

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

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

*17–20 ФЕВРАЛЯ 2009 г., ИКИ РАН*

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

г. Москва

**К о н ф е р е н ц и я «Физика плазмы в солнечной системе»  
17–20 февраля 2009 г., ИКИ РАН**

**ПРОГРАММА**

**Вторник, 17 февраля. 09:30-19:00**

09:30-10:00 Регистрация. Фойе конференц-зала ИКИ РАН.  
10:00-10:05 Открытие конференции. Конференц-зал ИКИ РАН.

**Секция «Солнце». Конференц-зал ИКИ РАН.**

Председатель: Струминский А.Б.

10:05-10:30 Котов Ю.Д. Проект Коронас-Фотон  
10:30-10:55 Сомов Б.В., Новые результаты и новые вопросы в физике больших солнечных вспышек  
10:55-11:15 Гречнев В.В., Уралов А.М., Черток И.М., Афанасьев Ан.Н., Наблюдения возникновения и распространения корональных волн.  
11:15-11:30 Подгорный А.И. и Подгорный И.М., Метод нахождения положения токовых слоев в короне.  
11:30-11:45 Цап Ю.Т., Степанов А.В., Копылова Ю.Г., Баллонная неустойчивость и «стандартная» модель солнечных вспышек.  
11:45-12:10 Перерыв на кофе.

Председатель:

12:10-12:25 Урнов А.М., Богачев С.А., Горяев Ф.Ф., Кузин С.В., Рева А.А., Шестов С.В., Диагностика горячих плазменных структур в солнечной короне по данным экспериментов на КА КОРОНАС.  
12:25-12:40 Ишков В.Н., Вспышечная активность последнего 22-летнего цикла СА I.  
12:40-12:55 Жугжда Ю.Д., Колебания Солнца и звезд и температурные волны в фотосфере.  
12:55-13:10 Накаряков В.М., Мельников В.Ф., Квази-периодические пульсации в солнечных вспышках.  
13:10-13:25 Наговицын Ю.А., Наговицына Е.Ю., Локальная гелиосейсмология: наблюдения долгопериодических колебаний солнечных пятен.  
13:25-13:40 Тлатов А.Г., Нерадиальное распространение корональных стримеров в солнечном цикле.  
13:40-14:40 Обед  
14:00-15:00 Заседание совета программы  
14:30-15:30 Просмотр стендовых докладов (для секций «Солнце» и «ионосфера»).

Председатель:

15:30-15:55 Гаврюсева Е., Структура и динамика магнитного поля Солнца.  
15:55-16:10 Пипин В.В., Анизотропный диамагнитный перенос и динамо в слое проникающей конвекции.  
16:10-16:25 Курт В.Г., Юшков Б.Ю., Белов А.В., Высокоэнергичное гамма-излучение солнечных вспышек, потоки протонов и электронов, измеренные на 1 а.е.  
16:25-16:40 Соловьев А.А., Роль меридиональной циркуляции в развитии солнечного магнитного цикла.  
16:40-17:05 Перерыв на кофе

Председатель:

17:05-17:20: Филиппов Б.П., Кривизна осей корональных стримеров и глобальное магнитное поле.  
17:20-17:35 Гельфрейх Г.Б., Абрамов-Максимов В.Е., Кобанов Н.И., Шибасаки К., Результаты и перспективы исследования квазипериодических колебаний микроволнового излучения активных областей Солнца.  
17:35-17:50 Чернов Г.П., Фомичев В.В., О механизмах генерации зебра-структуры в солнечном радиоизлучении.

- 17:50-18:05 Богод В.М., Яснов Л.В., Исследования тонкой высотной структуры корональных магнитных полей спектральными методами широкодиапазонной радиоастрономии.
- 18:05-18:20 Могилевский М.М., Романцова Т.В., Струминский А.Б., Ханаш Я., Приемник высокочастотного излучения как детектор рентгеновского излучения Солнца?
- 18:20-18:35 Иванов Е.В., Связь основных параметров корональных выбросов масс с крупномасштабной структурой магнитного поля Солнца

**Секция «Ионосфера». Комн. 200. ИКИ РАН.**

Председатель:

- 11:00-11:20 Дёминов М.Г., Структура ионосферы в области поляризованного джета.
- 11:20-11:35 Кириллов А.С., Механизмы образования синглетного и триплетного электронно-возбужденного молекулярного азота в авроральной ионосфере.
- 11:35-12:00 Перерыв на кофе.
- 12:00-12:15 Ижовкина Н.И., Прутенский И.С., Пулинец А., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Клос З., Роткель Х., Электромагнитные волны и электростатические колебания в неоднородной плазменной структуре на геомагнитном экваторе.
- 12:15-12:30 Карпачев А.Т., Денисенко П.Ф., Beloff N, Carozzi T.D., Lester M., Глобальная картина волновых возмущений ионосферы во время суббури 17 февраля 1998 г. по данным SuperDARN и наземных станций.
- 12:30-12:45 Гаврик А.Л., Гаврик Ю.А., Самознаев Л.Н., Копнина Т.Ф., Локализация плазменных слоев в ионосфере Венеры по данным двухчастотного радиопросвечивания.
- 12:45-13:00 Копнин С.И., Моржакова А.А., С.И. Попель С.И., К вопросу о зарядке нано- и микромасштабных частиц в запыленной ионосферной плазме в присутствии солнечного излучения.
- 13:00-13:15 Павельев А.Г., Матюгов С.С., Яковлев О.И., Павельев А.А., Wickert J., Schmidt T., Влияние солнечной активности на сигналы навигационной системы GPS по данным измерений на спутнике CHAMP.
- 13:15-13:30 Ангаров В.Н., Климов С.И., Родин В.Г., Зелёный Л.М., Изучение новых физических явлений в атмосферных грозных разрядах.
- 13:30-14:35 Обед
- 14:00-15:00 Заседание совета программы
- 14:35-16:00 Просмотр стендовых докладов (для секций «Солнце» и «ионосфера»).

**Секция «Границы магнитосферы». Комн. 200. ИКИ РАН.**

Председатель:

- 16:00-16:15 Койнаш Г.В., Вайсберг О.Л., Аванов Л.А., Квазипериодические всплески плотной плазмы в высокоширотном пограничном слое при северном направлении межпланетного магнитного поля.
- 16:15-16:30 Еркаев Н.В., Взаимодействие магнитного облака с головной ударной волной.
- 16:30-16:45 Кичигин Г.Н., Механизм образования области ионного форшока для околоземной ударной волны.
- 16:40-17:05 Перерыв на кофе.
- 17:05-17:20 Россоленко С.С., Антонова Е.Е., Кирпичев И.П., Исследование баланса давления на магнитопаузе в подсолнечной точке по данным наблюдений спутников проекта THEMIS.
- 17:20-17:35 Луценко В.Н., Гаврилова Е.А., Статистика свойств пучков Почти Моноэнергетических Ионов (ПМИ) вблизи околоземной ударной волны.
- 17:35-17:50 Веригин М.И., Котова Г.А., О возможности моделирования изменения размеров и формы ионопаузы Венеры в цикле солнечной активности.

- 17:50-18:05 Решетник В.Н., Агапитов А.В., Геометрические свойства ударных волн в солнечном ветре вблизи орбиты Земли.
- 18:05-18:20 Гриб С.А., О некоторой аналогии между взаимодействием солнечных ударных волн с магнитными облаками и магнитосферой Земли.

**Среда, 18 февраля. 10:00-18:40**

**Секция «Магнитосфера». Конференц-зал ИКИ РАН.**

- Председатель:
- 10:00-10:25 Сергеев В.А., Дубягин С.В., Апатенков С.В., Ангелопулос В., МакФадден Дж., Корнилова Т.А., Корнилов И.А., Головчанская И.В., Структура магнитных диполяризаций и инжекций плазмы во внутреннюю магнитосферу: предварительные результаты проекта Themis.
- 10:25-10:40 Шухтина М.А., Гордеев Е.И., Сергеев В.А., DeJong A.D., Hubert V., Изучение магнитного потока хвоста магнитосферы.
- 10:40-10:55 Кирпичев И.П., Антонова Е.Е., Орлова К.Г., Структура поперечных токов в высокоширотной магнитосфере.
- 10:55-11:10 Беленькая Е.С., Тета-аврора при северном ММП.
- 11:10-11:25 Калегаев В.В., Бахмина К.Ю., Алексеев И.И., Беленькая Е.С., Фельдштейн Я.И., Развитие асимметричного кольцевого тока во время магнитной бури.
- 11:25-11:55 Перерыв на кофе.
- Председатель:
- 11:55-12:10 Алексеев И.И., Беленькая Е.С., Славин Д.А., Боардсен С., Относительный вклад планетарного диполя и магнитосферных токовых систем в магнитное поле вдоль орбиты MESSENGER во время первого облета Меркурия.
- 12:10-12:25 Лазутин Л.Л., Логачев Ю.И., Муравьева Е.А., Перестройка протонного пояса Земли во время магнитных бурь.
- 12:25-12:40 Богданов В.В., Веригин М.И., Котова Г.А., Безруких В.В., Кайсин А.В., Динамика протонов во внутренней плазмосфере Земли во время магнитосферных возмущений.
- 12:40-12:55 Левитин А.Е., Громова Л.И., Дремухина Л.А., Авдеева Е.Г., Выделение части изменения среднегодовой амплитуды магнитного поля Земли, регистрируемого магнитной обсерваторией, связанной с солнечно - магнитосферным взаимодействием.
- 12:55-13:10 Вовченко В.В., Антонова Е.Е., Моделирование возмущений магнитного поля при конвекции плазмы в магнитосфере Земли.
- 13:10-13:25 Шайхисламов И.Ф., Пономаренко А.Г., Захаров Ю.П., Антонов В.М., Бояринцев Э.Л., Посух В.Г., Мелехов В.М., Вшивков К.А., Токи Чепмена-Ферраро и продольные токи зоны 1 в экспериментах по импульсному обтеканию магнитного диполя.
- 13:25-15:00 Обед
- Председатель:
- 15:00-15:15 Шапошников В.Е., Зайцев В.В., Титан как источник ультрафиолетового и километрового излучений.
- 15:15-15:30 Карфидов Д.М., Лабораторное моделирование радиовсплесков, генерируемых при распространении размытого электронного пучка в плазме.
- 15:30-15:45 Чугунов Ю.В., Эффективная длина приемной антенны в диспергирующих средах.
- 15:45-16:00 Григорьев А.Ю., Барабаш С., группа АСПЕРА-3, Источники ускоренных нейтральных частиц у Марса.
- 16:00-16:15 Семенов В.С., Киехас С., Энергетический баланс импульсного пересоединения.
- 16:15-16:45 Перерыв на кофе.
- Председатель:
- 16:45-17:05 Мазур В.А., Магнитосферный МГД – резонатор и его возбуждение немагнитосферными гидромагнитными волнами.

