irk.ru

² САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Изучение мощных солнечных вспышек, проявляющихся в широком диапазоне электромагнитного спектра, вносит огромный вклад в понимание процессов выделения и переноса энергии, накопленной непотенциальными магнитными полями. Но в тоже время, сложный сценарий развития таких событий, состоящий из множества связанных между собой явлений, часто не позволяет однозначно трактовать полученный наблюдательный материал. Основным преимуществом слабых вспышек является то, что они с наибольшей вероятностью представляют собой так называемые «чистые случаи». В настоящее время, современные солнечные инструменты позволяют также полно, как и мощные события, исследовать слабые события класса С и даже В. Мы сосредоточили свои усилия на исследовании солнечных вспышек класса С, зарегистрированных РАТАН-600 и Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Использование наблюдений в рентгеновском диапазоне КА HESSI и КА FERMI позволили сделать численную оценку параметров вспышечной плазмы. Для анализа процессов в исследованных нами событиях мы использовали результаты моделирования микроволновых спектров с помощью программ моделирования микроволнового излучения на основе быстрого гиросинхротронного кода (Флейшман и Кузнецов 2010). Моделирование было проведено на основе параметров вспышечной плазмы, полученных из рентгеновского излучения, и структуры магнитного поля, восстановленной по магнитограммам HMI/SDO. Обсуждаются полученные результаты и возможность их использования для более мощных событий.

ПОЛНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ В КОСМОСЕ И НА ЗЕМЛЕ КАК МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЕЙ К-КОРОНЫ

И.С. Ким, Л.П. Насонова

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, kim@sai.msu.ru

Обсуждаются проблемы регистрации электронной составляющей корональной плазмы (К-короны) в диапазоне $< 1.4R_{\text{sun}}$. Для указанного диапазона отмечен значительный

прогресс в изучении Е-короны, обусловленный успехом космических миссий, и отсутствие наблюдений К-короны, излучающей в оптическом континууме, так как космические коронографы начинают получать изображения с расстояний $> 1.4R_{\text{sun}}$. До настоящего времени единственная возможность регистрации К-короны предоставляется во время полных солнечных затмений (ПСЗ). В работе представлены оценки факторов (non-object signatures), препятствующих успешной регистрации К-короны, в частности, инструментального фона орбитальных коронографов с внешним и внутренним затмением. Приводятся зависимости ожидаемого инструментального фона от расстояний для искусственных ПСЗ в космосе во время ASE experiment/the Apollo-Soyuz Test Project, будущей космической миссии Proba 3 и на орбитах «вблизи» Меркурия.

О ПРИЧИНАХ ДЛИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ПЛАЗМЫ, НАБЛЮДАЕМОГО В СОЛНЕЧНЫХ МИКРОВСПЫШКАХ

А.С. Кириченко, С.А. Богачёв

ФИАН, г. Москва, Россия, kirichenko@lebedev.ru

В работе использованы данные, полученные в ходе эксперимента ТЕСИС/КОРОНАС-Фотон, проводившегося в 2009 году. Период работы КОРОНАС-Фотон совпал с глубоким минимумом солнечной активности, что позволило получить уникальный набор данных о крайне слабых событиях, таких как солнечные микровспышки с интенсивностью излучения в мягком рентгеновском диапазоне (1-8 Å) ниже класса A1.0 по классификации GOES. В состав аппаратуры ТЕСИС входил спектрогелиометр, строивший монохроматические изображения Солнца в «горячей» линии Mg XII 8.42 Å (температура излучающей плазмы больше 4МК). Наблюдения данного прибора позволили установить многочисленные факты нагрева плазмы до температур в несколько МК в микровспышках, причем время существования горячей компоненты менялось от нескольких минут до нескольких часов. Эта разница может быть, теоретически, объяснена действием нескольких механизмов нагрева. Известно, что в крупных вспышках реализуется, как правило, один из двух сценариев. Первый подразумевает импульсное высвобождение энергии, сопровождающееся нагревом плазмы и ускорением частиц. Продолжительность существования высокотемпературной компоненты в событиях этого типа обычно не превышает нескольких десятков минут. Во втором типе событий, называемом LDE (long decay events или вспышки с продолжительной фазой спада) обычно наблюдается гораздо более длительное существование горячей плазмы, до нескольких часов. Наблюдения показывают, что LDE вспышки часто связаны с корональными выбросами массы, которые, возможно, и обеспечивают дополнительное энерговыделение на фазе спада вспышки. В работе выдвигается и проверяется экспериментально предположение о том, что длительное существование горячей плазмы в микровспышках может обеспечиваться тем же механизмом, что и в событиях типа LDE, то есть связано с выбросами массы. Последние, с учетом малой мощности исследуемых событий, происходят в гораздо меньших масштабах и менее уверенно обнаруживаются в эксперименте. Для поиска выбросов массы, связанных с микровспышками, мы применяли метод разностных изображений, адаптированный нами для детектирования слабо выраженных диммингов. Всего мы использовали данные двух инструментов в составе ТЕСИС: спектрогелиометра Mg XII 8.42 Å, по изображениям которого устанавливался факт длительного нагрева плазмы, и ВУФ телескопа, работавшего в линии Fe IX 171 Å, и использовавшегося нами для построения разностных кадров. В докладе приводятся и обсуждаются результаты этого исследования.

О ФОРМИРОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ СТРУКТУР В РЕЖИМЕ С ОБОСТРЕНИЕМ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

В.А. Ковалев¹, Е.Д. Куретова², Е.С.Куркина²

¹ *ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия*

² *МГУ, г. Москва, Россия*

Локализация тепла в начале вспышечного нагрева изучается на основе численного решения уравнения теплопроводности с нелинейным источником степенного вида. Показано, что, в зависимости от соотношения нелинейностей источника и коэффициента теплопроводности, возникают разные режимы нагрева, характеризующиеся пространственной локализацией тепла.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ В ПРЕДЕЛАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В.М. Корюкин

Марийский ГУ, г. Йошкар-Ола, Россия, kvm@marsu.ru

Как известно в стандартной модели Вселенной фоновые нейтрино играют незначительную роль вследствие их предполагаемой низкой плотности. Данное предположение не может быть подтверждено в прямых экспериментах по неупругому рассеянию вследствие высокого энергетического порога реакций, что позволяет рассматривать альтернативные модели и в первую очередь с привлечением «стерильных» нейтрино (нейтрино и антинейтрино с поляризацией противоположной, наблюдающейся при неупругом рассеянии) [1]. В результате предполагается высокая плотность «стерильных» нейтрино при достаточно низкой плотности «нормальных» нейтрино (что приводит к наблюдаемому нарушению пространственной четности слабых взаимодействий) может быть объяснена спонтанным нарушением симметрии, характеризующим физическую систему при низкой температуре, оценкой которой является температура микроволнового радиоизлучения Вселенной. При таком рассмотрении имеет смысл считать пространство-время неодносвязным, что позволяет объяснить многозначность волновых функций, используемых для описания элементарных частиц, а отсюда и квантовый характер их зарядов. В начале 90-х годов прошлого века мы предложили механизм объяснения гравитации, привлекая когерентные потоки нейтрино от макроскопических тел и связав гравитационную постоянную с параметрами электрослабых взаимодействий [2]. Но именно квантовые законы должны приводить к модификации фундаментальных законов на достаточно больших расстояниях [3]. Принимая во внимание однородность распределения галактик во Вселенной на расстояниях превышающих 50 мегапарсек, будем предполагать, что большая часть «стерильных» нейтрино и антинейтрино присутствует в форме многокомпонентной Ферми-жидкости при температуре ниже 3 К. В результате во взаимодействии с обычной материей могут принимать участие лишь те из них, которые находятся вблизи поверхности Ферми. Как известно по теории Л.Д. Ландау, в этом случае удобнее работать не с частицами, а квазичастицами, которые, как и «стерильные» нейтрино и антинейтрино, являются фермионами. При низкой температуре фоновых нейтрино следует ожидать их спаривание, что приведет к образованию бозе-жидкости из таких пар и должно отразиться, в конце концов, на движении галактик, которое интерпретируется как присутствие темной материи. Именно поэтому поиски частиц темной материи в лабораторных условиях и не принесли успеха. Как известно, для объяснения недостатка

солнечных нейтрино был предложен механизм осцилляций их ароматов. Несмотря на это мы предлагаем считать, что недостаток солнечных нейтрино является первым и пока единственным подтверждением наличия темной материи в пределах солнечной системы. Как известно, частицы темной материи могут быть обнаружены лишь при помощи слабого взаимодействия, поэтому преимущества исследования потоков солнечных нейтрино очевидны. Следующим шагом в подтверждении ее наличия было бы установление зависимости плотности потока солнечных нейтрино от расстояния до Солнца, что может быть осуществлено лишь при помощи гелиоцентрических спутников, имеющих на борту соответствующие детекторы.

- [1]. Koryukin V.M. In the book: Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics: Proceedings of the XIX International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems (Dubna, September 29 – October 4, 2008). – Dubna: JINR, 2008. – V. I. – XVI, 325 p. – P. 61-66.
- [2]. Корюкин В.М. Известия вузов. Физика, N 10, 1996, С. 119-120.
- [3]. Корюкин В.М. Известия вузов. Физика, N 6, 2012, С. 81-85.

ПРИБОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИИ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА

Ю.Д. Котов, А.С. Гляненько, М.С. Захаров, А.В. Кочемасов, Е.Э. Лупарь, В.Н. Юров, А.А. Нусинов¹

НИЯУ «МИФИ», г. Москва, Россия, kotov@mephi.ru

¹ *Институт прикладной геофизики им. Е. К. Федорова*

Для проведения детальных спектральных измерений излучения Солнца в мягком рентгеновском диапазоне разработан принцип построения и изготовлен опытный образец полупроводникового спектрометра СРД на основе кремниевого дрейфового детектора. Спектрометр СРД регистрирует излучение в энергетическом диапазоне 1,5 – 25 кэВ, соответствующем диапазону измерений аппаратуры на спутниках GOES, но в отличие от нее измеряет энергию каждого фотона с высоким энергетическим разрешением (не хуже 200 эВ для энергии фотона 5,9 кэВ). Подобный спектрометр планируется использовать в составе научной аппаратуры гелиофизического комплекса на геостационарных космических аппаратах серии «Электро». Для защиты от фона электронов внешнего радиационного пояса, проникающих через входную апертуру, используется магнитное поле, конфигурация и эффективность действия которого рассчитана методом Монте-Карло. В докладе приведены ожидаемые характеристики спектрометра СРД в летном исполнении и их сравнение с характеристиками существующих (на основе ионизационных камер) и будущих (на основе полупроводниковых детекторов) мониторов космических аппаратов GOES.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ И НАПРАВЛЕННОСТИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ В МОДЕЛИ ТОЛСТОЙ МИШЕНИ

И.В. Кудрявцев^{1,2}, Ю.Е. Чариков^{1,2,3}

¹ *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

² *ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия*

³ *ГОУВПО «Санкт-Петербургский ГПУ», г. Санкт-Петербург, Россия,*

Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

В модели толстой мишени рассматривается направленность и поляризация жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) солнечных вспышек, как результат тормозного излучения релятивистских электронов, ускоренных в момент взрывной стадии эволюции вспышки. В предположении, что время инжекции электронов из области ускорения намного превосходит время их столкновений с частицами плазмы в толстой мишени решается стационарная задача трансформации функции распределения электронов пучка. Угловая часть функции распределения представляется в виде разложения по полиномам Лежандра. В расчетах параметров ЖРИ используется релятивистское сечение тормозного излучения ускоренных электронов. Параметры жесткого рентгеновского излучения получены для различных энергетических и угловых распределений быстрых электронов в области ускорения. В результате расчетов для различных параметров оказывается, что величина степени поляризации ЖРИ не превышает по модулю 40% даже для наиболее оптимальных условий - узко-направленном пучке (начальное угловое распределение электронов по питч – углам $\sim \cos^6\theta$) и достаточно мягком энергетическом спектре $\sim E^{-7}$) для угла наблюдения (угол между векторами $\mathbf{k}$ и $\mathbf{B}$) 90° . Показано, что величина степени поляризации ЖРИ наиболее сильно зависит от жесткости спектра, питч – углового распределения и от угла наблюдения. При этом степень поляризации ЖРИ в области энергий до 300-500 кэВ будет уменьшаться по модулю с ростом энергии, в то время как направленность излучения будет возрастать. Проводится сравнение результатов расчетов с измеренными значениями степени поляризации жесткого рентгеновского излучения во время солнечных вспышек 23 июля 2002г. и 28 октября 2003г. в экспериментах на КА RHESSI. Согласие результатов расчета в данной модели с зарегистрированными значениями степени поляризации позволяет определить начальные угловое и энергетическое распределения ускоренных электронов.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПУЛЬСАЦИИ ПЛАВНОЙ КОМПОНЕНТЫ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

Е.Г. Куприянова, В.Ф. Мельников, В.М. Пузыня

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, elenku@bk.ru

Исследуется пространственная структура источника квазипериодических пульсаций (КПП) микроволнового излучения вспышечной петли 02.06.2007. Используются данные Радиогелиографа Нобеля на 17 ГГц с высоким угловым и временным разрешением. Временной профиль излучения из северного основания петли состоит из короткого импульсного всплеска и следующей за ним плавной компоненты. Источник плавной компоненты распределен по всей петле и связан с тепловым тормозным излучением разогретой хромосферной плазмы, постепенно заполняющей петлю. В плавной компоненте найдены КПП с постоянными периодами от 60 с до 250 с. В различных участках петли одновременно присутствуют две-три спектральные компоненты КПП. Пульсации

характеризуются высокой добротностью, но маленькой амплитудой ($< 3\%$). Среди них выделяются КПП с периодом порядка 100 с, синфазные в разных участках петли. Анализ показал, что в канале интенсивности эти участки располагаются вдоль определённой силовой линии магнитного поля петли, а в поляризованном излучении — в её основаниях. Обсуждаются физические причины обнаруженных особенностей КПП, а также варианты механизмов КПП.

АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ МИНИМУМА ПРОШЕДШЕГО ЦИКЛА: НАГРЕВ ПЛАЗМЫ, УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ, РОЛЬ ТОКОВ

И.Ю. Григорьева, М.А. Лившиц

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, maliv@mail.ru

Проанализированы данные рентгеновского и микроволнового излучения в период продолжительного минимума солнечной активности. Значительная часть этой эпохи характеризовалась исключительно низким уровнем фона мягкого рентгеновского излучения, что дает возможность исследовать зарождение и первые этапы развития активных областей (АО). Изучаемые области разделены условно на три типа: к первому – отнесены области, лишенные каких-либо вспышек, второй тип – АО с более заметным уровнем мягкого рентгена и проявлением субвспышечной активности (вплоть до балла С) в промежутки времени, разделенные двумя-тремя спокойными днями. Третий тип представлен большими АО, в которых могут развиваться вспышки сильнее балла С3. Обнаружено, что корональные петли АО первого типа (например, АО 10999 по данным TRACE в июне 2008 г.) строго следуют силовым линиям потенциального магнитного поля в короне. Именно с отсутствием токов можно связать очень слабое микроволновое излучение с поляризацией, не превышающей погрешности измерений (РАТАН-600). Второй тип АО характеризуется в большинстве случаев всплытием нового магнитного поля (например, АО 10933 8 января 2007 г.). У этого типа областей оказывается уже несколько вспышек балла С, сопровождающихся появлением небольшого количества электронов, ускоренных до энергий 100-300 кэВ (данные широкополосного монитора WAM с обзором всего неба, установленного на спутнике Suzaku). Гораздо больше событий, зарегистрированных на WAM/Suzaku, происходит в АО третьего типа. В заключение приводится обсуждение проблемы взаимосвязи процессов нагрева плазмы, ускорения частиц и морфологии магнитных полей в небольших активных областях.

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ 7 МАРТА 2011 г. И 23 ЯНВАРЯ 2012 г.

В.С. Махмутов, Г.А. Базилевская, Ю.И. Стожков, Ж.-П. Ролан

ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, makhmutv@sci.lebedev.ru

В работе приводятся результаты анализа вспышечных событий на Солнце 7 марта 2011 г. и 23 января 2012 г. В анализе использованы доступные данные наблюдений (1) солнечного электромагнитного излучения вспышечных активных областей и (2) результаты измерений космических лучей (как наземных, так и на спутниках) во время указанных событий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ НАКЛОНА СПЕКТРА УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ КА RHESSI И РАДИОГЕЛИОГРАФА НОБЕЯМА В СОБЫТИИ 14 МАРТА 2002 ГОДА

С.А. Кузнецов, В.Ф. Мельников

НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, kuznetsov@nirfi.sci-nnov.ru

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gao.spb.ru

Методы изображающей радио и рентгеновской спектроскопии позволяют получить новую информацию о процессах ускорения и распространения энергичных электронов в солнечных вспышечных петлях. С этой целью в настоящей работе исследованы данные наблюдений микроволнового и жесткого рентгеновского (ЖРИ) излучений, полученные с помощью радиогелиографа Нобейма и спутника RHESSI для события 14 марта 2002. Проведен сравнительный анализ динамики наклона частотного спектра радиоизлучения между частотами 17 и 34 ГГц и наклона нетепловой части энергетического спектра ЖРИ в различных частях вспышечной петли – в вершине и вблизи оснований. Показано, что наклон частотного спектра радиоизлучения между частотами 17 и 34 ГГц уменьшается как на фазе роста, так и фазе спада микроволнового всплеска, стремясь к нулю на фазе спада. Поведение наклона энергетического спектра ЖРИ носит другой характер: его уменьшение на фазе роста сменяется увеличением на фазе спада (поведение типа «Soft-Hard-Soft»). Данное поведение характерно для всех частей вспышечной петли.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

В.Л. Мерзляков

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, mvl@izmiran.ru

Проведенный анализ дрейфовых движений плазмы над активной областью Солнца показал, что происходит её уплотнение в районе нейтральной поверхности (где меняет знак радиальная компонента магнитного поля). При некоторых соотношениях между временными вариациями величин дипольной и октупольной магнитных гармоник уплотнение приобретает вид петли высотой $\approx 0.07 R_{\text{Sun}}$. Исходя из величин напряженностей магнитного поля на таких высотах получена оценка возможной плотности в петле $n_e \sim 10^{11} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Размеры петли после её формирования постоянно уменьшаются и она вырождается в сектор за $10^2 - 10^3$ сек. Вещество петли имеет высокую электронную температуру, поскольку оно поступает с уровней выше $0.07 R_{\text{Sun}}$, где эта температура $T_e \sim 10^7 \text{ К}$. Все отмеченные характеристики указывают на то, что рассмотренная компактная структура проявляется как вспышечная петля.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕЙТРАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В КОРОНЕ СОЛНЦА ЭПОХИ НИЗКОЙ АКТИВНОСТИ

В.Л. Мерзляков, Л.И. Старкова

ИЗМИРАН РАН, Москва г. Троицк, Россия, mvl@izmiran.ru

Определялись геометрические параметры поверхности смены знака радиальной компоненты магнитного поля (нейтральная поверхность) в короне Солнца. Процедура

основывалась на модельных построениях шлемовидной структуры К-короны в предположении, что она возникает от проекции деформированного плотного слоя на нейтральной поверхности. Моделировались короны затмений 25.02.1952, 30.06.1954, 30.05.1965, для периода низкой активности Солнца в пределах $\approx 1/3$ солнечного цикла. Обнаружили регулярную по долготе деформацию нейтральной поверхности масштабом 60° . Амплитуда деформации уменьшается с удалением от Солнца как r^{-n} с переменным показателем, величина которого уменьшается с повышением солнечной активности. Такое повышение приводит также к увеличению самой амплитуды на 55% и её асимметрии по полусферам до 70% в пределах исследуемого диапазона фазы цикла от 0.04 до 0.32. Долготный сдвиг между северной и южной частями нейтральной поверхности составлял от 7° до 20° и не проявлял какой-либо зависимости от фазы солнечного цикла.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЯМОЙ ПОДГОНКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

А.С. Моргачев, В.Ф. Мельников

НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, a.s.morgachev@mail.ru

Работа посвящена определению оптимальных наборов характеристик микроволнового излучения для определения конкретных параметров радиоисточника путем численного решения обратной задачи. Актуальность данной работы обусловлена появлением новых наблюдательных инструментов, обладающих высоким спектральным, пространственным и временным разрешением. Численное решение обратной задачи заключается в подгонке расчетного радиоизлучения под наблюдаемое и сводится к решению системы уравнений. В правой части данной системы стоит одна из теоретически рассчитанных характеристик радиоизлучения для определенного набора переменных параметров источника на определенной частоте. А в левой – та же характеристика для наблюдаемого излучения. Используемыми характеристиками могут быть полная интенсивность и разница интенсивностей правой и левой круговой поляризации из разных областей радиоспектра. В ходе работы проводилась минимизация функционала, составленного из уравнений с различными характеристиками излучения, двумя методами (генетического алгоритма и метода оптимизации на сетке кода Грея) для определения таких параметров, как концентрация и показатель энергетического спектра ускоренных электронов, напряженность и направление магнитного поля, концентрации фоновой плазмы. Затем производился вывод об эффективности использования интенсивности и параметра Стокса V для определения вышеуказанных параметров относительно точности и времени счета.

ДИНАМИКА УСКОРЕННЫХ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 15 АПРЕЛЯ 2002 ГОДА ЭЛЕКТРОНОВ ПО ДАННЫМ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Г.Г. Моторина¹, И.В. Кудрявцев^{1,2}, В.П. Лазутков², Г.А. Матвеев²,
М.И. Савченко^{2,3}, Д.В. Скородумов^{2,3}, Ю.Е. Чариков^{1,2,3}**

¹ ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия, g.motorina@yandex.ru

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия;

³ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия.

В докладе рассматривается динамика энергетического распределения быстрых электронов, ускоренных во вспышке 15 апреля 2002 года, на основе спектров жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ), измеренных спектрометром ИРИС на спутнике КОРОНАС-Ф. Вспышка 15 апреля 2002 года началась в 23:05 UT и относится к рентгеновскому классу M1.2. Реконструкция энергетического распределения электронов в различные моменты развития вспышки производится с помощью решения интегрального уравнения методом регуляризации Тихонова. При этом не предполагается какая-либо функциональная зависимость спектра электронов от энергии. Реконструкция спектра электронов проводится для различных временных интервалов, разделенных локальными минимумами и максимумами интенсивности. На начальной стадии роста интенсивности ЖРИ и до достижения первого локального максимума (интервал времени от 23:09:41 UT до 23:10:01 UT) наблюдается резкий обрыв спектра на энергиях более 80 кэВ, а для следующего временного интервала 23:10:01-23:10:41 UT спектр электронов более протяженный, имеет резкий спад на энергиях 115-120 кэВ. На стадии роста интенсивности, на промежутке времени 23:11:11-23:11:22 UT, спектр электронов имеет резкий спад на энергиях 90-100 кэВ. После этого, на спаде интенсивности ЖРИ вспышки, наблюдается продолжение спектра электронов до энергий 120 кэВ и более. Таким образом, проведенная реконструкция показывает динамику энергетического спектра электронов, ускоренных во время вспышки.

СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

К.И. Никольская

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, knikol@izmiran.ru

Результаты наблюдений солнечной EUV – короны с высоким пространственным разрешением (~ 1 угл.сек) с помощью телескопа TRACE, опубликованные в статьях разных авторов, и SDO – из интернет-архива - обобщаются и анализируются в рамках широкого круга проблем корональной физики. Показывается, что в свете наблюдений TRACE реальная корона существенно отличается от принятых представлений о ней, сложившихся на основе прежних наблюдений и теоретических рассмотрений. Имеются в виду следующие отличия. Прежде всего, это магнитоплазменная природа солнечной короны. При этом магнитные поля (МП) не только ответственны за сверхтонкую структуру короны. Они принимают участие в нагреве плазмы в качестве магнитных ловушек. Нагрев корональных петель происходит автономно и начинается с их оснований. Энергия, нагревающая корону, поступает снизу, по-видимому, непрерывно, распределена равномерно по всей поверхности Солнца, но диссипирует локально, только в замкнутых магнитных полях. Вопрос: «Откуда поступает плазма для короны?» решается в рамках проблемы о природе носителя энергии, греющей корону, одновременно с проблемой образования солнечного ветра [1, 2]. Согласно [1, 2],

солнечная корона образуется при торможении и захвате поступающих из фотосферы первичных высокоскоростных потоков ($V \approx 900$ км/с) в замкнутых МП Солнца между поверхностью фотосферы и поверхностью источника. При остановке потоков их кинетическая энергия трансформируется в тепловую. Механизм, абсолютно идентичный рассмотренному в предыдущем абзаце. Иными словами, энергия, ответственная за разогрев короны, поступает в магнитные ловушки (замкнутые МП) вместе с потоками плазмы и диссипирует при их остановке.

[1]. Могилевский Э.И. и Никольская К.И., 2010, Геомагн. И Аэроном. Т.50, №26 с.159.

[2]. Mogilevsky, E.I. & Nikolskaya, K.I., 2012, Astrophys. And Space Sci. Proc., V.30, 189.

ФФО–ХФО ГИПОТЕЗА ОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (PFO–CFO HYPOTHESIS OF SOLAR SYSTEM FORMATION): ПРИРОДА ПРОТУБЕРАНЦЕВ

В.Е. Островский¹, Е.А. Кадышев²

¹ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Москва, Россия, vostrov@cc.nifhi.ac.ru

² ИФА им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, kadyshevich@mail.ru

Угловые скорости вращения ядра и радиационной зоны Солнца различны [1]. Это свидетельствует о существовании скачка плотности на границе ядро – радиационная зона (РЗ) и труднообъяснимо на основе современной модели Солнца. Обычные представления об образовании химических элементов исключают возможность формирования Солнечной Системы (СС) на основе предсолнечной звезды и предполагают коллапс в многопарсекном пространстве и другие редкие явления. Солнечная модель без введения в рассмотрение объектов вне СС не объясняет реальные различия планет СС, превышение в 50 раз момента СС над моментом Солнца, различия изотопного состава элементов на объектах СС и в составе индивидуальных небесных тел, малую массу планет по сравнению с массой Солнца, цикличность активности Солнца, чрезвычайно высокую температуру короны Солнца, наличие металлов в солнечной фотосфере и др. Согласно ФФО–ХФО Гипотезе [2–14], развиваемой с 2007 года (последние версии даны в [2–5]), образование Солнца и СС инициировалось «взрывом» РЗ предсолнечной звезды и предшествовавшими протуберанцами без существенного вклада внешних факторов. Несмотря на простоту, гипотеза объясняет все перечисленные явления. Принято, что молодая звезда, подобная предсолнечной звезде и Солнцу по размерам, представляла собой аморфную нейтральную деструктурированную псевдожидкую, промежуточную между энергией и материей субстанцию, трансформировавшуюся во времени, в основном, под действием гравитации, термической ионизации (ТИ), нейтронизации и архимедовых сил. ТИ стартовала в центре звезды, когда гравитационное сжатие становилось критическим, сопровождалась рождением протонов (р) и нейтронов (n) и прогрессировала во времени вдоль радиуса. Электроны (ē) «всплывали» под влиянием силы Архимеда; ē-слой отделил ядро от РЗ и смещался по мере их уплотнения. На его границе с РЗ началась нейтронизация, более медленная, чем приток электронов. Протуберанцы фонтанировали, когда превышалось критическое давление ē-газа в слое; они содержали электроны и радиоактивные и нерадиоактивные п–р пико-капли, степень нейтронизации которых п/р росла от эпохи к эпохе. Капли трансформировались в атомы вне ē-слоя. Места разрывов «залечивались». Приток электронов в ē-слой привел к взрывному разрушению РЗ, которое инициировало образование СС и Солнца. На основе таблиц [15] получены зависимости числа р в образующихся стабильных атомах от степени нейтронизации вещества вблизи ē-слоя; графики подтверждают общую концепцию.

[1]. R. Garcia et al, *Science*, 316 (2007) 1591.

[2]. V.E. Ostrovskii, E.A. Kadyshevich, *Europ. Planet. Sci. Congr. Abstr.*, 7 (2012) EPSC2012-101.

[3]. V.E. Ostrovskii, E.A. Kadyshevich, *EANA Proc.*, 2012.

[4]. E.A. Kadyshevich, V.E. Ostrovskii, *Europ. Planet. Sci. Congr. Abstr.*, 6 (2011) EPSC-DPS2011-314.

- [5]. E.A. Kadyshevich, V.E. Ostrovskii, *Advances in Plasma Astrophysics*, Cambridge, UK, 6 (2011) 95.
- [6]. В.Е. Островский, Е.А. Кадышевич, *Физхимия-2010*, Обнинск (2011) 46.
- [7]. В.Е. Островский, *Газохимия на современном этапе развития*, РГУНГ им. И.М.Губкина, Москва (2010) 35.
- [8]. E.A. Kadyshevich, V.E. Ostrovskii, *Europ. Planet. Sci. Congr. Abstr.*, 5 (2010), EPSC2010-3.
- [9]. E.A. Kadyshevich, *Meteorit. & Planet. Sci.*, 44 (2009) A105.
- [10]. V.E. Ostrovskii, E.A. Kadyshevich, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73 (2009) A 979.
- [11]. V.E. Ostrovskii, E.A. Kadyshevich, *Orig. Life. Evol. Biosp.*, 39 (2009) SI, 217.
- [12]. E.A. Kadyshevich, *Europ. Planet. Sci. Congr. Abstr.*, 4 (2009) EPSC2009-1.
- [13]. В.Е. Островский, Е.А. Кадышевич, *Дегазация Земли*, ГЕОС, Москва (2008) 374.
- [14]. В.Е. Островский, Е.А. Кадышевич, *Успехи физ. Наук*, 177 (2007) 183.
- [15]. J.K. Tuli, *Nuclear Wallet Cards*. Nat. Nucl. Data Center, Brookhaven Nat. Lab., Upton, N.-Y., 2005.

МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В НЕДРАХ СОЛНЦА

П.Г. Плеханов

*Астрономическая лаборатория Самарский машиностроительный колледж
г. Самара, Россия*

В докладе в рамках исследования магнитосферы Юпитера и его плазменного тора в области спутника «Ио», а также проведенного аналитического обзора физики плазмы Солнца научно обосновываются предположения о существовании механизма генерации слабого магнитного поля в недрах Солнца. Изложена схема механизма, его физические процессы формирования тороидального слабого затравочного магнитного поля в недрах солнца. Основой механизма является гипотетический центральный плазменный тор под конвективной зоной в области экватора Солнца. Получено соотношение радиуса солнечного плазменного тора к радиусу ядра, Солнца, равное соотношению радиуса плазменного тора в окрестностях его ближайшего спутника Ио, к диаметру Юпитера. Единое соотношение диаметра плазменного тора спутника Ио к диаметру планеты Юпитер и соотношение диаметра солнечного плазменного тора к ядру Солнца может служить более правдоподобной гипотезой выдвигаемой автором, подтверждающим фактом существования механизма генерации затравочного магнитного поля в недрах Солнца. Научное значение механизма заключается в том, что он позволил разработать раздельную динамо – модель смены 11 и 22 летних циклов солнечной активности [1].

- [1]. Плеханов П.Г. Солнечная активность (Раздельная динамо – модель смены 11 и 22 летних циклов – монография ISBN 978-5-4317-0035 – 4, г. Самара, 2011г. 56 стр.

МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДВСПЫШЕЧНОЙ СИТУАЦИИ В КОРОНЕ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А.И. Подгорный, И.М. Подгорный

ФИАН, г. Москва, Россия, podgorny@lebedev.ru

Для выяснения механизма вспышки проведена серия трехмерных магнитогидродинамических (МГД) численных расчетов при начальных и граничных условиях, взятых из наблюдений состояния активной области перед реальной вспышкой. Никаких предположений о механизме вспышки не использовалось. Целью предлагаемого моделирования в реальных условиях является выяснение механизма солнечной вспышки а не проверка гипотезы о заранее предполагаемом механизме. Показано, что перед вспышкой

образуется токовый слой, в поле которого накапливается энергия для вспышки. На первичное выделение энергии в короне при вспышке указывают также данные рентгеновских измерений на аппарате RHESSI. Вспышечный распад токового слоя не должен приводить к возмущению магнитного поля активной области во время вспышки. Главным параметром вспышки является скорость диссипации энергии магнитного поля слоя, т. е. скорость пересоединения. Этот параметр ответственен также за спектр релятивистской компоненты космических лучей, генерируемых во время вспышки. Сопоставление вычисленных и измеренных Э. В. Вашенюком и сотрудниками спектров позволило определить скорость пересоединения – $V \sim 10^7$ см/с. Для детального исследования динамики вспышки и улучшения прогноза появления вспышки разрабатывается программа расчета в реальном времени. Улучшены методы численного решения МГД уравнений – модернизирована аппроксимация членов используемой абсолютно неявной конечно-разностной схемы, консервативной относительно магнитного потока, что позволило ускорить расчет за счет увеличения шага по времени, при котором схема продолжает оставаться устойчивой. Проведенные расчеты в реальном масштабе времени в течение коротких промежутков показали возможность осуществления такого моделирования в течение нескольких суток с использованием суперкомпьютеров. Анализ алгоритма вычислений показал возможность распараллеливания программы. Модернизирована система графического представления результатов численного МГД моделирования для поиска возможных положений источников рентгеновского излучения и сравнения с наблюдениями.

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ В 19–23 И ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ 24-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И. В. Гецелев, М. В. Подзолко

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, 404@newmail.ru

На основе анализа различных данных составлен каталог солнечных протонных событий (СПС) и флюенсов протонов в них с энергией >30 МэВ, зарегистрированных в области орбиты Земли вне её магнитосферы, в 19–23 и первой половине 24-го цикла солнечной активности. Рассмотрены определения понятия «солнечное протонное событие», данные разными авторами; предложен формализованный метод отделения потоков протонов в солнечных протонных событиях от фоновых потоков протонов галактических космических лучей, основанный на анализе распределения потоков протонов по величине. Показаны результаты анализа распределения флюенсов в СПС по величине и долготе источников инъекции протонов на Солнце, а также их вариации в зависимости от фазы цикла солнечной активности и в периоды смены знака магнитного поля Солнца. Так, не смотря на разнородность данных, распределение флюенсов протонов в солнечных протонных событиях по величине хорошо описывается логнормальным законом. Исследуя зависимость суммарных годовых флюенсов протонов в СПС от фазы 11-летнего солнечного цикла можно выделить «активную» фазу от -2 до $+4$ лет относительно максимума цикла, во время которой годовые флюенсы протонов в основном выше, а вне этого периода (в «пассивной» фазе) — ниже некоторой пороговой величины, соответствующей среднему значению логарифма флюенса за всё время наблюдений. Также показано, что в период смены знака магнитного поля Солнца флюенсы протонов в солнечных протонных событиях ниже, и число событий меньше, чем за равные интервалы времени до и после этого. Особенно примечательным результатом, на наш взгляд, является обнаружение интервала «пассивных долгот» Кэррингтона, протяжённого по долготе (≈ 90 – 170°) и времени существования (весь рассматриваемый период наблюдений). Число сильных протонных событий и суммарный

флюенс протонов в СПС, инжектированных из этого интервала гелиодолгот, значительно ниже, чем в других долготных интервалах.

НОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ И ТЕОРИЯ ДИНАМО

П. А. Откидычев¹, Е.П. Попова²

ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, otkid@list.ru;

МГУ, г. Москва, Россия, porovaelp@mail.ru

На основе анализа наблюдательных данных для 12–23 солнечных циклов (Royal Observatory, Greenwich – USAF/NOAA Sunspot Data) были изучены различные параметры «бабочек Маундера». Среднее арифметическое тангенсов углов наклона «бабочек» по северу и югу прямо пропорционально мощности цикла (коэффициент корреляции $R=0,66$). Для ядер в циклах 12–20 подобное соотношение выполняется с коэффициентом корреляции $R=0,69$. Средняя широта расположения «бабочки» в южном полушарии практически совпадает со средней широтой «бабочки» в северном полушарии для каждого цикла ($R=0,89$). В целом циклы с меньшей продолжительностью имеют больший угол наклона. Отношение площади ядер к площади пятен прямо пропорционально мощности цикла, при этом для групп в 12–17 циклах рост отношения площадей с ростом мощности больше, чем для групп в циклах 18–20. Отношение площадей пятен к числам Вольфа прямо пропорционально отношению площади ядер к площади пятен, коэффициент корреляции $R=0,70$. Отношение площади ядер к площади пятен (как для годов, так и для месяцев) имеет тенденцию возрастать в минимумах и уменьшаться в максимумах. Таким образом, начиная с некоторой величины пятна «растут» быстрее, чем «растут» ядра в этих пятнах, однако какой-либо закономерности не наблюдается. Начиная с 17-го цикла наблюдается явный тренд уменьшения отношения площади ядер к площади пятен. Анализ площадей пятен и ядер показал, что для каждого цикла величина $BTS/L = \text{const}$, где B – магнитное поле, T – продолжительность цикла, S – средняя площадь пятен (или ядер), L – средняя широта. Мощность цикла имеет тенденцию уменьшаться с возрастанием амплитуды среднего магнитного поля в цикле. В целом получается, что большее число пятен в цикле соответствует меньшему магнитному полю. Отметим, что для полученных наблюдательных данных воспроизводится правило Гневышева–Оля. Согласно простейшей теории динамо, синхронное движение по широте «бабочек» связано с тем, что меридиональная циркуляция одинакова по модулю в обоих полушариях. На угол наклона «бабочек» влияет и меридиональная циркуляция, и турбулентная диффузия. Таким образом, тот факт, что циклы с меньшей продолжительностью имеют больший угол наклона, воспроизводится в модели за счет увеличения меридиональной циркуляции или уменьшения коэффициента турбулентной диффузии. Увеличение меридиональной циркуляции всегда ведет к сдвигу «бабочек» на более высокие широты и увеличению длительности цикла. Однако амплитуда поля сначала убывает, а затем растет при дальнейшем увеличении меридиональной циркуляции. При уменьшении коэффициента турбулентной диффузии длительность цикла растет, амплитуда поля увеличивается, а «бабочка» не сдвигается по широте. Из теории динамо следует, что в наблюдаемых циклах эти параметры, возможно, меняются комбинировано. Поэтому, например, нет явной зависимости средней широты «бабочки» от длительности цикла, т.к. согласно теории динамо, если бы менялась только меридиональная циркуляция, длительность цикла была бы прямо пропорциональна средней широте. Постоянная величина BTS/L от цикла к циклу, возможно, реализуется за счет того, что на каждый цикл тратится одинаковое количество энергии, но она перераспределяется по-разному в каждом цикле, и поэтому наблюдается изменение других характеристик цикла. За интенсивность генерации магнитных полей в моделях динамо отвечает динамо-число. Тогда вполне вероятно, что оно не меняется от цикла к циклу.

УЧЕТ ТЕЧЕНИЙ ПЛАЗМЫ В ПЕРЕХОДНОМ СЛОЕ МЕЖДУ КОРОНОЙ И ХРОМОСФЕРОЙ СОЛНЦА

О.В. Птицына, Б.В. Сомов

*ГАИШ им. П. К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова,
olga.ptitsyna@gmail.com, somov@sai.msu.ru*

Рассмотрена роль течений плазмы в картине стационарного теплового потока внутри тонких магнитных трубок в переходном слое между короной и хромосферой Солнца. Для различных скоростей потока плазмы, задаваемых на нижней границе переходного слоя, получены распределения температуры вдоль магнитной трубки, один конец которой опущен в хромосферу, а другой находится в короне. Получены зависимости концентрации, скорости и давления от температуры. Показано, что геометрически тонкий переходный слой между короной и хромосферой следует рассматривать в обычном столкновительном приближении, с обычной классической электронной теплопроводностью, а поглощением излучения в переходном слое можно пренебречь. Определены условия возможного возбуждения ударных волн, возникающих вследствие течения плазмы в переходном слое. Найденные нами распределения температуры по толще плазмы хорошо объясняют современные результаты спутниковых наблюдений Солнца в жестком ультрафиолетовом (EUV) излучении.

НАБЛЮДЕНИЕ АНОМАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ КОМПОНЕНТ Ly- α ДУБЛЕТА ИОНА Mg XII 8.42 Å В КОМПАКТНЫХ ГОРЯЧИХ ОБЪЕКТАХ КОРОНЫ СОЛНЦА.

Рева А.А., Шестов С.В., Кузин С.В.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, reva.antoine@gmail.com

Спектрогелиограф Mg XII на спутнике КОРОНАС-Ф строил изображения солнечной короны в линии Ly- α дублета иона Mg XII 8.42 Å. Особенности строения спектрогелиографа позволяют получить спектр дублета Mg XII для компактных горячих источников. Мы исследовали 169 объектов, наблюдавшихся с 20 по 28 февраля 2002 года. Время жизни этих событий от 5 до 100 минут, размер не более 5 тыс. км, средняя температура 10 МК, рентгеновский класс событий ниже уровня A1.0. Отношение компонент дублета в этих событиях меняется со временем в диапазоне 0.3 – 0.7. Теоретическое значение отношения – 0.5. Гистограмма распределения отношения интенсивности компонент дублета симметрична – отклонения в меньшую сторону встречаются так же часто, как и отклонения в большую. Предложенные теоретические механизмы отклонения (протонные возбуждения, сателлитные линии, резонансное рассеяние внутри объема излучающей плазмы) не соответствуют экспериментальным данным. В работе показывается, что наиболее вероятное объяснение это возбуждение ионов электронными пучками.

УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ ПРИ ОТРЫВЕ КОРОНАЛЬНОГО ВЫБРОСА ВО ВСПЫШКЕ 23.07.2002

В.И. Сидоров, Г.Н. Кичигин, Л.И. Мирошниченко

ИГУ, г. Иркутск, Россия, yamari@yandex.ru

Сделано предположение, что падение продольного тока $\sim 10^{12}$ А в магнитном жгуте за характерное время ~ 5 мин сопровождается уменьшением спиральной закрученности жгута, расширением его объема и уменьшением в нем плотности до $\sim 10^9$ см⁻³. Изучаются условия ускорения частиц электрическим полем $0.01 \div 0.1$ В/см, возникающем при быстром падении электрического тока в жгуте, имеющим ненулевую составляющую с магнитным полем, во время отрыва коронального выброса во вспышечном событии 23.07.2002 г.

АРТЕФАКТЫ В ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО МАГНИТОГРАММАМ SDO/HMI И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

**В.В. Смирнова, В.И. Ефремов, Л.Д. Парфиненко,
А. Риехокайнен, А.А. Соловьев**

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, smirnova@yandex.ru

Мы исследовали артефакты, обнаруженные в данных магнитограмм SDO/HMI, и их влияние на низкочастотный спектр мощности колебаний солнечных пятен. Мы обнаружили гармоники с периодами 12 и 24 часа, проявлявшиеся даже в слабых магнитных полях, которые были интерпретированы как артефакты, связанные с особенностями орбиты спутника SDO. Однако, было выявлено, что влияние этих артефактов значительно не меняет картину длиннопериодических колебаний пятна, если магнитное поле в пятне не превышает 2000 Гаусс. Когда же магнитное поле выше, чем 2000 Гаусс, то влияние указанных артефактов резко возрастает и они доминируют в колебательном спектре. Мы полагаем, что усиление гармоник, связанных с артефактами, проявляет нелинейный характер с ростом магнитного поля, и значение поля порядка 2000 Гаусс, является пороговым.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

А.А. Соловьев

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, solov@gao.spb.ru

Формулируется ряд вопросов, принципиально важных для понимания физической природы солнечных пятен, но сих пор остающихся открытыми: 1. Чем обусловлена устойчивость пятен в целом, как долгоживущих активных образований; 2. Почему магнитные поля пятен наблюдаются в относительно узком интервале напряженностей? 3. Как зависит магнитное поле пятна от его размеров? 4. Почему на Солнце не наблюдается очень больших пятен, занимающих значительную часть диска. 5. Чем обусловлено появление в пятнах светлых мостов? 6. Каков период собственных колебаний пятен и как он зависит от напряженности поля в пятне? 7. Какова структура подфотосферных слоев пятна? Ответы на поставленные вопросы дает модель круглого униполярного солнечного пятна с

нижней границей холодной плазмы и сильного магнитного поля на глубине около 4 Мм под фотосферой, в соответствии с данными локальной гелиосейсмологии. Аналитически задается конфигурация магнитного поля пятна близкая к реально наблюдаемой и обладающая, подобно полю круглого соленоида, свойством самоподобия. На основе термодинамического подхода рассчитаны условия равновесия солнечного пятна по горизонтали и вертикали с учетом его гравитационной энергии и давления внешней среды. Впервые теоретически получена зависимость равновесного магнитного поля в центре пятна B_0 от радиуса тени a и основных параметров фотосферы. В очень малых пятнах поле составляет несколько сотен гаусс, затем оно монотонно возрастает, стремясь с ростом a к некоторой предельной величине (около 4000 G), которая определяется плотностью фотосферы, ускорением силы тяжести на поверхности Солнца и отношением радиуса всего пятна к полутени a_p к радиусу тени a . Показано, что подфотосферные течения в окрестности пятна, являясь следствием, а не причиной его образования, не играют существенной роли в поддержании равновесия и устойчивости пятна. Стабильность пятна обеспечена понижением его гравитационной энергии, которое вызвано перераспределением плотности массы по вертикали при образовании вильсоновской депрессии, глубина которой линейно растёт с напряженностью магнитного поля пятна. Область устойчивых равновесий пятна ограничена: при a больше некоторого предельного значения (около 12 Мм) система теряет устойчивость. Этим объясняется отсутствие на Солнце пятен очень большого размера и появление светлых мостов в крупных пятнах. Наиболее устойчивы пятна с $B_0 \approx 2600\text{G}$ и $a \approx 5\text{ Мм}$. Для таких пятен период их собственных колебаний, как целостных магнитных структур, минимален и составляет, согласно проведенным расчетам, 12-13 часов, что соответствует величине, полученной при изучении колебаний солнечных пятен по данным SOHO/MDI.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СОЛНЕЧНЫХ ПЯТНАХ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ HMI/SDO

А. Г. Тлатов

Кисловодская Горная станция ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, tlatov@mail.ru

Проведен анализ ежедневных данных наблюдений HMI/SDO в период 2010-2012 гг. Представлена методика выделения внешних границ пятен, полутени и ядер в белом свете и результаты промера характеристик магнитного поля. Так как регистрация континуума и магнитных полей происходит на одном телескопе, на одной CCD матрице и практически в один момент времени это значительно уменьшает ошибку, при совместном измерении и позволяет исследовать не только интегральные характеристики, но и тонкую структуру солнечных пятен. На основе промеров несколько тысяч солнечных пятен были получены площади, контраст, напряженность и поток магнитных полей солнечных пятен. Уточнены соотношения между контрастом, площадью пятен определяемых в белом свете и интенсивностью магнитных полей. Показано, что среднее магнитное поле пятна B_{spot} имеет двухмодульное распределение. Для малых солнечных пятен ($S < 20\text{-}50$ мдп) магнитное поле имеет величину $B_{\text{spot}} \sim 800\text{ Gs}$. Для больших пятен ($S > 100$ мдп) среднее поле $B_{\text{spot}} \sim 600\text{ Gs}$. Определены наклон и интенсивности магнитного поля в ядрах и полутени солнечных пятен в 24-м цикле. Для этого были изучены изменения магнитных полей пятен на разных расстояниях от центра солнечного диска. Была использована методика промера магнитного поля в областях солнечных пятен, расположенных ближе или дальше от центра солнечного диска по отношению к центру пятна. На основе полученных статистических данных, установлено, что угол отклонения магнитного поля пятен от вертикального меняется от 0° в центре пятна до $\sim 50^\circ$ градусов на краю пятна. Изменение угла наклона магнитного поля

происходит примерно линейно от относительного расстояния от центра пятна. Напряженность магнитного поля до 0,4 радиуса пятна R_{spot} , что соответствует среднему размеру ядра, меняется слабо и уменьшается до величины $\sim 0,2B_{\text{cent}}$ у внешней границы пятна.

ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 20 ЯНВАРЯ 2005г. ПОСРЕДСТВОМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИЯХ

Е.В. Троицкая¹, И.В. Архангельская², А.И. Архангельский²

¹ *НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
troi@srd.sinp.msu.ru*

² *Кафедра Экспериментальной Физики и Космофизики НИЯУ МИФИ,
г. Москва, Россия*

В период 2007-2012 гг. мы выполнили ряд работ, посвящённых мощной солнечной вспышке 20 января 2005г. Анализ данных был проведен по γ -излучению, зарегистрированному прибором СОНГ при помощи электронной аппаратуры АВС-Ф на борту спутника КОРОНАС-Ф. Изучая узкую γ -линию 2.223 МэВ от захвата вспыхивающих нейтронов водородом солнечной атмосферы с использованием также данных по узким ядерным линиям 4.44 МэВ и 6.13 МэВ, мы получили выводы о преимущественном ускорении изотопа ^3He в процессе этой вспышки и его накоплении в области ядерных реакций, о динамике спектра энергии ускоренных протонов в диапазоне от 1 до 100 МэВ и об эволюции модели плотности подвспышечной области за период вспышки. Была предложена интерпретация зарегистрированного слабого пика γ -излучения в диапазоне 15-21 МэВ как суммы ядерного излучения ядра ^{12}C в линии 15.11 МэВ и слабой широкой линии 20.58 МэВ от радиационного захвата нейтронов ядрами нуклида ^3He . Оценена величина спектрального индекса ускоренных частиц с энергией, превышающей 300 МэВ/нуклон. Анализируются перечисленные, а также и другие наблюдательные данные по этой уникальной вспышке.

ДИАГНОСТИКА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ СТРУКТУР СПОКОЙНОЙ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО ДАННЫМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ AIA\SDO

А.С. Ульянов, С.А. Богачев

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия, ikiru@inbox.ru

Под термином «спокойная корона» принято понимать участки солнечной атмосферы, расположенные за пределами активных областей и корональных дыр. Температура спокойной короны составляет около 1 млн. К, плотность – 10^9 см^{-3} . Множество мелкомасштабных (размером менее 10 тыс. км) магнитных петель и аркад, из которых состоит спокойная корона, тесно сплетено между собой, образуя тем самым единый «магнитный ковер». Наблюдения показывают, что «магнитный ковер» спокойной короны находится в состоянии непрерывной реструктуризации, сопровождающейся различными динамическими процессами, протекающими на временных масштабах от нескольких секунд до нескольких минут (нано- и микровспышки, колебания, джеты). Тем не менее, физические основы механизмов формирования таких событий не вполне ясны, что в большей степени связано с недостаточным количеством наблюдательных данных. В настоящей работе приводятся

результаты наблюдений спокойной солнечной короны, проведенных одновременно в нескольких длинах волн. Такие наблюдения с 2010 г. проводятся прибором AIA (Atmospheric Imaging Assembly) на спутнике SDO (Solar Dynamics Observatory), который представляет собой комплекс солнечных ВУФ-телескопов. Пространственное разрешение AIA составляет 0.6 угл. Сек., а временное – 12 сек. Одной из ключевых особенностей прибора AIA является высокая чувствительность к излучению плазмы с температурой 0.8 – 2 млн. К, что позволило использовать данные прибора для проведения спектроскопической диагностики температуры и плотности различных структур спокойной короны, а также исследовать их временную динамику. В работе исследуются пространственно-временные характеристики различных быстропротекающих процессов, происходящих в спокойной короне, в частности, нановспышек. Исследуются статистические закономерности нановспышек, показана возможность нановспышечного сценария нагрева солнечной короны.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В НЕСТАЦИОНАРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

Л.В. Филатов¹, В.Ф. Мельников^{1,2}, С.П. Горбиков¹

¹ Научно-исследовательский радиофизический институт,
г. Нижний Новгород, Россия, filatovlv@narod.ru

² ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия

Известно, что магнитное поле в солнечной вспышечной петле в силу своей неоднородности и нестационарности может ускорять заряженные частицы, например, посредством бетатронного механизма и механизма ускорения Ферми 1 рода. Однако при определенных условиях эти механизмы могут оказаться неэффективными, например, из-за больших потерь энергии при взаимодействии с частицами и волнами фоновой плазмы, низких скоростей и градиентов изменения магнитного поля и ряда других причин. В данной работе на основе численного решения кинетического уравнения Фоккера-Планка для ускоренных электронов в одномерной магнитной ловушке, как модели вспышечной петли, проводится анализ влияния параметров нестационарного магнитного поля, инжекции электронов в ловушку и параметров фоновой плазмы на распределение электронов по энергии, pitch-углу и длине ловушки. Найдены диапазоны энергии электронов, плотности плазмы и скорости изменения магнитного поля, при которых энергичные электроны эффективно ускоряются и накапливаются в петле.

