

**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**К О Н Ф Е Р Е Н Ц И Я**  
**«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ**  
**В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»**

*5–8 ФЕВРАЛЯ 2008 Г., ИКИ РАН*

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

**г. Москва**

Тематика конференции связана с исследованиями физических процессов в плазме Солнца, солнечного ветра, магнитосфер и ионосфер Земли и планет, смежных проблем, включая работы по теории космической плазмы, численному моделированию, экспериментальные результаты, в том числе, по лабораторному моделированию.

Конференция проводится отделом физики космической плазмы ИКИ РАН под эгидой программы ОФН-16.

### **Программный комитет конференции (совет программы ОФН-16)**

Зеленый Лев Матвеевич – Председатель программного комитета.

Арманд Неон Александрович, Богод Владимир Михайлович, Ермолаев Юрий Иванович, Степанов Александр Владимирович, Демехов Андрей Геннадьевич, Фомичев Валерий Викторович, Франк Анна Глебовна, Григорьев Виктор Михайлович, Веселовский Игорь Станиславович, Сергеев Виктор Андреевич, Яхнин Александр Григорьевич, Свидский Павел Михайлович, Петров Владимир Михайлович, Черемных Олег Константинович, Могилевский Михаил Менделевич.

### **Организационный комитет конференции**

Чугунин Дмитрий Владимирович: 333-11-22, dimokch@iki.rssi.ru

### **Интернет –сайт программы и конференции**

<http://solarwind.cosmos.ru>

**СОДЕРЖАНИЕ**

С е к ц и я «Солнце»	устные доклады .....	4
	стендовые доклады .....	12
С е к ц и я «Ионосфера»	устные доклады .....	19
	стендовые доклады.....	23
С е к ц и я «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи»	устные доклады .....	27
	стендовые доклады.....	32
С е к ц и я «Магнитосфера»	устные доклады .....	38
	стендовые доклады.....	43
С е к ц и я «Теория физики плазмы»	устные доклады .....	48
	стендовые доклады.....	51
С е к ц и я «Границы магнитосферы»	устные доклады .....	53
	стендовые доклады .....	55
С е к ц и я «Токовые слои»	устные доклады .....	57
	стендовые доклады .....	61

## С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

### НЕЙТРИННАЯ АСТРОНОМИЯ СОЛНЦА С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В.А. Ранцев-Картинов

*ИЯС РНЦ "Курчатовский Институт", Москва, Россия*

Анализ (посредством разработанного автором метода многоуровневого динамического контрастирования) базы данных фотографических изображений Солнца в мягком рентгене привел к наблюдению на Солнце и в его ближайшем окружении фрактальных скелетных структур (ФСС) [1], топология которых оказалась идентичной той, которая уже была выявлена ранее в широком диапазоне масштабов, охватывающих почти 35 порядков величины, явлений и сред [2]. Некоторые их фрагменты в активный период имеют радиус вращения вокруг оси звезды меньше радиуса её диска на широте их наблюдения. Предполагается, что модифицированная автором гипотетическая модель филаментарной материи Б.У. Родионова способна внутри и вне Солнца выстраивать ФСС из ее элементарных линейных блоков («линейных атомов» (ЛА)). Рассмотрены процессы: а) возможного формирования внутри звезды и выноса в космос изображения таких структур в потоке нейтрино; б) проявления этих изображений в виде потока сопутствующих рентгеновских квантов (полученных в результате взаимодействия вышедшего из звезды потока нейтрино со слоем из фрагментов такой материи (гало) или ее ЛА и расположенного в плоскости эклиптики между Землей и Солнцем), который затем регистрируется космическим телескопом мягкого рентгена. Наблюдения и рассмотренные процессы указывают на то, что возможно уже сейчас мы имеем нейтринную астрономию, пространственное разрешение которой определяется оптическими характеристиками телескопа. Эти процессы могут явиться основой для разработки будущей нейтринной астрономии высокого пространственного разрешения, позволяющей изучать явления, протекающие внутри звезд и ядрах галактик. Дано качественное сравнение с пространственным разрешением нейтринного профиля Солнца, полученного при помощи Супер-Камиоканде детектора [3].

[1] A.V.Kukushkin, V.A.Rantsev-Kartinov, *Phys.Lett. A*, 306, 175 (2002);

[2] V.A.Rantsev-Kartinov, In Proc. 32nd EPS Conference on Plasma Phys. Tarragona, 27 June - 1 July 2005 ECA Vol.29C, P-2.155 (2005).

[3] A.V. Mc. Donald at all, <http://ru.arxiv.org/pdf/astro-ph/0311343>

### РАДИОПРОСВЕЧЕНИЕ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ПУЛЬСАРОВ

Т.В. Смирнова, И.В. Чашей, В.И. Шишов

*ПРАО ФИАН*

Представлены результаты двух серий измерений импульсного поляризованного излучения пульсаров при их сближении с Солнцем. Наблюдения проводились в 2005 г. (пульсар В 0525+21) и в 2007 г. (гигантские импульсы пульсара в Крабовидной туманности и пульсар В 0525+21) на антенне БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Получены верхние оценки дисперсионного запаздывания, углов рассеяния и меры Фарадеевского вращения плоскости поляризации.

**ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕЛИОСФЕРНОГО ЭКВАТОРА**

В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН  
им. Н.В. Пушкова*

Показано, что центр тяжести гелиосферного экватора испытывает квазипериодические колебания. В период минимума 11-летнего цикла он несколько смещен к югу (эффект *Bashful Ballerina*). Однако в максимуме цикла это смещение меняется на обратное. Это связано с существованием солнечного квадруполья. Проведено сопоставление смещения с раствором гелиосферного токового слоя.

**ПОЛЯРНАЯ АКТИВНОСТЬ СОЛНЦА В ЭПОХУ ПЕРЕПОЛЮСОВКИ**

Б.П. Филиппов

*ИЗМИРАН*

Рассматривается поведение протуберанцев полярного венца и полярных перьев в ходе солнечного цикла. С наступлением нового цикла протуберанцы полярного венца начинают смещаться в сторону полюсов. Скорость меридионального дрейфа постоянно возрастает, и после прохождения максимума числа пятен кольца полярных волокон сжимаются вокруг полюсов, схлопываются и исчезают в момент пререполюсовки. Примечательной особенностью дрейфа протуберанцев является постепенное уменьшение их средней высоты с  $\sim 40$  Мм до  $\sim 15$  Мм. Геометрическая форма полярных перьев меняется в течение цикла таким образом, что точка пересечения касательных к лучевым структурам, магнитный фокус, меняет свою глубину под фотосферой. По данным солнечных затмений расстояние  $q$  от центра диска до фокусов изменяется от  $\sim 0,45R_{\odot}$  до  $\sim 0,65R_{\odot}$ , достигая максимальных значений вблизи минимума активности. Анализ ежедневных снимков короны в ультрафиолетовых линиях, полученных с помощью телескопа EIT на спутнике SOHO показал, что зависимость положения фокуса от фазы цикла оказалась совершенно иной, по сравнению с той, которая была составлена по разрозненным наблюдениям короны в различных циклах. Указанные особенности поведения корональных структур связываются с эволюцией глобального магнитного поля Солнца.

**О СТРУКТУРЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ  
НА КОРОНАЛЬНЫХ ВЫСОТАХ**

В.М. Богод, Л.В. Яснов

*САО РАН, СПбГУ*

Высотные измерения и распределение напряженности магнитного поля в активных областях всегда представляли собой важную задачу по проверке существующих моделей для высот единиц и сотен Мм. Оптические методы анализа магнитной структуры хорошо работают лишь на уровне фотосферы, тогда как на высотах хромосферы и нижней короны надежная информация о высотной структуре магнитного поля отсутствует ввиду слабой поляризации от магнитно-чувствительных переходов корональных линий. Результат часто достигается экстраполяцией потенциального магнитного поля на эти высоты, что часто не учитывает структурированность магнитных полей. В данной работе продолжено развитие методов измерения корональных магнитных полей радиоастрономическим методом с использованием микроволновых наблюдений поляризации радиоизлучения активных областей в широком диапазоне радиоволн и сопоставления их с данными спутниковых обсерваторий. Результаты работы показывают, что магнитные поля пятен с напряженностью 800-1000 Гс могут располагаться на высотах до 10-20 Мм, что находится в соответствие с радиоизмерениями и подтверждаются независимыми измерениями расходимости силовых линий магнитного поля в ультрафиолете, а также измерениями градиентов магнитного поля на уровне фотосферы. Обсуждаются возможные причины различия измерений структуры корональных магнитных полей и данными по их экстраполяции.

**КОЛЕБАНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ПЯТНАХ: ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ**

Ю.Д. Жугжда

*ИЗМИРАН*

Сопоставляются две современные теории колебаний в солнечных пятнах: теория собственных колебаний и теория фильтрации колебаний. Показывается, что теория собственных колебаний находится в противоречии с данными наблюдений. Излагаются основы теории фильтрации колебаний атмосферой пятна. Описаны три эффекта ответственных за возникновение различных полос пропускания атмосферного фильтра замедленных волн. Приводятся результаты расчетов функции пропускания для четырехслойной атмосферы. Исследовано влияние нелинейных эффектов на условия прохождения волн через атмосферу. Построены модельные спектры колебаний для трех различных эмпирических моделей атмосферы пятна. Приведены результаты обработки наблюдений колебаний в пятнах. Оказалось, что спектр колебаний различен в разных частях пятна, что можно объяснить только в рамках фильтровой теории колебаний.

**КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ИСТОЧНИКОВ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН**Г.Б. Гельфрейх<sup>1</sup>, В.Е. Абрамов-Максимов<sup>1</sup>, К. Шибасаки<sup>2</sup><sup>1</sup> ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Nobeyama Solar Radio Observatory, Япония

Анализ квазипериодических колебаний источников микроволнового излучения над солнечными пятнами проводился по наблюдениям на волне 1.76 см на радиогелиографе Нобейама. Эти источники генерируются преимущественно гирорезонансным излучением тепловых электронов нижней короны на первых гармониках гирочастоты электронов (доминирует излучение на третьей гармонике, генерируемое в магнитном поле с напряженностью 2000 Гс). Все типы колебаний связаны с проявлениями различных МГД плазменных структур солнечной атмосферы имеющих однако различные пространственные и временные масштабы и разную физическую природу колебаний. На сегодняшнем этапе исследований можно выделить пять основных групп периодов, различающиеся их характерными временными параметрами. Колебания с периодами порядка долей минуты, вероятно возникают внутри магнитной трубки пятна. Их физический анализ находится еще в ранней стадии исследований. 3-х и 5 минутные колебания отражают широко исследуемыми оптическими методами колебания в пятнах, но уже на высоте переходной области. Их теория имеет широкую базу анализа. Периоды в диапазоне десятков минут известны по космическим наблюдениям в рентгене и далёком ультрафиолете, проявляющиеся в корональных петлях. Долгопериодические колебания с характерными периодами от 40 минут до несколько часов отражают, вероятно, колебания структур пятен как целого, но могут также и отражать глобальные колебания Солнца. В целом анализ перечисленных колебаний радио источников находится всё же в начальной стадии их физической интерпретации и моделирования, определяя новое значимое направление широкого круга задач физики Солнца. Значимость таких исследований зависит существенно от накопления наблюдательных данных на разных инструментах, совместного анализа радио данных с другими диапазонами, физического моделирования, направленного на интерпретацию наблюдений.

## ЖГУТОВЫЕ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

А.А. Соловьев

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН; [solov@gao.spb.ru](mailto:solov@gao.spb.ru)

Обычно теоретическое моделирование солнечных вспышек связано с исследованием процесса пересоединений магнитных силовых линий в токовом слое, сопровождающегося нагревом плазмы, ускорением частиц и пр. В данной работе обсуждаются альтернативные подходы, связанные с идеями разрыва токового контура (модель Альвена-Карлqvиста) и с топологическими катастрофами, происходящими в магнитоплазменной системе вблизи ее особых, сингулярных состояний (бессилового магнитный жгут с периодическими особенностями на оси симметрии и сферический магнитный вихрь в потенциальном внешнем поле).

## ВСПЫШКА С ВОЗВРАТНЫМ ПРОТУБЕРАНЦЕМ: СЦЕНАРИЙ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГИИ

В.И. Сидоров<sup>1</sup>, С.А. Язев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт солнечно-земной физики СО РАН;

<sup>2</sup> Астрономическая обсерватория ИГУ

На основании солнечных событий 18 августа 1995г. (SN/C1.9), наблюдавшегося на лимбе, и 23 сентября 1998 г. (3B/M7.1) на диске, предлагается сценарий вспышки, сопровождающейся возвратным протуберанцем. Наблюдения в линиях Н-альфа, а также потоков рентгена в диапазонах 1-8 Å и 0.5-4 Å дополнены для второго случая данными в линии 1550 Å. В работе применен метод расчета первичного энерговыделения в токовом слое, предложенный Izob (1997) для стадии спада, и адаптированный одним из авторов (2004) для стадии роста события, а также метод расчета потоков энергии вспышки, предложенный Ohyama (1997). Сценарий предусматривает две стадии развития. На первой происходит энерговыделение в токовом слое, обеспечивающее как ускорение выброса вверх от солнечной поверхности, так и саму вспышку, включая нагрев вспышечной области, потери на излучение и за счет теплопроводности. Вторая стадия вспышки обеспечивается энергией падения вещества протуберанца на хромосферу. В это время наблюдается вторая пара вспышечных лент. Энергия, высвободившаяся во время первой стадии вспышки 23 сентября 1998 г., составила  $\approx 3.1 \times 10^{31}$  эрг. Часть ее, затраченная на вспышечные процессы,  $\approx 0.5 \times 10^{31}$  эрг, откуда кинетическая энергия выброса составила  $2.6 \times 10^{31}$  эрг. Рассчитанное значение энергии вспышки во второй стадии составило близкое значение  $\approx 2.7 \times 10^{31}$  эрг, т.е. практически вся энергия вспышки во второй стадии является трансформированной энергией падающего вещества протуберанца. Раннее распознавание такого сценария для вспышек на диске, может быть использовано для оперативного прогноза космической погоды (большая вероятность отсутствия коронального выброса массы и потоков протонов).

**СТРУКТУРА И ДИНАМИКА СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ НА РАССТОЯНИЯХ ДО 5R<sub>sun</sub> ПО НАБЛЮДЕНИЯМ С ПОМОЩЬЮ ВУФ-ТЕЛЕСКОПА/КОРОНОГРАФА СПИРИТ**

В.А. Слемзин, С.В. Кузин, И.А. Житник

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

Представлены результаты наблюдений солнечной короны с помощью ВУФ-телескопа СПИРИТ на спутнике КОРОНАС-Ф в режиме коронографа с внешним затмевающим диском. Участки короны от лимба до 5 радиусов от центра Солнца наблюдались одновременно в каналах 175 и 304 Å с помощью наклона зеркал телескопа при увеличенной чувствительности детекторов и времени экспозиции. Указанная область короны мало исследована, так как расположена между полями зрения обычных ВУФ-телескопов и коронографов видимого диапазона, хотя она играет большую роль в формировании структуры стримеров, потоков солнечного ветра и ускорении корональных выбросов массы. Приводятся результаты анализа двух серий изображений короны на расстояниях до 2,7 радиусов Солнца, полученных во время длительных (в течение недели) наблюдений в июне и декабре 2002 г., а также их сравнение с данными, полученными приборами обсерватории SOHO (EIT, LASCO, UVCS) и коронографом MK4 обсерватории Мауна Лоа. Лучевые структуры, наблюдавшиеся в канале 175 Å, указывают на конфигурацию открытых линий магнитного поля в основании стримеров и, возможно, на каналы истечения солнечного ветра. Из анализа радиальных зависимостей диффузной компоненты излучения короны, наблюдавшейся в обоих каналах, получены оценки шкалы высот и температуры плазмы в рамках гидростатической модели. Для канала 304 Å оценено соотношение столкновительных и радиационных процессов в излучении короны в зависимости от расстояния. Приводятся также изображения короны во время развития эруптивных транзиентов, наблюдавшихся 8 декабря 2001 г. и 2 февраля 2003 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ПУЛЬСАЦИЙ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО И МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 29 МАЯ 2003**

И.В. Зимовец, А.Б. Струминский

*Институт космических исследований РАН*

В работе исследуются квазипериодические пульсации (~1 мин и ~10 сек) жесткого рентгеновского излучения, детектируемые RHESSI и антисовпадательной защитой (ACS) на борту INTEGRAL, наряду с сопутствующими пульсациями микроволнового излучения, детектируемыми с помощью радиополяриметров и радиогелиографа в Нобеяме, обнаруженные в главной фазе двухленточной солнечной вспышки класса X1.2 29 мая 2003. Полученные с помощью RHESSI изображения вспышечной активной области в жестком (40-250 кэВ) и мягком (12-20 кэВ) рентгеновском излучении наряду с изображениями с TRACE и EIT (SOHO) и магнитограммой с MDI (SOHO) указывают на генерацию субрелятивистских электронов вблизи восточного основания несимметричной изогнутой магнитной аркады. Аркада расположена под системой более крупных магнитных петель. Обсуждается способность некоторых из этих петель выступать в качестве осциллирующих “модуляторов” или “резонаторов” для процесса ускорения электронов, генерирующих жесткий рентген в основаниях аркады.



**ВСПЫШЕЧНЫЕ ВЫБРОСЫ КОРОНАЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА: СВОЙСТВА, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ.**

В.Н. Ишков

*ИЗМИРАН*

Исследование выбросов коронального вещества естественно привело к понятию солнечного вспышечного события, которое включает весь процесс энерговыделения, как собственно солнечную вспышку с ее проявлениями во всех диапазонах электромагнитного и корпускулярного излучений, так и весь спектр сопутствующих динамических явлений: выбросов солнечных волокон, распространения ударных волн и возмущений в короне Солнца и в гелиосфере. В зависимости от величины магнитного поля, в котором развивается вспышечное событие оно может представлять собой либо вспышку, либо выброс вспышечного волокна, что вероятно должно отразиться в характеристиках порожденных ими выбросов коронального вещества. В 23 цикле солнечной активности резко увеличилось число наблюдений солнечных вспышечных событий включающих полный временной ряд и достаточное количество длин волн, чтобы судить об источнике выброса коронального вещества в данном вспышечном событии. Появилась возможность четко разделить ВКВ от вспышек, выбросов солнечных волокон и залимбовых событий. Поэтому, в рамках исследования солнечных вспышечных событий, был создан Каталог солнечных вспышек 23 цикла, который размещен на странице Московского отделения Мирового центра данных по солнечно-земной физике ([http://www.wdcb.ru/index\\_ru/](http://www.wdcb.ru/index_ru/)). Структура каталога содержит данные обо всех вспышках рентгеновского балла  $\geq M1$  за все время развития последнего цикла солнечной активности (1996 – 2007 г.). В нем приведены временные характеристики вспышек, их локализация на видимом диске Солнца, данные о динамических радио всплесках, выбросах коронального вещества и максимальных энергиях жесткого рентгена сопровождающих данную вспышку. Данные о ВКВ позволили восстановить координаты вспышек, когда не было На-патруля, уточнить локализацию вспышки именно в данной активной области.

**КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ, СВЯЗАННЫЕ С ЭРУПЦИЕЙ ВОЛОКОН ВНЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ**И.М. Черток<sup>1</sup>, В.В. Гречнев<sup>2</sup><sup>1</sup> *ИЗМИРАН, Троицк, Московская обл.*<sup>2</sup> *ИСЗФ, Иркутск*

По данным УФ телескопа SOHO/EIT, с использованием метода деротированных разностных изображений проанализированы крупномасштабные возмущения в нескольких десятках событий с корональными выбросами массы (КВМ), связанными с эрупцией волокон вне активных областей. Продемонстрировано, что эрупции больших волокон на диске сопровождаются возмущениями в виде обширных диммингов, протяженных лент, подобных вспышечным, и постэруптивных аркад, а также КВМ типа частичного или полного гало. Обычно преобладают два похожих друг на друга димминга, расположенных вблизи противоположных концов эруптировавшего волокна и формирующейся постэруптивной аркады, по разные стороны от расходящихся лент и линии раздела полярностей фотосферного магнитного поля. Характерный размер таких диммингов достигает нескольких десятых солнечного радиуса, время формирования – десятки минут, а время существования измеряется многими часами. Понижение яркости в диммингах составляет десятки процентов. Подобно многим диммингам, связанным со вспышками в активных областях, двойные волоконные димминги часто проявляются одинаковым или сходным образом в разнотемпературных корональных каналах 171, 195, 284 Å и в канале переходного слоя 304 Å. Эти свойства свидетельствуют о том, что в событиях с исчезающими волокнами димминги представляют собой основания крупномасштабных магнитных жгутов, которые отождествляются с волокнами и эруптируют в виде компонент КВМ. Понижение яркости как во многих вспышечных, так и в волоконных диммингах, вероятно, обусловлено уменьшением плотности плазмы в корональных структурах, а не вариациями температуры в них. В некоторых волоконных событиях наблюдаются крупномасштабные движущиеся образования слабой яркости, которые обычно называются "волнами EIT", но в событиях этого класса могут быть структурными компонентами развивающегося КВМ.

**СТРУКТУРА СОЛНЕЧНОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ**

О.А. Шейнер, В.М. Фридман

*Федеральное государственное научное учреждение «Научно-исследовательский радиофизический институт» (ФГНУ НИРФИ) г.Нижний Новгород, Россия*

Исследования Солнца ведутся во всем спектре электромагнитных волн, но радиоизлучение занимает особое место, поскольку позволяет получать информацию из слоев солнечной атмосферы, зачастую недоступных другим методам наблюдений. Кроме того, нужно заметить, что поскольку энергия, выделяемая при радиоизлучении, существенно меньше потока излучения в видимой области, то ценность изучения радиоизлучения состоит именно в возможности получения информации об условиях в источниках излучения, их параметрах и динамике. В данной работе приводятся экспериментальные свидетельства проявления в микроволновом излучении Солнца действия основных механизмов излучения в плазме и построения на их основе способов диагностики структур и процессов в солнечной короне. К ним относятся: выявление двухкомпонентного состава излучения солнечных вспышек, определение слабых магнитных полей в различных слоях солнечной атмосферы, определение физических характеристик солнечной плазмы в областях энерговыделения, оценка высоты переходного слоя от хромосферы к короне и другие.

**ФОРМИРОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЛЯХ**

В.Ф. Мельников<sup>1</sup>, С.П. Горбиков<sup>2</sup>, Н.П. Пятаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГНУ "НИРФИ";

<sup>2</sup> НГАСУ;

<sup>3</sup> ННГУ

К настоящему времени получен ряд наблюдательных свидетельств существования анизотропных распределений среднерелятивистских электронов во вспышечных магнитных петлях. В разных событиях могут наблюдаться как поперечная [1], так и продольная [2] анизотропия распределения электронов по питч-углам. Разные типы анизотропии по-разному отражаются на характеристиках микроволнового излучения вспышечной петли [3].

В данной работе на основе численного решения нестационарного уравнения Фоккера-Планка проведено моделирование распределений среднерелятивистских электронов по питч-углу, энергии и расстоянию от центра магнитной ловушки [4]. Получены решения для случаев однородной и неоднородной (растущей к основаниям) плотности фоновой плазмы, когда инжекция электронов происходит в центре или вблизи одного из оснований модельной петли. Проведено сравнение с данными наблюдений.

[1] Melnikov V.F., Shibasaki K., Reznikova V.E. – ApJ, 2002, V.580, p.L185

[2] Altyntsev A.T., Fleishman G.D., Huang G.L., Melnikov V.F. – ApJ, 2008 (accepted)

[3] Fleishman G.D., Melnikov V.F. – ApJ, 2003, V. 587, p. 823

[4] Горбиков С.П., Мельников В.Ф. – Математическое моделирование, 2007, Т.19, №2, с.112.