- 17:05-17:20 Титова Е.Е., Козелов Б.В., Демехов А.Г., Сантолик О., Макусова Э., Гарнет Д., Пикет Ж., Свойства ОНЧ хоров по данным спутников CLUSTER: сравнение с моделью лампы обратной волны.
- 17:20-17:35 Беспалов П.А., Дополнительные возможности диагностики магнитосферы по свойствам ОНЧ – излучений.
- 17:35-17:50 Демехов А., О влиянии баунс-осцилляций энергичных частиц на генерацию хоровых ОНЧ излучений в магнитосфере Земли.
- 17:50-18:05 Романов С.А., Amata E., Dunlop M., Savin S. P., Особенности генерации КНЧ волн в земном магнитосферном каспе и его ближайшей окрестности.

## Четверг, 19 февраля. 10:00-18:00

### Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи». Конференц-зал ИКИ РАН.

#### Председатель:

- 10:00-10:25 Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д., Корональные дыры и высокоскоростные потоки.
- 10:25-10:40 Шугай Ю.С., Экваториальные корональные дыры в минимуме солнечного цикла.
- 10:40-10:55 Яковчук О.С., Веселовский И.С., Bothmer V., Стереоскопия трансзвуковых доальвеновских движений плазмы в основании корональных дыр.
- 10:55-11:10 Чашей И.В., Фар Х.Й., Вершарен Д., Об энергетическом распределении надтепловых ионов во внешнем солнечном ветре.
- 11:10-11:25 Лотова Н.А., Владимирский К.В., Обридко В.Н., Цикл солнечной активности в потоках солнечного ветра.
- 11:25-11:50 Перерыв на кофе.

#### Председатель:

- 11:50-12:15 Измоденов В.В., Малама Ю.Г., Чалов С.В., Неравновесный характер плазмы в гелиосферном ударном слое.
- 12:15-12:30 Катушкина О.А., Измоденов В.В., Моделирование движения межзвездных атомов внутри гелиосферы.
- 12:30-12:45 Струминский А., Зимовец И., Хибер Б., Классен А., Роль крупномасштабного солнечного магнитного поля при распространение СКЛ в трехмерной гелиосфере.
- 12:45-13:00 Черток И.М., Гречнев В.В., Мешалкина Н.С., О соотношении частотного спектра солнечных микроволновых всплесков и энергетического спектра потоков протонов у Земли.
- 13:00-13:15 Калинин М.С., Крайнев М.Б., Модифицированная модель глобального гелиосферного токового слоя.
- 13:15-13:30 Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю., Относительная частота появления и геоэффективность крупномасштабных типов солнечного ветра.
- 13:30-14:30 Обед
- 14:30-16:00 Просмотр стендовых докладов.

#### Председатель:

- 16:00-16:15 Лившиц М.А., Белов А.В., Осокин А.Р., Ерошенко Е.А., Кашапова Л.К., Форбуш-эффекты, наблюдаемые на периферии межпланетных возмущений
- 16:15-16:30 Хабарова О.В., Застенкер Г.Н., Резкие изменения плотности солнечного ветра в турбулентных областях солнечного ветра, включая гелиосферный токовый слой.
- 16:30-16:50 Перерыв на кофе.

**Секция «Теория физики плазмы». Концеренц-зал ИКИ РАН.**

- Председатель:
- 16:50-17:15 Медведев М.В., Динамика диссипативных нелинейных альфеновских волн в солнечном ветре.
- 17:15-17:30 Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Кузнецов Е.А., Михайловская Л.А., Серфотронное ускорение заряженных частиц локализованными пакетами электромагнитных волн в космической плазме.
- 17:30-17:55 Соколов Д.Д., Фрик П.Г., Альфа-эффект - итоги первых лабораторные измерения и астрономические наблюдения.
- 17:55-18:10 Кузнецов В.Д., Джалилов Н.С., Волны и неустойчивости в бесстолкновительной космической плазме: 16-ти моментное приближение.
- 18:10-18:25 Костров А.В., Формирование дискретных динамических спектров радиоизлучения в космической и лабораторной плазме.
- 19:00 Товарищеский ужин.

**Пятница, 20 февраля. 10:00-18:00**

**Секция «Турбулентность и хаос». Конференц-зал ИКИ РАН.**

- Председатель:
- 10:00-10:15 Иудин Д. И., Самоорганизация явлений переноса в системах случайного роста.
- 10:15-10:30 Ефимов А.И., Арманд Н.А., Луканина Л.А., Рудах В.К., Самознаев Л.Н., Чашей И.В., Модифицированная модель турбулентности солнечного ветра по данным экспериментов радиозондирования сигналами космических аппаратов.
- 10:30-10:45 Козак Л.В., Савин С.П., Статистический анализ турбулентности плазмы по данным проекта «Интербол».
- 10:45-11:00 Козелов Б.В., Суббуревая и буревая активность магнитосферы как отклик на стохастическое воздействие солнечного ветра.
- 11:00-11:15 Головчанская И.В., Козелов Б.В., Исследование турбулентности магнитосферной и ионосферной плазмы в высокоширотной области.
- 11:15-11:30 Рыбалко С.Д., Артемьев А.В., Зеленый Л.М., Модели перемежаемой турбулентности и ускорение заряженных частиц в Земной магнитосфере.
- 11:30-11:50 Перерыв на кофе.
- Председатель:
- 11:50-12:20 Макаренко Н.Г., Марковский прогноз экстремальных событий методами фрактальной геометрии.
- 12:20-12:35 Князева И.С., Макаренко Н.Г., Методы паттернов порядка в диагностике и прогнозе скалярных временных рядов.
- 12:35-12:50 Савин С.П., Будаев В.П., Зеленый Л.М., Супердиффузия на границе магнитосферы Земли: сравнение с краевой плазмой токамаков.

**Секция «Токовые слои». Конференц-зал ИКИ РАН.**

- Председатель:
- 12:50-13:05 Коровинский Д.Б., Семенов В.С., Еркаев Н.В., Дивин А.В., Сравнение аналитической модели стационарного пересоединения в бесстолкновительной плазме с результатами PIC-моделирования.
- 13:05-13:20 Орешина А.В., Сомов Б.В., Нагрев плазмы в солнечной короне пересоединяющим токовым слоем: классическая и аномальная теплопроводность.
- 13:20-15:00 Обед
- Председатель:
- 15:00-15:15 Мингалёв О.В., Мингалев И.В., Малова Х.В., Зеленый Л.М., Влияние анизотропии источников плазмы на структуру тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы.
- 15:15-15:30 Артемьев А.В., Зелёный Л.М., Малова Х.В., Попов В.Ю., Устойчивость токового слоя: линейная и нелинейная теория.

- 15:30-15:45 Малова Х.В., Коржов, А.Г.З, Попов В.Ю., Зеленый Л.М., Исследование процессов ускорения заряженных частиц в магнитосфере Меркурия в процессе многократных диполяризации.
- 15:45-16:00 Попов В.Ю., Зеленый Л.М., Малова Х.В., Артемьев А.В., Равновесные токовые слои в плазме с двухтемпературным и каппа- распределениями ионов.
- 16:00-16:20 Перерыв на кофе.
- Председатель:
- 16:20-16:50 Франк А.Г., Особенности эволюции и структуры токовых слоев в зависимости от условий формирования слоя.
- 16:50-17:05 Кропоткин А.П., Проблема «разрыва тока» в ближней части плазменного слоя: нелинейная баллонная неустойчивость?
- 17:05-17:20 Григоренко Е.Е., Зеленый Л.М., Долгоносов М.С., Ионные пучки в пограничной области плазменного слоя: два режима неадиабатического ускорения ионов в токовом слое геомагнитного хвоста.
- 17:20-17:35 Долгоносов М.С., Зеленый Л.М., Влияние биполярного электрического поля на структуру бимлетов в геомагнитном хвосте.