ДИНАМИКА УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК С СУБ-ТГц ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ю.Е. Чариков^{1,2}, П.В. Ватагин^{2,1}, А.В. Степанов², И.В. Кудрявцев^{1,2}

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

² ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия, Yuri.Charikov@mail.ioffe.ru

Уникальные наблюдения трех вспышек, 2 и 4 ноября 2003 г. и 6 декабря 2006 г., на радиотелескопе SST в суб-ТГц диапазоне на 212 и 405 ГГц показали, что поток излучения возрастал с увеличением частоты, а его величина достигала $5 \times 10^3 - 2 \times 10^4$ с.е.п. Интерпретация подобного спектра проводится в предположении плазменного механизма излучения при слиянии ленгмюровских плазмонов, которые возникают в результате неустойчивости пучка ускоренных электронов. Решена система нелинейных уравнений для

пучка ускоренных электронов и плотности энергии ленгмюровских волн. При этом учитываются парные кулоновские столкновения, рассеяние электронов на волнах и волн на ионах плазмы. Параметры пучка и плазмы выбираются исходя из целей задачи. Концентрация плазмы n меняется от 10^{13} до 10^{15} см⁻³, поэтому даже при больших значениях магнитного поля, ~ 2 кГс, можно воспользоваться приближением изотропной плазмы. В анализируемых событиях зарегистрировано жесткое рентгеновское и гамма излучение. Природа жесткого рентгеновского излучения – тормозное излучение пучка релятивистских электронов. Динамика пучка определяет временные особенности потока рентгеновского излучения и эволюцию энергетического спектра. Сравнение с наблюдениями позволяет определить зависимость потока электронов от времени и, следовательно, динамику процесса ускорения.

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК 17.05.1991 И 20.08.2000г.

Ю.Е.Чариков^{1,2}, М.Г.Огурцов^{1,2}

¹ *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН г. Санкт-Петербург, Россия*

² *ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия, Yuri.Charikov@mail.ioffe.ru*

Анализируется временная структура жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) солнечных вспышек. Данные ЖРИ получены в процессе экспериментов на КА КОРОНАС–Ф (спектрометр ИРИС) и CGRO (спектрометр BATSE). Для выявления спектрально-временной структуры ЖРИ вспышки проводится вейвлетный и Фурье анализ. Предварительно из данных вычитается долговременный тренд. Особое внимание уделяется выявлению миллисекундной временной структуры. Данные BATSE позволяют изучать временную структуру в 16 – и энергетических каналах от 25 кэВ до 2 МэВ. Детальный анализ вспышки 17 мая 1991 года (данные BATSE) показал, что в структуре излучения отчетливо выделяется субсекундный (длительность 0.7-0.9 секунд) импульс в энергетических каналах от 33 кэВ до 156 кэВ. Значимость обнаруженного импульса в семи энергетических каналах (33 – 156 кэВ) достигает уровня доверия 3-4 σ . При более высоких энергиях (свыше 234 кэВ) данный импульс не наблюдался. Спектральный анализ ЖРИ во время вспышки 20.08.2000 года в 4-х каналах энергии от 24 кэВ до 156 кэВ показал, что на субсекундных (длительность менее 1 секунды) масштабах в каналах 24 – 41 кэВ и 41 – 77 кэВ имеются значимые временные вариации. Они проявляются в виде: (а) отдельных мощных импульсов с масштабами 0.01-0.1 секунды, возникающих, в основном, вне активной фазы события. (б) Последовательностей из 4-12 колебаний с периодами ~ 0.1 с, 0.18-0.25 с, ~ 0.4 с, возникающих на активной фазе. Значимость соответствующих пиков спектров Фурье, рассчитанных для промежутков, в течение которых указанные квазипериодичности существуют, достигает уровня 0.99 и выше. В каналах 77 – 112 кэВ и 112 – 156 кэВ имеются отчетливые субсекундные вариации, проявляющиеся в виде последовательности из 4 колебаний с периодом ~ 0.4 с. Значимость соответствующих пиков спектров Фурье существенно превышает уровень 0.999. Надежное выявление субсекундных импульсов в структуре ЖРИ солнечных вспышек свидетельствует о временном масштабе процессов ускорения электронов и их распространении в плазме вспышечных петель.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ВДОЛЬ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

Ю.Е. Чариков^{1,2,3}, В.Ф. Мельников², И.В. Кудрявцев^{1,2}

¹ *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН г. Санкт-Петербург, Россия*

² *ГАО РАН (Пулковская), г. Санкт-Петербург, Россия, Yuri.Charikov@mail.ioffe.ru*

³ *«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»,*

г. Санкт-Петербург, Россия, Yuri.Charikov@mail.ioffe.ru

Проведено моделирование пространственного распределения интенсивности, направленности и поляризации жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) вдоль вспышечной магнитной петли. Первоначально численно решается нестационарное релятивистское уравнение в форме Фоккера-Планка для функции распределения ускоренных электронов. Вспышечная петля представляет силовую трубку с неоднородным магнитным полем и точками отражения частиц. Распределение поля и плазмы вдоль петли задается модельным образом. Рассматриваются два случая инъекции нетепловых электронов в вершине вспышечной петли. В первом из них инъекция происходит в конусе углов, направленном вдоль магнитного поля в одно из оснований петли. Во втором случае электроны инжектируются изотропно. Характеристики ЖРИ рассчитываются как свертка функции распределения электронов с релятивистским тормозным сечением. В случае анизотропной инъекции степень поляризации ЖРИ в основаниях петли низкая, не превышает 8%. В то же время степень поляризации излучения из вершины в начале инъекции достигает -43% в диапазоне 30 – 60 кэВ и уменьшается с ростом энергии. Существенно отличные пространственные распределения характеристик ЖРИ получаются для изотропной инъекции электронов. В этом случае рассчитанная степень поляризации ЖРИ из вершины демонстрирует сильную изменчивость: в начале инъекции она достигает 15-18% на энергиях фотонов 30-90 кэВ, через 5 с уменьшается до 0, а затем, сменив знак, возрастает до 8%. При этом в основаниях петли ЖРИ практически не поляризовано. Найденные в процессе моделирования особенности пространственных распределений могут быть измерены рентгеновскими телескопами-поляриметрами в будущих экспериментах и использованы для диагностики типа питч-углового распределения ускоренных электронов.

НОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 30 – 7000 МГц.

Г.П. Чернов, В.В. Фомичев

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, gchernov@izmiran.ru

Новые наблюдения имеют очень важное значение для проверки различных теорий образования тонкой структуры, поскольку, например, только для объяснения зебра-структуры было предложено более десятка механизмов. Здесь мы обсуждаем явления, зарегистрированные за последние два года растущего цикла активности на спектрографах китайской обсерватории Hualou (Пекин) в диапазоне 1 – 7.6 ГГц и спектрографе ИЗМИРАН в метровом диапазоне (25 – 270 МГц). Наибольший интерес вызывают явления 15 и 24 февраля 2011г. В ходе вспышки 15 февраля (произошедшей близко от центра диска) зебра-структура наблюдалась во время последовательных вспышечных уярчений: сначала на самых высоких частотах 6.2-7.2 ГГц, через ~ 11 минут в диапазоне 2.6-3.2 ГГц, еще через 10 минут в диапазоне 1.0-1.2 ГГц. В первых двух случаях поляризация была сильной левого

знака, а в последнем – умеренной правого знака. Такое поведение поляризации удается объяснить с помощью снимков соответствующих вспышечных выбросов, полученных в крайнем ультрафиолетовом излучении на SDO AIA (174 Å). Последний выброс произошел в другом направлении в сторону хвостового пятна, поэтому поляризацию излучения во всех трех случаях можно связать с обыкновенной волной. На всех частотах полосы зебра-структуры обнаруживали миллисекундную сверхструктуру. Практически одновременно наблюдался всплеск II типа в метровом диапазоне, после которого зебра-структура наблюдалась почти непрерывно на частотах 190-220 МГц (по данным спектрографа Culgoora). Явление 24 февраля примечательно тем, что зебра-структура на частотах 2.6-3.8 ГГц была неполяризованной, что можно связать с лимбовым положением соответствующей вспышки. Однако миллисекундная сверхструктура была сильно выражена. Вспышка также сопровождалась всплеском II типа, но в последующем континууме зебра структура не обнаруживалась (по данным ИЗМИРАН в диапазоне 25-270 МГц). Странно, что направленность излучения оказалась сильнее в метровом диапазоне волн. Однако необходимо более тщательно рассмотреть наблюдаемые эффекты в рамках различных механизмов образования зебра-структуры. А также проверить реальность слабовыраженной зебра-структуры на очень низком уровне континуума в самом конце явления. В явлении 9 августа 2011 г. сверхтонкая миллисекундная структура впервые зарегистрирована одновременно в быстрых пульсациях и наложенных на них полосах зебра-структуры. В явлении 1 августа 2010 г. После зебра-структуры наблюдались два семейства волокон (fiber bursts) с противоположным частотным дрейфом с сильной поляризацией правого знака. Такая развитая тонкая структура на частотах 2.6-3.8 ГГц сопровождалась только секундными пульсациями в метровом диапазоне по данным ИЗМИРАН (25-270 МГц). И в этом случае, возможно, также сыграла роль направленность излучения из далекой восточной области. 19 апреля 2012 г. на спектрографе ИЗМИРАН наблюдались волокна на фоне всплесков III типа. В полосе 42 – 52 МГц группа из 9 медленнодрейфующих узкополосных (~ 1 МГц) волокон образует уникальный всплеск II типа, расщепленный на отдельные полосы. Почти все явления в микроволновом диапазоне содержат сверхтонкую структуру в виде миллисекундных спайков, излучение которых следует считать первичным. Возможно, что каждый вид тонкой структуры возбуждается одним механизмом, а все разнообразие явлений связано с динамикой вспышечных процессов.

АСИММЕТРИЯ СЕВЕР-ЮГ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $f(B)$ НАПРЯЖЕННОСТИ В ФОНОВОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

В.Н. Обридко, В.Е. Чертопруд

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, vechert@list.ru

По данным SOHO/MDI (ежедневный ряд карт напряженности солнечного магнитного поля B) анализируется различие плотности распределения $f(B)$ фонового магнитного поля B в разных полушариях Солнца. Обработана последовательность магнитных карт, охватывающая 8-летний период наблюдений 2003 – 2011гг, когда камера SOHO периодически “кувыркалась” (изображение северного полушария Солнца каждые 3 месяца оказывалось то в верхней, то в нижней части камеры). Этот технический эффект использован для компенсации пространственных неоднородностей чувствительности и шума камеры при сравнении $f(B)$ северного и южного полушарий ($f_N(B)$ и $f_S(B)$). Для каждого дня в трех интервалах широт ($0-30^\circ$, $30-45^\circ$, $45-70^\circ$), отдельно для северного и южного полушарий Солнца вычислена плотность распределения $f(B)$ величины B , определенная с шагом 4.5 Гс в диапазоне до 300 Гс. Найденные оценки f усреднены на интервалах времени, включающих примерно одинаковое количество нормальных и перевернутых изображений Солнца. В

качестве индекса, характеризующего северо-южную асимметрию фонового магнитного поля, выбрано отношение $q(|B|)=f_S(|B|)/f_N(|B|)$, где $f(|B|)$ – плотность распределения модуля напряженности B . Рассмотрены также отношения север-юг для положительных и отрицательных полей $q(B)_+=f_S(B)/f_N(B)$ и $q(B)_-=f_S(-B)/f_N(-B)$, где $B>0$. За исключением 2003г для изучения динамика асимметрии фонового магнитного поля использовались годовые оценки $q(|B|)$, $q(B)_+$, $q(B)_-$, которые усреднялись в различных диапазонах $|B|$. Для 2003г использовались полугодовые оценки $q(|B|)$, $q(B)_+$, $q(B)_-$, т.к. “кувыркание” камеры началось лишь с середины 2003г. Обнаружено, что плотность распределения $f(B)$ фонового магнитного поля зависит от фазы солнечного цикла и рассматриваемой широты. При $|B|>60$ Гс на низких широтах ($0-30^\circ$) наблюдается северо-южная асимметрия плотности распределения $f(B)$ фонового магнитного поля. Показатель q существенно отличается от единицы и регулярно изменяется во времени. Эти изменения растут с ростом $|B|$, но при разных уровнях $|B|$ имеют одинаковую структуру, включающую максимум в 2006г с последующим минимумом в 2009-2010гг. На рубеже 2008-2009гг, т.е. вблизи границы между 23 и 24 солнечными циклами, южное преобладание магнитного поля ($q>1$) сменяется северным ($q<1$). При этом $q_- \approx q_+ \approx q$, т.е. изменения q_- и q_+ подобны изменениям q . Не исключена причинно-следственная связь между такой асимметрией и динамо-процессами. При $|B|<60$ Гс преобладают солнечные и инструментальные шумы и показатель q близок к единице, а стандартное отклонение sq , дающее представление о погрешности оценок q , составляет 1-2%. На высоких широтах ($45-70^\circ$) при $|B|>100$ Гс сказывается присутствие полярного поля. До 2009г, как показывают оценки $q(B)_+$ и $q(B)_-$, положительное полярное поле в южном полушарии было, как правило, сильнее, чем в северном полушарии, а отрицательное поле сильнее в северном полушарии, чем в южном. До 2009г соблюдалось неравенство $q_+>q_-$, а после 2009г оно сменилось на обратное неравенство $q_+<q_-$. Эти эффекты сопоставимы в более слабых ($|B|=100-150$ Гс) и более сильных ($|B|=150-250$ Гс) магнитных полях. На промежуточных широтах ($30-45^\circ$) четких эффектов северо-южная асимметрия плотности распределения $f(B)$ не обнаружено. Авторы признательны коллективу сотрудников SOHO/MDI за предоставленные данные. Работа поддержана грантами РФФИ 10-02-00960-а и 11-02-00259-а.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ И ДИНАМИКИ ГРУПП ПЯТЕН В СОЛНЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ

О.В. Чумак

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, chumak@sai.msu.ru

Возникновение пятнистых структур в солнечных активных областях рассматривается в рамках модели «спагетти» Паркера, как процесс диффузной агрегации филламентированного магнитного поля, вынесенного конвекцией на прифотосферный уровень. На основании численного решения уравнений движения магнитопотоковых трубок под действием гидродинамических сил, сил магнитного взаимодействия, и случайных сил, рассмотрены процессы агрегации магнитопотоковых трубок в паттерны разного вида и разной динамики. Исследована зависимость структуры групп пятен от величины и плотности выносимого магнитного потока, от среднего значения параметра кручения (twist) и среднего времени жизни отдельных магнитопотоковых трубок. Анализируются физические причины морфологической асимметрии лидирующей и комплементарной полярностями. Рассмотрены особенности перемещений магнитных потоков на разных фазах эволюции активной области. Сделаны оценки возможностей краткосрочного прогнозирования конфигурации основных магнитных потоков в активных областях. Обсуждается связь между средним значением фактора кручения и продуцированием вспышек в активных областях. Численное

моделирование процесса диффузной агрегации филаментированного магнитного поля позволяет также решать задачи взаимодействия существующего магнитного поля активной области с новым появляющимся магнитным потоком.

О ДВУХ ТИПАХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

О.А. Шейнер, В.М. Фридман

НИРФИ, Нижний Новгород, Россия, rfj@nirfi.sci-nnov.ru

Известно, что информацию о параметрах и динамике движения корональных выбросов массы (КВМ) получают с коронографов, которые регистрируют КВМ на расстояниях от 1,2 радиуса Солнца. В то же время наблюдения за спорадическим радиоизлучением Солнца, которое возникает в периоды формирования, отрыва и начального движения КВМ, позволяют более полно изучать процессы, происходящие на этих стадиях, причем, на более близких к поверхности Солнца высотах переходного слоя солнечной атмосферы – хромосферы и нижней короны, где генерируется в основном радиоизлучение сантиметрового и дециметрового диапазонов, непосредственно приближенных к формированию этих явлений. Используя данные патрульных наблюдений мировой службы Солнца в радиодиапазоне в отдельные периоды XXI-XXIII циклов солнечной активности, было показано ранее, что по характеристикам спектрально-временной динамики спорадического радиоизлучения, являющейся отражением этих процессов, которую, таким образом, можно рассматривать в качестве предвестника корональных выбросов массы, можно судить о физических параметрах регистрируемых в последующем на коронографе событий (угловой раскрыв, скорость распространения, феноменологический тип). Широкополосные импульсные предвестники КВМ позволяют также с высокой степенью точности определять момент отрыва КВМ и общее начало его распространения в нижней атмосфере Солнца. В то же время, при статистических исследованиях предвестников КВМ было обнаружено, что в рассматриваемых событиях можно выделить группу тех из них, перед которыми регистрируется только дециметровая компонента радиоизлучения, либо она превалирует по интенсивности над сантиметровой компонентой. Связь группы этих событий с параметрами регистрируемых в последующем КВМ показывает, что большинство из них имеют небольшой угол раскрыва ($W \leq 75^\circ$) и обладают низкой начальной скоростью распространения ($V \leq 600$ км/сек.). Существующие представления об условиях формирования и начального распространения КВМ свидетельствуют о том, что отрыв и начальное распространение КВМ происходят непосредственно от поверхности Солнца. В то же время, совокупность изложенных выше фактов заставляет предположить, что, наряду с большинством КВМ, отрыв которых происходит близко к поверхности Солнца, имеется класс событий, отрыв которых реализуется в более высоких слоях солнечной атмосферы, что в итоге обуславливает их более высокую направленность (небольшой угол раскрыва) и низкие начальные скорости распространения. Указанное предположение согласуется с существующими двумя классами теоретических моделей, описывающих зарождение и начальное распространение корональных выбросов массы.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВУФ СПЕКТРОГЕЛИОГРАФОВ ДЛЯ АППАРАТУРЫ КОРТЕС НА МКС

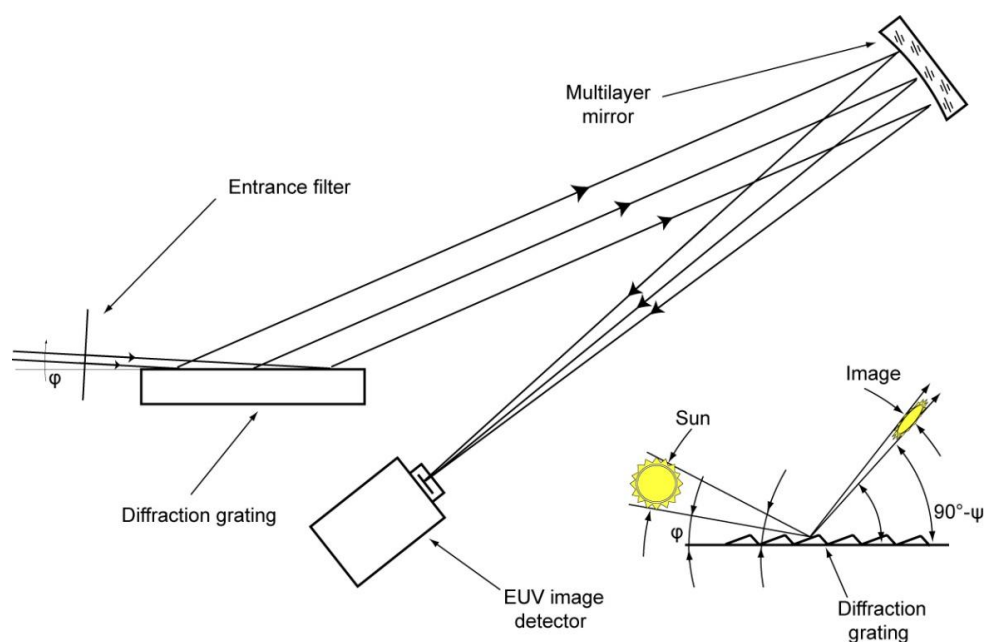
С.В. Шестов¹, С.В. Кузин¹, Д.Г. Либерзон², А.М. Алимов³

¹ *Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия*

^{1,2} *Московский физико-технический институт (Государственный университет), г. Москва, Россия*

³ *ОАО «РКК «Энергия», г. Москва, Россия*

В Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН разрабатывается аппаратура «Кортес» для исследования короны Солнца в EUV диапазоне с размещением на МКС. Основной целью эксперимента Кортес является мониторинг солнечной активности методами EUV астрономии (телескопических наблюдений) а также спектральной диагностики вспышек в SXR и EUV диапазоне. Аппаратура Кортес будет установлена на российском сегменте МКС на двухосной поворотной платформе, которая будет обеспечивать наведение на Солнце с точностью до 10 угл. Мин. Планируется реализовать собственную систему стабилизации телескопов, где стабилизация будет выполняться поворотом вторичного зеркала. В состав аппаратуры Кортес будут входить широкополосные телескопы с $\Delta\lambda \sim 5-30 \text{ \AA}$ (для рабочих диапазонов 171, 304 и 584 $\text{\AA}$), рентгеновский спектрометр на диапазоны энергий 1.5-15 кэВ и спектрогелиографы на диапазоны 170-210, 240-290 и 280-330 $\text{\AA}$. Аналогичные спектрогелиографы успешно работали на спутнике КОРОНАС-Ф, а полученные ими данные (в частности, спектры мощных солнечных вспышек) до сих пор являются актуальными. Оптическая схема приведена на рис. 1. Солнечное излучение проходит входной фильтр, попадает на дифракционную решетку под углом скольжения $\sim 1.5^\circ$, дифрагирует, после чего фокусируется многослойным зеркалом на детекторе. В такой схеме на детекторе строится серия монохроматических изображений солнечного диска в отдельных спектральных линиях диапазона. Конкретные спектральные диапазоны 170-210, 240-290 и 280-330 $\text{\AA}$ были выбраны с учетом научных задач аппаратуры – диагностики различных корональных структур. В частности, в диапазоне 170-210 $\text{\AA}$ находится много линий железа различной степени ионизации – Fe XI, Fe XII, Fe XIII, Fe XXIV а также некоторые другие ионы. В диапазоне 240-290 $\text{\AA}$ также содержится большое количество спектральных линий, в основном железа разной степени ионизации, однако присутствуют также Ni XVII, Si VII, VIII, X и другие. На диапазон 280-330 $\text{\AA}$ приходится большее количество различных ионов, например Si VIII, IX, XI, Mg VIII, Ni XVIII, Ca XVIII, Fe XI, XII, XIII, XIV, XV, XVII, S XII и др. В совокупности, спектры отдельных структур солнечной короны, полученные в этих диапазонах, позволят определять целый ряд параметров плазмы, таких как температура и плотность. Как показал опыт проведения подобных экспериментов, для достижения максимальной информативности спектральных наблюдений крайне желательно иметь высокую чувствительность аппаратуры (для достижения высокого временного разрешения и возможности наблюдения динамичных процессов), высокое пространственное разрешение (чтобы была возможность исследовать мелкомасштабные структуры в короне Солнца) и спектральное. Возможными вариантами для оптимизации схемы являются подбор дифракционной решетки с нужным профилем штриха и наиболее эффективным покрытием. Фокусирующее зеркало может быть асферизовано или заменено на двухзеркальный объектив Ричи-Кретьена. В докладе обсуждаются научные задачи аппаратуры, характеристики спектрогелиографов, пути оптимизации характеристик.



ПРОБЛЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ СОЛНЦА ПРИ МНГОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Ю.С. Шугай и И.С. Веселовский

НИИЯФ МГУ, ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ishugai@srd.sinp.msu.ru

На изображениях Солнца, получаемых в крайнем ультрафиолетовом излучении, часто видны относительно темные объекты различной физической природы, которые иногда легко спутать между собой без дополнительного анализа. В работе представлены результаты сравнения параметров корональных дыр (КД), каналов волокон и «темных областей» вокруг активных областей по изображениям солнечного диска, получаемым с SDO/AIA в разных спектральных диапазонах и по данным фотосферного магнитного поля с SDO/HMI. Было выявлено, что небольшие обособленные КД могут иметь сходные параметры фотосферного магнитного поля с другими объектами пониженной интенсивности, наблюдаемыми в линии $171\text{\AA}$ (SDO/AIA) или $174\text{\AA}$ (PROBA2/SWAP). Этот спектральный диапазон несет важную информацию об области переходного слоя при температурах от 0.5 до 1 МК. Известно, что на изображениях, полученных в линии $171\text{\AA}$ ($174\text{\AA}$), каналы солнечных волокон могут иметь интенсивность и размер, сходный с небольшими КД. Поэтому эти объекты невозможно отличить друг от друга на основе информации только об интенсивности, расположении и размере. Подобные проблемы идентификации наблюдаются и на других длинах волн, например 193 и $211\text{\AA}$, но в очень редких случаях, тогда как за 2010 год суммарная площадь волокон, ошибочно определенных по интенсивности как КД, составила 25% от реальной площади КД по изображениям в линии $174\text{\AA}$ с КА PROBA2/SWAP. Другой объект пониженной интенсивности, которая сравнима с интенсивностью КД в диапазоне $174\text{\AA}$, – это «темные области», видимые около активных областей. Такие области имеют большую, чем КД, интенсивность на изображениях, полученных в линиях 193 или $211\text{\AA}$ на SDO/AIA. В работе [1] они названы “dark canopies” и определены как области смешанной магнитной полярности. Различие свойств объектов пониженной интенсивности требует дополнительного исследования.

[1]. Y.-M. Wang, E. Robbrecht, K. Muglach The evolution of dark canopies around active regions // The Astrophysical Journal, 733, 20-27, 2011.

К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО МИНИМУМА В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА

Л.М. Якушин

*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,
г. Москва, Россия, lmyakushin3709@mai.ru*

Обсуждаются вопросы устойчивости и динамической стабилизации температурного минимума солнечной атмосферы на границе фотосфера – хромосфера. В дополнение к существующим представлениям используются и альтернативные, основанные на работах Гюйгенса, Френеля О.Ж., Яковско́го И.О., Ацюковско́го В.А., Блинова В.М. и автора. С новых позиций предлагается решение и ряда других ключевых проблем солнечно-земной физики.

С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРА И СВЕРХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ В ВОЛНОВОДЕ ЗЕМЛЯ – ИОНОСФЕРА, ОСНОВАННАЯ НА ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА С УЧЕТОМ РЕАЛИСТИЧНОЙ ТЕНЗОРНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ИОНОСФЕРЫ

**О.И. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, Ю.В. Федоренко,
В.С. Мингалев, О.М. Лебедь**

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru, akhmetov@pgia.ru

Начиная с 1994 года за рубежом опубликовано большое число работ, в которых для исследования распространения электромагнитных сигналов в нижнем диапазоне частот используются различные численные модели, основанные на конечно-разностной аппроксимации уравнений Максвелла на пространственной сетке со 2-м порядком точности. Такие модели в англоязычной литературе принято называть FDTD-models. Рассматривались как локальные модели для определенного отрезка в нижней части диапазона частот, так и глобальные FDTD-модели для низкочастотных сигналов. Имеется несколько научных групп, которые последовательно развивают свои версии глобальных моделей. Авторами разработана глобальная 3-мерная численная модель распространения ультра и сверх низкочастотных сигналов (ниже 100 Гц) с малой амплитудой в волноводе Земля–ионосфера, основанная на разностной аппроксимации уравнений Максвелла. По сравнению с зарубежными глобальными FDTD-моделями впервые учитывается реалистичная тензорная проводимость ионосферы, используются в разы меньшие шаги пространственной сетки, реалистичное граничное условие на границе атмосфера–литосфера, а также новая более эффективная методика численного решения уравнений Максвелла. Был выполнен набор расчетов распространения образовавшегося на экваторе атмосферика $\square$ сигнала от сильного разряда молнии, а также сравнение результатов расчетов с имеющимися в ПГИ экспериментальными данными, которое обнаружило хорошее качественное и количественное соответствие между ними. В частности, получена наблюдаемая в эксперименте зависимость сигналов от времени в данной точке и затухание антиподного (обошедшего вокруг Земли) сигнала по сравнению с прямым сигналом, а также совпадающая с экспериментальными данными различная скорость распространения сигналов на дневной и на ночной стороне. Кроме того, выполненные расчеты продемонстрировали принципиальное влияние тензорной проводимости нижней ионосферы, в особенности её холловской составляющей, на распространение сигналов, в том числе и в приземном слое. Создание модели открывает принципиально новые возможности в диагностике состояния нижней высокоширотной ионосферы по данным наземных измерений на радиотрассе длиной 1300 км между Баренцбургом (на о. Шпицберген) и Ловозеро (на Кольском п-ве).

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КНЧ ШУМА ЛОКАЛИЗОВАННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ И ПРОДОЛЬНЫМИ ТОКАМИ

И.В. Головчанская, Б.В. Козелов, О.В. Мингалёв

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, golovchanskaya@pgia.ru

Известно, что альвеновская турбулентность в ионосфере авроральной зоны сопровождается развитием электростатического КНЧ шума. Его особенности (возбуждение

при субкритическом продольном токе, широкополосный спектр, характер сезонной вариации и др.) не согласуются с классической теорией генерации EIC волн [Kindel and Kennel, 1971]. Более привлекательными являются теории, в которых существенную роль в дестабилизации КНЧ шума играют локализованные поперечные электрические поля (сдвиги скорости конвекции). До сих пор решения соответствующего нелокального дисперсионного уравнения были получены лишь для идеализированных фоновых конфигураций, далёких от реальности (например, [Reynolds and Ganguli, 1998]). В настоящей работе распределения фоновых полей и продольных токов задаются из спутниковых измерений. Полученные неустойчивые решения сравниваются с наблюдениями.

ВЛИЯНИЕ МОЩНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СТЕНДА «СУРА» НА ОПТИЧЕСКОЕ СВЕЧЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ В КРАСНОЙ (630 НМ) И ЗЕЛЕННОЙ (557,7 НМ) ЛИНИЯХ АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА

**С.М. Грач^{1,2}, В.В. Клименко^{2,3}, А.В. Шиндин^{1,2}, И.А. Насыров⁴, А.Б. Белецкий⁵,
Е.Н. Сергеев², Н.А. Погорелко¹, Д.А. Иванов¹, В.А. Яшнов¹**

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru

² Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород, Россия,

³ Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

⁴ Казанский (Приволжский) федеральный университет г. Казань, Россия

⁵ Институт солнечно-земной физики Сиб. отд. РАН, г. Иркутск, Россия

В докладе представлены результаты исследований влияния модификации ионосферы мощным радиоизлучением стенда «Сура» на оптическое свечение ночного неба. В зависимости от критических частот ионосферы воздействие осуществлялось на частотах $f_0 = 4.3\text{--}5.6$ МГц. Измерения оптического свечения проводились в 2010-2012 гг. в красной (630 нм) и зеленой (557,7 нм) линиях атомарного кислорода, связанных с излучением уровней $O(^1D)$ и $O(^1S)$ с энергиями возбуждения 1.96 и 4.17 эВ и временами жизни $\tau_1 = 107$ с и 0.7 с, соответственно. Основные результаты относятся к наблюдениям свечения в красной линии, обладающей меньшей энергией возбуждения. В ходе экспериментов установлено следующее. (а) При вертикальном воздействии стенда на ионосферу область свечения наблюдается в виде последовательности полос (страт) с поперечным угловым размером $1\text{--}2^\circ$, вытянутых на $6\text{--}8^\circ$ вдоль проекции геомагнитного поля на картинную плоскость регистрирующей ПЗС-камеры. Такая картина имеет место при уровнях яркости свечения, не превышающих 15 Рл. При большей яркости стратификация пятна свечения слабо различима на снимках, и пятно искусственного свечения является практически изотропным. Для высот отражения волны накачки в ионосфере порядка 250 км область искусственного свечения расположена вблизи центра прямолинейной проекции диаграммы направленности стенда на небосвод. При увеличении высоты отражения пятно свечения смещается к северу, смещение может достигать $6\text{--}8^\circ$. (б) При наклоне диаграммы направленности стенда на юг в плоскости геомагнитного меридиана на $12\text{--}16^\circ$ индуцированное излучением стенда свечение наблюдается в направлении магнитного зенита, под углом зрения $18\text{--}19^\circ$, вне зависимости от угла наклона. (в) Во время послезакходного уменьшения критической частоты ионосферы до значений, превышающих рабочую частоту стенда не более, чем на 0,5 МГц, наблюдалась «смена знака» воздействия волны накачки на оптическое свечение: возбуждение искусственного свечения ионосферы сменялось подавлением фонового свечения ночного неба. В это же время наблюдалось уменьшение интенсивности искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) и увеличение времени его релаксации. Как правило, после отключения стенда за уменьшением яркости свечения следовало её временное увеличение на

несколько процентов над стационарным средним фоновым значением. Это дополнительное послесвечение присутствовало и в тех сеансах, когда наблюдалось искусственное свечение в линии 630 нм. (з) Для частот воздействия $f_0 \sim 4f_c$ (f_c – электронная циклотронная частота) наблюдались существенные вариации яркости свечения в различных сеансах воздействия. Измерения сопровождалось отслеживанием соотношения f_0 и $4f_c$ по данным одновременных измерений характеристик искусственного радиоизлучения ионосферы. (д) В ряде сеансов воздействия уверенно зарегистрировано повышение яркости свечения в зеленой линии, обладающей более высокой энергией возбуждения, как при длительном непрерывном (90-150 с), так и импульсном (длительность $\tau = 30$ мс, период повторения $T = 2$ с) воздействии. Обсуждается возможная интерпретация наблюдаемых эффектов. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-02-00513-а, 11-02-00125-а, 12-02-31181-мол_а и Минобрнауки РФ, соглашение 14.132.21.1434.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ МАКСИМУМА F2-СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ СРЕДНИХ ШИРОТ

М.Г. Деминов

ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк, Россия, deminov@izmiran.ru

Представлены результаты статистического анализа изменчивости параметров максимума F2-слоя спокойной ионосферы (отклонений $NmF2$ и $hmF2$ от спокойной медианы: dN и dh) при низкой солнечной активности в дневные (10-16 LT) и ночные (22-04 LT) часы по данным ст. Иркутск за 2007-2010 гг. Получено, что гистограмму dN можно аппроксимировать смесью двух нормальных распределений с отчетливо различающимися свойствами. Первый и второй компоненты смеси есть, в основном, характеристики относительно слабых и сильных флуктуаций dN , которые ассоциируются с ионосферными эффектами атмосферных гравитационных волн (АГВ) и планетарных волн и приливов соответственно. Отклонения гистограммы dN от нормального распределения наиболее значительны для ночных часов зимой и в равноденствия. Для этих условий слабые флуктуации dN чаще отрицательны ($dN < 0$), сильные флуктуации dN чаще положительны ($dN > 0$). Разный знак слабых и сильных флуктуаций dN и приводит к отчетливому отклонению гистограммы dN от нормального распределения. Гистограмма dh соответствует нормальному распределению за исключением дневных часов зимой или в равноденствия, когда происходит слабое отклонение этой гистограммы от нормального распределения. Отклонения распределения $NmF2$ от нормального распределения асимметричны. Поэтому, например, разница между верхней и нижней квантилями распределения dN может давать информацию о свойствах этого распределения как смеси двух нормальных распределений. Очень сильные флуктуации $NmF2$ часто только положительны. Например, для ночных часов зимой почти все значения $|dN| > 60\%$ положительны. Увеличенная асимметрия гистограммы dN при высоких значениях $|dN|$ не учтена смесью двух нормальных распределений. Следовательно, «хвост» распределения dN не описывается такой смесью. Представлены свойства очень сильных флуктуаций $NmF2$, т.е. «хвоста» распределения dN , полученные по ряду среднеширотных станций. Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 11-05-00200) и Программой Президиума РАН № 22.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ДИНАМИКУ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В АТМОСФЕРЕ И ИОНОСФЕРЕ

Н.И. Ижовкина

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, izhovn@izmiran.ru.

Важную роль в масс-энергетическом переносе в гиротропной ионизованной среде играют плазменные вихри. Показано, что под влиянием геомагнитной активности на вихревые структуры в ионосфере и ионизованных образованиях в атмосфере скорость переноса частиц может изменяться на 10^{-3} - 10^{-2} величины. Вариации геомагнитного поля зависят от гравитационного поля и солнечной активности. Ионосфера и ионизованные образования в атмосфере подвержены изменяющемуся во времени воздействию геомагнитных возмущений. Зоны воздействия имеют планетарный масштаб. Наземные магнитометры позволяют измерить медленные вековые вариации геомагнитного поля, связанные с источниками поля внутри Земли, вариации геомагнитного поля в результате приливных движений ионизованного компонента в направлении, ортогональном геомагнитному полю. В такое движение ионизованный компонент непрерывно вовлекается при столкновениях нейтральных частиц с заряженными частицами. Приливные движения связаны с изменениями гравитационного поля под воздействием Солнца, Луны и других космических тел. МГД-разряды в магнитосфере при натекании на нее потоков солнечной плазмы проявляются в быстрых нерегулярных возмущениях геомагнитного поля. При сильных магнитосферных бурях геомагнитные возмущения наблюдаются по сети наземных станций от авроральной зоны до низких широт.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ НАСЕЛЕННОСТИ СОСТОЯНИЙ ГЕРЦБЕРГА МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА НА ВЫСОТАХ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

А.С. Кириллов

ПГИ РАН, г. Анатиты, Россия, kirillov@pgia.ru

Коэффициенты гашения состояний Герцберга молекулярного кислорода $O_2(c^1\Sigma_u^-, v=0-16)$, $O_2(A^3\Delta_u, v=0-11)$, $O_2(A^3\Sigma_u^+, v=0-10)$ при столкновениях с невозбужденными молекулами CO_2 , CO , N_2 , O_2 рассчитаны согласно аналитическим выражениям, полученным на основании приближения Розена-Зинера. Расчеты показали важную роль электронно-колебательных (EV) процессов переноса энергии в гашении указанных состояний. Рассчитанные константы используются при моделировании колебательных населенностей состояний Герцберга в свечении неба верхних атмосфер Венеры и Марса, где доминирует углекислый газ. Проводится сравнение результатов расчета с аналогичными населенностями, полученными для атмосферы Земли. Результаты расчетов показали, что учет запрещенного по спине EV взаимодействия $O_2(A^3\Delta_u, v)$ с CO_2 молекулами может привести к лучшему согласию со спектральными наблюдениями с летательных аппаратов Венера-9 и Венера-10 и данными лабораторных экспериментов.

КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ

Л.В. Козак¹, А. Одзимек, В.Н. Ивченко

¹ *Кафедра астрономии и физики космоса Киевского национального университета им. Тараса Шевченка, kozak@univ.kiev.ua*

² *Отделение физики атмосферы института геофизики Польской академии наук*

В работе сделан обзор и анализ условий возникновения кратковременных оптических явлений (TLE) в атмосфере Земли, таких как: спрайты, эльфы, голубые джеты и молнии вверх. Указаны закономерности их возникновения и проявлений. Проведены наблюдения спрайтов на горе «Кошка» Крымской астрофизической обсерватории с 27.07.11 по 09.08.11 в результате которых получено 6 видео TLE над Черным морем. Комплекс аппаратуры для наблюдений состоял из видео камеры (Watec 902H), захватчика кадров, GPS приемника и ноутбука с соответствующим программным обеспечением. Используя калибровочную кривую, построенную по внефокальным изображениям Веги, удалось оценить энергию свечения атмосферы в оптическом диапазоне от кратковременных оптических явлений (спрайтов) и высоту их возникновения. При построении калибровочной зависимости были учтены: спектр звезды, атмосферное поглощение и спектральная чувствительность камеры. Кроме того, проведено моделирование временной и пространственной динамики электрического поля при внесении заряда в систему Земля-ионосфера и сравнение полученных результатов с аналитическим решением.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ОТКЛИК ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ, ЕГО ПЛАЗМОСФЕРНОЙ ЧАСТИ, СРЕДНЕ- И ВЫСОКОШИРОТНОЙ F ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НА ГЕОМАГНИТНУЮ БУРЮ 26-29 СЕНТЯБРЯ 2011 ГОДА

**В.В. Клименко¹, М.В. Клименко¹, И.Е. Захаренкова¹, Ю.В. Черняк¹,
К.Г. Ратовский², А.Е. Степанов³**

¹ *ЗО ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru*

² *ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия*

³ *ИКФИА СО РАН, Якутск, Россия*

В данной работе представлены результаты исследования ионосферно-плазмосферных эффектов геомагнитной бури 26-29 января 2011 года, полученные с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП). При моделировании ионосферных эффектов геомагнитной бури использовалась постановка задачи, в которой входные параметры модели такие, как разность потенциалов через полярные шапки и продольные токи второй зоны задавались зависящими от AE-индекса геомагнитной активности. Проведено сравнение результатов модельных расчетов с данными наблюдений высокоширотных и среднеширотных станций наземного зондирования ионосферы. Рассмотрены физические механизмы, ответственные за формирование ионосферных эффектов геомагнитной бури на различных этапах ее развития. Представлены результаты сравнительного анализа модельных расчетов и данных наблюдений эффектов геомагнитной бури в полном электронном содержании и в его плазмосферной части в различные моменты местного времени и на различных фазах геомагнитной бури. Приведены оценки вклада электронной концентрации на различных высотах плазмосферы в полное электронное содержание, полученные по данным наблюдений GPS и COSMIC и результатам

модельных расчетов. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-31217 и Программы 22 РАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА АКАДЕМИЧЕСКОМ МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»

**С.И. Климов¹, Д.И. Вавилов¹, В.М. Готлиб¹, М.С. Долгонос¹, В.Н. Каредин¹,
Д.И. Новиков¹, В.Е. Корепанов², Ф.Л. Дудкин², Ч. Ференц³, Л. Боднар³**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sklimov@iki.rssi.ru

² ЛЦ ИКИ НАН-ГКА Украины, г. Львов

³ Университет им. Этвоша, г. Будапешт

Академический микроспутник «Чибис-М», изготовленный в ИКИ РАН совместно с кооперацией, 25 января 2012г. был выведен с использованием инфраструктуры Российского сегмента МКС на круговую орбиту ~500 км. С наклоном 52°. Комплекс научной аппаратуры (КНА «Гроза») микроспутника (МС) предназначен для исследования физических процессов, сопровождающих высотные атмосферные грозовые разряды. В КНА «Гроза» [1], в частности, входят: - Радиочастотный (26-48 МГц) анализатор – РЧА (ИКИ РАН). - Магнитно-волновой комплекс (МВК) в составе двух комбинированных волновых зондов (КВ31, КВ32) и одного индукционного магнитометра (ИМ), созданных в Львовском Центре ИКД НАНУ-ГКА Украины, и прибора спектрального анализа ПСА (разработка VL-Eelectronics, Венгрия). МВК предназначен для изучения электромагнитных параметров в диапазоне частот 0,1 – 40 кГц с целью исследования вариаций плазменно-волновых процессов в ионосфере, происходящих под влиянием грозовой активности, а также процессов в системе ЛАИМ (Литосфера-Атмосфера-Ионосфера-Магнитосфера). Реализованная на борту МС конфигурация датчиков МВК позволяет провести векторные измерения магнитной компоненты КНЧ-ОНЧ эмиссий, а также одну компоненту электрического поля Е. В работе проанализированы, в частности, результаты измерений на нескольких орбитах в октябре 2012 г., свидетельствующие об увеличении интенсивных излучений в субавроральных областях ($L > 4$) в ходе развития геомагнитной бури. В ходе измерений волновой формы 4-х компонент электромагнитного поля, проведенных в приэкваториальных областях, зарегистрированы электронные и ионные атмосферерики и ряд других видов КНЧ-ОНЧ излучений. Особое внимание в работе уделено анализу скореллированных измерений МВК и РЧА, особенно в периоды выработки прибором РЧА триггера события (грозового разряда) [2], транслируемого в МВК, что обеспечивает взаимную временную привязку событий с погрешностью в несколько микросекунд. Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 09-05-13587-офи_ц, 10-05-93107-НЦНИЛ_а и контрактов ГКАУ № 1436 и НАНУ № 1553.

[1]. Миссия «Чибис-М». Сборник трудов выездного семинара, серия «Механика, управление и информатика»/Под ред. Р.Р.Назирова. М.: ИКИ РАН, 2009, 139 с.: табл., ил., цв.ил. <http://www.cosmos.ru/books/2009chibis-m.pdf>.

[2]. Зелёный, Л.М., В.Н.Ангаров, М.Б.Добряня, В.М.Готлиб, С.И.Климов, В.Г.Родин, В.Н.Назаров, А.В.Гуревич, Г.К.Гарипов, М.И.Панасюк, С.И.Свертилов. Исследования физических процессов при высотных атмосферных грозовых разрядах. Академический микроспутник «Чибис-М». VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012г., Санкт-Петербург, Сборник трудов, с. 81.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ ВЫСЫПАЮЩИХСЯ ЧАСТИЦ В ПУЛЬСИРУЮЩИХ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЯХ

Б.В. Козелов, Е.Е. Титова

ПГИ КНЦ РАН, г. Ананьин, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com

Данные наземного комплекса авроральных камер анализировались для определения пространственно-временных характеристик потоков высыпающихся частиц в пульсирующей авроре. Весь комплекс состоит из 5 авроральных камер с различным полем зрения, что позволяет регистрировать как крупномасштабные пульсирующие пятна, так и мелкие (~100 м) детали в пульсирующих формах. Наблюдения из двух точек вблизи магнитного зенита дают возможность определить высоту максимума интенсивности авроральной формы, а абсолютная калибровка интенсивности свечения – оценить поток высыпающихся частиц. Результаты анализа наблюдаемой тонкой пространственно-временной структуры пульсирующих сияний сравниваются с существующими теоретическими представлениями.

АВРОРАЛЬНОЕ КИЛОМЕТРОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ИНДИКАТОР НАГРЕВА ИОНОСФЕРЫ

**М.М. Могилевский, И.Л. Моисеенко, Т.В. Романцова,
Д.В. Чугунин**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Предпосылками использования аврорального километрового радиоизлучения (АКР) для мониторинга состояния ионосферы являются, по крайней мере, два ранее изученных явления: сезонные вариации спектра АКР и формирование барстерной структуры. Различие среднего спектра АКР в летнее и зимнее время было обнаружено по измерениям на спутниках АКЕБОНО и ПОЛАР. Это изменение интерпретировалось как результат изменения плотности восходящих потоков плазмы для освещенной (летом) и неосвещенной (зимой) ионосферы. Один из возможных механизмов формирования барстреров – появления вспышек АКР в начале и конце цуга излучения, также связан с влиянием восходящих потоков ионосферной плазмы на условия развития циклотронной мазерной неустойчивости в области источника. Мы использовали измерения АКР на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 во время совместного эксперимента с нагревным стендом в Тромсе. При пролете спутника через силовую трубку, сопряженную с искусственно нагретой ионосферой, было обнаружено понижение интенсивности излучения в 10-30 раз. Такое понижение может быть связано с подавлением АКР потоками ионосферной плазмы из области нагрева. Частотная зависимость границы спада интенсивности позволяет оценить скорость распространения плазмы вдоль силовой трубки. Полученные значения находятся в удовлетворительном соответствии с результатами модельных оценок, полученных в МГД приближении.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ СПОРАДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ РАДИОЗАТМЕННЫМ МЕТОДОМ НА ТРАССАХ СПУТНИК-СПУТНИК

В.А. Ануфриев, С.С. Матюгов, А.Г. Павельев, О.И. Яковлев

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Моск. обл., Россия, alxndr38@mail.ru

Спорадические, нерегулярно наблюдающиеся слои повышенной электронной концентрации в нижней ионосфере, ранее изучались методом высотно-частотного зондирования наземными ионосферными станциями, а также с помощью пусков геофизических ракет. Появление E_s - структур может быть обусловлено различными причинами: электрическими полями, высыпанием энергичных частиц из радиационных поясов Земли, переносом долгоживущих ионов под воздействием планетарных волн и магнитного поля в зоне ветрового сдвига. Новые возможности изучения спорадических образований появились при использовании метода радиозатменного зондирования ионосферы на трассах спутник-спутник. Влияние ионосферных слоев на амплитуду и фазу сигнала рассматривалось в ряде работ для классификации, изучения структуры и механизма образования плазменных структур в околоземном пространстве. В данном сообщении рассмотрена связь между вариациями амплитуды и фазы радиозатменного сигнала, возникающими из-за воздействия плазменных образований, и на основе указанной связи проведена классификация морфологических особенностей спорадических структур в нижней ионосфере. Радиозатменный метод позволяет определять параметры ионосферы по результатам измерений амплитуды и фазы дециметровых радиоволн при разной высоте лучевой линии над поверхностью в различных районах Земли. По измерениям амплитуды и фазы сигнала определяются высота верхней и нижней границ слоев, высотная зависимость электронной концентрации и степень неоднородности ионосферы. В результате проведенного анализа, с учетом различий в проявлении воздействия наблюдаемых E_s - структур на амплитуду и фазу радиосигнала, спорадические структуры разделены на следующие группы: - группа А - E_s - структуры с толщиной слоя $\Delta h > 6$ км и значительным приращением интегральной электронной концентрации ΔI в нем, составляющим $\Delta I > 2$ ТЕС; - группа В - тонкие слои с $\Delta h \approx 1-2$ км и небольшим приращением интегральной электронной концентрации $\Delta I \approx 0,2$ ТЕС; - к группе С отнесены спорадические структуры приводящие к значительным флуктуациям амплитуды и фазы, обусловленным сильной неоднородностью нижней ионосферы, при которой затруднительно определить толщину слоя и приращение интегральной электронной концентрации; - группа D включает E_s - структуры с явно выраженными границами и дифракционными эффектами в изменениях амплитуды на этих высотах. Выделение четырех групп спорадических образований по характеру их влияния на параметры зондирующего сигнала является достаточно условным, так как могут наблюдаться одновременно несколько эффектов, обусловленных разными ионосферными процессами. Разработана методика определения высотных профилей градиентов электронной концентрации на основе связи между вариациями амплитуды и фазы радиоволн, вызванных ионосферными спорадическими структурами. Работа частично поддержана Программой 22 Президиума РАН.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫСОКОШИРОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ПО ДАННЫМ ВИРТУАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ СТАНЦИЙ СЕТИ «BEAR»

А.В. Петленко, Ю.А. Копытенко

СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, Россия, petlenko.58@mail.ru

Данные магнитовариационных станций сети «BEAR» (Baltic Electromagnetic Array Research) за период измерений поля геомагнитных пульсаций 18-20UT 09 июля 1998 г. использованы для локализации их ионосферных источников. Среднее расстояние между станциями сети (~250 км) позволяет находить положения источников пульсаций типа Pi2 с характерными размерами ~100 км в диапазоне частот $(5-10) \times 10^{-3}$ Гц. Перераспределение интенсивности локальных ионосферных источников Pi2 за время, меньшее полупериода их следования определяет их структурную принадлежность одной и той же 3D токовой системе генерации Pi2. Однако вклады источников, формирующих тонкую структуру поля Pi2, искажаются полем мелкомасштабных (~50 км) источников, фиксируемых одновременно только одной, или двумя станциями сети «BEAR», что препятствует определению их положения и интенсивности. По результатам построения последовательностей 2D распределений фильтрованных компонент поля в работе восстанавливается их поведение во времени в узлах равномерной сети, составляющей основу построения. Тем самым имитируется измерение близких спектральных составляющих векторных компонент в точках размещения этих узлов, отстоящих друг от друга на расстоянии менее 20 км. Градиентные измерения поля на малой базе, образованной шагом равномерной сети, в трех смежных узлах интерпретируются как данные виртуальных станций, обеспечивающие однородность условий измерения поля мелкомасштабного источника и одного из локальных ионосферных источников Pi2 на каждом полупериоде их следования. Применяя метод градиентного анализа поля к данным виртуальных станций, разделяем вклады источников и определяем их положения за время генерации цуга Pi2. Используя модель перераспределения интенсивности источников движением локальных ионосферных токов по ломаным траекториям Леви блужданий, восстанавливаем поведение компонент поля в полосе частот $(5-10) \times 10^{-3}$ Гц и распределение спектральных составляющих компонент в каждый момент времени. Градиенты поля виртуальных станций сопоставляются с особенностями спектрального и пространственного поведения поля пульсаций, измеренного на базе менее 10 км на трех субавторальных магнитовариационных станциях в окрестности пос. Лехта (64.43° N, 33.97° E), в период 18:30-19:30 UT 08 сентября 2008 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПЕДАНСА СИСТЕМЫ МАГНИТОСФЕРА-ИОНОСФЕРА- АТМОСФЕРА-ЗЕМЛЯ ПО ДАННЫМ ИОНОСФЕРНЫХ РАДАРОВ, НАЗЕМНЫХ МАГНИТОМЕТРОВ И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

В.А. Пилипенко¹, Е.Н. Федоров², В.Б. Белаховский³, А.В. Козловский⁴

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru

² ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

³ ПГИ РАН, г. Апатиты, Россия

⁴ Университет Оулу, Финляндия

Синхронные наблюдения электрического поля УНЧ волны ионосферными радарными и ее магнитного поля наземными магнитометрами дают возможность определения эффективного входного импеданса системы магнитосфера-ионосфера-атмосфера-Земля и определения типа

МГД моды волны. Эта методика применена для определения физической природы глобальных Pc5 волн, зарегистрированных на радаре EISCAT и сети IMAGE на восстановительной фазе сильной магнитной бури 31.10.2003. Теоретической основой этого метода является теория взаимодействия МГД волн с ионосферой в приближении тонкого слоя. Построенная теоретическая модель позволила проинтерпретировать наблюдения Pi2 пульсаций на средних широтах на радаре SuperDARN (Hokkaido) и сети магнитных станций на Дальнем Востоке. Продемонстрирована возможность определения моды МГД колебаний, ответственной за низкоширотные Pi2 пульсации, по данным низкоорбитального спутника CHAMP. Скоординированные наблюдения на сети IMAGE и радаре EISCAT обнаружили неожиданно глубокую (до ~60%) модуляцию Pc5 пульсациями электронной плотности в E-слое, интегральной по высоте ионосферной проводимости, и ионной температуры в F-слое, при отсутствии квази-периодического высыпания энергичных электронов. В основе наблюдаемых модуляционных эффектов возможно лежат джоулев нагрев ионосферы электрическим полем УНЧ волны, и опустошение/подкачка электронного содержания нижней ионосферы продольным током, переносимым альвеновской волной.