**РОЛЬ ВОСХОДЯЩИХ И НИСХОДЯЩИХ ПОТОКОВ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ В ФИЗИКЕ МОЩНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА СОЛНЦЕ**

М.А. Лившиц

*ИЗМИРАН*

Высказывается новая идея развития процессов во внешней атмосфере Солнца, возникающих после мощного энерговыделения в небольшой области, располагающейся над хромосферой. Предполагается, что довольно, большая масса газа выносится прежде всего в корону, а затем и в межпланетное пространство (СМЕ). Однако часть газа задерживается, и горячая плазма начинает падать на петли нижележащего магнитного поля, как это впервые описано в работе N.R.Sheeley, Jr.H.R.Warren, Y.M.Wang, *Astrophys. J.*, 2004, 616, 1224-1231. Это падение усиливается за счет направленного вниз потока плазмы и ускоренных частиц из коронального токового слоя, который, для простоты рассуждений, считается вертикальным. Рассмотрены возникновение и эволюция постэруптивной арочной системы. Излагаются результаты наблюдательной проверки некоторых следствий из предлагаемой модели.

**МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ – ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ С НАБЛЮДЕНИЯМИ**А.И. Подгорный<sup>1</sup>, И.М. Подгорный<sup>2</sup>.<sup>1</sup> *Физический Институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия;*<sup>2</sup> *Институт Астрономии РАН, Москва, Россия*

Разработан метод МГД моделирования накопления энергии в магнитном поле короны в предвспышечном состоянии. В качестве граничных условий используются карты эволюции фотосферного магнитного поля перед вспышками, что позволяет учесть форму солнечных пятен и магнитное поле рассеянного потока вне пятен. Все начальные и граничные условия задаются из наблюдений, и никаких предположений о механизме вспышки не делается. С помощью программы ПЕРЕСВЕТ численно решалась полная система трехмерных МГД уравнений со всеми диссипативными членами над активной областью AR 0365 перед серией вспышек 26–27 мая 2003 г. Показано, что серии вспышек предшествовало всплывание в активной области нового потока  $\sim 1.5 \times 10^{22}$  Максвелл. Вычисления, проведенные в области большого размера ( $4 \times 10^{10}$  см), продемонстрировали возникновение в короне нескольких токовых слоев в окрестности особых линий X-типа, как существующих в начальном потенциальном поле, так и образующихся при всплывании нового магнитного потока. Имеется возможность, как представления линий поля в трехмерном пространстве, так и в различных плоскостях. Каждый из образовавшихся токовых слоев может быть ответственным за возникновение элементарной вспышки. Электродинамическая модель солнечной вспышки, построенная на основе трехмерного МГД моделирования, описывает совокупность вспышечных явлений: рентгеновское излучение из короны и с поверхности Солнца, корональный выброс, и солнечные космические лучи. Положение токового слоя совпадает с источником микроволнового излучения.

## **ТУРБУЛЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ «ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПЛАВУЧЕСТИ» В СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ**

В.Н. Криводубский

*Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Т.Шевченко  
ул. Обсерваторная, 3, Киев-53, Украина, 04053; krivod1@observ.univ.kiev.ua*

Исследовано два механизма перестройки сглаженного (усредненного) магнитного поля в турбулентной плазме (макроскопический диамагнетизм и  $\nabla\rho$ -адвекцию), которые в условиях солнечной конвективной зоны (СКЗ) играют роль эффектов «отрицательной магнитной плавучести». Для физических параметров модели СКЗ Стикса [Stix M. The Sun. Berlin. 1989] мы рассчитали скорости турбулентного диамагнитного переноса, а также радиальной и меридиональной компонент вращательного  $\nabla\rho$ -переноса магнитного поля. Показано, что явления «отрицательной магнитной плавучести», действуя против классической магнитной плавучести, на высоких гелиоширотах приводят к формированию вблизи дна СКЗ слоя стационарного магнитного слоя. Эти турбулентные эффекты могут служить наиболее вероятной причиной того, почему полярные глубоко укорененные сильные тороидальные поля на высоких гелиоширотах не в состоянии прорваться к поверхности Солнца, чтобы наблюдаться на фотосферном уровне в виде пятен. Вместе с тем, на средних и низких широтах в нижней половине СКЗ направленный вверх  $\nabla\rho$ -перенос, возникающий при учете вращения Солнца, благоприятствует всплыванию магнитных полей, облегчая, тем самым, их проникновение к поверхности. В конечном итоге, только в низкоширотном домене сильные поля прорываются к поверхности, где они появляются в «королевской зоне» как солнечные пятна.

## **С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

### **СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК ПО ИХ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА СОЛНЦЕ**

И.С. Веселовский<sup>1,2</sup>, А.В. Прохоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, Москва

Результаты статистического анализа большого массива данных, полученных на ИСЗ серии GEOS о длительности нарастания рентгеновского излучения солнечных вспышек за 1976–2006 гг. дают достаточно надежные основания для более объективного выделения различных типов, о которых иногда говорят в литературе. При бимодальной классификации можно указать «типичные» (их длительность около получаса, они имеют наибольшую вероятность и отвечают средним значениям) и «нетипичные» явления, к которым относятся все остальные – более длительные и более короткие вспышки. Возможна классификация с разбиением на три типа событий: «импульсные» (с длительностью короче типичных), «типичные», «длительные» (с длительностью более типичных вспышек) или на большее число классов. Указанные типы иногда ошибочно смешивают со статистическими флуктуациями. При увеличении числа анализируемых событий эти флуктуации постепенно сглаживаются и становятся менее значительными, а распределение вспышек по длительности их нарастания в целом хорошо описывается единым логнормальным законом. Необходима определенная осторожность при интерпретации, связанная с неоднородностью ряда данных и калибровкой измерений, полученных различными приборами на различных спутниках указанной серии.

## ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Т.В. Подладчикова<sup>1</sup>, Ван дер Линден<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт прикладного системного анализа в структуре НТУУ КПИ;*

<sup>2</sup> *Solar Influences Data analysis Center, Royal Observatory of Belgium, B-1180, Brussels, Belgium*

В работе рассматривается задача прогнозирования солнечной активности, описываемой 13-месячными сглаженными числами Вольфа. Для среднесрочного прогнозирования солнечной активности (на 1-12 месяцев) формируется стохастическая модель 11-летнего солнечного цикла в пространстве состояний. В качестве детерминированной основы модели используется известное описание формы цикла непрерывной двухпараметрической функцией. Неопределенность изменения процесса солнечной активности учитывается путем введения в модель аддитивных шумов состояния и измерения с априорно неизвестными дисперсиями. Для прогноза используется адаптивный фильтр Калмана, основанный на идентификации неизвестных дисперсий шумов модели. Для прогнозирования максимальной амплитуды следующего солнечного 11-летнего цикла вводится новая характеристика, а именно интегральная активность, которая используется как основной индикатор предсказания (precursor). Демонстрируется явная зависимость между максимальной амплитудой следующего цикла и свойствами интегральной активности текущего цикла. На основе этих свойств построены два значимых индикатора. Первый индикатор определяет, будет ли амплитуда следующего цикла больше или меньше по сравнению с текущим, и его эффективность подтверждается точным прогнозом для всех циклов от 1 до 23. Второй индикатор используется для количественного предсказания максимальных амплитуд современной эры (циклы 10-23).

## ЭВОЛЮЦИЯ ФОТОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И КОРОНАЛЬНЫЕ НУЛЕВЫЕ ТОЧКИ

Б.В. Сомов, И.В. Орешина

*Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга*

Предложен метод поиска нулевых точек магнитного поля в солнечной короне на основе топологической модели. Проведен анализ эволюции магнитного поля активной области NOAA 9077 в течение двух дней перед вспышкой 14 июля 2000 года. Показано, что условия в короне становились все более благоприятными для появления нулевых точек на обоих сепараторах, что создавало лучшие условия для процесса магнитного пересоединения.

## К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ ЗЕБРА-СТРУКТУРЫ В СОЛНЕЧНОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ

Г.П. Чернов, А.И. Лаптухов, В.В. Фомичев

*ИЗМИРАН, Троицк Московской обл.; gchernov@izmiran.rssi.ru*

Исследования тонкой структуры солнечных радиовсплесков очень важны как для уточнения механизмов генерации самих всплесков, так и для диагностики плазмы солнечной короны. Для интерпретации зебра структуры (ЗС) континуальных радиовсплесков IV типа предложен ряд механизмов их генерации, наиболее разработанными из которых являются механизм на двойном плазменном резонансе (ДПР) и механизм взаимодействия плазменных волн с вистлерами. В первом механизме генерация излучения происходит на дискретных уровнях в короне, где верхнегибридная частота равна целому числу гармоник электронной циклотронной частоты. Однако в рамках данного механизма существуют ряд проблем при интерпретации наблюдаемых параметров ЗС и оценках параметров короны (отсутствие достаточной глубины модуляции между пиками инкремента на соседних гармониках одновременно с возможностью возбуждения на многочисленных уровнях ДПР; величина магнитного поля, определенная по частотному разделению между полосами ЗС, оказывалась малой и не обеспечивала значения плазменного бета  $< 1$ , естественного для корональной магнитной ловушки). Кузнецов и Цап

(Sol. Phys., 2007) предположили, что функция распределения энергичных электронов может быть степенной (внутри конуса потерь) с большим спектральным индексом (по моментам  $\sim 8-10$ ). Тогда достигается достаточная глубина модуляции, но и в этом случае не обеспечивается возбуждение на многочисленных уровнях ДПР. Обращено внимание, что многие параметры ЗС, включая сверхтонкую структуру полос ЗС в виде миллисекундных спайков со строгим периодом  $\sim 30$  мс, объясняются естественным образом в модели взаимодействия плазменных волн с вистлерами.

## ФОРМИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

И.А. Биленко

*Астрономический институт им. П.К. Штернберга; [bilenko@sai.msu.ru](mailto:bilenko@sai.msu.ru)*

Рассматривается процесс формирования корональных выбросов массы (КВМ) связанных с эрупцией волокон. Согласно современным наблюдательным данным существуют два класса КВМ. КВМ связанные со вспышечными процессами в активных областях и КВМ связанные с эрупцией волокон. Они имеют различные параметры и структуру. Статистически связь между эрупцией волокон и КВМ является хорошо установленной, но источники, вызывающие эрупцию волокон и КВМ все еще до конца не ясны. Также до конца не выяснена и физическая связь между эрупцией волокон и КВМ. С помощью современных космических обсерваторий получен огромный наблюдательный материал, позволяющий значительно расширить наши представления об инициации эрупции волокон и эволюции КВМ. По данным, полученным на ИСЗ SOHO, TRACE, Yohkoh, а также и других космических и наземных обсерваторий исследуется динамика фотосферных магнитных полей и соответствующие изменения корональных структур связанные с эрупцией волокон и КВМ. В рассматриваемых случаях анализируется влияние всплывания нового магнитного потока, который вызывает потерю устойчивости равновесного состояния коронального магнитного поля, что инициирует эрупцию волокна. По данным, полученным в различных диапазонах длин волн, исследуется процесс подъема вещества волокна и формирования КВМ. Скорость подъема КВМ в этих случаях не линейная. Выделяются отдельные этапы, в течение которых начальная структура волокна и магнитное поле претерпевают значительные изменения.

## СТЕПЕНЬ ОДНОРОДНОСТИ ДОСТОВЕРНОГО РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И ВОЗМОЖНОСТЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.Н. Ишков, И.Г. Шibaев

*ИЗМИРАН*

Сравнение спектральных характеристик достоверного (1849–2006 гг.) и пронумерованного (1749–2006 гг.) рядов чисел Вольфа показало отличительный характер поведения “мгновенных” частот и огибающих на первом интервале от второго, причем увеличение длины ряда ведет к ухудшению разрешения значимых спектральных характеристик (обычно наоборот); отсутствию или существенному искажению “высокочастотной” части спектра. Исходя из характера спектра, сделано разбиение сигнала на пять спектральных интервалов, которые соответствуют следующим временным периодам в годах:  $[24 < T]$ ,  $[6.8 < T < 24]$ ,  $[4.26 < T < 6.8]$ ,  $[1.66 < T < 4.26]$ ,  $[T < 1.66]$ . Сумма рядов P1 и P2 отражает основные временные и амплитудные характеристики циклов. Ряд P3 корректирует ветви роста и спада. Составляющая P4 трансформирует гладкий рельеф циклов за счет квазидвухлеток и оценивает степень однородности (гладкость) достоверного ряда. P5 – высокочастотный остаток, включающий годовую и  $155^{\text{д}}$  гармоники. Зависимость «мгновенной» частоты F[P4] от времени выделяет временной период до 1914 г., как менее гладкий, что связано с отработкой системы наблюдения и расширением сети наблюдений солнечных пятен. Данные с 1914 г. имеют более регулярный вид и возросшая гладкость характеристик сигнала, говорит об их однородности. Здесь присутствует ряд всплесков совпадающих с эпохами минимума. Можно отметить моменты времени 1919.4 г., 1951.6 г. и 1983.8 г. следующие через 32.2 года, т.е. через три цикла. Это показывает, что квазидвухлетки достаточно хорошо синхронизированы в областях перегиба на ветвях спада циклов 15, 18 и 21. В будущем подобный момент ложится на ветвь спада 24 цикла в 2016 году со значением числа Вольфа  $\sim 73$ . Подтверждение этого даст возможность говорить о некоторой закономерности генерации квазидвухлеток между циклами. Однородность параметров

циклов преобразованного ряда  $W1_{пр}$  ( $P1+P2+P3$ ) можно использовать для построения модели четно-нечетной пары. Каждой из шести пар, после отображения на безразмерный временной интервал  $[-1, +1]$ , сопоставляется шаблон, т.е. строится аппроксимирующий полином. За модельное представление пары берётся среднее этих шаблонов после обратного отображения на 259 точек-месяцев ( $2 \cdot 129.35$ ). Для продолжения на внешнюю область компоненты  $P1(W1)$  выбран синус, параметры которого находятся из максимума корреляции его с  $P1$  (при сканировании по частоте и фазе  $P1_{sin}$ ). Период интерполирующего синуса  $\sim 150$  лет, его минимум приходится на 13 цикл, а максимум на 20. Применяя к модельным циклам обратное преобразование, т.е. умножая на  $P1_{sin}/(P1)_{cp}$  можно строить качественный прогноз.

## **ПЛОТНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ, УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ И ОСОБЕННОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ВСПЫШКИ 20 ЯНВАРЯ 2005 г.**

Е.В. Троицкая<sup>1</sup>, И.В. Архангельская<sup>2</sup>, Л.И. Мирошниченко<sup>3,1</sup>, А.И. Архангельский<sup>4</sup>

<sup>1</sup> НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;

<sup>2</sup> Институт астрофизики Московского государственного инженерно-физического института (технического университета);

<sup>3</sup> ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Московской области

Крупная солнечная вспышка класса X7.1/3В наблюдалась 20.01.2005 г. Гамма-излучение в линии 2.223 МэВ, возникающее в процессе захвате нейтронов ядрами окружающего водорода, было зарегистрировано на спутнике КОРОНАС-Ф прибором СОНГ посредством электронной аппаратуры АВС-Ф. В отличие от ранее успешно проведенного моделирования методом, созданным в НИИЯФ МГУ, временных профилей гамма-излучения в линии 2.223 МэВ от 4-х солнечных вспышек, временной профиль потока от вспышки 20.01.2005 г. не удается промоделировать в рамках использованных моделей плотности солнечной плазмы и сделанных предположениях о спектрах исходных ускоренных частиц и изотопном составе области генерации гамма-квантов. В настоящей работе делаются попытки объяснения различными способами необычного поведения потоков гамма-линии в рассматриваемом событии. В частности, большое внимание уделяется анализу возможностей объяснения феномена повышенным содержанием  $^3\text{He}$  в области формирования гамма-излучения по сравнению с обычно принимаемым значением ( $n_{\text{He}}/n_{\text{H}} = 2 \cdot 10^{-5}$ ).

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАЗЕРНЫХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ: ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЛАЗМЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

А.А. Кузнецов

*Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, Иркутск, Россия*

Вспышечные магнитные петли в солнечной короне являются магнитными ловушками, в которых формируется распределение ускоренных электронов с конусом потерь. Подобное распределение неустойчиво по отношению к возбуждению плазменных колебаний, которые затем могут трансформироваться в радиоизлучение. Данный процесс считается одним из наиболее вероятных механизмов генерации различных видов солнечных радиовсплесков, в частности, широкополосных всплесков IV типа. В данной работе рассматривается генерация плазменных колебаний (вистлеров и верхнегибридных волн) электронным пучком с конусом потерь. Проанализированы необходимые условия возбуждения колебаний (порог неустойчивости). Показано, что в источниках всплесков IV типа должен формироваться квазистационарный режим генерации плазменных волн, когда их инкремент лишь незначительно превышает порог неустойчивости (функция распределения отличается от устойчивой не более чем на  $10^{-7}-10^{-5}$ ). Доминирующая мода колебаний зависит, прежде всего, от параметров электронного пучка: генерация вистлеров более эффективна вблизи оснований магнитной петли (при значениях угла полураствора конуса потерь более  $60^\circ$ ), в то время как на больших высотах доминирующей модой могут стать верхнегибридные волны. С другой стороны, при исследовании генерации верхнегибридных волн необходимо учитывать влияние неоднородностей плазмы и магнитного поля: данные неоднородности вызывают изменение волнового вектора плазменных волн и быстрый выход волн из резонанса с частицами.

Показано, что даже относительно крупномасштабные неоднородности (порядка 100 тыс. км) могут существенно ограничить длительность усиления верхнегибридных волн, повысить порог неустойчивости и привести к смене доминирующей моды колебаний (генерация вистлеров практически не чувствительна к влиянию неоднородностей среды). Влияние мелкомасштабных неоднородностей (типа МГД-колебаний, с размером порядка сотен-тысяч км) может привести к формированию тонких спектральных и временных структур в динамическом спектре радиоизлучения.

### **ПОСТ-ЭРУПТИВНАЯ ФАЗА В НЕСТАЦИОНАРНОМ ЯВЛЕНИИ 25 ЯНВАРЯ 2007 ГОДА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ НА РАТАН-600**

И.Ю. Григорьева<sup>1</sup>, В.Н. Боровик<sup>1</sup>, М.А. Лившиц<sup>2</sup>, В.Е. Абрамов-Максимов<sup>1</sup>,  
Л.В. Опейкина<sup>3</sup>, В.М. Богод<sup>4</sup>, А.Н. Коржавин<sup>4</sup>,

<sup>1</sup> Главная Астрономическая Обсерватория РАН, С.-Петербург;

<sup>2</sup> Институт Земного Магнетизма, Ионосферы и Распространения Радиоволн  
им. Пушкова, Троицк, Московская обл.;

<sup>3</sup> Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН, п. Ниж. Архыз, КЧР;

<sup>4</sup> С.-Пб филиал Специальной Астрофизической Обсерватории РАН, С.-Петербург

В ходе многоволновых наблюдений Солнца в диапазоне 1,8 – 5.0 см на радио телескопе РАТАН-600 в 7 азимутах с интервалом 35 минут было зарегистрировано микроволновое излучение развивающейся пост-эруптивной аркады в активном событии у восточного лимба 25 января 2007г, которое состояло из широкомасштабного СМЕ и связанной с ним вспышки С6.3 (GOES) за лимбом. По данным РАТАН-600 в течение 3.5 часов над восточным лимбом наблюдался источник радиоизлучения, максимальное излучения которого отождествлялось с вершиной формирующейся аркады согласно Fe XII 195Å изображениям Солнца (SOHO/EIT). Исследована эволюция микроволнового излучения аркады. Интенсивность излучения оказалась высокой непосредственно после образования аркады, затем она заметно уменьшалась. Характер спектра микроволнового излучения (2-5 см) менялся со временем. Через 30мин – 1 час после максимума вспышки преобладало тепловое излучение с небольшой добавкой нетепловой компоненты. В дальнейшем спектры свидетельствуют о преобладании нетеплового излучения. Развивающиеся нетепловые процессы в аркаде (наличие ускоренных частиц) подтверждают и данные наблюдений в метровом диапазоне волн (ИЗМИРАН, LEARMONTH), а также данные RHESSI и WIND. Результаты анализа события 25 января 2007г согласуются с моделью, в которой пост-эруптивная аркада формируется в горячем газовом облаке, которое возникает после СМЕ и импульсной фазы и движется вниз под влиянием потоков плазмы и ускоренных частиц, возникающих в расположенном выше токовом слое (области пересоединения).

### **СИМПАТИЧЕСКИЕ ВСПЛЕСКИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАДИОГЕЛИОГРАФЕ НОБЕЯМА**

Г.Б. Гельфрейх<sup>1</sup>, В.Е. Абрамов-Максимов<sup>1</sup>, К. Шибасаки<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН;

<sup>2</sup> Nobeyama Solar Radio Observatory, Minamisaku, Nagano, Japan

Представлены результаты наблюдений трех пар симпатических всплесков, наблюдавшихся на радиогелиографе Нобейама 30 июня 2003 г. в активных областях NOAA 10396 и NOAA 10397, удаленных друг от друга более, чем на 90° по солнечной широте. Всплески в этих областях произошли с задержкой от 10 до 20 мин, что свидетельствует о величине скорости распространения возмущающего агента не менее 1000 км/сек. Три случая проявления симпатических событий в течение наблюдательной серии длительностью 8 часов убедительно показывают, что эти совпадения не случайны.



**ДОЛГОЖИВУЩИЕ МЕЖПЯТЕННЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ ИСТОЧНИКИ**

И.А. Бакунина<sup>1</sup>, В.Ф. Мельников<sup>1</sup>, Е.Ю. Яркина<sup>2 1</sup>

<sup>1</sup> ФГНУ «НИРФИ»,

<sup>2</sup> ННГУ им. Лобачевского

По данным с высоким пространственным разрешением, полученным на радиогелиографах ССРТ (5.7 ГГц) и NoRH (17 и 34 ГГц), исследовано 12 активных областей (АО). В девяти из них обнаружены долгоживущие источники с максимумом радиояркости в межпятенной области. В соответствии с их особенностями, источники можно отнести к 3 типам:

1. источники в активных областях, производящих мощные вспышки, появляющиеся на частотах 5.7 и 17 ГГц за 1-2 суток до вспышки и характеризующиеся смещением центра яркости в интенсивности по отношению к центрам яркости в поляризации;
2. источники в интенсивности, наблюдающиеся только на частоте 5.7 ГГц, существующие в течение всего времени прохождения АО по солнечному диску;
3. источники в интенсивности с низкой степенью поляризации (~ 1% на 17 ГГц), наблюдающиеся только на высоких частотах – 17 и 34 ГГц.

На основе исследованных свойств и характера эволюции этих радиоисточников обсуждаются возможные механизмы их возникновения. Особое внимание уделено источникам первого типа.

**ДИНАМИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОЯРКОСТИ ВДОЛЬ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ**

В.Э. Резникова<sup>1</sup>, В.Ф. Мельников<sup>1</sup>, С.П. Горбиков<sup>2</sup>, К. Шибасаки<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГНУ "НИРФИ";

<sup>2</sup> НГАСУ;

<sup>3</sup> NSRO

По наблюдениям на радиогелиографе Нобейма на частоте 34 ГГц с высоким пространственным разрешением (5 угл. сек) исследована динамика распределения радиояркости вдоль гигантской вспышечной петли в событии 24 августа 2002 г. Для каждого из суб-пиков многокомпонентного временного профиля этой вспышки обнаружена аналогичная динамика излучения: каждая новая инжекция нетепловых электронов (фаза роста и пик) связана с уярчением в основаниях (преимущественно южном); после максимума инжекции (фаза спада) излучение постепенно заполняет верхнюю часть петли, а источник в южном основании исчезает. Поскольку для данного лимбового события плоскость петли расположена почти перпендикулярно к лучу зрения, то угол зрения одинаков для всех частей петли и перераспределение яркостной температуры отражает перераспределение излучающих ускоренных электронов вдоль вспышечной петли. Модельные расчеты эволюции пространственного распределения электронов вдоль магнитной петли, сделанные на основе решения уравнения Фоккера-Планка, показывают, что отмеченную выше динамику яркости можно получить при следующих условиях: 1) в случае, если область ускорения расположена в южном основании; при этом пич-угловое распределение инжектированных электронов может быть любым; 2) в случае, если область ускорения расположена в вершине, а инжекция электронов идет вдоль силовых линий магнитного поля ("пучковое распределение"). Установлено, что в течение всей вспышки микроволновый источник представлял собой единую петлеобразную структуру. Несмотря на многокомпонентный характер временного профиля излучения, не обнаружено никаких резких изменений положения оси петли. Вместе с тем, обнаружено, что в ходе вспышки (несколько минут) ширина петли выросла с 14 до 21 угл.сек, длина петли – с 80 до 110 угл. сек., а расстояние между основаниями увеличилось от 50 до 70 угл. сек. Эти факты могут свидетельствовать в пользу моделей вспышки, основанных на пересоединении силовых линий шлемовидной структуры магнитного поля над вспышечной петлей.

**СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ NOAA 10655**

М.И. Дивлекеев

*Государственный астрономический институт им. П.К.Штернбега, МГУ*

В данном сообщении излагаются некоторые результаты наблюдений активной области (АО) NOAA 10655 в линиях избранных химических элементов, выполненные на Башенном солнечном телескопе АТБ-1 ГАИШ в Москве. В линии Ca II 8498 Å 03 августа 2004 г. обнаружено несколько случаев вспышечного увеличения излучения жгута магнитных трубок с током АО. По расщеплению Зеемана в линии Si I 10827 Å определено магнитное поле головного пятна АО на уровне фотосферы, которое равняется ~1200 гаусс. Исследованы профили некоторых линий H I, He I, Ti I, Si I, Sc I и Ca II в отдельных структурах АО. Например, в пятнах линии поглощения титана и скандия сильно усиливаются тогда, как водородные линии серии Пашена уменьшаются. Линия поглощения He I 10830 Å в пятне усиливается незначительно и зависит от величины магнитного поля пятна, а в факелах растет сильно.

**ИТОГИ НАБЛЮДЕНИЙ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ СУБЛИМАЦИИ ЗА 1997 – 2006 годы**

Р.А. Гуляев

*ИЗМИРАН, Москва*

Завершены обработка и анализ результатов наблюдений резонансного свечения продуктов сублимации твердого вещества вблизи Солнца. Наблюдения проводились во время пяти полных солнечных затмений с 1997 по 2006 г. (почти полный цикл солнечной активности). Для наблюдений использовались интерферометрические установки с эталонами Фабри-Перо, настроенными на линии K Ca II и D Na I. Получены свидетельства крайней неоднородности распределения твердотельной составляющей межпланетной среды на близких ( $< 20 R_{\odot}$ ) расстояниях от Солнца. Частицы твердого вещества сконцентрированы в дискретных спорадических образованиях, которые могут быть связаны, например, с малыми кометами типа sungrazing.

**ВАРИАЦИИ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛИНИИ CAII-K ЗА ПЕРИОД 1907-2007 ГГ.**

А.Г. Тлатов

*Кисловодская горная астрономическая станция ГАО РАН*

Представлен анализ данных синоптических наблюдений на спектрогелиографах в линии CaII-K мировой сети солнечных обсерваторий. В архив включены ежедневные данные наблюдений обсерватории Kodaikanal 1907-1999, Mount Wilson 1915-1985, Sacramento Peak 1963-2002 и др. Проведен анализ распределения площади, координат и яркости кальциевых факельных площадок, хромосферной сетки и эфемерных точек. Анализ включал процедуру калибровки изображений, основанный на учете интенсивности рассеянного света и определения характеристики фотопластинок. Обсуждается связь между активностью солнечных пятен, площадь факельных флоккул и интегрального потока УФ излучения.

## С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

### РОЛЬ ИОНОСФЕРЫ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА

М.Г. Дёминов

*ИЗМИРАН, Троицк, Московская обл.*

Представлены результаты анализа роли ионосферы в формировании поляризованного джета – интенсивного направленного на запад дрейфа плазмы (от примерно 1 км/с до 4–5 км/с на высотах, где ионосферная плазма замагничена) в узкой полосе широт вблизи экваториальной границы диффузной авроры в предполуночные часы местного времени. Этот анализ основан на решении системы уравнений для электрического поля и ионосферной плазмы при заданном характере изменения потока высыпающихся электронов и эффективной проводимости магнитосферы. Смещение плазменного слоя к Земле, которое в модели задается изменением проводимости магнитосферы, приводит к формированию полосы дрейфа плазмы на запад, но скорость этого дрейфа меньше 1 км/с даже для оптимальных условий, если не учитывать изменение педерсеновской проводимости ионосферы. В предполуночные часы продольные токи в данной области направлены вниз в ионосферу. Эти токи приводят к уменьшению педерсеновской проводимости ионосферы и обеспечивают дополнительное увеличение скорости дрейфа плазмы в полосе до значений, характерных для поляризованного джета. Получено, что такое увеличение скорости дрейфа плазмы не приводит к изменению продольного тока, т.е. увеличение скорости дрейфа целиком обусловлено уменьшением педерсеновской проводимости ионосферы.

### СЛОИСТАЯ СТРУКТУРА ДНЕВНОЙ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ВЕНЕРА-15,16

А.Л. Гаврик, Л.Н. Самознаев, Ю.А. Гаврик, М.В. Григорьевская

*ФИРЭ РАН, г. Фрязино, Московская обл., alg248@ire216.msk.su*

К настоящему времени многочисленные миссии космических аппаратов провели более 500 радиопросвечиваний ионосферы Венеры и исследовали основные физические механизмы ее формирования. Появление новых методов анализа данных радиопросвечивания явилось стимулом для восстановления цифровых записей когерентных радиосигналов со станций ВЕНЕРА-15,16. В результате восстановлены и обработаны с применением новых технологий данные 162 сеансов двухчастотного (32 см, 8 см) радиопросвечивания, проведенных в 1983–1984 гг. В докладе представлены следующие результаты. Предложена методика анализа радиозатменных данных, которая позволяет достоверно разделить влияние шума, ионосферной плазмы и нейтральной атмосферы на результаты радиопросвечивания, что обеспечивает возможность более точного исследования механизмов формирования ионосферы. Получены оценки параметров турбулентности верхней части ионосферы Венеры. Показано, что в области главного максимума дневной ионосферы на высотах 150–180 км наблюдаются значительные вариации градиентов электронной концентрации, свидетельствующие о слоистой структуре этой части ионосферы. Обнаружено, что в дневной ионосфере Венеры на высотах от 80 до 120 км существуют ионизованные слои, механизмы образования которых пока неизвестны. Положение нижней границы этой ионизованной области может варьировать в диапазоне 80–100 км, а градиенты электронной концентрации могут меняться в несколько раз, т.е. нижняя часть ионосферы проявляет гораздо большую изменчивость, чем вышележащая область фотохимического равновесия.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ В ПЕРИОД МАКСИМУМА И МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ CHAMP И FORMOSAT3

А.Г. Павельев<sup>1</sup>, Й. Викерт<sup>2</sup>, Й. Лиу<sup>3</sup>, С.С. Матюгов<sup>1</sup>, А.А. Павельев<sup>1</sup>, О.И. Яковлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Фрязинская часть Института радиотехники и электроники РАН;

<sup>2</sup> GeoForschungZentrum Potsdam, Germany;

<sup>3</sup> Center for Remote Sensing and Space Research (CSRSR), National Central University (NCU), Taiwan

Перспективным методом глобального мониторинга нижней ионосферы является радиозатменное зондирование на трассах спутник-спутник. Анализ вариаций интенсивности радиозатменных сигналов выявил связь с вариациями индекса DST межпланетного поля и локальным временем. Получены карты сезонного, географического и временного распределения случаев с сильными вариациями амплитуды радиозатменных сигналов с высокими значениями индекса  $S_4$ , наблюдавшимися в течение 2001–2004 гг., и солнечной активностью в период ее максимума. Из проведенного анализа следует, что сигналы навигационных спутников на транс-ионосферных трассах и, в частности, параметр  $S_4$ , можно применять для глобального мониторинга влияния солнечной активности на ионосферу. Дан анализ параметров спорадических слоев экваториальной ионосферы по результатам затменного радиопросвечивания на трассах навигационные спутники GPS – спутник CHAMP в период солнечной вспышки в октябре-ноябре 2003 г. Исследованы вариации амплитуды и фазы сигналов при зондировании нижней ионосферы. Показано, что использование амплитудных и фазовых данных позволяет определять параметры спорадических ионосферных образований. Приведены данные о частоте появления, высоте, толщине и интенсивности слоев  $E_S$  в дневной и ночной экваториальной ионосфере в период максимума и минимума в последнем цикле солнечной активности.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЛИ ПЛОТНОСТИ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, В.Е. Андреев, Л.А. Луканина

ФИРЭ РАН

Внутренние гравитационные волны (ВГВ), как известно, оказывают воздействие на ионизацию в окружающей среде. Так, например, ветровые сдвиги в нейтральной атмосфере, индуцированные распространяющимися вверх волнами из стратосферы, могут перераспределять ионизированные частицы в области E и приводить к образованию спорадических слоев, в которых обнаруживаются почти горизонтальные поверхности равных фаз, обусловленные компонентами длиннопериодных ВГВ. Для эффективного изучения влияния длиннопериодных волн на процессы, протекающие в нижней ионосфере Земли, необходимо знание ключевого параметра гравитационных волн – внутренней частоты (частота, измеряемая наблюдателем в системе отсчета, которая перемещается вместе с течением нулевого порядка). С этой целью мы провели анализ флуктуаций нормированной температуры в стратосфере Земли, полученных по радиозатменным данным. Сформулирован критерий положительной идентификации ВГВ, в случае выполнения которого наблюдаемые флуктуации могут рассматриваться как волновые проявления. Предлагается аналитическая методика нахождения внутренней частоты ВГВ и других волновых параметров, основанная на сравнении экспериментальной и теоретической величины относительного амплитудного порога, который определяется как волновая амплитуда, необходимая для возникновения динамической неустойчивости в атмосфере. В том случае, если анализируемые флуктуации положительно идентифицируются как волновые проявления, внутренняя частота монохроматической ВГВ может быть определена путем использования измерения всего одного вертикального профиля температуры или плотности. Представлены результаты определения других волновых характеристик. Практическое применение предлагаемого метода демонстрируется на примере использования радиозатменных профилей температуры, измеренных при помощи КА GPS/FORMOSAT в стратосфере Земли. Для экспериментальной проверки эффективности предлагаемой методики были использованы результаты одновременных измерений температуры и скорости ветра в высокоточном баллонном эксперименте. Используя только

экспериментальные данные о температуре, мы реконструировали все волновые параметры. Сравнение наблюдаемых и реконструируемых волновых параметров показывает хорошее соответствие между ними. Мы считаем, что предложенный метод может иметь широкое применение для анализа вертикальных профилей температуры или плотности, измеренных другими способами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 07-02-00738.

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННЫХ МОЛЕКУЛ НА КОЛЕБАТЕЛЬНУЮ КИНЕТИКУ N<sub>2</sub> И O<sub>2</sub> В ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ**

А.С. Кириллов

*ПГИ РАН*

На основании квантово-химических приближений был проведен расчет коэффициентов скоростей колебательного возбуждения для N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в основном состоянии в процессах гашения электронного возбуждения этих молекул. Показано, что спонтанные излучательные и столкновительные процессы для электронно-возбужденных N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> играют важную роль в колебательной кинетике этих молекул на высотах авроральной ионосферы. Указано на принципиальное различие колебательного возбуждения молекул N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в столкновительных процессах. Межмолекулярные и внутримолекулярные переносы электронного возбуждения вызывают колебательное возбуждение N<sub>2</sub> главным образом на нижних уровнях основного X1 состояния и возбуждение O<sub>2</sub> в нескольких группах колебательных уровней X3 состояния. Также специальное внимание уделено вкладу реакции метастабильного молекулярного азота N<sub>2</sub>(A3) с O<sub>2</sub> в колебательной кинетике молекул N<sub>2</sub> на высотах авроральной ионосферы.

## **ВОЗБУЖДЕНИЕ АЛЬВЕНОВСКИХ ВИХРЕЙ В ИОНОСФЕРЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТОСФЕРНОЙ КОНВЕКЦИИ**

А.А. Любчик<sup>1</sup>, И.В. Дэспирак<sup>1</sup>, В.Ю. Трахтенгерц<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

<sup>2</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия*

Анализируются условия возбуждения УНЧ волн в ионосферном альвеновском резонаторе (ИАР) с учетом неоднородного по высоте профиля скорости магнитосферной конвекции, формирующегося в результате взаимодействия конвективного потока с нейтральной атмосферой на высотах 90-150 км. УНЧ волны включают косые альвеновские волны, захваченные в ИАР, и ионосферные дрейфовые волны, находящиеся в резонансе друг с другом. Вместе эти волны формируют резко анизотропные замкнутые токовые петли с масштабом вдоль магнитного поля много большим поперечного и могут рассматриваться как альвеновские вихри. Анализ проведен в модели ионосферы, близкой к реальной, без использования дополнительных ограничений на величину инкремента, частоту волны и ее ориентацию, а также на значения таких параметров задачи, как скорость конвекции, частота столкновений ионов с нейтралами на нижней границе резонатора, отношение плотностей в магнитосфере и в максимуме F-слоя ионосферы, альвеновская скорость в максимуме F-слоя. Найден порог возбуждения по скорости конвекции и по высоте нижней кромки ионосферы и определены оптимальные условия для развития неустойчивости. Выполнены численные оценки, позволяющие провести экспериментальную проверку теории турбулентного альвеновского погранслоя (ТАПС).

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ПЛАЗМЕННЫМИ ОБОЛОЧКАМИ  
НЕМАГНИТНЫХ ПЛАНЕТ – ВЕНЕРЫ И МАРСА**

Т.К. Бреус

*Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная 84/32,  
117997 Москва, Россия; [breus36@mail.ru](mailto:breus36@mail.ru)*

Взаимодействие солнечного ветра (СВ) с оболочками немагнитных планет подобно, но не идентично взаимодействию с кометами. Планетные атмосферы и ионосферы образуют определяющую часть препятствия потоку набегающего СВ, однако они не определяют баланс давлений в области взаимодействия на верхних границах конкретных ионосфер. Солнечный ветер, проникая в область переходного слоя, образует различного рода плазменные границы, а межпланетное магнитное поле (ММП) образует крупномасштабный магнитный пояс (у Венеры) и мелкомасштабные магнитные «жгуты» в глубине ионосфер Марса и Венеры. Открытие магнитных аномалий у Марса сделало картину взаимодействия с СВ для этой планеты еще более сложной, поскольку она дополнилась существованием крупномасштабных и мелкомасштабных мини-магнитосфер в областях магнитных аномалий, границы которых образуют воронки, типа земных каспов, куда может проникать СВ, и где происходит пересоединение магнитных силовых линий ММП и магнитных аномалий, ионизация и разогрев атмосферы и ионосферы, свечения типа земных полярных сияний, ускорения частиц и выброс вещества атмосферы из магнитосферы Марса- атмосферные потери. Проблемы механизмов всех этих процессов, включая пересоединение в столкновительной плазме, механизмы формирования магнитных жгутов, вариации положения границ и образование эффективного препятствия СВ за счет обтекания магнитного барьера, нагребенного с дневной стороны планет, будут обсуждены в докладе с позиций современных экспериментальных результатов, полученных на аппаратах Марс-Глобал Сурвеор, Марс –Экспресс и Венера – Экспресс.

**ГЛОБАЛЬНЫЙ ОТКЛИК ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА**

А.Т. Карпачев

*ИЗМИРАН*

Построена наиболее полная картина глобального отклика верхней ионосферы на воздействие солнечного ветра на примере магнитной бури 22 марта 1979 г. Для этого использованы данные ИСЗ «Космос-900» и «Интеркосмос-19», данные наземного зондирования, а также результаты предыдущих исследований возмущенных вариаций магнитосферы и ионосферы для этого события. Это позволило проследить динамику всех основных элементов структуры ионосферы (дневного каспа, экваториальной границы авроральных высыпаний, ионосферных провалов и экваториальной аномалии), а также глобальные возмущенные вариации Ne и Te, связанные с этой динамикой. Построенная картина хорошо согласуется с существующей парадигмой ионосферной бури и дополняет ее новыми чертами. В частности, показана принципиальная возможность отслеживать вариации структуры экваториальной аномалии по вариациям Te. Разделены главный и кольцевой ионосферные провалы. Построена планетарная картина ионосферных эффектов ВГВ, в рамках которой выявлена роль дневного каспа в генерации ВГВ. Проведено разделение эффектов ВГВ, электрического магнитосферного поля и поля “fast ionospheric dynamo” на вариации ионосферы. Рассмотрены квазиволновые и квазистационарные эффекты нейтрального ветра. Изучена специфика отклика ионосферы в зависимости от местного времени.

**ОБНАРУЖЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ШУМАНОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ**

А.Г. Колесник, С.А. Колесник, А.А. Деревянных

*Томский государственный университет*

В данной работе представляется новый метод регистрации солнечных вспышек, основанный на исследовании характеристик электромагнитного фона КНЧ-диапазона. Было установлено, что даже во время слабых солнечных вспышек в параметрах шумановского резонатора (частота, амплитуда) наблюдаются значительные изменения. Эти изменения связаны с тем, что в момент солнечной вспышки увеличиваются потоки рентгеновского и ультрафиолетового излучения, которые изменяют концентрацию заряженных частиц в нижней ионосфере и, таким образом, меняются диэлектрические свойства резонатора. Вследствие этого происходит изменение параметров резонатора Земля-ионосфера (собственных частот и амплитуд). Показано, что изменения спектральных характеристик электромагнитного излучения в диапазоне шумановских резонансов зависят не столько от силы вспышки, сколько от времени суток, в которое она произошла, и от места расположения основного источника электромагнитного излучения и приемного комплекса в момент вспышки. Преимуществами данного метода является малая стоимость оборудования, возможность автоматизации процесса обнаружения, а также возможность регистрации на поверхности Земли солнечных вспышек в любое время суток, не только днем, но даже и ночью. Полученные данные по солнечным вспышкам могут быть применены для прогноза магнитных бурь.

**С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ****ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ЭЛЕКТРОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ В ИОНОСФЕРЕ И ПЛАЗМОСФЕРЕ**

Т.Л. Гуляева<sup>1</sup>, И. Станиславска<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ИЗМИРАН, 142190 Троицк, Московская область*

<sup>2</sup>*Центр космических исследований, Варшава, Польша*

В подтверждение гипотезы о вкладе солнечного ветра в ионизацию ионосферы (С. Lal, JATP, 57(1), 45-49, 1995) проанализированы мировые карты полного электронного содержания в ионосфере и плазмосфере, GPS-TEC, за 1999-2006 гг. Анализ изменений интенсивности кольцевого тока на расстоянии нескольких земных радиусов по геомагнитному Dst индексу за те же годы показал усиление сезонного фактора в равноденствие по сравнению с июньским солнцестоянием более, чем на 100%. В то же время сезонная изменчивость электронного содержания составляет около 15%. Эти оценки приемлемо объясняют соответствующий вклад солнечного ветра в изменчивость плазмы на высотах ниже 3х земных радиусов (до высот 20 000 км на орбите навигационных спутников) по сравнению с магнитосферой.

Харитонов А.Л. и др., **НЕТ ТЕЗИСОВ**

**УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИЙ НА ЭКВАТОРЕ**

Л.З. Бикташ

*ИЗМИРАН*

Проведен анализ условий в межпланетном пространстве,  $K_p$ ,  $D_{st}$ , AU и AL индексов, которые характеризуют вклад различных магнитосферных и ионосферных токов в  $H$  – компоненте магнитного поля Земли с целью выявления эффективного механизма генерации ионосферных неоднородностей, ответственных за генерацию экваториальных сцинтилляций. Согласно общепринятым выводам (критерий Ааронса),  $D_{st}$ -индекс является наиболее приемлемым индексом, который позволяет предсказывать около 70% сцинтилляций на экваторе и считается, что кольцевой ток играет основную роль в генерации экваториальных неоднородностей, ответственных за сцинтилляции. Исследованы условия появления в ионосфере мелкомасштабных ионосферных неоднородностей на экваторе, которые проявляются как F-рассеяние на ионограммах, повороты дрейфовых скоростей, сцинтилляции (быстрые колебания фазы и интенсивности радиосигнала, проходящего через ионосферу) и т.д. и являются причиной нарушения радиосвязи. Показано, что магнитосферный кольцевой ток не влияет непосредственно на формирование экваториальных неоднородностей. Более того, возникают трудности при рассмотрении взаимосвязи кольцевого тока, вариаций высоты экваториальной ионосферы и экваториальных сцинтилляций.

Впервые показано, что наилучшим параметром для предсказания сцинтилляций является  $V_z$  компонента ММП, которая заблаговременно позволяет выявить запрещенное время появления сцинтилляций и время их активации. Предложена модель магнитосферно-ионосферного взаимодействия посредством токов вдоль силовых линий, объясняющая генерацию экваториальных сцинтилляций.

**ВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ГЛАВНОМ ИОНОСФЕРНОМ ПРОВАЛЕ В ОБЛАСТИ ТЕРМИНАТОРА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА «АПЭКС»**Н.И. Ижовкина<sup>1</sup>, И.С. Прутенский<sup>1</sup>, С.А. Пулинец<sup>1</sup>, З. Клос<sup>2</sup>, Х. Роткель<sup>2</sup><sup>1</sup> *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, г. Троицк, Московская обл.*<sup>2</sup> *Space Research Center, CBK PAN, Bartycka, 18 a, 00-716, Warsaw Poland*

Представлены данные измерений широкополосного волнового излучения в главном ионосферном провале в субавроральной зоне верхней ионосферы в области терминатора день-ночь (спутниковый эксперимент АПЭКС). Показано, что наблюдавшееся ослабление электростатического излучения в широкой полосе частот и флуктуации (вариации) частоты обрезания спектра электростатических мод на уровне локальной плазменной или верхнегибридной частоты связаны с нагревом плазмы в ионосферном провале затухающими электростатическими колебаниями. При распространении гравитационно-теплого возмущения от терминатора возможно образование волноводных каналов для распространения электромагнитных волн свистового диапазона, наблюдавшихся на спутнике.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНОСФЕРЫ И ОБЛАКОВ НЕЙТРАЛЬНОГО ГАЗА**

С.А. Ишанов, Л.В. Зинин

*Российский государственный университет им. И. Канта*

Во многих экспериментах активного типа осуществляется выпуск нейтрального газа в верхнюю атмосферу. В качестве примера можно указать эксперименты по генерации МГД - волн, запуски мощных космических ракет. При анализе изменений ионосферы в результате выпуска нейтрального газа возникает ряд проблем динамики нейтрального и ионизированного газа. После того как нейтральный газ инжесктирован в разреженную верхнюю атмосферу, он подвергается воздействию процессов конденсации, столкновительного нагрева, химических



реакций и диффузионного переноса. Области, где наблюдается модификация плазмы, определяются химическими процессами, градиентными неустойчивостями жидкостного типа, амбиполярной диффузией. Цель данной работы – построение модели динамики облака водорода, выброшенного в верхнюю атмосферу на разных высотах и в разных количествах. Моделирование ведется на основе численного решения системы уравнения непрерывности, движения и энергии для ионов и электронов околоземной плазмы, дополненной уравнениями диффузии для водородосодержащих компонентов. Начальное распределение молекулярного водорода в облаке задается в форма Гаусса с характерным размером  $R_0$ . Поскольку все рассмотрение проводится для области высот более 200 км, то учитывается только диффузия водорода в атомарном кислороде с учетом фотохимических процессов. Параметры верхней атмосферы рассчитываются согласно модели MSIS. Полученные таким образом результаты моделирования позволят сделать вывод о степени воздействия указанных выпусков на электронную концентрацию в области главного ионосферного максимума, выяснить роль диффузных и фотохимических процессов на разных стадиях эволюции облака водорода.