## Стендовые доклады.

### Секция «Солнце».

1. Козлов В. И., Затягивание периода текущего 23 цикла – как проявление инварианта 11-летнего цикла: «Амплитуда-длительность».
2. Кузин С.В., Богачев С.А., Житник И.А., Шестов С.А., Слемзин В.А., Митрофанов А.В., Суходрев Н.К., Перцов А.А., Игнатъев А.П., Бугаенко О.И., Иванов Ю.С., Рева А.А., Зыков М.В., Ульянов А.Е., Опарин С.Н., Гончаров А.Н., Шергина Т.А., Эксперимент ТЕСИС по рентгеновской изображающей спектроскопии Солнца на спутнике КОРОНАС-Фотон.
3. Дергачев В.А., Круглов Е.М., Скородумов Д.В., Лазутков В.П., Матвеев Г.А., Савченко М.И., Шишов И.И., Пятигорский Г.А., Чичикалюк Ю.А., Хмылко В.В., Васильев Г.И., Драневич В.А., Крутьков С.Ю., Котов Ю.Д., Глянченко А.С., Архангельский А.И., Горелый Ю.А., Самойленко В.Т., Юров А.Н., Поляриметрия жесткого рентгеновского излучения в космическом эксперименте «Коронас-Фотон».
4. Биленко И.А., Динамика крупномасштабных и мелкомасштабных магнитных полей при формировании КВМ.
5. Троицкая Е.В., Архангельская И.В., Мирошниченко Л.И., Архангельский А.И., Диагностика области солнечной вспышки 20 января 2005 методом моделирования гамма-излучения в линии 2.223 МэВ.
6. Бакунина И.А., Абрамов-Максимов В.Е., Лесовой С.В., Соловьёв А.А., Тихомиров Ю.В., Мельников В.Ф., Шибасаки К., Неспорадические долгопериодные колебания микроволнового излучения солнечных пятен.
7. Гуляев Р.А., Новые наблюдения явления околосолнечной сублимации во время затмения 1 августа 2008 г.
8. Иванов К.Г., Харшиладзе А.Ф., МГД-природа возникновения, динамики, геоэффективности и исчезновения четырехсекторной структуры магнитного поля Солнца.
9. Шибает И.Г., Моделирование солнечных циклов при аналитическом представлении достоверного ряда чисел Вольфа и эмпирической зависимости длительности цикла от амплитуды.
10. Кузанын К.М., Жанг Хонгчи, Гао Ю, Спиральные свойства солнечных магнитных полей как индикатор механизма динамо.
11. Бадалян О.Г., Двухмодовый характер дифференциального вращения солнечной короны.
12. Подгорный И.М. и Подгорный А.И., Модель солнечной вспышки – сравнение с одновременными рентгеновскими наблюдениями на нескольких аппаратах.
13. Соловьёв А.А., Киричек Е.А., Шаповалов В.Н., Новый подход к магнитогидростатической проблеме и МГД-моделирование активных солнечных образований.

14. Афанасьев Ан.Н., Уралов А.М., Гречнев В.В., Черток И.М., Применение автомодельного подхода к описанию кинематики солнечных корональных выбросов.
15. Прохоров А.В., Веселовский И.С., Время ожидания сверхмощных вспышек на Солнце.
16. Сидоров В.И., Кузьминых Ю.В., Язев С.А., Возможная связь магнитных транзиентов, гамма-источника и энергичных протонов в солнечной вспышке 14 июля 2000 г.
17. Тлатов А.Г., Физическая интерпретация предвестников солнечной активности.

#### **Секция «Ионосфера».**

18. Ларюнин О.А., Афанасьев Н.Т., Флуктуации траекторных характеристик радиоволны при полном внутреннем отражении от слоя плазмы.
19. Лисаков Ю.В., Лапшинова О.В., Яковлев В.Н., Исследование эффектов инжекции плазмы с борта орбитального комплекса Мир.
20. Гуляева Т.Л., Соотношение между ионосферной и плазмосферной интегральной ионизацией в цикле солнечной активности.
21. Смирнов В.М., Смирнова Е.В., Сейсмоионосферные и гелиофизические и гелиофизические вариации в период сейсмических событий.
22. Кириллов А.С., Кинетика электронно-возбужденного молекулярного кислорода на высотах нижней термосферы и мезосферы.
23. Кузьмин А.К., Чиков К.Н., Диагностика ионосферных характеристик с орбиты с помощью монохроматического имаджера.

#### **Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи».**

24. Гаврюсева Е., Экспериментальный подход к изучению влияния топологии и динамики магнитного поля Солнца на гелио- и магнитосферу.
25. Харитонов А.Л., Харитонова Г.П., Фрунзе А.Х., Взаимосвязь определенных астрометрических параметров движения орбиты солнечной системы и периодов резкого изменения климатических гидрографических и тектонических процессов на Земле и других планетах.
26. Шибяев И.Г., Ишков В.Н., Кукса Ю.И., Непосредственный отклик на солнечные вспышки по данным магнитометрического комплекса.
27. Ануфриев Г.С., Изотопный состав и поток древнего солнечно-ветрового гелия.
28. Юшков Б.Ю., Курт В.Г., Галкин В.И., Кудела К., Высокоэнергичное гамма-излучение солнечных вспышек как индикатор ускорения протонов высоких энергий.
29. Крайнев М. Б., Калинин М.С., О дрейфе галактических космических лучей в модифицированном наклонном токовом слое гелиосферы.
30. Мирошниченко Л.И., Pérez-Peraza J., Gallegos-Cruz A., Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Impulsive, stochastic and shock wave acceleration of relativistic protons in large solar events of 29 September 1989, 14 July 2000, 28 October 2003, and 20 January 2005.
31. Мордовская В. Г., Специфика наблюдения эффектов взаимодействия Фобоса с солнечным ветром.
32. Никольская К. И., Массовые скорости солнечного ветра в эклиптической и экстра-эклиптической внутренней и внешней ( $r \leq 5$  АЕ) гелиосфере.
33. Яковчук О.С., Веселовский И.С., Макаренко Н.Г., Экстремальные события в параметрах космической погоды.
34. Черток И.М., Солнечные корональные выбросы (CMEs) и связанные с ними явления по данным STEREO.
35. Вальчук Т.Е., О структуре солнечного ветра в минимуме 23 цикла.

#### **Секция «Магнитосфера».**

36. Голубев С.В., Водопьянов А.В., Демехов А.Г., Мансфельд Д.А., Шалашов А.Г., Генерация излучения в плазменном циклотронном мазере в лабораторной магнитной ловушке.
37. Агапитов А.В., Данилова В.В., Черемных О.К., Связывание тороидальных и полоидальных альфвеновских волн в магнитосфере Земли.
38. Шастун В.В., Агапитов А.В., Распространение внезапных импульсов солнечного ветра в магнитосфере Земли.



39. Безруких В.В., Котова Г.А., Веригин М.И., Динамика температуры и концентрации ионизированного водорода в плазмосфере во время геомагнитных бурь по данным Аврорального зонда.
40. Панов Е.В., Неустойчивости анизотропной плазмы на токовом слое магнитопаузы и сопутствующая динамика частиц.
41. Коротова Г.И., Sibeck D.G., Kondratovich V., Themis observations of compressional Pc5 pulsations in the dawn-side magnetosphere.
42. Козырева О., Клейменова Н.Г., Глобальная динамика ULF-пульсаций во время сильных магнитных бурь.
43. Тёмный В.В., Какая же плазма заполняет кольцевые токи магнитосфер Земли и планет-гигантов?
44. Ковалевский И.В., Взаимосвязь физических процессов в периоды главных фаз (ГФ) геомагнитосферных бурь (ГМБ) по данным кластерного анализа.
45. Гдалевич Г.Л., Динамика волн, плазмы и энергичных частиц во время магнитосферных бурь.
46. Романцова Т.В., Могилевский М.М., Скальский А.А., Ханаш Я., Авроральное Километровое Излучение и солнечные радиовсплески III типа.
47. Скальский А.А., Вавилов Д., Мазель К., Федоров А., Веригин М., Наблюдение электронов в магнитном шлейфе Марса (по данным проекта ФОБОС-2).
48. Бадин В.И., Гармонический анализ магнитометрических измерений в авроральном овале.
49. Марчук В.Н., Арманд Н.А., Смирнов В.М., Юшкова О.В., Результаты обработки данных орбитального радара "МАРСИС" миссии "МАРС-ЭКСПРЕСС".
50. Гусев А.А., Мартин И.М., Алвес М.А., Пугачева Г.И., Григорян О.Р., Петров А., Вариации фона тепловых нейтронов на низких широтах на территории Бразилии.
51. Афонин В.А., Автоматизация обработки данных зонда Ленгмюра для определения концентрации и температуры электронов во внутренней магнитосфере (применение алгоритма АМоЕВА).
52. Григорьев А.Ю., Скальский А., Добровольский И., Varabash S., Wieser M., Ионный спектрометр ДИМ для проекта Фобос-Грунт.
53. Чугунов Ю.В., Структура вращающейся плазмосферы с учетом истечения ионизированного газа.
54. Губченко В., Смирнов А.В., Двухкомпонентная плазма солнечного ветра с ядром и гало, описываемая обобщенными каппа распределениями, и электромагнитные свойства потока в задаче Чепмена-Ферраро.
55. Чугунин Д.В., Характеристики потоков полярного ветра на высотах ~20000 км.
56. Пархомов В.А., Застенкер Г.Н., Рязанцева М.О., Цэгмед Б., Попова Т.А., Три типа магнитосферного отклика в геомагнитных пульсациях частотного диапазона 0.2-5 Гц на большие и резкие скачки давления солнечного ветра.
57. Моисеенко И.Л., Романцова Т.В., Могилевский М.М., Буринская Т.М., Ханаш Я., Асимметрия выхода Аврорального Километрового Излучения из источника.
58. Бородкова Н.Л., Застенкер Г.Н., Воздействие больших и резких изменений динамического давления солнечного ветра на магнитосферу Земли: анализ нескольких событий.
59. Гусев А.А., Пугачева Г.И., Зоны захвата энергичных заряженных частиц в области магнитосферных каспов.
60. Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Возбуждение магнитных и риометрических Pc5 пульсаций.

#### **Секция «Границы магнитосферы».**

#### **Секция «Теория физики плазмы».**

61. Лаптухов А.И., Теория неточечных частиц и магнитного заряда без монополя. Механизм "самосжатия" плотной лабораторной плазмы и образования звёзд белых карликов.
62. Гущин М.Е., Коробков С.В., Костров А.В., А.В. Стриковский А.В., Генерация квазистационарных и низкочастотных токов и магнитных полей при взаимодействии свистовых волн с замагниченной плазмой.

63. Любчик А.А. и Дэспирак И.В., Взаимодействие падающей гидродинамической волны с ударной волной: сравнение между аналитическим решением для идеальной среды и численными расчетами для вязкой среды.

**Секция «Токовые слои».**

64. Кирий Н.П., Франк А.Г., Экспериментальное исследование тангенциального ускорения плазмы в токовых слоях.

## Конференция «Физика плазмы в солнечной системе»

С 17 по 20 февраля 2009 г. в ИКИ РАН пройдет очередная конференция «**Физика плазмы в солнечной системе**».

Рабочий язык конференции - русский.