РОЛЬ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ В ФОРМИРОВАНИИ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

С.А. Пулинец¹, Д.В. Давиденко²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pulse@rssi.ru

² ИПГ Росгидромета, г. Москва, Россия

Глобальная электрическая цепь представляет собой природный электрогенератор, который за счет глобальной грозовой активности заряжает ионосферу Земли положительно относительно земной поверхности. Цепь замыкается через области хорошей погоды, при этом плотность тока хорошей погоды в среднем составляет $4 \cdot 10^{-12}$ А/м². Основная часть падения напряжения между землей и ионосферой обеспечивается пограничным слоем атмосферы ввиду его крайне низкой проводимости. Однако резкое изменение проводимости пограничного слоя (как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения) может приводить к локальным изменениям потенциала ионосферы относительно земли, и, соответственно, к образованию локальных неоднородностей электронной концентрации. В работе приводятся примеры образования в космической плазме таких неоднородностей, источником которых являются как причины природного характера, резко изменяющие проводимость пограничного слоя (песчаные бури, землетрясения, ураганы, урановые месторождения), так и имеющие антропогенную природу (аварии на атомных электростанциях, испытания ядерного оружия и др.). В ряде случаев неоднородности возникают не только над областью с модифицированной проводимостью пограничного слоя, но и в магнитосопряженной точке, что свидетельствует о модификации всей магнитосферной трубки, опирающейся на область аномальной проводимости. Описан физический механизм формирования таких неоднородностей в низкоширотной ионосфере.

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ПЛАЗМЕННЫХ «ПУЗЫРЕЙ» ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ВЫСОТАХ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ОТДЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ КОМПОНЕНТЕ – ИОНАМ He^+

Л.Н. Сидорова, С.В. Филиппов

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, lsid@izmiran.ru

Исследован вопрос о возможности наблюдения плазменных «пузырей» экваториального происхождения на высотах верхней ионосферы по их отдельной плазменной компоненте – ионам He^+ . Этот вопрос возник в ходе исследований (Sidorova, Adv. Space Res., 2004, 2007; Сидорова, Геомагнетизм и аэрномия, 2008; Sidorova, Filippov, J. Atm. Solar-Terr. Phys., 2012), свидетельствующих о генетической связи областей пониженной концентрации He^+ (субпровалов) и экваториальных плазменных «пузырей». Для этого были рассчитаны и сравнены между собой характерные времена основных аэрномических и электродинамических процессов, в которые вовлечен сам «пузырь» и его минорная ионная компонента - He^+ . Проведен анализ условий и факторов, связанных с солнечной активностью и благоприятствующих наблюдениям плазменных «пузырей» на высотах верхней ионосферы в концентрации He^+ . Привлечены численные расчеты, проведенные на основе модели SAMIS3 (3D модель экваториального F-рассеяния) и любезно предоставленные Дж. Хубой (USA). Выявлено, что плазменные «пузыри», достигшие своих предельных высот, могут существовать в течение нескольких дней, и, что имеется принципиальная возможность наблюдать их по отдельной плазменной компоненте - He^+ .

АНОМАЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ТЕПЛОВЫЕ СТРУКТУРЫ ЗАПЫЛЁННОГО НОЧНОГО АВРОРАЛЬНОГО ДИНАМО СЛОЯ

Е.Е. Тимофеев¹, С.Л. Шалимов^{2,3}, О.Г. Чхетиани^{3,4}

¹ *Государственная морская академия им. адм. С.О. Макарова, С.-Петербург, Россия*

² *ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

³ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

⁴ *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

Аномальное охлаждение электронов динамо слоя (ДС) авроральной ионосферы, было выявлено в работе (Timofeev et al., 2003) в условиях малых (ниже порога ФБ-неустойчивости) электрических полей. С целью дальнейшего изучения эффекта в настоящей работе исследованы пространственные и временные вариации ионной (T_i) и электронной (T_e) температур, измеряемых системой радаров EISCAT на высотах ДС, в зените авроральной обсерватории Тромсё. Для анализа отобрано около 6-ти часов измерений вблизи местной магнитной полуночи, выполненных в ходе 2-х авроральных суббурь 15 и 23 марта 1988 при минимальном временном разрешении радара (45 с). Для сглаживания разброса температур применялся метод скользящего среднего с выбором оптимальной ширины корреляционного окна. Сглаживаются и другие ионосферные параметры: величина электронной плотности (N_e) и компоненты вектора ионосферного электрического поля (E -поля). В результате анализа показано, что: 1) температурная аномалия с охлаждением электронов (по отношению к температуре ионов) на величину от $\sim 15\text{K}$ до $\sim 140\text{K}$ регистрировалась в более чем половине всего интервала измерений, 2) в областях аномалии величина N_e постоянно превышала уровень $\sim 5 \cdot 10^4 / \text{см}^3$, а при кратковременных (5-15 минут) инверсиях к режиму ФБ-перегрева ($T_e > T_i$), наоборот, была ниже указанного уровня,

3) на интервалах от 3 до 20 минут наблюдался нагрев ионов, который сопровождался охлаждением электронов и наоборот, 4) на интервалах 30-45 минут наблюдались противофазные волновые вариации Тэ и Ne; при этом охлаждение электронов примерно вдвое по величине превышало нагрев ионов при типичной величине термо-аномалии $\geq 50\text{K}$, а величины Е-поля не превышали порога ФБ-неустойчивости (15-20 мВ/м), 5) в условиях же резкого перехода плазмы в аномальное состояние, когда Тэ спадает на величину от ~ 30 до $\sim 140\text{ K}$ за время от 7-10 минут, импульсное охлаждение электронов может начинаться и при величинах Е-поля превышающих ФБ-порог, 6) в периоды медленных вариаций модуля вектора ионосферного электрического поля, (как правило, не более 1-2 мВ/м в минуту) регистрировались квазистационарные тепловые структуры с пространственными масштабами от 7 до 45 км; при этом вектор Е-поля находился преимущественно в юго-западном квадранте. Дана физическая интерпретация основной части описанных выше результатов, основанная на гипотезе о конкуренции двух факторов. кулоновских сил заряженных макро-частиц пыли, обеспечивающих жёсткость структуры плазменно-пылевого кристалла, и порождаемой неустойчивостью Фарлея-Бунемана (ФБ) плазменной турбулентностью, стремящейся разрушить эту структуру. Механизмом генерации тепловых структур может быть, например, нелинейная стадия неустойчивости экмановского типа.

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ В АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

А.А. Чернышов¹, М. М. Могилевский¹, Б. В. Козелов²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, achernyshov@iki.rssi.ru

² ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

В работе показано, что наблюдаемый в авроральной области скейлинг во флуктуациях электрических полей и в авроральном свечении хорошо согласуется соценками, полученными из условий протекания токов в структурированной ионосфере, которая характеризуется фрактальным пространственным распределением педерсеновской и холловской проводимости. С использованием хорошо известных в литературе полуэмпирических соотношений аналитически выведены топологические величины (фрактальные размерности и индексы связности), характеризующие пространственную структурупроводимости Педерсена и проводимости Холла на ночной стороне авроральной области. Проанализированы ограничения, накладываемые на эти величины условием перколяции (протекания) ионосферных токов. Результаты теоретических оценок позволяют оценить свойства плазмы и токов в ионосфере. Показано, что наблюдаемый в авроральной зоне скейлинг во флуктуациях электрических полей и авроральном свечении хорошо согласуется с полученными оценками. Соответствие теоретических оценок и результатов экспериментов указывает на правомерность применения фрактальных методов исследования для описания различных процессов в авроральной области Земли.

CORRECTION OF ANALYTICAL SOLUTIONS OF CONTINUITY EQUATION AND ITS IMPLICATIONS FOR INTERPRETATION OF HXR AND MW EMISSION IN SOLAR FLARES

R. Dobranskis, V.V. Zharkova¹ and I. Tahreem

Department of Mathematics, University of Bradford, UK, v.v.zharkova@brad.ac.uk;

In this paper we refine the analytical solutions of the continuity equations found with the method of characteristics for two types of energy losses: collisional (Syrovatsky and Shmeleva, 1982) and Ohmic ones (Zharkova and Gordovskyy, 2006) for electron beams with different parameters precipitating into flaring atmospheres with different physical conditions. We show that exact solutions imply the appearance of the exponential factors in from of the previous solutions, which define the particle differential spectra at lower energies and modify their initial lower energy cutoffs. We also present the analytic solutions, which are easy to use for calculations of electron mean spectra and HXR and MW emission without solutions of Fokker-Planck equations and show the close links between the analytic (continuity equations) and numeric solutions (Fokker-Planck equations), and the role of new analytic solutions in defining Langmuir turbulence and formation of the returning electron beams.

Syrovatskyy S.I. and Shmeleva O.P. 1972, Sov. Astron J., 49, 334

Zharkova, V. V., & Gordovskyy, M. 2006, ApJ, 651, 553

С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОБНАРУЖЕНИЕ И ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТОГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В СРЕДЕ С КОНЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

О.М. Бархатова, Н.А. Бархатов, Р.И. Серебрякова

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
o.barkhatova@inbox.ru*

История первых обнаружений магнитогравитационных возмущений (МГВ) по наземным наблюдениям связана с искусственными высокоэнергичными экспериментами в атмосфере Земли. Действительно, учет совместного влияния магнитного поля и силы тяжести в уравнениях гидродинамики позволяет предположить их существование, если выполнены условия слабого поглощения. Предлагаемое исследование явления магнитогравитационных волн направлено на подтверждение возможности обнаружения их плазменных и магнитных параметров, обусловленных полярной возмущенностью. Полученные экспериментальные результаты сопоставляются с соответствующими оценками, сделанными на основе анализа дисперсионных соотношений для МГВ, распространяющихся в высокоширотной ионосфере с конечной проводимостью. По данным ионосферных и магнитных станций выполнен поиск МГВ в ионосфере, генерируемых восточным электроджетом (AU), на основе анализа параллельных динамических спектров возмущений индекса AU, возмущений плотности ионосферного слоя F2 и горизонтальной компоненты геомагнитного поля. В результате обнаружены события, в пределах которых наблюдается согласованность спектральных особенностей индекса и возмущений на ионосферных магнитных станциях. Отмечается высокая синхронность ионосферных и магнитных возмущений на различных станциях, что свидетельствует о существовании волн, содержащих плазменную и магнитную компоненты, и говорит о высоких скоростях распространения МГВ по сравнению с классическими внутренними гравитационными волнами. Экспериментальные оценки дают значения скоростей порядка 2000 м/с для характерных наблюдаемых частот диапазона $10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-4}$ Гц. Принимая во внимание согласованность наблюдений МГВ с возмущениями индекса AU, и предполагая генерацию МГВ восточным электроджетом, выполнено сопоставление динамических спектров горизонтальных компонент геомагнитного поля на станциях, расположенных на близких геомагнитных меридианах. Оно продемонстрировало направленное распространение МГВ из авроральной области к низким широтам в пределах магнитных долгот $1.6^\circ - 1.9^\circ$. Дисперсионный анализ МГВ в ионосферной среде с конечной проводимостью позволил выполнить аналитическую оценку их фазовых и групповых скоростей для распространяющихся мод. Значения полученных скоростей составляют около 3000-4000 м/с. В характерном диапазоне частот они согласуются с экспериментально обнаруженными. Таким образом, сопоставление экспериментальных и аналитических результатов свидетельствует об ответственности МГВ за часть перемещающихся ионосферных возмущений, которые могут быть связаны с высокоэнергичными событиями в околоземном пространстве. Высокая скорость распространения МГВ является важным достоинством при манифестации таких событий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АВРОРАЛЬНЫХ Pc5 ПУЛЬСАЦИЙ И ИХ СВЯЗИ С ОДНОВРЕМЕННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ В ГЕОМАГНИТНОМ ПОЛЕ И РИОМЕТРИЧЕСКОМ ПОГЛОЩЕНИИ

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко²

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

² ИФЗ им. О.Ю. Шмидта, г. Москва, Россия

Исследованы утренние авроральные Pc5 пульсации и их связь с одновременными пульсациями того же диапазона в геомагнитном поле и риометрическом поглощении по данным сетей CARISMA, NORSTAR и ст. ПГИ Баренцбург. Для наблюдения за полярными сияниями использованы данные меридиональных сканирующих фотометров. Для геомагнитных Pc5 пульсаций наблюдается ряд резонансных свойств: уменьшение частоты с увеличением геомагнитной широты, кажущееся распространение с низких широт к более высоким. Геомагнитные Pc5 пульсации сопровождаются соответствующими пульсациями в полярных сияниях в эмиссиях 557.7, 630.0, 471 нм. Обнаружено, что для авроральных Pc5 пульсаций также наблюдается кажущееся распространение с низких широт к более высоким. Авроральные и геомагнитные Pc5 пульсации сопровождаются соответствующими Pc5 пульсациями в риометрическом поглощении с той же частотой. Авроральные Pc5 пульсации наблюдаются в более узком широтном интервале, чем геомагнитные Pc5 пульсации, что говорит о том, что геомагнитные пульсации являются источником соответствующих пульсаций в сияниях. Анализ отношения интенсивностей авроральных эмиссий 557.7/630.0 показывает, что при появлении Pc5 пульсаций происходит периодическое ускорение авроральных электронов.

МОДУЛЯЦИЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ГЕОМАГНИТНЫМИ Pc5 ПУЛЬСАЦИЯМИ

В.А. Пилипенко¹, В.Б. Белаховский², Д. Мюрр³, М. Терамото⁴

¹ ИФЗ им. О.Ю. Шмидта, г. Москва, Россия

² ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

³ Центр космической физики, Аугсбург Колледж, Миннеаполис, США

⁴ Лаборатория околоземной космической среды, Нагойя, Япония

Исследована связь полного электронного содержания ионосферы (TEC), определяемого по данным сети GPS приемников в Скандинавии и Канаде, с глобальными Pc5 волнами на восстановительной фазе сильных магнитных бурь 29-31.10.2003. Впервые показано, что геомагнитные Pc5 пульсации могут вызывать одновременные пульсации TEC, наблюдаемыми в достаточно большом интервале широт (~58-75° CGM). Вейвлет-анализ показывает близость частот в вариациях геомагнитного поля и TEC, когерентность между данными вариациями составляет более 0.9. Глубина модуляции в TEC достигает 10%, в то время как глубина модуляции в геомагнитном поле составляет всего 2-3%. Возможный механизм модуляции TEC МГД волной пока не отождествлен: он может быть связан с переносом плазмы продольными токами альвеновской волны, осцилляциями резкой поперечной неоднородности ионосферной плазмы, или наличием магнитозвуковой компоненты в поле волны.

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР ИОНОСФЕРЫ В РАДИОЗАТМЕННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

**А.Л. Гаврик, Ю.А. Гаврик, Т.Ф. Копнина,
Е.А. Кулешов, А.А. Смыслов**

ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@ire216.msk.su

Радиозатмения осуществляются во многих космических миссиях. Цель данной работы – показать возможность исследования стратифицированных слоев в системе атмосфера-ионосфера по вариациям параметров сигналов в радиозатменных экспериментах. Создание метода диагностики среды на основе принципа адиабатической инвариантности позволит анализировать функциональные связи регистрируемых параметров радиосигналов без использования интегральных преобразований, применяемых при решении обратной задачи радиопросвечивания, что увеличит чувствительность метода радиозатмений к малым вариациям показателя преломления среды. Принцип адиабатической инвариантности, положенный в основу предлагаемого метода, позволит выявить существование связей между явлениями, которые раньше казались независимыми. Адиабатический инвариант сохраняется при трансформации радиополя в процессе перемещения радиолуча по ионосфере и нейтральной атмосфере, поэтому метод будет хорошо адаптирован к задаче экспериментального обнаружения взаимосвязанных колебаний плотности нейтральной и ионизированной среды вблизи нижней границы ионосферы. К настоящему времени по 155 профилям концентрации электронов, полученным из радиозатменных данных станций ВЕНЕРА-15,-16, выявлены закономерности вариаций электронной концентрации при изменении условий освещенности Солнцем [1]. Однако не исследована тонкая структура нижней ионосферы, т.к. использование общепринятой методики решения обратной задачи для определения концентрации электронов приводит к систематической погрешности, искажающей сведения о структуре плазменных слоев вблизи нижней границы ионосферы. В докладе обсуждается новая методика определения электронной концентрации в нижних ионизированных слоях ионосферы Венеры, которая обеспечит качественно новый уровень исследований структуры ионосферы и возможность анализа волновых процессов по данным экспериментов двухчастотного радиопросвечивания. Результаты моделирования и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в дневной ионосфере Венеры можно определить местоположение слабоионизированных нижних слоев ионосферы и профиль электронной концентрации на высотах 80...120 км. Представленный метод диагностики ионосферы можно применять для анализа стратифицированных структур при радиопросвечивании атмосфер и ионосфер планет и Земли, а также при зондировании околосолнечной плазмы и кометных оболочек. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 22 Президиума РАН и гранта РФФИ № 13-02-01411.

- [1]. Арманд Н.А., Гуляев Ю.В., Гаврик А.Л. и др. Результаты исследований солнечного ветра и ионосфер планет радиофизическими методами // Успехи физических наук. 2010. Т. 180. № 5. С. 34-40. http://ufn.ru/ufn10/ufn10_5/Russian/r105j.pdf.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ АСИММЕТРИИ В ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

Т.Л. Гуляева¹, Ф. Арикан² и И.С. Веселовский^{3,4}

¹ ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, gulyaeva@izmiran.ru

² Университет Хасеттепе, Анкара 06800, Турция, arikan@hacettepe.edu.tr

³ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, veselov@dec1.sinp.msu.ru

⁴ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Оценка глобального электронного содержания, ГЭС (Афраймович и др., 2006, 2008) по картам GIM-TEC модифицирована в данной работе с учетом изменений электронной плотности с высотой в сферическом сегменте околоземного космического пространства, ОКП, до орбиты навигационных спутников системы GPS, 20200 км (Gulyaeva and Veselovsky, 2012). Международная модель ионосферы и плазмосферы Земли, ИРИ-Плаз, используется для трехмерной реконструкции (в зависимости от широты, долготы и высоты над Землей) эффективного электронного содержания в полном объеме сферического слоя ОКП по карте GIM-TEC. Результаты расчетов ГЭС за период 1999-2012 подтверждают известную по литературе глобальную годовую асимметрию плотности плазмы, с превышением плотности ионизованной плазмы и нейтральной верхней атмосферы в январе по сравнению с летним солнцестоянием на величину $\sim 10\text{-}30\%$ (Mendillo et al., 2005; Rishbeth and Muller-Wodarg, 2006; Hocke, 2008). Учитывая измерительные, вычислительные и модельные погрешности при расчете глобальных карт GIM-TEC, полученных по наблюдениям за сигналами навигационных спутников системы GPS и относительно небольшую величину эффекта, не ясно, является ли он реальным или результатом неточностей в картах GIM-TEC из-за неравномерной сети приемников GPS, с большими пробелами над океанами. С этой целью выполнены расчеты годового планетарного электронного содержания по наблюдениям альтиметра на спутниках TOPEX/JASON за период 2001-2007. Результаты подтверждают наличие годовой асимметрии плотности плазмы на высотах от поверхности Земли до орбиты TOPEX/JASON (1336 км) над океанами. Возможные причины годовой асимметрии плотности ионосферной плазмы обсуждаются в докладе. Работа выполнена при поддержке совместного гранта РФФИ 11-02-91370-СТ_а и ТУБИТАК ЕЕЕАГ 110Е296.

УНЧ ОТКЛИК НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР ИОНОСФЕРЫ В ФОНОВОМ МАГНИТНОМ ШУМЕ.

Е.Н. Ермакова, Д.С. Котик, А.В. Першин, А.В. Рябов

НИРФИ, г. Н.Новгород, Россия, l.ermakova@nirfi.sci-nnov.ru

Работа посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям влияния возмущений неоднородных структур ионосферы – ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) и суб-ИАР на спектры фонового шума в диапазоне частот 0.1-15 Гц: анализируются параметры резонансной структуры спектра (РСС), широкополосного спектрального максимума (ШСМ) и тонкой структуры спектра. Измерения магнитных компонент шума проводились в приемном пункте НИРФИ (Нижегородская область, 55.97 с.ш., 45.74 в.д.). На основе моделирования спектров магнитных компонент и поляризационного параметра $\mathcal{E}$ для модели горизонтально неоднородной ионосферы показано, что центральная частота ШСМ и граничная частота в спектрах параметра $\mathcal{E}$, отделяющая отрицательные значения от

положительных, совпадают. Расчеты для спектра параметра поляризации Э показали, что $f_{\alpha\delta}$ не зависит от направления на источник и определяется параметрами локальной ионосферы. Поэтому исследование экспериментальных спектров параметра Э является наиболее адекватным для развития методов диагностики профилей электронной концентрации ионосферы на высотах до 300 км. По данным мониторинга 2010-2012 гг. на среднеширотном пункте «Новая Жизнь» было обнаружено изменение характера суточной динамики широкополосного спектрального максимума (ШСМ) в годы возрастающей солнечной активности, что проявляется в спорадических уменьшениях центральной частоты максимума (часто около полуночи), а также в вариациях граничной частоты, отделяющей в спектрах поляризационного параметра отрицательные значения от положительных. Также обнаружено, что особенности спектра поляризационного параметра, связанные с влиянием структуры суб-ионосферного резонатора (суб-ИАР), имеют сезонную зависимость. Анализ данных ионозонда показал, что такие изменения в суточной динамике, как правило, связаны с перераспределением электронной концентрацией N_e на высотах E-слоя и «долины». Численное моделирование поляризационного параметра компонент магнитного поля, выполненные с использованием модели IRI-2007, не может объяснить долгопериодных вариаций параметров ШСМ на средних и низких широтах. Обнаружены длиннопериодные вариации (от 2 до 6 часов) основных гармоник в резонансной структуре спектра (РСС) среднеширотного фоновое магнитного шума коррелирующие с вариациями концентрации электронов на высотах максимума F-слоя. Абсолютная глубина вариации увеличивалась с ростом номера гармоники и могла достигать 0.5-1.5 Гц. По абсолютным величинам вариации гармоник были сделаны оценки относительных изменений электронной концентрации в F-слое. Полученные значения изменений концентрации соответствовали данным ионозонда. В работе исследуются также особенности тонкой структуры спектра магнитного шума на средних широтах и зависимость ее появления от уровня солнечной активности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-02-00419, 11-02-97104 и Министерства образования и науки РФ, государственный контракт 16.518.11.7066.

НЕОДНОРОДНОСТИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ НАД МЕГАПОЛИСОМ ПО ДАННЫМ СЕТИ GPS-СТАНЦИЙ

В.И. Захаров, В.Е. Куницын, С.И. Ситанский

*Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова г. Москва, Россия,
zvi_555@list.ru; atm_5571@phys.msu.ru*

Работа посвящена исследованиям влияния мегаполиса на возникновения волновых возмущений, проявляющихся на ионосферных высотах над мегаполисом – на примере Москвы во время аномальной жары летом 2010 года. В работе совместно использованы уникальные базы GPS-данных СНГО г. Москвы, IGS, метеорологических данных ГОУ ГМЦ Российской Федерации, профиломеров ЦАО (Долгопрудный) и каф. атмосферы Физического факультета МГУ. Методом GPS-интерферометрии проведен мониторинг ионосферных неоднородностей в период с июня по август 2010г (всего 97 суток; обработано свыше 21 тыс. индивидуальных GPS-наблюдений и около 10 тыс. час метеонаблюдений). Длительность наблюдений позволяет выявить влияние острова тепла – особого термического режима в пограничном слое атмосферы мегаполиса – на нижнюю атмосферу, изменения в которой, в свою очередь могут приводить к возникновению и распространению волновых возмущений в атмосфере. Нами были выделены волноподобные ионосферные неоднородности над крупным мегаполисом, проведено определение их параметров с применением специальных методик. Волновые структуры преимущественно детектируются на расстоянии R от 450 до 550 км и имеют средний угол между волновым вектором и горизонтом $\sim 40^\circ$, что, как и

диапазон скоростей выделенных структур, совпадает с теоретической оценкой для АГВ. Периоды структур лежат в диапазоне 40-120 мин, что соответствует собственным частотам атмосферы (частоты Брендта-Вяйсяля). В результате обработки динамических спектров ионосферных структур определены периоды, когда наблюдались особенно значительные всплески параметра спада спектральной плотности выделенных структур - отклонение от среднего значения на величину более двух выборочных дисперсий. Для верификации полученных результатов проведен анализ метеорологических данных высокого пространственного и временного разрешения по Москве и области за июнь-сентябрь 2010г (всего около 10 тыс часов индивидуальных наблюдений). Кратко суммируя результаты, можно утверждать, что данные исследования являются яркой иллюстрацией важного положения о влиянии нижней атмосферы на процессы в верхней. Методы GPS-интерферометрии с использованием специальных алгоритмов классификации выделенных ионосферных волновых структур позволяют выявлять это влияние по изменениям в параметрах структур. Так, в рассмотренный период мониторинга всплески параметра спада спектра волновых структур практически совпадают с развитием инверсии в ночные и утренние часы (в 94% наблюдаемых случаев всплесков параметра отмечена инверсия в нижнем слое атмосферы). Однако, наличие инверсии не гарантирует резкого изменения этого параметра. В данное время можно утверждать, что одним из вероятных и необходимым, но явно недостаточным условием изменения структуры спектра ионосферных неоднородностей является формирующаяся во время развития ГОТ инверсия температуры в пограничном слое атмосферы. Проведенная работа наряду с общефизическим, имеет несомненно важное экологическое значение, поскольку полученные результаты впервые позволяют начать разработку системы оценивания волновых проявлений развития острова тепла (даже и в аномальных условиях блокирующего антициклона), что может оказаться полезным для построения различных моделей и для прогностических целей.

МНОГОЛУЧЕВАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ДИФРАКЦИИ

Я.А. Илюшин¹, А.Л. Гаврик²

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, ilyushin@physics.msu.ru

² ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@ire216.msk.su

Радиопросвечивание с помощью космических аппаратов является эффективным средством исследования ионосфер планет. Разработка новых более совершенных методов анализа экспериментальных данных, позволяющих получать характеристики ионосферы вблизи ее нижней границы, показала необходимость обеспечения высокого соотношения между эффектами рефракции радиоволны и аппаратурными погрешностями. Для исследования тонкой структуры нижней ионосферы планеты целесообразно применять радиоволны дециметрового диапазона, у которых вариации параметров сигналов, распространяющихся в плазменной оболочке планеты, существенно больше, чем инструментальные флуктуации фазы сигнала, связанные с ограниченной стабильностью бортового опорного осциллятора. Но влияние плазмы на трансформацию низкочастотного сигнала может привести к нарушению условий лучевых приближений, на которых основана интерпретация результатов радиозатмений. В докладе представлены результаты моделирования радиозатмения эксперимента, в котором наземная излучающая антенна, направленная на Венеру, формирует радиополе диаметром ~1 млн. км, а бортовое оборудование спутника планеты принимает когерентные сигналы и осуществляет измерения их интенсивности и фазы. На основе прямого моделирования поля в ионосфере численным

решением параболического уравнения дифракции [1,2] исследованы вариации параметров радиополя вдоль траектории спутника Венеры. Апробация модели проведена с использованием результатов радиозатмений спутников ВЕНЕРА-15,-16. Основное внимание в работе уделено анализу радиофизических эффектов, обусловленных появлением дифракции радиоволн при радиопросвечивании тонких ионизованных слоев вблизи нижней границы ионосферы Венеры. Экспериментальные данные, полученные с помощью спутников ВЕНЕРА-15,-16, предоставили возможность изучить многолучевое распространение радиоволны и дифракционные эффекты, возникающие при распространении сигнала с длиной волны 32 см в сферически симметричной ионосфере. Результаты расчетов выявили критерии, позволяющие по радиозатменным данным определить достоверность использования лучевого приближения для анализа данных зондирования тонких ионизованных слоев. Показано, что наличие линейной связи между периодическими изменениями частоты и энергии электромагнитного излучения, зарегистрированного в процессе радиопросвечивания области нижней границы ионосферы Венеры, свидетельствует об отсутствии многомодового распространения радиоволны или дифракционных эффектов, т.к. обусловлено рефракцией радиоволны при распространении через стратифицированную многослойную периодическую плазменную структуру. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 22 Президиума РАН и гранта РФФИ № 13-02-01411.

- [1]. Ya.A. Ilyushin Fluctuations of the GPS signals on the tangential paths in the lower terrestrial atmosphere: influence of the small-scale structure. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70 (2008) 1863-1869. doi:10.1016/j.jastp.2008.05.020
- [2]. Илюшин Я.А., Захаров В.И. Влияние нерегулярных структур нижней атмосферы на распространение сигналов глобальных спутниковых радионавигационных систем. *Радиотехника* 2009 N.3. С.84-91.

РАСЧЕТ КОНСТАНТ ГАШЕНИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА МОЛЕКУЛАМИ КИСЛОРОДА, АЗОТА, МОНООКСИ УГЛЕРОДА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

А.С. Кириллов

ПГИ РАН, г. Анапты, Россия, kirillov@pgia.ru

Скорости гашения синглетного молекулярного кислорода $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-15)$ в столкновениях с $O_2(X^3\Sigma_g^-, v=0-4)$, $N_2(X^1\Sigma_g^+, v=0-4)$, $CO(X^1\Sigma^+, v=0-4)$ молекулами были рассчитаны согласно аналитическому выражению, основанному на приближении Розена-Зинера. Расчет включал электронно-колебательные (EV) процессы переноса энергии, когда $O_2(b^1\Sigma_g^+)$ молекула переходит в $O_2(a^1\Delta_g)$, а у молекулы-мишени происходит дополнительное колебательное возбуждение у основного состояния. Расчет скоростей гашения $O_2(b^1\Sigma_g^+, v)$ молекул углекислым газом CO_2 учитывал как электронно-колебательные (EV), так и колебательно-колебательные (VV) процессы переноса энергии. Рассчитанные коэффициенты гашения для столкновений $O_2(b^1\Sigma_g^+, v)+CO_2$ показывают хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными как в зависимости от колебательных уровней, так и от температуры. Полученные константы могут быть использованы при анализе электронной кинетики синглетного кислорода в атмосферах планет земной группы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ НИЖНЕЙ, СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ТЕРМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ВНЕЗАПНОГО СТРАТОСФЕРНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

**М.В. Клименко¹, В.В. Клименко¹, Ф.С. Бессараб¹, Ю.Н. Кореньков¹,
Е.В. Розанов^{2,3}, Г.-Л. Лиу⁴**

¹ *ЗО ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Калининград, Россия, maksim.klimenko@mail.ru*

² *P-MO, WRC, Davos, Switzerland*

³ *IACS ETH, Zurich, Switzerland, e.rozanov@pmodwrc.ch*

⁴ *HAO, NCAR, Boulder, CO, USA, liuh@ucar.edu*

В представленных нами ранее результатах исследований отклика системы термосфера-ионосфера на внезапное стратосферное потепление (ВСП) с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосфера, Ионосфера, Протоносфера (ГСМ ТИП) ВСП моделировалось заданием глобального стационарного возмущения $s = 1$ температуры и плотности на нижней границе модели ГСМ ТИП на высоте 80 км. Было показано, что такой модельный подход позволяет воспроизвести наблюдавшиеся во время ВСП глобальные отрицательные возмущения электронной концентрации в F области ионосферы и возмущения нейтральной температуры на высотах мезосферы и нижней термосферы над Иркутском. Следует отметить отсутствие в результатах модельных расчетов предполуденных положительных эффектов ВСП в электронной концентрации на низких широтах, которые активно обсуждаются в последнее время. Для получения более реалистичной картины ионосферных возмущений в периоды ВСП на низких геомагнитных широтах необходимо проведение исследований с привлечением существующих моделей средней и нижней атмосферы. Такие исследования были выполнены нами и их результаты представлены в данной работе. В качестве нижних граничных условий модели ГСМ ТИП использовались значения параметров нейтральной атмосферы на высоте 80 км, рассчитанные в моделях TIME-GCM и CCM SOCOL для условий ВСП 2009 года. Показано, что: (1) существующие теоретические модели нижней атмосферы без привлечения дополнительной коррекции при помощи данных наблюдений не воспроизводят сильных ВСП такого, например, как было в январе 2009 года; (2) слабое ВСП, полученное в модели CCM SOCOL, приводит к очень слабым, хотя и качественно правильным, эффектам в системе термосфера-ионосфера и электродинамике ионосферы, которые оказались меньше, чем эффекты от изменения солнечного склонения при переходе день ото дня; (3) совместное использование модели средней и верхней атмосферы TIME GCM с нижними граничными условиями на высоте 30 км, заданными по данным наблюдений, и модели ГСМ ТИП позволило получить гораздо большие положительные эффекты в ионосфере во время ВСП. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-31217 и Программы 22 РАН.

ЭФФЕКТЫ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ 2010 И 2011 ГОДОВ В НИЗКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ КВ РАДИОВОЛН

М.В. Клименко¹, В.В. Клименко¹, Ф.С. Бессараб¹, В.Е. Захаров², Д.С. Котова², И.А. Носиков², Y. Sahai³, R. de Jesus³

¹ *ЗО ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Калининград, Россия, maksim.klimenko@mail.ru*

² *ФГАОУ ВПО БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия*

³ *UNIVAP, Sao Jose dos Campos, SP, Brazil*

Последние результаты сравнения низкоширотных ионосферных эффектов геомагнитных бурь в сентябре 2005 года, декабре 2006 года и мае 2010 года, полученные с использованием

Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), с данными наблюдений выявили удовлетворительное согласие. Нами были получены следующие результаты, объясняющие поведение параметров F области низкоширотной ионосферы во время геомагнитных бурь. В частности, (1) дано объяснение возможного механизма формирования дополнительных слоев в приэкваториальной F области ионосферы, (2) корректно выделен ионосферный эффект возмущенного динамо электрического поля, прямого проникновения и сверхэкранирования и (3) сделана оценка вклада вариаций термосферных параметров в общую картину изменчивости низкоширотной ионосферы на различных фазах геомагнитной бури. В данной работе мы продолжаем исследования низкоширотных ионосферных эффектов геомагнитных бурь с использованием модели ГСМ ТИП. Были рассмотрены ионосферные эффекты геомагнитных бурь 2–3 мая 2010 года и 26–29 сентября 2011 года, произошедших на фазе роста 24-го солнечного цикла. Проведено сравнение результатов модельных расчетов с данными наблюдений станций наземного зондирования низкоширотной ионосферы в Американском долготном секторе, тщательный анализ поведения дополнительного F3 слоя в экваториальной области и механизмов его формирования во время геомагнитных бурь. Кроме того, в данной работе представлены результаты модельных исследований распространения радиоволн КВ-диапазона от гипотетической низкоширотной передающей станции на различных фазах геомагнитных бурь. Параметры среды распространения радиоволн рассчитывались с использованием модели ГСМ ТИП. Таким образом, мы представляем результаты расчетов, полученные с помощью двух численных моделей, одна из которых рассчитывает параметры среды распространения радиоволн, а другая – лучевые траектории и поглощения обыкновенной и необыкновенной волны. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-31217 и Программы 22 РАН.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРЕВЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-1809

**В.М. Костин, Г.П. Комраков, Г.Г. Беляев, Я.П. Соболев,
Е.П. Трушкина, О.Я. Овчаренко**

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, kostin@maryno.net

Представлены результаты дополнительной обработки данных спутника Космос-1809 во время проведения нагревных экспериментов на стенде Сура и стенде НИИ Радио, которые ранее детально не рассматривались и не нашли отражение в публикациях. Анализировались, в основном, показания приборов: измерения электронной плотности, детекторов электрического поля и ОНЧ колебаний, как в отдельных частотных каналах, так и в широкой полосе, которая регистрировалась на приемном пункте ИЗМИРАН. Подтверждено влияние ВЧ излучения стенда Сура на области ионосферы над СДВ передатчиками и мощными радиовещательными станциями не только в радиусе нескольких тысяч километров, но и в магнитосопряженном регионе. Рассмотрены случаи генерации над СДВ передатчиками электромагнитных волн на третьей гармонике частоты модуляции ВЧ излучения, что объясняется захватом ВЧ волны в самосогласованные нелинейные структуры над стендом. Выявлен еще один случай подавления ВЧ излучением стенда Сура развития bubbles в экваториальной ионосфере вблизи вечернего терминатора в дни высокой солнечной активности (в дополнение к трем случаям, которые разбирались в докладе авторов на прошлой конференции).

СВОЙСТВА УНЧ / ОНЧ СИГНАЛОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СТЕНДОМ СУРА В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ

Д.С. Котик¹, А.В. Рябов¹, Е.Н. Ермакова¹, А.В. Першин¹,
В.Н. Иванов², В.П. Есин², В.М. Чекрызов²

¹ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, dmitry.kotik@nirfi.sci-nnov.ru

² НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия

В течение последних трех лет на стенде СУРА было проведено комплексное исследование искусственной ионосферной генерации сигналов в УНЧ/ОНЧ диапазонах. Это исследование было стимулировано успешными экспериментами на стенде HAARP по обнаружению низкочастотных сигналов за счет действия пондеромоторных сил в условиях отсутствия аврорального электроджета. В течение каждого года с 2010 по 2012 проводилось по две экспериментальные кампании в различных ионосферных и геомагнитных условиях при различных режимах работы стенда СУРА. В данной работе суммированы основные особенности искусственных УНЧ/ОНЧ сигналов, наблюдаемых в приемных пунктах в окрестностях стенда СУРА. Сигналы в полосе 2-20 Гц были обнаружены в небольшой области вокруг стенда с радиусом около 15 км. На расстоянии в 30 км сигналы не обнаруживались. Максимальные амплитуды сигналов измерялись в ближайшем приемном пункте примерно в 3 км от антенной решетки стенда. Увеличение амплитуды примерно в 3 раза наблюдалось, когда узкий пучок КВ излучения был направлен вдоль магнитного поля Земли (16 градусов к югу), (силовые линия, вдоль которых был направлен луч, проецировались на область пункта наблюдения). Амплитуда УНЧ сигналов несколько увеличивалась, когда частота волны накачки превышала критическую частоту f_oF_2 . Как правило, амплитуда дневных сигналов в полтора-два раза меньше, чем в ночное время. Никакой корреляции с вариациями магнитного поля Земли не наблюдалось при слабых геомагнитных возмущениях ($K_p \leq 3$), в то время как ОНЧ сигналы явно проявляли такую корреляцию. Время задержки ионосферных УНЧ сигналов в ночное время, измеренное фазовым методом, была оценено в 300-400 мс, что подтверждает предложенный механизм возбуждения нелинейных кольцевых токов в верхней ионосфере на частоте модуляции КВ волны накачки. Поляризация УНЧ сигналов имеет ярко выраженный эллиптический характер, хотя достаточно часто наблюдается линейная поляризация. Часть измерений в июне 2012 года были проведены во время магнитной бури 16-18 июня, ($K_p = 6$). Было обнаружено уменьшение амплитуды УНЧ сигнала при нарастании магнитного возмущения. Кроме того на стадии восстановления бури 18 июня, было обнаружено уширение спектральной линии сигнала на частоте 11 до 0.1 Гц и на частоте 17 Гц до 0,2 Гц. Этот факт может быть интерпретирован как результат взаимодействия сигнала с протонами радиационных поясов, которые появились на L-оболочке стенда во время шторма, или сильной турбулентностью плазмы верхней ионосферы. В кампаниях 2011-2012 гг. были впервые обнаружены сигналы на частотах в несколько килогерц в ночное время, которые не могут быть объяснены традиционным механизмом модуляции ионосферных токов. Эти сигналы так же проявили необычное поведение, уменьшаясь по амплитуде во время магнитной бури по амплитуде на фазе ее роста. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-02-00419, 11-02-97104 и Министерства образования и науки РФ, государственный контракт 16.518.11.7066.

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ РАДИОЗАТМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ВБЛИЗИ МАРСА, СВЯЗАННЫЕ С СУЩЕСТВОВАНИЕМ МИНИ-МАГНИТОСФЕР

А.В. Киреев, А.М. Крымский и Г. Жбанков

Институт физики Южного Федерального Университета, amkrym@list.ru

При конверсии фазы радиосигнала, измеряемой в ходе радиозатменных экспериментов, в высотный профиль концентрации электронов ключевым является предположение, что концентрация электронов зависит главным образом от планетоцентрического расстояния, то есть возможность аппроксимировать частью сферы поверхности постоянной плотности в области протяженностью порядка 300-400 км вдоль луча распространения сигнала. Эксперимент MARSIS AIS на КА Марс-Экспресс показал, что в ионосфере Марса с мини-магнитосферами связаны локальные резкие увеличения высоты изолиний концентрации электронов, что делает обычную методику интерпретации изменений фазы радиосигнала неточной или даже неприменимой. Метод ray-tracing и параметры магнитного поля в ионосфере Марса, полученные на КА Марс Глобал Сьюрвейор в окрестности изолированной магнитной аномалии к ареографическим координатам 34 СШ 337 ВД, были использованы для отработки уточненной методики интерпретации данных радиозатменных экспериментов на КА Марс-Экспресс и Марс Глобал Сьюрвейор, которые были получены в областях концентрации палеомагнитных полей, формирующих мини-магнитосферы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ С БОРТА КА МАРС-ЭКСПРЕСС (ЭКСПЕРИМЕНТ MARSIS AIS) ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ МЕТОДА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ РАДИОЗАТМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ВБЛИЗИ МАРСА

А.В. Киреев, А.М. Крымский и Г. А. Жбанков

Институт физики Южного Федерального Университета, amkrym@list.ru

В эксперименте по радиозондированию ионосферы Марса MARSIS AIS появление многократных отражений зондирующего сигнала связывают с резким увеличением высоты изолинии концентрации электронов в области формирования отраженного сигнала, вызванным присутствием мини-магнитосфер. Данные MARSIS AIS, полученные на прилегающих друг к другу по долготе орбитах, используются для восстановления формы поверхности постоянной концентрации электронов в анализируемом долготно-широтном интервале, где наблюдаются многократные отражения. Высота заданной концентрации электронов, пропорциональной квадрату частоты отраженного сигнала, аппроксимируется рядом Фурье по долготе и широте, а амплитуды гармоник ряда определяются методом наименьших квадратов. На заключительном этапе метод ray-tracing используется для 1) оценки близости получаемых с помощью восстановленных поверхностей постоянной плотности ионограмм и ионограмм с многократными отражениями и 2) уточнения интерпретации данных радиозатменных экспериментов, полученных в проанализированном долготно-широтном интервале.

БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОЗАТМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВ ВЕНЕРА-15,-16

Е.А. Кулешов, А.А. Смыслов, А.Л. Гаврик

ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@ire216.msk.su

В настоящее время актуальной задачей является создание информационных ресурсов, позволяющих широкому кругу ученых получить доступ к экспериментальным данным многочисленных космических миссий. Космические агентства ESA и NASA создали базы данных, предоставляющие возможность использовать результаты исследования планет Солнечной системы для получения новых сведений о космических объектах. В базах данных ESA и NASA представлены также результаты радиозатменных исследований газовой оболочки Венеры, полученные с помощью КА *Pioneer-Venus* (~440 сеансов в 1979-1992 г.г.), *Magellan* (~20 сеансов в 1991-1994 г.г.) и *Venus-Express* (~300 сеансов в 2006-2011 гг.). Сведения о результатах двухчастотного радиопросвечивания газовой оболочки Венеры сигналами КА *Венера-15,-16* (170 сеансов в 1983-1984 г.г.) в информационных ресурсах почти не представлены, лишь в базе данных PDS NASA есть информация о 29 профилях электронной концентрации в дневной ионосфере Венеры. Использование радиоволны диапазона 32 см обеспечило уникальную возможность исследования даже разреженной плазмы в ночной ионосфере Венеры и в нижней области дневной ионосферы. По данным радиозатмений КА *Венера-15,-16* получено 73 профиля электронной концентрации в дневной ионосфере, 20 профилей в области терминатора и 62 профиля в ночной ионосфере, диапазон зенитных углов Солнца составил 50°...160°. Для обеспечения доступа к информации о радиозатменных экспериментах с КА *Венера-15,-16* в настоящее время ведется систематизация данных 170 сеансов радиопросвечивания и представление их в цифровом виде, а также разрабатывается программное обеспечение, которое позволит создать базу данных с возможностью ее внедрения в существующие информационные сети. В состав базы данных предполагается включить все доступные файлы с результатами радиозатменных экспериментов КА *Венера-15,-16*, полученные на разных стадиях экспериментальных исследований: результаты регистрации радиополя, измеренные мощности и частоты сигналов, баллистические данные, результаты обработки данных. Файлы данных имеют различную структуру, количество файлов будет регулярно увеличиваться при получении новых результатов обработки, поэтому в базе данных будет храниться лишь информация о файлах: имя файла для обеспечения доступа к нему и его описание. В докладе обсуждаются принципы разрабатываемой базы данных. Создание базы данных и включении ее в информационные ресурсы космических исследований предоставит возможность использования результатов радиозатменных экспериментов с КА *Венера-15,-16* для решения фундаментальных проблем сравнительной планетологии. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 22 Президиума РАН и гранта РФФИ № 13-02-01411.

ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ НАТЕКАНИЯ И КВАЗИПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АНОМАЛИИ

Ю.В. Лисаков¹, О.В. Лапшинова², Н.М. Пушкин³, Н.В. Матвеев⁴

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ylissako@iki.rssi.ru

² Ракетно-космическая корпорация "ЭНЕРГИЯ" им. С.П. Королева, МО г. Королев, Россия

³ Научно-производственное объединение измерительной техники, МО г. Королев, Россия

⁴ ФГУП ЦНИИМаш ЦУП, МО г. Королев, Россия

В работе продолжен анализ измерений, выполненных бортовым научным комплексом контроля электрофизических параметров (ККЭП), предназначенным для измерений в приповерхностной зоне КА в эксперименте "Импульс (1 этап)" на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС). Анализируются измерения, выполненные в области экваториальной магнитной аномалии. Представлены измерения токов натекания на плоские зонды и измерения квазипостоянного электрического поля, полученные с помощью датчиков вибрационного типа. Одной из крупномасштабных ионосферных особенностей является экваториальная аномалия, локализуемая на приэкваториальных геомагнитных широтах (приблизительно $\pm 20^\circ$ по обе стороны от экватора). Вблизи геомагнитного экватора в дневное время происходит направленное вверх движение плазмы, которое приводит к пониженной концентрации плазмы на самом экваторе. Поднимающаяся вверх плазма затем диффундирует вниз вдоль геомагнитных линий, что создаёт повышенную концентрацию по обе стороны от экватора и пониженную на самом геомагнитном экваторе. Динамика плазмы в экваториальной аномалии определяется особенностями приэкваториального геомагнитного и электрического полей. Динамика измеряемых токов натекания так же контролируется локальной концентрацией тепловой компоненты окружающей плазмы, электрическим и магнитным полями. Наши измерения показывают, что при пересечении приэкваториальной области в дневное время отчетливо наблюдается характерная специфика пространственно временной динамики токов натекания и электрического поля, что проявляется в изменении величины и направления (ток натекания – ток стекания) измеряемых токов, а так же величины и знака электрического поля. Представляется, что спутниковые исследования динамики экваториальной аномалии не утратили актуальности и в настоящее время.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛАЗМЕННЫХ ЧАСТОТ НА СПУТНИКАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

О.А. Мальцева, Г.А. Жбанков

НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия, mal@ip.rsu.ru

В связи с существованием большого числа навигационных спутников, обеспечивающих непрерывный глобальный мониторинг, полное электронное содержание (ПЭС) стало одним из важнейших параметров ионосферы, широко используемым в ассимиляционных моделях, для определения индексов ионосферной возмущенности, ионосферной томографии, радио затменных измерений и др. Новая ионосферная модель IRI-Plas Т.Л. Гуляевой (ИЗМИРАН) позволяет использовать текущие значения ПЭС для построения более точных N(h)-профилей. Особенно важно иметь такие профили для возмущенных условий. Однако известно, что значения ПЭС, измеряемые различными приемниками, а также предоставляемые через интернет в виде глобальных карт JPL, CODE, UPC, ESA, могут существенно отличаться друг от друга. Встает вопрос, какое значение выбрать. В данной работе для получения ПЭС используются модель IRI-Plas и значения плазменных частот f_{pe} ,

измеряемых на спутниках с различной высотой орбиты. Подбирается такое значение ПЭС, при котором плазменные частоты профиля совпадают с экспериментальными величинами для одного или двух спутников. На примере данных спутников CHAMP и DMSP и данных вертикального зондирования на станциях европейской части российского региона показано, что в большинстве случаев полученные значения лежат вне диапазона глобальных карт JPL, CODE, UPC, ESA, преимущественно ниже нижней границы этого диапазона. Совместное использование данных двух спутников позволяет скорректировать $N(h)$ -профиль верхней ионосферы. Именно для этих значений ПЭС даются примеры поведения $N(h)$ -профилей во время возмущений.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМУЩЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ НАГРЕВА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЗАТУХАНИЯ ПРОБНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВОЛНЫ

А.Б. Пашин, А.А. Мочалов

ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, pashin@pgia.ru ;

При проведении активных экспериментов по нагреву ионосферных электронов мощным наземным КВ передатчиком электронная температура может возрасти на порядок величины, что существенно меняет величину поглощения ВЧ волн. Изменение величины поглощения может быть использовано для получения информации как о параметрах нижней ионосферы, так и о величине искусственного возмущения. Численное моделирование поглощения космического радиощума показало, что в модифицированной области величина дополнительного поглощения на частоте 39 МГц составляет величину порядка 0.5 дБ, а для ионосферы с низкой электронной плотностью этот эффект не превышает 0.2 дБ. Использование измерений на нескольких частотах увеличит информативность метода. Расчеты поглощения ВЧ волн проведены для частот 25, 30, 35 и 40 МГц в условиях различной электронной плотности и воздействия на ионосферу волны накачки различной поляризации, частоты и мощности. На основе расчетов сделан вывод, что измерение спектра поглощения волн в диапазоне частот 25 – 40 МГц может использоваться для мониторинга электронной температуры во время экспериментов по модификации ионосферы.

О ЯВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННОЙ ДИФFUЗНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ИОНОСФЕРУ МОЩНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НАГРЕВНОГО СТЕНДА СУРА

Ф.И. Выборнов, Д.С. Котик, А.В. Першин, А.В. Рахлин

НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия; vybornov@nirfi.sci-nnov.ru

Одним из видов реакции ионосферы на возмущение ее мощной радиоволной является уширение следа отражения на высотнo-частотной характеристике. Это явление получило название искусственного F-spread (F-рассеяния) или искусственной диффузности (ИД). Первые эксперименты с использованием нагревного стенда «Сура» показали, что ИД уверенно наблюдается как в ночное, так и в дневное время. Для диагностики ионосферы использовался ионозонд CADI с режимом работы 13-битным кодом Баркера и усреднением по 4-м принимаемым импульсам. Воздействие на ионосферу излучением нагревного стенда «Сура» осуществлялось на частоте ниже критической на обыкновенной компоненте с эффективной мощностью до 80 МВт, как правило, в дневное и вечернее время весной-летом-осенью 2012 года. ИД уверенно диагностировалась ионозондом CADI при временах нагрева

около 10 минут. Обычно наблюдался частотный F-spread с интенсивностью до 3 баллов. При этом установлено, что релаксация ИД происходит за время 15-30 минут. Увеличение длительности нагрева более 15 минут в непрерывном режиме не приводит к усилению диффузности. Установлено, что ИД обладает пороговым эффектом и наблюдается при временах воздействия около 10-15 минут только при эффективной мощности излучения нагревного стенда не менее 10 МВт. Увеличение мощности приводит к росту интенсивности ИД при равных временах воздействия, а при мощности волны накачки около 50 МВт – к насыщению. При этом с увеличением мощности излучения времена развития ИД уменьшаются. Дополнительная диагностика возмущенной области ионосферы методом радиопросвечивания сигналами искусственных спутников Земли показала, что ИД всегда сопровождается сильными радиомерцаниями принимаемых сигналов ИСЗ на частоте 150 МГц. Подтверждены ранее установленные факты: - ИД возникает во всех циклах нагрева и может синхронно наблюдаться на разных ионозондах, расположенных на расстоянии нескольких сотен километров; - интенсивность ИД зависит от соотношения частоты волны накачки и критической частоты F-слоя ионосферы; - интенсивность ИД зависит от высоты отражения волны накачки нагревного стенда; - интенсивность ИД зависит от естественно-возмущенного состояния ионосферы; наличие естественных возмущений типа ПИВ (перемещающихся ионосферных возмущений), дополнительных и наклонных отражений, слабой начальной диффузности, как правило, усиливает интенсивность ИД. За полугодовой интервал наблюдений не было зарегистрировано каких-либо аномально сильных искусственных возмущений ионосферы, но было замечено, что воздействие волной Х-поляризации приводит к явлению ИД при больших пороговых мощностях, чем это было получено для О-поляризации. Как правило, ИД при этом развивалась более слабо, на ионограммах наблюдались сильные расслоения и деформации ионосферных треков. Полученные результаты показывают возможность искусственного моделирования в ионосфере процессов и явлений, наблюдаемых в естественных (без техногенного воздействия) условиях. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 11-02-00419-а, № 11-02-97104р_поволжье_а, и Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области, грант № 11-02-97012р_поволжье_а.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕДЕНИЯ ВОЛНЫ НАКАЧКИ И ЛЕНГМЮРОВСКОЙ КОМПОНЕНТЫ ИРИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА НАГРЕВНОМ СТЕНДЕ НААРР

Е.Н. Сергеев¹, С.М. Грач^{1,2}, А.В. Шиндин^{1,2}

¹ Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород,
Россия, esergeev@nirfi.sci-nnov.ru

² Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты исследований поведения волны накачки (ВН) и ленгмюровской компоненты искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), выполненных 29-30 марта 2011 на нагревном стенде НААРР для максимально используемых в настоящее время эффективных мощностей воздействия на ионосферную плазму $P_{\text{эфф}} = 1.7$ ГВт. Наблюдения проводились в трех пунктах, расположенных в 11, 82 и 113 км на юг от стенда приблизительно в плоскости магнитного меридиана. Эксперименты проводились в режимах воздействия сериями из 40 импульсов длительностью $\tau = 5, 15, 20$ и 50 мс с периодами повторения $T = 2-10$ с на частотах ВН $f_0 = 5920$ и 5420 кГц. При нагреве формировалась вертикальная либо наклоненная в магнитный зенит (14° на юг) диаграмма направленности

антенной системы стенда. В ходе измерений получены следующие зависимости характеристик ИРИ и отраженного от ионосферы сигнала ВН от длительности, наклона и мощности воздействия. 1. Максимальная величина стрикционного самовоздействия ВН (подавления ее интенсивности) до 35 дБ наблюдается на 1-10 мс после включения импульса ВН. Минимальная интенсивность отраженного сигнала ВН соответствует формированию максимальной интенсивности и ширины спектра ИРИ типа континуум - до 80 кГц в области отрицательных отстроек от f_0 . С увеличением τ до 50 мс наблюдается восстановление интенсивности ВН на 10-15 дБ. 2. Рост величины самовоздействия ВН и уменьшение времен развития ИРИ наблюдаются при увеличении мощности накачки от $P_{эфф}/64$ до максимальной. Уже начиная с $P_{эфф}/16$, с ростом мощности может наблюдаться насыщение спектральной интенсивности излучения. 3. При выключении ВН на стадии развития временного максимума ИРИ для $\tau = 5-15$ мс релаксация излучения протекает наиболее медленно (~10 мс), сопровождается временной задержкой и перекачкой энергии по спектру в сторону меньших частот. С ростом τ и развитием overshoot-эффекта (насыщения и уменьшения интенсивности излучения) временная задержка сокращается. Последующая релаксация спектра как целого происходит с характерными временами ~1.5-4.5 мс, соответствующими временам электронно-ионных соударений. 4. При воздействии на плазму в направлении магнитного зенита к 20 мс в спектрах ИРИ формируются узкие эквидистантные максимумы на отстройках $\pm 8, 16$ кГц от частоты ВН, более выраженные в измерениях для более удаленных от стенда пунктах наблюдений. 5. С ростом углов наблюдения до $\sim 30^\circ$ интенсивность ленгмюровского ИРИ существенно уменьшается. Интенсивность ИРИ увеличивается с ростом длительности нагрева до нескольких десятков секунд-минут и генерацией его верхнегибридных компонент. 6. Для коротких импульсов воздействия в генерации и релаксации ИРИ не обнаружено проявлений режима сильной турбулентности. При длительном воздействии порядка нескольких минут на частотах вблизи 3-й и 4-й гирогармоники, где генерация верхнегибридной турбулентности оказывается подавленной, обнаружена генерация новой спектральной компоненты ИРИ в области больших отрицательных отстроек $-(50-200)$ кГц, по своим характеристикам отвечающей образованию ленгмюровского конденсата в режиме сильной турбулентности. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 11-02-00125-а, 12-02-00513-а, 12-02-31181-мол_а и Минобрнауки РФ, соглашение 14.132.21.1434, а также программы HAARP.

ОБРАЗОВАНИЕ СЛОЯ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЕМ СТЕНДА HAARP НА ИОНОСФЕРНУЮ ПЛАЗМУ В ОБЛАСТИ 4-Й ГАРМОНИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ГИРОРЕЗОНАНСА

Е.Н. Сергеев¹, С.М. Грач^{1,2}, А.В. Шиндин^{1,2}

¹ Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород, Россия, esergeev@nirfi.sci-nnov.ru

² Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

В экспериментах на нагревном стенде HAARP по воздействию на ионосферу мощных радиоволн на частотах, близких к 4-й гармонике электронной циклотронной частоты f_{ce} , обнаружено и исследовано образование слоя искусственной ионизации, опускающегося на 5-30 км от уровня отражения волны накачки ($h_0 \approx 210$ км) до высот локального двойного резонанса h_D . Напомним, что в двойном резонансе имеет место совпадение частоты волны накачки f_0 с верхнегибридной и кратной электронной циклотронной частотами, $f_0 \approx [f_{pe}^2(h_D) + f_{ce}^2(h_D)]^{1/2} \approx 4f_{ce}(h_D)$, здесь f_{pe} – локальная плазменная частота. Изучение слоя искусственной ионизации проведено с помощью измерений характеристик широкого положительного

максимума (BUM) в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), а также одновременных наблюдений отражения/рассеяния импульсных радиосигналов от возмущенной ионосферы при использовании нагревного стенда в качестве КВ радара и искусственной плазменной линии в спектре радара некогерентного рассеяния. Образование искусственного ионизационного слоя наблюдалось при воздействии на ионосферу мощной ($P_{эфф} = 1.7$ ГВт) радиоволны на частотах $f_0 = 5760-5850$ кГц $> 4f_{ce} \sim 5750$ кГц в направлении магнитного зенита (наклоне диаграммы направленности стенда на 14° к югу). Использовался квазинепрерывный импульсный режим излучения (длительность 160 мс, период повторения 200 мс) на фиксированной частоте в течение одной минуты. Во время 40-мс паузы излучались короткие (100 мкс) диагностические импульсы. Во время квазинепрерывного нагрева наблюдались: а) уменьшение высоты отражения диагностических импульсов, б) уменьшение высоты наблюдения искусственной плазменной линии и в) смещение BUM в спектре ИРИ к частоте волны накачки f_0 с линейным уменьшением его отстройки $\Delta f = f_{BUM} - f_0 \approx f_0 - 4f_{ce}(h)$ на 40-60 кГц, что соответствует снижению высоты генерации BUM в силу отрицательного высотного градиента $f_{ce}(h)$ (-0.6 кГц/км для $h \approx 200$ км). Наблюдаемое уменьшение высот взаимодействия волны накачки с ионосферной плазмой во время нагрева обуславливается увеличением электронной концентрации, то есть дополнительной ионизацией в поле мощной радиоволны. Скорость опускания слоя искусственной ионизации от уровня отражения волны накачки составляла ~ 500 м/с. Все три наблюдаемых эффекта прекращались приблизительно одновременно, когда величина $4f_{ce}(h)$ достигала значения используемой частоты f_0 . При этом генерация BUM прекращалась, что соответствует двойному резонансу, $h \approx h_D$ [1], а интенсивность отраженного диагностического сигнала от слоя искусственной ионизации существенно возрастала. Время достижения ионизационным слоем уровня двойного резонанса после включения нагрева увеличивалось с ростом f_0 и, следовательно, с ростом $\Delta h = h_0 - h_D$, и составляло 10-60 с. Характерные времена релаксации слоя искусственной ионизации для дневных условий наблюдений и высот $h \approx 180$ км не превышали 1-2 с. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 11-02-00125-а, 12-02-00513-а, 12-02-31181-мол_а и Минобрнауки РФ, соглашение 14.132.21.1434, а также программы HAARP.

[1]. Грач С.М., Сергеев Е.Н., Яшнов В.А. и др. Изв. Вузов. Радиофизика, 2008. Т. 51, 7, с. 553.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОСИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В.М. Смирнов, Е.В. Смирнова

*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино,
vsmirnov@ire.rssi.ru*

Спутниковые навигационные системы, позволяющие осуществлять глобальный контроль состояния ионосферной плазмы, дают возможность сопоставлять эффекты воздействия факторов естественного и техногенного происхождения на разные области ионосферы. Соответствующий выбор станций наблюдения позволяет изучать динамику развития того или иного процесса, возникающего в ионосфере. В работе приведены результаты, полученные во время работы нагревного стенда «Сура» в октябре 2007 и 2010 г. в вечернее время суток. Для мониторинга ионосферной плазмы использовались данные навигационных приемников MDVJ и ZWEN, расположенных в п. Менделеево и г. Звенигороде Московской области. Приемники были удалены от нагревного стенда «Сура» на расстояние свыше 400 км. Параметры ионосферы определялись методом радиопросвечивания по трассе спутник –

Земля. Одним из наиболее «чувствительных» параметров ионосферы на воздействие различного рода эффектов является скорость изменения полного электронного содержания, определяемая по данным навигационных фазовых измерений. Измерения по фазе несущей являются основными величинами при решении задач, требующих высокой точности измерений. Современные навигационно-геодезические приемники могут измерять и сохранять непрерывный отсчет фазы несущей с точностью лучше, чем 0,5% длины волны (примерно 1 мм). Непрерывные измерения фазы могут быть использованы для формирования данных об изменении положения объекта с миллиметровой точностью. Такая точность фазовых измерений позволяет детектировать ионосферные возмущения с характерным временным масштабом до 5-10 минут и амплитудой до 10^{-5} от суточного изменения полного электронного содержания. Одномоментная регистрация навигационных сигналов от разных спутников на разнесенных приемниках дает принципиальную возможность определять пространственно-временные характеристики детектируемых неоднородностей. Результаты обработки навигационных данных показали, что в обоих проведенных экспериментах существует область ионосферы, расположенная вдоль определенного направления, где наблюдались ионосферные возмущения. Эти возмущения были зарегистрированы вдоль прямой линии по данным разных спутников, подионосферные траектории которых пересекали ее в разное время в период работы нагревного стенда. Амплитуды этих возмущений зависят как от времени, так и дальности их регистрации. Работа выполнена при поддержке программы ОФН РАН №14 «Фундаментальные проблемы воздействия мощными радиоволнами на ионосферу и плазмосферу Земли».

ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ КНЧ ШУМОВ ВО ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЕ НАД МОЩНЫМ КВ СТЕНДОМ НАARP

**Е.Е. Титова¹, А.Г. Демехов², А. Мочалов¹, А.Б. Пашин¹,
М.М. Могилевский³, М. Парро⁴**

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия;

² ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

⁴ LPCE/CNRS, г. Орлеан, Франция.

Представлены результаты измерений характеристик электромагнитных возмущений в КНЧ диапазоне (< 1200 Гц) для 7 дневных (11-12 LT) и 6 ночных (22 -23 LT) пролетов ИСЗ DEMETER на высотах ~ 700 км вблизи области интенсивного воздействия мощного КВ радиоизлучения от нагревного стенда НАARP. Во всех этих событиях воздействие осуществлялось ВЧ волнами О-поляризации при максимальной мощности стенда 3,6 МВт. Для дневных сеансов частота ВЧ передатчика была близка к критической частоте F слоя ионосферы 4,5 - 5,5 МГц. Для ночных сеансов частота ВЧ передатчика была заметно ниже и, как правило, вблизи второй гармоники электронной гирочастоты (2,8 МГц). Геомагнитная активность во время рассматриваемых пролетов DEMETER над стендом НАARP в целом была низкая. В трех дневных пролетах спутника DEMETER, когда минимальное расстояние между траекторией спутника и геомагнитной силовой линией сопряженной с ионосферой над нагревным стендом, было меньше 35 км, в зоне нагрева был зарегистрирован повышенный уровень КНЧ шумов и модификация их спектра. Амплитуда КНЧ шумов увеличивалась при этом в 2-8 раз по сравнению с фоновым уровнем, причем на частотах 40-200 Гц увеличение было больше, чем в низкочастотной области ($f < 40$ Гц) спектра. Характерный радиус зоны наблюдения КНЧ возмущений около 50-70 км. В остальных четырех дневных пролетах, когда спутник DEMETER пролетал на расстояниях > 70 км от передатчика, а также в ночных пролетах эффектов воздействия передатчика НАARP на

шумы в КНЧ диапазоне не выявлено. Обсуждаются возможные механизмы возбуждения КНЧ шумов над нагревным стендом НААРП на высотах спутника DEMETER (около 700 км).

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ОБЛАСТИ 2^й – 4^й ГАРМОНИК ЭЛЕКТРОННОГО ГИРОРЕЗОНАНСА.

А.В. Шиндин^{1,2}, С.М. Грач^{1,2}, Е.Н. Сергеев²

¹Нижегородский ГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия, freaz@bk.ru

²Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты измерений спектральных характеристик искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), выполненных в марте 2011 на нагревном стенде НААРП. Эксперименты проводились в режиме быстрого (1 kHz/0.2 s) свипирования частоты волны накачки f_0 в полосе до 200 кГц около 2-й, 3-й and 4-й гармоник электронной гирочастоты f_c . При нагреве использовались воздействия в основном в направлении магнитного зенита (+14° на юг) и вертикально вверх, в одном из экспериментов углы наклона диаграммы направленности стенда к вертикали менялись с шагом 7° от -28° до +28° в направлении север-юг. Получены данные о генерации, интенсивности и спектральном положении различных компонент ИРИ в зависимости от соотношения f_0 и nf_c ($n = 2, 3, 4$), от угла воздействия одновременно в трех разнесенных до 100 км на юг от стенда вдоль магнитного меридиана пунктах наблюдения. Подтверждена качественная повторяемость свойств спектров ИРИ, ранее наблюдавшаяся в измерениях около 3^й - 7^й гирогармоник на стендах СУРА и EISCAT [1,2]. В ходе наблюдений обнаружены новые спектральные компоненты ИРИ, в том числе: 1. При свипировании частоты волны накачки снизу вверх через $3f_c$ и $4f_c$ для углов наклона диаграммы направленности 14°-21° на юг наблюдалось появление дополнительного широкого положительного максимума (BUM_D) на отстройках $\Delta f = f_{\text{ИРИ}} - f_0 = 15\text{-}30$ кГц, ближе основного BUM ([2]) к частоте волны накачки. При воздействии на ионосферу в направлении магнитного зенита на фиксированной частоте $f_0 > 4f_c$ наблюдалось существенное (до 40-60 кГц) уменьшение отстройки BUM_D во время минутного нагрева. Оба эффекта связываются с появлением слоя искусственной дополнительной ионизации ионосферы [3]. 2. Обнаружена генерация широкого максимума ИРИ в области больших отрицательных отстроек $\Delta f = -(50\text{-}180)$ кГц после достаточно длительного нагрева при $f_0 \approx 3f_c$ и $f_0 \approx 4f_c$ как при вертикальном, так и при наклонном воздействии в направлении магнитного зенита. 3. Обнаружена генерация спектрального максимума ИРИ на отстройках $\Delta f = -(5\text{-}6)$ кГц с частотами, на 2-3 кГц выше главного спектрального максимума излучения в частотных диапазонах $f_0 > 2f_c$ и $f_0 > 3f_c$. Эффект не может быть объяснен взаимодействием верхнегибридных и нижнегибридных волн в общепринятой модели главного спектрального максимума. 4. Обнаружено появление интенсивной широкополосной компоненты излучения на отстройках $\Delta f = -(7.5\text{-}80)$ кГц при вертикальном нагреве плазмы для $f_0 < 2f_c$. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 11-02-00125-а, 12-02-00513-а, 12-02-31181-мол_а и Минобрнауки РФ, соглашение 14.132.21.1434, а также программы НААРП.

[1]. Sergeev E.N. et al., Adv. in Space Res., 2006, V. 38, N. 11, p. 2518-2526.

[2]. Leyser T.B., Space Sci. Rev., 2001, V. 98, N 3-4, p. 223-328.

[3]. Сергеев Е.Н. и др., Образование слоя искусственной ионизации при воздействии излучением стенда НААРП на ионосферную плазму в области 4-й гармоники электронного гирорезонанса. Тезисы докладов 8-й ежегодной конференции “Физика плазмы в Солнечной системе”, 4-8 февраля 2013, ИКИ РАН, Москва.

КАЛИБРОВКА ПОДПОВЕРХНОСТНОГО РАДАРА ОРБИТАЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ ПО ОТРАЖЕНИЮ ОТ ИОНОСФЕРЫ

О.В. Юшкова, В.М. Смирнов, В.Н. Секистов, В.Ю. Андреев

ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, vsmirnov@ire.rssi.ru

Одним из дистанционных методов изучения свойств поверхности и оценки строения приповерхностного слоя грунта является подповерхностная радиолокация. Радиолокационный комплекс, размещенный на борту орбитального аппарата, позволяет за сравнительно небольшой период времени получить информацию о верхнем слое космического тела. При этом, чем ниже частотный диапазон работы радаров комплекса, тем толще слой, доступный для изучения. В настоящее время методика восстановления глубинного распределения диэлектрических параметров неоднородного грунта только разрабатывается. Обратная задача решается на основе анализа изменений амплитуды и фазы отраженного сигнала по сравнению с излученным. Такой метод решения задачи требует тщательной калибровки излучаемого сигнала, что является самостоятельной непростой проблемой. Тип сигнала радара, его длительность, частотный диапазон, условия дискретизации выбираются в зависимости от конкретного космического тела, высоты полета КА, поставленных целей и технических возможностей (вес, разрешенная мощность излучения). Обеспечить калибровку сигнала радара в земных условиях не представляется возможным: сигнал длительностью 250 мкс должен сформироваться в свободном пространстве и отразиться от протяженной диэлектрически однородной поверхности. Численное моделирование подобных процессов возможно, но его результаты тоже необходимо подтвердить натурными экспериментами, так как проводится оно при значительных ограничениях, которые носят не только объективный, но и субъективный характер. Если космическое тело обладает ионосферой, необходимые калибровочные измерения могут быть проведены в процессе проведения космического эксперимента. Причем отражающей поверхностью может служить ионосфера, если ее критическая частота будет выше частотного диапазона работы радаров. В этом случае отражение сигнала от ионосферы становится доминирующим. В работе представлены: - модель высотного распределения диэлектрической проницаемости ионосферы, построенная на основе вертикального профиля электронной концентрации ионосферы Марса, который в свою очередь зависит от зенитного угла Солнца; - результаты численного моделирования отражения сигнала радара MARSIS (КА «Mars Express»); - результаты сравнительного анализа данных численного моделирования и обработки радиолокационных измерений MARSIS. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы №22 фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

ПЛАНЕТАРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИОННЫХ ВЫСЫПАНИЙ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ИОНОСФЕРЫ

О.И. Ягодкина, В.Г. Воробьев, Ю.В. Катькалов

ПГИ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, Yagodkina@pgia.ru

По данным спутников DMSP F6 и F7 исследованы сравнительные характеристики электронных и ионных высыпаний в различных секторах местного геомагнитного времени (MLT) в зависимости от уровня магнитной активности. Показано, что в утреннем секторе (03-06 MLT) доминируют электронные высыпания. Здесь в области структурированных

высыпаний (АОР) потоки ионов (Fi) составляют менее 5% от потока электронов (Fe). В области диффузных высыпаний (DAZ) доля ионных потоков уменьшается с ростом магнитной активности от ~25% при AL=-100 нТл до ~5% при AL=-1000 нТл. В вечернем секторе (15-18 MLT) в области АОР также преобладают электронные высыпания, в то время как в DAZ потоки ионов значительные. Отношение Fi/Fe изменяется от 0.8 до ~3.5 при росте AL от -100 нТл до - 1000 нТл. Создана планетарная модель ионных высыпаний. Проведено сравнение модельных и наблюдаемых на спутниках DMSP значений потоков и энергий высыпающихся ионов во время двух магнитных бурь 06-16 февраля 1986 г. и 11-21 марта 1989 г. С использованием модели электронных высыпаний (APM, <http://apm.pgia.ru/>) рассчитано глобальное распределение интегральной холловской и педерсеновской проводимостей ионосферы для разных уровней магнитной активности. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 12-05 -00273, и Программами Президиума РАН №№ 4 и 22.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ GNSS ИЗМЕРЕНИЙ НА ПЕРМАНЕНТНЫХ СПУТНИКОВЫХ СТАНЦИЯХ

Л.Н. Янкив-Витковская

НУ «Львовская политехника», г. Львов, Украина, luba_y@ukr.net

Появление навигационных спутниковых систем (GNSS), работающих на двух и более когерентных сигналах, открывает новые возможности для дистанционного зондирования ионосферы Земли. Реализация этих возможностей представляет практический интерес только в том случае, если удастся получить исходную измерительную информацию без больших материальных и временных затрат и разработать соответствующие методики и программы расчетов параметров ионосферы. Мониторинг земной ионосферы переходит на новый методический и технологический уровень, обусловленный современной модернизацией GNSS, и развитием новых подходов и алгоритмов, предназначенных для определения параметров ионосферы Земли. Это дает возможность проводить измерения непрерывно позволяет обеспечить исследования глобальных и региональных явлений в ионосфере. Глобальные навигационные спутниковые системы можно использовать для изучения таких характеристик ионосферы, как интегральная электронная концентрация (TEC). Преимущества глобальных навигационных систем для мониторинга ионосферы Земли заключаются в следующем: 1) возможность использования существующих GNSS сигналов, 2) наличие хорошо развитой сети наземных станций международной GNSS службы (IGS), европейской перманентной сети (EPN) и национальных сетей активных референсных станций (ZAKPOS / UA-EUPOS), 3) применения для измерений стандартных мультисигнальных приемников спутниковых сигналов геодезического класса, 4) интегральное содержание электронов TEC не зависит от предположений о магнитном поле Земли вплоть до высоты 20000 км, 5) данные измерений содержат информацию по всей толще ионосферы. Общее содержание электронов TEC можно либо непосредственно измерить путем радиозондирования, или рассчитать, используя ионосферные модели. В последние годы наиболее распространенным методом исследования состояния ионосферы является использование двухчастотных измерений GNSS-сигналов. По нашему мнению наиболее оптимальным для реализации в режиме квазиреального времени будет такой метод, который не связан с оценкой неоднозначности. Фазовые измерения используют только для выявления изменения фазы во времени, кодовые псевдодистанции сглаживаются подобранными на основе аппроксимированы изменений фазы во времени соответствующими алгоритмами. Сглажены таким образом кодовые псевдодистанции могут быть использованы при формировании ионосферных линейных комбинаций). На основе проведенных исследований

нами разработано программное обеспечение для регулярного вычисления параметров ионосферы - наклонных (STEC) и вертикальных (VTEC) значений общего содержания электронов и доведена до практического использования на перманентной станции SULP. В настоящее время в каждый час определяется у 3600 значений этих параметров. В дальнейших наших планах является исследование вопросов точности полученных результатов, поиск новых алгоритмов сглаживания кодовых наблюдений, исследования дифференциальной задержки для различных приемников спутниковых сигналов, расширение территории исследований путем привлечения других GNSS станций.

ВЛИЯНИЕ СУББУРЬ НА НАБЛЮДЕНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ СТРУКТУРЫ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМА В ДИАПАЗОНЕ 0.1 –5 ГЦ

Н.В. Семенова, А.Г. Яхнин

ПГИ КНЦ РАН, г. Анапты, Россия, nadezhda.semenova@gmail.com

По данным наблюдений ионосферных параметров, геомагнитных вариаций, флуктуаций геомагнитного поля в диапазоне 0.1-5 Гц, наблюдений полярных сияний на станциях авроральной зоны и в высокоширотной обсерватории Баренцбург рассмотрено влияние суббурь на регистрацию резонансной структуры в спектре (РСС) электромагнитного шума, которая связана с формированием ионосферного альфвеновского резонатора (ИАР). Показано, что регистрация РСС прекращается при появлении вблизи станции активных авроральных форм. В случаях, когда станция находится далеко (> 200 км) от области сияний, суббуря не оказывает влияния на регистрацию и динамику РСС. По-видимому, исчезновение РСС связано с наличием быстрых вариаций параметров ионосферы, что препятствует формированию стационарного ИАР, и/или с ростом концентрации в Е-слое ионосферы, что приводит к уменьшению добротности ИАР. В одном из событий, когда станция располагалась к полюсу от высыпаний частиц из плазменного слоя на удалении ~ 150 км, произошло резкое увеличение частотного интервала РСС, которое согласуется с наблюдаемым в то же время уменьшением электронной концентрации в F-слое. Уменьшение концентрации, вероятно, связано с тем, что станция оказалась в области «ионосферной авроральной полости», обусловленной втекающим в ионосферу продольным током. Тот факт, что эффекты влияния суббури на РСС проявляются на определенных расстояниях между сияниями и точкой наблюдения РСС, позволяет оценить характерный поперечный размер ИАР как ~ 300 км.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ МЕРКУРИЯ ПО ДАННЫМ ОРБИТАЛЬНОЙ ФАЗЫ ПОЛЕТА МЕССЕНДЖЕРА

И.И. Алексеев

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

С марта 2011 года космический аппарат МЕССЕНДЖЕР перешел на орбиту спутника Меркурия. За прошедшие без малого два года магнитометр МЕССЕНДЖЕРА проводит регулярные измерения магнитного поля внутри магнитосферы Меркурия. При этом каждые 12 часов МЕССЕНДЖЕР в окрестности наивысшей точки орбиты часто пересекает фронт ударной волны и оказывается в невозмущенном солнечном ветре. Анализ полученных данных позволил членам научного консорциума, занятым обработкой данных измерений МЕССЕНДЖЕРА, переданных на Землю, исследовать общую структуру магнитосферы Меркурия. Получена информация о потоках энергичных частиц в окрестности планеты. Предварительный анализ магнитных измерений подтвердил, сделанное ранее нами заключение о существенном смещении планетарного диполя к северному полюсу Меркурия. Токовая система магнитопаузы и токовая система хвоста магнитосферы – две глобальные токовые системы магнитосферы Меркурия - демонстрируют соответствующее смещение к северу токового слоя хвоста и оси симметрии магнитопаузы. Наблюдаемые в высокоширотной дневной области спорадические возрастания потоков электронов с энергией 10-100 кэВ и такие же потоки в экваториальной ночной стороне магнитосферы могут быть интерпретированы, как существование квазизахваченных частиц на «орбитах Шабанского» с ветвлением дрейфовых оболочек.

МАГНИТОСФЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ПРОЕКЦИРОВАНИЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА НА ЭКВАТОРИАЛЬНУЮ ПЛОСКОСТЬ

Е.Е. Антонова^{1,2}, М.В. Степанова³, И.П. Кирпичев^{2,1}, И.Л. Овчинников¹, В.В.Вовченко², М.О. Рязанцева^{1,2}, М.В. Пулинец¹, С.С. Знаткова^{1,2}

¹ *НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru*

³ *Университет Сантьяго де Чили, Чили*

Суммированы полученные за последнее время результаты изучения структуры высокоширотных магнитосферных доменов и турбулентных флуктуаций в плазменном слое магнитосферы Земли. При этом выделяется окружающее Землю плазменное кольцо на геоцентрических расстояниях от ~ 7 до $\sim 10R_E$, в котором градиенты давления направлены в основном к Земле и поперечные токи формируют высокоширотное продолжение кольцевого тока. Проведено сравнение результатов наблюдений турбулентных флуктуаций в плазменном слое с картиной магнитосферных доменов. Показано что на геоцентрических расстояниях $< 10R_E$ в ночные часы происходит резкое падение уровня флуктуаций. Существование данной особенности демонстрирует отличие характеристик процессов в плазменном слое от процессов в окружающем Землю плазменном кольце. Полученные результаты позволяют пересмотреть устоявшиеся представления о структуре ближней части

плазменного слоя и о локализации его внутренней границы. Отмечено, что потоки энергии при высыпании частиц из плазменного слоя при отсутствии продольного ускорения не превышают пороги регистрации свечений при визуальных наблюдениях и наблюдениях с использованием авроральных имиджеров. Поэтому встает вопрос о проецировании плазменного слоя на ионосферные высоты. Рассмотрена связь свечений в авроральном овале с картиной вытекающих из ионосферы продольных токов. Обсуждена проблема проецирования картины продольных токов на экваториальную плоскость.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСАХ КОСЫМИ ВИСТЛЕРНЫМИ ВОЛНАМИ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ: ЛАНДАУ РЕЗОНАНС

А. Артемьев^{1,2}, В. Красносельских¹, О. Агапитов^{1,3,4}, Д. Мурина⁵

¹ LPC2E, CNRS, Orleans, France, ante0226@yandex.ru

² Space Research Institute, RAS, Moscow, Russia

³ Le Studium, Institute for Advanced Studies, Orleans, France

⁴ National Taras Shevchenko University of Kiev, Kiev, Ukraine

⁵ CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France

В работе рассмотрен механизм ускорения электронов за счёт захвата в резонанс Ландау вистлерной волной большой амплитуды, распространяющейся под большим углом к магнитному полю. Мы используем данные спутниковых измерений в радиационных поясах Земли, что бы восстановить параметры волн: амплитуды (50-300 мВ/м), углы распространения, частоты. Экспериментальные данные используются в моделировании динамики электронов и их резонансного взаимодействия с такими волнами. Показано, что захват в резонанс Ландау может приводить к набору энергии порядка 50-100 кэВ для электронов с начальными энергиями 10-100 кэВ. При этом захваты и ускорения связаны с существенным уменьшением экваториального pitch-угла электронов. Таким образом, рассматриваемый механизм, может быть ответственным за кратковременные (вспышечные) интенсификации высыпаний ускоренных частиц.

ПОШАГОВАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА УСЛОВИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВИСТОВОГО ДИАПАЗОНА В МАГНИТОСФЕРЕ

П.А. Беспалов¹, О.Н. Савина²

¹ Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия, peter@appl.sci-nnov.ru

² Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород, Россия

Рассмотрена пошаговая модель влияния атмосферных инфразвуковых волн на условия возбуждения электромагнитных волн свистового диапазона в магнитосфере. Это влияние проявляется в результате последовательности атмосферных, ионосферных и магнитосферных процессов. Численные и аналитические исследования отклика автоколебаний плазменного магнитосферного мазера на связанные с атмосферными инфразвуковыми волнами гармонические колебания коэффициента отражения электромагнитных волн от ионосферы показали, что даже малая модуляция может существенно изменить магнитосферные ОНЧ излучения. Полученные результаты могут объяснить причину модуляции потоков энергичных электронов и интенсивности

электромагнитных волн свистового диапазона с временными масштабами от 10 до 150 секунд в дневной магнитосфере. Такие излучения часто наблюдаются в субавроральной и авроральной магнитосфере и имеют заметный эффект на космическую погоду.

О ВЛИЯНИИ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БАЛАНС ДАВЛЕНИЙ У ГЕОМАГНИТОПАУЗЫ: АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

М.И. Веригин¹, Г.А. Котова¹, М. Татральяи², Г. Эрдеш²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, verigin@iki.rssi.ru, kotova@iki.rssi.ru

² Институт физики атомного ядра и элементарных частиц, г. Будапешт, Венгрия, tatrallyai.mariella@wigner.mta.hu, erdos.geza@wigner.mta.hu

Обычно полагается, и в значительной степени справедливо, что давление солнечного ветра на подсолнечную часть магнитопаузы Π приблизительно равно $\Pi \approx k\rho V^2$, где ρV^2 – динамическое давление солнечного ветра, и коэффициент $k < 1$ зависит от показателя адиабаты γ и звукового числа Маха M_s ($k \approx 0.88$ для $\gamma = 5/3$ и $M_s \rightarrow \infty$). Сравнительно недавно Dušík et al. (JGR, 37, L19103, 2010) по данным спутников THEMIS выявили зависимость положения подсолнечной части магнитопаузы и от угла ϑ между направлениями вектора солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (cone angle). В докладе на предыдущей конференции (http://plasma2012.cosmos.ru/sites/plasma2012.cosmos.ru/files/presentations/Verigin_OFN2012.ppt) эта зависимость была интерпретирована как следствие дополнительного давления на магнитопаузу, оказываемого магнитным полем солнечного ветра при небольших Альвеновских числах Маха M_a . Для оценки такого давления использовалось эмпирическое соотношение между магнитными полями солнечного ветра и магнитошита Crooker et al. (JGR, 87, 10407, 1982). В настоящем докладе рассматриваются различные подходы к описанию дополнительного давления магнитного поля на подсолнечную часть магнитопаузы на основе уточнения эмпирического подхода, теоретических ограничений, и результатов 3D МГД моделирования. Обновленная модель геомагнитопаузы сравнивается с результатами ее наблюдений спутниками серии ПРОГНОЗ. Работа выполнена при частичной поддержке программы П22 РАН.

ИСКАЖЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДИПОЛЯ АКСИАЛЬНО-НЕСИММЕТРИЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПЛАЗМЫ И ОБРАЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МИНИМУМОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, a1246@rambler.ru

² НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru

Проведено моделирование искажений магнитного поля в магнитосфере Земли азимутально-несимметричными профилями давления. Целью работы являлось выяснение условий образования локальных минимумов магнитного поля в плоскости экватора. Такие минимумы регистрируются на эксперименте. Проведено рассмотрение искажений поля, когда радиальные градиенты давления намного превышают азимутальные. Показано, что при определенных параметрах могут возникать области как с локальным минимумом, так и с

максимумом магнитного поля. В таких областях изолинии $B=\text{const}$ в плоскости экватора не окружают Землю. Расчитаны объемы магнитных силовых трубок. Показано, что возможно возникновение минимума объема магнитной силовой трубки. В предположении справедливости условия магнитостатического равновесия проведен расчет продольных токов. Показано, что возникновение области азимутально несимметричного повышенного давления может создать конфигурацию, соответствующую предположениям работы Galperin et al. [GRL, v. 19(2), p. 2163-2166, 1992] о формировании области, являющейся «корнем» крупномасштабной авроральной дуги. Используя первого и второго инвариантов проанализирована возможности захвата частиц с различными pitch-углами в области минимума магнитного поля в плоскости экватора.

ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРА ХОРОВЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.Г. Демехов

*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия,
andrei@appl.sci-nnov.ru*

Представлены новые результаты развития модели формирования хоровых ОНЧ излучений в магнитосфере Земли, основанной на переходе магнитосферного циклотронного мазера в режим обратной волны. В частности, на основе численного моделирования и сравнения с наблюдениями анализируются различные механизмы повышения и понижения частоты в хоровых элементах, основанные на изменении знака эффективной неоднородности в центральном сечении магнитной силовой трубки. Такое изменение может быть связано с квазистатическими вариациями профиля магнитного поля или с достаточно быстрым возрастанием концентрации плазмы. Также проведена численная проверка и обобщение на случай неоднородной среды одного из ключевых соотношений в аналитической модели генерации хоровых излучений, связывающего амплитуду квазимонохроматической свистовой волны в режиме насыщения с линейным инкрементом циклотронной неустойчивости. Обсуждаются следствия из проведенного обобщения для параметров функции распределения энергичных электронов, выводимых из параметров наблюдаемых хоровых элементов.

СТРУКТУРА НОЧНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МИССИИ THEMIS И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

В.В. Калегаев, В.О. Барина, Н.А. Власова, И.С. Назарков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, klg@dec1.sinp.msu.ru

Структура магнитного поля в ночной магнитосфере в экстремально-спокойном 2009 г. исследовалась на основе данных измерений магнитного поля в геомагнитном хвосте и потоков частиц на орбитах низковысотных спутников. Модель магнитосферного магнитного поля A2000 использовалась для проектирования границ характерных областей регистрации частиц на орбитах аппаратов NOAA/POES (приэкваториальной области, от $L\sim 2$ до границы изотропизации и области высыпаний в высоких широтах) в магнитосферу. Данные одновременных измерений спутников Themis использовались для восстановления радиального профиля магнитного поля в хвосте магнитосферы. Магнитное поле токовой системы геомагнитного хвоста было получено вычитанием из данных спутниковых

измерений эффектов внутриземных токов и токов на магнитопаузе, рассчитанных по моделям IGRF и A2000. На основе расчетов восстановлена характерная структура магнитного поля токовой системы хвоста магнитосферы. Проанализирована динамика переднего края токового слоя хвоста во время слабых геомагнитных возмущений 2009 г. Проведено сопоставление структуры магнитного поля с результатами проектирования границы изотропизации с орбиты NOAA/POES и высокоширотной границы внешнего радиационного пояса по данным ИСЗ "Коронас-Фотон".

ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ ТОКА И АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗЕМЛЮ ТОКОВОЙ СИСТЕМЫ

И.П. Кирпичев, Е.Е. Антонова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

На основе полученного ранее распределения давления плазмы в экваториальной плоскости восстанавливаются его градиенты. В предположении гидростатического равновесия ($\mathbf{j} \times \mathbf{B} = \text{grad}(p)$) оценивается величина плотности тока в кольце вокруг Земли (от 6 до 12 Re). Проводится качественный анализ гипотезы разрезного кольцевого тока.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМОСФЕРЕ НА ГРАНИЦЕ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕНИ ЗЕМЛИ

Г.А. Котова, М.И. Веригин, В.В. Безруких

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kotova@iki.rssi.ru

На прямые измерения характеристик низкоэнергичной плазмы в космическом пространстве, особенно в ионосфере и плазмосфере Земли, существенное влияние оказывает потенциал космического аппарата. В докладе представлена методика обработки данных широкоугольных анализаторов тепловой плазмы, установленных на космических аппаратах миссии ИНТЕРБОЛ. Такая методика позволяет по данным измерений коллекторных токов рассчитать плотность и температуру плазмы, а также потенциал космического аппарата и длину Дебаевского экранирования. Аналогичная методика может быть использована для обработки данных эксперимента РЕПИН готовящейся миссии РЕЗОНАНС. Анализируются изменения потенциала космического аппарата и характеристик плазмы вдоль орбит спутника ИНТЕРБОЛ-1 в плазмосфере Земли в окрестности границы оптической тени планеты. На ночной стороне при заходе аппарата в оптическую тень Земли, его потенциал резко падает, но это не сказывается на вариациях плотности и температуры плазмы. Такое поведение рассчитанных параметров свидетельствует о надежности их определения. Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П22.

К ВОПРОСУ О НАГРЕВЕ ЭЛЕКТРОНОВ В КАВЗИПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ УДАРНЫХ ВОЛНАХ

В. Красносельских¹, Д. Сундквист², Ф. Мозер², С. Шварц³

¹ LPC2E, CNRS, Orleans, France, vkrasnos@cnrs-orleans.fr

² SSL, UCB, Berkeley, USA

³ Imperial Colledge, London, United Kingdom

Перераспределение энергии направленного движения в тепловую энергию различных популяций частиц и ускорение части частиц до высоких энергий в ударных волнах является основной проблемой физики ударных волн. Измерения, выполненные на борту космических аппаратов ISEE-1,2, позволили установить роль отраженных ионов в процессе диссипации энергии во фронте ударной волны и детально исследовать механизмы нагрева ионов. В то же время проблема нагрева электронов остается по-прежнему не до конца решенной. Сравнительно недавно выполненные измерения электронных функций распределения на борту космических аппаратов Cluster привели к пересмотру традиционных представлений о нагреве электронов. В работе Schwartz et al., 2011 (PRL) было показано, что основной нагрев происходит на чрезвычайно малом участке фронта волны, в области так называемого рампа, где находится основной скачок магнитного поля. Sundkvist et al., 2012 (PRL) показали, что характеристики нагрева не определяются величиной изменения магнитного поля и обнаружили, что параллельная и перпендикулярная температуры электронов в процессе нагрева остаются почти равными, а в области рампа присутствует большое количество мелкомасштабных скачков электрического поля. Авторы также показали, что скачки потенциала на ларморовском радиусе электронов могут быть сравнимы с температурой электронов. В настоящей работе мы обсуждаем возможную роль таких мелкомасштабных структур для нагрева электронов и их угловой диффузии.

АЛГОРИТМ РАЗДЕЛЕНИЯ KINK И SAUSAGE МОД ФЛЭППИНГ КОЛЕБАНИЙ

Д.И. Кубышкина, В.С. Семенов, Д.А. Сормаков, В.А. Сергеев, Н.В. Еркаев

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, kubyshkina.darya@gmail.com

Флэппинг колебания, наблюдающиеся в токовом слое магнитосферного хвоста, представляют собой сравнительно медленные волны, распространяющиеся от центра слоя к его флангам с характерными скоростями $\sim 20-60$ км/с, амплитудой $\sim 1-2R_e$ и квазипериодом $\sim 2-10$ минут. Используемая модель основана на модели двойного градиента, в которой раскачка слоя обеспечивается существованием градиентов тангенциальной компоненты магнитного поля B_x вдоль нормального (по z) направления и нормальной компоненты B_z вдоль направления x . Показано, что годографы векторов скорости плазмы и магнитного поля в плоскости $Z-Y$ могут быть использованы для создания алгоритма разделения изгибной (kink) и перетяжечной (sausage) мод флэппинг колебаний. Теоретические результаты были сопоставлены с поведением флэппинг волн (THEMIS, 3 мая 2008 года), движущихся в направлении утреннего сектора в хвосте магнитосферы. Вращение вектора скорости, наблюдавшееся синхронно на двух спутниках проекта THEMIS, соответствует случаю kink моды. Полученный механизм разделения мод был исследован на устойчивость к различного рода помехам (шуму, наличию смешанных мод и дополнительных источников возмущения). Оказалось, что поведение вектора скорости более устойчиво, чем поведение вектора магнитного поля. Источником флэппинг колебаний может служить возникновение

неустойчивости (обратного градиента) в токовом слое, что также было проиллюстрировано в рамках рассматриваемой модели.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА АЛЬФВЕНОВСКИХ ВОЛН ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОЕКТЕ «РЕЗОНАНС»

В.А. Мазур

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия, vmazur@iszf.irk.ru

Представлено описание пространственной структуры трех важнейших типов альфвеновских колебаний внутренней магнитосферы – квазипродольных альфвеновских волн, распространяющихся в районе плазмопаузы, альфвеновского резонанса, возбуждаемого быстрым магнитным звуком, распространяющимся во внешних частях магнитосферы и азимутально-мелкомасштабных альфвеновских волн, возбуждаемых источниками в ионосфере. Эти типы альфвеновских волн ассоциируются с геомагнитными пульсациями Pc1, тороидальными и полоидальными колебаниями соответственно. Для альфвеновских волн характерно разделение по масштабам продольной и поперечной пространственной структуры волны. Дано описание продольной структуры, во многом общей для всех указанных типов волн и поперечной структуры, принципиально различной для них. Анализируются возможности экспериментального изучения как продольной, так и поперечной структур в готовящемся многоспутниковом эксперименте «Резонанс».

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ В ЗЕРКАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ

Д.А. Мансфельд, М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, И.В. Изотов

ИИФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mda1981@appl.sci-nnov.ru

Проведены исследования процессов генерации электромагнитных волн при циклотронной неустойчивости в плазме, создаваемой и поддерживаемой мощным миллиметровым излучением гиротрона в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке в условиях электронного циклотронного резонанса (ЭЦР разряд). Нагрев в условиях ЭЦР позволяет создавать двухкомпонентную плазму, содержащую плотную холодную компоненту (концентрация $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$, температура $\sim 300 \text{ эВ}$) с изотропным распределением по скоростям, и менее плотную компоненту горячих электронов (концентрация $\sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$, температура $\sim 10 \text{ кэВ}$) с анизотропной функцией распределения. Холодная компонента плазмы определяет дисперсионные и поляризационные свойства электромагнитных волн, распространяющихся в плазменной магнитной ловушке. В свою очередь, возбуждение электромагнитных волн обусловлено их резонансным взаимодействием с энергичной компонентой плазмы с анизотропной функцией распределения по скоростям. Таким образом, параметры плазмы ЭЦР разряда дают возможность исследовать в лабораторных условиях широкий круг процессов резонансного взаимодействия волн и частиц в плазменных магнитных системах. Впервые в реальном времени изучен спектральный состав нестационарных импульсов электромагнитного излучения в широком диапазоне частот на трех стадиях ЭЦР разряда: на начальной стадии, когда плотность горячих частиц (N_h) превосходит плотность холодных (N_c), на развитой стадии разряда ($N_h \ll N_c$), и на стадии распада плазмы ($N_h \sim N_c$). На каждой из стадий возможно развитие циклотронной неустойчивости различных мод: в плотной

холодной плазме эффективно возбуждаются свистовые волны, в разреженной плазме – волны, распространяющиеся поперек магнитного поля (Z- и X- моды). В докладе обсуждается взаимосвязь наблюдаемых в лаборатории динамических режимов циклотронной неустойчивости с аналогичными явлениями, протекающими во внутренней магнитосфере Земли.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДНЕВНОЙ МАГНИТОПАУЗЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОНИКНОВЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ ЧАСТИЦ В СРЕДНЕ- И НИЗКОШИРОТНЫЕ ЗОНЫ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Н.Н. Павлов

*НИИЯФ им. Д.В.Скобелева МГУ им. М.В.Ломоносова,
г.Москва, Россия, nnp@mail.ru*

На основе простой кинематической модели движения заряженных частиц в геомагнитном поле строятся статические и анимированные иллюстрации, позволяющие увидеть пространственные и временные особенности проникновения солнечных вспышечных протонов в магнитосферу Земли в зависимости от направления подхода частиц к Земле, геометрии магнитопаузы и энергии частиц. Модель позволяет выделить участки дневной магнитопаузы, через которые частицы выбранной энергии могут попасть на траектории (квази-)захвата (долготный дрейф с прохождением через ночную зону), а также, для случая квазипостоянного поля, построить пространственное и угловое распределения таких частиц внутри магнитосферы. В качестве обратной задачи, по наблюдениям потоков частиц (и вариаций этих потоков) внутри и вне магнитосферы, с помощью модели могут быть сделаны выводы о геометрии магнитопаузы. При падении на выпуклую магнитопаузу солнечных частиц, имеющих некоторое питч-угловое распределение в межпланетном магнитном поле, происходит трансформация питч-углов, а итоговое распределение сохраняет информацию об условиях падения; модель иллюстрирует и фиксирует этот эффект. Обсуждаются возможности применения модели; интервалы энергий солнечных частиц, для которых наблюдения и модель существенно расходятся; причины отклонений.

ГРАДИЕНТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ B_z В ТОНКОМ ТОКОВОМ СЛОЕ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

А.А. Петрукович, А.В. Артемьев, R. Nakamura

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, apetruko@iki.rssi.ru

По наблюдениям проекта Кластер в течение 2005-2009 с большим расстоянием между спутниками (около 10 000 км) была проанализирована структура тонкого токового слоя, образующегося в хвосте перед внезапным началом суббури. Собрана база из около 50 событий, в которых можно достоверно вычислить как величину плотности поперечного электрического тока, так и градиент магнитного поля B_z вдоль хвоста. Последний определяет (слабую) двумерность конфигурации. Вблизи Земли (в пределах 14 Re) во время фазы накопления уменьшается как B_z , так и его градиент. Особый интерес представляет обнаружение отрицательных градиентов B_z (профили с максимумом B_z вдоль хвоста). Показано, что интервалы с отрицательным градиентом B_z (в пределах 0.5-2 нТ/Re) могут наблюдаться в любой части фазы накопления, хотя и тяготеют к ее окончанию, где B_z меньше. Не обнаружено какой-либо закономерности появления отрицательного градиента

непосредственно перед локальным всплеском активности (внезапным началом суббури). Длительность интервалов отрицательного градиента составляет порядка 5-10 мин, что позволяет связать их с мезо-масштабными (1-2 Re) вариациями в тонком вытянутом токовом слое, в том числе, связанными с быстрыми потоками плазмы. Показано, что наклон токового слоя далеко не всегда может объяснить наблюдаемые вариации B_z . В целом гипотеза о формировании зоны отрицательного градиента B_z перед онсетом, как условия возникновения неустойчивости не нашла прямого подтверждения.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВИХРЕВЫЕ ТЕЧЕНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ФРОНТА ВНЕЗАПНОГО ИМПУЛЬСА

А.А. Самсонов

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, andre.samsonov@gmail.com

Работа обобщает результаты численного моделирования взаимодействия межпланетных ударных волн с земной магнитосферой с использованием нескольких глобальных магнитогидродинамических моделей. Показано, что независимо от использованной модели и условий в солнечном ветре после прохождения волны сжатия или внезапного импульса через магнитосферу в экваториальной плоскости на дневной стороне магнитосферы формируются крупномасштабные вихревые течения. Мы впервые показываем, что появление данных вихрей вызвано отражением ускоренного потока магнитосферной плазмы от внутренней границы вычислительной области, которая в реальности может соответствовать, например, плазмапаузе. Вихри быстро эволюционируют и перемещаются на ночную сторону вслед за фронтом волны сжатия. Вихрям плазменного потока можно сопоставить системы продольных токов: токи, втекающие в ионосферу на утренней стороне и вытекающие на вечерней стороне. При южном направлении ММП вихри приводят к существенным возмущениям системы магнитосферной конвекции. Используя данные спутников *THEMIS*, был составлен набор наблюдений внезапных импульсов в магнитосфере. Спутниковые наблюдения подтверждают появление данных вихрей, а наблюдаемые вариации скорости согласуются с результатами численного моделирования.

МОДЕЛЬ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМОСФЕРЫ

Ю.В. Чугунов, Н.Н. Слюняев

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,

Предложена модель расширяющейся плазмосферы вокруг вращающегося намагниченной планеты при наличии азимутального и радиального движений плазменной оболочки. Построенная модель описывает осесимметричную плазмосферу планеты, состоящую из двух частей: а) внутренней области, ограниченной L -оболочкой, равной L^* , где давление изотропно, а движение представляет собой азимутальное твердотельное вращение; б) внешней области, в которой наряду с нетвердотельным азимутальным вращением имеет место радиальное движение среды, давление плазмы анизотропно, а вязкость незначительна. С использованием ряда упрощающих предположений аналитически получены непротиворечивые решения нелинейной системы уравнений для плотности, радиальной и азимутальной скоростей среды и электродинамических величин. При этом необходимо отметить, что важнейшие особенности вида решения (размер внутренней области $L^* = 6.6$, показатель адиабаты в радиальной компоненте давления, равный $5/3$, скачок плотности газа

при переходе из внутренней области плазмосферы во внешнюю) определяются структурой уравнений. Опираясь на полученное решение, можно исследовать структуру пространственного распределения электрического тока в рамках данной модели. При этом характерные значения втекающих и вытекающих токов в полярных областях порядка $10^6 - 10^7$ А. По структуре и характерным величинам такие токи сходны с токами Биркеланда, возникающими в задаче об обтекании планеты солнечным ветром.