### **ЭКСПЕРИМЕНТ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА БОРТУ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

С.И. Климов, В.И. Грушин, Д.И. Новиков

*Институт космических исследований (ИКИ) РАН, Профсоюзная 84/32, 117997, Москва, Россия*

Развитие динамических процессов в магнитосфере и ионосфере приводит к появлению ряда электромагнитных явлений, которые могут быть следствием изменений космической погоды. Для реализации наблюдения этих процессов на борту Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) запланирована установка плазменно-волнового комплекса (ПВК) для реализации эксперимента "Обстановка 1-ый этап" [1]. Эксперимент "Обстановка 1-ый этап" будет проводиться с целью получения базы данных электромагнитных полей и плазменно-волновых процессов, происходящих в приповерхностной зоне (ППЗ) МКС для мониторинга плазменных процессов в околоземном пространстве (ОЗП), включая процессы искусственного происхождения. В ноябре 2007 в ИКИ РАН закончены испытания технологического образца ПВК. В 2008 будут проведены в РКК "Энергия" на стенде РС МКС испытания технологического образца ПВК. Реализация эксперимента на борту РС МКС запланирована на первую половину 2009. Каждый космический эксперимент дает наилучшие результаты, когда он сопровождается скоординированными наземными наблюдениями. Разработка скоординированной программы наземных наблюдений, сопровождающей эксперимент "Обстановка 1-ый этап", началась в 2005. На встрече членов стран Региональной сети Балкан, Черного моря и Каспийского моря по программе МГГ (<http://www.stil.bas.bg/IHY/>) также было рекомендовано организовать скоординированные наземные наблюдения.

Эксперимент "Обстановка 1-ый этап" включен в Программу космического образования, осуществляемую на РС МКС, и был представлен на встрече группы ЕОЕМ. В образовательных целях часть физических параметров, измеренных ПВК, будет передаваться в российские и зарубежные школы, оборудованные радиоловительскими станциями [2].

1. [http://www.esa-spaceweather.net/spweather/workshops/spw\\_w5/abs/klimov\\_plasma.pdf](http://www.esa-spaceweather.net/spweather/workshops/spw_w5/abs/klimov_plasma.pdf) .
2. Klimov, S.I., et al., Aerospace education program realization by means of the micro-satellite. *Acta Astronautica, Volume 56, Issues 1-2*, p. 301-306, 2005.

**ВАРИАЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ АЛЬВЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА**А.Г. Колесник, С.А. Колесник, А.А. Колмаков*Томский государственный университет*

Проблема исследования спектральных характеристик ионосферного альвеновского резонатора, поднятая С.В. Поляковым, в настоящее время пользуется большой актуальностью. Исследования механизмов формирования спектральных характеристик электромагнитных излучений в диапазоне альвеновского резонатора имеют не только фундаментальное значение с позиций геофизики и радиофизики, но и прикладное применение в рамках электромагнитной экологии, биофизики и т.п. Однако, несмотря на безусловную актуальность данной проблематики на лицо явный недостаток экспериментальных работ посвященных этому вопросу. В настоящей работе представлены результаты многолетнего непрерывного мониторинга по регистрации вертикальной электрической компоненты электромагнитного фона в г. Томске. Проведен анализ спектральных характеристик электромагнитных излучений в диапазоне альвеновского резонатора (в частотной полосе до 7 Герц). Получены экспериментальные оценки сезонно-суточных вариаций спектральных параметров электромагнитного излучения в 11 летнем цикле солнечной активности (с 1997 по 2007 гг). Установлено наличие характерного сезонного хода значений резонансных частот (максимальные значения значений резонансных частот наблюдаются в зимний период). Вид распределений смеси «сигнал-шум» имеет сезонную зависимость. В зимние месяцы вид распределения смеси «сигнал-шума» близок к экспоненциальному закону распределения. В летние месяцы вид распределения близок к нормальному закону. В весенний и осенний периоды распределения принимают промежуточный вид, который описывается законом распределения Райса.

## С Е К Ц И Я «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, ГЕЛИОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ГОРЯЧАЯ ПЛАЗМА В СКОПЛЕНИЯХ ГАЛАКТИК

Е. М. Чуразов

*ИКИ РАН*

Самые массивные объекты во Вселенной - скопления галактик - на 10-15% состоят из горячей (1-10 кэВ) и разреженной ( $10^{-3}$ - $10^{-2}$  см<sup>-3</sup>) плазмы. Большую часть информации о свойствах этой плазмы мы получаем из наблюдений в рентгеновском диапазоне энергий. Плазма в скоплениях находится почти в состоянии гидростатического равновесия, нарушаемого слияниями отдельных скоплений в еще более массивные структуры и выбросами пузырей релятивистской плазмы сверхмассивными черными дырами. В докладе обсуждается, что мы знаем о плазме скоплений и что надеемся узнать в ближайшем будущем.

### НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В МАГНИТНОЕ ОБЛАКО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И В МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ

С.А. Гриб

*ГАО РАН, Пулковое, Санкт-Петербург, 196140, Россия; [sagrib@SG10548.spb.edu](mailto:sagrib@SG10548.spb.edu)*

В рамках решения МГД задачи Римана-Кочина изучается столкновение солнечных быстрых ударных волн с магнитными облаками и с магнитосферой Земли. Демонстрируется физическая аналогия взаимодействия бегущих волн с границами, представляемыми в виде тангенциальных разрывов. Из решения задачи следует, что во всех случаях преломленные внутрь облака и внутрь магнитосферы Земли внутренние волны являются быстрыми ударными волнами, и их затухание может описываться обобщенным законом Крюссара-Ландау при малом плазменном параметре давления  $\beta$ . Указывается на возможность возникновения преломленной медленной ударной волны при наклонном столкновении солнечной быстрой ударной волны с границей облака или с магнитопаузой. Такая внутренняя волна будет влиять на конфигурацию облака, уменьшая его поперечное сечение, в случае же преломления в магнитосферу она может послужить источником обратного или отрицательного внезапного геомагнитного импульса. Полученные теоретические расчёты подтверждаются рядом непосредственных наблюдений, проведённых с помощью космических аппаратов в потоке солнечного ветра и внутри магнитосферы Земли. Работа осуществлялась по плану программы ОФН-16.

### СОЛИТОННАЯ ПРИРОДА ГЕЛИОСФЕРНОЙ БУРИ

В.И. Козлов

*Институт космических исследований и астрономии им. Ю.Г.Шафера СО РАН,  
г. Якутск, [cosmoprognoz@mail.ru](mailto:cosmoprognoz@mail.ru)*

Считается общепринятым связывать структуру серийного или многоступенчатого эффекта Форбуша с последовательностью конкретных событий в источнике на Солнце (рентгеновские вспышки и т.д.). Тем не менее, удовлетворительных результатов подобного сопоставления так и не было получено. Несостоятельность попыток установления взаимнооднозначного соответствия между структурой многоступенчатого эффекта Форбуша и последовательностью конкретных событий в источнике на Солнце связана, очевидно, с тем обстоятельством, что гелиосферный токовый слой (ГТС) обладает собственной «передаточной функцией» и, причем, явно нелинейной. По исследованию индекса мерцаний космических лучей выявлена эволюция

структуры гелиосферного токового слоя: от второй гармоники 27-дневной вариации с известным периодом 13-14 сут, обусловленной вероятно квадрупольной компонентой гелиосферного поля – к *квазинедельной вариации* во время гелиосферной бури. Солитоноподобный характер (в конфигурационном пространстве амплитуда-время-частота) квазинедельной вариации ГТС выявлен нами в большинстве экстремальных событий, притом, не только в текущем цикле солнечной активности. Наблюдается лишь некоторый дрейф периода доминирующей гармоники по шкале частот или периодов вариаций:  $T=5\pm 2$  сут. Заметим, что расшифровка не совсем ясного обычно используемого термина – «мультипольной компоненты» структуры ГТС в экстремально возмущенный период как квазинедельной вариации или «солитона огибающей», оказалась возможной благодаря индексу мерцаний космических лучей.

## КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЯВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПЕРИОД 1976 – 2000 гг.

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

*Институт Космических Исследований РАН, Москва; yermol@iki.rssi.ru*

На основании данных из базы OMNI была проведена привязка всех интервалов времени, для которых имелся полный набор измерений в период 1976-2000, к конкретным типам солнечного ветра. На основании опубликованных работ и нашего опыта были выбраны следующие крупно-масштабные типы течений солнечного ветра, подлежащие идентификации: квази-стационарные (1. гелиосферный токовый слой, 2. медленные течения, 3. быстрые течения), возмущенные: (сжатая плазма (4. на фронте быстрого и медленного течений – CIR и 9. перед передним фронтом поршня – sheath), 5. поршень (магнитные облака – MC, и эжекты – ejecta), 6. разреженная плазма (на фронте медленного и быстрого течений СВ)), а также 7. межпланетная ударная волна и 8. обратная межпланетная ударная волна. На основе анализа имеющихся видов и методик классификации и идентификации типов течений солнечного ветра был выбран наиболее оптимальный метод. Для временного интервала 1976-2000 годов на основании базы данных OMNI были рассчитаны некоторые дополнительные параметры, которые необходимы для идентификации, и они были включены в нашу базу данных (см. <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/>). Для каждого типа течения были выбраны характерные параметры с порогами, а также веса, характеризующие важность данного параметра для идентификации типа течения. Идентификация типов течений солнечного ветра была выполнена для интервала 1976-2000гг., и проведена визуализация (см. <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/>). На основании данного каталога были получены некоторые результаты, приведенные в публикациях на сайте [http://www.iki.rssi.ru/people/yermol\\_inf.html](http://www.iki.rssi.ru/people/yermol_inf.html). В частности показано, что хотя наименьшие значения  $B_z$  компоненты ММП наблюдаются в MC, наименьшие значения Dst индекса достигаются в Sheath. Таким образом, наибольшие магнитные бури в среднем возбуждаются во время Sheath, а не во время тела MC, возможно, за счет более высокого давления и его вариаций в Sheath.

## ДИАГНОСТИКА КОМПОНЕНТ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ИХ ИСТОЧНИКОВ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

Н.А. Лотова<sup>1</sup>, К.В. Владимирский<sup>2</sup>, В.Н. Обридко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, 142190, Троицк, Московская обл., Россия;*

<sup>2</sup> *Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, 117924, Москва, Ленинский просп. 53*

Процессы формирования солнечного ветра изучаются новыми методами, разработанными в последние годы. Их основу составляют эксперименты по массовому зондированию межпланетной плазмы вблизи Солнца, на радиальных расстояниях  $R \sim 2,5-70 R_s$ : г.Пушино, РАО РАН, радиотелескопы ДКР-1000 и РТ-22, а также расчеты магнитных полей в солнечной короне: напряженности и структуры по измерениям магнитного поля на поверхности Солнца, Солнечная обсерватория Дж.Вилкокса, США. Данные экспериментов по массовому зондированию околосолнечной плазмы позволяют локализовать в пространстве положение внутренней, ближайшей к Солнцу, границы переходной трансзвуковой области солнечного

ветра,  $R_{in}$ . Метод диагностики компонент солнечного ветра и их источников в солнечной короне основан на корреляционном анализе зависимости расположения границы трансзвуковой области  $R_{in}$  от напряженности магнитного поля  $|B_R|$  на поверхности источника  $R = 2.5 R_s$ . В результате установлена взаимосвязь между структурой магнитного поля в короне и ее продолжением в межпланетное пространство. Показано, что струйная структура солнечного ветра является непосредственным продолжением структуры солнечной короны. Разработанные методы взаимосвязанного изучения структуры солнечной короны и солнечного ветра использованы в изучении эволюции структуры потока солнечного ветра в период 2000–2006 гг. Получены уникальные данные об эволюции типов потока в ходе солнечного цикла.

### ТРАССЕРЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В БЕЛОМ СВЕТЕ НА LASCO SOHO

Г.А. Порфирьева, Г.В. Якунина, А.Б. Делоне

Государственный Астрономический институт им. П.К. Штернберга (ГАИШ, МГУ); [yakunina@sai.msu.ru](mailto:yakunina@sai.msu.ru)

Представлен краткий обзор результатов наблюдений скоростей истечения сгустков плазмы из области пояса стримеров на Солнце. Вещество, выбрасываемое из касповых структур стримеров, является одной из составляющих медленного солнечного ветра (СВ). Наблюдения динамических характеристик образований плазмы с повышенной плотностью, полученные на коронографах C2 и C3 LASCO SOHO на расстояниях (2–30)  $R_{sun}$  (от центра диска Солнца), обнаруживают ускорения до нескольких  $m\ c^{-2}$ . Скорости вытекающего вещества увеличиваются от (0–100)  $km\ c^{-1}$  до (250–400)  $km\ c^{-1}$  на расстояниях порядка 25  $R_{sun}$ .

Обсуждаются возможные механизмы возникновения этих сгустков плазмы. Облака плазмы вытянутой формы длиной до 1  $R_{sun}$  и поперечных сечениях  $\sim 0,1 R_{sun}$  в силу своей повышенной плотности могут наблюдаться на фоне окружающей короны Солнца и служить трассерами СВ на близких к Солнцу расстояниях. Используются данные из научных публикаций и Интернета.

### СТРУКТУРА И ДИНАМИКА КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАСС В ПЕРИОД 1995-2002 ГГ. ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

А.И. Ефимов<sup>1</sup>, Н.А. Арманд<sup>1</sup>, Л.А. Луканина<sup>1</sup>, Л.Н. Самознаев<sup>1</sup>, В.К. Рудаш<sup>1</sup>, И.В. Чашей<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФИРЭ РАН;

<sup>2</sup> ПРАО ФИАН

Выполнено сопоставление материалов одновременных исследований солнечного ветра в областях его ускорения и установившегося течения в период функционирования космических аппаратов (КА) GALILEO (спутник Юпитера) и WIND (спутник Земли). Изучение солнечного ветра в области его ускорения (гелиоцентрические расстояния 16-30 радиусов Солнца  $R_s$ ) осуществлено методом радиозондирования при движении КА GALILEO за диском Солнца. Характеристики потоков плазмы вблизи орбиты Земли определялись с помощью приборов, установленных на борту КА WIND.

Периоды одновременных измерений представлены в Таблице 1.

Год	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002
Дни года	336-351 355-366	001-014 360-366	001-045	080-088 094-101	111-126 131-143	147-162 168-183	163-195 205-232

Установлено, что в 20-30% случаев характеристики зондирующих солнечный ветер сигналов КА GALILEO существенно отличаются от средних характеристик:

- интенсивность флуктуаций частоты в 3-5 раз превышает величины, соответствующие невозмущенному солнечному ветру;
- спектральный индекс спектров частотных флуктуаций значительно выше аналогичной величины для спектра Колмогорова (сверхколмогоровская турбулентность);
- скорость движения потоков возмущенной плазмы превышает скорость фонового солнечного ветра. Эти специфические эффекты, регистрируемые на близких к Солнцу расстояниях (16-30

солнечных радиусов  $R_s$ ), с вероятностью 80-90% и с запаздыванием на 2...4 суток проявляются в околоземном космическом пространстве в виде возмущенных плазменных структур с чрезвычайно высокой (в 5-30 раз превышающей фоновую) концентрацией заряженных частиц и повышенной скоростью движения. При реализации техники непрерывного мониторинга зондирующих солнечный ветер радиосигналов может быть обеспечено прогнозирование экстремальных эффектов в околоземном космическом пространстве с опережением на 2-4 суток. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН "Плазменные процессы в Солнечной системе".

## **РЕГУЛЯРНОЕ И СЛУЧАЙНОЕ ВЛИЯНИЕ ВОЛНОВОГО И КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ГЕОМАГНИТНУЮ АКТИВНОСТЬ**

А.Е. Левитин, Л.И. Громова, Л.А. Дремухина

*ИЗМИРАН*

Геомагнитная активность, создаваемая магнитосферными и магнитосферно-ионосферными токовыми системами, контролируется, в первую очередь, солнечным корпускулярным и солнечным волновым излучениями. Волновое излучение определяет проводимость ионосферы, а корпускулярное – энергетику токовых систем и выпадение частиц, вызывающее также изменение ионосферной проводимости. Временная динамика интенсивности этих излучений содержит в себе регулярную и случайную составляющие. Регулярная составляющая – это временное изменение солнечного излучения в цикле солнечной активности и достаточно устойчивая зависимость геомагнитной активности от параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП). Эта составляющая вызывает циклические вариации в долговременных геомагнитных данных обсерваторий. Такие вариации продемонстрированы на данных обсерватории ИЗМИРАН за 1946–2006 гг. Приведены оценки их вклада в скорость изменения геомагнитного диполя, которое принято определять по изменению среднегодовых амплитуд компонент вектора магнитного поля Земли. Если учесть эти вариации, связанные с внешним источником, то современная оценка убывания Главного магнитного поля будет значительно меньше. К случайной составляющей геомагнитной активности относятся наиболее сильные геомагнитные возмущения. Для того, чтобы они происходили, необходимо: появление выброса солнечного вещества в конкретной области Солнца; попадание этого выброса по земной магнитосфере; наличие в выбросе отрицательной вертикальной ( $B_z < 0$ ) компоненты вектора ММП; прохождение Земли именно через ту область выброса, где такое поле содержится. Представлены расчеты возможной зависимости длительности фаз магнитных бурь и их амплитудных характеристик от траектории прохождения Земли через плазменный выброс, содержащий модельное магнитное поле. Продemonстрировано, что одно и то же магнитное облако может вызывать магнитные бури разной продолжительности и интенсивности или вовсе не генерировать бурю при взаимодействии с магнитосферой.

## **ВАРИАЦИИ ПОТОКА И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ГЕЛИЯ ДРЕВНЕГО (МИЛЛИОНЫ ЛЕТ) СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА (ПО КОЛОНКЕ ЛУННОГО ГРУНТА)**

Г.С. Ануфриев

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН. Санкт-Петербург*

Исследован изотопный состав и концентрация в 9 образцах тонкой фракции (<80 мкм), отобранных по длине (~70 – 190 см) колонки лунного грунта, доставленного в 1976 году автоматической станцией «Луна-24». Исследования показали, что за время земного хранения при комнатной температуре лунный грунт теряет большое количество гелия: за 30 лет хранения потери составили ~ 70%, причем легкий изотоп теряется в большей мере. Обнаружены существенные вариации концентрации солнечно-ветрового гелия по глубине и, следовательно, обнаружены вариации потока древнего солнечного ветра. На глубине 143 см концентрация гелия в 2.5 раза выше среднего значения, а на глубине 180-190 см, напротив, в 1,5 раза меньше среднего значения. Необходима временная привязка этих событий. К сожалению, нет основательных данных о возрасте лунного реголита. Предложен метод определения возраста. Получено, что при изменении глубины колонки ~(70-190) см возраст грунта возрастает с 15 до

63 миллионов лет. «Всплеск» в 2,5 раза концентрации (потока) солнечного гелия с возрастом  $t_1 \approx 43$  миллиона лет выглядит в виде пика продолжительностью на полувывсоте  $\sim 7 \cdot 10^6$  лет. Спад концентрации имеет возраст  $t_2 \approx 63$  миллиона лет, и продолжался около  $4 \cdot 10^6$  лет. Отметим, что на Земле возраст  $t_2$  соответствует эпохе Палеоцена, когда произошло массовое вымирание представителей флоры и фауны. Возраст  $t_1$  на Земле соответствует границе Эоцена и Олигоцена. Проявление отмеченных солнечно-земных связей требует дополнительных исследований. Заметим, что образцы лунного грунта дают усредненные величины солнечных потоков, следовательно, внутри обнаруженных всплесков и падений может присутствовать периодическая структура («цуги» из локальных падений и всплесков), которая не может быть зарегистрирована, но которая дает свой вклад в наблюдаемые вариации солнечного гелия.

## **КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ В МИНИМУМЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Ю.И. Стожков

*Физический институт им. П.Н. Лебедева, Ленинский проспект, 53, 119991, Москва*

Рассматриваются данные о потоках космических лучей (КЛ), полученные по измерениям в атмосфере Земли в области северных и южных полярных широт за период  $\sim 50$  лет. За это время наблюдалось 5 минимумов солнечной активности. Проводится сравнение максимальных потоков КЛ в этих минимумах. Показано, что наблюдается постепенное уменьшение потока КЛ (отрицательный тренд) в минимумах солнечной активности. Проводится сравнение потоков КЛ, измеренных на орбите Земли и в дальней гелиосфере (данные космических аппаратов Вояджер-1 и -2). Сделан вывод, что модуляция КЛ прекращается на расстоянии (110–115) а.е.

## **РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКА ИОНОВ КАК ОСОБЕННОСТЬ ПЛОТНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, НЕ СВЯЗАННЫХ С CIR-ПОТОКАМИ**

О.В. Хабарова

*Институт Космических Исследований РАН, Москва; olik3110@list.ru*

В результате анализа уникальных данных спутника Интербол-1 по потоку солнечного ветра с секундным разрешением было обнаружено новое и неизученное явление: прибор зарегистрировал более чем 20000 случаев резкого и значительного изменения потока ионов солнечного ветра (с длительностью от секунд до минут и амплитудой от десятка до сотен процентов) за период 1996-2000гг. Зафиксированные изменения потока ионов (sharp changes of ion flux - SCIFs) представляют собой преимущественно изменения плотности и не связаны ни с межпланетными ударными волнами, ни с альфеновскими волнами, ни с форшоком. Обнаружено, что SCIFs распределены по времени не случайным образом, а группируются в областях с повышенной плотностью и магнитным полем и пониженной скоростью. Вариабельность плотности солнечного ветра и межпланетного магнитного поля в окрестности исследуемых скачков также повышена в широком диапазоне периодов (от секунд до часов). При этом в подавляющем большинстве случаев SCIFs не ассоциируются ни с CIR-потоками, ни с магнитными облаками, ни с секторной границей. Зависимость их числа от фазы солнечного цикла не прослеживается. Сконструирован комплексный параметр, связывающий плотность солнечного ветра, величину межпланетного магнитного поля и их вариабельность с числом событий SCIFs за день (коэффициент корреляции достигает  $\sim 0.8$ ). Обсуждается вопрос об устойчивости резких границ структур солнечного ветра.

## С Е К Ц И Я «СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, ГЕЛИОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

### ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА: АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ И ПЛАЗМЕННО-ФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ

И.С. Веселовский

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва;  
Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная 84/32 117997 Москва, Россия*

Один из основных нерешенных вопросов в астрофизическом аспекте проблемы происхождения солнечного ветра состоит в том, на какой стадии эволюции Солнца как звезды закончилось накопление его вещества из межзвездной среды и началось преимущественное истечение потоков солнечного ветра. Не известно, когда и как это произошло в деталях, хотя начало термоядерных реакций в недрах Солнца, несомненно, играло важнейшую роль в энергетике и динамике звезды, что могло привести к такой смене режимов. В связи с этим выдвигается гипотеза о том, что наличие аккреции или истечения плазмы из звезды определяется предшествующей эволюцией, то есть «памятью», а не просто распределением мгновенных значений плотности, температуры, магнитного поля и других макроскопических параметров системы, состоящей из данной звезды, ее ближайшего звездного окружения и межзвездного газа. Соседние звезды в зависимости от этого могут служить донорами или акцепторами межзвездного газа. Некоторые из них могут одновременно или попеременно играть и ту, и другую роль. Политропное решение для центрально симметричных течений, полученное Бонди, вырождено по знаку радиальной скорости. Оно пригодно для описания квазистационарных режимов обоих типов. Однако теория переходных процессов не развита. Поэтому ответ на вопрос о том, существуют ли звезды, похожие по своему внутреннему строению и параметрам на современное Солнце, но без испускания звездного ветра или даже с аккрецией межзвездного газа, может быть получен лишь наблюдательным путем. Возможность существования таких звезд не исключена. Она не противоречит никаким законам природы. Плазменно-физический аспект проблемы происхождения солнечного ветра касается гораздо меньших интервалов времени, чем основная эволюционная шкала, измеряемая миллиардами лет. Поэтому данный аспект проблемы гораздо лучше изучен, хотя также достаточно сложен и во многих деталях еще не решен из-за многомасштабного характера процессов формирования потока. Солнечный ветер как перманентное сверхмагнитозвуковое истечение плазмы в радиальном направлении возникает на фоне гораздо более мощных неравновесных и нестационарных движений, которые лишь частично упорядочены в верхней атмосфере и короне Солнца (турбосфера). Мгновенное состояние солнечного ветра контролируется потоками свободной энергии, вещества и импульса, поступающими в корону из нижележащих слоев солнечной атмосферы и конвективной зоны. Хотя основные физические механизмы переноса свободной энергии электромагнитного поля и плазмы в целом хорошо известны, они нуждаются в количественном исследовании применительно к конкретным реализациям при частых и редких столкновениях частиц в короне Солнца для выяснения нелокальных процессов формирования полей и плазменных течений, в том числе, и солнечного ветра.