Информация о конференции, программа и сборник тезисов размещены на сайте программы: <http://solarwind.iki.rssi.ru/> (раздел «новости»). В новой редакции программы исправлено несколько ошибок.

**Внимание: Сборник тезисов не будет раздаваться в напечатанном виде!**

Тезисы удобно компактно напечатать в формате 2 страницы на лист. Тезисы сгруппированы по секциям.

### Участие в конференции

Регистрация участников будет происходить с 09:30 до 10:00 17 февраля, а также позднее в ходе конференции.

Проход в ИКИ РАН через 4-ый подъезд по паспорту.

Участие в конференции предполагает регистрационный взнос в размере 300 рублей, включающий участие в товарищеском ужине.

В связи с необходимостью определения количества участников **просьба по возможности зарегистрироваться в первый день конференции.**

### Стендовые доклады

Стендовые доклады будут размещены в выставочном зале ИКИ РАН.

Зал расположен на первом этаже, вход через секцию А-4.

Зал со стендовыми докладами будет открыт с 09:30 до 19:00 17, 18, и 19 февраля. Стендовые доклады всех секций могут быть размещены в начале конференции. На конференции будет два дня для представления стендовых докладов.

17 февраля отведено для секций «Солнце» и «Ионосфера» и других желающих. 19 февраля отведен для представления постеров посвященных «Магнитосфере» и «Гелиосфере».

Размер стенда: 0.96 метра (ширина), 2 метра (высота). Клейкий материал для развешивания будет предоставлен организаторами.

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-15.

### **Программный комитет конференции (совет программы ОФН-15)**

Зеленый Лев Матвеевич – Председатель программного комитета.

Богод Владимир Михайлович, Ермолаев Юрий Иванович, Степанов Александр Владимирович, Демехов Андрей Геннадьевич, Фомичев Валерий Викторович, Франк Анна Глебовна, Яхнин Александр Григорьевич, Черемных Олег Константинович, Могилевский Михаил Менделевич, Калегаев Владимир Владимирович.

### **Организационный комитет конференции**

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

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

<http://solarwind.cosmos.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

<u>Диагностика горячих плазменных структур в солнечной короне по данным экспериментов на КА КОРОНАС.....</u>	<u>17</u>
<u>Б.П. Филиппов .....</u>	<u>20</u>
<u>Е.В. Иванов .....</u>	<u>22</u>
<u>Спиральные свойства солнечных магнитных полей как индикатор механизма динамо .....</u>	<u>27</u>
<u>Двухмодовый характер дифференциального вращения солнечной короны.....</u>	<u>28</u>
<u>К вопросу о ЗАРЯДКЕ НАНО- и микромасштабных ЧАСТИЦ В запыленной ионосферной ПЛАЗМЕ в ПРИСУТСТВИИ солнечного ИЗЛУЧЕНИЯ.....</u>	<u>34</u>
<u>Изучение магнитного поток хвоста магнитосферы.....</u>	<u>44</u>
<u>Тета-аврора при северном ММП .....</u>	<u>45</u>
<u>Развитие асимметричного кольцевого тока во время магнитной бури.....</u>	<u>45</u>
<u>Эффективная длина приемной антенны в диспергирующих средах.....</u>	<u>50</u>
<u>Ю.В. Чугунов.....</u>	<u>50</u>
<u>Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, chugun@appl.sci-nnov.ru .....</u>	<u>50</u>
<u>П.А. Беспалов .....</u>	<u>52</u>
<u><sup>2</sup> ЦГЭМИ ИФЗ РАН .....</u>	<u>74</u>
<u>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Московская область, laptukhov@izmiran.ru .....</u>	<u>81</u>
<u>Моделируется процесс нагрева плазмы в солнечной короне высокотемпературным пересоединяющим токовым слоем. Уравнение теплопроводности решается с учётом классического, аномального и «аномально-классического» потоков тепла. Обсуждается область применимости каждого приближения. На основе полученных распределений температуры в окрестности токового слоя делаются выводы о свойствах мягкого рентгеновского излучения в окрестности токового слоя. Проводится сравнение с наблюдениями. ....</u>	<u>87</u>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ тангенциального ускорения плазмы  
 .....92  
 в ТОКОВЫХ СЛОЯХ.....92

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

Котов Ю.Д. Проект Коронас-Фотон

### НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НОВЫЕ ВОПРОСЫ В ФИЗИКЕ БОЛЬШИХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Б.В. Сомов

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Современные космические наблюдения Солнца обладают высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Это позволяет наблюдать и исследовать явление магнитного пересоединения в высокотемпературной замагниченной плазме в солнечной короне и солнечном ветре. Представлен краткий обзор специфических свойств крупно-масштабного магнитного пересоединения в больших вспышках на Солнце. Анализ топологических особенностей магнитного поля в активных областях показывает, что при построении моделей эруптивных солнечных вспышек и корональных выбросов массы необходимо принимать во внимание эффект топологического триггера. Представлен новый класс аналитических моделей магнитного пересоединения в токовых слоях с присоединенными МГД течениями. Обсуждается проблема эволюционности полученных аналитических решений. Дан краткий обзор новых результатов и новых задач в физике солнечных вспышек.

Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares, Springer, N.Y., 2006.

### НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВОЛН

В.В. Гречнев<sup>1</sup>, А.М. Уралов<sup>1</sup>, И.М. Черток<sup>2</sup>, Ан.Н. Афанасьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИСЗФ СО РАН, Иркутск, [grechnev@iszf.irk.ru](mailto:grechnev@iszf.irk.ru)

<sup>2</sup> ИЗМИРАН, Троицк

Демонстрируются и анализируются корональные волны на стадиях их возникновения и последующего распространения на изображениях крайнего УФ и рентгеновского диапазонов, полученных в нескольких эруптивных событиях, связанных со вспышками. Показано соответствие кинематики «волн EIT» и волн Мортонна, наблюдавшихся в этих событиях, теоретически ожидаемому распространению ударных волн. В проанализированных случаях установлено соответствие наблюдаемого на изображениях распространения корональных волн с дрейфом радиовсплесков в диапазонах от дециметров до декаметров. Наблюдавшиеся волны возникали на высотах до 100 Мм и свободно распространялись как взрывные волны. Полученные результаты позволяют согласовать моменты возникновения волн, вспышек, корональных выбросов, радиовсплесков II типа и ставят под вопрос адекватность представлений о том, что наблюдаемые ударные волны формируются только на фронте корональных выбросов. В отличие от рассматриваемого класса явлений, «волны EIT», наблюдаемые при эрупции волокон вне активных областей, являются, по-видимому, структурными компонентами корональных выбросов, а не волнами.

**МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В КОРОНЕ**А.И. Подгорный<sup>1</sup> и 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*

Для нахождения возможного положения солнечных вспышек над активной областью обычно используется расчетное потенциальное магнитное поле в предвспышечном состоянии, в котором отыскивается особая линия. При расчете потенциального поля поле активной области обычно аппроксимируется магнитными зарядами. Однако такая процедура практически неприменима для сложной активной области, дающей серию вспышек. Дело в том, аппроксимация зарядами слишком груба, а перед серией вспышек появляется несколько токовых слоев, возмущающих поле над активной областью. Отыскание характерных для токовых слоев областей поля в сложной трехмерной конфигурации, полученной в МГД расчетах, представляет собой чрезвычайно громоздкую задачу. Разработан метод прямого отыскания токовых слоев в предвспышечном состоянии. Производится трехмерный МГД расчет в состоянии, в котором начальные и граничные условия задаются из измеренных распределений магнитного поля на фотосфере. Затем в трехмерном пространстве находится положение локального максимума абсолютной величины плотности тока, которое должно соответствовать центру токового слоя. Плоскость токового слоя должна быть перпендикулярна плоскости, которая содержит точку максимума плотности тока и перпендикулярна линии поля, проходящей через точку максимума. Эта плоскость должна содержать конфигурацию магнитного поля, соответствующую токовому слою. Разработана компьютерная программа визуализации магнитной конфигурации в произвольной плоскости с одновременным вычислением максимума плотности тока в трехмерном пространстве, позволяющая упростить процедуру поиска токовых слоев для прогноза солнечных вспышек. Найдены положения источников вспышечного излучения и конфигураций магнитного поля над активной областью АО 0365.

**БАЛЛОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ И «СТАНДАРТНАЯ» МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК**А.В. Степанов<sup>1</sup>, Ю.Т. Цап<sup>1,2</sup>, Ю.Г. Копылова<sup>1</sup><sup>1</sup> *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург*<sup>2</sup> *НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» МОНУ, Крым*

Рассматриваются механизмы вспышечного энерговыделения, сопровождаемые формированием шлемовидных структур и плазмоидов над корональными петлями. Обсуждаются ограничения, накладываемые на область магнитного пересоединения. Показано, что существование в короне Солнца толстых ( $10^7$ - $10^9$  см) токовых слоев с развитой магнитогидродинамической турбулентностью (см., например, Лин и др., 2007) является проблематичным. Формирование шлемовидных структур в импульсных событиях связывается с раскачкой баллонной неустойчивости изгибными колебаниями петель. Плазмоиды образуются при отрыве плазменного «языка» от вершины арки вследствие пересоединения магнитных силовых линий. На основе наблюдательных данных, полученных для серии лимбовых вспышек 14-16 апреля 2002 г. в активной области NOAA 9901, приведены аргументы в пользу этой гипотезы. Показано, что модель индуцированного плазмоидом пересоединения (plasmoid-induced reconnection model), предложенная Шибатой и др. (1995), противоречит наблюдениям.

Лин и др. (Lin J., Li J., Forbes T. et al.) 2007, ApJ, 658, L123.

Шибата и др. (Shibata K., Masuda S., Shimojo M. et al.) 1995, ApJ, 451, 83.