МИНИ-МАГНИТОСФЕРА

**И.Ф. Шайхисламов, В.М. Антонов, Ю.П. Захаров, Э.Л. Бояринцев,
А.В. Мелехов, В.Г. Посух и А.Г. Пономаренко**

Институт Лазерной Физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия, ildars@ngs.ru

В статье исследуется методами лабораторного эксперимента, аналитического анализа и численного моделирования магнитосфера сопоставимая по размерам с ионными кинетическими масштабами. Такой объект применим к магнитным аномалиям на Луне, в перспективе к астероидам с остаточным магнетизмом и системам защиты экипажа от энергичных галактических протонов. Аппараты Lunar Prospector, SELENE Explorer и Chandrayaan-1 предоставили данные о взаимодействии Лунных аномалий с Солнечным Ветром и формировании частично защищенных областей. Лабораторный эксперимент показал, что положение магнитопаузы и точка остановки плазмы существенно отличаются в режимах с малой и большой ионной плазменной длиной. А именно, в кинетическом режиме магнитопауза регистрируется заметно дальше, чем расстояние до расчетной точки баланса давлений, а плазма проникает глубоко внутрь области дипольного магнитного поля. Мы связываем эти особенности с обнаруженной в опытах специфической компонентой магнитного поля, некомпланарной дипольному полю. Установлено, что данная компонента поля не меняет знак при инверсии магнитного момента диполя, что указывает на ее генерацию квадратичным Холловским членом. Предлагаемая аналитическая модель объясняет движение плазмы внутри магнитосферы Холловскими токами, которые стремятся компенсировать конвекцию магнитного поля плазмой. Представленные результаты численных расчетов Холловским МГД кодом показали хорошее согласие с экспериментом и аналитической моделью, в частности в пространственной структуре некомпланарной компоненты магнитного поля. В численных расчетах обнаружено, что ионы проникают глубоко внутрь мини-магнитосферы, в то время как электроны обтекают ее вдоль магнитопаузы. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН проект 2.3.1.10, Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-02-00367), программы 15 ОФН РАН, и программы 22 Президиума РАН.

ДОЛГОЖИВУЩИЕ ПРОТОННЫЕ СИЯНИЯ К ЭКВАТОРУ ОТ ОВАЛА НА ДНЕВНОЙ СТОРОНЕ

А.Г. Яхнин, Т.А. Яхнина

ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты Мурманской области, Россия, ayahnin@gmail.com

По данным наблюдений протонных сияний со спутника IMAGE мы обнаружили новый (не описанный в литературе) тип протонных сияний к экватору от овала на дневной стороне. Эти сияния наблюдались в течение продолжительных периодов (от нескольких часов до, возможно, суток) во время невозмущенных геомагнитных условий на относительно высоких

широтах и в связи с наземными наблюдениями в сопряженной области геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc1. Последнее, очевидно, означает, что как и пульсации, сияния (протонные высыпания) являются результатом развития ионно-циклотронной неустойчивости в околоземной плазме. Сопоставление с измерениями на спутниках LANL показало, что неустойчивость не связана с областями высокой плотности холодной плазмы, т.е. неустойчивость развивается вне плазмосферы. Отсутствие в области неустойчивости холодной плазмы объясняет тот факт, что частота соответствующих пульсаций Pc1 оказывается всегда выше экваториальной гирочастоты He^+ на широте протонного свечения. По-видимому, неустойчивость связана с повышенной поперечной анизотропией протонов в дневном секторе. Такая анизотропия является результатом расщепления дрейфовых оболочек протонов кольцевого тока, дрейфующих вокруг Земли.

С Е К Ц И Я «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ МОДЕЛЬНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

К. Адельсон

¹*МФТИ, г. Москва, Россия, adelson@list.ru*

В настоящей работе исследуется динамика частиц в магнитном поле модельного токового слоя $\mathbf{B} = B_0 \text{sign}(z) \mathbf{e}_x + B_z \mathbf{e}_z$, где B_0 и B_z есть постоянные магнитные поля. В случае $B_z/B_0 \ll 1$ силовая линия вытянута в направлении $\mathbf{e}_x$ и динамика частицы может быть приближенно описана в рамках квази-адиабатического приближения [1]. Приближенность этого описания обусловлена скачками квази-адиабатического инварианта вблизи нейтральной плоскости. Используя численный расчет траекторий, в работе определяется зависимость скачка квази-адиабатического инварианта от величины инварианта, начальной фазы и параметра B_z/B_0 . С другой стороны, в настоящей модели, где величина магнитного поля остается постоянной, частица всегда обладает и другим «более точным» инвариантом $\mu = (\mathbf{V}_{\text{per}})^2 / 2|\mathbf{B}|$, где $\mathbf{V}_{\text{per}}$ есть составляющая скорости частицы в направлении перпендикулярном силовой линии. В работе исследуются скачки адиабатического инварианта μ . Сравнение скачков квази-адиабатического и адиабатического инвариантов позволяет установить границы применимости квази-адиабатического приближения по параметру B_z/B_0 , который определяет угол раствора силовой линии.

[1] J. Büchner and L. M. Zelenyi, J. Geophys. Res., 1989, **94**, 11821-11842.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ УНЧ ПО МАГНИТНЫМ И РАДАРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

В.И. Бадин

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, badin@izmiran.ru

Для изучения геофизических явлений в ионосфере высоких широт, а также магнитосферных процессов, порождающих эти явления, большое значение имеют комплексные исследования, основанные на анализе регулярных наблюдений динамики магнитных и электрических полей наземными магнитометрами и высокочастотными радарными. Важным элементом этих исследований является сравнительный спектральный анализ магнитных и доплеровских радарных наблюдений. Серьезная проблема, затрудняющая проведение такого анализа, состоит в доплеровском сдвиге частот между данными магнитных и радарных измерений. Доплеровский сдвиг частот обусловлен тем, что радары измеряют скорость дрейфа ионосферных электронов, т.е. поперечное электрическое поле, в то время как магнитометры измеряют магнитное поле ионосферного тока, который пропорционален разности скоростей электронов и ионов. В прежних работах этот доплеровский сдвиг не учитывался. Проблема существенно усугубляется тем обстоятельством, что прямое измерение соответствующей скорости ионосферных ионов представляет собой чрезвычайно сложную экспериментальную задачу. Для возможной косвенной оценки доплеровского сдвига частот между магнитными и радарными наблюдениями была предложена постановка задачи спектрального анализа магнитных данных как задачи Шустера, т.е. поиска скрытой периодичности во временных рядах магнитных наблюдений, содержащих сигналы большого числа различных источников.

Приближенное решение задачи было найдено методом Тьюки в предположении о том, что скрытая периодичность имеет вид эквидистантного спектра. В этом случае частотное расстояние между последовательными спектральными пиками дает основную частоту спектра, которую можно считать свободной от доплеровского сдвига. На основе предложенной методики поиска скрытой периодичности проведен спектральный анализ магнитных наблюдений в авроральном овале. Обнаружены эквидистантные спектры двух качественно различных типов. Спектры первого типа содержат пики спектральной мощности, сдвинутые в область более высоких частот на величину, превышающую частотное расстояние между двумя последовательными пиками. Такие спектры наблюдались в спокойных и слабовозмущенных условиях с преобладанием межпланетного магнитного поля северного направления. В спектрах второго типа пики спектральной мощности сдвинуты в область более высоких частот на величину, меньшую частотного расстояния между последовательными пиками. В слабовозмущенных условиях с преобладанием межпланетного магнитного поля южного направления наблюдались только спектры второго типа. Для тех же самых авроральных событий был проведен спектральный анализ доплеровских радарных измерений скорости дрейфа ионосферных электронов. Этот анализ обнаружил обособленные частоты, совпадающие (в пределах погрешности метода) с основными частотами эквидистантных спектров, найденных ранее в магнитных данных. Тем самым была подтверждена возможность косвенного учета (устранения) доплеровского сдвига частот между магнитными и радарными измерениями. Поскольку высокоширотные радары наблюдают прежде всего магнитосферную конвекцию, происхождение обособленных частот в радарных данных может быть обусловлено вращением ионосферных неоднородностей в мелкомасштабных вихрях магнитосферной конвекции. В этом случае происхождение дискретных спектров в магнитных наблюдениях можно связать с генерацией электрических токов вихрями магнитосферной конвекции. Альтернативное объяснение предлагает гипотеза о солнечном происхождении таких частот. Работа частично поддержана Программой 22 Президиума РАН.

ДИНАМИКА И СТРУКТУРА ВЫСОКОШИРОТНОЙ ГРАНИЦЫ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ПО ДАННЫМ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

В.В. Калегаев, В.О. Баринова, Д.А. Парунакян

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, alisawera@gmail.com

По данным спутниковых измерений потоков заряженных частиц в период с марта 2009 по май 2012 года исследовалась глобальная структура и динамика высокоширотной границы внешнего радиационного пояса магнитосферы Земли. Для статистического анализа были использованы данные прибора "Электрон-М-Песка" на спутнике "Коронас-Фотон" с марта по конец ноября 2009 года в канале электронов с энергиями более 200 кэВ, и прибора МСГИ спутника Метеор-М №1 с ноября 2009 по май 2012 года в канале электронов с энергиями более 100 кэВ. Высокоширотная магнитосфера в окрестности полярного овала контролируется как внешними (магнитосферными), так и внутриземными источниками магнитного поля. Исследовалось влияние этих факторов на положение границы внешнего радиационного пояса. С этой целью использовалась база данных ее пересечений спутниками Коронас-Фотон и Метеор-М №1. Продолжительный период экстремально-спокойного состояния магнитосферы в 2009 году позволил выделить эффект главного геомагнитного поля на фоне факторов магнитосферного происхождения. Было установлено, что в спокойной магнитосфере высокоширотная граница внешнего радиационного пояса вращается вместе с Землей и, одновременно, смещается в ночную сторону примерно на 1.5 градуса под влиянием крупномасштабных магнитосферных токов. Полученные

статистические закономерности были подтверждены расчетами размеров области захваченной радиации в модели магнитосферного магнитного поля A2000. Было установлено, что в геомагнитно-возмущенные периоды высокоширотная граница внешнего радиационного пояса расширяется к экватору. Смещение коррелирует с Dst-индексом геомагнитной активности, что соответствует наблюдательным данным о расширении овала полярных сияний во время магнитной бури. На основе проведенного анализа получены аналитические выражения для положения границы на уровне ионосферы, учитывающие ее суточное вращение с Землей и зависимость от Dst-индекса.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ, ИНИЦИИРОВАННЫЕ ГЕОМАГНИТНЫМИ БУРЯМИ, ПО ДАННЫМ АВРОРАЛЬНОГО ЗОНДА.

В.В. Безруких, М.И. Веригин, Г.А Котова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vbez@romance.iki.rssi.ru

Приводятся результаты измерений концентрации и температуры ионов в плазмосфере Земли, выполненные во время развития четырех геомагнитных бурь: 10.09.1996, 27.09.1996, 23.10.1996 и 28.02.1997 г. Показания модуляционного анализатора не зависят потоков электронов и протонов среды с энергиями, превышающими верхний предел энергетического окна прибора. Приводятся также показания цилиндра Фарадея, регистрировавшего суммарный ток, образуемый потоками заряженных частиц обоих знаков. Измерения, выполненные при помощи модуляционного анализатора, показали, что во время магнитных бурь, в некоторых случаях в ночном секторе плазмосферы наблюдалось существенное повышение ионной температуры вблизи главной фазы бури с последующим ее понижением до значений меньших, чем в магнито-спокойный период. Совместное рассмотрение показаний модуляционного анализатора и цилиндра Фарадея, показывает, что в процессе более интенсивных бурь (подобно буре 28.02.1997 г) в поздне-вечернем секторе может наблюдаться проникновение во внутреннюю плазмосферу потоков электронов со сверхтепловыми энергиями, и опустошение плазмосферы в этом секторе вплоть до L~2. Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П22.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОЛОИДАЛЬНЫХ Pc5 ПУЛЬСАЦИЙ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНО-СПУТНИКОВОГО КОМПЛЕКСА

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко², С.Н. Самсонов³, Д.Ю. Климускин⁴

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Анапты, Россия, belakhov@mail.ru

² ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

³ Институт космofизических исследований, г. Якутск, Россия

⁴ Институт солнечно-земной физики, г. Иркутск, Россия

Проанализированы случаи синхронных наблюдений полоидальных геомагнитных Pc5 пульсаций с помощью магнитометров на спутниках GOES, ETS-8, детекторов частиц на спутниках LANL, сетях наземных магнитных и риометрических станций в Канаде и Восточной Сибири. Показано, что полоидальные геомагнитные Pc5 колебания на геостационарной орбите модулируют потоки энергичных электронов и протонов. Также обнаружено, что полоидальные Pc5 колебания вызывают пульсации на той же частоте в риометрическом поглощении на сопряженной станции. Дано качественное объяснение

процесса возбуждения колебаний, их поляризационной структуры в магнитосфере и у земной поверхности, механизма модуляции потоков частиц.

ВЛИЯНИЕ СКАЧКА ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ТОК ДНЕВНОЙ МАГНИТОПАУЗЫ

Е. С. Беленькая

*МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына,
г. Москва, Россия, elena@dec1.sinp.msu.ru*

На динамику магнитосферы и полярного овала влияют как вариации межпланетного магнитного поля (ММП), так и динамического давления солнечного ветра. При этом эффект скачка плотности обычно трудно выделить на фоне влияния других изменяющихся параметров солнечного ветра, часто играющих наиболее заметную роль. Для отобранных случаев, когда градиент плотности плазмы солнечного ветра доминировал в динамике других параметров межпланетной среды и ее магнитного поля, на основе разработанной нами ранее методики приводятся оценки изменения тока дневной магнитопаузы Земли, вызванного изменением плотности ионов солнечного ветра. Для Сатурна также приведены оценки изменения тока дневной магнитопаузы для подробно исследованных нами ранее событий столкновения магнитосферы с коротящими взаимодействующими потоками в январе 2004 г. Полученные оценки сопоставимы со значениями токов в переходных 3-х мерных токовых системах Сатурна, рассчитанных нами ранее.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЕЖЕННОЙ ПЛАЗМЫ УДЕРЖИВАЕМОЙ В МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ

М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, И.В. Изотов, Д.А. Мансфельд

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru

Рассмотрена возможность использования электронно-циклотронного резонансного (ЭЦР) разряда в прямой магнитной ловушке для исследования циклотронных неустойчивостей плотной и разреженной плазмы. Впервые проведены прямые измерения собственного излучения плазмы вследствие развития циклотронных неустойчивостей на разных стадиях разряда. В докладе обсуждаются результаты измерения микроволнового излучения разреженной плазмы, генерируемого в результате резонансного взаимодействия волн с энергичными электронами как на начальной стадии ЭЦР разряда в присутствии мощной накачки, так и в распадающейся плазме после выключения импульса накачки. Рассмотренные в условиях эксперимента стадии разряда соответствуют различным областям параметров плазмы, а наблюдаемая картина развития неустойчивости имеет много общего с процессами в магнитосферной плазме и представляет большой интерес для лабораторного моделирования.

РАДИАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ ДАВЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 23-27 НОЯБРЯ 1986 г. И DST ВАРИАЦИЯ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}, Л.А. Дремухина³, М.В. Степанова⁴

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, a1246@rambler.ru

² НИИЯФ им. Д.В. Скобелыцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru

³ ИЗМИРП РАН, г. Троицк, МО

⁴ Physics Department, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Chile

Проведен анализ радиального профиля давления во время магнитной бури 23-27 ноября 1986 г. Используются радиальные профили давления, измеренные на спутнике AMPTE/CSE на геоцентрических расстояниях от 2 до 7R_E и результаты измерений низколетящих спутников серии DMSP. Учтен вклад высокоширотной части кольцевого тока на геоцентрических расстояниях от 7 до 10 R_E в Dst вариацию. Радиальный профиль давления на таких расстояниях получен по данным спутников DMSP F06 и F07 в предположении постоянства давления вдоль магнитной силовой линии. В интервалах наблюдений, когда температура частиц превышала максимальную энергию, регистрируемую на спутнике, при определении давления использовались степенная и экспоненциальная аппроксимации. Методом последовательных итераций решена задача об искажении поля диполя известным радиальным профилем давления. Определены радиальные профили B_z компоненты поля. Показано, что полученные при моделировании значения Dst вариации хорошо соответствуют измеренным значениям.

ВЗГЛЯД НА ПРЕДВАРЯВШИЕ НАВОДНЕНИЯ 2012 г. В КРЫМСКЕ И 2002 г. НА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ

Д.Г. Гонсировский

г. Москва, Россия

Цель доклада – дать указания на литературные подсказки в пользу гипотезы о наличии инъекций сгустков компонент солнечного ветра (СВ) в приповерхностную область Земли (см. доклады автора на 6-й и 7-й конференциях настоящей их серии). Освещаются результаты анализа полдюжины ненормальных полётов самолётов, показывающие, что гипотетически это результат стечения воедино событий инъекции СВ с ионизирующей плазмой после всплеска перед этим авроральной активности, возникновения от этого локальной барической депрессии и пересечения её летящим самолётом (Ту-154 под Ижмой, Су-27 под Львовом, Як-42 под Ярославлем и др.). В геомагнитосферной части космоса начало инъекций предстаёт в виде отсоединившихся плазменных образований (ОПО) [1 – Ковалевский И. В. Энергетические аспекты солнечно-земных связей. М., 1976. С. 6 и др.]. Наглядные следы СВ-инъекций в виде итоговых в 150 – 1000 км диаметром обособленных дрейфующих депрессий атмосферного давления видны на приземных и высотных (GRH500 ± 5,5 км) синоптических картах [2 – www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavneur.html]. Модель событий создана на примере Крымской ситуации 4 - 6 июля 2012 г. Здесь при взгляде на карты видна особенность, связываемая со СВ-инжекцией, а именно - 3 – 5-дневное проявление локальных круговых депрессий в высотной изобарической поверхности глубиной до 120 - 150 м и приземное закручивание находящихся под ними атмосферных вихрей против часовой стрелки наподобие тропических циклонов (тоже с депрессиями от самого начала и до конца их жизни). Выпадение за сутки до 275 мм осадков, утеплённость

ливней и большая высота облаков приводят к подозрению о наличии здесь “hot towers”. Подобные синоптические особенности сопровождали с 17 по 20 июня 2002 г. наводнение в районе КМВ [2; 3 - *Флоринский С. П., Гнездилов Ю. А., Красных Н. Ю.* Противоаварийная защита как составная часть природоохранных мероприятий экологической среды (на примере бассейна р. Подкумок) // Сб. науч. тр. ин-та «ОАО Севкавгипроводхоз». Вып. 16. Пятигорск, 2003. С. 73 – 90]. В 1953 и 1958 гг. депрессии на карте соседствовали с местами паводков в долинах рек Северной Осетии-Алании, что на выходе дало много селей [2; 4 - *Виленин В. Л.* О направленности некоторых геоморфологических процессов в пределах северного склона Центрального Кавказа // Материалы Кавказской экспедиции (по программе Международного геофизического года). Т. V. Харьков, 1965. С. 114 – 120]. Действие СВ-инжекций с проникающей плазмой на селеопасные ледники без образования видимых на карте циклонических вихрей и торнадо нашло подтверждение при мониторинговых работах [2; 5 - *Гонсировский Д. Г.* Вклад Башкариных 2008 года работ МЧС России в опознание прилетающих к Земле солнечноветровых плазменных сгустков как фактора космопогодозависимой метеогляциозкогеодинамики // Проблемы снижения природных опасностей и рисков (ГЕОРИСК – 2012) : Материалы VIII Междунар. науч.-практич. конф. по проблемам снижения природных опасностей и рисков («Геориск-2012») (18 - 19 окт. 2012 г., Москва, ИГЭ РАН, ВНИИ ГО ЧС, РФФИ). Т. 1. М., 2012. С. 48 – 53]. Как показывает графическая корреляция, СВ-инжекционное ударно-тепловое триггерное воздействие на фоне наличия комплекса льда, воды, газогидратов и энергии гравитации по всей вероятности причастно и к событию самого начала процесса схода 20.09.2002 г. ледника Колка в СО-А. Большая благодарность архивистам сайта <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavneur.html>.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ СУББУРЕВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ФРОНТАМИ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

И.В. Дэспирак¹, А.А. Любич¹, Р. Колева²

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия, despirak@gmail.com

² ИКИТ БАН, г. София, Болгария

Как известно, различные структуры в солнечном ветре либо связаны со структурами солнечной короны, либо с процессом распространения солнечного ветра. Структурами, созданными во время распространения солнечного ветра в Солнечной системе, являются области сжатой плазмы на фронтах рекуррентных потоков солнечного ветра (CIR) и магнитных облаков (Sheath). Авроральные возмущения, наблюдаемые на спутнике Polar во время событий Sheath и CIR, имеют необычный вид. С одной стороны, эти возмущения демонстрируют типичные признаки суббури, с другой стороны, они имеют очень большие долготные размеры и занимают очень большую площадь. Мы проанализировали данные спутника Geotail в хвосте магнитосферы для того, чтобы выяснить действительно ли эти возмущения имеют магнитосферные признаки суббури. Характеристики авроральной выпуклости были получены по данным UVI камеры спутника Polar; параметры солнечного ветра были взяты из базы данных OMNI. Были проанализированы все авроральные возмущения, наблюдаемые спутником Polar во время структур солнечного ветра типа Sheath и CIR, в декабре 1996 года и в 1997-1998 годах. Показано, что во время развития необычных авроральных возмущений в ионосфере, зарегистрированных спутником Polar, во время прохождения фронтов потоков солнечного ветра, в магнитном хвосте на спутнике GEOTAIL наблюдались типичные признаки развития суббури. А именно: 1) область обращения быстрых потоков плазмы от Земли/ к Земле, которая интерпретируется как прохождение в хвост нейтральной линии 2) быстрое уменьшение общего давления, которое следовало за интервалом увеличения общего давления.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МНОГОПОЛОСНЫХ СПОРАДИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ Pc-1

Е.Н Ермакова¹, Д.С. Котик¹, С.В. Поляков¹, А.Г. Яхнин², Т.А. Яхнина², А.Г. Демехов³

¹ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, l.ermakova@nirfi.sci-nnov.ru

² ПГИ РАН, г. Апатиты, Россия, yahnin@pgia.ru

³ ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, andrei@appl.sci-nnov.ru

Работа посвящена исследованию причин возникновения многополосных спорадических излучений в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций (Pc-1). Приводятся результаты регистрации интенсивных Pc-1 на двух среднеширотных пунктах в Нижегородской области, разнесенных на расстояния 120 км, высокоширотной станции Ловозеро и на трех станциях финской цепочки магнитометров. Для анализа было выбрано событие с многополосными колебаниями Pc-1, зарегистрированное 05-06.03.2011. В результате анализа динамики амплитуды и поляризации данного события обнаружено:

- Соотношение амплитуд излучения в разных полосах сложного спектра Pc-1 существенно различалось на разных наземных станциях.
- Спорадическое излучение в двух полосах, 0.8-1 Гц и 1.5-1.9 Гц, в интервале 21 –02 UT имело сопоставимые значения амплитуды и разный характер поляризации. Частотная полоса излучения на более высокой частоте была примерно в два раза шире.
- Увеличение разницы (до 50-60 %) в амплитудах эмиссий Pc-1 и в характере поляризации на двух среднеширотных станциях при образовании двух спектральных пиков после восхода солнца в месте предполагаемого выхода излучения на землю. Поляризация на частотах Pc-1 зависела как от времени, так и от частоты в пределах одной частотной полосы, что указывает на наличие многих источников Pc-1. Наряду с данными магнитометрической аппаратуры анализировались данные низкоорбитальных спутников NOAA-15, -16, -17, -18, -19 и Metop –02 (за те же интервалы времени). К экватору от изотропной границы были зарегистрированы множественные локализованные высыпания протонов двух типов: а) долгоживущие высыпания в относительно высоких широтах и б) высыпания на широтах плазмопаузы. (Ранее было показано, что такие высыпания связаны с областями ионно-циклотронной неустойчивости в магнитосфере). Установлено, что появление источников первого типа ответственно за появление более низкочастотной полосы излучения в период 05:00-08:30 UT и после 11:00 UT. Анализ данных спутников показал, что в период, когда наблюдалось значительное различие в амплитудах и поляризации Pc-1 на среднеширотных станциях, были зарегистрированы источники (и того, и другого типа) вблизи меридиана этих станций. Это говорит о распространении излучений Pc-1 в МГД волноводе, что может объяснить мелкие масштабы в пространственном распределении полей на частотах Pc-1. Наличие двух полос излучения в интервале 21-02 UT трудно объяснить наличием разных источников. Для объяснения такого характера спектров анализировалась возможность влияния тяжелых ионов, присутствующих в области генерации и на пути распространения ионно-циклотронных волн на землю. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-02-00419, 11-02-97104 и Министерства образования и науки РФ, государственный контракт 16.518.11.7066.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НИЗКОШИРОТНОГО ПОГРАНСЛОЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

С.С. Знаткова¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, М.С. Пулинец³, И.П. Кирпичев^{1,2}

¹ *НИИЯФ им. Д.В.Скобельцына, МГУ, г. Москва, Россия*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

³ *Физический факультет МГУ им М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия,
svetlana.znatkova@yandex.ru*

Предложен метод определения толщины низкоширотного погранслоя (LLBL) магнитосферы Земли в дневные часы вблизи экваториальной плоскости по данным пересечения слоя одним спутником с учетом измеряемой на спутнике скорости движения плазмы. Метод может быть использован при флуктуациях положения магнитопаузы и параметров магнитослоя. Проведено тестирование метода по результатам анализа почти одновременных близко лежащих пересечений магнитопаузы спутниками миссии THEMIS, когда имеется достаточно точная информация о толщине LLBL. Показано, что разработанный метод позволяет определить толщину LLBL с точностью порядка 10%. Метод опробован при оценке толщины слоя с учетом его плазменных образований (внутренний и внешний LLBL), что изменяет точность до порядка 15%. Показана необходимость дополнительного анализа влияния структурированности LLBL на результат методики.

СЛАБОДВУМЕРНАЯ МГД-МОДЕЛЬ МАГНИТОДИСКА ЮПИТЕРА

Р.А. Кислов

ИКИ РАН, МФТИ(ГУ), г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru

Магнитный диск Юпитера был обнаружен по наблюдениям Pioneer-10 в 1973 году. В данной работе в рамках осесимметричной слаבודвумерной стационарной одножидкостной МГД-модели, творчески использующей подход, развитый в известной работе [1], проведено исследование структуры магнитодиска в областях открытых и замкнутых магнитных силовых линий. Изучена роль азимутального магнитного поля в формировании магнитодисковой структуры. Рассмотрены различные режимы коротации плазмы диска и возможный механизм её нарушения. В работе получены самосогласованные профили плотности тока, концентрации частиц, различных компонент магнитного поля. Аналитические результаты получены для двух видов зависимости температуры плазмы от магнитного потока: обратной и для случая изотермической плазмы. Исследована область применимости модели. Результаты имеют качественное и количественное согласие с экспериментом.

БАЛЛОННЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ ВБЛИЗИ НАЧАЛА СУББУРИ

Т.В. Козелова, Б.В. Козелов

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com

В докладе рассмотрена структура низкочастотных волн, наблюдаемых на спутнике THEMIS-C на $r \sim 6.3 R_e$ вблизи локального начала суббури в 18:34 UT 6 января 2008 г. Во

время этой суббури в предполуночном секторе магнитосферы граница конвекции 10-кэВ-ных электронов находилась во внешней части захваченных ионов в переходной области, где конфигурация магнитного поля быстро менялась от квазидипольной к более вытянутой «хвостобразной» форме. За две минуты до начала суббури вблизи этой границы конвекции электронов начались осцилляции полей и потоков частиц с периодом ~ 50 -60 секунд. По наземным наблюдениям в Лопарской вблизи долготного сектора спутника в это время на авроральной дуге появились складки и неоднородности светимости, перемещающиеся на запад. Анализ этих низкочастотных осцилляций показал, что (1) вариации магнитного поля с периодом ~ 50 секунд преобладают в направлении оси X ($dB_x > dB_z > dB_y$); (2) вариации магнитного и электрического полей в перпендикулярном к магнитному полю направлении dB_x и dE_y сдвинуты друг относительно друга на 90° , как для стоячих альвеновских волн; (3) осцилляции давления ионов и магнитного поля сдвинуты на 180° , как для медленной магнитозвуковой моды. Таким образом, наблюдаемые вариации полей и частиц в магнитосфере вблизи начала суббури соответствуют альвеновским волнам, зацепленным с медленной магнитозвуковой волной, которые представляют собой баллонные возмущения в плазме, находящейся в криволинейном магнитном поле.

ЯВЛЕНИЕ УСИЛЕНИЯ БАУНСИРУЮЩИХ КЛАСТЕРОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ

Р.А. Ковражкин¹, Г.А. Владимирова¹, А.Л. Глазунов¹, Ж.-А. Сово²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, rkovrazh@iki.rssi.ru

² IRAP, г. Тулуза, Франция

Работа посвящена анализу кластеров (структурных образований) электронов и ионов 0,1-20 кэВ в ночном плазменном слое на геоцентрических расстояниях ~ 4 радиусов Земли. После длительных магнитно-спокойных периодов наблюдается заполнение центрального плазменного слоя баунсирующими кластерами частиц; в некоторых случаях удается выявить в каждом ионном кластере дисперсию энергии от геомагнитной широты. Такая дисперсия связана с влиянием радиального дрейфа в течение баунс-периода для ионов разных энергий. Обнаружено увеличение интенсивности и энергии кластера при возрастании его номера N_i ($N_1, N_2, \dots$) по мере приближения к Земле. Наблюдаемый эффект усиления интенсивности кластеров свидетельствует о том, что в определенных условиях центральный плазменный слой может выступать аналогом объемного резонатора.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ КАМЕРА-Э и КАМЕРА-И ДЛЯ ПРОЕКТА РЕЗОНАНС. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА

Г.В. Койнаш, О.Л. Вайсберг

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, gregory_koynash@iki.rssi.ru

Целью проекта РЕЗОНАНС является исследование взаимодействий волн и частиц во внутренней магнитосфере Земли. Для решения этой задачи большое значение имеет быстроедействие приборов и достоверность измеряемых функций распределения по скоростям. Одним из путей решения этих экспериментальных задач является одномоментное измерение распределения частиц по скоростям в возможно большей части функции распределения. При исследовании распределений частиц по скоростям в магнитосфере Земли можно воспользоваться тем обстоятельством, что в большинстве случаев такие

распределения являются гиротропными. Это позволяет ограничиться измерениями пичч-углового распределения частиц. Анализаторы КАМЕРА-Э и КАМЕРА-И позволяют проводить одномоментное измерение 2-мерного сечения функции распределения электронов и ионов в широком диапазоне энергии $E_0 \div 10E_0$. В докладе приводятся результаты компьютерного моделирования приборов КАМЕРА-И и КАМЕРА-Э, а также расчет геометрического фактора по данным компьютерного моделирования. Нами были использованы данные измерений потоков электронов и ионов на космическом аппарата Cluster (А. Jhonstone и др.) для расчета отклика приборов КАМЕРА-Э и КАМЕРА-И и оценки геометрического фактора приборов. Результаты этих расчетов приведены в данном докладе.

СТАНДАРТНЫЕ ИНДЕКСЫ И ОЦЕНКА НАЗЕМНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

А.Е. Левитин, Л.И. Громова, С.В. Громов, Л.А. Дремухина

ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Троицк, Россия, levitin@izmiran.ru

За общепринятыми индексами геомагнитной активности, которыми мы до сих пор пользуемся, стоят представления о геомагнитной активности, которые были сформированы в период до спутниковой эры. Эти замечательные для своего времени индексы приводят, по нашему мнению, которое мы можем сегодня поддержать конкретными расчетами, к неправильной оценке мощности магнитных бурь и как планетарной наземной геомагнитной активности, так и её сезонного хода. Предложен и опробован новый метод количественной оценки локальной наземной активности переменного магнитного поля Земли, основанный на использовании часовых данных геомагнитных измерений мировой сети магнитных обсерваторий в период 2009 года. Такие данные используются в качестве уровней отсчета часовых амплитуд этой активности для всех предыдущих и последующих лет подобных геомагнитных измерений на каждой обсерватории. 2009 год был самым магнитно спокойным годом солнечной и, соответственно, геомагнитной активности за весь период проведения качественных обсерваторских измерений. Это позволяет при использовании геомагнитных данных в этот год период получить амплитуды часовых значений локальной наземной активности переменного магнитного поля Земли в обсерваториях мировой сети обсерваторий за все предыдущие годы их работы до 2009 года и все последующие после него годы. Используя такой набор данных, можно перейти к более корректной оценке наземной геомагнитной активности, чем её оценка на основе используемых сегодня индексов активности K , K_p , AE . Этот набор обсерваторских данных позволяет также более корректно, чем Dst -индекс, проводить оценку интенсивности магнитных бурь. Представлено обоснование необходимости совершенствования оценки наземной геомагнитной активности, проводимой на основе указанных индексов. Представлен метод обработки часовых данных магнитных обсерваторий и демонстрируется использования их для оценки, как текущей наземной активности переменного геомагнитного поля, так и активности, которая была в предыдущие годы.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТОКОВОГО СЛОЯ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА

А.С. Леонович, Д.А. Козлов

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, leon@iszf.irk.ru

Решена задача об устойчивости токового слоя геомагнитного хвоста относительно азимутально-мелкомасштабных альфвеновских и медленных магнитозвуковых (ММЗ) волн. Определены пространственная структура и спектры этих колебаний. Найденные решения описывают неустойчивые колебания в области вытянутых в хвост замкнутых магнитных силовых линий. Показано, что вдоль силовых линий, опирающихся на высокопроводящую ионосферу, рассматриваемые колебания представляют собой стоячие волны. Определены спектры собственных частот основных гармоник стоячих волн в диапазоне магнитных оболочек $5 < L < 60$ в локальном и ВКБ-приближениях и проведено их сравнение. Показано, что свойства рассматриваемых колебаний, полученные в этих приближениях, кардинально различаются. В локальном приближении альфвеновские волны оказываются устойчивыми во всем диапазоне рассматриваемых магнитных оболочек, а ММЗ-волны на магнитных оболочках, проходящих через токовый слой переходят в режим аperiодической ("баллонной") неустойчивости. В бессиловых магнитных полях, таких как дипольное, колебания всегда устойчивы. В ВКБ-приближении как альфвеновские, так и ММЗ-волны на силовых линиях, проходящих через токовый слой, переходят в режим неустойчивости при конечной частоте собственных колебаний. Однако рассчитанный таким образом инкремент ММЗ-колебаний достаточно мал, а область их существования настолько ограничена, что в реальной магнитосфере они вряд ли могут стать неустойчивыми. Определена структура азимутально-мелкомасштабных неустойчивых альфвеновских волн поперек магнитных оболочек. Показано, что такие волны могут существовать в магнитосфере Земли только при наличии сторонних токов в ионосфере, на которую опираются силовые линии геомагнитного поля. Сделан вывод о неприменимости результатов локального приближения к описанию МГД-колебаний в реальной магнитосфере. Показана некорректность распространенного представления о том, что причиной "баллонной" неустойчивости является связь альфвеновских и ММЗ-колебаний в магнитном поле с кривыми силовыми линиями. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы ПРАН 22 и гранта РФФИ №12-02-00031-а.

ОТРАЖЕНИЕ ГИДРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОТ МАГНИТОСФЕРЫ: ВЛИЯНИЕ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ НА МАГНИТОПАУЗЕ, ВОЛНОВОДА ВО ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ И АЛЬФВЕНОВСКОГО РЕЗОНАНСА В ЕЕ ГЛУБИНЕ

В.А. Мазур, Д.А. Чуйко

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия, vmazur@iszf.irk.ru

В рамках модели однородного солнечного ветра, движущегося вдоль магнитопаузы, и одномерно-неоднородной магнитосферы аналитически определен коэффициент отражения падающей извне гидромагнитной волны и проведен анализ его зависимости от параметров волны. Неоднородность магнитосферы приводит к существованию МГД-волновода, заключенного между магнитопаузой и внутренней точкой отражения, а также альфвеновского резонанса, локализованного за точкой отражения в глубине магнитосферы. Оба эти явления оказывают решающее влияние на характер отражения волн от магнитопаузы. Альфвеновский резонанс является механизмом диссипации энергии в бесстолкновительной магнитосфере. В отсутствие диссипации магнитопауза была бы

идеально отражающей границей и только существование альфвеновского резонанса приводит к возможности отличия коэффициента отражения от единицы. Наличие МГД-волновода приводит к тому, что этот коэффициент существенно отличается от единицы только в узких окрестностях собственных частот волновода, ширина которых порядка декремента затухания собственных мод (эффект Фабри-Перо). При этом для волн, фазовая скорость которых вдоль направления ветра больше скорости ветра (опережающих волн), имеет место неполное отражение – амплитуда отраженной волны меньше, чем падающей. В противоположность этому для волн фазовая скорость которых меньше скорости ветра (отстающих волн), амплитуда отраженной волны больше, чем падающей – имеет место явление сверхотражения. В то же время, энергия, проникающая в магнитосферу во всех случаях положительна. Дело в том, что отстающие волны в солнечном ветре обладают отрицательной энергией. Поэтому их сверхотражение означает, что отрицательная энергия, принесенная падающей волной, меньше (по модулю), чем отрицательная энергия, унесенная отраженной волной. Т.е. энергия, поступившая в магнитосферу положительна.

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ТОКОВОГО СЛОЯ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ THEMIS

В.В. Калегаев, И.С. Назарков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, nazarkov@dec1.sinp.msu.ru

Исследуется структура и динамика магнитного поля хвоста магнитосферы на основе данных миссии THEMIS в период экстремально-спокойного состояния магнитосферы Земли в 2009 г. С использованием модели собственного магнитного поля Земли (IGRF-11) и модели магнитосферного магнитного поля (A2000) мы выделяем из суммарного измеренного магнитного поля поле токов хвоста магнитосферы. Использование одновременных измерений на 5 спутниках позволяет получить радиальный профиль магнитного поля вдоль хвоста магнитосферы. Получено, что передний край токового слоя хвоста магнитосферы при спокойных внешних условиях в солнечном ветре 4 апреля 2009 г. находился на расстоянии около 12 Re, а магнитное поле в окрестности переднего края составляло $|B| = 20$ нТл, в то время как в удаленном хвосте его величина составляла около 10 нТл. Во время геомагнитного возмущения 14 февраля 2009 г. (мин. Dst -35 нТл) передний край токов хвоста магнитосферы приблизился к Земле до 8 Re, и значительно усилилось магнитное поле вблизи переднего края (B_x компонента поля достигала 70 нТл, B_z достигала -50 нТл), что говорит о значительных протекающих токах. Полученные данные свидетельствуют об увеличении характерных размеров магнитосферных токовых систем в период экстремально спокойной эпохи солнечной активности.

ИМПУЛЬСНЫЕ ВСПЛЕСКИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ 0.2 ÷ 5 ГЦ КАК ПЕРВЫЙ СИГНАЛ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МУВ С МАГНИТОСФЕРОЙ

**В.А. Пархомов¹, Б.В. Довбня², Г.Н. Застенкер³,
В.В. Сафаргалеев⁴, А.Ю. Пашинин⁵**

¹ Байкальский государственный университет экономики и права,
г. Иркутск, Россия, parhomov@irk.ru

² Геофизическая обсерватория Борок, ИФЗ РАН, Россия

³ Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

⁴ Полярный геофизический институт КНЦРАН, г. Мурманск, Россия

⁵ Институт солнечно-земной физики СОРАН, г. Иркутск, Россия

По материалам сопоставлений наблюдений с высоким временным разрешением фронтов межпланетных ударных волн (МУВ) на спутнике Спектр-Р и наземных наблюдений геомагнитных пульсаций на сети индукционных магнитометров обнаружены импульсные сигналы, отражающие первый контакт МУВ с магнитосферой. Сигналы наблюдаются в виде кратковременных (≤ 20 с) цугов колебаний падающей частоты в диапазоне 0.2 ÷ 5 Гц. Всплески пульсаций предваряют или регистрируются в начале предварительного импульса внезапного начала (PRI), являющегося частью классического импульса внезапного начала, обозначаемого знаком SSC* или SI*. Сигналы наблюдаются одновременно в широтно-долготном интервале $\Delta\Phi \sim 35^\circ$ и $\Delta\Lambda \sim 90^\circ$, но преимущественно на освещённой стороне магнитосферы. Приводятся спектрограммы пульсаций на сети станций. По анализу 15 событий обнаружено, что вероятность появления сигналов зависит от параметров межпланетной среды. С наибольшей вероятностью сигналы наблюдаются при положительных значениях B_z компоненты ММП при положительном возрастании её значения на фронте волны и при резких ($\leq 1\div 3$ с) и больших (≥ 3 нПа) возрастаниях давления солнечного ветра. Обсуждаются две альтернативные модели возбуждения наблюдаемых импульсных сигналов. Согласно первой модели сигналы могут быть отражением осцилляций структуры ударной волны. Согласно второй модели наблюдаемые сигналы могут генерироваться в ионосферном альвеновском резонаторе.

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОНЧ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Д.Л. Пасманик, А.Г. Демехов

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, pdl@aurora.appl.sci-nnov.ru

В рамках приближения геометрической оптики исследуются особенности распространения ОНЧ волн в ионосфере и магнитосфере Земли при создании в ней крупномасштабных искусственных плазменных неоднородностей нагревными стендами типа HAARP и «Сура». Профиль концентрации и ионного состава плазмы для расчета лучевых траекторий задается на основе вычислительной модели ионосферы SAMI2, модифицированной для учета воздействия на ионосферу ВЧ излучения нагревных стендов. В результате воздействия нагревного стенда на ионосферу может возникать область с повышенной концентрацией плазмы, вытянутая вдоль геомагнитного поля (до высот порядка радиуса Земли) и имеющая достаточно небольшой размер поперек него ($\sim 1^\circ$). В работе исследуются лучевые траектории волн, распространяющихся с высот около 100 км из различных начальных точек в области, где создано подобное возмущение, и имеющих

различные начальные углы волновой нормали. Источником таких волн могут быть как молниевые разряды, так и модулированный ВЧ нагрев ионосферы. Результаты проведенных расчетов демонстрируют, что наличие подобных возмущений плотности приводит к эффективному каналированию ОНЧ волн в области возмущения, однако после выхода волны из этой области происходит её дефокусировка. Также показано, что наличие дакта плотности приводит к расширению интервала начальных углов распространения волн, которые могут дойти до ионосферы в противоположном полушарии.

БАЛАНС ДАВЛЕНИЙ НА МАГНИТОПАУЗЕ ВБЛИЗИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ТОЧКИ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА THEMIS

М.С. Пулинец¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}

¹ НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, cotopaxu@gmail.com; antonova@orearm.msk.ru

При прохождении солнечного ветра через околоземную ударную волну существенно нарастает уровень флуктуаций магнитного поля и параметров плазмы, формируется магнитослой. Несмотря на длительную историю изучения взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, характеристики турбулентности магнитослоя сравнительно плохо изучены. Не решен вопрос о балансе давлений на магнитопаузе в областях, где велик уровень турбулентных флуктуаций магнитного поля. Представлены результаты изучения флуктуаций магнитного поля в магнитослое и баланса давлений на магнитопаузе вблизи подсолнечной точки во время магнитных бурь по данным миссии THEMIS. Выделены пересечения магнитопаузы спутниками во время магнитных бурь за все время работы миссии. Проведен анализ соблюдения условия баланса давлений на магнитопаузе и сравнение результатов с пересечениями, имевшими место в спокойной геомагнитной обстановке. Выделены особенности изменений характеристик плазмы вблизи магнитопаузы при ее пересечении спутником во время бурь.

ВЕЙВЛЕТ-СКЕЛЕТОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Д.В. Шадруков, С.Е. Ревунов

НГПУ, г. Нижний Новгород, Россия, revunov@inbox.ru

Исследование посвящено изучению возможностей вейвлет-скелетонного инструмента при использовании его в прикладных задачах гелиогеофизики. Как известно, анализ динамических спектров колебаний геомагнитного поля и параметров околоземного космического пространства играет ключевую роль в получении выводов о физических процессах, происходящих в магнитосфере и в возмущающих ее плазменных образованиях солнечного ветра. Традиционно основным инструментом гармонического анализа данных является интегральное преобразование Фурье. На практике чаще применяется оконное преобразование Фурье, позволяющее получить локальное распределение частот. Применение окон принципиально необходимо, поскольку в реальной ситуации исследуется некоторый фрагмент анализируемого сигнала. При этом разрывы сигнала вследствие вырезки всегда искажают спектр. Это обстоятельство делает преобразование Фурье плохим методом для исследования иррегулярных процессов, характеристики которых эволюционируют во времени. Если сделать оконную функцию зависящей от частоты так,

чтобы для низких частот окно становилось шире, а для высоких уже, то оконное преобразование Фурье переходит в новый класс преобразований – вейвлет-преобразования. Основное преимущество вейвлет-преобразования заключается в обеспечении двумерной развертки исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные. Это дает возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физическом (время, координата) и в частотном пространствах. Получаемая при этом избыточная спектральная информация может быть сокращена путем регистрации только положения максимумов спектра. При этом образуется структура «вейвлет-скелета», которая позволяет сосредоточиться на ключевых особенностях динамики спектра. Вейвлет-скелетонный инструмент проверен на ряде гелиогеофизических задач. Продемонстрирована возможность уточнения типа плазменного потока солнечного ветра по уникальным спектральным признакам возмущений скорости, плотности, величине магнитного поля. Показано, что энергетический спектр колебаний этих параметров отражает внутреннюю структуру соответствующего плазменного образования. Обнаружено наличие связи динамики скелетонных компонент геомагнитного поля с динамикой границ высокоширотных активных зон.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ЭКЗОПЛАНЕТ: МАРКЕР НАЛИЧИЯ ЖИЗНИ

А. Скальский¹, М. Могилевский¹, В. Готлиб¹, Х. Роткель², Л. Гурвиц³, В. Корепанов⁴, И. Добровольский¹, Т. Романцова¹, Н. Рыбьева¹

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Центр космических исследований, Польша

³ Европейский Институт VLBI, Нидерланды

⁴ Львовский Центр Института космических исследований, Украина

Планетарное магнитное поле является защитой от космической радиации, и его наличие у планеты может является одним из индикаторов существования жизни на планете. Поиск планет подобных Земле около других звезд, планет, обладающих собственным магнитным полем и развитой магнитосферой, является одной из наиболее актуальных задач, связанных с исследованиями экзопланет. Взаимодействие звездного ветра с магнитосферой планеты приводит к генерации радиоизлучения, подобного АКР, как в случае земной магнитосферы, и указывает на наличие у планеты собственного магнитного поля. Ожидаемый частотный диапазон радиоизлучения от подобных Земле экзопланет находится ниже 10 мГц, что затрудняет их регистрацию с помощью антенн, расположенных на земной поверхности из-за экранирования излучения ионосферой Земли. Луна, практически безатмосферное тело, представляет собой идеальный полигон для проведения измерений низкочастотных радиоизлучений, имеющих космическое происхождение. В работе представлен возможный подход к построению антенной системы на поверхности Луны, а также для имеющаяся разработка прибора для измерений низкочастотных излучений для посадочного зонда. Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН П-22.

ГЕОМАГНИТОФЕРНАЯ ПЛАЗМА ДИАПАЗОНА ЭНЕРГИЙ $E \sim (1 \text{ эВ} - 100 \text{ МэВ})$

В.В. Тёмный¹, И.В. Гецелев²

¹ ИИЕТ РАН им. С.И. Вавилова, г. Москва, Россия, vtemnyi@

² НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, getselev@mail.ru

За полувековую историю экспериментальных исследований геомагнитосферы отождествлены основные составляющие её радиационно-плазменного заполнения диапазона энергий $E \sim (1 \text{ эВ} - 100 \text{ МэВ})$: тепловой ионосферной плазмы и захваченных магнитным полем электронов и протонов. Сопоставления между собой равновесных плотностей энергии $n(\text{см}^{-3}) \cdot E(\text{эВ})$ этих компонентов на различных удалениях в экваториальной плоскости магнитосферы дают возможность определить преобладающий вклад каждой из них в радиационно-плазменное заполнение геокосмоса. В центре внутреннего радиационного пояса ($1,2 < L < 2,5$) плотность энергии захваченных электронов ($n_e E_e > 50 \text{ кэВ}$) на 2 порядка величины превышает плотность энергии захваченных протонов ($n_p E_p > 40 \text{ МэВ}$) и на полтора порядка величины – тепловой ионосферной (i, e) плазмы ($n_{i,e} T_{i,e} < 1 \text{ эВ}$). В центре внешнего радиационного пояса – кольцевого тока ($3,5 < L < 7$) плотность энергии захваченных протонов ($n_p E_p > 100 \text{ кэВ}$, а, возможно и $n_p T_p \sim 100 \text{ кэВ}$) на 2 порядка величины превышает захваченных электронов ($n_e E_e > 100 \text{ кэВ}$) и на 1,5 порядка плотность энергии тепловой ионосферной (i, e) плазмы ($n_{i,e} T_{i,e} < 1 \text{ эВ}$). Трудно представить, как могут сосуществовать эти 3 компоненты плазмы в одном пространстве без обмена энергией между собой. Возможно, что результаты начавшейся 30.08.2012 г. миссии RBSP (2 ИСЗ на орбитах, пересекающих внутренний и внешний радиационные пояса) [RBSP] дадут более определённые результаты об энергосодержании геокосмоса. В магнитосферах всех планет-гигантов Солнечной Системы зарегистрированы столь же высокие температуры, как и в кольцевом токе геомагнитосферы.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ: АНАЛИЗ ПЕРИОДОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБАХ

Ю. Маннинен¹, Е.Е. Титова², А.Г. Демехов³, А. Козловский¹, Д.Л. Пасманик³

¹ Геофизическая обсерватория Соданкюля, Соданкюля, Финляндия

² ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия; ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Квазипериодические (QP) ОНЧ излучения характеризуются периодической модуляцией интенсивности волн с периодами от нескольких секунд до минут и их генерацию обычно связывают с нестационарными режимами работы магнитосферного циклотронного мазера [Беспалов, Трахтенгерц, 1986; Трахтенгерц, Райкрофт, 2011]. Во время наземной кампании по измерениям ОНЧ сигналов в авроральных широтах (Kannuslehto, Финляндия, декабрь 2011 - январь 2012 г.) были зарегистрированы различные типы QP излучений [Manninen et al., 2012]. В докладе рассматриваются квазипериодические КНЧ/ОНЧ излучения, зарегистрированные во время этой кампании 24 декабря 2011 с 15 UT до 22 UT. Основное внимание уделено выявлению различных характерных периодов в спектрах QP излучений. В частности, анализу регулярных вариаций периодов следования QP элементов (периоды 1-10 мин.) в течение всего события, их изменению во время суббурь, а также анализу мелкомасштабных периодов (единицы секунд), наблюдаемых внутри от дельных QP элементов. Анализ изменений поляризации и интенсивности QP излучений, а также спектральных особенностей вблизи частоты отсечки волновода Земля-ионосфера позволили оценить положение источника QP излучений. Во время рассмотренного события, длящегося

около 7 часов, наблюдалось регулярное увеличение периодов QR эмиссий, которое мы связываем с ослаблением магнитосферного источника. Кроме регулярного увеличения периода наблюдались значительные его вариации, связанные с развитием суббури. Эти вариации рассматриваются на основе данных о геомагнитной обстановке и о состоянии ионосферы в районе наблюдений. Проанализирована тонкая структура спектров QR элементов и выявлены периоды связанные с временам канализированного распространения свистовых волн вдоль магнитной силовой линии (3 с и 6 с). Эти периоды часто различны для нижних и верхних частот QR элементов: как правило, в низкочастотной области наблюдаются короткие периоды около 3 с, а в верхней – около 6 с. Анализ особенностей тонкой структуры спектров QR элементов показывает, что на их формирование оказывают влияние как линейные эффекты (дисперсия групповой скорости), так и нелинейные эффекты, вызванные модификацией функции распределения энергичных электронов. Более того, этот анализ позволяет проследить переход от линейного к нелинейному режиму циклотронного взаимодействия волна-частица, который можно интерпретировать как результат пассивной синхронизации мод в магнитосферном лазере [Беспалов, 1984; Трахтенгерц, Райкрофт, 2011].

Беспалов П.А. Пассивная синхронизация мод в лазерах с неэквидистантным спектром // ЖЭТФ. 1984. Т.87, №6. С. 1894-1905.

Беспалов П.А., Трахтенгерц В.Ю. Альфвеновские лазеры // Горький: ИПФ АН СССР, 1986.

Manninen et al., J., Non-typical ground-based quasi-periodic VLF emissions observed at $L \sim 5.3$ under quiet geomagnetic conditions at night, JASTP <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.05.007>.

Трахтенгерц В.Ю., Райкрофт М.Дж. Свистовые и альфвеновские циклотронные лазеры в космосе // М.: Физматлит, 2011, 344 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ ИНЖЕКЦИИ ЭНЕРГИЧНЫХ ИОНОВ ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

В.Л. Халипов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, khalipov@iki.rssi.ru

По данным измерений со спутника AMPTE/CSE рассмотрены вариации границы инжекции энергичных (до ~ 50 кэВ) ионов во внутренней магнитосфере для суббуревых возмущений различной интенсивности. Вблизи области инжекции в секторе 22-01 MLT наблюдались ионы без дисперсии в широком диапазоне энергий, а в вечернем секторе – с дисперсией в форме “носовых структур”. Построена зависимость глубины проникновения ионов от AE –индекса. Спутниковые измерения показывают, что через 20-30 минут после начала суббури с $AE > 500$ нТ, энергичные ионы в околополуденном секторе достигают оболочки $L = 3.0$.