**БЫСТРЫЕ ПОТОКИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С УВЕЛИЧЕНИЕМ ИЛИ УМЕНЬШЕНИЕМ ИХ СКОРОСТИ НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ**И.С. Веселовский<sup>1,2</sup>, И.Г. Персианцев<sup>1</sup>, Ю.С. Шугай<sup>1</sup><sup>1</sup> НИИЯФ МГУ<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная 84/32 117997 Москва, Россия

По измерениям параметров плазмы и магнитных полей в трех точках впервые удалось достаточно надежно отделить друг от друга пространственные и временные изменения быстрых потоков солнечного ветра на орбите Земли. Для этой цели проанализирован набор одновременных данных, полученных в январе – октябре 2007 г. Наблюдалась одна и та же высокоскоростные (600-700 км/с) потоки, которые обычно истекали из корональных дыр и достигали трех аппаратов КА STEREO-B, ACE и STEREO-A в указанной последовательности с различной задержкой по времени. Для стационарных (не эволюционирующих) потоков из постоянного источника, вращающегося вместе с Солнцем, эта задержка составляла от нескольких часов до 2-3 суток и зависела только от азимутального углового расстояния между точками наблюдения, которое увеличивалось приблизительно от 0 до 40 градусов за указанный интервал времени. Наблюдаемая величина максимальной скорости и ее профиль в каждом из таких потоков были одинаковыми на всех трех аппаратах. Кроме таких простейших ситуаций наблюдались динамические (эволюционирующие во времени) потоки. В целом ряде случаев они увеличивали или уменьшали свою максимальную скорость на величину 70-100 км/с за время их наблюдения от нескольких часов до 2-3 суток. Наблюдалась также сближающиеся или удаляющиеся по угловому расстоянию струйные течения, иногда меняющие свою угловую ширину. Объяснение этих наблюдений связано с кинематическими и магнитогидродинамическими процессами в распространяющемся неоднородном солнечном ветре из переменного источника, вращающегося вместе с Солнцем. Проведенное исследование показало, что наблюдения в трех точках на орбите Земли позволяют установить, какие высокоскоростные потоки солнечного ветра эволюционируют в сторону увеличения скорости, а какие – в сторону уменьшения или остаются неизменными.

**ИНВАРИАНТ 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА: «АМПЛИТУДА – ДЛИТЕЛЬНОСТЬ»**

В.И. Козлов

*Институт космофизических исследований и аэронауки имени Ю.Г. Шафера СО РАН,  
г. Якутск, [cosmoprognoz@mail.ru](mailto:cosmoprognoz@mail.ru)*

Посредством введенного ранее нового индекса солнечной активности - индекса мерцаний космических лучей - обнаружен нестационарный переходный колебательный процесс смены знака общего магнитного поля Солнца длительностью  $\tau=3\pm 1$  года: **U**-образная динамика в вейвлет-представлении (*полугодовая–годовая–полугодовая* вариации, соответственно). Установлена *обратная* зависимость длительности переходного колебательного процесса от его амплитуды, что означает наличие инварианта: «*амплитуда-длительность*» 11-летнего цикла. Наличие инварианта указывает на *солитонную* природу 11-летнего цикла, обладающую *скейлинговыми* или фрактальными свойствами. На меньших масштабах это соответствует *солитоноподобной* структуре гелиосферного токового слоя в период гелиосферной бури. Выявление *регулярного* процесса на различных масштабах используется нами для раннего обнаружения геоэффективной фазы 11-летнего цикла с заблаговременностью  $\sim 1$  оборот Солнца, а на меньших масштабах – для раннего обнаружения гелиосферных бурь с заблаговременностью  $\sim 1$  сутки (<http://ikfia.ysn.ru/fluctuations/index.php>).

## НОВЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.А. Ожередов, Т.К. Бреус

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия; [ojymail@mail.ru](mailto:ojymail@mail.ru)*

Главной особенностью биологических и геофизических процессов является феномен «блуждания фаз» и феномен изменчивости периода ритма, причем причины изменчивости этих характеристик у биосистемы, как правило, неизвестны и не описываются заранее заданными отдельными представлениями, столь типичными для физических и технических наук. Это приводит к тому, что математические модели зачастую неадекватны исследуемым процессам и не могут полно описать известные биологические феномены и их связь с гелиогеомагнитными показателями. Анализируемые ряды состоят из компоненты характеризующей искомую взаимосвязь, тренда и «шума». Предложен новый подход анализа временных рядов, который сводится к выделению из рядов информативных компонент, определяющих их поведение на неограниченном временном промежутке, и анализ именно этих компонент рядов для выявления их взаимосвязи. Этот подход свидетельствует, что более чем существенная часть дисперсии параметров временных гелиогеомагнитных и биологических рядов может быть объяснена детерминированной зависимостью типа рекурсии. Это означает, что поведение временного ряда, будучи наблюдаемым на некотором промежутке времени, может быть достаточно точно (78% для Pс1 пульсаций и 97% для смертности от инфарктов) предсказано в последующие моменты. В предложенном подходе детерминированные (рекурсивные) компоненты демонстрируют линейчатый спектр, что является важным шагом для целей спектрального анализа. Предложенный метод позволяет не только ответить на вопрос существует ли взаимосвязь гелиогеомагнитных и биологических рядов, но и определить характер этого взаимодействия. Коэффициент детерминации для проанализированных данных за один год и наличии ненулевых перекрестных коэффициентов рекурсии подтверждает гипотезу о наличии взаимосвязи процессов.

## ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ВОЗРАСТАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ: НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ОБОСНОВАНИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Л.И. Мирошниченко<sup>1</sup>, Е.В. Вашенюк<sup>2</sup> и Х. Перес-Пераса<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Московская обл., г.Троицк, 142190, Россия; [leonty@izmiran.ru](mailto:leonty@izmiran.ru)*

<sup>2</sup> *Полярный Геофизический Институт, Апатиты, Мурманская обл., 184209, Россия; [vashenyuk@pgi.kolsac.net.ru](mailto:vashenyuk@pgi.kolsac.net.ru)*

<sup>3</sup> *Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., 04510, México, D.F., MÉXICO; [perperaz@igeofcu.unam.mx](mailto:perperaz@igeofcu.unam.mx)*

Приведена сводка результатов, полученных нами ранее для ряда наземных возрастных (Ground Level Enhancements, или событий GLE) солнечных космических лучей (СКЛ). Данные отчетливо демонстрируют двухкомпонентную структуру потоков релятивистских солнечных протонов (РСП), а именно, свидетельствуют о существовании быстрой и медленной компонент (БК и МК). С точки зрения наблюдений БК и МК отличаются друг от друга, соответственно, формой временных профилей (импульсный и затянутый), пич-угловыми распределениями (ПУР) (анизотропное и изотропное) и жесткостью спектра (жесткий или мягкий). В частности, в начале GLE быстрая компонента (БК) отличается крайней анизотропией. Частицы БК ускоряются, скорее всего, в процессах магнитного пересоединения в нижней короне, в тесной связи со вспышками в линии H-альфа, началом выбросов коронального вещества (СМЕ) и радиоизлучением II типа. Теоретически, на языке теории переноса СКЛ, медленную компоненту (МК) можно трактовать как результат трансформации БК в процессе межпланетного переноса СКЛ (рассеяние РСП на неоднородностях межпланетного магнитного поля, ММП). С другой стороны, частицы МК могут быть ускорены в нижней короне, а затем вынесены во внешнюю корону при расширении СМЕ. В целом, условия и механизмы, определяющие возникновение

острых начальных пиков и двухпиковой структуры некоторых GLEs, в настоящее время все еще изучены недостаточно. Кроме того, учитывая наши результаты моделирования событий GLE, мы приходим к заключению, что упомянутая выше гипотеза «межпланетного происхождения» не может полностью решить проблему релятивистских протонных событий. Напротив, имеются серьезные основания принять модель двух источников генерации СКЛ на Солнце (или вблизи него), в рамках концепции о множественных процессах ускорения частиц в солнечной атмосфере. *Ключевые слова:* Солнце, солнечная вспышка, солнечные космические лучи, ускорение частиц, СМЕ, крупномасштабные корональные образования.

## **ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗИ ДЛИННОВОЛНОВЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ, ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ВО ВРЕМЯ ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ СОБЫТИЙ**

В.С. Прокудина<sup>1</sup>, Ю.И. Ермолаев<sup>2</sup>, М. Сливка<sup>3</sup>, К. Кудела<sup>3</sup>, В.Н. Курильчик<sup>1</sup>, Н.С. Николаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГАИШ, МГУ, Москва;

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, Москва;

<sup>3</sup> Институт Экспериментальной Физики Словацкой Академии Наук. г. Кошице, Словакия

Анализируются события, в которых были зарегистрированы на ИСЗ ИНТЕРБОЛ-1 всплески гектометрового радиоизлучения и потоки энергичных электронов в периоды времени, предшествующие сильным геомагнитным бурям (по Dst-индексу). Всплески были связаны с хромосферными вспышками балла X и M с большим энерговыделением, сопровождались корональными транзиентами типа гало и располагались в западной полусфере. Проводится сопоставление процессов в активных областях на Солнце, в межпланетной среде и возмущений в магнитосфере.

## **О ДИСКРЕТНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

Т.Е. Вальчук, Э.И. Могилевский

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, e-mail : [valchuk@izmiran.ru](mailto:valchuk@izmiran.ru)*

Приводится обоснование дискретности временных рядов солнечных и солнечно-обусловленных геофизических явлений. Исходным при этом является общее положение о балансе образования и распада (без учета диффузии) фрактальных элементов в процессе эволюции равновесных систем в приложении к гелиофизическим и геомагнитосферным проявлениям. В историческом аспекте тема восходит к работам гелиофизиков ГАО, в частности, М.Н. Гневышева, который еще в 30-е годы прошлого века из статистического анализа временного ряда индексов солнечной активности (SA) показал, что в нем существует пространственно-временная дискретность, которую он назвал импульсами SA. Эта особенность выражается в характерных признаках различия в проявлениях SA не только на активных долготах, где дискретность особенно явно выражена, но и вне активных долгот. На такую дискретность обращали внимание и другие авторы (М. Вальдмайер, В. Бумба и др., хотя объяснения этого факта не приводились. Методы фрактального анализа открывают новые возможности интерпретации наблюдений. Теоретические обоснования фрактального метода изложены в работах Л.М. Зеленого и А.В. Милованова. В настоящей работе мы предлагаем простое обоснование свойств дискретности пространственно-временных характеристик SA на основе фрактального анализа. Произведенные расчеты в среде солнечного ветра в околоземном космосе позволяют классифицировать потоки в зависимости от величины их фрактальной размерности. В данном сообщении кратко обсуждается возможный механизм генерации высокоскоростных потоков СВ в рамках фрактальной парадигмы.

**ДИНАМИКА СКОРОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МАГНИТОСФЕРУ ВО ВРЕМЯ БОЛЬШИХ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

Т.В. Кузнецова, А.И. Лаптухов, В.Г. Петров

*ИЗМИРАН*

Ранее мы получили, что пересоединение с определяющей ролью взаимной ориентации электрического поля солнечного ветра и геомагнитного момента ( $M$ ) при учете эффектов орбитального и суточного движений Земли, является наиболее геоэффективным по сравнению с существующими механизмами. В модели пересоединения важна не только взаимная ориентации векторов, описывающих физику области взаимодействия, но и скорость пересоединения, зависящая от скорости поступления энергии к тем областям, где пересоединение теоретически возможно. В применении к магнитосфере это прежде всего области подсолнечной магнитопаузы, полярных шапок и каспов. Мы рассчитываем скорость поступления энергии к лобовой магнитопаузе на различных фазах большой геомагнитной бури (на основе расчета компоненты вектора Пойтинга, пропорциональной скорости пересоединения). Мы также рассчитываем скорость поступления энергии в высокоширотные области (на основе расчета компоненты вектора Пойтинга вдоль геомагнитного момента  $P_m$ ) и исследуем ее влияние на магнитную активность в полярной ионосфере (в авроральной зоне). Для расчетов используются измерения параметров солнечного ветра на орбите Земли, а для характеристики геомагнитной активности - соответствующие геомагнитные индексы. Результаты позволяют оценить вклад скорости поступления электромагнитной энергии солнечного ветра в низкоширотную и высокоширотную области магнитосферы в развитие магнитных бурь. Мы также оцениваем мощность электромагнитных источников солнечного ветра для нескольких больших бурь, для которых известны необходимые измерения параметров солнечного ветра, и сравниваем ее с мощностью источников энергии других геофизических процессов.

**К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ДЛЯ ПОИСКА И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ**

В.М. Корюкин

Марийский государственный университет 424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина – 1,  
МарГУ, ФМФ; E-mail: kvm@marsu.ru

Астрономические данные не позволяют сомневаться, что Вселенная относится к физическим системам, информация о которых не является полной. Для объяснения расхождения между предсказываемыми и экспериментальными значениями параметров, характеризующих движения галактик, было предложено ввести такое понятие как темная материя. Так как лабораторные эксперименты по обнаружению частиц, составляющих темную материю, не принесли положительных результатов, мы предлагаем еще раз обратить внимание на нейтринный фон Вселенной. Если нейтринный фон имеет температуру 2 К, то прямое наблюдение частиц не возможно и только их высокая плотность позволяет надеяться на успех косвенных наблюдений. Ранее было предложено использовать низкоэнергетический нейтринный фон Вселенной для объяснения гравитационных явлений с квантовых позиций, привлекая для этого эффект Казимира. В результате мы получили возможность связать гравитационную постоянную с параметрами, характеризующими электрослабое взаимодействие. Для экспериментальной проверки выдвинутой гипотезы в первую очередь напрашивается использование бета распада во всех модификациях. Здесь мы имеем обнадеживающие результаты при работе с тритием, когда при поиске массы нейтрино были обнаружены временные изменения параметров бета распада. Тем самым плотность нейтринного фона оказалась намного превосходящей предсказанной в стандартной модели Вселенной. В этом случае нейтринная составляющая солнечного ветра может быть образована не только в результате ядерных реакций идущих внутри Солнца, вследствие чего приобретает еще большее значение дальнейший мониторинг параметров, характеризующих слабое взаимодействие и нахождение их возможной корреляционной зависимости с наблюдаемыми событиями в солнечной системе.

**ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ**

В.М. Решетник

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко; vmr@univ.kiev.ua*

Солнечный ветер сложная динамическая система, содержащая переменные во времени и пространстве образования. Примером таких образований могут быть волновые процессы, частными случаями которых являются магнитогидродинамические и ударные волны. Процессы генерации и распространения волновых возмущений в солнечном ветре довольно сложны и до конца не изучены. Следует отметить, что особенностью распространения этих волн является сверхальвеновская скорость потока солнечного ветра, сильная турбулентность гелиосферной плазмы и межпланетного магнитного поля, значительное изменение параметров солнечного ветра с гелиоцентрическим расстоянием. Все эти факторы значительно модифицируют волновые возмущения в процессе их распространения.

Целью нашей работы было изучение квазипериодических процессов в солнечном ветре. Для этого использовались данные с компьютерной базы OMNI2, а также измерения с космических аппаратов ACE, WIND, Cluster. Результатом работы было создание каталога квазиволновых возмущений. На основании данного каталога для нескольких типичных случаев таких возмущений были построены спектры и найдены характеристики волновых фронтов благодаря наличию многоточечных наблюдений. Также были найдены потоки энергии переносимые этими возмущениями (фактически вектор Умова-Пойтинга), которые превышают фоновые в несколько раз. Наличие регулярного мониторинга состояния межпланетной среды позволило оценить изменение усредненного потока энергии переносимого волновыми возмущениями с циклом активности Солнца.

**МНОГОЧАСТИЧНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С УЧЕТОМ МНОГОКОМПОНЕНТНОСТИ ЕГО СОСТАВА**

Н.Р. Минькова

*Томский государственный университет, ФТФ*

Описание солнечной плазмы строится, исходя из предположения о неразличимости координат частиц на масштабах разрешения измерений (в пробном объеме), и, соответственно, на основе  $N$ -частичных функций распределения [1,2]. Размерность  $N$  определяется числом частиц в пробном объеме и зависит от координаты положения этого объема. По этой причине построение кинетических уравнений для указанных функций распределения затруднено. Последние находятся на основе полночастичных функций распределения, удовлетворяющих теореме Лиувилля, которая формулируется для рассматриваемой открытой системы в предположении о детальном динамическом равновесии системы с окружающей средой. При ряде упрощающих предположений данный многочастичный статистический подход приводит к полиномиальному распределению флуктуаций макропараметров многокомпонентной плазмы. Полученные теоретические результаты для полностью ионизованной водородной плазмы и с учетом ионов других веществ сравниваются с наблюдательными данными по солнечному ветру.

- [1] Минькова Н.Р. Известия вузов. Физика, 2004, т. 47, № 10. Приложение. (Прикладные проблемы сплошных сред. Тематический выпуск), С.73-80.  
[2] Minkova N.R. GSI Plasma Physics Annual Report 2006 High Energy Density Physics with Intense Ion and Laser Beams, GSI Report 2007-2, 2007, p.79

**С Е К Ц И Я «МАГНИТОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ****АЛЬФВЕНОВСКИЙ РЕЗОНАНС В ТРЕХМЕРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МОДЕЛЯХ МАНИТОСФЕРЫ**

В.А. Мазур

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск*

Исследуется имеющий принципиальное значение вопрос об альфвеновском резонансе в трехмерно-неоднородных моделях магнитосферы. Альфвеновский резонанс понимается как особенность поля гидромагнитной волны в приближении идеальной МГД. Используется система координат, в которой силовые линии являются координатными. Гидромагнитные колебания в трехмерно-неоднородной плазме описываются интергро-дифференциальным уравнением – дифференциальным по поперечным координатам и интегральным по координате вдоль силовой линии. Ядро интегрального оператора имеет особенности на двух магнитных поверхностях – полоидальной и тороидальной, которые являются различными поверхностями, если силовые линии магнитного поля кривые. Показано, что для заданной частоты имеется однопараметрическое семейство решений, каждое из которых имеет особенность на некоторой магнитной поверхности, своей для каждого решения. Получено уравнение, определяющее эти поверхности, и характер особенности на них. Все они расположены в области между полоидальной и тороидальной поверхностями. Однопараметрическое семейство резонансных поверхностей, вообще говоря, имеет огибающую поверхность, тоже магнитную. Поскольку все решения семейства обладают одной частотой, то любая их суперпозиция обладает той же частотой. Но суперпозиция по непрерывному параметру семейства дает решение, не имеющее особенностей на указанных резонансных поверхностях, но имеющее особенность на их огибающей. Таким образом, почти любое решение с заданной частотой имеет особенность – альфвеновский резонанс – на огибающей поверхности. Получено уравнение для огибающей и определен характер особенности поля на ней. Проанализирована регуляризация особенности при учете эффектов, выходящих за рамки приближения идеальной МГД.

**МОДЕЛЬ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМОСФЕРЫ**А.О. Солдаткин, Ю.В. Чугунов*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород*

Рассмотрена самосогласованная осесимметричная задача о стационарных конфигурациях плазмы вокруг вращающейся намагниченной планеты. Записана соответствующая замкнутая система магнитогидродинамических уравнений и уравнений токовой статики в предположении, что полярная составляющая массовой скорости анизотропно-проводящей среды равна нулю. В качестве простой модели расширяющейся плазмосферы рассмотрена задача о конфигурации и параметрах плазменной оболочки, состоящей из двух слоев. Внутренней части, ограниченной магнитной оболочкой  $L \leq L_c$ , где давление изотропно, а вращение азимутальное и твердотельное; и внешней части  $L \geq L_c$ , в которой, наряду с нетвердотельным азимутальным вращением, имеет место радиальное движение среды, а давление плазмы анизотропно. Причем в радиальном направлении используется политропный закон с температурой, зависящей от полярного угла, а в азимутальном – изотермический процесс с температурой, зависящей от расстояния до планеты. Первое предположение (политропа) записывается по аналогии с моделью Паркера для центрально-симметричной расширяющейся оболочки; второе предположение кажется естественным применительно к задаче о стационарном движении среды, в котором нет полярной составляющей скорости: в стационарном состоянии температура среды вдоль полярного направления выровнена, а вдоль радиального меняется. С использованием ряда упрощающих предположений получены аналитические решения нелинейной системы уравнений для плотности, радиальной и азимутальной скорости, давления и возмущений магнитного поля. Найденное решение соответствует адиабатическому расширению в радиальном направлении, непрерывности на границе плазмосферы  $L = L_c$  угловой скорости вращения оболочки и скачку плотности и давления на этой границе. Для

земных условий, как следует из полученного решения, граница плазмосферы соответствует значению  $L_c \approx 6.6$ . Отметим, что положение этой границы отвечает достаточно очевидному факту, что в приэкваториальной области сила тяжести не может компенсировать силу инерции из-за вращения, и частицы стремятся улететь на бесконечность.

### **САМОСОГЛАСОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ЧЕПМЕНА-ФЕРРАРО В КИНЕТИЧЕСКОМ РАССМОТРЕНИИ ДЛЯ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА И СОЛНЕЧНОГО СТРИМЕРА ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЕ ИЗОТРОПНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА ПЛАЗМЫ**

В.М. Губченко

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,  
603950, Ульянова 46, ua3thw@appl.sci-nnov.ru*

Проблема Чепмена Ферраро (ЧФП) о взаимодействии низкоскоростного потока плазмы с областью намагниченности лежит в основе изучения магнитосфер и солнечных стримеров (M/C). 3D ЧФП рассматривается в рамках самосогласованного аналитического решения стационарных уравнений Власова и Максвелла. Внешним потоком является горячая бесстолкновительная плазма с заданной изотропной функцией распределения частиц по скоростям (ФРС). Трехмерное аналитическое решение и набор кинетических параметров ЧФП следствие предложенного метода разделения частиц плазмы на группы «пролетных» и «захваченных» частиц. Пролетные частицы образуют поступательно «движущуюся среду» с собственными плазменными модами. Захваченные частицы совместно с источником магнитного поля образуют «магнитную квазичастицу». «Квазичастицу» мы задаем как стационарную трехмерную пространственную намагниченность образованную суперпозицией дипольной намагниченности и тороидальной намагниченности. Пространственный масштаб «квазичастицы», отношение интегральных токов в дипольной и тороидальной компонентах, углы взаимной ориентации компонент к скорости потока задают параметры «квазичастицы». «Квазичастицей» описывается 3D магнитная петля и магнитоактивная область шлемовидной структуры на Солнце, а также кольцевой и частично кольцевой токи во внутренней магнитосфере. «Квазичастица» возбуждает в «движущейся среде» токовые структуры, составленные из мод индукционного поля в виде набора магнитных жгутов или токовых слоев. Токи имеют резистивную и диамагнитную компоненты, отвечающие за «тонкие» токовые системы на фоне «толстых», которым соответствуют два вынужденных масштаба пространственной дисперсии. Аномальный скинновый масштаб выражается через локальное значение ФРС «резонансных» частиц. Магнитный масштаб Дебая выражается через параметр анизотропии, возникший из-за потока и определяемый интегральным видом ФРС «нерезонансных» частиц. Отношение квадратов масштабов  $G$ , соответствующее отношению диамагнитных и резистивных токов в «движущейся среде», мы называем «добротностью M/C».  $G$  – новый кинетический параметр взаимодействия с потоком, он определяется только формой ФРС потока. Топология M/C в резистивном состоянии  $G \ll 1$  асимметричная с «хвостом/стримером». При переходе в диамагнитное состояние  $G \gg 1$  топология становится симметричной и M/C «диполизуется».