**ДИАГНОСТИКА ГОРЯЧИХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУКТУР В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА КА КОРОНАС**

А.М. Урнов, С.А. Богачев, Ф.Ф. Горяев, С.В. Кузин, А.А. Рева, С.В. Шестов

*Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Отделение оптики, Отдел спектроскопии, urnov@sci.lebedev.ru*

Дается краткий обзор основных подходов и методов, разработанных авторами, для диагностики плазменных структур в Солнечной короне по рентгеновским и ВУФ спектральным изображениям и спектрам всего Солнца. Представлены результаты измерения пространственно-временных распределений электронной плотности и температуры в горячих плазменных образованиях, обнаруженных в эксперименте СПИРИТ на КА КОРОНАС-Ф с помощью многоканального спектрогелиографа РЕС. Обсуждаются вопросы определения энергобюджета и механизма формирования коротковолнового излучения в ходе развития импульсных и долгоживущих вспышечных процессов в плазме солнечной короны по данным экспериментов на КА КОРОНАС.

**ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДНЕГО 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА СА I**

В.Н. Ишков

*ИЗМИРАН, ishkov@izmiran.ru*

Последний «физический» цикл солнечной активности, объединяющий солнечные циклы 22 и 23, принес много нового в наше понимание солнечных активных событий, особенно вспышечных. Достаточно заметить, что практически все самые мощные события 22 солнечного цикла осуществились в фазе максимума, а в солнечном цикле 23 подобные события осуществлялись на самой поздней стадии фазы минимума. Цикл 22 дал нам пример активной области (июнь 1991 г.), в которой осуществилось больше солнечных экстремальных событий, чем за весь 23 солнечный цикл. Исследование активных областей с экстремальными вспышечными событиями позволило выявить общие характеристики таких областей и условия генерации таких событий. В свете исследований последних десятилетий появилась возможность оценить вспышечную активность солнечного цикла как явления и провести сравнение данного параметра для последних циклов СА.

**КОЛЕБАНИЯ СОЛНЦА И ЗВЕЗД И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЛНЫ В ФОТОСФЕРЕ**

Ю.Д. Жугжда

Развита теория малых флуктуаций яркости Солнца и звезд. Показано, что флуктуации яркости возникают из-за флуктуаций температуры и прозрачности фотосферы. Проведены расчеты функций потемнения и видимости для адиабатических р-мод колебаний в локальном приближении. Оказалось, что эти два эффекта частично компенсируют друг друга. Наблюдения флуктуаций яркости Солнца проведенные с помощью многоканального фотометра ДИФОС на борту спутника КОРОНАС-Ф позволили решить обратную задачу определения зависимости амплитуды флуктуаций температуры создаваемых глобальными пятиминутными колебаниями в фотосфере. Оказалось, что объяснить результаты решения обратной задачи можно только, если в фотосфере существуют пятиминутные температурные волны, генерируемые глобальными колебаниями Солнца. Существование температурных волн в фотосфере Солнца было предсказано Жугждой в 1989 году. Таким образом, флуктуации яркости Солнца и звезд возникают под влиянием температурных волн генерируемых собственными колебаниями звезд, что существенно изменяет существующие представления о колебаниях яркости Солнца и звезд.

**КВАЗИ-ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПУЛЬСАЦИИ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ**

В.М. Накаряков<sup>1</sup>, В.Ф. Мельников<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Physics Department, University of Warwick, United Kingdom*

<sup>2</sup> *ГАО РАН, Санкт Петербург*

<sup>3</sup> *ФГНУ НИРФИ, Нижний Новгород*

Квази-периодические пульсации с периодами от долей секунды до нескольких минут являются часто встречающейся особенностью солнечных вспышек и наблюдаются во всех диапазонах, от радио до жесткого рентгеновского. Пульсации представляют интерес как с точки зрения диагностики параметров плазмы во вспышечных областях, так и с точки зрения понимания процессов вспышечного энерговыделения. Физические параметры во вспышечных областях определяют периоды колебаний различных магнитогидродинамических (МГД) мод и бегущих МГД волн, их характерные временные и спектральные особенности. В частности, вспышечные пульсации могут быть созданы путем модуляции МГД волнами процессов ускорения нетепловых электронов и их динамики, а также условий в излучающей плазме. Кроме того, существует возможность периодического "запуска" вспышечного энерговыделения МГД колебаниями. В докладе рассматриваются теоретические механизмы генерации вспышечных пульсаций, связанных как с МГД колебаниями, так и с периодическими режимами энерговыделения. Рассмотрены также попытки использования наблюдательных данных, полученных в различных диапазонах, для определения конкретного физического механизма, ответственного за генерацию пульсаций. Показана возможность использования полученной информации для диагностики плазмы, в частности, для определения величины магнитного поля и его структурированности.

**ЛОКАЛЬНАЯ ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИЯ: НАБЛЮДЕНИЯ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН**

Ю.А. Наговицын, Е.Ю. Наговицына

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН*

Наземные наблюдения последних 30 лет, в том числе и наблюдения авторов, свидетельствовали о возможном существовании на Солнце особого вида колебаний магнитного поля и поля скорости пятен, периоды которых составляют от нескольких десятков до нескольких сотен минут. Эти колебания выявлялись по трем типам наблюдений: в белом свете (координаты, площадь пятен), в спектральных оптических измерениях (напряженность пятенного магнитного поля, лучевые скорости) и в микроволновом радиодиапазоне (интенсивность и координаты надпятенных радиоисточников). Проведенные на основе внеатмосферных наблюдений КА SOHO (MDI) исследования полностью подтверждают факт существования этого – нового для гелиофизики – явления.

**НЕРАДИАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОРОНАЛЬНЫХ СТРИМЕРОВ В СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ**

А.Г. Тлатов

*Кисловодская Горная станция ГАО РАН, tlatov@mail.ru*

Выполнен анализ формы солнечной короны по данным ежедневных наблюдений короны по данным телескопов Mark-3/4 в период 1980–2008 гг. и телескопа SOHO/Lasco-2 за период 1996–2008 гг. Вариации углов отклонения корональных лучей от радиального направлений  $\Delta\theta$  имеют циклический характер, достигают максимума отклонения в направлении солнечного экватора в эпоху минимума активности. В эпоху минимума 24-го цикла активности  $\Delta\theta$  углы были меньше чем в эпоху минимума 22 и 23-го циклов активности. Рассмотрены связи между величиной углов отклонения корональных лучей в эпоху минимума активности, характеристиками глобального магнитного поля Солнца и амплитудой последующего цикла активности. Обсуждается гипотеза, что изменения угла наклона корональных лучей  $\Delta\theta$  могут влиять на параметры солнечного ветра и различный уровень индексов геомагнитных возмущений в минимумах активности солнечных циклов.

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

Е. Гаврюсева

*Институт Ядерных Исследований РАН, Москва, elena.gavryuseva@gmail.com*

Представлены результаты комплексного изучения топологии и динамики магнитного поля Солнца на базе измерений фотосферного поля на Солнечной обсерватории Вилкоккс (Стэнфорд, США), проведенных в течение трёх циклов солнечной активности N 21, 22 и 23. Будет наглядно продемонстрировано следующее:

1. Магнитное поле фотосферы имеет ярко выраженную широтную структуру, за которую ответственны поля средней интенсивности.
2. Крупномасштабная широтная структура фотосферного магнитного поля состоит из четырёх зон и изменяется с 20–22-летним периодом. Границы зон расположены на экваторе и на широтах  $\pm 25^\circ$  совпадающих с «активными» широтами. Полярности приэкваториальных зон совпадают с полярностями ведущих пятен и имеют противоположный знак в Северном и Южном полушариях.
3. Дополнительно присутствуют волны полярности, бегущие от экватора к полюсам с периодами 2–3 года. Волны полярности имеют различные периоды в Северном и Южном полушариях, но они синхронизированы с солнечным циклом.
4. Была вычислена скорость меридионального дрейфа магнитного поля.
5. Выявлена долготная структура, видимая в фотосфере, квази-устойчивая на протяжении более чем тридцати лет, исключительно регулярная и симметричная относительно экватора. Проведены оценки глубины, где она генерируется.
6. Вычислена скорость вращения магнитного поля на различных широтах в фотосфере и ее изменение во времени. Обнаружено присутствие торсионных волн, аналогичных тем, что наблюдаются во вращении солнечной плазмы. Магнитное поле вращается медленнее там и тогда, где и когда интенсивность поля велика.
7. Скорость вращения крупномасштабного магнитного поля на широтах выше  $55^\circ$  не убывает, как скорость вращения плазмы.

Продемонстрирована связь этого эффекта с дифференциальным вращением по глубине. Предложенный комплексный подход к изучению широтной и долготной структур, вращению и изменению во времени фотосферного магнитного поля позволил более глубоко понять связь магнитного поля с динамикой Солнца, что крайне важно для понимания механизма солнечной активности и для предсказания вариаций солнечного ветра и магнитосферных возмущений.

## АНИЗОТРОПНЫЙ ДИАМАГНИТНЫЙ ПЕРЕНОС И ДИНАМО В СЛОЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ КОНВЕКЦИИ

В.В. Пипин

*Институт солнечно-земной физики, Иркутск, pip@iszf.irk.ru*

Как известно турбулентная конвекция, является одним из наиболее важных источников магнитной активности на Солнце и других холодных звездах. В докладе рассмотрены возможные турбулентные источники звездного динамо. Кратко обсуждаются модели динамо включающие конвективную зону и область проникающей конвекции под конвективной зоной. Как известно, верхняя часть области проникающей конвекции подвержена сильно неоднородному дифференциальному вращению и образует так называемый тахоклин. Показано, что максимум магнитного потока всегда оказывается в тахоклине если интенсивность турбулентного перемешивания в области проникающей конвекции достаточно слаба. При этом оказывается, что крутизна изменения турбулентных характеристик является определяющим фактором для типа солнечного динамо. При достаточно крутом падении интенсивности конвективных течений в области перехода от конвективной зоны к тахоклину получают модели динамо солнечного типа.

**ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК, ПОТОКИ ПРОТОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ, ИЗМЕРЕННЫЕ НА 1 А.Е.**

В.Г. Курт<sup>1</sup>, Б.Ю. Юшков<sup>1</sup>, А.В. Белов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. Москва, [vgk@srd.sinp.msu.ru](mailto:vgk@srd.sinp.msu.ru)

<sup>2</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,

Доклад представляет собой краткий обзор наших экспериментальных знаний о высокоэнергичном излучении солнечных вспышек и событиях солнечных протонов и электронов, измеренных на орбите Земли.

1. Обсуждаются имеющиеся в настоящее время данные о временном поведении и динамике спектра высокоэнергичного гамма-излучения солнечных вспышек. Гамма-излучение с энергией выше 50 МэВ в основном представляет собой результат распада пионов, которые, в свою очередь, возникают при взаимодействии протонов и ядер, ускоренных до энергий  $> 300$  МэВ/нукл., с солнечным веществом. Это излучение с максимумом спектра в области 70-100 МэВ является индикатором появления ионов высоких энергий в короне. Эти весьма немногочисленные измерения гамма-излучения дают уникальную информацию о процессе ускорения частиц до энергий в сотни МэВ и возможность сравнения времени ускорения этих протонов с временем ускорения и выхода протонов, измеренных сетью нейтронных мониторов (GLE).
2. Коротко рассматриваются характеристики потоков электронов, ускоренных до релятивистских энергий. Спектры и граничная энергия электронов, измеренных на 1 а.е., сопоставляются со спектрами электронов в короне.
3. Обсуждаются основные результаты сопоставления солнечных протонных событий (СПС) и (GLE) и ассоциированных с ними характеристик солнечных вспышек, измеренных в мягком рентгеновском излучении (SXR).

**РОЛЬ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАЗВИТИИ СОЛНЕЧНОГО МАГНИТНОГО ЦИКЛА**

А.А. Соловьев

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН*

Получила дальнейшее развитие предложенная ранее теоретическая модель солнечного магнитного цикла, основанная на представлениях о том, что наблюдаемый на поверхности Солнца цикл создается знакопеременной магнитной структурой, выходящей из конвективной зоны в течение 22-х лет вследствие диффузии магнитного поля. Учет меридиональной циркуляции дает возможность понять механизм регенерации полоидального магнитного поля в цикле, а также физические причины перехода солнечной активности в режим с низким уровнем типа маундеровского. В рамках предлагаемой модели высокоширотная полярная активность, обусловленная динамикой полоидального магнитного поля, на несколько лет опережает низкоширотную, пятенную активность, создаваемую тороидальной составляющей общего магнитного поля Солнца.

**КРИВИЗНА ОСЕЙ КОРОНАЛЬНЫХ СТРИМЕРОВ И ГЛОБАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ**

Б.П. Филиппов

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

Отклонение осей корональных стримеров к экваториальной плоскости в эпоху минимальной активности и к полюсам в эпоху максимума интерпретируется как следствие изменения общей топологии глобального магнитного поля Солнца. Оси стримеров находятся на нейтральной поверхности магнитного поля  $B_r = 0$ , которые отклоняются к нулевым точкам. В минимуме типична магнитная конфигурация с нулевой точкой (линией) на экваторе, а в максимуме нулевые точки располагаются на оси вращения Солнца.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА**

В.Е. Абрамов-Максимов<sup>1</sup>, Г.Б. Гельфрейх<sup>1</sup>, Н.И. Кобанов<sup>2</sup>, К. Шибасаки<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГАО РАН

<sup>2</sup> ИСЗФ СО РАН

<sup>3</sup> НСРО, Япония.

Приведены результаты исследований квазипериодических колебаний радиоизлучения локальных источников активных областей Солнца. Анализ проведен на основе обработки радио карт Солнца, полученных на радиогелиографе Нобеяма в Японии на волне 1.76 см. Для обеспечения выделения колебаний в широком диапазоне периодов была разработана методика построения карт с временным усреднением в 10 секунд и десятисекундным интервалом между последовательными радио изображениями Солнца. Пространственное разрешение радио карт составляло около 10-15 угловых секунд по обеим координатам. Для исследования изменения периодов и амплитуд колебаний использовался вейвлет анализ. В радио источниках над солнечными пятнами были обнаружены серии нестабильных во времени колебаний с периодами от долей минут до нескольких часов. Было проведено сравнения колебаний одного источника в радио и оптическом диапазонах (в линии водорода H $\alpha$ ) на основе одновременных наблюдений. Было показано, что 3-минутные колебания пятен являются проявлением МГД волны, распространяющейся из хромосферы в корону. Проведен анализ влияния вспышечной активности на спектр КПК и показано существенное изменение в спектрах колебаний во время вспышечных процессов, отражающее перестройку структур плазменной атмосферы Солнца в процессе вспышечной активности.

**О МЕХАНИЗМАХ ГЕНЕРАЦИИ ЗЕБРА-СТРУКТУРЫ В СОЛНЕЧНОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ**

Г.П. Чернов, 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 дециметровом диапазоне волн обнаружены жгуты волокон, которые образуют на спектре крупномасштабные полосы ЗС. Интерпретация этого явления позволяет впервые объединить вклад обоих вышеупомянутых механизмов. Низкий уровень неустойчивости плазменных волн не создает континуума, но в результате их взаимодействия с вистлерами (одновременно излучаемыми теми же быстрыми частицами с конусным распределением по скоростям) образуются волокна, дрейфующие (в результате движения вистлеров с групповой скоростью) только на уровнях ДПР. Таким образом, здесь вистлеры служат определенным индикатором очагов низкого уровня возбуждения плазменных волн на уровнях ДПР. В микроволновом диапазоне обнаружена необычная тонкая структура, состоящая из миллисекундных всплесков (спайков) в поглощении, наблюдавшаяся на китайском спектрополяриметре в диапазоне 2.6–3.8 ГГц (станция Хуайроу, Пекин) в последней крупной вспышке (X3.4/4B) 23-го цикла 13 декабря 2006 г. Анализ оптических данных свидетельствует о магнитном пересоединении и двух местах ускорения быстрых частиц. Часть частиц захватывалась в магнитную ловушку. Появление спайков в поглощении и их выстраивание вдоль траекторий III типа удается объяснить в рамках известного механизма образования всплесков в поглощении. Дополнительная инжекция быстрых частиц (пучки электронов небольших размеров) заполняла конус потерь (нарушая конусное распределение), и генерация континуума срывалась в эти моменты, что выражалось формированием всплесков в поглощении на фоне континуума. Максимальный эффект поглощения имеет место на уровнях ДПР. Тем самым, объясняется появление на динамическом спектре темных спайков периодически по частоте вдоль дрейфующей траектории III типа. В моменты максимального поглощения появлялись полосы типа зебры, дрейф которых к высоким частотам можно связать с медленным опусканием магнитной петли под острым углом к уровням ДПР, а не с быстрым дрейфом радиоисточника вниз или с ростом напряженности магнитного поля. Таким образом, не следует отыскивать новый механизм для каждого необычного явления.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОЙ ВЫСОТНОЙ СТРУКТУРЫ КОРОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ ШИРОКОДИАПАЗОННОЙ РАДИОАСТРОНОМИИ

В.М. Богод<sup>1</sup>, Л.В. Яснов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет*

Микроволновые наблюдения поляризованного излучения активных областей могут быть эффективным инструментом для изучения распределения структуры магнитного поля на уровнях нижней короны. Ценность таких исследований связана также с тем, что регистрация поляризованного радиоизлучения является единственным прямым методом измерения параметров плазмы на этих высотах. Развитие методов корональной радиоспектроскопии на крупном инструменте РАТАН-600 позволяет регистрировать детальные спектры поляризации активной области и ее отдельных частей в широком диапазоне радиоволн и строить высотную структуру магнитного поля. Полученные результаты экстраполируются на фотосферный уровень и согласуются с измерениями магнитного поля по оптическим данным. Другой способ проверки корректности радиоизмерений корональных магнитных полей состоит в сопоставлении с данными модельных вычислений магнитных полей в широком диапазоне высотных уровней. Обсуждаются результаты измерений высотной структуры магнитных полей для одиночных пятен появившихся в годы текущего минимума активности и проводится их сопоставление с выводами других общепринятых моделей атмосферы активной области.

## ПРИЕМНИК ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ДЕТЕКТОР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА?

М.М. Могилевский<sup>1</sup>, Т.В. Романцова<sup>1</sup>, А.Б. Струминский<sup>1</sup>, Я. Ханаш<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> *Центр научных исследований ПАН, Торунь, Польша*

Солнечные радиовсплески (РВ) третьего типа – широкополосное радиоизлучение генерируемое пучком энергичных электронов, выброшенным вспышкой и движущимся через корону. Основные исследования РВ III типа проводились при помощи наземных приемников, которые не могли принимать низкочастотную часть всплесков на частотах ниже 4-10 МГц (поскольку эти частоты не проходят через ионосферу) в отличие от регистрации на борту КА. Анализ низкочастотной части РВ по данным спутниковых измерений показывает, что некоторая часть РВ III типа имеют две ветви – одна «классическая», диспергированная, а вторая – недиспергированная, причем вторая ветвь содержит частоты ниже, чем локальная плазменная частота. Такие РВ сопровождаются всплесками жесткого рентгеновского излучения. Мы предполагаем, что вторая ветвь РВ связана с процессами в околоспутниковой области, вызванными избыточными электронами, появившимися в результате взаимодействия рентгеновского излучения с корпусом КА.