ПОПЕРЕЧНЫЙ НАГРЕВ ИОНОВ НА ДВИЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

Д.В. Чугунин, М.М. Могилевский, И.Л. Моисеенко, Т.В. Романцова

ИКИ РАН, г.Москва, Россия, dimokch@iki.rssi.ru

Представлены результаты анализа измерений параметров плазмы и электромагнитных полей, сделанных на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 во время геомагнитных возмущений. Показано, что в околополуденном секторе в момент, когда полярная граница аврорального овала движется к полюсу, наблюдаются ионосферные ионы H^+ и O^+ с энергиями достигающими несколько кэВ. Примерно в этой же области наблюдается генерация АКР излучения на высоте спутника. На границе овала скорости ионов имеют пичч-угловое распределение близкое к 90 градусам, что говорит о локальном поперечном нагреве данных ионов. Из анализа измерений следует, что ионы испытывают нагрев до 300 эВ/с. Предложен механизм, связанный с инжекцией плазмы из хвоста магнитосферы и пространственного разделения электронов и ионов на этой границе.

ОБНАРУЖЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-СКЕЛЕТОННОЙ ОБРАБОТКИ ВНЕ И ВНУТРИМАГНИТОСФЕРНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПЕРИОДЫ МАГНИТНЫХ БУРЬ

Д.В. Шадруков, С.Е. Ревунов

НГПУ, г. Нижний Новгород, Россия, shadrukoff@mail.ru

В работе выполнено сопоставление результатов вейвлет-скелетонной обработки низкочастотных вне и внутримagnetосферных возмущений магнитных и плазменных параметров в периоды магнитных бурь с целью обнаружения геоэффективных типов солнечных потоков. Исследование выполнено по 12 случаям дневных геомагнитных бурь различной интенсивности зарегистрированных с 2000 по 2003 гг. зафиксированным по показаниям индекса Dst (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>). В данную выборку попали слабые и умеренные бури ($Dst > -100$ нТл), сильные бури ($Dst > -200$ нТл) и экстремальные бури ($Dst < -200$ нТл). Применением техники вейвлет-скелетонной обработки продемонстрирована возможность уточнения типа плазменного потока солнечного ветра по спектральным признакам возмущений скорости, плотности, величине магнитного поля в этих потоках. Показано, что такой подход к анализу основных параметров межпланетной среды позволяет оценить время реакции магнитосферы в колебаниях компонент геомагнитного поля на разных широтах на подошедшее к ней возмущение на разных фазах развития бури. 1) Предбуревая реакция магнитосферы в возмущениях геомагнитного поля на возмущенные параметры солнечного потока заключается в ее быстром ответе в высоких широтах и запаздывающем в субавроральной зоне. Область полярной шапки и аврорального овала подвержены прямому воздействию возмущенности переднего края солнечного потока, в то время, как субавроральные области возмущаются возникающим при этом внутримagnetосферным источником, вызванным действием потока солнечного ветра. 2) Время реакции магнитосферы в возмущениях геомагнитного поля на начальной фазе бури на всех рассматриваемых широтах одинаково мало. Это возможно, если все станции получения анализируемых данных во время этой фазы попадают в область полярной шапки и одновременно регистрируют колебания в потоке солнечного ветра. 3) На главной фазе бури под действием потоков типа областей взаимодействия быстрого солнечного ветра с медленным, реакция магнитосферы в возмущениях геомагнитного поля на возмущенные

параметры солнечного потока характеризуется быстрым ответом в высоких широтах и запаздывающим в субавроральной зоне.

РСЗ ПУЛЬСАЦИИ, НАБЛЮДАЕМЫЕ НА НОЧНОЙ СТОРОНЕ В F-СЛОЕ ИОНОСФЕРЫ И НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Н.В. Ягова¹, Б. Хэйлиг², К. Юмото³

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, nyagova@yandex.ru

² Геофизическая обсерватория Тихани, Венгрия

³ Университет Кюсю, Фукуока, Япония

Исследуются параметры квазипериодических пульсаций диапазона РСЗ (20-80 мГц) на Земле и в F-слое ионосферы по данным сетей наземных магнитометров CPMN, MM100 и спутника CHAMP. Показано, что ночные РСЗ не являются продолжением обычной дневной активности в том же частотном диапазоне. Исследовано распределение амплитуды, когерентности и фазы пульсаций на различных пространственных масштабах, суточный и нерегулярные вариации и зависимость частоты появления ночных РСЗ от параметров плазмы и магнитного поля вне и внутри магнитосферы.

ВЫСЫПАНИЯ ЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ К ЭКВАТОРУ ОТ ИЗОТРОПНОЙ ГРАНИЦЫ НА ДНЕВНОЙ СТОРОНЕ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ

Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин

ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, ayahnina@gmail.com

По данным наблюдений на низкоорбитальных спутниках NOAA рассмотрены особенности высыпаний энергичных протонов к экватору от изотропной границы во время геомагнитной бури. На главной фазе бури и в начале восстановительной фазы основным типом высыпаний энергичных протонов являются локализованные по широте (около 1°) высыпания в вечернем секторе. Во время восстановительной фазы появляются локализованные высыпания в утреннем секторе. Кроме того, выявлен еще один тип высыпаний энергичных протонов – протяженные по долготе и широте высыпания на дневной стороне. Этот тип высыпаний протонов наблюдается на относительно высоких широтах (65-70 градусов широты) и существует в течение всей бури, причем интенсивность этих высыпаний максимальна в начале фазы восстановления. Сделано предположение о том, что механизмом, приводящим к этим высыпаниям, является так называемое «расщепление дрейфовых оболочек», возникающее вследствие постоянно существующей асимметрии магнитного поля Земли. Расщепление дрейфовых оболочек приводит к поперечной анизотропии горячих протонов в высоких широтах на дневной стороне и, соответственно, к росту инкремента ионно-циклотронной неустойчивости и рассеянию протонов по питч-углам.

TEST OF THE GUMICS-4 GLOBAL MHD CODE USING EMPIRICAL SOLAR WIND–MAGNETOSPHERE RELATIONSHIPS

E. Gordeev¹, V. Sergeev¹, G. Facsko², M. Palmroth², I. Honkonen²

¹ *Saint-Petersburg State University, evgeniy_gordeev@yahoo.com*

² *Finnish Meteorological Institute,*

Global MHD modeling is a powerful tool in magnetospheric physics research. There is a set of advanced and fast improving global MHD codes that are used widely in solar wind-magnetosphere interaction studies. Most of those models are accessible for everyone in the World Wide Web in automatic mode. Thus, the validation of simulation results is very important and acute question. We present the examination of the GUMICS-4 global MHD code correspondence to the empirical relations of the key magnetospheric parameters. Since the GUMICS-4 model provides unique and stable solutions under specified stationary input conditions it looks naturally to compare this numerical solutions exactly with empiric relations (statistically averaged response of magnetosphere on specific solar wind/IMF conditions). The big set of stationary solutions (162 runs) of GUMICS-4 code with different IMF/solar wind inputs was utilized in this work. We use the large-scale characteristics that reflect the global state of magnetospheric system, namely: magnetopause size, cross-polar cap electric potential, tail lobe magnetic field, plasma pressure in the tail plasma sheet and tail neutral sheet shape. We found that the set of stationary solutions of GUMICS-4 code in general satisfactorily fits with the main solar wind - magnetosphere empirical relations, however, with some peculiarities and details. The size of the tail magnetopause and the value of the lobe magnetic field appear statistically lower than empirical values that lead to the lower magnetic flux inside the magnetotail. Similarly, the ionospheric potential value is smaller and has a low dynamical range of variance responding to the upstream inputs comparing with empirical relations. On the other hand, position of the subsolar magnetopause and the tail plasma sheet plasma pressure demonstrate satisfactory agreement with statistical models and have a reasonable scatter. The shape and position of magnetotail neutral sheet fits very well with empirical.

СЕКЦИЯ «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, ГЕЛИОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Г.С. Ануфриев

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
anufriev.mass1@mail.ioffe.ru*

Было высказано предположение, что Луна, лишенная магнитного поля, существующая около 4,5 миллиардов лет и облучаемая корпускулярным потоком Солнца, может хранить информацию о вариациях потоков солнечных ядер, в том числе и о вариациях в длительном интервале времени. Известно, что в основном солнечный поток состоит из ядер водорода. Однако проведенные анализы лунного грунта показали, что на освещаемой Солнцем поверхности Луны водорода практически нет. Найден Солнечный гелий, который в корпускулярном солнечном потоке по обилию занимает второе место. По измеренной концентрации гелия в реголите длинной колонки лунного грунта («Луна-24») реставрирован поток и его вариации на интервале ~145-600 млн. лет. На основании палео дендрохронологических данных в литературе было высказано предположение о повышенной солнечной активности примерно 100 миллионов лет назад. Присутствие «недатированного окна» в интервале ~ 0-145 млн. лет, получившегося при исследовании колонки Луны-24, и упомянутой публикации о возможной активности Солнца ~ 100 млн. лет назад повысили интерес к исследованию сравнительно короткой (~ 35 см от уровня поверхности Луны) колонки лунного грунта «Луны-16». Проведено датирование этой лунной колонки, доставленной автоматической станцией «Луна-16» в сентябре 1970 года из Моря Изобилия. Концентрация гелия в тонкой фракции грунта (~ 100 мкм) заметно выше средней концентрации гелия в колонке Луны-24 и близка к величине максимального значения концентрации в этой колонке. Эти обстоятельства, вероятнее всего связанные с вариациями солнечного корпускулярного излучения, позволяют «закрыть датированием временное окно ~0-145 млн. лет», образовавшееся при исследовании колонки «Луны-24». Применена разработанная нами методика датирования с использованием кинетического параметра – скорости аккумуляирования реголита. Возраст колонки составляет примерно 90 миллионов лет. Эти данные подтверждают реальность «гипотетического» ~100- миллионного пика солнечной активности, вызвавшей повышенный поток гелия, и поддерживаемый ранее только палео дендрохронологическими исследованиями. На основании концентрации изотопов гелия и неона в образцах колонок лунного грунта, доставленных автоматическими станциями «Луна-16 и 24», и современных спутниковых данных (Genesis, ACE/SWICS, миссии Apollo) разработан вариант реставрации древних солнечных потоков протонов и гелия и их вариаций на интервале времени от настоящего до ~ 600 миллионов лет назад. Полученные данные о вариациях потоков протонов и гелия предоставляют новые характеристики функционирования Солнца и могут быть полезны также в установлении солнечно-земных связей в вопросах палеоклимата и палеонтологии. Высказано предположение о возможной долговременной периодичности солнечной активности, связанной с активизацией процессов выброса корональной массы (СМЕ). Реставрация потоков потребовала знания возраста реголита. Однако начиная с экспедиции «Аполлон-11» в 1969 году, когда на Луне был обнаружен достаточно толстый слой реголита (обломочной породы - лунного грунта), проблема оставалась не решенной более 40 лет. Первое и единственное решение было предложено автором этой работы на основе модели, основанной

на введения в анализ кинетического параметра – скорости накопления реголита и на учете времени экспозиции реголита под действием галактических космических лучей (ГКЛ).

МАГНИТНЫЕ ДЫРЫ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ КАК ПЛАЗМЕННЫЕ СТРУКТУРЫ С ПОСТОЯННЫМ ДАВЛЕНИЕМ И КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНЫХ МГД ВОЛН

С.А. Гриб

ГАО РАН, Пулковое, СПб, Россия, sagrib@gmail.com

Рассматривается столкновение солнечной быстрой ударной волны со стационарной магнитной дырой, связанной со значительным понижением величины магнитного поля на плазменной неоднородности в потоке солнечного ветра. Предполагается возможность возникновения магнитной дыры вблизи от Солнца в результате наклонного взаимодействия солнечного вращательного разрыва с быстрой магнитогидродинамической (МГД) ударной волной и последующего перехода медленной ударной волны в стационарный разрыв. Магнитная дыра представляется в виде плазменной стационарной структуры с постоянным полным статическим давлением и с границами в виде МГД тангенциальных разрывов. Методом пробного расчёта определяется возникновение вторичных МГД волн типа быстрой ударной волны и быстрой волны разрежения внутри стационарной плазменной структуры, переносимой потоком солнечного ветра. На основе имеющихся плазменных и магнитных данных, полученных с помощью космических аппаратов типа Кластер и Улисс, определяются параметры возникающих волн. Утверждается замедление движения солнечных ударных волн внутри магнитных дыр из-за понижения величины магнитного поля и изменение конфигурации структуры с постоянным давлением. Сравнение теоретического МГД рассмотрения динамики магнитных дыр с экспериментальными данными указывает на важность построения МГД модели магнитной дыры и на актуальность изучения часто происходящих в потоке солнечного ветра взаимодействий магнитных дыр с солнечными ударными волнами в рамках осуществления прогноза «космической погоды». Работа проводилась в рамках программы Президиума РАН П-22 и при частичной поддержке грантом РФФИ 11-01-00235.

ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ ТИПАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, ОТ ВЕЛИЧИНЫ БУРИ

Ю.И. Ермолаев, Н.С. Николаева, И.Г. Лодкина, М.Ю. Ермолаев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, yermol@iki.rssi.ru

В работе исследована зависимость вероятности генерации магнитных бурь различными типами солнечного ветра от величины магнитной бури. На основе данных межпланетных измерений базы OMNI за период 1976-2000 г анализируются 798 магнитных бурь с $Dst \leq -50$ нТл и их межпланетные источники: коротирующие области взаимодействия (CIR), межпланетные СМЕ (ICME), включающие магнитные облака (MC), поршни (Ejecta) и области сжатия перед ними (Sheath). Для каждого типа межпланетного источника определены вероятности генерации бурь сильнее некоторого порога: $Dst < -50, -70, -100, -150$ и -200 нТл. Наибольшая вероятность наблюдается для магнитных облаков, а для остальных источников в 5-7 раз ниже для бурь с $Dst < -50$ и в 10-40 раз ниже для бурь с $Dst < -200$. Для всех типов источников вероятность убывает с ростом силы бури по нелинейному закону:

скорость убывания вероятности растет с величиной бури. При этом скорость убывания вероятности наиболее низкая для МС и наиболее высокая для CIR. Полученные данные вносят существенный вклад в предсказания «Космической погоды», так как они в совокупности с данными о частоте появления различных типов солнечного ветра на орбите Земли позволяют оценить среднюю частоту появления на Земле экстремально сильных магнитных бурь. В частности, оценки показывают, что экстремальные бури типа бури Кэррингтона в 1859 году с $Dst < -1700$ нТл случаются на Земле приблизительно раз в 500 лет.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ОБЛАСТИ УСКОРЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

А.И. Ефимов¹, Л.А. Луканина¹, А.И. Рогашкова¹, Л.Н. Самознаев¹, И.В. Чашей², М.К. Бёрд^{3,4}, М. Петцольд⁴

¹ *Институт Радиотехники и Электроники им. В.А.Котельникова РАН, efimov@ms.ire.rssi.ru*

² *Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН*

³ *Институт Астрономии им. Аргеландера Боннского университета*

⁴ *Институт исследования окружающей среды Кёльнского университета*

В периоды нахождения космических аппаратов (КА) ULYSSES, MARS-EXPRESS, VENUS-EXPRESS, ROSETTA в верхнем соединении (1991-2009) были осуществлены крупномасштабные эксперименты по двухчастотному радиозондированию околосолнечной плазмы когерентными сигналами S- и X-диапазонов. На наземных пунктах осуществлялись 1 раз в секунду измерения значений частот и амплитуд этих сигналов, а также дифференциальной частоты, которая полностью определяется временными флуктуациями интегральной электронной концентрации на трассе *КА-наземный пункт* (downlink). Анализ данных радиозондирования позволил обнаружить на гелиоцентрических расстояниях 3...40 радиусов Солнца существование квазипериодических флуктуаций электронной концентрации пятиминутного диапазона (периоды 2-6 минут), которые обусловлены волнами магнитозвукового типа. Эффект их присутствия проявляется на временных спектрах дифференциальной частоты в виде максимума спектральной плотности. Период колебаний плотности околосолнечной плазмы согласуется с периодом хорошо известных пятиминутных колебаний, которые наблюдаются вблизи фотосферы. Помимо пятиминутных осцилляций известны также колебания Солнца с большими периодами – от 7 до 160 мин. В связи с этим представляет интерес провести поиск колебаний частоты зондирующих радиоволн с такими периодами в области ускорения солнечного ветра. С этой целью были проведены вычисления интегральных вейвлет-спектров для флуктуаций частоты. Было установлено, что вейвлет-спектры сильно изменчивы, но на них регулярно наблюдаются один или несколько максимумов, что указывает на присутствие в записях дифференциальной частоты периодических колебаний с одним или несколькими периодами. Периоды зарегистрированных колебаний изменяются от 1 мин. до 200 мин. Анализ материалов, полученных в экспериментах радиозондирования, показал, что в области ускорения солнечного ветра так же как и вблизи фотосферы, постоянно присутствуют квазипериодические колебания электронной концентрации – волн магнитозвукового типа. Реализованная в процессе обработки методика обнаружения подобных осцилляций включает в себя фильтрацию первичных данных, спектральный и корреляционный анализ, использование вейвлет-преобразования. Применение вейвлет-преобразования существенно увеличивает эффективность выявления возмущений и обеспечивает обнаружение длиннопериодных (до 200 минут) колебаний плотности околосолнечной плазмы.

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ГЕЛИОСФЕРНОМ УДАРНОМ СЛОЕ

В.В. Измоденов, Д.Б. Алексашов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, izmod@iki.rssi.ru

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Институт проблем механики им. А.Ю. Иилинского РАН, г. Москва, Россия

В работе анализируется влияние гелиосферного магнитного поля на область взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой (ЛМС). Для этого была разработана численная трехмерная кинетико-магнитогидродинамическая модель взаимодействия солнечного ветра с частично-ионизованной межзвездной средой. Впервые в рамках модели было былоучтено влияние гелиосферного магнитного поля. Разработанная нами модель (в отличие от работ других авторов) позволяет выделить гелиопаузу, как поверхность расчетной сетки, и благодаря избежать эффектов пересоединения межзвездного и гелиосферного полей. Такие эффекты «численного пересоединения» присущи ранее опубликованным моделям других научных групп. Описание заряженной компоненты (протонов и электронов) осуществляется в рамках идеальной магнитной гидродинамики, поэтому в модели гелиосферный токовый слой является поверхностью разрыва и может быть определен кинематически. В результате расчетов было показано, что магнитное поле растет в гелиосферном ударном слое и при приближении к гелиопаузе образуется «магнитный барьер». Примерно в половине ударного слоя плазменное $b > 1$, и магнитное поле начинает определять течение плазмы в этой области. В окрестности гелиопаузы гелиосферное поле достигает 5 мкГаусс, а плотность плазмы существенно падает (образуется plasma depletion layer). Эффекты магнитного поля приводят также к существенному (на ~ 20 а.е.) уменьшению гелиоцентрического расстояния до гелиосферной ударной волны, что приводит к необходимости пересмотра степени ионизации в ЛМС. Результаты модели обсуждаются также и в связи с измерениями на космических аппаратах Вояджер 1 и 2, которые находятся на гелиоцентрических расстояниях 123 а.е. и 101 а.е. (в декабре 2012), соответственно.

О КОРРЕЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ И ГЕЛИОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ

М.Б. Крайнев, Г.А. Базилевская, М.С. Калинин, А.К. Свиржевская, Н.С. Свиржевский

ФИАН им. П.Н. Лебедева, г. Москва, Россия, mkrainev46@mail.ru

Для понимания наблюдаемого временного поведения интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) его часто сопоставляют с поведением гелиосферных характеристик, которые предполагаются важными для модуляции интенсивности ГКЛ. К этим характеристикам относятся напряжённость регулярного гелиосферного магнитного поля и спектр его неоднородностей, скорость солнечного ветра, квазинаклон к плоскости солнечного экватора гелиосферного токового слоя (ГТС) и др. Важной частью такого феноменологического анализа данных является сопоставление моментов экстремумов интенсивности ГКЛ разных энергий и гелиосферных характеристик, а также их экстремальных значений. В докладе обсуждаются результаты численного расчёта интенсивности ГКЛ для периодов относительно низкой солнечной активности между солнечными циклами 21/22 (1981-1988 гг.), 22/23 (1991-1998 гг.) и 23/24 (2002-2010 гг.).

Особое внимание обращается на необычное поведение интенсивности ГКЛ в последний период и на зависимость расчётной интенсивности от использованных характеристик формы ГТС. На этом материале обсуждается возможность получения из расчётов «подсказок» для описанного феноменологического анализа данных, т. е., ответов на вопросы: 1) с какими гелиосферными характеристиками в разные периоды следует ожидать корреляции интенсивности ГКЛ и 2) изменением каких гелиосферных характеристик определяются момент достижения максимума интенсивности ГКЛ и само максимальное значение интенсивности. Кроме того, делаются предварительные выводы о механизмах образования указанных корреляций и формирования максимумов интенсивности ГКЛ.

О ПРИЧИНЕ ПЕРЕМЕННОСТИ СПЕКТРА ПРОТОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ~20-500 ГЭВ

В.М Лозников, Н.С.Ерохин, Л.А. Михайловская

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vloznikov@yandex.ru

Наша точка зрения состоит в том, что спектр космических лучей (КЛ) состоит из нескольких компонент. Новое заключается в том, что предполагается существование “фона”, (т.е. самосогласованной за время порядка миллионов лет Галактической и внегалактической компоненты), и ещё нескольких компонент (переменных на разных временных шкалах и соответствующих различным энергетическим диапазонам и нескольким различным классам источников). В соответствии с нашей гипотезой, переменной компоненте потоков КЛ в диапазоне до энергий ~ТэВ соответствует источник, находящийся на периферии Гелиосферы, где существуют благоприятные условия для ускорения низко энергичных заряженных частиц. Ранее мы показали реализуемость такой возможности для электронов и позитронов КЛ. В этой работе показано, что различие в наблюдаемых спектрах протонов КЛ в диапазоне (~20–500) ГэВ можно объяснить в рамках двухкомпонентной модели спектра. Первая компонента соответствует постоянной (в этом диапазоне) Галактической составляющей. Вторая компонента соответствует Гелиосферной составляющей, возникающей вследствие доускорения протонов мягких КЛ на периферии Гелиосферы, в области за граничной ударной волной (TS) Солнечного ветра (на расстоянии ~100 AU от Солнца). Представлены результаты численного моделирования захвата и ускорения протонов мягких КЛ пакетами плазменных волн в однородном магнитном поле за TS .

РАЗВИТИЕ 23 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА В ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ОТ СТРИМЕРОВ

Н.А. Лотова, В.Н Обридко

ИЗМИРАН, г. Троицк, г. Москва, Россия, lotova@izmiran.ru

Изучается взаимосвязь потоков солнечного ветра с их источниками в солнечной короне. Исследования основаны на радиоастрономических экспериментах по просвечиванию межпланетной среды в близких к Солнцу областях, $R \leq 70R_s$. Взаимосвязь потоков солнечного ветра с источниками устанавливается на основе корреляционной зависимости $R_{in} = F(|B_R|)$, где $R = 2.5R_s$, R_{in} - звуковая точка солнечного ветра, $|B_R|$ - напряженность магнитного поля в солнечной короне, в точке, сопряженной с положением звуковой точки солнечного ветра R_{in} . Корреляционная зависимость $R_{in} = F(|B_R|)$ распадается на дискретные ветви - типы потоков солнечного ветра. В 23 солнечном цикле установлено существование 11-ти различных типов

потоков солнечного ветра. Среди этих потоков только одна компонента наблюдается во все годы 23 цикла. Эта компонента солнечного ветра связана в солнечной короне со стримерами. В результате оказалось возможным изучить необычное развитие солнечной активности, в 23 цикле по компоненте солнечного ветра, которая в солнечной короне определяется напряженностью магнитного поля $|B_R|$ в стримерах. Экспериментальные данные о положениях звуковой точки $|R_{in}|$ в потоках солнечного ветра от стримеров позволяют изучить общую картину ежегодной временной динамики масштабов магнитного поля стримеров во взаимосвязи с пространственным положением трансзвуковой области солнечного ветра.

ДОЛГОПЕРИОДНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ВЫСОКОШИРОТНЫМ ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Р. Ю. Лукьянова^{1,2}, К. Мурсула³, А. Козловский³

¹ *Арктический и Антарктический НИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, renata@aari.nw.ru*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

³ *Университет Оулу, Финляндия*

Предложен новый способ реконструкции скорости СВ за столетний период на основе высокоширотных геомагнитных данных, точность которого превышает предыдущие реконструкции, основанные на среднеширотном геомагнитном aa индексе. Показано, что высокоскоростные потоки солнечного ветра (ВСП СВ) вызывают значительное усиление суббурового западного аврорального электроджета (WEJ). В годы экстремальных ВСП СВ на фазе спада 11-летнего солнечного цикла эффект проявляется в виде нарушения гладкого и медленно меняющегося векового хода вертикальной компоненты геомагнитного поля в полярных шапках обоих полушарий. Анализ наиболее длинных существующих рядов геомагнитных наблюдений в высоких широтах (полярная obs. Годхавн и авроральная obs. Соданкюля) показал, что экстремально высокое среднегодовое значение скорости СВ, сравнимое по величине с событиями 2003 г., в прошлом было в 1952 г. на спаде солнечного цикла 18, за которым следовал цикл, имеющий самую высокую амплитуду в солнечных пятнах. Поскольку события ВСП СВ ассоциируются с полоидальным солнечным магнитным полем, то обнаруженная эволюция солнечной активности является экспериментальным подтверждением того, что максимуму тороидального поля предшествовал максимум полоидального поля. В то же время особенности структуры ВСП СВ в 2003 г. свидетельствуют об импульсном характере солнечной активности при общем ослаблении магнитного поля.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА РАДИАЦИОННУЮ ОБСТАНОВКУ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

И.Н. Мягкова

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, irina@sinp.msu.ru

Радиационные условия (потоки энергичных заряженных частиц) в околоземном космическом пространстве (ОКП) являются одним из важнейших факторов космической погоды наряду с магнитными бурями и ионизирующим излучением солнечных вспышек. Как было получено в процессе исследования динамики радиационных условий в ОКП по

данным измерений потоков энергичных заряженных частиц на ИСЗ серии КОРОНАС, осуществлявшихся на разных фазах цикла солнечной активности (СА), помимо ключевой роли ВСП СВ в возникновении рекуррентных магнитных бурь, и влиянии их на динамику внешнего радиационного пояса Земли (ВРПЗ) ВСП СВ могут влиять на вариации потоков галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ). По результатам исследований связи вариаций потоков ГКЛ в эксперименте на ИСЗ "КОРОНАС-И" в период спада СА в период с марта по июнь 1994 года было получено, что вблизи минимумов СА имеет место высокая степень антикорреляции величин потоков ГКЛ со скоростью солнечного ветра (в 1994 году – 85%), а также с модулем магнитного поля Солнца как звезды (90 %), в то время как корреляция потоков ГКЛ с числом солнечных пятен вблизи минимума СА отсутствует. На основании сравнения динамики спектральных индексов потоков солнечных протонов для двадцати шести наиболее мощных солнечных протонных событий (СПС) 23-го цикла СА с вариациями параметров СВ и межпланетного магнитного поля (ММП), а также геомагнитных индексов был сделан вывод о том, что резкие вариации спектрального индекса протонов СКЛ в значительном числе случаев (около трети) связаны с вариациями параметров СВ и ММП. Было получено, что одновременно с резким возрастанием скорости СВ и развитием магнитной бури, вызванной приходом к орбите Земли коронального выброса массы (КВМ), происходит резкое смягчение спектрального индекса на единицу и более. Природа такого смягчения спектра однозначно объяснена в работе Кузнецова С.Н. и др. (2003): оно связанное с приходом к Земле протонов с энергий до десятков МэВ, ускоренных ударной волной КВМ. Несмотря на то, что связь вариаций потоков релятивистских электронов (РЭ) ВРПЗ с высокоскоростными потоками СВ хорошо известна, измерения на ИСЗ КОРОНАС-Ф и КОРОНАС-Фотон позволили получить некоторые новые результаты. В частности было получено, что в период 2001-2004 гг (КОРОНАС-Ф) наблюдался значительный рост потоков РЭ ВРПЗ, который мы связываем ростом средней скорости солнечного ветра и, как следствие, геомагнитной активности. Анализ данных эксперимент на ИСЗ КОРОНАС-Фотон (прибор «Электрон-М-Песка») показал, что, несмотря на отсутствие буревой и суббуревой активности в 2009 году, в минимуме цикла СА значительные (более, чем на порядок) возрастания потоков РЭ ВРПЗ, связанные с приходом ВСП СВ. Возрастания на малых высотах наблюдались на 5-8 суток (в зависимости от энергии электронов и номера L) по сравнению с геостационарной орбитой. Предполагается, что наблюдавшиеся возрастания с усилением волновой активности в рассматриваемый период.

[1]. Кузнецов С.Н., Денисов Ю.И., Мягкова И.Н. и др. Сравнение трех событий в энергичных частицах в августе 2001 г.–марте 2002 г., наблюдавшихся на ИСЗ КОРОНАС-Ф //Изв. РАН. Сер. физ. 2003. Т. 67. №4. С. 478–481.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗНАЧИМЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ БИОЛОГИЧЕСКИМИ, ПОГОДНЫМИ И ГЕОМАГНИТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПУТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ ВЫБРОСОВ

В.А. Ожередов¹, Т.К. Бреус¹, Ю.И. Гурфинкель^{1/2}

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия ojumail@mail.ru

² Научно-исследовательский центр ОАО РЖД, г. Москва, Россия

Опубликованные ранее во множестве работ результаты по выявлению зависимостей между биологическими, погодными и геомагнитными параметрами демонстрировали исключительно слабые связи, что до сих пор обуславливает низкую ценность результатов гелиобиологии и метеопатологии для практики. Нашей задачей было доказательство того факта, что показанная слабость связей является кажущейся – на самом деле достаточно

сильные гелиобиологические и метеопатологические зависимости на деле оказываются замаскированными периодически возникающими «помехами» – действием существенно влияющих на состояние человека неконтролируемых посторонних факторов. Пара измерений «Погодный/Гелиогеомагнитный параметр – Физиологический показатель» при этом является выбросом. В задачу данной работы входила интеллектуальная элиминация последних. Параметрическая функция (полином) зависимости физиологического показателя от погодного/гелиогеомагнитного параметра, т.е. искомая зависимость, варьировалась с целью минимизации процентного количества выбросов, требуемых для удаления, с тем, чтобы коэффициент детерминации зависимости по оставшимся прецедентам составил не менее 0.5. Оптимизация производилась при помощи генетического алгоритма. В частности, было показано, что при удалении всего лишь 4.5% прецедентов из базы данных, состоящей из 400 показателей по ежедневным измерениям «Кр-индекс – скорость пульсовой волны» коэффициент детерминации достигает 0.52.

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ ОБЛАКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫЗЫВАЕМЫХ ИМИ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

Н.А. Бархатов^{1,2}, Е.А. Ревунова¹

¹ ННГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия, nbarkhatov@inbox.ru, revunova.elena@mail.ru

² НГПУ, г. Нижний Новгород, Россия

В работе рассмотрена задача краткосрочного прогноза параметров магнитных облаков солнечного ветра и интенсивности геомагнитных бурь, ожидаемых при их воздействии на магнитосферу Земли. В основу прогноза положен метод определения параметров магнитных облаков, подходящих к Земле, по начальным спутниковым измерениям в них компонент вектора межпланетного магнитного поля и статистически установленная связь V_z компоненты вектора межпланетного магнитного поля с Dst-индексом геомагнитной возмущенности. Распределение геоэффективной V_z компоненты вектора межпланетного поля внутри облака достаточно сложное и зависит от его конфигурации, т.е. параметров облака: ориентации в межпланетном пространстве, значения магнитного поля на оси и траектории прохождения через него Земли. Предварительное определение параметров приближающегося к Земле магнитного облака при выборе модели облака, позволит получить полное распределение компонент магнитного поля в нем до взаимодействия с земной магнитосферой. Далее по полученному распределению возможен прогноз интенсивности геомагнитного возмущения, ожидаемого от магнитного облака, на основе связи величины и продолжительности действия V_z компоненты вектора межпланетного магнитного поля и значения Dst-индекса. В работе определение параметров магнитных облаков, подходящих к Земле, выполнялось с помощью специально созданной базы из 2 000 000 модельных магнитных облаков. Путем сопоставления значений и динамики компонент магнитного поля реальных событий и модельных структур из общей модельной базы выбирается одно модельное магнитное облако, наиболее полно описывающее структуру магнитного поля подходящего к Земле выброса. Тестирование разработанного метода прогнозирования интенсивности магнитных бурь проведено на реальных событиях, определенных в литературе как магнитные облака. Проведено сопоставление интенсивностей магнитных бурь, реально вызванных облаками и их прогнозируемых значений. Отклонения прогнозируемой интенсивности магнитных бурь для 83% рассмотренных магнитных облаков не превышают 30% от интенсивности реальных геомагнитных возмущений

СВЯЗЬ ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ТЕМПЕРАТУРОЙ, ПЛОТНОСТЬЮ И СКОРОСТЬЮ СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

Н.С. Свиржевский, Г.А. Базилевская, А.К. Свиржевская, Ю.И. Стожков

ФИАН, г. Москва, Россия, svirzhev@fian.fiandns.mipt.ru

По данным о параметрах солнечной плазмы на 1 а.е. и на орбите космического аппарата УЛИСС показано существование простой связи между температурой, скоростью и плотностью плазмы и гелиосферным магнитным полем.

О КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ УРОВНЕМ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ И УРОВНЕМ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.В. Чашей, В.И. Шишов, С.А. Тюльбашев, И.А. Субаев

Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Россия, chashey@prao.ru

Приведены результаты наблюдений межпланетных мерцаний большого числа компактных радиоисточников, проведенных в 2006-2011 гг. на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Совокупность мерцающих источников рассматривается как однородный статистический ансамбль. Обнаружено, что усредненные по месячным сериям измерений величины индекса мерцаний, который определяется уровнем флуктуаций плотности солнечного ветра на 100-километровых масштабах, коррелируют с индексами солнечной активности. Обсуждаются возможные механизмы этой корреляции.

ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ В АНОМАЛИЯХ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА КАК ИНДИКАТОР ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

А.Ю. Шестаков¹, О.Л. Вайсберг¹, Л.А. Аванов²

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sartiom@iki.rssi.ru*

² *Goddard Space Flight Center, USA*

Аномалии горячего потока (АГП) – образования горячей плазмы, формирующиеся при взаимодействии межпланетных токовых слоев с фронтом головной ударной волна. Структура АГП и конвекция плазмы внутри тела АГП позволяют предварительно выделить область, являющуюся источником энергии для образования АГП. Расчёт энергетического баланса показал, что эта область не всегда может являться областью основного энерговыделения. В работе проведен анализ функций распределения ионов по скоростям в пяти аномалиях горячего потока у фронта околоземной ударной волны. Как правило, в области предполагаемого энерговыделения функция распределения ионов является наиболее структурированной, что согласуется с представлением об отраженных ионах как источнике энергии для образования АГП. В основном теле аномалии ионы, как правило, сильно разогреты и имеют мало-структурированную функцию распределения, что говорит в пользу того, что она является продуктом релаксации высокоэнергичного процесса. Это соответствует тому, что в ряде наблюдаемых АГП конвекция разогретой плазмы указывает

на ее истечение из предполагаемой области энерговыведения. Сделана оценка свободной энергии в предполагаемой области основного энерговыведения в сравнении с результатами расчета баланса энергии в АГП.

EXTREME FLUXES IN SOLAR ENERGETIC PARTICLE EVENTS

L.I. Miroshnichenko^{1,2*}, R.A. Nymmik²

¹ *N.V. Pushkov IZMIRAN, RAS, Troitsk, Moscow Region, Russia, leonty@izmiran.ru*

² *M.V. Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobeltsyn SINP, Moscow, Russia*

We analyze the data available on the largest solar proton events (SPEs), or extreme solar energetic particle (SEP) events, for the period from 1561 up to now. Under consideration are observational, methodical and physical problems related to presentation of proton fluxes (fluences) near the Earth in the form of their energy spectra. Special attention is paid to the study of the form of distribution function for extreme fluxes (fluences) of SEPs by their sizes. Distribution of extremely large SEP fluxes is shown to have a probabilistic nature, so that a formulation “limit flux” does not contain a strict physical sense. The SEP fluxes may be only characterized by quite certain probabilities of their appearance, with a sharp break of the spectrum in the range of large fluences (or low probabilities). Modern data of observations and methods of investigations do not allow, for the present, to resolve precisely the problem of spectrum break and estimate maximum potentialities of solar accelerator(s). This restricts considerably an extrapolation of obtained results for the past and future, for the epochs with different levels of solar activity.

OVERVIEW OF INTERESTING RESULTS FROM BMSW: SHOCK FRONTS – THICKNESS AND STRUCTURE, AND CONTRIBUTION TO STUDY OF SOLAR WIND PROPERTIES

Z. Nemecek¹, J. Safrankova¹, L. Prech¹, G. Zastenker², O. Goncharov¹, O. Gutynska¹, P. Cagas¹, A. Komarek¹, K. Jelinek¹, I. Koloskova², M. Riazantseva²

¹ *Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic, zdenek.nemecek@mff.cuni.cz*

² *IKI RAN, Moscow, Russia*

The paper presents measurements of interplanetary (IP) shocks and solar wind parameters registered by the BMSW instrument onboard the Spektr-R project. The main advantage of these measurements is their speed that can reach 32 Hz. In this contribution, we concentrate our attention on (1) IP shock ramp thickness that is observed to be shorter than the ion gyroradius, even for low-Mach number shocks; (2) wave trains connected with the IP shock and evolution of the ion velocity distribution within these wave trains; and (3) finally, on solar wind properties like the plasma turbulence and helium abundance. The high-time resolution of BMSW allows us to make direct observations of solar wind turbulence below ion kinetic length scales. We present a short study of the frequency spectra of the density, velocity, and thermal velocity. Our study reveals that although these parameters exhibit the same behavior at the MHD scale, their spectra are remarkably different at the kinetic scale. Furthermore, the ratio of the alpha particle and proton densities is an indicator of the source of the currently observed solar wind stream. However, a preliminary analysis of the BMSW data acquired in the sweeping mode shows that the He abundance can rapidly vary over much shorter time scales. We analyze changes of the proton/helium ratio under different solar wind conditions and show a new direction in the investigation of this topic.

СЕКЦИЯ «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, ГЕЛИОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НИИЯФ МГУ

В.О. Баринова, О.Г. Баринов, С.Ю. Бобровников, С.А. Доленко, В.В. Калегаев, Д. Моттль, Е.А. Муравьева, Л.Р. Мухаметдинова, И.Н. Мягкова, В.Р. Широкий, Ю.С. Шугай

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, alisawera@gmail.com

Центр оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ предоставляет оперативную информацию о текущем состоянии околоземного космического пространства. Комплексная информационная система обеспечивает доступ к актуальным данным, характеризующим уровень солнечной активности, геомагнитного и радиационного состояния магнитосферы и гелиосферы на Интернет-портале центра <http://swx.sinp.msu.ru/> в режиме реального времени. Основными компонентами системы являются оперативные данные космических экспериментов по измерению потоков заряженных частиц в энергетических каналах от сотен кэВ до сотен МэВ, отечественных и зарубежных, изображения Солнца и данные о состоянии солнечного ветра. Для анализа данных используются модели космической среды, работающие в автономном режиме. Система контроля и анализа радиационной и геомагнитной обстановки в околоземном космическом пространстве позволяет по данным измерений параметров плазмы, магнитного поля и потоков заряженных частиц в магнитосфере и в солнечном ветре восстановить в режиме реального времени основные характеристики воздействия солнечной активности на геомагнитную обстановку и радиационное окружение Земли. Интерактивные сервисы позволяют извлекать и анализировать данные в заданные моменты времени. На интернет-портале осуществляется прогнозирование скорости квазистационарных потоков солнечного ветра на околоземной орбите с заблаговременностью 3-4 суток на основе автоматического определения параметров корональных дыр по изображениям Солнца, полученным со спутника SDO. С помощью нейросетевых методов осуществляется онлайн-прогнозирование Dst-индекса на 0.5-1.5 часа вперёд по параметрам солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, измеряемых спутником ACE.

ПРОЯВЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ МАГНИТНЫХ ОБЛАКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В СЕЗОННОЙ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Н.А. Бархатов^{1,2}, А.Б. Виноградов², Е.А. Ревунова¹

¹ *ННГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия, nbarkhatov@inbox.ru*

² *НГПУ, г. Нижний Новгород, Россия*

Работа посвящена анализу причин сезонной зависимости геомагнитной активности с учетом ориентации крупномасштабных плазменных структур солнечного ветра, типа магнитных облаков. Магнитные облака в отличие от других КВВ имеют конкретную ориентацию в пространстве. Согласно нашему предположению ориентированность магнитных облаков в пространстве должна проявляться в уровне геомагнитной активности в зависимости от ориентации земного магнитного диполя. В периоды солнцестояния вклад в геомагнитную активность не должны давать магнитные облака только с небольшими углами

наклона оси к плоскости эклиптики, вследствие нулевой проекции магнитного поля облака на магнитный диполь. В периоды равноденствия вклад в геомагнитную активность должны давать магнитные облака любой ориентации. Изучение влияния угла наклона осей облаков к плоскости эклиптики на сезонную вариацию геомагнитной активности проведено по данным о 52 магнитных облаках, зарегистрированных с 1980 по 2004 гг. Исследование зависимости геоэффективности магнитных облаков различной ориентации в пространстве показало, что в периоды равноденствия геомагнитная активность увеличивается за счет большого числа магнитных облаков с небольшими углами наклона их оси к плоскости эклиптики. Магнитные облака такого типа наиболее часто регистрируются в околоземном пространстве вследствие особенностей расположения их солнечных источников (ведущих и ведомых солнечных пятен). В периоды солнцестояния такие облака являются не геоэффективными структурами, вследствие уменьшения значения проекции магнитного поля оси облака на магнитный диполь Земли в такие интервалы, что отражается в снижении уровня геомагнитной активности летом и зимой.

ПОЛНОЕ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНЕГО СОЛНЕЧНОГО МИНИМУМА

Е.Е. Беневоленская¹, И.Г. Костюченко²

¹ ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, benevolenskayae@mai.ru

² Karpov Institute of Physical Chemistry, г. Moscow, Russia, irkost@itep.ru

Прошедший минимум солнечной активности характеризовался большим количеством дней, когда солнечные пятна полностью отсутствовали на диске. И это заставило говорить о глобальном минимуме солнечной активности, который, несомненно, оказывает существенное влияние на геомагнитную активность и процессы, проходящие в верхней атмосфере Земли. В данной работе мы приводим результаты анализа светимости Солнца, так называемую TSI (total solar irradiance) и излучение Солнца в ультрафиолете (UV) в диапазоне 115-180 nm по данным космического аппарата SORCE (<http://lasp.colorado.edu/sorce>) в зависимости от магнитного потока, который формируется в зоне пятнообразования. Магнитный поток оценивается, используя магнитные данные обсерватории Вилкокса в Стенфорде. Вышеупомянутый период интересен ещё и тем, что в это время происходит наложение активных областей старого цикла 23 и нового цикла 24. Мы связываем этот процесс с долгоживущими источниками магнитного поля, которые распределены неоднородно по долготе и кластеризуются в активные долготные зоны. Это приводит к когерентным структурам между магнитным потоком и светимостью Солнца. В докладе обсуждается различие в проявлении взаимосвязи TSI и UV с магнитным потоком во время зарождения нового солнечного цикла.

ИЗУЧЕНИЕ БЫСТРОПЕРЕМЕННЫХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ СОБЫТИЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРИМЕНТА БМСВ ПРОЕКТА «СПЕКТР-Р»

Н.Л. Бородкова¹, Г.Н. Застенкер¹, О.М. Чугунова^{1,2}

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nlbor@mail.ru

² ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, Россия

Спектрометр плазмы БМСВ был разработан для измерения основных параметров плазмы солнечного ветра и переходной области – вектора скорости, температуры и концентрации протонов и потока ионов с высоким временным разрешением до 0.032 с на борту КА СПЕКТР-Р. За время проведения измерений с начала августа 2011г. накоплен большой экспериментальный материал, позволяющий исследовать, в частности, мелкомасштабные явления на границах скачков давления солнечного ветра, кратковременные и периодические флуктуации параметров плазмы солнечного ветра. В докладе приведены результаты наблюдений нескольких быстропеременных кратковременных событий в солнечном ветре, связанных с пересечением резких границ импульсов давления солнечного ветра. Показано развитие интенсивных вариаций потока ионов солнечного ветра с периодом 6-8 секунд вблизи границ изменения давления солнечного ветра и проведен спектральный анализ вариаций потока ионов солнечного ветра.

ГЕОМАГНИТНАЯ ВОЗМУЩЕННОСТЬ В РАЗВИТИИ 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Т.Е. Вальчук

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия, valchuk@izmiran.ru

Развитие 24 цикла солнечной активности (СА) пока подтверждает предположения о невысоком уровне чисел Вольфа в максимуме этого цикла в традиционной системе оценки одиннадцатилетней цикличности. Необычность текущего цикла предопределил исключительно затяжной период фазы минимума 23 цикла, длившийся практически 4 года. Это радикальное отличие от продолжительности минимумов 17-22 циклов говорит о необычности наступившего 24 цикла, который еще не проявился во всей полноте максимального развития. Нарастание СА в новом цикле СА прежде всего оценивают по росту спорадических событий вспышечной активности, которые сопровождаются протонными событиями, выбросами корональной массы и волокон. Период глубокого минимума, наступившего во второй половине 2008 и первой половине 2009 года, завершился ощутимым ростом СА в 2010 году. Спорадические проявления СА имеют отражение в геомагнитных возмущениях. Однако прямой связи этих явлений нет, поскольку геомагнитное возмущение осуществляется наиболее полно при наступлении спорадического события на Солнце в геоэффективной зоне центральной части солнечного диска. Начало 24 цикла характерно небольшим количеством таких событий, поэтому каждое из них привлекает большое внимание и подвергается тщательному анализу. В работе рассмотрены все события геомагнитной активности (ГА) 24 цикла. По геомагнитным данным ИЗМИРАН составляется текущий каталог магнитных бурь (МБ) и возмущений, они классифицированы по уровню глобальных геомагнитных и авроральных проявлений. Мощных событий ГА пока не отмечено, максимальный уровень ГА в бурях не превосходил G3. Для тщательного исследования был выбран возмущенный период начала марта 2012 года, связанный с прохождением по диску активной области (АО) 11429. Эта АО входила в комплекс, обеспечивший последовательность

рентгеновских вспышек и вспышечных потоков солнечного ветра (СВ), нашедших проявление в каскаде магнитных бурь 7-15 марта 2012 г. Однозначная связь геомагнитных возмущений с источниками на Солнце является основой трактовки магнитосферных проявлений. Возмущенный период был разделен условно на три сценария в зависимости от качества спорадических событий. 1-й сценарий, с МБ 7-8 марта, сугубо вспышечный: индекс Dst достигает -139 нТл, $A_p=71$ нТл. Во 2-й половине суток 11 марта приходит поток СВ от внезапного всплеска активности, 2-й сценарий, с 12 по 15 марта, протекает под его воздействием. В плоскости эклиптики распространяется серповидный изгиб фронта, виден двухступенчатый приход высокоскоростного потока СВ с плотностью до 40 ед. на фронте. Вспышка M8.4 ассоциирована с этим периодом. 3-й сценарий – завершение мартовского периода активизации. В нем проявляются вспышки от уходящей АО 11429 и АО 11432, а также влияние выходящей 13 марта на ЦМ корональной трансэкваториальной дыры. Исследование по методу Хигучи фрактальной размерности параметров скорости и плотности СВ показало, что фрактальность среды сохраняется, а структуризация плазменных потоков проявляется в значимых понижениях ФР при смене секторной структуры ММП, что было выявлено нами ранее по данным эпохи минимума СА. Для спорадических потоков СВ начала марта 2012 г., переменных по самой природе их генерации, тенденция отчетливо видна.

О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПО РАДИОНАБЛЮДЕНИЯМ В МЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

В.И. Власов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия

До недавнего времени основным источником информации о процессах на Солнце были наземные оптические наблюдения. Чуть более полувека тому к ним добавились наблюдения в диапазоне радиочастот. Внешнее околосолнечное пространство практически было недоступно для исследований. Только с открытием методов радио просвечивания межпланетной среды излучением космических радиоисточников (это так называемые методы «рассеяния» и «мерцаний») появилась возможность таких исследований. И, наконец, с запуском спутников и космических аппаратов, неизмеримо выросли возможности исследования солнечного ветра методами прямых измерений и исследования самого Солнца по внеатмосферным наблюдениям. При этом за радиоастрономическими методами сохраняется уникальная возможность обозревать одновременно и непрерывно всю видимую с Земли область неба, а значит видеть межпланетную среду в целом. В докладе обсуждаются принципиальные и технические возможности исследования крупномасштабных возмущений в солнечном ветре всеми радиоастрономическими методами от широко распространенного метода «мерцаний» до наблюдений всех типов радио излучений от Солнца.

БЫСТРАЯ ДИНАМИКА НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ИОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Т.И. Гагуа, И.Т. Гагуа, Г.Н. Застенкер, Е.Е. Рязанова, В.В. Храпченков

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

По измерениям с рекордно высоким временным разрешением (31 мс) с помощью спектрометра плазмы БМСВ на высокоапогейном спутнике СПЕКТР-Р исследуются вариации вектора потока ионов солнечного ветра – и величины, и направления. Показан

струйный характер течения солнечного ветра, который состоит из отдельных «струек» с различным направлением движения потока относительно радиального направления от Солнца. Как правило, вариации направления вектора потока невелики – в пределах 0.3 – 0.5 град. с периодом около 5-10 сек. Однако эпизодически встречаются и более резкие и большие скачки направления потока – в пределах 3-10 град. с длительностью 0.5-2 сек. Наличие таких быстрых вариаций направления ранее не обнаруживалось. При этом вариации величины потока и его направления могут совмещаться во времени, но могут быть и разделены. В работе исследуются условия появления и свойства таких больших скачков направления потока ионов и их связь с параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля.

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СИЛЬНОГО МЕРЦАЮЩЕГО ИСТОЧНИКА ЗС 48

С.К. Глубокова, И.В. Чашей, С.А. Тюльбашев, В.И. Шишов

*Пушчинская Радиоастрономическая Обсерватория АКЦ ФИАН, г. Пушчино, Россия,
glubokovask@yandex.ru*

Для проверки параметров турбулентности межпланетной плазмы: скорости солнечного ветра, индекса турбулентности плазмы (n), а также для оценки угловых размеров источника, использовался временной спектр мощности межпланетных мерцаний. Наблюдения сильного мерцающего источника ЗС 48 проводились вблизи минимума 23-го цикла солнечной активности (за период апрель-май 2007-2009) проходили на частоте 111 МГц, положение радиоисточника относительно Солнца соответствовало элонгациям $\epsilon \in (20^\circ-40^\circ)$, на которых мерцания на межпланетной плазме достигают максимальной величины. Получена оценка углового размера $\theta_0 = 0.33'' \pm 0.02''$, которая хорошо согласуется с результатами других авторов. Дана оценка параметра турбулентности плазмы $n = 3.7 \pm 0.2$, наблюдаемые значения n находятся в пределах 3.1 - 4.0. Были рассмотрены два возможных механизма, ответственных за формирование степенного спектра. Во-первых, спектр Колмогорова ($n=11/3$), во вторых модель Ирошникова-Крейчена ($n=7/2$). Наши данные моделирования не позволили точно выбрать модель турбулентности. Получена зависимость между скоростью солнечного ветра и элонгацией, хорошо объясняемая устойчивой бимодальной структурой солнечного ветра в период малой активности Солнца. Зависимость между параметром турбулентности плазмы и элонгацией, по-видимому, не обусловлена влиянием низкоширотного слоя плазмы. Во время наблюдений состояние межпланетной плазмы было относительно спокойным. Применение описанной методики для анализа наблюдений позволит существенно расширить информативность данных мониторинга межпланетной плазмы, который в последние годы проводится на радиотелескопе БСА ФИАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЕННЫХ ФРОНТОВ ОКОЛОЗЕМНОЙ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

П.А. Далин¹, Г.Н. Застенкер¹, Я. Шафранкова², И.В. Прохоренко¹

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pdalin@irf.se

² Карлов Университет, г. Прага, Чешская Республика

В работе проводится изучение тонкой структуры плазмы солнечного ветра на фронтах околоземной и межпланетных ударных волн на основе данных нового энергоспектрометра

плазмы БМСВ, установленного на борту высокоапогейного спутника Земли СПЕКТР-Р. Измерения с рекордным временным разрешением в 31 мс позволили впервые исследовать тонкую структуру плазменных фронтов, имеющих длительности от нескольких секунд до долей секунды и установить, что некоторые из таких фронтов имеют осцилляторные (квазигармонические) вариации величины и направления потока ионов с периодами в диапазоне 0.2-1.0 секунды. Проводится исследование таких фронтов при различных условиях в солнечном ветре и на различных участках пересечения околоземной ударной волны.