### **ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СЖАТИЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ**

А.Г. Пономаренко, И.Ф. Шайхисламов

*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск*

Гигантские солнечные вспышки являются наиболее мощными явлениями в солнечной системе, оказывающие сильное воздействие на геофизические и спутниковые системы в околоземном космическом пространстве. В течение космической эры человечества случилось всего несколько таких событий с полной энергией более  $5 \cdot 10^{33}$  эрг, и вероятно только одно из них было направлено в сторону Земли (4 августа 1972 г.). Используя лазерную плазму и мощный магнитный диполь, проведен ряд экспериментов, моделирующих возможное

экстремальное (вплоть до радиационных поясов!) сжатие магнитопаузы Земли в результате воздействия на нее сверхмощного коронального выброса солнечного вещества. Полученные из первых принципов соотношения между критериями подобия нашли свое подтверждение в опытах на стенде КИ-1, где впервые с помощью потоков лазерной плазмы удалось создать искусственную магнитопаузу, в которой ионы можно считать замагниченными. С использованием специально разработанных зондовых и оптических методов измерены характеристики токового слоя в лобовой части магнитосферы и особенности формирования потоков плазмы в полярные области. Проведенные оценки показывают, что экстремальное сжатие магнитосферы Земли следует ожидать при потоках энергии солнечной плазмы более  $10^{34}$  эрг/стер. Возможно, что для обеспечения указанных потоков энергии потребуются разработка новых представлений о механизмах накопления и взрывного высвобождения магнитной энергии на поверхности Солнца.

## **ЕСТЕСТВЕННАЯ ДЕСЯТИЧАСОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСАХ ЮПИТЕРА**

П.А. Беспалов

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

В данной работе обсуждаются вопросы пространственно временной эволюции коллективных процессов в электронных радиационных поясах Юпитера, происходящих с периодом суточного вращения планеты. Рассмотрены механизмы синхронизации колебательных процессов в разных трубках магнитного поля. Отмечена возможная связь десятичасовой динамики потоков заряженных частиц и их радиальной диффузии.

## **ГЕНЕРАЦИЯ СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ СОБСТВЕННЫХ ULF МОД МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ**

А.В. Агапитов<sup>1,2,3</sup>, О.К. Черемных<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований НАНУ – НККУ, Киев, Украина*

<sup>3</sup> *LPCE CNRS, Orleans, France*

В работе исследовано проникновение в магнитосферу Земли МГД возмущений, возникающих при взаимодействии ударной волны в солнечном ветре с магнитопаузой. На основе измерений параметров плазмы солнечного ветра (космические аппараты Wind, ACE, Cluster), магнитного поля магнитосферы (космические аппараты Polar, Goes10, Geotail) и магнитного поля на поверхности Земли (база данных Intermagnet) установлено, что такие возмущения распространяются в виде быстрых магнитозвуковых волн. Их распространение сопровождается генерацией собственных магнитосферных мод с частотами, соответствующими частотам геомагнитных пульсаций Pc3-Pc5. Последние наблюдаются в магнитосопреженных точках на поверхности Земли. По спутниковым данным оценен пространственный масштаб силовой трубки, в которой колебания генерируются с одной и той же частотой. Установлено, что в экваториальной области внутренней магнитосферы пространственный масштаб «силовой трубки» составляет 2000-4000 км. Обнаружено, что в зависимости от направления распространения быстрой магнитозвуковой волны могут возбуждаться либо тороидальные альфвеновские моды, либо полоидальные моды, представляющие собой гибрид альфвеновских и медленных магнитозвуковых мод. Проведенное исследование свидетельствует о том, что энергетическое воздействие внешнего широкополосного источника, которым является ударная волна в солнечном ветре, фактически сводится к перекачке энергии солнечного ветра в энергию собственных колебаний магнитосферы. Такие события могут рассматриваться, как возможный механизм генерации собственных ULF мод магнитосферы Земли.



## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ S-ВСПЛЕСКОВ ДЕКАМЕТРОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЮПИТЕРА

В. Е. Шапошников, А. В. Костров, М. Е. Гуцин, С. В. Коробков, А. В. Стриковский

*Институт прикладной физики РАН, г.Нижний Новгород*

Декаметровое радиоизлучение Юпитера регулярно наблюдается почти при каждом появлении планеты в поле зрения радиотелескопов, начиная со времени его обнаружения в 1955 году. Это излучение состоит из шумовых бурь, образованных мощными спорадическими всплесками и наблюдаемых в диапазоне от нескольких мегагерц до 39 МГц. Еще на основе первых наблюдений было выделено излучение, занимающее на динамическом спектре небольшой частотный интервал,  $\Delta f / f \sim 10^{-2} \div 10^{-1}$ . Временная структура узкополосного излучения разнообразна. Часто это излучение наблюдается на динамическом спектре в виде отдельных импульсов (S-всплески) длительностью от нескольких миллисекунд до десятков миллисекунд. Характерной особенностью S-всплесков является отрицательный частотный дрейф, величина которого примерно пропорциональна частоте излучения. Часто импульсы S-излучения образуют на динамическом спектре квазипериодические последовательности с одним или несколькими периодами повторения, величина которых может достигать сотен миллисекунд. На динамическом спектре также наблюдается непрерывное узкополосное излучение, частотная полоса которого может осциллировать вокруг некоторой выделенной частоты. В работе предложен и обоснован механизм формирования тонкой структуры узкополосного декаметрового радиоизлучения Юпитера. Наше рассмотрение основывается на плазменном механизме генерации S-всплесков, согласно которому в ионосфере планеты вблизи частоты верхнего гибридного резонанса возбуждаются пламенные волны, которые затем конвертируются в быструю необыкновенную волну. Важным моментом этого механизма является сильная частотная дисперсия как плазменных волн, так и конвертированных электромагнитных волн. Хорошо известно, что при распространении волн с сильной частотной дисперсией в среде с изменяющимися из-за нестационарных возмущений параметрами амплитудно-частотные характеристики этих волн могут существенно измениться. Мы показали в модельных лабораторных и численных экспериментах, что при наличии нестационарных возмущений внешнего магнитного поля на динамическом спектре могут формироваться структуры, аналогичные наблюдаемым на динамическом спектре декаметрового радиоизлучения Юпитера: отдельные импульсы излучения, квазипериодические последовательности импульсов излучения и непрерывное излучение с осциллирующей частотной полосой. Период следования импульсов излучения или колебания частотной полосы при этом определяется характерным временем изменения внешнего магнитного поля. Необходимые возмущения магнитного поля могут создавать альфвеновские волны, возбуждаемые в ионосферном резонаторе планеты или приходящие от спутника Ио.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ГЕНЕРАЦИИ ХОРОВЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.Г. Демехов<sup>1</sup>, В.Ю. Трахтенгерц<sup>1</sup>, Е.Е. Титова<sup>2</sup>, Б.В. Козелов<sup>2</sup>, Э. Макушова<sup>3</sup>,  
О. Сантолик<sup>3</sup>, Дж.С. Пикетт<sup>4</sup>, Д.А. Гарнет<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;*

<sup>2</sup> *Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты;*

<sup>3</sup> *Институт физики атмосфера АН ЧР, Прага;*

<sup>4</sup> *Университет Айовы, США*

Проведено численное исследование формирования спектра хоровых ОНЧ излучений в магнитосфере Земли в рамках модели лампы обратной волны (ЛОВ). Продемонстрировано важное различие динамики спектра волн для случаев однородной среды и среды с параболической неоднородностью магнитного поля. Если в однородной среде характерный для ЛОВ переход от квазистационарной генерации к квазипериодической модуляции амплитуды и дальше к хаотической генерации происходит через практически симметричное уширение спектра волн (формирование высокочастотных и низкочастотных сателлитов), то в условиях параболического магнитного поля низкочастотный сателлит оказывается подавлен, и с ростом

концентрации энергичных электронов спектр выходного излучения приобретает характер последовательности дискретных элементов. Свойства этих элементов (амплитуда, дрейф частоты) хорошо соответствуют свойствам хоровых ОНЧ излучений. Таким образом, в численных расчетах продемонстрировано формирование хоровых излучений в нелинейной модели магнитосферной лампы обратной волны. На основе модели ЛОВ определена зависимость скорости дрейфа частоты в отдельном элементе от плотности фоновой плазмы. Сопоставление этой зависимости со свойствами хоровых элементов, полученными в результате обработки данных по ОНЧ излучениям, полученным на спутниках CLUSTER, продемонстрировало хорошее согласие теории и эксперимента при условии, что превышение концентрации электронов над порогом генерации находится в среднем на одном уровне для всех событий.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ГЕНЕРАЦИИ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ПЛАЗМЕ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН СВИСТОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ**

А.В. Костров, М.Е. Гущин, С.В. Коробков, А.В. Стриковский

*Институт прикладной физики РАН*

На экспериментальном плазменном стенде «Крот», моделирующем по параметрам подобия магнитосферу Земли, исследованы возмущения магнитного поля при распространении в плазме пучка высокочастотных свистовых волн. Обнаружено два механизма генерации квазистационарных токов и магнитных полей. В сильно столкновительной (холодной и плотной) плазме наблюдаются диамагнитные возмущения, связанные с омическим нагревом электронов в высокочастотном поле накачки. В слабостолкновительной (разреженной и прогретой) плазме регистрируются «быстрые» возмущения парамагнитного типа, обусловленные генерацией квазистационарных дрейфовых токов под действием усредненной пондеромоторной силы (силы Миллера). Показано, что амплитуда парамагнитных возмущений нелинейно зависит от амплитуды поля высокочастотной накачки. Изучена динамика возмущений магнитного поля; показано, что диамагнитные возмущения, связанные с нагревом плазмы, переносятся со скоростями порядка тепловой скорости электронов в прогретой высокочастотным полем области. «Быстрые» парамагнитные вариации магнитного поля, наблюдаемые в слабостолкновительной плазме, переносятся с групповой скоростью низкочастотных свистовых волн, определяемой спектром огибающей импульса накачки.

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ТОКОВЫЕ СИСТЕМЫ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ**

Е.Е. Антонова<sup>1,2</sup>, И.П. Кирпичев<sup>2,1</sup>, С.С. Россоленко<sup>1,2</sup>, Ю.И. Ермолаев<sup>2</sup>, И.Л. Овчинников<sup>1</sup>, К.Г. Орлова<sup>1</sup>, В.Н. Луценко<sup>2</sup>, Н.Л. Бородкова<sup>2</sup>, М.В. Степанова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,*

<sup>2</sup> *Институт Космических исследований РАН,*

<sup>3</sup> *Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.*

Приведены результаты анализа распределения гидродинамических параметров плазмы в магнитосфере Земли, полученные по данным высокоапогейных и авроральных спутников. Получены статистически усредненные распределения концентрации, температуры и давления плазмы по данным спутника ИНТЕРБОЛ/Хвостовой зонд в областях с плазменным параметром превышающим 0.5. Определено распределение флуктуаций скорости плазмы и вычислены коэффициенты квазидиффузии при различных уровнях геомагнитной активности. Получена зависимость коэффициента квазидиффузии от радиального расстояния, плотности и температуры плазмы. Анализируется структура магнитосферных токовых систем, поддерживаемых радиальными и азимутальными градиентами давления. Показано, что результаты наблюдений авроральных свечений дают возможность определять структуру вытекающих из ионосферы продольных токов. Определены величины токов, текущих в высокоширотной магнитосфере на квазидипольных магнитных силовых линиях. Обсуждаются вопросы о замыкании поперечных токов магнитосферы и вкладе различных токовых систем в геомагнитные возмущения во время магнитных бурь.

## СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

### ВОЗБУЖДЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ МОД МАГНИТОСФЕРНОГО РЕЗОНАТОРА НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ КЕЛЬВИНА – ГЕЛЬМГОЛЬЦА НА МАГНИТОПАУЗЕ

В.А. Мазур

*Институт солнечно – земной физики СО РАН, г. Иркутск*

В рамках одномерно – неоднородной модели магнитосферы и переходного слоя (магнитошиза) рассмотрена неустойчивость Кельвина – Гельмгольца на магнитопаузе. Неоднородность плазмы магнитосферы приводит к существованию собственных мод магнитозвукового типа (БМЗ), запертых между точкой отражения во внутренней магнитосфере и резким скачком скорости Альфвена на магнитопаузе. Наличие таких мод, а также учет неоднородности плазмы в магнитошизе приводит к существенной модификации неустойчивости Кельвина – Гельмгольца. Главным результатом работы является анализ зависимости частоты и инкремента колебаний от скорости течения плазмы в магнитошизе, точнее от параметра  $\Omega = \mathbf{kV}$ , где  $\mathbf{k}$  – тангенциальная (вдоль магнитопаузы) компонента волнового вектора, а  $\mathbf{V}$  – скорость течения плазмы в магнитошизе. Показано, что инкремент неустойчивости, рассматриваемый как функция параметра  $\Omega$ , имеет резкие максимумы вблизи частот собственных мод магнитосферного резонатора. Кроме того, исследована пространственная структура колебаний. Показано, что волновое поле колебания, соответствующего  $n$  – ой магнитосферной гармонике, имеет  $n$  узлов, которые в зависимости от значения параметра  $\Omega$  могут располагаться как внутри магнитосферы, так и в магнитошизе. Также в зависимости от значения параметра  $\Omega$ , асимптотика колебания может вид спадающей или убегаящей волны.

### ДИНАМИКА ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ САТУРНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Е.С. Беленькая<sup>1</sup>, S.W.H. Cowley<sup>2</sup>, И.И. Алексеев<sup>1</sup>, М.С. Блохина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова; ([elena@dec1.sinp.msu.ru](mailto:elena@dec1.sinp.msu.ru), [alexeev@dec1.sinp.msu.ru](mailto:alexeev@dec1.sinp.msu.ru), [marina@dec1.sinp.msu.ru](mailto:marina@dec1.sinp.msu.ru))

<sup>2</sup> Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, Leicester LE1 7RH, UK ([swhc1@ion.le.ac.uk](mailto:swhc1@ion.le.ac.uk))

Разница между взаимодействием солнечного ветра с магнитосферой Сатурна по сравнению со случаем Земли обусловлена уменьшением плотности плазмы и величины магнитного поля солнечного ветра с расстоянием от Солнца, а также изменением среднего угла ММП на орбите Сатурна. Другими причинами является быстрое вращение Сатурна и наличие источников магнитосферной плазмы. Кроме того, оказалось, что структура ММП, наблюдаемая на КА Cassini в 2003–2004 гг. во время подхода к Сатурну, включает в себя коротитирующие взаимодействующие потоки (CIRs), существующие на фазе спада цикла солнечной активности. Рассматриваются два события 16 и 26 января 2004г., когда возмущения солнечного ветра прошли мимо Cassini, а затем и Сатурна. После того как ударная волна солнечного ветра столкнулась с магнитосферой Сатурна, полярный овал стал ярче (особенно утром) и его радиус уменьшился. В обоих этих случаях энергия полярных сияний антикоррелировала с радиусом овала. Рассматривается влияние межпланетного магнитного поля и динамического давления солнечного ветра на динамику полярных сияний Сатурна.

Бикташ Л.З., **НЕТ ТЕЗИСОВ**

**МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С МАГНИТНЫМИ ОБЛАКАМИ**

Н.В. Еркаев

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

Рассмотрена численная МГД модель обтекания солнечным ветром магнитного облака, имеющего цилиндрическую форму. В расчетах используется конечно-разностная схема, основанная на методе Годунова. Целью работы является изучение эффектов, связанных с наличием в солнечном ветре компоненты магнитного поля, ортогональной оси облака. Получены решения для трех постановок задач: а) обтекание без магнитного пересоединения; б) обтекание с магнитным пересоединением в лобовой точке; в) взаимодействие магнитного облака с неоднородностью давления плазмы и магнитного давления в солнечном ветре. В качестве неоднородности рассмотрена плоская сбалансированная по давлению структура, характеризующаяся изменением магнитного давления при постоянном полном давлении.

В случае (а) происходит непрерывное накопление магнитного потока перед магнитным облаком, и это приводит к соответствующему значительному увеличению расстояния между границей облака и ударной волной. В случае (б) формируются ускоренные потоки плазмы в области пересоединения, расстояние до ударной волны стабилизируется, и действующая на облако сила сопротивления значительно уменьшается. Анализ случая (с) показал, что неоднородности магнитного поля в солнечном ветре усиливаются и накапливаются вблизи границы магнитного облака, формируя немонотонные профили магнитного поля и параметров плазмы в переходном слое.

**ГЕНЕРАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЦИКЛОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛАЗМЕ, УДЕРЖИВАЕМОЙ В ЛАБОРАТОРНОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ**С.В. Голубев, А.В. Водопьянов, А.Г. Демехов, Д.А. Мансфельд, А.Г. Шалашов*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

В проводимых на установке SMIS 37 в ИПФ РАН исследованиях циклотронной неустойчивости плазмы, поддерживаемой мощным излучением гиротрона в лабораторной магнитной ловушке пробочной конфигурации, обнаружен и исследован новый режим импульсного развития циклотронной неустойчивости. Он наблюдается на стадии распада плазмы, когда плазменная частота электронов  $\omega_p$  становится много меньше гирочастоты  $\omega_B$ . При этом, как и следует из теории, наличие энергичных электронов с анизотропным распределением по скоростям вызывает генерацию волн, распространяющихся почти перпендикулярно к внешнему магнитному полю. Эта неустойчивость подавлена в плотной плазме, когда могут генерироваться свистовые волны, из-за депрессии циклотронного излучения поперек магнитного поля. Такие условия близки по параметрам плазмы к условиям генерации аврорального километрового радиоизлучения в магнитосфере Земли. Переход через высокий порог возбуждения, обусловленный депрессией циклотронного излучения в плотной плазме, может достигаться как при распаде плазмы, так и за счет адиабатического магнитного сжатия, при котором отношение плазменной частоты к гирочастоте уменьшается от  $\omega_p / \omega_B > 1$  до  $\omega_p / \omega_B \ll 1$ . Адиабатическое увеличение магнитного поля сопровождается, кроме того, накоплением значительной энергии в горячей анизотропной электронной компоненте с последующим сбросом накопленной энергии в виде импульса стимулированного электромагнитного излучения в результате развития электронно-циклотронной неустойчивости. Процессы с сильным магнитным сжатием плазмы имеют место, например, во вспышечных магнитных петлях на Солнце.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ЭМИЦ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**А.А. Любич<sup>1</sup>, Н.В. Семенова<sup>1</sup>, А.Г. Яхнин<sup>1</sup>, А.Г. Демехов<sup>2</sup><sup>1</sup> Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия<sup>2</sup> Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

В приложении к условиям земной магнитосферы проведены расчеты коэффициента генерации электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн в бесстолкновительной двумерной плазме, описываемой системой уравнений Власова-Максвелла. Для описания распределения потоков энергичных ионов и распределения концентрации холодной плазмы использованы, соответственно, эмпирическая модель Milillo et al. (2001) и модифицированная модель Sheeley et al. (2001), учитывающая статистическое распределение областей холодной плазмы с повышенной концентрацией за плазмопаузой. Магнитное поле предполагалось дипольным. Коэффициенты отражения ЭМИЦ волн от сопряженных ионосфер рассчитывались с использованием модели IRI. Показано, что на  $3 < L < 9$  коэффициент генерации ЭМИЦ волн растет с увеличением L-оболочки и имеет максимум в долготном секторе 14-20 MLT. Полученные результаты согласуются с основными результатами наблюдений ЭМИЦ волн на спутниках в экваториальной магнитосфере.

**ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В НЕСТАЦИОНАРНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ С УЧЕТОМ СОХРАНЕНИЯ ТРЕХ АДИАБАТИЧЕСКИХ ИНВАРИАНТОВ**

В.В. Богданов

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
с. Паратунка, Камчатский край*

Рассматривается вопрос о построении системы координат  $(L, \alpha^{\circ}, v)$  (здесь  $L$ ,  $v$  и  $\alpha^{\circ}$  – соответственно параметр Мак-Илвейна, скорость (энергия) и питч-угол частицы на экваторе в дипольном поле), которая описывает динамику заряженных частиц в нестационарной магнитосфере при условии сохранения трех адиабатических инвариантов. Для однозначного определения поведения магнитных оболочек и дрейфующих по поверхности этих оболочек заряженных частиц, а также выбора модели возмущенной силовой линии, проанализированы деформации двух магнитных систем. Одна магнитная система, создаваемая двумя витками с током, соответствует пробкотрону, другая – магнитной системе, располагающейся во внешней части этих витков с током и подобной дипольной. Анализ характера деформаций инвариантных оболочек в геомагнитной ловушке во время магнитосферных возмущений позволяет упростить построение динамической системы координат, описывающей в дипольном приближении распределение заряженных частиц в области захвата радиации нестационарной магнитосферы Земли. Эта система координат переводит функцию распределения частиц в реальном деформированном поле в соответствующую функцию невозмущенного поля путем адиабатической вариации магнитного поля, что позволяет судить не только о степени вмороженности потоков в магнитное поле, но и о проникновении новых частиц в ловушку. На примере данных измерения потоков протонов, полученных за период 9–13 июля 1966г. на восстановительной стадии магнитной бури спутником «ОГО-3» и известных значений индекса  $D_{st}$ , показано применение элементов этой системы координат.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ПОЛЯРНОГО ВЕТРА НА ВЫСОТАХ ~20000 КМ**

Д.В. Чугунин

*Институт космических исследований РАН*

Представлены результаты измерений функций распределения холодных (до 100 эВ) ионов  $H^+$ ,  $He^+$  и  $O^+$  в полярной шапке на высоте около 20000 км. Проведен анализ зависимости их концентрации, продольной скорости и температур от сезона. Была предпринята попытка выявить потоки «чистого» полярного ветра, потоки ионосферных ионов как можно меньше

нагретых высыпающей магнитосферной плазмой. Выяснилось, что в зимний период, когда полярная шапка не освещена, скорости и концентрации ионов слишком малы, чтобы преодолеть положительный потенциал спутника и достигнуть детектора. В летний период были выявлены два характерных случая. Первый, когда продольная скорость ионов  $O^+$  была достаточно большой, чтобы преодолеть потенциальный барьер вокруг спутника, второй, когда скорость была меньше и ионы  $O^+$  не детектировались. Был проведен анализ зависимости продольной скорости ионов от потоков электронов полярного дождя. Оказалось, что при увеличении потока полярного дождя скорости ионов  $O^+$  возрастают.

### **ULF (1–6 мГц) ВОЛНОВАЯ АКТИВНОСТЬ В СИЛЬНУЮ МАГНИТНУЮ БУРЮ 15 МАЯ 2005 г.**

О.В. Козырева<sup>1</sup>, Н.Г. Клейменова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Институт физики Земли РАН, г. Москва*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований, Москва*

Исследуются необычные ULF явления в диапазоне частот 1-6 мГц во время различных фаз сильной магнитной бури 15 мая 2005 г. Данные глобальной сети наземных магнитных наблюдений (свыше 150 станций) используются для пространственно-временного анализа геомагнитных возмущений. Обнаружено, что начальная фаза бури характеризовалась сильным (до ~1000 нТл) магнитным бухтообразным возмущением, отличным от типичной суббури, в ночном и утреннем секторах, которое быстро распространилось в полярную шапку и сопровождалось генерацией геомагнитных пульсаций в полосе частот 1.5–5.0 мГц. Вейвлет анализ показал подобие вейвлет структур наземных магнитных пульсаций в полярной шапке и флюктуаций  $V_y$  компоненты ММП. Что позволяет предположить возможность прямого проникновения гидромагнитных волн из солнечного ветра в открытую полярную шапку. В главную фазу бури геомагнитные пульсации регистрировались в той же области пространства, что и необычные спиральные полярные сияния. В восстановительную фазу бури обнаружены квазимонохроматические длиннопериодные высокоширотные колебания, которые, по-видимому, связаны с колебаниями магнитопаузы.