## СВЯЗЬ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАСС С КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

Е.В. Иванов

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН,  
Московская обл., г. Троицк, eivanov@izmiran.ru*

Исследована зависимость основных параметров КВМ (скорости, ширины, массы, кинетической энергии и отклонения траектории распространения КВМ от радиального направления) от крупномасштабной структуры магнитного поля Солнца, проявляющейся в короне в виде пояса и цепочек корональных стримеров. Используются каталоги КВМ, связанных с наблюдавшимися на лимбе эруптивными протуберанцами (каталог Е.В. Иванова, В.Г. Файнштейна), и КВМ типа гало с источниками на диске Солнца (каталог Гопалсвами). Обнаружено систематическое различие средних значений исследуемых параметров КВМ для КВМ, концентрирующихся к поясу, цепочкам корональных стримеров, открытым конфигурациям

магнитного поля (корональным дырам). Изучена зависимость скорости КВМ от положения на диске и характера источника КВМ. Рассмотрены циклические изменения исследуемых параметров КВМ за 1997-2006гг. Показано, что вблизи Солнца низкоширотные КВМ отклоняются в основном к экватору, а высокоширотные – к полюсам, что объясняет преимущественное отклонение КВМ к экватору вблизи минимума и на фазе роста солнечного цикла. Показано, что примерно 50% всех исследованных КВМ меняют направление своего отклонения при переходе от близкого к Солнцу участка траектории (до  $2.5 R$  Солнца) ко второму более удаленному (от  $2.5 R$  до  $20 R$  Солнца), что свидетельствует о том, что отклонение КВМ от радиального направления на участках близких к Солнцу и удаленных от Солнца определяются различными структурными элементами крупномасштабного магнитного поля Солнца (арочными структурами вблизи Солнца и дипольной и квадрупольной компонентами поля – на более удаленном участке). С удалением от Солнца траектория КВМ «выправляется», становясь более радиальной, чем на начальном участке траектории.

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

### ЗАТЯГИВАНИЕ ПЕРИОДА ТЕКУЩЕГО 23 ЦИКЛА – КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ИНВАРИАНТА 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА: «АМПЛИТУДА – ДЛИТЕЛЬНОСТЬ»

В.И. Козлов

*Институт космических исследований и аэронауки имени Ю.Г. Шафера СО РАН,  
г. Якутск, cosmoprognoz@mail.ru*

Посредством параметризации динамики флуктуаций ГКЛ в максимуме и на ветви спада 11-летнего цикла выявлен нестационарный переходный колебательный процесс смены знака общего магнитного поля Солнца – *полугодовая* вариация (см. <http://www.forshock.ru/>). Наличие полугодовой вариации подтверждается результатами анализа геоэффективных параметров межпланетной среды: вариаций изменчивости межпланетного магнитного поля, потока низкоэнергичных протонов с энергией ~1 МэВ и числа СМЕ (инжекция корональной массы). При этом *длительность* полугодовой вариации находится в *обратной* зависимости от *амплитуды* цикла. Наличие инварианта «амплитуда-длительность» для «слабых» циклов неизбежно должно приводить к «затягиванию» их длительности. Что мы, очевидно, наблюдали в 20 цикле и наблюдаем сейчас, в текущем 23 цикле: интервал времени с минимума 22 цикла в 1996 г. по 2008 г. уже составляет 13 лет! На существование обратной зависимости между временем достижения максимума 11-летнего цикла и его амплитуды указывалось ранее Вальдмайером. Обратная зависимость между временем достижения максимума цикла и квадратным корнем из максимальной амплитуды 11-летнего цикла выявлена в недавней работе Э.В. Кононовича. Но также известно, что *похожая* зависимость характерна для группового солитона, или «солитона огибающей»: ширина солитона - обратно пропорциональна квадратному корню из его амплитуды. Все вышеизложенное указывает на возможную *солитоноподобную* природу 11-летнего цикла. В таком случае, 11-летняя цикличность есть – эффективный (солитонный) автоколебательный механизм регуляции температуры Солнца.

### ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕСИС ПО РЕНТГЕНОВСКОЙ ИЗОБРАЖАЮЩЕЙ СПЕКТРОСКОПИИ СОЛНЦА НА СПУТНИКЕ КОРОНАС-ФОТОН

С.В. Кузин, С.А. Богачев, И.А. Житник, С.А. Шестов, В.А. Слемзин, А.В. Митрофанов, Н.К. Суходрев, А.А. Перцов, А.П. Игнатъев, О.И. Бугаенко, Ю.С. Иванов, А.А. Рева, М.В. Зыков, А.Е. Ульянов, С.Н. Опарин, А.Н. Гончаров, Т.А. Шергина

*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

Спутник КОРОНАС-ФОТОН является 3-м и последним спутником отечественной программы КОРОНАС по изучению активности Солнца. В состав научного комплекса на спутнике входят 12 приборов, в том числе рентгеновский телескоп-спектрометр ТЕСИС. Запуск спутника КОРОНАС-ФОТОН будет произведен в начале 2009 г. Аппаратура ТЕСИС разработана в ФИАН и включает 6 приборов, предназначенных для телескопических и спектроскопических наблюдений солнечной короны в мягком рентгеновском (МР) и вакуумном ультрафиолетовом (ВУФ) диапазонах спектра. Сайт проекта ТЕСИС – <http://www.thesis.lebedev.ru>. Основной целью эксперимента ТЕСИС является исследование солнечной активности в широком диапазоне высот и температур, поиск ответов на фундаментальные вопросы физики Солнца, такие как нагрев солнечной короны, механизм солнечных вспышек и т.д. В задачи эксперимента ТЕСИС входят: исследование плазмы солнечной короны – ее тонкой структуры, динамики, физических условий в плазме (температуры, плотности), изучение локальных и глобальных явлений и структур: вспышек, горячих облаков, активных областей, выбросов корональной массы и т.д. Комплекс приборов ТЕСИС позволяет проводить наблюдения солнечной короны различных типов: мелкомасштабную структуру и динамику плазмы отдельных явлений с высоким пространственным разрешением (до 1.7 угл. сек.) и временным (10 сек), крупномасштабные структуры на больших расстояниях от поверхности Солнца (до 3-х радиусов), наблюдения отдельных структур с высоким спектральным разрешением (до 0.01 Å) в широком спектральном диапазоне и наблюдения других типов. В докладе приводятся описание прибора, его характеристики и первые результаты эксперимента.



**ПОЛЯРИМЕТРИЯ ЖЁСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ «КОРОНАС-ФОТОН»**

В.А. Дергачев<sup>1</sup>, Е.М. Круглов<sup>1</sup>, Д.В. Скородумов<sup>1</sup>, В.П. Лазутков<sup>1</sup>, Г.А. Матвеев<sup>1</sup>, М.И. Савченко<sup>1</sup>, И.И. Шишов<sup>1</sup>, Г.А. Пятигорский<sup>1</sup>, Ю.А. Чичикалюк<sup>1</sup>, В.В. Хмылко<sup>1</sup>, Г.И. Васильев<sup>1</sup>, В.А. Драневич<sup>1</sup>, С.Ю. Крутьков<sup>1</sup>, Ю.Д. Котов<sup>2</sup>, А.С. Гляненко<sup>2</sup>, А.И. Архангельский<sup>2</sup>, Ю.А. Горелый<sup>2</sup>, В.Т. Самойленко<sup>2</sup>, А.Н. Юров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

<sup>2</sup> Институт Астрофизики Московского инженерно-физического института

Научная аппаратура «ПИНГВИН-М» (Поляриметр Излучения и Нейтрон-Гамма Вспышечный ИНтенсиметр) предназначен для измерения степени линейной поляризации рентгеновского излучения солнечных вспышек в энергетическом диапазоне 20 кэВ – 150 кэВ в космическом эксперименте «КОРОНАС-ФОТОН». Аппаратура позволяет также получать энергетические спектры излучения вспышек в диапазоне 15–500 кэВ. Полученные технические характеристики (чувствительность и энергетическое разрешение) поляриметра «ПИНГВИН-М» позволят проводить исследование процессов накопления магнитной энергии и ее трансформации в энергию ускоренных частиц, их распространения во вспышечной плазме и генерации излучения даже для слабых вспышек. Физическая схема, состав и характеристики детекторов «ПИНГВИН-МД» позволяют исследовать следующие характеристики жёсткого электромагнитного излучения солнечных вспышек: 1) степень линейной поляризации жёсткого рентгеновского излучения в диапазоне энергий 15–150 кэВ; 2) спектры жёсткого рентгеновского и гамма-излучения в диапазонах энергий: 20–200 кэВ (64 энергетических каналов) и 200 кэВ – 1,5 МэВ (64 энергетических каналов); 3) спектры мягкого рентгеновского излучения в диапазоне энергий 2–30 кэВ, в том числе в слабых ("тепловых") вспышках и на предвспышечной стадии.

**ДИНАМИКА КРУПНОМАСШТАБНЫХ И МЕЛКОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КВМ**

И.А. Биленко

*Астрономический институт им. П.К. Штернберга, .bilenko@sai.msu.ru*

Рассмотрено влияние солнечных магнитных полей различного масштаба на формирование КВМ (корональных выбросов массы) связанных с эрупцией волокон. Исследуется влияние динамики мелкомасштабных магнитных полей на уровне фотосферы, таких как всплывание и аннигиляция мелкомасштабных фоновых магнитных полей в области волокон, вызывающих потерю устойчивости равновесного состояния волокна. Анализируются также эволюционные изменения крупномасштабного магнитного поля – сдвиговые движения, всплывание новых магнитных потоков вблизи области расположения волокна, приводящих к нестабильности коронального магнитного поля и инициации эрупции волокна. Всплывание нового магнитного потока часто является необходимым, но не достаточным условием возникновения КВМ. Показана зависимость от полярности и скорости нарастания напряженности магнитного поля, всплывающего магнитного потока. Оценивается вклад магнитных полей различного масштаба в процесс формирования КВМ.