ЭКСПЕРИМЕНТ АРИЕС-Л ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛУННОГО РЕГОЛИТА МЕТОДОМ ВТОРИЧНОЙ ИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ (ВИМС) И СПЕКТРОМЕТРИИ ВТОРИЧНЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ

**Р.Н. Журавлев¹, О.Л. Вайсберг¹, Г.В. Койнаш¹, А.Ю. Шестаков¹,
С.Н. Подколзин¹, П.П. Моисеев²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, zhuravlev_roman@iki.rssi.ru

² НПП «Астрон Электроника», г. Орёл, Россия

Исследование состава и структуры лунного реголита является важной частью исследования происхождения, эволюции и структуры Луны. Задачей эксперимента является исследование взаимодействия солнечного ветра с поверхностью Луны, десорбции поверхностного слоя, и состава поверхностного слоя на различных масштабах. Одним из наиболее используемых методов анализа образцов в земных лабораториях является вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС), которая позволяет провести анализ состава поверхности при облучении этой поверхности известным ионным пучком. Этот метод, наравне с измерениями вторичных нейтральных атомов, начал использоваться в космических исследованиях (проекты Chandrayaan-1 и Kaguya). При этом в космическом эксперименте роль первичного пучка играет солнечный ветер. Эксперимент АРИЕС-Л представляет собой энерго-масс-спектрометр с полем зрения 2π и массовым разрешением $\Delta M/M \sim 50$. Прототипом этого прибора является прибор ДИ, разработанный и изготовленный для проекта Фобос-Грунт. Широкое поле зрения позволяет в рамках лунного посадочного аппарата одновременно измерять характеристики облучающего пучка (солнечный ветер) и характеристики вторичных ионов, выбиваемых солнечным ветром из лунного реголита. Для измерения характеристик нейтральных атомов, выбиваемых солнечным ветром из лунного реголита, в состав прибора включен конвертер нейтральных атомов. Поток нейтральных атомов от поверхности Луны, ионизуется на поверхности конвертера и также измеряется энерго-масс-анализатором. В докладе даны описание прибора и его характеристик.

ИОНЫ ^3He , ^4He , C, O, Fe В ПОТОКАХ МАЛОЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ В 23 И 24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М.А. Зельдович, Ю.И. Логачев

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, mariya@srd.sinp.msu.ru

По данным прибора ULEIS на космическом аппарате ACE исследуются временное поведение потоков ионов ^3He , ^4He , C, O, Fe с энергией 0.04 – 1 МэВ/нуклон (супратермальных потоков), относительное содержание ионов и их энергетические спектры в спокойное время в 23 и 24 циклах солнечной активности (СА). Показано значительное

различие параметров супратермальных потоков частиц на фазе возрастания активности в двух последовательных циклах. В свою очередь, изучение относительного содержания ионов Fe/CNO с энергией 0.160-0.320 МэВ/нуклон по данным прибора STEP на космическом аппарате Wind в двух последних минимумах СА показало пониженное содержание этих ионов в 2007-2009 гг. по сравнению с минимумом 1996-1997 гг.

МЕЖЗВЕЗДНЫЕ НЕЙТРАЛЫ В ГЕЛИОСФЕРЕ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ ИЗМЕРЕНИЙ НА КА ULYSSES И IBEX

О.А. Катушкина, В.В. Измоленов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, okat@iki.rssi.ru

Межзвездные атомы гелия проникают в гелиосферу относительно свободно, не взаимодействуя с протонами из-за малого сечения перезарядки и большого потенциала ионизации. Это позволяет использовать данные измерений потоков атомов гелия для определения скорости и температуры локальной межзвездной среды (ЛМС). Потоки атомов гелия измерялись в 1990-2007 гг. на космическом аппарате Ulysses, а с 2009 г. до настоящего времени они измеряются на космическом аппарате Interstellar Boundary Explorer (IBEX). Анализ измерений IBEX, проведенный в работе Bzowski et al., 2012 позволил получить новые оценки для параметров ЛМС. При этом оказалось, что скорость движения ЛМС относительно Солнца несколько отличается по величине и направлению от принятых ранее значений, основанных на анализе данных Ulysses (Witte et al., 2004). В данной работе мы проанализировали данные измерений Ulysses в 2001 и 2007 гг. на основании современной кинетической модели распределения межзвездных нейтралов в гелиосфере. Расчеты отдельно проводились для старых и новых параметров ЛМС. Проведено сравнение теоретических результатов с данными измерений Ulysses. Показано, что новые параметры ЛМС, полученные в работе Bzowski et al., 2012, приводят к значительным расхождениям между теорией и экспериментом.

ULF ФЛЮКТУАЦИИ В ПЛОТНОСТИ И МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ИХ НАЗЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ

Н.Г. Клейменова^{1,2}, О.В. Козырева^{1,2}, Л.М. Малышева¹

¹ *ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kleimen@ifz.ru*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Исследуются флуктуации в плотности солнечного ветра и в межпланетном магнитном поле (ММП) в диапазоне 2-7 мГц во время высокоскоростных потоков солнечного ветра в период минимума солнечной активности (2006-2008 гг.). Рассматриваются события, в которых перед потоком наблюдаются коротирующие области взаимодействия (CIR - Corotating Interactive Regions) с повышенной плотностью плазмы. В качестве меры уровня флуктуаций используется ULF-индекс, характеризующий уровень волновой активности. Для этого был рассчитан ULF индекс для параметров межпланетной среды (плотности и магнитного поля) по 1-мин данным OMNI, для магнитосферы Земли по данным геостационарных спутников и для земной поверхности по данным глобальных наземных 1-мин наблюдений. Показано, что наиболее интенсивные флуктуации в плотности плазмы отмечаются в области CIR на переднем фронте высокоскоростных потоков солнечного ветра,

а флюктуации в ММП на фазе роста скорости потока. Исследована зависимость уровня флюктуаций от плотности и скорости солнечного ветра, а также от ориентации ММП. Проведено сопоставление уровня флюктуаций в межпланетной среде с интенсивностью геомагнитных пульсаций на земной поверхности на различных широтах.

ЗАГОРИЗОНТНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАЛИМБОВОГО ИСТОЧНИКА АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ ПО ЭФФЕКТУ «ГАЛО» В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

В.И. Козлов, В.В. Козлов

ИКФИА им. Ю.Г. Шафера, СО РАН, г. Якутск, Россия, cosmoprognoz@mail.ru

Благоприятные условия для отождествления проявлений источника активности на Солнце в космических лучах, сложились в августе-сентябре 2005. Мощная активная область 798 зародилась буквально у нас «на глазах»: с 18 на 19 августа 2005 г. на, практически, чистом от пятен диске Солнца. Вторичное ее появление, на совершенно чистую от пятен солнечную поверхность, отмечено 7 сентября. Отсутствовали и корональные дыры, как потенциальные источники их проявления в космических лучах. Предвестник в космических лучах был зарегистрирован 6 сентября 2005 г., т.е. **за 1 сутки до выхода мощной и единственной** активной области 798 на видимую часть солнечного диска. На следующие сутки началось возрастание низкоэнергичных частиц космических лучей в диапазоне от сотен КэВ до ста МэВ. При прохождении активной области центрального меридиана, 10-11 сентября был зарегистрирован эффект Форбуша (~10%) и, затем, геомагнитная буря (Kp=9). Аналогичная благоприятная ситуация для достоверного отождествления источника активности в космических лучах сложилась 6 декабря 2006 г. Мощная активная область 930 вышедшая на видимую часть солнечного диска с 5 на 6 декабря, также оказалась *единственным* потенциальным источником активности. Предвестник в космических лучах был зарегистрирован **одновременно** с выходом активной области 930 на восточный лимб Солнца. На следующие сутки, после регистрации предвестника в космических лучах, наблюдалось увеличение потока низкоэнергичных частиц, форбуш-понижение и геомагнитная буря. Пусть и на меньшем уровне значимости (90%), 12-13 декабря в космических лучах был зарегистрирован второй предвестник, с последующим эффектом Форбуша 14-17 декабря (~7%) и геомагнитной бурей (Kp=8). В новом 24 цикле, подобные случаи загоризонтного обнаружения залимбового источника активности на Солнце имели место в сентябре 2011 и в марте 2012 г. Прогноз экстремальных проявлений Космической погоды в **реальном времени** в сети Интернет осуществляется роботизированной системой «Cyber-FORSHOCK» на сайте Арктического центра космической погоды: <http://www.forshock.ru/pred.html>. Альтернативным, по отношению к рассмотренным выше, относится вариант *распределенного* источника солнечной активности. В этом случае, передача Земле энергии Солнца осуществляется через гигантские осцилляции гелиосферного токового слоя с квази-недельным периодом посредством механизма *Гелио-геомагнитного резонанса*, когда передача энергии наиболее эффективна. Вариант распределенного источника реализуется, как правило, на *завершающей* стадии переходного колебательного процесса смены знака общего магнитного поля Солнца: 1972, 1982, 1991 и 2001 гг. (Kozlov et al., 2003).

ВОЛНОВАЯ СТРУКТУРА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПЕРИОД МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

О.В. Козырева

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kozyreva@ifz.ru

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Известно, что в период минимума солнечной активности высокоскоростные потоки солнечного ветра являются основным фактором космической погоды, вызывающим магнитные бури. Важным агентом передачи энергии из солнечного ветра в магнитосферу Земли в это время, по-видимому, могут быть волновые низкочастотные ULF-флуктуации в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле. Для исследования статических закономерностей ULF-флуктуаций рассчитан ULF-индекс, характеризующий уровень волновой активности в диапазоне 2-7 мГц, в плотности солнечного ветра (ULF_N) и в межпланетном магнитном поле (ULF_{IMF}). Проведен спектральный анализ вариаций ULF_N и ULF_{IMF} за годы минимума солнечной активности (2006-2009 гг.). Методом наложения эпох исследованы временные сдвиги между максимумами этих индексов и параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля во время высокоскоростных потоков солнечного ветра.

БЫСТРЫЕ ВАРИАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ГЕЛИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА БМСВ

**И.В. Колоскова¹, А.С. Юрасов^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹,
З. Немечек³, Я. Шафранкова³, Л. Прех³, В.В. Храпченков¹, Е.А. Гаврилова¹,
А.В. Дьячков, Т.И. Гагуа¹, И.Т. Гагуа¹**

¹ *ИКИ РАН, Москва, Россия*

² *НИИЯФ МГУ, Москва, Россия*

³ *МФФ, Карлов Университет, Прага, Чешская Республика*

Рассматривается методика и результаты определения относительного содержания и относительной скорости (по отношению к протонам) ионов дважды ионизированного гелия (альфа-частиц) в солнечном ветре на основе данных энерго-спектрометра плазмы БМСВ, работающего на спутнике СПЕКТР-Р. Одним из основных результатов этого эксперимента является систематическое наблюдение резких (за времена иногда менее 10 секунд) вариаций относительного содержания гелия (Na/Np), не связанных с наличием аналогичных вариаций в поведении других параметров солнечного ветра. Данные о таких быстрых вариациях содержания гелия, полученные благодаря высокому временному разрешению измерений с прибором БМСВ, публикуются впервые. На обширном статистическом материале (более 150 часов измерений) проводится анализ относительного содержания гелия (Na/Np) в зависимости от поведения плотности и переносной скорости (величины и направления) протонов солнечного ветра. Показано, что относительное содержание ионов гелия в разных событиях может по-разному зависеть от изменения плотности протонов. Обсуждаются возможные причины подобных особенностей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПО ФЛУКТУАЦИЯМ ФАЗЫ ОТРАЖЕННОГО РАДИОСИГНАЛА

Н.Т. Афанасьев¹, А.Н. Афанасьев^{2,3}, В.П. Марков¹

¹ *Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия, nta@api.isu.ru*

² *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

³ *Department of Physics, University of Helsinki, Helsinki, Finland*

Как известно, крупномасштабные плазменные неоднородности могут содержать тонкую структуру в виде турбулентных неоднородностей более мелких масштабов. Для диагностики тонкой структуры эффективно использовать данные измерений флуктуаций фазы радиосигнала при полном внутреннем отражении от крупномасштабной неоднородности. В случае отражающей неоднородности с линейным профилем регулярной диэлектрической проницаемости эта задача рассматривалась в ряде работ. В результате был сделан важный вывод о преобладающем влиянии на флуктуации фазы турбулентных неоднородностей, расположенных в окрестности точки отражения сигнала. Решение обратной задачи восстановления тонкой структуры неоднородности по статистическим характеристикам фазы с учетом сильного рассеяния в точке отражения существенно упрощается. Аппроксимируя высотную зависимость диэлектрической проницаемости крупномасштабной неоднородности линейной функцией и проводя зондирование неоднородности на разных частотах, можно восстановить высотный профиль некоторых параметров ее тонкой структуры. Однако, линейная аппроксимация профиля не всегда справедлива. В частности, ее совершенно недостаточно для описания широко используемой модели высотного профиля крупномасштабных неоднородностей в виде экспоненциальной функции. В то же время, в случае произвольного профиля диэлектрической проницаемости крупномасштабной неоднородности анализ влияния области отражения на флуктуации фазы сигнала связан с большими математическими трудностями. В работе на основе введенного аналитического преобразования решения уравнения для флуктуаций эйконала получены статистические моменты фазы сигнала при полном внутреннем отражении от крупномасштабной плазменной неоднородности с произвольным монотонным профилем диэлектрической проницаемости. Аналитические выражения для статистических моментов фазы удобны для численного расчета, поскольку они не содержат особенностей в точке отражения. На их основе можно проводить исследования различных характеристик, в том числе пространственного спектра фазовых флуктуаций для широкого класса спектров турбулентных неоднородностей и произвольных монотонных профилей регулярной диэлектрической проницаемости крупномасштабной неоднородности. С помощью численного моделирования показано, что в случае нелинейного профиля крупномасштабной неоднородности соотношение вкладов рассеяния в области отражения и на всем пути распространения отраженного сигнала существенно зависит от вида профиля. При зондировании крупномасштабной неоднородности с тонкой турбулентной структурой необходимо учитывать рассеяние сигнала не только в области отражения, но и во всей толще неоднородности. На основе полученных аналитических формул сделан вывод системы трансцендентных уравнений для определения параметров тонкой структуры крупномасштабной неоднородности по фазовым флуктуациям отраженного сигнала на разных частотах зондирования. Найдено решение этой системы для интенсивности и внешнего масштаба турбулентных неоднородностей при заданных дисперсиях фазы отраженных сигналов на двух частотах.

ЭНЕРГО-МАСС АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ПРОЕКТА ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

Д.А. Моисеенко, О.Л. Вайсберг

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, moiseenko-da@yandex.ru; olegv@iki.rssi.ru

Одной из задач проекта Интергелиозонд является исследование источников солнечного ветра в солнечной короне. Адекватным методом таких исследований является использование ионизационных состояний тяжелых ионов для измерения температуры солнечной короны. В сопоставлении с другими параметрами солнечного ветра и оптическими наблюдениями эти измерения можно использовать для исследования источников солнечного ветра. В работе представлены результаты компьютерного моделирования работы прибора, предназначенного для определения состава и функции распределения по скоростям ионного потока солнечного ветра. Для получения спектра тяжелых ионов солнечного используется комбинация электростатического и магнитного анализаторов. Прототипом данной системы является энерго-масс-анализатор РИП-803, установленный на спутнике Прогноз-2, принцип действия которого заключался в том, что после анализа в цилиндрическом электростатическом анализаторе (ЭСА) ионы попадали в дрейфовую трубку, расположенную в зазоре постоянного магнита. Электрический потенциал на дрейфовой трубке менялся в соответствии с изменением потенциалов на обкладках ЭСА с тем, чтобы на расположенный на выходе вторичный умножитель попадали ионы выбранного вида и энергии. Прибор последовательно измерял энергетические спектры протонов, альфа частиц и однократно ионизованного гелия. Прибор успешно работал в течение нескольких месяцев. Для решения стоящей задачи потребовалось значительное усложнение прибора - необходимо обеспечить измерения в диапазоне углов $\pm 15^\circ$ по одному направлению и $\pm 30^\circ$ по другому направлению. В работе рассматривается конфигурация анализатора для измерения ионов кислорода и железа в солнечном ветре. В первом приближении она была оптимизирована с помощью программы SIMION. Прибор состоит из: электростатического сканера, полусферического электростатического анализатора, магнита, помещенного в дрейфовую трубку, дополнительного электрода и позиционно-чувствительного детектора. Проведенные расчеты показывают, что моделируемый прибор в широком диапазоне энергий способен с хорошей точностью разрешать ионы с различными соотношениями M/q .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛАВНОЙ ФАЗЫ МАГНИТНЫХ БУРЬ ОТ РАЗНЫХ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

Н.С. Николаева, Ю.И. Ермолаев, И.Г. Лодкина

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nnikolae@iki.rssi.ru

В данной работе приводятся результаты моделирования главной фазы магнитных бурь с $Dst \leq -50$ нТ, вызванных 4-мя типами течений солнечного ветра: MC (10 бурь), CIR (41 буря), Sheath (26 бурь), Ejecta (45 бурь). Главная фаза магнитных бурь аппроксимируется линейной зависимостью от основных параметров солнечного ветра: интегрального электрического поля $\sum E_y$, динамического давления P_d , и уровня флуктуаций поля σB , коэффициенты которых определяются методом наименьших квадратов. Анализ результатов показывает, что для всех типов магнитных бурь главная фаза лучше всего аппроксимируется моделью с индивидуальными значениями коэффициентов аппроксимации. В частности, для MC-бурь и Sheath-бурь коэффициент корреляции между измеренным и модельным значением Dst составляет 0.99 и среднеквадратичное отклонение 2.6 нТ и 5.63 нТ, а для Ejecta-бурь и CIR-бурь - 0.98 и 0.97, и $sd = 5.35$ и 6.5 нТ, соответственно. Версия модели с усредненными

коэффициентами по всем бурям намного хуже описывает вариации измеренного *Dst* индекса: для MC-бурь и Sheath-бурь коэффициент корреляции 0.65 и 0.82, а среднеквадратичное отклонение $sd=21.7$ и 31 нТ, соответственно, в то время как для бурь от Ejecta эти значения 0.58 и 31.4 нТ, соответственно. Для магнитных бурь от CIR коэффициент корреляции равен 0.67 и $sd=25.2$ нТ. Более точная версия модели главной фазы получена после внесения поправок, учитывающих предысторию развития начала главной фазы магнитной бури. Например, для бурь от MC коэффициент корреляции 0.83 и среднее квадратичное отклонение 15.6 нТ. Немного лучше эта модель описывает главную фазу Sheath-бурь с коэффициентом корреляции 0.86 и $sd=26.5$ нТ. В то время как CIR- и Ejecta-бури данная версия модели описывает несколько хуже с коэффициентом корреляции 0.69 и 0.68 и $sd=24.2$ и 29.8 нТ, соответственно.

ВЛИЯНИЕ ПЛАНЕТ ВЕНЕРЫ, ЗЕМЛИ И ЮПИТЕРА НА ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.П. Охлопков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, ovpetrovich@yandex.ru

В данной работе с использованием параметра – средняя разность гелиоцентрических долгот планет Венеры, Земли и Юпитера - найдена однозначная связь 22-летнего и 11-летнего циклов солнечной активности с минимальными значениями указанного параметра. Огибающая кривая минимальных значений использованного параметра хорошо описывает как соединения трех планет, когда они находятся почти на одной линии от Солнца, что вызывает максимум солнечной активности, так и соединения в более широком долготном секторе ($25 - 30$ градусов), когда эти соединения происходят гораздо чаще и сопровождаются различными комбинациями планет по разные стороны от Солнца, что вызывают также максимум солнечной активности.

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ПРОТОНЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА РАЗЛИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

И.В. Гецелев, М.В. Подзолко

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, 404@newmail.ru

Рассмотрены данные измерений потоков межпланетных протонов на различных космических аппаратах, в том числе серий IMP-8, GOES и ACE. Показано, что эти данные в значительной степени разнородны и содержат различные погрешности. Причинами этого являются погрешности используемых приборов; различия методов обработки данных, а также пространственных и временных условий измерений; пространственная анизотропия потоков. На основе статистического анализа данных измерений IMP-8 разработана простая расчётная модель вероятностей наблюдения интегральных флюенсов межпланетных протонов с энергиями от >1 до >60 МэВ за различные интервалы времени от полугода до 10 лет.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ГЕЛИОСФЕРНОГО УДАРНОГО СЛОЯ С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭФФЕКТОВ 11-ЛЕТНЕГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Е.А. Проворникова, В.В. Измоденов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, provea@iki.rssi.ru

Измерения параметров солнечного ветра на космических аппаратах IMP-8, Ulysses, Voyager 2 показали, что динамическое давление солнечного ветра меняется в течение солнечного цикла примерно в 2 раза при переходе от солнечного максимума к солнечному минимуму. Такие временные изменения имеют глобальный характер и были обнаружены для различных солнечных широт. Также различные экспериментальные наблюдения (Ulysses, SOHO/SWAN, измерения межпланетных мерцаний радиоизлучения) установили зависимость параметров солнечного ветра от солнечной широты в различные периоды солнечного цикла. Изменения параметров солнечного ветра в 11-летнем цикле солнечной активности существенно влияют на положение границ гелиосферы и течение солнечного ветра в области гелиосферного ударного слоя. В данной работе представлены результаты моделирования эффектов солнечного цикла в рамках многожидкостной трехмерной МГД модели взаимодействия солнечного ветра с частично-ионизованной локальной межзвездной средой. В качестве граничных условий для плазмы солнечного ветра в модели используются реальные изменения параметров плазмы в зависимости от времени и солнечной широты, полученные из наблюдательных данных за период 1991-2011 гг. Проводится анализ нестационарного МГД течения плазмы в гелиосферном ударном слое, преимущественно в направлениях траекторий Вояджера 1 и 2, которые в настоящее время приближаются к границам гелиосферы. Распределения параметров плазмы, полученные в модели, сравниваются с измерениями на Вояджере 1 и 2.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ СТРУКТУР ПО ОДНОВРЕМЕННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И МАГНИТОСЛОЕ

Л.С. Рахманова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, amica1106@rambler.ru*

² *НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия*

В исследовании взаимодействия между солнечным ветром и магнитосферой представляется весьма важным изучить, каким образом разного рода возмущения плазмы солнечного ветра видоизменяются при переходе в магнитослой, что будет определять их воздействие на магнитосферу. В магнитослое могут наблюдаться, как вариации плазмы, пришедшие из солнечного ветра, так и вариации, порожденные ударной волной и, возможно, самим магнитослоем. В работе проведен корреляционный анализ почти одновременных измерений плотности плазмы на двух близко расположенных спутниках, один из которых находится в солнечном ветре, а другой в магнитослое (проект THEMIS). Временное разрешение этих измерений составляло 3 сек. Для оценки временного масштаба вариаций структур, создаваемых ударной волной и магнитослоем, рассмотрены зависимости коэффициента корреляции от степени усреднения данных. Видно, что с увеличением масштаба усреднения данных в пределах нескольких десятков (до сотни) секунд коэффициент их корреляции, как правило, весьма заметно возрастают. Показано, что начиная с определенного порога (~20 секунд) коэффициент корреляции уже слабо зависит от

масштаба усреднения, что говорит в пользу того, что магнитослой и ударная волна добавляют только высокочастотные модуляции данных – с частотами более 0.05 Гц.

СТАТУС ПРИБОРА РОМАП И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ПОСАДОЧНОГО АППАРАТА НА ПОВЕРХНОСТИ КОМЕТЫ

А.П. Ремизов, У. Аустер, И. Апати, Б. Бергхофер, М. Хильхенбах,

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, aremizov@iki.rssi.ru

В работе описывается состояние плазменной аппаратуры РОМАП после длительного почти десятилетнего путешествия к своей цели – комете Чурумова-Герасименко. Анализ показывает, что наиболее чувствительная часть прибора - электронные умножители, практически не деградировали со временем и ожидается, что они могут начать работать при минимальном напряжении питания. Это дает основание рассчитывать на их длительную работу. Поскольку сближение посадочного аппарата с кометой будет осуществляться в автоматическом режиме, т.е. вслепую, то очень важным показателем является ориентация аппарата относительно Солнца, т.к. от этого зависит степень освещения солнечных панелей, и поэтому вся доступная энергетика. С помощью прибора РОМАП возможно определить направление прихода солнечного ветра. Поэтому была специально разработана методика определения и корректировки ориентации посадочного аппарата относительно Солнца с точки зрения максимального освещения солнечных панелей.

ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ И ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ВЕКТОРА ПОТОКА ИОНОВ НА МАСШТАБАХ 0.03-100 С ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ПРИБОРА БМСВ

М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹, О.М. Чугунова^{1,3}, З. Немечек⁴, Я. Шафранкова⁴, Л. Прех⁴, В.В. Храпченков¹, Е.А. Гаврилова¹, А.В. Дьячков¹, Т.И. Гагуа¹, И.Т. Гагуа¹

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

³ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

⁴ МФФ, Карлов Университет, Прага, Чешская Республика.

На основе систематических измерений с рекордно высоким временным разрешением (0.03 сек.) прибора БМСВ на спутнике СПЕКТР-Р проведены исследования турбулентных свойств вариаций параметров солнечного ветра. По прямым измерениям плазмы солнечного ветра построены частотные спектры вариаций величины потока ионов и впервые показано наличие двух ветвей спектра - низкочастотной (от 10^{-2} Гц и примерно до 1 Гц) и высокочастотной (от примерно 1 Гц и до 10 Гц). Граница между этими областями на сравнительно небольшой статистике приблизительно равна 1.4 ± 0.6 Гц, что соответствует теоретическим представлениям о существовании границы между инерционным и диссипативным масштабами флуктуаций. Низкочастотная область имеет спектральный индекс ~ -1.5 (наклон в двойном логарифмическом масштабе) примерно соответствующий колмогоровскому спектру, а высокочастотная имеет более крутой наклон (спектральный индекс ~ -3). Аналогичные спектральные характеристики получены и для вариаций направления вектора потока. Построены функции распределения вариаций различных масштабов (от 0.0325 с до 300 с) потока ионов солнечного ветра и его направления.

Показаны отличия этих функций распределения от гауссовской формы, подтверждающие наличие перемежаемости флуктуаций на этих масштабах.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С МАГНИТНЫМИ АНОМАЛИЯМИ ЛУНЫ

А.М. Садовский, А.А. Скальский

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, asadovsk@iki.rssi.ru

Поскольку Луна не имеет собственного глобального магнитного поля, она должна абсорбировать налетающую на нее плазму. Однако исследования, проведенные на космических аппаратах Kaguya и Chandrayaan, выявили аномально высокое отражение протонов солнечного ветра от поверхности Луны, в частности, от областей повышенного магнитного поля, так называемых магнитных аномалий. Для объяснения столь высокого отражения предполагается, что над лунными магнитными аномалиями возникают так называемые минимагнитосферы. В работе рассматривается возможность образования минимагнитосфер над магнитными аномалиями и оценивается доля протонов, отражающихся от области аномалии в зависимости от условий в солнечном ветре.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЗА 21, 22, 23-ИЙ ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Н.Ф. Смирнова, Е.И. Морозова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nsmirnova@romance.iki.rssi.ru

Для мониторинга космической погоды необходимо иметь правильное представление о статистической зависимости между величинами, характеризующими уровень солнечной активности. Большая часть статистических выводов, представленных в этом докладе, основана на измерениях со спутников серии GOES за три цикла солнечной активности (1976-2008 гг.). Согласно классификации (NOAA Space Weather Scales) явлений, связанных с космической погодой, рассматриваются три типа событий: нарушения радиосвязи, солнечные радиационные и геомагнитные бури. Для характеристики этих эффектов используются измерения следующих физических параметров: класс и интенсивность рентгеновских вспышек, поток протонов с энергией > 10 MeV, индексы геомагнитной активности. Необходимо подчеркнуть, что стохастическая зависимость не указывает с необходимостью на наличие функциональной зависимости. Для определения функциональной зависимости требуются дополнительные исследования, в которых важную роль играет регрессионный анализ. С другой стороны, относительно большие погрешности измерений могут «маскировать» имеющуюся корреляцию. Показывается, что статистическая зависимость между величинами, связанными с солнечной активностью, определяется не только типом этих величин, но также уровнями их значений, так дневной фон в мягком рентгеновском излучении (в диапазоне 1-8 Å) сильно коррелирует с потоком радиоизлучения на длине волны 10,7 см F10.7 (коэффициент корреляции > 0.8) при значениях $< 1.0 \times 10^{-6}$ W/m² и очень слабо коррелирует или не коррелирует, если его значения превышают этот порог. Корреляционные связи сильнее, если мы усредняем параметры за достаточно большой интервал времени (месяц, год). Сильные геомагнитные возмущения, как

правило, начинаются с внезапного начала (SSC). Существует очень сильная корреляция >0.85 между среднегодовыми значениями числа солнечных пятен (R_z) и количеством SSC за год, но эта корреляция значительно отличается для среднемесячных значений тех же параметров. Заметим, что R_z , F10.7 и индекс вспышки (flare index, FI) статистически идентичные параметры. Для характеристики вспышечной активности можно использовать любую из этих величин с точки зрения статистики, но FI имеет более определенный физический смысл. Примерно 80% протонных событий дают геомагнитные бури с экстремальным значением $dst < -50$, а более 10% с $dst < -200$. Однако, следует подчеркнуть, что нет прямой связи между максимальным потоком протонов и геомагнитной активностью. Поведение потока протонов $P > 10$ MeV от его начала до максимума для многих событий нетрудно предсказать, так как в большинстве случаев существует сильная корреляция между $\text{Log}(P > 10 \text{ MeV flux})$ и временем от начала потока до его максимума (коэффициент линейной корреляции до 0.98). Ионосфера очень чувствительна к космической погоде. Приводятся примеры влияния солнечной активности на ионосферу по результатам, полученным со спутников «Интерсосмос-24» и «Интерсосмос-25» в максимуме 22-го цикла солнечной активности

ВОЗМОЖНОСТИ АППАРАТА SOLAR PROBE PLUS (SP+) РЕГИСТРИРОВАТЬ РАДИАЛЬНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

В.В. Тёмный

ИИЕТ РАН, г. Москва, Россия, vtemnyi@mail.ru

На аппарате Solar Probe Plus (SP+) спектрометры FIA и FEA для определения функций распределения потоков ионов и электронов солнечного ветра (СВ) и их массового состава (ICA) установлены на приборном модуле за тепловым экраном. Это предотвращает «засветку» детектирующих элементов спектрометров интенсивными потоками УФ и рентгеновского излучения Солнца при сближении с ним до минимальных расстояний в $9 R_{\odot}$. При этом оси полей зрения FIA, FEA и ICA, направленные ортогонально направлению на Солнце, не позволяют определять параметры радиально распространяющегося СВ. Его ожидаемые потоки на удалении в $9 R_{\odot}$ могут превосходить наблюдавшиеся на орбите Земли в ~ 600 раз, т.е. $2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Это даёт возможность установить перед входным полем зрения FIA, FEA или ICA цилиндрический электростатический анализатор (ЭСА) вида Юза-Рожанского из тугоплавкого материала с углом поворота на 90^0 - 127^0 селектируемых потоков с направления на Солнце. Снижение чувствительности любого из трёх спектрометров SP+ не более чем на 2-3 порядка величины за счёт дополнительного такого ЭСА всё же позволит вести более информативный анализ потоков СВ.

КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛИНИИ HeI 10830Å И В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ В ПЕРИОД 21-24 ЦИКЛОВ АКТИВНОСТИ

А.Г. Тлатов, К.С. Тавастшерна, В.В. Васильева

ГАО РАН, г. Кисловодск, С.-Петербург, Россия, tlatov@mail.ru

В работе представлены результаты отождествления корональных дыр (КД) по данным наблюдений обсерватории Китт Пик в линии HeI 10830Å в период 1975-2003 гг. и SOHO/EIT-195 Å в период 1996-2012 гг. Для выделения КД разработаны процедуры полуавтоматического выделения границ КД на синоптических картах и наложения их границ на карты магнитных полей. В результате получен ряд данных о КД в период 1975-2012 гг.

Созданы базы данных табличных характеристик отдельных корональных дыр, такие как средние координаты, протяженность, интенсивность магнитного поля, относительная яркость КД. Также создана графическая база данных границ КД в формате fits. Выполнен сравнительный анализ распределения КД в 21-24-м циклах активности. Проведено сопоставление полученного ряда с параметрами солнечного ветра и вариациями ГКЛ.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ИНДЕКСЫ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

В.Н. Устинова, В.Г. Устинов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия, ustinovavn@tpu.ru

Электромагнитные свойства атмосферы, определяющие условия распространения радиоволн, зависят от диапазона применяемых волн и от интенсивности вспышечной активности Солнца. Радиоволны отражаются и преломляются, траектория их изменяется и отличается от линейной в зависимости от степени ионизации отдельных слоёв. Плотность электронов на границах E (100 км), F₁ (160 км), F₂ (290 км) на дневной стороне магнитосферы составляет 10^{11} - 10^{12} 'э/м³, на ночной стороне при спокойном Солнце составляет порядка 10^9 . Ионизация молекул газа, образование свободных электронов, рекомбинация при малой интенсивности вспышечного процесса осуществляются в системе некоторого динамического равновесия. Возрастание объёма свободных электронов в максимумы солнечной активности приводит к возникновению неравновесных систем со сложной динамикой электромагнитного поля. Процесс развивается некоторое время в квазистационарных объёмах оболочек по причине его замыкания на поверхностях с кривизной. При возрастании степени ионизации увеличивается отражательная способность ионосферы, а диапазон радиоволн с хорошим прохождением смещается в высокочастотную область. Поток ионизированных частиц от Солнца во время вспышек, достигая околоземного пространства, взаимодействует с магнитным полем Земли. В максимуме солнечной активности общее прохождение радиоволн ухудшается, но при высокой ионизации в высокочастотном диапазоне увеличивается дальность связи. Существенное улучшение условий прохождения радиоволн высокочастотного диапазона достигается при сохранении интенсивности солнечного потока более 200 ед. в течение нескольких дней подряд. В этой связи важным моментом является изучение величин скорости солнечного ветра, плотности плазмы и прогноз динамики развития активного вспышечного процесса. Для построения зависимостей изменчивости структуры межпланетной плазмы от вспышечного процесса на Солнце исследовались три основных индекса: поток солнечного излучения (SFU), A_p и K_p. Индекс K характеризует относительные изменения геомагнитной активности от уровня фоновых значений. Индекс A вычисляется как дневное среднее. Особенности прохождения радиоволн КВ- диапазона являются некоторой характеристикой динамики вспышечного процесса и дают представления о характере распространения джетов солнечной плазмы. Определение величин индекса K позволяет характеризовать степень возмущений. Спокойная обстановка в ионосфере прогнозируется при величинах индекса 1, 2, бури и сильные бури характеризуются величинами индекса более 4. Авторы интересуют вопросы генерации поведения и релаксации разномасштабных ионосферных неоднородностей, вопросы, связанные с развитием вторичной ионосферной турбулентности. Поведение ионосферных неоднородностей во время вспышечного процесса изменяется в зависимости от интенсивности солнечных выбросов плазмы (при этом его динамика прогнозируется по величине возмущенности солнечной короны), и изменяется также с широтой местности и связано со структурой наземных объектов. Изучение динамики развития солнечных вспышек и создание моделей пересоединения межпланетного поля на уровне ионосферы, в

соответствии с изменчивостью индексов K и A позволяет создать модели ионизированных слоёв ионосферы и прогнозировать в них изменчивость структуры поля.

МЕЖПЛАНЕТНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ГЕЛИОСФЕРЕ - СРАВНЕНИЕ ТЕОРИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

О.В. Хабарова, В.Н. Обридко

ИЗМИРАН, г. Троицк, г. Москва, Россия, habarova@izmiran.ru

В последние годы увеличилось число работ, демонстрирующих несоответствие наблюдений и результатов вычислений модуля B и радиальной компоненты B_r межпланетного магнитного поля (ММП) солнечного ветра. Вычисления значений B_r на разных расстояниях от Солнца преимущественно производятся на основе модификаций модели Паркера (предполагающей радиальное истечение плазмы с вмороженным в неё полем; солнечный ветер закручивается в спираль). При этом ни одна из моделей не даёт удовлетворительный результат (сравнимый с результатом вычислений и предсказаний плазменных параметров солнечного ветра или же знака ММП) даже в периоды минимума солнечной активности. Согласно проведенному анализу данных космических аппаратов Helios 2, IMP8, Pioneer Venus Orbiter, и Voyager1 на расстояниях с 0.29 а.е. до 5.0 а.е (1976-1979), одна из причин обсуждаемых расхождений состоит в том, что в гелиосфере не сохраняется инвариант $B_r \times r^2$, постулируемый теорией Паркера. Наблюдения показывают, что модуль радиальной компоненты убывает с расстоянием как $r^{-5/3}$, а не как r^{-2} . При этом поведение тангенциальной компоненты соответствует ожидаемому ($B_t \sim r^{-1}$). Модуль поля $B \sim r^{-1.4}$. Разница наблюдаемых значений с вычислениями по радиальным моделям, использующим Паркеровское решение, тем более существенна, чем меньше расстояние от Солнца. На ближних расстояниях разница может быть в несколько раз, а после 5 а.е. она уже незначительна, что подтверждается результатами работ других авторов. Данная картина может говорить о гораздо меньшей вмороженности магнитного поля в плазму солнечного ветра, чем принято использовать в теоретических расчетах согласно моделям магнитной гидродинамики. В качестве демонстрации нестыковки реально измеренных значений поля с предполагаемым поведением радиальной компоненты ММП, обсуждается неизученный эффект исчезновения провала в гистограмме распределения B_r с расстоянием от Солнца. Известно, что около 1 а.е. частота попаданий значений B_r в окрестности нуля мала и гистограмма имеет двугорбый вид. Это связано с выраженной секторной структурой межпланетного магнитного поля в окрестности Земли, т.е. гистограмма состоит из двух перекрывающихся гауссовых распределений. Априори предполагалось, что такая картина сохраняется как минимум до первого витка Паркеровской спирали (за 5 а.е.). Однако экспериментальные данные (Helios 2, OMNI, Pioneer Venus Orbiter, Voyager1, Ulysses) не подтверждают общепринятое мнение. Бимодальность B_r пропадает с расстоянием от Солнца: она отчетливо видна на 0.7-1.0 а.е., слабо прослеживается на 2-3 а.е. и полностью отсутствует уже на 3-4 а.е. Вероятнее всего, это обусловлено резкой турбулизацией солнечного ветра с расстоянием и исчезновением выраженной секторной структуры на гораздо более близких расстояниях, чем предполагалось ранее. Обсуждаются возможные причины этого явления. Работа выполнена в рамках программы РАН №22 и поддержана грантами РФФИ 11-02-00259, 10-02-01063 и 12-02-10008.

Khabarova Olga, and Obridko Vladimir, Puzzles of the Interplanetary Magnetic Field in the Inner Heliosphere, 2012, Astrophysical Journal, 761, 2, 82, doi:10.1088/0004-637X/761/2/82, <http://arxiv.org/pdf/1204.6672v2.pdf>.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОТОКА ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ СКЛ И СОЛНЕЧНЫЕ РАДИОВСПЛЕСКИ

Е.А. Исаева, Ю.Т. Цап

НИИ «КрАО», Крым, Украина, yur_crao@mail.ru

Рассмотрена связь солнечных радиовсплесков с интенсивностью солнечных космических лучей различных энергий E . Выборка включает 110 протонных событий, зарегистрированных с 1986 по 2010 гг., которые сопровождалась микроволновыми (μ) и метровыми всплесками II типа (mII). Установлено, что для протонных событий, генерирующих mII-всплески, корреляция между интенсивностью потока протонов и интегральным потоком μ -всплесков значительно улучшается. Это может свидетельствовать как о благоприятных условиях выхода ускоренных частиц из области вспышечного энерговыделения, так и дополнительном ускорении частиц ударными волнами. Число протонных событий, сопровождаемых высокоэнергичными протонами ($E > 500$ МэВ), увеличивается в 2 раза, если происходит генерация mII-всплесков. Это предполагает определяющий вклад ударных волн в ускорение протонов высоких энергий.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ UV-РАДИАЦИИ В ЗЕНИТЕ АТМОСФЕРЫ: СВЯЗИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ И СОЛНЕЧНЫМИ ФАКТОРАМИ (АНТАРКТИДА)

С.Н. Шаповалов

ГНЦ ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия, shapovalov@aari.nw.ru

В Антарктиде на ст. Новолазаревская проводятся спектральные исследования UV-радиации, включающие наблюдения *nm-флуктуаций* в диапазоне 297 nm – 345 nm. Наблюдения проводятся с помощью спектрометра AvaSpec-2048 (www.avantes.com). Характеристики и программное обеспечение прибора позволяют проводить синхронные измерения различных узких участков диапазона в автоматическом режиме. За время наблюдений с 2006 г. по 2011 г. получены результаты, свидетельствующие о связи *nm-флуктуаций* с содержанием озона и высотой мезопаузы, а также с протонами солнечных космических лучей ($1 \text{ MeV} > P > 100 \text{ MeV}$) и радиоизлучением Солнца (245 МГц – 8800 МГц). В схеме установленных связей дополнительно рассматривались основные показатели области мезопаузы (Aeronomy of Ice in the Mesosphere - AIM), формирующие условия образования серебристых облаков (NWC). В анализе данных по интенсивности излучения в диапазоне 297 nm - 330 nm выявлены вариации, составляющие временной спектр от 3 мин до 100 мин. Гистограммы периодов, построенные по результатам периодограмм в Фурье-анализе, показывают функциональное изменение частоты вариаций: от группы 3 - 7 мин (максимум), до 30 – 100 мин (минимум). Делаются выводы о возможной обусловленности временного спектра интенсивности UV колебаниями Солнца.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ РЕГУЛЯРНЫХ МАГНИТНЫХ КОМПОНЕНТ С ОГИБАЮЩЕЙ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА

Ю.И. Кукса¹, И.Г. Шибает²

¹ ЦГЭМИ ИФЗ РАН, г. Троицк, Россия

² ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, ishib@izmiran.ru

Работа опирается на данные магнитометрической станции (Вх,у,z / Ех,у / акустический канал - огибающая сигнала от сейсмодатчика / $f \leq 2$ Hz) работающей в ИЗМИРАН и является естественным продолжением исследований, проводимых в рамках проекта "Шуман" [1]. Анализируются **непрерывные** массивы данных второй половины 2010 г. (193 дня). Явно присутствующая в акустическом канале суточная гармоника (отражает жизненный ритм и активность жителей г. Троицка) сопоставлена с динамикой суточных вариаций В-компонент. Также сравниваются характеристики фоновых измерений с лунными параметрами в различных частотных диапазонах.

[1]. Ишков В.Н., Кукса Ю.И., Теодосиев Д., Шибает И.Г. Непосредственный отклик на солнечные вспышки по данным магнитометрического комплекса : проект "Шуман". / Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: Солнечная и солнечно - земная физика 2010, Санкт –Петербург, 2011 г., с. 179-182.

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НОВОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ ЕГО СКЕЙЛИНГОВЫХ СВОЙСТВ

А.А. Головки

ИСЗФ СО РАН, Россия, golovko@iszf.irk.ru

Получено дополнительное обоснование метода [1] обнаружения нового магнитного потока с использованием фрактального анализа по данным с высоким пространственным разрешением. Изучена скейлинговая динамика активных областей № 10488 26-28 октября 2003 г. по данным MDI SOHO и №11158 12-16 февраля 2011 г. по данным SOT Hinode (полный вектор). Методом мультифрактальной сегментации определены площадки с минимальной фрактальной размерностью $D < 0.4$, ассоциируемые с новыми магнитными потоками. Изменения картины расположения площадок минимальной фрактальной размерности по серии магнитограмм соответствуют изменениям, связанным с выходом новых порций магнитного потока и описанных в работах других авторов. Новые потоки выходят сбалансировано по N и S полярностям. После формирования развитого лидирующего пятна с полутенью, новые потоки располагаются на его периферии. По серии карт полного вектора магнитного поля SOT Hinode, изменения площадок минимальной размерности прослежены отдельно для карт продольного и поперечного поля. Каждый импульс выхода нового потока сопровождался вначале возникновением множества мелких магнитных элементов, хорошо выявляемых по картам продольного поля, а затем - возникновением вытянутых структур по картам поперечного поля. Принципиальное отличие областей нового магнитного потока заключается в существовании характерного для них широкого спектра сингулярности, вытянутого в область больших значений гильбертовской экспоненты.

[1]. А.А.Головки, И.И.Салахутдинова. Фрактальные свойства активных областей. – *Астрономический журнал*, 2012, т. 89, № 6, с. 458-464.

АНИЗОТРОПИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СКЕЙЛИНГА В ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЯХ ПО НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В АПАТИТАХ

Б.В. Козелов, И.В. Головчанская, О.В. Мингалев

ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, Boris.Kozelov@gmail.com

По данным наземных наблюдений комплекса авроральных камер анализировались спектры пространственных флуктуаций аврорального свечения в анизотропных формах (дуги, полосы и системы дуг). Спектры рассчитывались по одномерным сечениям наблюдаемого двумерного распределения методом логарифмических диаграмм с использованием дискретного вейвлет-разложения по вейвлетам Добеши 3-5 порядков. Получены зависимости спектральных индексов от ориентации сечения. Проведено сравнение с аналогичными характеристиками, рассчитанными по результатам моделирования нелинейного взаимодействия когерентных альвеновских структур в магнитосферно-ионосферной плазме при наличии крупномасштабных продольных токов.

КРИТИЧЕСКИЕ СЕТИ МАГНИТОГРАММ, КАК ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ X- ВСПЫШЕК

Н.Г. Макаренко, И.С. Князева, Ф. А. Уртъев, А.С. Рыбинцев

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, ng-makar@mail.ru

Критическая сеть активной области Солнца представляет собой граф построенный на максимумах и минимумах наблюдаемой компоненты поля по HMI/MDI магнитограммам. Экстремумы поля находятся итеративной сверткой магнитограммы с гауссовским фильтром. Эта процедура, для компакта, эквивалентна решению уравнения диффузии, где производная по времени заменяется производной по дисперсии фильтра. Максимумы и минимумы соответствуют стационарным значениям лапласиана, вычисленным для устойчивых масштабов «размытия» магнитограммы. Координаты экстремумов и кривизна изображения используются для вычисления диаграммы персистентности, которая визуализирует гомологий при фильтрации набора критических точек. В работе анализируются корреляционные связи персистентных гомологий с вспышечной продуктивностью активных областей.

НАХОЖДЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКОГО СТЕПЕННОГО ЗАКОНА ДЛЯ ОПИСАНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ СПЕКТРОВ МАГНИТНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

С.А. Романов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, sroman@iki.rssi.ru

В задаче описания турбулентности анизотропной магнитоактивной плазмы применен новый подход, основанный на определении трехмерных пространственных распределений. Суть этого подхода заключается в нахождении зависимости спектральной плотности мощности от модуля волнового вектора $|\mathbf{k}| = (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)^{1/2}$ с учетом всех трех компонент. Для нахождения степенного закона пространственных распределений использованы измерения флуктуаций магнитного поля на четырех спутниках Кластера в области внешнего магнитосферного каспа. Трехмерные спектры были получены для 288 интервалов измерений, относящихся к разным пространственным областям, в которых наблюдались плазмы с разными параметрами в разных турбулентных состояниях. В результате было найдено, что в интервале длин волн от ~ 3000 км до ~ 10 км плотность энергии магнитных флуктуаций, отнесенная к единице объема в пространстве волновых векторов, усредненная по полному телесному углу, спадает с величиной $|\mathbf{k}|$ по степенному закону с показателем степени $\alpha = -5.0 \pm 0.3$ независимо от величины и характера анизотропии. Таким образом, впервые было показано, что все многообразие анизотропных пространственных спектральных распределений колебаний магнитного поля в условиях сильной и слабой турбулентности плазм с разным набором основных плазменных параметров описывается в инерционной области (с возможными небольшими отклонениями) общим степенным законом, сформулированным выше.

НЕЛИНЕЙНЫЕ КАСКАДЫ НА ГРАНИЦАХ МАГНИТОСФЕРЫ: РЕЗОНАНСНО-КОГЕРЕНТНЫЕ И ХАОТИЧЕСКИЕ

С.П. Савин¹, Л.М. Зеленый¹, В.П. Будаев^{1,3}, Л.В. Козак²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко,
г. Киев, Украина, kozak@univ.kiev.ua

³ РНЦ Курчатовский институт, г. Москва, Россия

Турбулентные области на магнитосферных границах обеспечивают аномальный перенос солнечной плазмы в магнитосферу Земли и вынос атмосферных ионов в солнечный ветер. Обнаружено сочетание когерентных каскадов на резонансных частотах, характерных для внешних магнитосферных границ, с последующими турбулентными каскадами. Исследование статистических особенностей флуктуаций динамического давления, потока плазмы и магнитного поля в пограничных областях магнитосферы Земли указывает на необходимость разработки модернизированного подхода к системе солнечно-земных связей, особенно при доминировании горизонтальной (по оси Солнце-Земля) составляющей межпланетного магнитного поля. Наличие супер-баллистического режима обобщенной диффузии по данным DOUBLE STAR в магнитослое говорит о необходимости пересмотра основных моделей взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой, по крайней мере, для горизонтального поля в солнечном ветре

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

АНАЛИЗ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЕВОГО РАЗРЯДА ПО ДАННЫМ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

М.С. Долгонос, В.М. Готлиб

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, cactus@iki.rssi.ru

В начале 2012 г. был выведен на орбиту микроспутник «Чибис-М», основная задача которого заключается в комплексном исследовании процессов, протекающих во время электрической активности в грозовой области. В данной работе мы хотели бы представить первые результаты анализа радиоизлучения в диапазоне 26-48 МГц молниевой активности, полученные за период кампании 2012 года по данным радиочастотного анализатора на борту микроспутника. Основные вопросы, которые мы планируем осветить в данном докладе, заключаются в следующем: классификация регистрируемых событий и их характеристики, оценка высоты электрического разряда над поверхностью Земли, объяснение дискретной природы молниевых радиоимпульсов, а также будут приведена оценка движения ступенчатого лидера.

КОМПЛЕКСЫ МОРСА-СМЕЙЛА ДЛЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА

Н.Г. Макаренко, Д.О. Пак

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, ng-makar@mail.ru

В работе обсуждается проблема представления топологии наблюдаемой компоненты скалярного поля активных областей Солнца, в форме клеточных комплексов Морса-Смейла. Они содержат полную информацию о критических точках поля и отображают наблюдаемую динамику с точностью до гомотопий. Построение комплексов начинается с триангуляции наблюдаемой магнитограммы и построения для нее дискретного варианта морсовского векторного поля. Точкам минимумов соответствуют вершины, седлам – ребра и максимумам – грани соответствующего симплициального комплекса. Такой подход позволяет не только корректно описать топологию магнитного поля активной области с помощью набора элементарных клеток, но и редактировать наблюдаемое поле используя идеи фильтрации и персистентности. Результатом применения этой техники являются комбинаторные модели магнитных полей активных областей Солнца, допускающие их описание в рамках разложения Гельмгольца – Ходжа.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПЛЕННИК СОЛНЦА (ВЗЛЕТЫ И ПАДЕНИЯ НАУЧНОЙ СУДЬБЫ А. Л. ЧИЖЕВСКОГО)

А.Л. Голованов, Д.Л. Голованов

Региональный фонд поддержки и пропаганды отечественного научного наследия
«Гелиос», Golova2505@Rambler.ru

Еще недавно имя ученого Александра Леонидовича Чижевского было под негласным запретом, да и сегодня, порой, в мемуарах и уважаемых ученых звучит ирония по его поводу. Одна из причин этого заключается в том, что творчество Чижевского лежит не только на стыке далеких друг от друга наук (астрофизика и биология, физика и медицина, история и математика), но и на стыке науки и поэзии, философии и искусства. В докладе сделана попытка проанализировать научную деятельность А.Л.Чижевского, как основоположника гелиобиологии, науки об аэроионизации воздуха, а также как ученого, внесшего большой вклад в изучение структурного анализа движущейся крови и в ряд других наук. Авторы предлагают весь период научной деятельности разбить на семь этапов. **Первый период становление** (1914-1919) время, когда А.Л.Чижевский, из малоизвестного калужского студента–исследователя превратился в ученого. **Второй период признание**(1919- 1942 гг.) - В эти годы стал А.Л.Чижевский стал ученым с международным именем. По его работам было принято специальное постановление совета Народных Комиссаров, его приглашали читать лекции о проделанных работах в США и Европу. Первый Международный конгресс по биологической физике и биологической космологии избирал его почетным президентом, а американская Академия наук выдвинула ученого на соискание Нобелевской премии **Третий период** (1942-1959г.) самый тяжелый период научной деятельности А.Л.Чижевского совпадает с тяжелым периодом для страны, - с Великой Отечественной Войной. В январе 1942 года по абсурдному навету ученый был арестован и осужден. На протяжении нескольких лет не было опубликовано ни одной работы **Четвертый период** (1959-1964гг) научного признания А.Л.Чижевского – это период выхода из лагерей, возвращения в Москву, период публикации работ, заделы по которым были сделаны в лагерях и на поселении в Караганде, это реализация новых научных проектов и подготовка к печати мемуаров о Циолковском. **Пятый период** научного признания А.Л.Чижевского, правильнее было бы назвать *периодом начала борьбы за пропаганду трудов и имени великого ученого после его смерти*. Начался этот период сразу после кончины А.Л.Чижевского. На похоронах ученого было немногим более десяти человек. Связано это было с тем, что в ведущем журнале ЦК КПСС «Партийная жизнь», за несколько дней до смерти ученого была опубликована статья А.Ерохина «Темные пятна», в которой в извращенном свете представлялось все научное наследие А.Л.Чижевского, а сам ученый назывался «самозванцем». В течение нескольких лет имя ученого было под запретом. Благодаря огромной работе, проделанной вдовой ученого Н.В.Чижевской (Энгельгардт) совместно с научным журналистом Л.В. Головановым в начале 70-ых годов наступил **Шестой период**, - периода постепенного признания А.Л.Чижевского и проведения новых работ по продолжению начатых им исследований. **Седьмой период** - 90-ые годы 20 века, когда имя ученого использовалось отдельными предпринимателями для достижения своих корыстных коммерческих целей. В заключение доклада авторы подробно останавливаются на задачах, которые стоят сегодня перед научной

общественностью по продолжению работ по увековечиванию имени Александра Леонидовича Чижевского.

ДИССИПАТИВНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ АЭРОЗОЛЬНОГО ПОТОКА В ПЛАЗМЕ ПЛАНЕТНЫХ АТМОСФЕР

В.С. Грач

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, vsgrach@appl.sci-nnov.ru

Рассматривается диссипативная неустойчивость аэрозольного потока в холодной слабоионизованной столкновительной плазме. Неустойчивость порождается относительным движением аэрозольной и ионной компонент; предполагается, что движение вызвано гравитационным падением тяжелых частиц в среде. При рассмотрении учитываются молекулярная ионная диффузия, процессы зарядки крупных частиц и разброс их размеров. В качестве модельной функции распределения взята степенная функция с показателем 4. Предполагается, что зарядка аэрозолей осуществляется вследствие оседания на них тепловых потоков ионов и электронов. Допускается возможность наличия в среде малой фракции высокоэнергичных электронов. Рассматриваемая неустойчивость развивается, если заряд на крупных частицах превышает некое пороговое значение, определяемое в основном диффузией и относительной скоростью. Получены зависимости характеристик порога неустойчивости от параметров системы. Показано, что учет процессов зарядки приводит к появлению дополнительного затухания и повышает порог неустойчивости. Дисперсия размеров частиц значительно повышает пороговое значение заряда (на частице с характерным радиусом) и качественно меняет зависимости от ряда параметров системы. При отсутствии разброса размеров пороговое значение заряда уменьшается при уменьшении коэффициента диффузии и концентрации нейтрального газа и имеет минимум в зависимости от радиуса аэрозолей и концентрации ионов. При учете разброса размеров аэрозолей зависимость порогового значения от концентрации нейтрального газа также имеет минимум, а оптимальное значение радиуса уменьшается. Получены количественные оценки для следующих сред: область мезопаузы в атмосфере Земли (высоты 80-90 км, частицы с радиусами 50-500 нм), средняя атмосфера Марса (высоты 70-110 км, пылевые частицы с радиусами порядка 1 мкм), ионосфера Титана (высоты 900-1200 км, возможны изолированные слои аэрозольных частиц с радиусами порядка 50 нм).

К КИНЕТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ 3D ЭЛЕКТРОННОЙ «ДИФфуЗНОЙ» ОБЛАСТИ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ, СФОРМИРОВАННОЙ В ПОТОКЕ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ

В.М. Губченко

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, ua3thw@appl.sci-nnov.ru

Бесстолкновительные электромагнитные (э.м.) «диффузные» области (ДО) от «нулевых точек» магнитосфер формируются потоками «горячей» бесстолкновительной плазмы, характеризующимися функциями распределения частиц (ФРЧ) различных форм и определяют глобальную 3D диссипативную магнитосферную структуру. В представлениях Чепмена-Ферраро внешний поток должен рассматриваться незамагниченным, а в представлениях Данжи важен учет в потоке направления внешнего «ведущего» магнитного (ВМ) поля, замагничивающего частицы. При этом, джоулева диссипация в ДО и из ДО важна для

изменения исходной топологии магнитного поля через процесс магнитного пересоединения. В режиме скоростей горячих потоков меньше тепловой электронной скорости методы МГД и основанные на «холодном» э.м. скиновом масштабе э.м. РС методы не адекватны. Нами развивается подход альтернативный 1D и 2D подходу к ДО, основанному на токовых слоях (ТС). 3D электромагнитные индукционные процессы кинетические; структура электронной ДО определяется на основе э.м. аномального скинового и диамагнитного масштабов пространственной дисперсии, индуцированные потоком и выражаемыми через детали в форме ФРЧ. Также вводятся безразмерные линейные и нелинейные параметры для критерия деления ДО на «незамагниченные» и «замагниченные». Параметры характеризуют э.м. добротность плазмы, ее э.м. волновые свойства и зависят от ФРЧ потока, величины ВМ поля, их изменение управляет топологической перестройкой ДО и магнитосфер. Аналитический самосогласованный метод расчета 3D полей асимметричной ДО основан на решении задачи о взаимодействии однородного потока плазмы с асимметричным 3D источником намагниченности («внутренняя магнитосфера»), в состав которого входит магнитодипольная и тороидальная компоненты. Э.м. свойства потока плазмы, формирующего ДО во «внешней магнитосфере», выражаются через тензор диэлектрической проницаемости. В расчетах движущийся источник намагниченности, формирующий э.м. поле ДО, эквивалентен 3D пакету гармонических э.м. возмущений с линейной и циркулярной поляризацией. Источник работает в широком диапазоне частот и направлений волновых векторов ($\omega = k\vec{v}'$) при постоянной скорости $\vec{v}'$. При незамагниченном горячем потоке оказывается, что источник работает, оставаясь в широкой полосе черенковской линии э.м. поглощения резонансными частицами (аномального скинирования), обуславливающей эффект магнитного пересоединения, и непрозрачности (диамагнетизма от нерезонансных частиц) однородной изотропной бесстолкновительной горячей плазмы, формируя «незамагниченную ДО» типа хвоста с линейной поляризацией в нём э.м. полей. При введении намагниченности плазмы, т.е. при появлении достаточно большой, определяемой величиной нелинейного параметра «нормальной компоненты ВМ поля, формируется «замагниченная» ДО. Источник теперь частично работает в полосе частот волновой МГД прозрачности плазмы, которая индуцирована ВМ полем. Это обеспечивает диссипацию излучением МГД волн при формировании волновой части структуры ДО. Источник работает также в широкой полосе частот линии циклотронного резонансного поглощения; здесь обнаруживается обычное аномальное скинирование и эффект «циклотронного» магнитного пересоединения. Это возможно из-за наличия необыкновенной компоненты в поле источника при квазипродольном направлении волнового вектора; формируется структура ДО с намагниченным хвостом и с циркулярной поляризацией (широм) в нём э.м. полей. Холловские компоненты тензора обеспечивают возбуждение холловских токов ДО, определяемых направлением ВМ поля. (<http://www.vniitf.ru/images/zst/2012/s3/3-13.pdf>).

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО УСКОРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С БОЛЬШИМИ ПРОДОЛЬНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ СЕРФИНГЕ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЕ

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Е.А. Кузнецов, Л.А. Михайловская

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, nerokhin@iki.rssi.ru

Серфинг заряженных частиц на электромагнитных волнах является одним из главных механизмов генерации потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме включая гелиосферу. Для корректных оценок параметров ускоренных частиц необходим детальный анализ условий захвата заряженных частиц в режим ускорения и эффективности этого ускорения при взаимодействии с электромагнитными волнами. В настоящем докладе на

основе численных расчетов рассмотрены захват и последующее ультрарелятивистское ускорения зарядов в магнитоактивной космической плазме при воздействии волнового пакета с плавной огибающей его амплитуды. Поперечные к внешнему магнитному полю компоненты импульса частиц полагаются слабoreлятивистскими, однако продольный импульс взят сильно релятивистским, фазовая скорость волны была нерелятивистской. С учетом интегралов движения задача сведена к анализу нестационарного, нелинейного уравнения второго порядка диссипативного типа для несущей фазы пакета на траектории заряженной частицы при распространении волнового пакета поперек достаточно слабого внешнего магнитного поля. Для реализации серфинга амплитуда электрического поля в центральной части волнового пакета была выше порогового значения. Численными расчетами показано, что при рассмотренных параметрах задачи даже для частиц в диапазоне неблагоприятных начальных фаз и при невыполнении в начальный момент времени черенковского резонанса имеют место захват зарядов и последующее их ультрарелятивистское ускорение. Большая величина продольного импульса заряда не препятствует захвату частицы в режим сильного серфотронного ускорения. Как и ранее, в неоптимальном случае вначале имеет место циклотронное вращение частиц с последующим захватом в режим серфинга. Расчеты показали, что на стадии циклотронного вращении поперечная энергия частиц может меняться существенно. Рассмотрена временная динамика компонент импульса и скорости ускоряемых частиц, характерные особенности их траектории, структура фазовой плоскости для исследуемого нелинейного уравнения при серфотронном ускорении зарядов.

О ВЛИЯНИИ ВСПЛЕСКОВОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЮПИТЕРА И ЭФФЕКТОВ ИОНОСФЕРНОГО ГРУППОВОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ НА СПЕКТРЫ, РЕГИСТРИРУЕМЫЕ НАЗЕМНЫМИ ПРИЕМНЫМИ ПУНКТАМИ

А.В. Костров, С.В. Коробков, М.Е. Гущин, В.Е. Шапошников

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, kstr@appl.sci-nnov.ru

Радиоизлучение Юпитера, принимаемое на поверхности Земли, проходит через ионосферу, которая может оказывать существенное влияние на его спектральные характеристики при наземном приеме. Из-за геомагнитного поля, в ионосфере могут распространяться две эллиптически поляризованные моды с различными фазовыми и групповыми скоростями. Для линейно поляризованного излучения, разница фазовых скоростей собственных мод, в форме которых сигнал распространяется через ионосферу, должна приводить к обычному эффекту Фарадея – повороту плоскости поляризации излучения в магнитоактивной среде. Для различных частот угол поворота плоскости поляризации отличается, в результате, при приеме излучения линейно поляризованным приемником, в спектре появляются хорошо известные «фарадеевские полосы». В то же время, наблюдаемые интервалы между спектральными максимумами часто не могут быть объяснены стандартным эффектом Фарадея, потому что по оценкам требуют плотностей ионосферной плазмы, превышающих фактические значения почти на порядок. В настоящем докладе рассмотрены новые эффекты формирования полосовой структуры спектра радиоизлучения Юпитера, обусловленные групповым запаздыванием сигналов в ионосфере. Показано, что если излучение представляет собой последовательность отдельных всплесков, то, из-за разницы групповых скоростей нормальных волн, отдельные всплески излучения после прохождения через ионосферу «удваиваются». В результате, если постоянная времени приемника превышает продолжительность отдельного всплеска и величину относительного запаздывания всплесков в каждой паре, то спектр излучения обогащается полосами с частотными интервалами, близкими к обратному времени группового запаздывания между

всплесками. Оценки и численное моделирование показывают, что данный механизм, при заданных параметрах ионосферы, приводит к меньшим частотным интервалам дискретной структуры спектра, чем стандартный эффект Фарадея, причем разница составляет не менее 2-3 раз, чего достаточно для объяснения полосовой структуры регистрируемых спектров радиоизлучения Юпитера. Также в докладе обсуждаются тонкие особенности формирования динамических спектров импульсных сигналов при узкополосном наземном приеме.

О СВОЙСТВАХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ С ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ

В.Д. Кузнецов¹, Н.С. Джалилов

¹ ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова РАН, Россия, kvd@izmiran.ru

² Шемахинская астрофизическая обсерватория АН Азербайджана,

Рассмотрены свойства кинетической неустойчивости температурно-анизотропной магнитоактивной плазмы солнечной короны для случая, когда плазма с тепловым потоком моделируется би-Максвелловским распределением с направленной скоростью вдоль магнитного поля. На основе анализа дисперсионного уравнения в низкочастотном приближении, когда эффектами конечного ларморовского радиуса можно пренебречь, проанализированы линейные волны и показано, что кроме обычной несжимаемой шланговой неустойчивости в плазме может возникать вторичная сжимаемая шланговая неустойчивость. Установлено, что как обратные (против теплового потока), так и прямые (вдоль теплового потока) медленные и быстрые магнитозвуковые моды могут взаимодействовать между собой, в результате чего наиболее неустойчивыми оказываются прямые быстрые и обратные медленные магнитозвуковые моды. Инкремент неустойчивости быстрых магнитозвуковых мод может превосходить инкремент обычной шланговой неустойчивости. Полученные результаты в кинетическом приближении подтверждают соответствующие результаты, которые были получены ранее в рамках приближения анизотропной МГД, и дают основание для их применения к задаче нагрева солнечной короны.

РАЗРЫВНЫЕ МГД-ТЕЧЕНИЯ: НЕПРЕРЫВНЫЕ ПЕРЕХОДЫ И НАГРЕВ ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Л.С. Леденцов, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, koob@mail.ru

Законы сохранения на поверхности разрыва в идеальной магнитной гидродинамике (МГД) допускают возможность смены типа разрыва при постепенном (непрерывном) изменении условий течения плазмы. При этом должны существовать так называемые переходные решения, удовлетворяющие одновременно двум типам разрывов. На основе полной системы граничных условий для уравнений МГД получен конкретный вид переходных решений, а также выражение, в явном виде описывающее изменение внутренней энергии плазмы, протекающей через разрыв. Это позволяет, во-первых, построить обобщенную схему незапрещенных переходов между МГД-разрывами, а во-вторых, изучить зависимость нагрева плазмы от значений плотности и конфигурации магнитного поля вблизи поверхности разрыва (т.е., от типа МГД-течения). Обсуждается вопрос о нагреве “сверхгорячей” (с электронной температурой больше 10 кэВ) плазмы в солнечных вспышках.

Показано, что наилучшие условия для такого нагрева осуществляются в окрестности пересоединяющего токового слоя, вблизи областей обратных токов.

Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares. Springer SBM, New York, 2013.

ВЫХОД ПОПЕРЕЧНОЙ ВОЛНЫ, НАГРУЖЕННОЙ ЗАХВАЧЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ, ИЗ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ

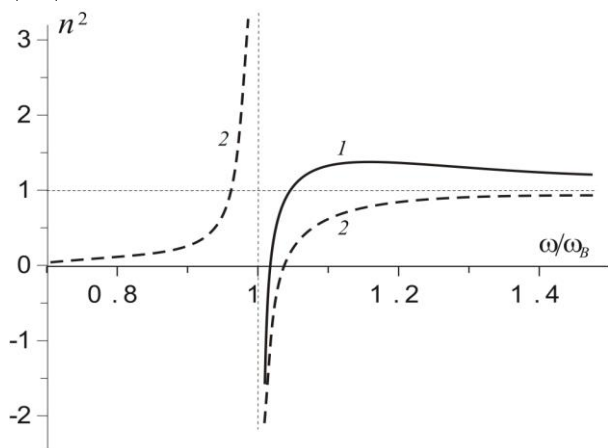
А.И. Матвеев

*Южный федеральный университет, технологический институт,
г. Таганрог, Россия, ya.matveev.alexandr@yandex.ru*

Известно, что необыкновенные поперечные волны с фазовой скоростью, большей скорости света, способны покидать замагниченную плазму. В линейном приближении обычно не учитывают резонансное взаимодействие этих волн с электронами плазмы. Между тем электроны плазмы с продольной скоростью $V_z = (\omega - \omega_B)/k$, где ω_B – циклотронная частота, захватываются в потенциальные ямы необыкновенной поперечной волны, оказывая существенное влияние на ее дисперсию. Анализ линейного дисперсионного уравнения этой волны показывает, что с убывью магнитного поля резонансная скорость $V_r = (\omega - \omega_B)/k$ увеличивается. Поэтому захваченные электроны не высыпаются из потенциальных ям волны и остаются в них вплоть до исчезновения магнитного поля. Что будет с поперечной волной после исчезновения магнитного поля неясно. Уравнение дисперсии поперечной волны с учетом вклада захваченных электронов имеет вид [1, 2]

$$n^2 = \frac{k^2 c^2}{\omega^2} = 1 + \frac{\omega_{tr}^2}{\omega^2} \frac{\langle V_{tr} \rangle}{c} \frac{mc^2}{eA} - \frac{\omega_e^2}{\omega(\omega - \omega_B)} \quad (1)$$

где A – амплитуда волны, $\omega_{tr}^2 = 4\pi e^2 N_{tr}/m$, N_{tr} – плотность пучка захваченных электронов, $\langle V_{tr} \rangle$ – среднее значение модуля их поперечной скорости. На рисунке пунктирными кривыми



2 дан график дисперсии волны в линейном приближении, сплошной кривой 1 изображен график дисперсионного уравнения волны, в потенциальных ямах которой содержатся захваченные электроны. В последнем случае в отличие от первого квадрат преломления в области достаточно больших частот становится больше единицы. Это означает, что поперечная волна, нагруженная захваченными электронами, может существовать в равновесной плазме с фазовой скоростью, меньшей скорости света в отсутствие магнитного поля [1, 2]. Если с уменьшением

магнитного поля концентрация плазмы уменьшается до нуля, то в правой части дисперсионного уравнения (1) остается только вклад захваченных электронов. То есть после выхода в вакуум поперечная волна поддерживается захваченными электронами. Оценим количество захваченных электронов, выносимое волной из плазмы. Так как они не высыпаются в процессе исчезновения магнитного поля, то их число определяется амплитудой A_0 и продольной скоростью V_{z0} волны в начале эволюции

$$N_{tr} \approx \frac{\sqrt{2}N}{\pi^{3/2}} \left(\frac{T}{mc^2} \right)^3 \sqrt{\frac{eA_0}{mc^2}} \exp \left(-\frac{m}{kT} V_{z0}^2 \right).$$

Так если эволюция волны с амплитудой $A_0 \approx 3 \cdot 10^{-3}$ CGSE начинается во внутренней короне Солнца $N \approx 10^8 \text{ см}^{-3}$, $T = 4 \cdot 10^8 \text{ K}$, $V_{z0} = 1.3 \cdot 10^8 \text{ см/с}$, то $N_{tr} \approx 15 \text{ см}^{-3}$.

[1]. А. И. Матвеев, Физика плазмы, **35**, №4, 351 (2009).

[2]. V. L. Krasovsky, Physics Letters, **A 374**, 1751 (2010).

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ СВЯЗАННЫХ С ГЕОМАГНИТНЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ

А.В. Петленко, Ю.А. Копытенко

СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, Россия, petlenko.58@mail.ru

Движение заряженных частиц в области замкнутых силовых линий магнитного поля Земли рассматривается обычно в адиабатическом приближении, МПЗ принимается дипольным, а первые интегралы движения сохраняющимися. Между тем, хорошо известно, что движение частиц высоких энергий становится неустойчивым, а сохранение магнитного момента выполняется тем хуже, чем выше энергия частицы. В работе показано, что уже для протонов с энергией ~ 100 МэВ сохранение первого адиабатического инварианта выполняется с точностью $\sim 10\%$. Так как протоны ~ 100 МэВ и более и электроны > 20 КэВ связаны с генерацией магнитных пульсаций, предпринята попытка анализа их движения без использования адиабатического приближения. Траектория 100 МэВ протона, достигающего высоты Е-слоя ионосферы, исследуется методом подвижного репера – радиус 1-й кривизны траектории оказывается больше ларморовского, а собственное вращение соприкасающейся с траекторией окружности не учитывается адиабатической моделью движения. Реальные эволюции этих окружностей, представляющих сечения взаимодействия частицы с МПЗ, образуют перекрученную (геликоидальную) поверхность силовой трубки. Характер кручения удается установить на локальном участке траектории частицы вблизи точек ее отражения, где кривизна силовых линий МПЗ не является существенной. Использование теоремы Паскаля для «мгновенных» проекций сечения взаимодействия на плоскость, ортогональную силовой линии поля, позволяет установить, что его кручение имеет нелинейный характер и в переменных действие-угол может быть выражено посредством решения уравнения типа $\sin$ -Гордон. То есть относительные смещения граничных точек сечения ведут себя подобно узлам замкнутых цепочек Toda, испытывающим нелинейное квазиупругое взаимодействие с МПЗ. Неустойчивость такого движения подчинена нелинейному уравнению Хилла, то есть дважды за один виток траектории частицы она оказывается в динамически неравновесном состоянии. В малом $\sim 20^\circ$ секторе углов кручения поведение частицы становится чувствительным к любым возмущениям магнитного поля, в том числе вызванном движениями других частиц. Солитоноподобное поведение сечений взаимодействия этих частиц указывает на фазированный (когерентный) характер нарушения ими устойчивого движения, что позволяет понять природу когерентности продольных токов магнитных пульсаций.

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА ДЛЯ ОГРАНИЧЕННОГО В ПРОСТРАНСТВЕ ПОТОКА СЖИМАЕМОЙ ПЛАЗМЫ

М.М. Шевелёв, Т.М. Буринская

Численными методами проведено исследование влияния конечной ширины потока плазмы на нелинейную стадию развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (К-Г) в рамках плоскопараллельной модели. Рассматривается влияние напряжённости магнитного поля, температуры, соотношения ширины потока и ширины переходного слоя на образование вихревых слоёв и крупномасштабные искажения потока. Показано, что для периодических возмущений с длиной волны меньше ширины потока развитие симметричной и антисимметричной мод не имеют качественных различий. Для волн с длиной больше ширины потока динамика развития этих мод существенно отличается, что обусловлено взаимным влиянием границ потока. Анализ развития неустойчивости при различных значениях альфвеновского числа Маха M_A показал, что в слабом магнитном поле образуются долгоживущие вихри с размерами порядка ширины потока как для симметричной, так и для антисимметричной моды, однако, геометрия вихрей различна. В сильном магнитном поле, $M_A \sim 5$, фаза разрушения вихрей наступает быстрее для обеих мод, но для антисимметричной моды сильные крупномасштабные искажения границы потока сохраняются достаточно долго. Исследование эволюции начального возмущения, заданного ансамблем случайных, непериодических возмущений, шумом, при различных температурах плазмы показало, что для потока с шириной, сравнимой с размерами переходных областей, развитие неустойчивости К-Г всегда имеет антисимметричный характер и приводит к ярко выраженным крупномасштабным искажениям потока как целого. Однако для холодной плазмы $C_s < 0.5U$ (C_s – скорость звука, U – скорость потока) развитие неустойчивости К-Г приводит к росту антисимметричной моды даже для потока с шириной много больше размера переходных областей.

ВОЗБУЖДЕНИЕ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕННОМ ВОЛНОВОДЕ ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ В НИЖНЕГИБРИДНОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Е.А. Широков, Ю.В. Чугунов

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, evshirok@gmail.com

В докладе рассматривается пространственно-временная структура волн, возбуждаемых в резонансной полосе частот источником, расположенном внутри цилиндрического плазменного волновода, окруженного вакуумом, во внешнем магнитном поле. Размеры источника считаются малыми по сравнению с длиной электромагнитной волны, что позволяет описывать излучение в квазистатическом приближении. В таком приближении аналитически удастся описать лишь моды с осевой симметрией, т. е. те моды, поле которых не зависит от азимутального угла. В соответствии с этим, рассматривается источник в виде однородно заряженного тонкого кольца (системы колец), заряд на котором осциллирует во времени по гармоническому закону. Кольцо помещено в центр поперечного сечения волновода и лежит в его плоскости. Такой волновод характеризуется дискретным набором собственных квазистатических мод. Он не имеет критической частоты, т. е. в нем всегда возбуждается хотя бы одна собственная мода. Уравнение для скалярного потенциала, создаваемого гармоническим источником, внутри волновода принадлежит к гиперболическому типу в условиях резонанса. Это приводит к тому, что поле излучения сосредоточено преимущественно на характеристиках уравнения, исходящих из источника и отражающихся в смежные характеристики от стенок волновода (от границы плазмы). Также анализируется излучение квазиэлектростатических волн импульсным источником. В условиях резонанса импульс расплывается и испытывает групповое запаздывание даже несмотря на то, что в фазе учитывается лишь линейный по частоте член, т. е. дисперсионное расплывание не рассматривается. Например, при определенных параметрах импульса и

среды, соответствующих нижнегибридному диапазону, уже на расстоянии порядка 10 длин волн импульс, распространяясь вдоль цилиндра, существенно искажается, его длительность увеличивается в 1.5 раза (начальная длительность составляет 0.3 мс), а также имеет место запаздывание на 0.1 мс. Результаты могут быть использованы при рассмотрении вопроса о самосогласованных плазменных структурах, поддерживаемых ближним полем антенны. В первую очередь, речь идет о пробое газа в ближнем поле антенны и последующем формировании вытянутых вдоль внешнего магнитного поля плазменных шнуров.

ОБРАЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ СОЛНЦЕ

Д. Мосс, Л. Кичатинов, Д. Соколов

МГУ, г. Москва, Россия, sokoloff.dd@gmail.com

During a solar magnetic field reversal the magnetic dipole moment does not vanish, but migrates between poles, in contradiction to the predictions of mean-field dynamo theory. We try to explain this as a consequence of magnetic fluctuations. We exploit the statistics of fluctuations to estimate observable signatures. Simple statistical estimates, taken with results from mean-field dynamo theory, suggest that a non-zero dipole moment may persist through a global field reversal. Fluctuations in the solar magnetic field may play a key role in explaining reversals of the solar dipole.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИНАМИКА ВОЗМУЩЕНИЙ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ, КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ ТОКОВ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ МОЩНЫМ РАДИОИМПУЛЬСОМ

**Н.А. Айдакина, М.Е. Гущин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков,
А.В. Костров, А.В. Стриковский**

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, aidakina@appl.sci-nnov.ru

В настоящее время на крупномасштабном плазменном стенде «Крот» проводятся эксперименты по исследованию физических явлений, возникающих при взаимодействии интенсивного импульсного излучения различных частотных диапазонов с замагниченной плазмой. В ходе исследований была экспериментально показана генерация квазистационарного магнитного поля (КМП) в слабостолкновительной замагниченной плазме в пространственно неоднородном высокочастотном поле свистового диапазона частот. Кроме того, воздействие импульса ВЧ накачки также сопровождается возникновением сложной пространственно – временной структуры возмущений плотности плазмы. Анализ и сопоставление распределений КМП и возмущений плотности позволяет говорить о наличии, по крайней мере, двух основных механизмов генерации импульсных магнитных полей, связанных с возбуждением дрейфовых токов («быстрая» составляющая) и токов намагничивания («медленная» составляющая, связанная с возмущениями плотности) за счет действия продольной и поперечной компонент усредненной пондеромоторной силы. Перераспределение плотности возникает, по-видимому, за счет действия продольной компоненты пондеромоторной силы. Обсуждается динамика возбуждаемых квазистационарных магнитных полей и возмущений плотности плазмы. Как показали эксперименты, продольный перенос (вдоль внешнего магнитного поля) КМП происходит со скоростью низкочастотных свистовых волн, а поперечный осуществляется диффузионным образом. Перенос возмущений плотности осуществляется с двумя характерными скоростями: передний фронт распространяется со скоростью, близкой к скорости низкочастотных свистовых волн, основное возмущение распространяется со скоростью ионного звука. Механизмы распространения возмущений магнитного поля могут быть описаны в рамках теории электронной магнитной гидродинамики. Относительно динамики возмущений плотности плазмы, пока не удастся составить целостного представления о механизмах перераспределения и установления пространственной структуры возмущений, этот вопрос требует дальнейшего рассмотрения.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ

Н.А. Айдакина, М.Е. Гущин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, Д.А. Одзериho, А.В. Стриковский

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, mguschin@appl.sci-nnov.ru

При планировании активных волновых экспериментов в околоземной плазме значительный интерес представляют эффекты обогащения частотного спектра электромагнитного излучения в присутствии интенсивных волн искусственного и естественного происхождения, а также явления генерации вторичного излучения при воздействии на околоземную плазму волнами с модуляцией интенсивности. Одним из перспективных подходов к изучению подобных явлений является лабораторное моделирование. В то же время, постановка высококачественных модельных волновых экспериментов возможна только на крупномасштабных плазменных стендах, поскольку предполагает реализацию режима «безграничной» плазмы, в котором можно пренебречь влиянием стенок разрядной камеры на протекающие в плазме процессы и структуру волновых полей. В настоящем докладе приводится обзор результатов по моделированию распространения и взаимодействия электромагнитного излучения свистового диапазона частот в замагниченной плазме, полученных в последнее время на крупномасштабном плазменном стенде «Крот» (ИПФ РАН). Данная установка специально создана для моделирования физических явлений в космической плазме, позволяет формировать плазму рекордно большого размера (объем плазмы – до нескольких десятков кубических метров), и, в результате, моделировать распространение излучения на длинных трассах, включающих десятки длин волн. Рассматривается два круга вопросов: (а) генерация низкочастотного излучения при взаимодействии интенсивных волн с плазмой, и (б) обогащение спектра излучения малой мощности, распространяющегося через область плазмы, занятую интенсивными волнами с модуляцией интенсивности (кросс-модуляцию). Обсуждаются несколько механизмов нелинейности, которыми обусловлены подобные явления, включая модуляцию температуры, плотности плазмы и «магнитную» нелинейность – возмущения внешнего (статического) магнитного поля. На основании полученных результатов рассматриваются низкочастотные волновые процессы, развивающиеся в ионосфере и магнитосфере Земли.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН СВИСТОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

Н.А. Айдакина, М.Е. Гущин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, zudiniy@appl.sci-nnov.ru

Доклад посвящен экспериментальному исследованию параметрических эффектов, развивающихся в магнитоактивной плазме в поле интенсивной электромагнитной волны с амплитудной модуляцией, либо биений двух интенсивных волн с близкими частотами. Целью исследования было изучение отклика плазмы на волновое воздействие, а также влияние нелинейного отклика на распространение пробных волн с малой амплитудой.

В экспериментах, выполненных на крупномасштабном плазменном стенде «Крот», был обнаружен эффект обогащения спектра пробной волны эквидистантными сателлитами, с частотной отстройкой, равной частоте модуляции интенсивной волны. При этом спектр, как правило, оказывался ассиметричным относительно несущей частоты. Наблюдаемый эффект может быть интерпретирован как «кроссмодуляция» волн, или амплитудно-фазовая модуляция пробных волн в присутствии интенсивного модулированного по интенсивности поля накачки. На основании полученных данных было выдвинуто предположение о том, что наблюдаемый эффект обусловлен возмущениями концентрации плазмы в поле интенсивной волны накачки. Эти возмущения были обнаружены в эксперименте методом зонда с СВЧ-резонатором на четвертьволновом отрезке двухпроводной линии. Параметры эксперимента были выбраны таким образом, что характерные времена тепловых процессов оказывались значительно большими периода модуляции, и источником возмущений концентрации, скорее всего, являлись стрикционные явления, обусловленные усредненной пондеромоторной силой. Установлено, что возмущения концентрации приводили к генерации низкочастотных магнитных полей; их источниками являлись токи намагничивания, охватывающие область плазмы, в которой локализованы возмущения концентрации.

ВОЛНОВОЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ НГР ОТРАЖЕНИЯ СВИСТОВЫХ ВОЛН В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

И.В. Кузичев, Д.Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kuzichevIV@gmail.com

В работе исследуется распространение свистовых волн с частотами вблизи нижнегибридной частоты (НГР). Такие волны могут испытывать так называемое НГР отражение - отражение от области пространства, где частота волны меньше локальной НГР частоты. Особенностью НГР отражения является то, что поперечная (по отношению к внешнему магнитному полю) компонента волнового вектора остаётся в определённом смысле большой в процессе отражения, так что этот процесс представляет собой своеобразную рефракцию, описываемую в рамках геометрической оптики. Тем не менее, применимость геометрической оптики не всегда очевидна. Дело в том, что максимум НГР частоты в ионосфере может находиться в F слое, где на распространение волны начинает оказывать влияние столкновительное поглощение в плазме. В данной работе мы предлагаем волновой подход к описанию НГР отражения свистовых волн, который позволяет, в частности, рассматривать ситуацию, когда отражение происходит в области столкновительного поглощения. В рамках этого подхода мы рассчитали коэффициент отражения как функцию частоты волны для различных параметров ионосферной плазмы и двух режимов распространения волны: переходного режима, когда $k^2/q^2 \sim 1$ (здесь k – модуль волнового вектора волны, $q = \omega_p/c$, где ω_p – плазменная частота, c – скорость света), и квазирезонансного режима, когда $k^2/q^2 \gg 1$. Обнаружена квазипериодическая зависимость коэффициента отражения от частоты в случае, когда отражение происходит в области, где существенны столкновения. Это можно объяснить интерференцией падающей и отражённой волн в области со столкновениями, приводящей к немонотонному изменению поглощения энергии поля с частотой. Таким образом, это волновой эффект. Другим результатом работы является вычисление коэффициента прохождения волны на высоты ~ 350 км. Этот вопрос имеет отношение к проблеме выхода свистовых волн на землю. Дело в том, что затухание волны с $k^2/q^2 > 1$ может быть существенным уже в F слое ионосферы. Поэтому, если в качестве механизма выхода волны на землю рассматривать рассеяние на неоднородностях плотности в F слое, необходимо оценить, какая доля энергии волны доходит до области с

неоднородностями. Наши результаты показывают, что в случае ночной ионосферы волна затухает к высоте 350 км достаточно слабо в обоих режимах и, таким образом, может рассеяться на неоднородностях F слоя в конус прохождения. Однако в случае дневной ионосферы существенная часть энергии волны диссипирует на больших высотах, поэтому до области рассеяния доходит лишь малая часть энергии волны. Эти результаты согласуются с хорошо известным фактом, что прошедшие по магнитосферной траектории свистовые волны наблюдаются на земле ночью гораздо чаще, чем днем.

СЕКЦИЯ «ТОКОВЫЕ СЛОИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ РАСПАДАЮЩЕГОСЯ ТОКОВОГО СЛОЯ

С.И. Безродных^{1,2}, В.И. Власов², Б.В. Сомов¹

¹ ГАИ им. П.К. Штернберга МГУ, г. Москва, Россия

² ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, г. Москва, Россия

Рассматривается обобщение модели Сыроватского, возникающее в связи с возможностью распада токового слоя на параллельные токовые ленты. Такой распад токового слоя может возникнуть в результате разрывной (тиринг) неустойчивости или при появлении в слое области более высокого электрического сопротивления, например, аномального сопротивления ввиду возбуждения той или иной плазменной турбулентности. Согласно простой аналитической модели распадающегося тонкого токового слоя, имеющего бесконечную ширину, на края разрыва в слое действует сила магнитных натяжений, пропорциональная величине разрыва и стремящаяся увеличить его. Внутри разрыва индуцируется мощное электрическое поле, способное в астрофизических условиях (например, в солнечных вспышках) ускорять заряженные частицы до высоких энергий. В настоящей работе изучается структура магнитного поля в окрестности распадающегося токового слоя конечной ширины при наличии присоединенных ударных волн. В рассматриваемой модельной постановке двумерной стационарной задачи выбраны следующие граничные условия. Как и в модели токового слоя Сыроватского, нормальная компонента магнитного поля на слое обращается в нуль, т.е. токовый слой считается строго нейтральным. На ударных МГД-волнах поперечная компонента равна заданной постоянной величине β . Магнитное поле на больших расстояниях от токового слоя линейно возрастает с заданным коэффициентом пропорциональности h , т.е. является потенциальным гиперболическим полем при $h = 1$, как и в модели Сыроватского. Таким образом, мы приходим к математической задаче Римана – Гильберта для магнитного поля. Ее решение удалось построить в явном аналитическом виде и, таким образом, детально изучить картину магнитного поля в окрестности распадающегося токового слоя.

Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares. Springer SBM, New York, 2013, Chap. 3.

ТОКОВЫЕ СЛОИ В МАГНИТОСФЕРНОМ ХВОСТЕ ВЕНЕРЫ

**И.Ю. Васько¹, Л.М. Зеленый¹, А.В. Артемьев¹, А.А. Петрукович¹,
T.L. Zhang², X.B. Малова¹, В.Ю. Попов¹ и R. Nakamura²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vaskoiy@gmail.com

² Space Research Institute of Austrian Academy of Sciences, Austria, Graz

Первые миссии к Венере показали, что планета не обладает собственным магнитным полем. Поэтому магнитосферный хвост имеет аккреционную природу, то есть сформирован из силовых трубок солнечного ветра, конвертирующих на ночную сторону планеты [1]. Миссия Pioneer Venus Orbiter (PVO) позволила изучить структуру токового слоя в дальнем хвосте [2,3,4]. Однако, слабое временное разрешение плазменных данных миссии PVO не позволило восстановить пространственную структуру токового слоя. D.J. McComas et.al. [1986], основываясь на большой статистике пересечений токового слоя, оценил его толщину

в $1,5 R_V$. Характерной особенностью взаимодействия Венеры и солнечного ветра является популяция ионов кислорода, выхваченная силовыми трубками солнечного ветра из ионосферы Венеры в процессе обтекания планеты [5,6]. Было установлено влияние этой популяции на положение ударной волны [7,8], на асимметрию магнитосферного хвоста и магнитослоя [9,10]. Однако, до сих пор не было исследовано влияние этой популяции на структуру токового слоя Венеры. Мы используем данные миссии Venus Express для изучения структуры токового слоя Венеры вблизи планеты на ночной стороне, основываясь на статистике 17 пересечений токового слоя в течение 2006-2010 годов, наблюдаемых при стационарных условиях в солнечном ветре. Во-первых, мы обнаружили, что токовый слой Венеры может быть в действительности очень тонким ($\sim 300-1000$ km). Толщина слоя может быть сравнима с гирорадиусом ионов плазмы. Во-вторых, мы обнаружили, что профили компоненты B_x магнитного поля могут быть одномасштабными и двухмасштабными. Используя плазменные данные, мы показали, что двухмасштабные токовые слои обусловлены популяцией кислорода, выхваченной из ионосферы. Двухмасштабные токовые слои толще, чем одномасштабные, однако, все еще несколько ионных гирорадиусов в толщине. Наконец, наблюдаемые тонкие токовые слои могут быть удовлетворительно описаны в рамках одномерно анизотропной модели [11]. Представленные результаты могут оказаться полезными и для изучения структуры дальнего хвоста. Во-первых, мы полагаем, что тонкие слои могут быть обнаружены и в дальнем хвосте, тогда как процедура осреднения, использованная в работе D.J. McComas et al. [1986] просто напросто не была способна разрешить тонкие структуры. Во-вторых, мы предсказываем, что двухмасштабные слои могут быть обнаружены и в дальнем хвосте, поскольку кислородная популяция не успела еще уйти из слоя.

- [1]. E.G. Eroshenko, Cosmic Research, 1979, 17, 77-87;
- [2]. M.A. Saunders and C.T. Russell, J. Geophys. Res., 1985, 91, 5589-5604.;
- [3]. D.J. McComas et al. J. Geophys. Res., 1986, 91, 7939-7953.;
- [4]. J.A. Slavin et al. J. Geophys. Res., 1989, 94, 2383-2398.;
- [5]. M.I. Verigin et al. J. Geophys. Res., 1978, 83, 3721-3728.;
- [6]. J.D. Mihalov et al. J. Geophys. Res., 1980, 85, 7613-7624.;
- [7]. C.J. Alexander and C.T. Russell, Geophys. Res. Lett., 1985, 12, 369-371.;
- [8]. C.J. Alexander et al., Geophys. Res. Lett., 1986, 13, 917-920.;
- [9]. J.L. Phillips et al., J. Geophys. Res., 1987, 92, 9920-9930.;
- [10]. J.G. Luhmann et al., Adv. Space Res., 1985, 5, 307-311.;
- [11] L.M. Zelenyi et al., NPG, 2000, 7, 127-139.

СЖАТИЕ ТОКОВОГО СЛОЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОЙ ДИФФУЗИИ В ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ НЕПОДВИЖНОЙ ПЛАЗМЕ

А.А. Круглов

ИПГ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, a_kruglov@appl.sci-nnov.ru

Рассматривается релаксация неоднородностей магнитного поля под действием магнитной диффузии в условиях сильно различающегося удельного сопротивления вдоль и поперёк магнитного поля, что характерно для частично ионизованной плазмы в достаточно сильном магнитном поле, например для солнечной атмосферы. Предполагается локальная связь электрического тока и магнитного и электрического полей. Анизотропия, связанная с зависимостью тензора удельного сопротивления от направления магнитного поля, делает задачу нелинейной даже в случае линейного закона Ома. Показано, что в отличие от случая изотропного сопротивления плазмы, в анизотропном случае неоднородности магнитного поля могут катастрофически сжиматься в ходе релаксации. Это происходит на масштабе времени магнитной диффузии, соответствующей продольной компоненте удельного сопротивления. Поперечная компонента удельного сопротивления при этом поддерживает

состояние поля, близкое к бессиловому. В ходе сжатия амплитуда магнитного поля сохраняется, а электрический ток возрастает. Сжатие происходит за конечное время до размеров, существенно меньших начальных, а затем сменяется расширением после изменения «топологии» магнитного поля. В докладе представлены результаты одномерных численных расчётов, демонстрирующие этот эффект для токового слоя в плоскостном случае, а также для трубки в осесимметричном случае. Дается качественное и полуколичественное объяснение эффекта, приводится аргумент в пользу грубости эффекта в случае 2- и 3-мерного пространства.

ОСОБЕННОСТИ ТИРИНГ - МОД НЕЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

В.В. Ляхов, В.М. Нецадим

ДТОО «Институт ионосферы», v_lyahov@rambler.ru

Решено кинетическое уравнение с самосогласованным электромагнитным полем для возмущения функции распределения. На основе этого решения вычислен тензор диэлектрической проницаемости, моделирующий резко-неоднородную среду токового слоя. Затем решается система уравнений Максвелла, замкнутая материальным уравнением. Током смещения не пренебрегается. Дисперсионное уравнение следует из требования нетривиальности решений для возмущений электрического поля. Волновые возмущения задаются распространяющимися поперек неоднородности токового слоя. В результате применения предложенной методики даже в случае электронейтрального токового слоя выявлено существование низкочастотных тиринго-подобных мод, существенным образом отличающихся от известных ранее тиринг- возмущений. Инкремент нарастания этих мод положителен на очень широком интервале длин волн и достигает гораздо больших величин, чем это полагалось раньше для разрывной неустойчивости. Вследствие эффекта поляризации область существования этих низкочастотных тиринго-подобных мод вытесняется из области сильного стационарного электрического поля ближе к магнитонейтральной (и электронейтральной) плоскости в центре симметрии токового слоя.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОНОВ

О.В. Мингалева¹, И.В. Мингалева¹, Х.В. Малова^{2,3}, Л.М. Зеленый², М.Н. Мельник¹

¹ *ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

³ *НИИЯФ им. Д.В. Скобелева МГУ, г. Москва, Россия*

Создан начальный вариант основанной на методе крупных частиц численной модели тонкого токового слоя (ТТС) с заданной нормальной компонентой магнитного поля в хвосте магнитосферы, в которой в рамках системы Власова–Пуассона учитывается электронная компонента с реальным отношением заряда к массе, температурой и дебаевским расстоянием. В модели используется специально разработанный численный метод с 4-м порядком точности. Расчеты показали, что при достаточно ограниченном числе частиц модель реалистично воспроизводит дебаевское экранирование, и имеет приемлемый уровень флуктуаций. Это важное методическое достижение открывает новые возможности для реалистичного моделирования сложных плазменных процессов, происходящих в токовом слое в хвосте магнитосферы. Для моделирования квазистационарных конфигураций ТТС

разработан метод, использующий расщепление по физическим процессам, который заключается в следующем. На начальном этапе устанавливается равновесие с учетом только ионов и магнитного поля на достаточно грубой «ионной» сетке, а электроны рассматриваются как холодный нейтрализующий фон. На втором этапе на более мелкой «электронной» сетке в рамках системы Власова–Пуассона рассматривается чисто электростатическая задача движения электронов в ТТС при заданном магнитном поле и концентрации ионов. При этом самосогласованным является только электростатическое поле, и в начальный момент электроны имеют локально максвелловское распределение с заданной гидродинамической скоростью и с концентрацией, которая очень близка к концентрации ионов. На третьем этапе полученное электростатическое поле и профиль плотности тока электронов усредняется и фильтруется на ионном временном и пространственном масштабе на «ионную» сетку. Вычисляется уточненное магнитное поле с учетом вклада электронов в плотность тока. На четвертом этапе снова решается задача получения «ионного» равновесия при заданной плотности тока электронов и заданном электрическом поле.

ТОНКИЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: РОЛЬ ПРОДОЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В СТРУКТУРЕ МНОГОМАСШТАБНОГО ВЛОЖЕННОГО СЛОЯ

В.Ю. Попов, Л.М. Зеленый, Х.В. Малова, А.А. Петрукович

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, masterlu@mail.ru

Построена и исследована модель сравнительно тонкого токового слоя с учетом неоднородности поперечного магнитного поля B_z в антисолнечном направлении. Как оказалось, нелинейная динамика заряженных частиц плазмы практически полностью определяет вложенную структуру токового слоя. Так, пролетные частицы могут поддерживать «фоновый» одномерный токовый слой. Квазизахваченные и захваченные ионы перераспределяются в силовых трубках таким образом, что их концентрация оказывается выше в области с более сильным нормальным магнитным полем, а соответствующие локальные токи могут перераспределять «фоновый» ток. Электронные токи оказываются более сильными в антисолнечном направлении вдоль слоя, что определяется дрейфовыми электронными токами, зависящими от величины B_z . В целом профиль плотности тока вдоль токового слоя имеет слоистую структуру, зависящую от радиальной координаты.

АСИММЕТРИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГРЭДА-ШАФРАНОВА, МОДЕЛИРУЮЩИЕ ТОКОВЫЙ СЛОЙ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ

В.С. Семенов, М.А. Аинов, Д.И. Кубышкина

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, sem@geo.phys.spbu.ru

В космической физике токовые слои играют центральную роль в динамике плазменных систем, хотя и занимают сравнительно малый объем. В магнитосфере Земли основные процессы, приводящие к магнитной буре, происходят в плазменном слое хвоста магнитосферы. Для моделирования процессов в токовых слоях необходимо иметь адекватные равновесные решения уравнений Власова с самосогласованным полем. В последнее время удалось разработать мощный метод их решения, основанный на сведении

уравнений Власова с самосогласованным полем к более простому уравнению Грэда-Шафранова. Получено семейство точных решений уравнений Власова, обобщающих решения Кана и Мананковой на несимметричный случай, в которых учитывается наклон диполя и соответствующий изгиб токового слоя.

О СОПОСТАВЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ТОКОВЫХ СЛОЕВ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

А.Г. Франк¹, А.В. Артемьев², А.А. Петрукович²

¹ ИОФ РАН, г. Москва, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Структура и эволюция токовых слоев, которые формируются в замагниченной плазме, изучаются в целом ряде лабораторных экспериментов [1,2]. При этом значительный интерес представляет сопоставление характеристик токовых слоев, создаваемых в лабораторных условиях, с одной стороны, и наблюдающихся в магнитосфере Земли, с другой стороны [3,4]. Несмотря на огромные различия в характерных размерах, параметрах плазмы и магнитных полей, оказалось, что многие существенные черты магнитосферных и лабораторных токовых слоев довольно хорошо согласуются между собой [5]. Это утверждение относится к соотношению между различными компонентами магнитного поля токовых слоев: тангенциальной V_x , нормальной V_z и продольной V_y ; к эффекту усиления V_y - компоненты в пределах слоя; к соотношению между температурами ионов и электронов (T_i/T_e); к соотношению между меньшим поперечным размером (толщиной) токового слоя δz и ионной скин-длиной c/Ω_{oi} , или/и ларморовским радиусом ионов ρ_i , а именно: $\delta z \leq c/\Omega_{oi}$, ρ_i ; и т.д. Характеристики лабораторных токовых слоев обсуждаются главным образом на основе результатов, которые были получены в ИОФ РАН, с помощью установки ТС-3D, в то время как экспериментальные данные по структуре магнитосферного токового слоя получены спутниковой миссией Cluster. Работа выполнена при частичной поддержке Программой фундаментальных исследований РАН ОФН-15 «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории» и РФФИ, проект № 12-02-00553а.

[1]. Yamada M., Kulsrud R., Ji H. // Rev.Mod.Phys. 2010. V. 82, P. 603.

[2]. Франк А.Г. // УФН 2010. Т. 180. С. 982.

[3]. Runov A. et al. // Ann. Geo. 2006 24, 247–262.

[4]. Artemyev A.V. et al. // J. Geophys. Res. 2011 116, A09233

[5]. Artemyev A.V. et al. // J. Geophys. Res. 2013 submitted

ДИНАМИКА ПЛАЗМЫ В ОКРЕСТНОСТИ ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ СОЛНЦА

О.В. Хабарова¹, В.В. Жаркова²

¹ ИЗМИРАН, г. Троицк, Москва, Россия, habarova@izmiran.ru

² Department of Mathematics, University of Bradford, UK, v.v.zharkova@brad.ac.uk

Изучение особенностей плазмы солнечного ветра в окрестности гелиосферного токового слоя и мелкомасштабных токовых слоёв на расстоянии 1 а.е. показало, что наблюдаемые профили скорости, плотности, а также распределения электронов и протонов по питч-углам и энергиям вокруг секторных границ могут быть связаны с непрерывно идущим магнитным пересоединением в токовых слоях [Zharkova & Khabarova, 2012]. Последнее до сих пор

являлось дискутируемым фактом за недостаточностью экспериментальных доказательств. Между тем, расхождения в теоретических представлениях о законах распространения магнитного поля в гелиосфере с экспериментальной базой могли бы объясняться обсуждаемыми процессами, порождающими области повышенной турбулентности в окрестности токовых слоёв [Khabarova & Obridko, 2012]. Аналогичные исследования динамики плазменных процессов при пересечении секторных границ проведены на различных расстояниях от Солнца. Проведено сравнение наблюдаемых параметров турбулентности солнечного ветра с аналитическими расчётами. Есть основания полагать, что признаки непрерывно идущего пересоединения на секторных границах наблюдаются при значительном удалении от Солнца, несмотря на усложняющуюся с расстоянием структуру гелиосферного токового слоя. Работа выполнена в рамках программы РАН №22 и поддержана грантами РФФИ 11-02-00259, 10-02-01063 и 12-02-10008.

V.Zharkova, O.Khabarova, Particle Acceleration in the Reconnecting Heliospheric Current Sheet: Solar Wind Data Versus 3D PIC Simulations, *Astrophysical Journal*, 2012, V.752, 1, 35 doi:10.1088/0004-637X/752/1/35,

http://kinetics.inf.brad.ac.uk/zharkova_khabarova_apj12_solar_wind.pdf.

Khabarova Olga, and Obridko Vladimir, Puzzles of the Interplanetary Magnetic Field in the Inner Heliosphere, 2012, *Astrophysical Journal*, 761, 2, 82, doi:10.1088/0004-637X/761/2/82, <http://arxiv.org/pdf/1204.6672v2.pdf>

С Е К Ц И Я «ТОКОВЫЕ СЛОИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МОДЕЛИ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ: РОЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОКОВ

А.А. Улькин, Х.В. Малова, В.Ю. Попов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, alexulkin@gmail.com

Построена и исследована численная модель тонкого токового слоя, в которой ионная составляющая рассмотрена в кинетическом, а электронная - в жидкостном приближениях. Проведено исследование траекторий частиц плазмы и структуры токового слоя в зависимости от величины параметра адиабатичности. Показано, что при приближении параметра адиабатичности от малых значений к величине ~ 1 , ионы в токовом слое переходят в режим динамического хаоса и становятся квазизахваченными. В таком режиме ионные токи уменьшаются до пренебрежимо малых значений, в то время как электронные дрейфовые токи могут вносить конечный вклад в поперечный ток. Приложения к магнитосфере Земли обсуждаются.