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ В ИОНОСФЕРЕ НА ДИНАМИКУ ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

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

*Институт космических исследований РАН*

Авроральное километровое излучение (АКР) представляет собой наиболее интенсивное радиоизлучение [1], генерируемое в магнитосфере Земли [2]. Основной механизм генерации АКР - циклотронная мазерная неустойчивость, развивающаяся в областях с пониженной плотностью плазмы в авроральной магнитосфере, где электронная плазменная частота становится меньше гирочастоты электронов [3]. В работе исследуется положение области генерации АКР в зависимости от условий в ионосфере. По результатам статистической обработки измерений АКР в эксперименте ПОЛЬРАД на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 выявлена зависимость размеров и местоположения области генерации АКР от геомагнитной активности – при увеличении магнитных возмущений область генерации поднимается вверх. На основе двухлетних измерений выделены сезонные вариации интенсивности АКР: максимум излучения наблюдается в осенне-зимний, а минимум – в весенне-летний период. Делается предположение, что сезонные вариации и зависимость спектра от геомагнитной активности имеют единую физическую природу - изменение концентрации фоновой плазмы, обусловленное потоками плазмы из ионосферы в магнитосферу.

1. Бенедиктов Е.А., Гетманцев Г.Г., Митяков Н.А., Рапопорт В.А., Сазонов Ю.А., Тарасов А.Ф., Исследования космического пространства, М.: Наука, 1965, с. 581.
2. Gurnett D. A., J. Geophys. Res., 1974, 79, 4227.
3. Wu C.S., and Lee L. C., Astrophys. J., 1979, 230, 621.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА АКР ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СПУТНИКАХ ИНТЕРБОЛ-2 И ПОЛАР.**

Романцова Т.В. (1), Могилевский М.М. (1), Ханаш Я. (2), Буринская Т.М.(1) , Скальский А А. (1)

(1) – *Институт космических Исследований РАН , Москва, Россия*

(2) – *Космический Научный Центр ПАН, Торунь, Польша*

Согласно классическому механизму генерации Аврорального Километрового излучения (АКР) максимальный поток мощности должен быть почти перпендикулярен направлению магнитного поля в точке генерации. Однако измерения на различных КА показывают, что в тех случаях, когда удается определить положение источника, максимальный поток мощности АКР направлен вдоль магнитного поля. Используя одновременные измерения АКР на двух спутниках – ИНТЕРБОЛ-2 и ПОЛАР, определен максимальный раствор конуса излучения, его направление и местоположение источника АКР. Для стационарных источников раствор диаграммы излучения составляет ~ 50 градусов, а максимум излучения направлен вдоль силовой линии в области источника. Проекция положения источника сопряжена с видимой областью полярных сияний. Диаграмма направленности пульсирующих источников шире и составляет порядка 60-70 градусов, а проекция на ионосферу таких источников смещено к полярному краю видимой авроры по отношению к стационарным источникам. Из сравнения с теоретическими работами делается вывод о свойствах источников АКР и существенной роли волноводных мод в механизме генерации.

## С Е К Ц И Я «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

### НАНО- И МИКРОМАСШТАБНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ПЛАЗМЕННОЙ ГЕЛИОГЕОФИЗИКЕ

С.И. Попель

*Институт динамики геосфер РАН, Ленинский пр. 38, корп. 1, Москва 119334, Россия*

Рассмотрены основные направления исследований мелкодисперсной фазы, включающей нано- и микромасштабные частицы, и пылевой плазмы в плазменной гелиогеофизике. Основное внимание уделено описанию пылевого облака в Солнечной системе, пыли в магнитосфере Земли, магнитосферах Юпитера и Сатурна, влиянию заряженных наномасштабных частиц на ионосферу Земли и формирование серебристых облаков и полярных мезосферных радиоотражений, наблюдательным проявлениям коллективных процессов в запыленной ионосфере, взаимодействию солнечного ветра с пылевой комой кометы, процессам формирования временных атмосфер у космических тел, не имеющих собственной атмосферы, таких, как Луна, Меркурий, астероиды, кометы и др., заряженной пыли у поверхностей космических тел и в атмосферах планет. В большинстве описываемых ситуаций существенную роль играет взаимодействие солнечного излучения с мелкодисперсными частицами. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 06-05-64826-а) и Фонда содействия отечественной науке.

### ТЕНЗОРНАЯ МАГНИТОГАЗОДИНАМИКА – КВАЗИКИНЕТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПИСАНИЯ РАЗРЕЖЕННОЙ ПЛАЗМЫ

А.И. Лаптухов

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк Московской области, 142190; laptuhov@izmiran.ru*

Сделано интегральное преобразование кинетического уравнения (аналогичное преобразованию Фурье в пространстве скоростей) и предложен метод его решения. Приведён простой способ получения уравнений для моментов функции распределения любого порядка. При анализе распространения волн в однородной магнитоактивной покоящейся горячей плазме показано, что учёт в системе уравнений тензорной магнитогазодинамики (ТМГД) тензоров ранга  $k=2,3,\dots$  и пренебрежение тензорами более высокого ранга соответствует учёту волн на циклотронных гармониках до  $k$  включительно и пренебрежение гармониками выше  $k$ . Система уравнений ТМГД менее точно описывает поведение плазмы, чем кинетические уравнения, но более точно, чем многожидкостные МГД уравнения со скалярным давлением, в рамках которых циклотронные волны не описываются. Поэтому ТМГД является промежуточной (по степени точности и сложности описания поведения плазмы) между обычной МГД со скалярным давлением и кинетическими уравнениями. В стационарном осесимметричном случае найден достаточно широкий класс точных аналитических решений уравнения Власова, на основе которых предложены методы замыкания системы уравнений ТМГД для разреженной (слабостолкнутой) плазмы. В приближении цилиндрической симметрии сделаны расчеты структуры магнитоактивной плазмы с сильным поперечным электрическим полем, представляющие интерес для решения проблемы термоядерного синтеза.



## УСКОРЕНИЕ ЗАРЯДОВ ПАКЕТАМИ ВОЛН КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Л.А. Михайловская

*Институт космических исследований РАН, Москва*

Исследование механизмов формирования потоков ультрарелятивистских частиц входит в число актуальных задач физики космической плазмы и представляет интерес для проблемы генерации космических лучей. Одним из главных механизмов формирования потоков ультрарелятивистских частиц является серфинг зарядов на электромагнитных волнах. При этом для корректных оценок числа ускоренных частиц, их максимальной энергии и энергетических спектров необходим анализ условий захвата заряженных частиц в режим сильного ускорения пакетами из волн конечной амплитуды. В докладе изложены результаты численных расчетов захвата и последующего ультрарелятивистского ускорения зарядов в магнитоактивной плазме при их взаимодействии с двумя электромагнитными волнами конечной амплитуды, имеющими разные фазовые скорости и распространяющимися поперек внешнего магнитного поля. Полагая амплитуды волн постоянными, с учетом вихревой компоненты волновых полей и интегралов движения задача сведена к анализу нестационарного, нелинейного уравнения второго порядка диссипативного типа для фазы первой волны на траектории ускоряемой частицы. Амплитуды волн и их частоты полагаются близкими. Численный анализ полученного уравнения показал, что при соответствующей разнице фазовых скоростей волн влияние второй моды сравнительно невелико. Соответственно влияние второй моды на темп ускорения заряда первой волной оказалось несущественным. Можно ожидать, что при некоторых условиях вторая мода будет способствовать захвату и ускорению зарядов первой волной.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПОЛЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИПОЛЯ

В.Т. Сарычев

*Томский государственный университет; [Vsarychev@mail.tsu.ru](mailto:Vsarychev@mail.tsu.ru)*

Приводятся выражения компонент электромагнитного поля ортогонального ротатора, справедливые как в ближней, так и в дальней зоне. В отличие от модели Голдрейха, в которой электрическое поле является потенциальным, а ротатор – соосный, рассматривается только вихревое поле в предположении, что диполь имеет физически малые размеры и вращается в вакууме. Показано, что в ближней зоне значение косинуса угла между электрическим и магнитным полем близко к единице, кроме того, имеются области, где напряженность электрического поля превосходит напряженность магнитного. В этих условиях дрейфовое приближение движения заряженных частиц не применимо. В работе приводятся результаты численного расчета релятивистского движения заряженных частиц в поле ротатора. У быстро вращающихся ротаторов, обладающих большими значениями магнитного момента, значение Лоренц-фактора может достигать  $10^{12}$  у электронов и на три порядка меньше у протонов.

Показано, что вращение ротатора с параметрами диполя Земли должно индуцировать вихревое электрическое поле  $\sim 3$  В/км на расстоянии 10000 км от его центра. Не смотря на слабость, это поле способно ускорять заряженные частицы до десятков кэВ. Возможно, индуцированное вращением Земли электрическое поле играет заметную роль в формировании радиационных поясов. В магнитосфере Юпитера напряженность этого поля может достигать нескольких В/см.

## **АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАЦИОНАРНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ**

Д.Б. Коровинский, В.С. Семенов, Н.В. Еркаев, А.В. Дивин

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, физический факультет*

Построена аналитическая модель стационарного магнитного пересоединения в бесстолкновительной плазме в рамках приближения электронной холловской магнитогидродинамики (EHMHD). Показано, что решение задачи сводится к решению уравнения Греда-Шафранова для магнитного потенциала. Установлено, что искомое решение определяется потенциалом электрического поля, который должен обладать рядом характерных особенностей, жестко обуславливаемых физическими условиями задачи. Электрический потенциал должен испытывать скачок на сепаратрисах магнитного поля, причем величина этого скачка определяется величиной магнитного давления на верхней границе рассматриваемой EHMHD области. Показано также, что скорость движения протонов определяется из решения уравнения Бернулли.

## **СТРУННЫЙ МЕХАНИЗМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ КЕРРА**

В.С. Семенов, С.А. Дядечкин

*Санкт-Петербургский Государственный Университет*

Многие астрофизические объекты демонстрируют аномальную активность, связанную с истечением плазмы в виде биполярных потоков или джетов: активные ядра галактик, квазары, микро-квазары, молодые звезды, проэволюционировавшие звезды. Несмотря на масштабные различия, природа такой активности, по-видимому, связана с аккрецией намагниченной плазмы на центральный источник. Важным аспектом такого взаимодействия является наличие магнитного поля и дифференциального вращения. Магнитное поле играет роль проводов, которые соединяют центральный объект с окружающей плазмой, и могут переносить энергию и угловой момент от центрального источника в окружающее пространство и наоборот. Кроме того, магнитное поле способствует коллимации плазмы, а значит, именно оно является ответственным за формирование джета.

## **НЕУСТОЙЧИВОСТИ МГД ВОЛН В АНИЗОТРОПНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ**

Н.С. Джалилов, В.Д. Кузнецов

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН*

Исследована неустойчивость МГД волн в анизотропной, бесстолкновительной и разреженной горячей плазме. Свойства анизотропии такой плазмы вызваны сильным магнитным полем, когда тепловое давление плазмы вдоль и поперек поля могут быть неравными. Кроме этого, возникает анизотропия тепловых потоков. Плазма с анизотропными свойствами присуща условиям солнечной короны и солнечного ветра. Используются 16-ти моментные МГД уравнения, полученные из кинетического уравнения Больцмана-Власова, которые заметно отличаются от уравнений обычной изотропной МГД. Для малых возмущений из волновых уравнений однородной и анизотропной плазмы получено общее дисперсионное уравнение волн для случая несжимаемой среды. Получены решения дисперсионного уравнения и проведен их анализ. Показано, что в отличие от случая обычной изотропной МГД возможен широкий спектр волн с устойчивым и неустойчивым поведением. Исследована зависимость неустойчивых мод от магнитного поля, анизотропии давления и тепловых потоков. Получено общее условие неустойчивости. Результаты могут быть применены к теории нагрева короны Солнца и звезд, моделям солнечного ветра, к волнам в околоземной плазме и для ряда других космических объектов, где справедливо приближение бесстолкновительной анизотропной плазмы.

**Волокитин А., НЕТ ТЕЗИСОВ**

## СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЖИДКОМ ПРОВОДНИКЕ

В.В. Денисенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, [denisen@icm.krasn.ru](mailto:denisen@icm.krasn.ru)

Предложена новая математическая модель для описания стационарного магнитного поля в жидких проводниках с заданным распределением скорости  $\vec{V}$ . Рассматривается плоская двумерная задача, в которой все величины не зависят от координаты  $z$ , и векторы  $\vec{V}$ ,  $\vec{B}$  лежат в плоскости  $x, y$ . Тогда система уравнений магнитной гидродинамики в кинематическом приближении имеет вид

$$\text{rot}_z \vec{B} - \mu_0 \sigma [\vec{V} \times \vec{B}] = \mu_0 \sigma E_z^0, \quad \text{div} \vec{B} = 0,$$

где  $\sigma$  - проводимость,  $E_z^0$  - заданное электрическое поле. Обычно эта система сводится к уравнению конвекции-диффузии для векторного потенциала. Численное решение таких задач затруднено несамосопряженностью операторов. Для практически важного частного случая, когда отношение проводимости к плотности постоянно вдоль каждой линии тока, сформулирована новая краевая задача с симметричным положительно определенным эллиптическим оператором:

$$\begin{aligned} \text{div}(-\text{grad} F + \beta \text{grad} P) &= 0 \\ \text{div}(\beta \text{grad} F - (1 + \beta^2) \text{grad} P) &= \mu_0 \sigma E_z^0 \\ F|_{\Gamma} = 0, \quad \int P \, dx dy &= 0, \quad \left(-\frac{\partial F}{\partial n} + \beta \frac{\partial P}{\partial n}\right)|_{\Gamma} = B_n^0(l) \end{aligned}$$

где  $\beta$  - функция тока для векторной функции  $\mu_0 \sigma \vec{V}$ ,  $\mu_0 \sigma \vec{V} = (\partial \beta / \partial y, -\partial \beta / \partial x)$ ,  $B_n^0(l)$  - заданная на границе нормальная компонента  $\vec{B}$ . Новыми неизвестными являются потенциалы  $F, P$ , через которые решение исходной задачи строится по формуле

$$\vec{B} = -\text{grad} F + \begin{pmatrix} \beta & 1 \\ -1 & \beta \end{pmatrix} \text{grad} P$$

Обоснован принцип минимума функционала энергии, соответствующий минимизации энергии магнитного поля, являющегося отклонением от точного решения. Этот принцип позволяет использовать наиболее эффективные методы численного решения.

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАЛЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

А.А. Любич, И.В. Дэспирак

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

В процессе взаимодействия ударной волны с малыми возмущениями, распространяющимися в среде, ее положение испытывает малые смещения относительно стационарного невозмущенного состояния. Амплитуда смещения оказывается того же порядка малости, что и вызвавшие его возмущения, поэтому изменение состояния ударной волны необходимо учитывать. Традиционно принято считать, что с колебаниями поверхности ударной волны около стационарного положения связаны только два кинематических эффекта, а именно, необходимо учесть дополнительную скорость колеблющейся поверхности и колебания направления нормали к ней. Фактически при таком подходе ударная волна рассматривается как идеальная математическая поверхность, лишенная каких-либо физических свойств, на которой должны выполняться определенные граничные условия. Lubchich and Pudovkin (2004) показали, что такой подход приводит к серьезным методическим трудностям. Для их устранения необходимо учесть дополнительный динамический эффект, связанный с неинерциальностью колеблющейся ударной волны. Динамический эффект приводит к появлению дополнительных вариаций давления, действующих на поверхность нестационарной ударной волны. Здесь ударная волна рассматривается как физическая поверхность, имеющая очень малую, но

ненулевую, толщину и обладающая определенными физическими свойствами. Показано, как этот дополнительный динамический эффект влияет на решение задач о прохождении или отражении падающих волн от ударной волны и на условия гофрировочной неустойчивости ударной волны.

## **О ВЕКОВОМ УСКОРЕНИИ ФОБОСА**

Мордовская В.Г., Волокитин А.С.

*ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская область*

Наблюдаемая позиция Фобоса хорошо согласуется с моделями орбитального движения за одним исключением: Фобос оказывается чуть впереди предсказанного положения по орбите. В год разница достигает 0.8 секунд. Значение векового ускорения уточнялось в ходе экспериментов на спутниках Фобос 2, MGS и Mars Express и составляет порядка  $1.36 \cdot 10^{-3}$  град/год<sup>2</sup>. Действия приливных сил Марса недостаточно для объяснения этой величины и необходимо рассматривать другие причины, обуславливающие ускорение Фобоса по своей траектории.

В работе приведен обзор механизмов, способных обеспечить вековое ускорение Фобоса. Сделаны оценки магнитных диполей Марса и Фобоса, необходимых для существования векового ускорения спутника. Полученное значение для величины скалярного произведения диполей удовлетворяет верхнему пределу в эксперименте и составляет для Марса порядка  $10^{19}$  А м<sup>2</sup>, для Фобоса -  $10^{17}$  А м<sup>2</sup>.

## С Е К Ц И Я «ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН С ЗЕМНОЙ МАГНИТОСФЕРОЙ

А.А. Самсонов

*Санкт-Петербургский Государственный Университет*

Межпланетная ударная волна (МУВ), взаимодействуя с земной магнитосферой, претерпевает ряд изменений в результате прохождения через отошедшую ударную волну, переходный слой и магнитопаузу. Численные расчеты с использованием трехмерных магнитогидродинамических моделей и условий Рэнкина-Гюгонио показывают, что трансформированная быстрая ударная волна будет распространяться внутри магнитосферы со сверхальвеновской скоростью. Согласно численным расчетам, при взаимодействии данной ударной волны с плазмопаузой возникают прошедшая быстрая ударная волна внутри плазмосферы и отраженная ударная волна, движущаяся от Земли. Предполагается, что прошедшая ударная волна может достигнуть ионосферы и вызвать изменения ионосферной токовой системы, соответствующие основному импульсу внезапного начала (внезапного импульса) на наземных магнитограммах.

Взаимодействие отраженной ударной волны с магнитопаузой и отошедшей ударной волной приводит к тому, что движение двух последних по направлению к Земле на дневной стороне сменяется движением от Земли. Новые устойчивые положения магнитопаузы и отошедшей ударной волны после прохождения МУВ возникают, по-видимому, только после серии взаимодействий с отраженными волнами и разрывами.

### НАБЛЮДЕНИЕ ОБШИРНОГО ПЯТНА ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОШИРОТНОЙ МАГНИТОПАУЗЕ ПРИ СЕВЕРНОМ НАПРАВЛЕНИИ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

О.Л. Вайсберг<sup>1</sup>, В.Н. Смирнов<sup>1</sup>, Л.М. Зеленый<sup>1</sup>, Г.В. Койнаш<sup>1</sup> и Л.А. Аванов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная 84/32 117997 Москва, Россия;*

<sup>2</sup> *National Space Science and Technology Center, NASA Marshall Space Flight Center, Space Science Department /SD50, 320 Sparkman Drive, Huntsville, AL 35805*

19 октября 1995 г. на хвостовом зонде проекта ИНТЕРБОЛ при северном направлении межпланетного магнитного поля наблюдались явления пересоединения вблизи высокоширотной магнитопаузы северной доли магнитосферного хвоста. Представлены данные об открытой магнитной силовой трубке на магнитопаузе, для которой кинетическая картина согласуется с ее электродинамической структурой: ускорение магнитосферной и магнитослойных ионных компонентов, проходящих через вращательный разрыв, соответствует вычисленным для изогнутой силовой трубки, движущейся со скоростью деХоффмана-Теллера. Наиболее интересным представляется наблюдение магнитной полости с плазмой, испытавшей последствие пересоединения, в которой сумма добавленных энергий нагрева и ускорения почти точно равна энергии пересоединенного магнитного поля. Вычисленный линейный размер пересоединенной области превышает 3 радиуса Земли.

### ОБ ИСТОЧНИКАХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ СВЕРХ-ПЛОТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ В МАГНИТОСЛОЕ ЗЕМЛИ

С.П. Савин<sup>1</sup>, Л.М. Зеленый<sup>1</sup>, В.П. Будаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ИКИ РАН, Москва; ssavin @iki.rssi.ru*

<sup>2</sup> *Институт ядерного синтеза, РНЦ Курчатовский институт, Москва, Россия*

На основе спутниковых данных проектов «Интербол», Cluster и Geotail обсуждаются сверх-возмущенные зоны в магнитослое (magnetosheath, MSH), как за головной ударной волной у

Земли (bow shock, BS), так и перед магнитопаузой (magnetopause, MP). Показано наличие супер-диффузии в таких зонах. Между BS и серединой MSH регулярно регистрируются сверхвозмущенные зоны, преимущественно за параллельными и промежуточными ударными волнами. Их длительность (до 2 часов) превышает длительность ранее исследованных возмущенных областей перед высокоширотной MP, которые известны как турбулентный погранслой (turbulent boundary layers, TBL). В то время как TBL достаточно надежно идентифицируется со взаимодействием потока плазмы с горловиной каспа, сверхвозмущенные зоны за ударной волной еще ждут своего объяснения. Общими чертами зон как за BS, так и перед MP, являются интенсивность и спектральные характеристики возмущений. Анализ структурных функций магнитного поля и потока плазмы показал также близость степени перемежаемости флуктуаций, а также схожесть коэффициентов, получаемых при сравнении с лог-Пуассоновской моделью турбулентного каскада. Усиление резонансных колебаний на более низких частотах (в несколько мГц) также характерно для обоих типов зон. Однако, за BS не наблюдается би-когерентных фазовых соотношений, которые характерны для процессов 3х-волнового взаимодействия в TBL. Эти зоны содержат до нескольких десятков всплесков кинетического давления с амплитудой зачастую превышающей давление в невозмущенном солнечном ветре. Около 20% таких струй, наиболее вероятно, деформируют, или даже локально разрушают высокоширотную MP. Наконец, 2 независимые оценки характера зависимости от времени среднеквадратичного смещения элемента плазмы в таких зонах, свидетельствуют о наличии супер-диффузии в возмущенных зонах, что с необходимостью говорит о повышении потока вещества, по сравнению с классической диффузией, при взаимодействии струй с MP.

## ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ КАСПА

С. А. Романов

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия;*  
sroman@mx.iki.rssi.ru/Phone 495 333-11-00

В докладе представлены новые данные о свойствах волновых процессов в области земного магнитосферного каспа и в прилегающих слоях переходной области, полученные в результате анализа измерений полей и плазмы на четырех КА проекта Кластер от 13.02.2001. Большие амплитуды и кажущаяся неупорядоченность колебаний магнитного поля служат причиной того, чтобы говорить о турбулентном характере этих колебаний и пытаться исследовать их свойства методами, разработанными для исследования турбулентности. Не отрицая полезность таких усилий, следует, тем не менее, сказать, что подробный волновой анализ может дать ответы на некоторые вопросы, возникающие в процессе традиционных способов исследований турбулентности, на которые они ответить не могут. Это, касается, например, необходимости объяснить, с чем связаны отклонения от колмогоровского закона получаемых частотных и  $k$ -волновых спектров, и выявления конкретных механизмов возникновения колебаний и трансформации энергии в них. Волновой анализ показал, в частности, достаточно неожиданную вещь: высокую степень когерентности колебаний магнитного поля в диапазоне наблюдаемых частот 0.01 Гц – 5.6 Гц как в области каспа (что на первый взгляд особенно удивительно, принимая во внимание большие значения плазменного  $\beta$  здесь) так и в переходной области непосредственно перед каспом. Коэффициент когерентности везде оказался выше 0.6, возрастая до значений 0.8–0.95 именно внутри каспа. Таким образом, мы имеем дело в каждый отдельный момент с регулярными (нелинейными) колебаниями. Разложение по плоским волнам показало, что в составе этих колебаний обычно присутствуют волны, показывающие на отдельных участках дисперсионных зависимостей линейный ход изменения частоты от волнового числа, причем фазовые скорости волн на этих участках часто совпадают с одной из известных МГД волновых мод. Вместе с тем наиболее типичными чертами дисперсионных энергетических распределений во всей исследованной области пространства являются особенности, наблюдающиеся при резонансных значениях частоты и волнового числа, соответствующих ионно-циклотронным гармоникам и ларморовским радиусам ионов ионосферного и солнечного происхождения. Эти особенности таковы, что они явно указывают на постоянно возникающие спорадические процессы волнового распада, ведущие к каскадной передаче волновой энергии от длинноволновых колебаний к коротковолновым.

## СЕКЦИЯ «ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

### ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В МАГНИТОСЛОЕ И МАГНИТОСФЕРНЫЕ РСЗ ПУЛЬСАЦИИ – НОВЫЙ ВЗГЛЯД

О.М. Чугунова<sup>1</sup>, В.А. Пилипенко<sup>1</sup>, Г.Н. Застенкер<sup>1</sup>, Н.А. Шевырев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва*

Согласно доминирующим в космической геофизике представлениям первичным источником магнитосферных РСЗ пульсаций являются волны в форшоковой области (upstream waves) перед квази-параллельным участком фронта земной ударной волны (УВ). Согласно этим представлениям возбуждаемые волны сносятся потоком солнечного ветра к ударной волне и каким-то образом просачиваются в магнитосферу через магнитослой (МС) – переходную турбулентную область между УВ и магнитопаузой. В пользу этого мнения говорили многочисленные статистические исследования, которые показали, что интенсивности как upstream waves в форшоке, так и магнитосферных РСЗ пульсаций, контролируются конусным углом между нормалью к фронту УВ и ММП. Вопреки господствующим представлениям, мы выскажем гипотезу, что источником магнитосферных РСЗ волн являются не upstream waves в форшоке, а турбулентность МС. Эту точку зрения мы обосновываем рассмотрением большого числа событий, в которых волновая активность регистрировалась магнитометрами и датчиками частиц с высоким временным разрешением синхронно по разные стороны УВ на спутниках Interball и Geotail. Анализ вариаций магнитного поля и плазмы показывает, что генерация турбулентности в МС обусловлена несколькими возможными механизмами. Для тех событий, когда четко проявлялись эффекты изменения уровня турбулентности в МС при изменении конусного угла, сопоставление с данными наземных обсерваторий показало, что такие же изменения проявляются и для магнитосферных РСЗ пульсаций. Несмотря на ограниченную статистику проанализированных событий, нам представляется, что предложенная гипотеза позволяет с новой точки зрения взглянуть на проблему происхождения УНЧ волн в магнитосфере и заслуживает дальнейшего изучения и проверки.

### ВСПЛЕСКИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ 0.2 – 3 Hz, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ИМПУЛЬСАМИ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В.А. Пархомов<sup>1</sup>, Г.Н. Застенкер<sup>2</sup>, М.О. Рязанцева<sup>2,3</sup>, Б. Цегмед<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Байкальский государственный университет, Иркутск;*

<sup>2</sup> *Институт Космических Исследований, Москва;*

<sup>3</sup> *НИИЯФ МГУ им. Скобелева, Москва;*

<sup>4</sup> *Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, Иркутск*

На основе систематических наблюдений потоков ионов солнечного ветра на спутнике Интербол-1 с временным разрешением 1с и одновременных геомагнитных пульсаций на двух среднеширотных обсерваториях, разнесенных по долготе на 65°, представлены результаты исследования закономерностей всплесков геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2–3 Hz. Рассмотрены события с возбуждением этих пульсаций при взаимодействии с магнитосферой больших и резких скачков давления солнечного ветра, вызванных как изменениями только плотности ветра, так и фронтами межпланетных ударных волн. В обоих случаях при преимущественно северной ориентации вертикальной компоненты ММП генерируются кратковременные (длительностью < 5 минут) всплески пульсаций с девиацией частоты. При этом начальная частота всплесков зависит от величины скачка плотности. В докладе обсуждаются возможные механизмы генерации пульсаций.

**ВОЛНОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТОПАУЗЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ THEMIS**А.В. Агапитов<sup>1,2</sup>, Е. Панов<sup>3,4</sup>, Н.У. Auster<sup>5</sup><sup>1</sup> *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина;*<sup>2</sup> *LPCE CNRS, Orleans, France;*<sup>3</sup> *Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau, Germany;*<sup>4</sup> *Институту космических исследований РАН, Москва, Россия;*<sup>5</sup> *Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, Germany*

В работе рассмотрены параметры периодического движения поверхности магнитопаузы по материалам наблюдений системы THEMIS на промежуточной орбите в апреле-сентябре 2007 г. За период апрель-октябрь 2007 г. система THEMIS порядка 300 раз пересекала магнитопаузу. При этом более половины пересечений были неоднократными. Амплитуды колебаний магнитопаузы лежат в диапазоне от 0.1 до 2.2 RE. Были рассмотрены направления нормалей к поверхности магнитопаузы и скорость ее перемещения. Предложен алгоритм разделения различных случаев движения поверхности: одномерного движения магнитопаузы как целого (flapping) и движения по поверхности магнитопаузы двухмерных волновых структур. Показано, что поверхностные волны характерны для флангов магнитосферы, а одномерные осцилляции характерны для дневного сектора. Также, для волновых структур характерна большая скорость перемещения поверхности: 50-150 км/с (для одномерных осцилляций 10-70 км/с). Генерация волновых структур на флангах магнитосферы может быть связана с осцилляциями магнитопаузы (связанными либо с периодическими изменениями параметров солнечного ветра и магнитослоя, либо с собственными колебаниями магнитосферы) в полуденном секторе и вызванными ими неоднородностями поверхности магнитопаузы. Это неоднородности сносятся в хвост со скоростью 140-180 км/с. В случае, если осцилляции имеют квазипериодический характер, на флангах магнитосферы могут наблюдаться волноподобные возмущения.



**С Е К Ц И Я «ТОКОВЫЕ СЛОИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ****СТРУКТУРА ТОКОВОГО СЛОЯ ПРИ СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ**

А.А. Петрукович

ИКИ РАН

При сдвиговой деформации плазменного слоя хвоста магнитосферы Земли происходит вертикальное смещение трубок магнитного поля. На простейших моделях показано, что при такой деформации существенно искажается профиль плотности тока в слое, наблюдаемый космическими аппаратами. В том числе могут регистрироваться вложенные, несимметричные, и бифурцированные слои, что в первую очередь связано с неоднородностью сдвиговых движений. Модельные результаты хорошо согласуются с наблюдениями.

**НИЗКОЧАСТОТНЫЕ МОДЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТОКОВОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ**А.В. Артемьев<sup>1,2</sup>, Л.М. Зелёный<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>1,3</sup>, В.Ю. Попов<sup>1,2</sup><sup>1</sup> *Институт Космических исследований РАН,*<sup>2</sup> *Физический факультет МГУ,*<sup>3</sup> *НИИЯФ МГУ*

Среди множества собственных мод колебаний одномерного токового слоя магнитосферы Земли наиболее изученными являются разрывная (tearing-) и изгибная (kink-) моды. Их изучение в рамках изотропных моделей токовых слоёв выявило ряд существенных расхождений теоретических представлений с экспериментальными данными и результатами моделирования. Так, для разрывной неустойчивости было установлено, что в присутствии нормальной компоненты магнитного поля (остаточное поле диполя Земли), данная мода полностью стабилизируется, благодаря большому вкладу энергии «сжимаемости» замагниченных электронов. Однако, регулярные наблюдения разрушения токового слоя в земной магнитосфере и результаты моделирования, в которых происходит пересоединение магнитных силовых линий, свидетельствуют о том, что развитие разрывной неустойчивости возможно. В нашей работе показано, что данная возможность реализуется для тонких анизотропных токовых слоёв, а характерные времена развития неустойчивости составляют 1-2 минуты. В отличие от изотропных моделей, для изгибной неустойчивости в тонком анизотропном токовом слое собственные частоты оказываются значительно меньше (порядка 0.01 Гц), что позволяет говорить о данной неустойчивости как о возможной причине колебаний токового слоя земной магнитосферы.

**ПЕРМАНЕНТНОЕ СТОХАСТИЧЕСКОЕ УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТОКОВОМ СЛОЕ**Л.М. Зелёный<sup>1</sup>, А.В. Артемьев<sup>1,2</sup>, Х.В. Малова<sup>1,3</sup><sup>1</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва;*<sup>2</sup> *Физический факультет МГУ, Москва*<sup>3</sup> *НИИЯФ МГУ, Москва*

Рассмотрены эффекты ускорения и переноса заряженных частиц в двумерной конфигурации ансамбля плоских электромагнитных волн, распространяющихся во всех направлениях с постоянной фазовой скоростью. Как ускорение частиц, так и их перенос имеют строго недиффузионный характер и сильную зависимость от топологии турбулентной компоненты магнитного поля. Как один из параметров топологии турбулентности в работе

найдена средняя «занулённость» магнитного поля, определяемая как отношение числа нулей поля, пересекаемого частицей вдоль своей траектории, к среднему числу нулей поля вдоль прямых линий. Обнаружено, что при прохождении потока частиц через ограниченную в пространстве область турбулентных динамических электромагнитных полей, в этой области формируется функция распределения частиц по скоростям со степенными крыльями. Построенное распределение по пространственным скачкам заряженных частиц сильно зависит от соотношения турбулентной и стационарной компонент магнитного поля. Так, в случае отсутствия регулярной компоненты магнитного поля распределение частиц по скачкам с ростом скачков спадает медленнее распределений Леви.

### **МОДЕЛЬ МНОГОМАСШТАБНОГО ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С ДВУХТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ. СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ**

Л.М. Зелёный<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>1,3</sup>, В.Ю. Попов<sup>1,2</sup>, А.В.Артемьев<sup>1,2</sup>, А.П. Петрукович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИКИ РАН;

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ;

<sup>3</sup> НИИЯФ МГУ

Построена модель тонкого анизотропного токового слоя, поддерживаемого двумя популяциями протонов с различными тепловыми скоростями и электронной компонентой. Получен эффект существенного расширения токового слоя за счёт увеличения концентрации горячей захваченной плазмы, попадающей в токовый слой, возможно, в результате магнитосферной конвекции. Формирование многокомпонентного токового слоя сопровождается созданием многомасштабной вложенной структуры. Существование одновременно в токовом слое двух ионных популяций с различными температурами проявляется в разделении масштабов и способствует росту многообразия возможных профилей плотности тока. Таким образом, эффективное расширение множества модельных профилей позволяет лучше описать экспериментально наблюдаемые токовые слои магнитосферы Земли.

В работе показано, что тонкая структура и многопараметрический характер модельного анизотропного токового слоя дают возможность описать значительную часть экспериментальных данных по плоским токовым слоям, наблюдаемым при быстрых пересечениях спутниками нейтральной плоскости в процессе измерений.

### **УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ МЕРКУРИЯ В ПРОЦЕССЕ МНОГОКРАТНЫХ СУББУРЕВЫХ ЦИКЛОВ**

А.Г. Коржов<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, В.Ю. Попов<sup>2,4</sup>, Л.М. Зелёный<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МИФИ,

<sup>2</sup> ИКИ РАН,

<sup>3</sup> НИИЯФ МГУ,

<sup>4</sup> Физический факультет МГУ

Построена трёхмерная модель множественных диполяризации в магнитосферах Меркурия и Земли. Общая конфигурация полей в изучаемой модели складывается из трёхмерного диполя планеты, магнитного поля токового хвоста и крупномасштабного динамического электрического поля. Рассмотрен механизм влияния индукционного электрического поля. В данной конфигурации, в зависимости от соотношения между размерами магнитосферы и гирорадиусами заряженных частиц, возможны разные сценарии развития событий. В противоположность результатам, полученным для земной магнитосферы, в хвосте магнитосферы Меркурия, из-за её малых размеров (связанных с малостью дипольного момента), изучаемый механизм не позволяет заряженным частицам достигать больших энергий (например, максимум энергии ~ 40-50 кэВ для ионов и электронов).

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ 1-МЕРНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ТОКОВОГО СЛОЯ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ

О.В. Мингалев<sup>1</sup>, И.В. Мингалев<sup>1</sup>, Х.В. Малова<sup>2,3</sup>, Л.М. Зеленый<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Полярный геофизический институт Кольского Научного Центра РАН, Апатиты;

<sup>2</sup> НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва;

<sup>3</sup> Институт космических исследований РАН, Москва

При помощи численной самосогласованной модели, основанной на методе крупных частиц, получены квазистационарные несимметричные конфигурации пространственно 1-мерного тонкого токового слоя (ТТС) в хвосте магнитосферы с постоянной нормальной компонентой магнитного поля. Слой образован встречными потоками плазмы, которые движутся из долей хвоста вдоль силовых линий магнитного поля. Несимметричность слоя создается несимметричностью источников плазмы в долях хвоста. Полученные конфигурации качественно хорошо соответствуют результатам аналитической модели асимметричного ТТС, разработанной ранее Х.В. Маловой и Л.М. Зеленым.

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ТОКОВ ХОЛЛА В ТОКОВЫХ СЛОЯХ

А.Г. Франк, С.Г. Бугров, В.С. Марков

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

Возбуждение токов Холла в токовых слоях, развивающихся в плазме с тяжелыми ионами, было обнаружено в лабораторных экспериментах, которые проводятся на установке ТС–3D (ИОФ РАН). В 3D магнитных конфигурациях с особой линией **X** типа наблюдались асимметричные изогнутые плазменные слои, деформация которых была объяснена взаимодействием токов Холла с продольной компонентой магнитного поля. В 2D магнитных конфигурациях с нулевой линией было обнаружено появление третьей компоненты магнитного поля, которая отсутствует в исходном 2D поле, не может быть обусловлена основным током в слое, направленным вдоль нулевой линии, но может возникнуть за счет токов Холла. При этом было установлено, что третья компонента магнитного поля имеет «квадрупольную» структуру, что характерно для возбуждения в слое токов Холла. Обнаружено, что в пределах токового слоя имеются токи Холла противоположных направлений, текущие в средней плоскости слоя от периферии к нулевой линии, а при смещениях в обе стороны от средней плоскости – в обратном направлении. При этом токи прямого и обратных направлений практически полностью компенсируют друг друга, т.е. образуют замкнутые токовые контуры в плоскости перпендикулярной к нулевой линии. Со временем токи Холла затухают тем быстрее, чем меньше масса ионов плазмы. Характерно, что пространственные области, где сконцентрированы токи Холла обоих направлений и основной ток в слое расположены внутри области, ограниченной сепаратрисами поперечного 2D магнитного поля токового слоя.

## НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВОЛНЫ В ПОГРАНИЧНОМ ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ (БИМЛЕТАМИ)

Е.Е. Григоренко<sup>1</sup>, Т.М. Буринская<sup>1</sup>, Л.М. Зеленый<sup>1</sup>, Ж.-А. Сово<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт космических исследований РАН, Москва;

<sup>2</sup> CESR, Toulouse, France

В пограничном плазменном слое (ППС) хвоста магнитосферы Земли часто наблюдаются пучки ускоренных ионов (бимлеты) движущиеся вдоль силовых линий магнитного поля с высокими скоростями (> 1000 км/с). Бимлеты являются результатом неадиабатического ускорения плазмы в дальних областях токового слоя геомагнитного хвоста. Двигаясь затем к Земле, они вносят вклад в транспорт энергии и импульса плазмы из дальних областей хвоста во внутреннюю магнитосферу. Спутниковые наблюдения показали, что при прохождении высокоскоростного ионного пучка вдоль высокоширотной границы ППС наблюдается

увеличение энергии холодной плазмы, заполняющей прилегающую высокоширотную часть хвоста. Эта плазма, как правило, ионосферного происхождения, движется от Земли со скоростями  $\leq 50$  км/с. Однако, во время прохождения бимлета по границе ППС энергия холодной плазмы может возрасти до 1 кэВ за счет увеличения её дрейфовой скорости. Это явление объясняется тем, что с высокоскоростным бимлетом связано возмущение силовых линий магнитного поля, вдоль которых распространяется бимлет. Это возмущение в виде альвеновской волны движется к Земле и его электрическое поле вызывает дрейфовое движение холодной плазмы в прилегающей к ППС высокоширотной части хвоста. Статистический анализ 90 бимлетов наблюдаемых спутниками Cluster на высокоширотной границе ППС показал, что подобные явления наблюдались в 60% случаев, при этом скорость бимлета была сравнима либо превышала  $2V_A$  ( $V_A$  – локальная альвеновская скорость). Характерные длины волн магнитных возмущений ассоциированных с бимлетами составляли  $\sim 30-50 R_E$  ( $R_E$  – земной радиус). Статистический анализ величин вектора Пойнтинга альвеновских волн связанных с бимлетами показал, что в большинстве случаев он был менее  $0.01$  эрг/(см<sup>2</sup>·с), однако в некоторых случаях, во время активных периодов он превышал  $0.05$  эрг/(см<sup>2</sup>·с), что в проекции на ионосферу составляло  $\sim 10$  эрг/(см<sup>2</sup>·с). Для объяснения природы связанного с бимлетами возмущения теоретически исследована возможность возникновения неустойчивости Кельвина-Гельмгольца для трехслойной модели плазмы с параметрами характерными для высокоширотной части хвоста, ППС содержащего высокоскоростной бимлет и плазменного слоя. Причем, слой соответствующий ППС был ограничен вдоль Z. Показано, что неустойчивость Кельвина-Гельмгольца возникает в ограниченном диапазоне длин волн  $1-60 R_E$  при скорости пучка превышающей двойную альвеновскую скорость, что соответствует характеристикам альвеновских возмущений наблюдаемых в ППС во время прохождения высокоскоростных бимлетов.

## **ДИНАМИКА ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА: ВЗАИМОСВЯЗЬ ТОНКИХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ**

А.П. Кропоткин и В.И. Домрин

*НИИЯФ МГУ*

В динамике геомагнитного хвоста различаются два разных временных масштаба. Меньший масштаб  $T_1$  отвечает возмущениям, распространяющимся в долях хвоста, которые имеют относительно сильное магнитное поле и низкую плотность плазмы. Большой масштаб  $T_2$  отвечает движениям плазмы в плазменном слое, имеющем малую нормальную компоненту магнитного поля и относительно более высокую плотность. Возмущение, появляющееся в геомагнитном хвосте на временном масштабе  $T_1$  порождает (слабую) потерю равновесия на промежуточных пространственных масштабах (несколько  $R_E$ ) в плазменном слое. Теоретические соображения и численное моделирование показывают, что процесс релаксации, которая затем происходит на временном масштабе  $T_2$ , приводит к появлению предельно тонких вложенных токовых слоев, а также к генерации быстрых плазменных потоков. Этот процесс дает эффективный механизм трансформации магнитной энергии, запасенной в геомагнитном хвосте, в кинетическую энергию плазменных потоков. Такие быстрые потоки могут порождать турбулентные движения плазмы на меньших пространственных масштабах. Быстрые МГД составляющие рассматриваемого возмущения могут служить причиной возникновения новых срывов равновесия на удалении от зоны первоначальной релаксации и вызывать там подобные же повторные процессы. Возникающая перемежаемость, по-видимому, является реальной характерной особенностью турбулентных возмущений, экспериментально наблюдаемых в плазменном слое.

**МГД КОЛЕБАНИЯ ТОКОВОГО СЛОЯ, СВЯЗАННЫЕ С ГРАДИЕНТОМ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Н.В. Еркаев, В.С. Семенов

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

На основе одножидкостной МГД модели рассмотрены колебания и неустойчивость токового слоя, возникающие при наличии градиента нормальной компоненты магнитного поля. Данная мода изгибных колебаний токового слоя ассоциируется с «флэппинг» волнами, наблюдаемыми в токовом слое геомагнитного хвоста. Получены решения для двух различных модельных распределений плотности тока поперек токового слоя, описываемых квадратичной функцией и функцией типа Харриса. Для обоих случаев получены дисперсионные зависимости. Сравнение этих зависимостей показало довольно слабое влияние формы поперечного профиля плотности тока на вид дисперсионной кривой. Токовый слой может быть устойчивым или неустойчивым в зависимости от направления градиента нормальной компоненты магнитного поля (к Земле или от Земли). Профиль плотности тока типа Харриса отвечает минимальному инкременту или минимальной частоте колебаний. Для любого другого профиля частота и инкремент будут только больше. На основе найденной дисперсионной зависимости рассчитаны волновые возмущения, инициированные заданным начальным возмущением гауссовой формы в центре слоя и распространяющиеся к флангам. Возмущения имеют гладкий фронт и осциллирующий шлейф, так как коротковолновые гармоники распространяются гораздо медленнее длинноволновых. Характерная групповая скорость волн составляет несколько десятков километров в секунду.

**С Е К Ц И Я «ТОКОВЫЕ СЛОИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ****АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ЧАСТИЦ В ТОКОВОМ СЛОЕ**

Б.В. Сомов, А.В. Орешина

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга*

В работе рассмотрено нерелятивистское движение заряженных частиц в высокотемпературном турбулентном токовом слое с тремя компонентами магнитного поля. Получено аналитическое решение уравнения движения в адиабатическом приближении. Это решение описывает устойчивое движение, при котором частицы остаются в слое долгое время. Определены условия устойчивости траекторий, учитывающие начальные скорости частиц.

**КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКИХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ ВБЛИЗИ ЛИНИИ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ**

А. Дивин<sup>1</sup>, В. Семенов<sup>1</sup>, Д. Коровинский<sup>1</sup>, А. Артемьев<sup>2</sup>, М. Ситнов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет;

<sup>2</sup> Московский Государственный Университет;

<sup>3</sup> JHU, Applied Physics Laboratory, USA

В недавних вычислительных работах по магнитному пересоединению в бесстолкновительной плазме было установлено, что размер диффузионной области значительно больше, чем предполагалось ранее на основе скейлинга обобщенного закона Ома. Было также обнаружено, что электронная диффузионная область имеет вложенную структуру. Во "внутренней" диффузионной области дивергенция тензора анизотропного давления электронов создает электрическое поле пересоединения, тогда как во внешней области существует узкий электронный джет, не замороженный в плазму. В нашей работе мы исследуем процесс пересоединения методом численного моделирования PIC в 2,5 мерном приближении, с учетом движения и электронов, и протонов. Мы установили, что во "внешней" диффузионной

области на расстоянии нескольких ионных инерционных длин от X-линии существуют тонкие токовые слои с бифурцированной структурой тока. Тензор давлений как во внешней, так и во внутренней диффузионной области существенно негиротропный, а функции распределения значительно отличаются от максвелловских.

### **ТОКОВЫЕ СЛОИ И ФИЛАМЕНТЫ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНОЙ ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ**

В.В. Кочаровский, В.Ю. Мартьянов

*УРАН Институт прикладной физики РАН*

Получен класс стационарных аналитических решений системы из бесстолкновительного кинетического уравнения для релятивистской плазмы и уравнений Максвелла. Найденные решения описывают различные стационарные плоскостойкие и цилиндрически симметричные токовые структуры, в которых функция распределения частиц по релятивистским импульсам обладает цилиндрической симметрией относительно направления вектора плотности тока. Проанализированы сходства и различия с полученными ранее решениями, имеющими двумерную функцию распределения частиц. Для полиномиальной зависимости функции распределения частиц по импульсам от проекции обобщенного импульса частиц на ось симметрии удалось в конечной форме записать источники в уравнении для векторного потенциала и явно выразить их через этот потенциал. Выведенное нелинейное, обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка аналогично уравнению осциллятора с произвольным профилем потенциальной энергии, задаваемым определёнными моментами функции распределения, и в общем виде решается в квадратурах, а во многих случаях - до конца. Исследованы свойства найденных решений, ограничения на возможные масштабы, параметры частиц и энергосодержание в самосогласованном магнитном поле. Проведено сравнение с известным решением Харриса, которое является частным случаем из найденного класса решений.