**ДИАГНОСТИКА ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 20 ЯНВАРЯ 2005 МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИИ 2.223 МЭВ**

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

<sup>1</sup> НИИ ядерной физики МГУ им. Д.В. Скобельцына, Москва, 119991, Россия

<sup>2</sup> Институт астрофизики МИФИ (Госуд. университет), Москва, 115409, Россия

<sup>3</sup> ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, РАН, Троицк, 142190, Россия

Ранее были промоделированы предложенной в НИИЯФ МГУ методикой временные профили гамма-излучения в линии 2.223 МэВ, возникающей во время вспышки при захвате нейтронов ядрами водорода окружающей среды, для событий 22 марта 1991, 6 ноября 1997, 16 декабря 1988 и 28 октября 2003. Во всех случаях было обнаружено, что плотность солнечной плазмы увеличена в подвспышечных областях в период солнечной вспышки по сравнению с

плотностью спокойного Солнца. Помимо этого, в случае событий 16 декабря 1988 и 28 октября 2003 показано, что энергетический спектр ускоренных частиц ужестчается со временем. В настоящей работе той же методикой исследовано экстремальное солнечное событие 20 января 2005. В отличие от ранее исследованных вспышек, моделирование с достаточной точностью оказывается невозможным в рамках обычных предположений о свойствах солнечной атмосферы, характере ядерных реакций, начальных свойствах потоков нейтронов и характере потерь нейтронов. Наблюдается дефицит реальных потоков  $\gamma$ -излучения на фазе спада по сравнению с моделирующими. В качестве основного механизма, который мог бы объяснить наблюдаемое расхождение, рассматривается повышенное содержание изотопа  $^3\text{He}$ . Расчеты показывают, что доля ядер  $^3\text{He}$  по отношению к водороду (в числе атомов) составляет  $\sim (1-2)\cdot 10^{-4}$ . Данные по  $\gamma$ -излучению в других диапазонах, а также по регистрации частиц от этого же события подтверждают повышенное содержание изотопа  $^3\text{He}$  в событии 20 января 2005.

### **НЕСПОРАДИЧЕСКИЕ ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН**

*И.А. Бакунина<sup>1</sup>, В.Е. Абрамов-Максимов<sup>2</sup>, С.В. Лесовой<sup>3</sup>, А.А. Соловьёв<sup>2</sup>,  
Ю.В. Тихомиров<sup>1</sup>, В.Ф. Мельников<sup>1</sup>, К. Шибасаки<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> ФГНУ «Научно-исследовательский радиофизический институт», Нижний Новгород

<sup>2</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург

<sup>3</sup> Институт Солнечно-Земной физики РАН, Иркутск

<sup>4</sup> Радиоастрономическая обсерватория Нобеяма, Япония

Впервые по результатам одновременных наблюдений на двух инструментах с высоким пространственным разрешением – радиогелиографе в Нобеяме, Япония (частота 17 ГГц, пространственное разрешение 10 угл. сек) и Сибирском солнечном радиотелескопе, Россия (частота 5.7 ГГц, пространственное разрешение 20 угл. сек) – исследованы за период 2001–2008 г.г. существующие постоянно долгопериодические колебания микроволнового излучения солнечных пятен. Обнаружены общие для обоих инструментов периоды колебаний для всех микроволновых источников, связанных с пятнами. Обсуждается причина превышения амплитуд неспорадических колебаний радиоизлучения пятен над «шумами» спокойного Солнца.

### **НОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ СУБЛИМАЦИИ ВО ВРЕМЯ ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 г.**

Р.А. Гуляев

*ИЗМИРАН*

Продолжено исследование явления сублимации твердого вещества в ближнем околосолнечном пространстве. Индикатором процесса сублимации служит резонансное излучение освобождающихся атомов и низкозарядных ионов. Поиск соответствующих эмиссий осуществляется при помощи интерференционных камер во время полных солнечных затмений. Наблюдения пяти солнечных затмений (1997–2006 гг.) выявили крайне неоднородный характер распределения твердотельной составляющей межпланетной среды на близких ( $< 20 R$ ) расстояниях от Солнца. Во время затмения 1 августа 2008 г. проведены новые наблюдения свечения продуктов сублимации в линии  $K\text{Ca II}$ . Наблюдения 2008 г. подтвердили вывод о дискретном, спорадическом характере распределения межпланетной пыли вблизи Солнца. Вместе с тем, выявились определенные различия в свечении ионов кальция во время разных затмений. Для выяснения причин различий необходимы дополнительные, специальные исследования. В связи с этим большой интерес представляет предстоящее полное солнечное затмение 22 июля 2009 г. Исключительно большая продолжительность полной фазы этого затмения (более 6 мин.) даст возможность более детально исследовать характер околосолнечной сублимации.

### **МГД-ПРИРОДА ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ДИНАМИКИ, ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ И ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ЧЕТЫРЁХСЕКТОРНОЙ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА**

К.Г. Иванов, А.Ф. Харшиладзе

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им.Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Московская обл., kivanov@izmiran.troitsk.ru*

Установлена МГД-природа возникновения, динамики, геоэффективности и исчезновения четырёхсекторной структуры солнечного магнитного поля на фазе спада 23-го цикла. Моделирование крупномасштабного открытого магнитного поля и анализ динамики потоков этого поля привел к обнаружению на Солнце длительного упорядоченного МГД-процесса, состоящего из цепочки взаимосвязанных, неизвестных до данного исследования, явлений, начинающихся и заканчивающихся в одной из главных зон активных долгот и ответственных за упомянутую выше природу четырёхсекторной структуры. Взаимодействие в ходе этого процесса сопровождалось генерацией упорядоченной последовательности гелиосферных и солнечно-земных возмущений, в число которых входила серия из девяти экстрабурь июля 2004г. – сентября 2005г., последних в завершившемся 23-м цикле солнечной активности.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ ПРИ АНАЛИТИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ДОСТОВЕРНОГО РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И ЭМПИРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА ОТ АМПЛИТУДЫ**

И.Г. Шibaев

*ИЗМИРАН*

Для достоверного ряда чисел Вольфа (1849 – 2008 г.) предложено приближение хорошо описывающее амплитудные и временные свойства циклов, т.е. их «энергетику». Продолжение на внешнюю область этих зависимостей позволяет рассматривать задачи прогнозирования солнечных циклов или их реконструкцию в прошлом. В начальном приближении за длительность цикла  $T_c$  берется его среднее значение. Дальнейшая коррекция опирается на эмпирическую зависимость  $T_c$  от максимума цикла  $W_m$ .

### **СПИРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КАК ИНДИКАТОР МЕХАНИЗМА ДИНАМО**

К.М. Кузаныян<sup>1</sup>, Жанг Хонгчи<sup>2</sup>, Гао Ю<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ИЗМИРАН, 142190 Московская обл., г. Троицк*

<sup>2</sup> *Национальные астрономические обсерватории Китайской Академии Наук,  
Datun Lu 20A, 10012, Beijing, China.*

Обсуждаются данные многолетних систематических наблюдений векторных магнитных полей в активных областях на фотосфере Солнца, проводимых обсерваториями США, Японии и Китая начиная с 1988 г. Показано, что имеет место регулярное нарушение зеркальной симметрии магнитного поля, по-видимому, связанное с неоднородностью турбулентности во вращающейся среде конвективной зоны Солнца. Это количественно выражается в наличии пространственной неоднородности средних значений спиральности и закрученности магнитного поля с широтой, которое можно показать на статистически значимом наборе данных. В северном полушарии на фотосфере Солнца эти величины имеют отрицательный знак, в то время как в южном полушарии – положительный. Эта закономерность преобладает в среднем, хотя данные величины заметно варьируются от цикла к циклу солнечной активности. Также показаны значимые отклонения от данного правила на определенных широтах во время фаз роста и спада 11-летнего цикла. Обнаруженные закономерности распределения и изменения спиральных свойств солнечных магнитных полей в значительной степени проливают свет на механизм генерации магнитного поля посредством гидромагнитного динамо и накладывают существенные ограничения, которые необходимо учитывать при теоретическом моделировании этого механизма.

**ДВУХМОДОВЫЙ ХАРАКТЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ**

О.Г. Бадалян

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, РАН,  
142190 Троицк, Московская обл., Россия, badalyan@izmiran.troitsk.ru*

Изучается дифференциальное вращение Солнца, являющееся необходимым условием работы механизма динамо, генерации магнитных полей и цикличности солнечной активности. Анализ закономерностей вращения солнечной короны выполнен на основе данных о яркости зеленой корональной линии Fe XIV 530.3 нм, охватывающих около 6 последних циклов активности. Общая скорость вращения короны представлена в виде суммы двух мод, быстрой и медленной. Быстрая мода слабо дифференциальна, ее синодический период вблизи экватора составляет около 27 дней и увеличивается до 28 дней на высоких широтах. Эту моду представляют долгоживущие крупномасштабные области короны, связанные с магнитными полями больших масштабов. Наиболее отчетливо она выражена на ветви спада активности. Медленная мода проявляется в основном на высоких широтах, и ее синодический период превышает 30 дней. Такие периоды вращения демонстрируют полярные факелы и малые магнитные элементы на высоких широтах. Можно полагать, что медленную моду представляют объекты короны, связанные со слабыми полями малых масштабов. Суперпозиция двух мод приводит к изменению широтной зависимости скорости вращения солнечной короны от фазы цикла, от почти твердотельного вращения в середине ветви спада в цикле активности и до выраженного дифференциального вращения в середине ветви роста. Эти представления находятся в согласии с данными гелиосейсмологии.

**МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ – СРАВНЕНИЕ С ОДНОВРЕМЕННЫМИ РЕНТГЕНОВСКИМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ НА НЕСКОЛЬКИХ АППАРАТАХ**И.М. Подгорный<sup>1</sup> и А.И. Подгорный<sup>2</sup><sup>1</sup> *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*<sup>2</sup> *Физический Институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

Модель солнечной вспышки построена на основании численного трехмерного МГД моделирования. Ее главной особенностью является первичное выделение энергии в короне из-за диссипации магнитной энергии токового слоя. В настоящее время появилась возможность детального сравнения модели с одновременными измерениями вспышки на нескольких аппаратах (RHESSI, Stereo A and B и GOES). Удачное расположение активной области и космических аппаратов позволило получить новую информацию о развитии вспышки. Вспышка класса M2 25.11.2007 возникла над активной областью, расположенной за солнечным лимбом. Активная область наблюдалась приборами Stereo A и Stereo B, а приборы RHESSI могли измерять тепловое рентгеновское излучение из токового слоя и излучение из короны над токовым слоем. Этот аппарат был экранирован от мощного излучения из оснований магнитной арки, поэтому имелась возможность уверенно регистрировать слабое излучение короны. Слабое жесткое излучение короны появлялось одновременно с радиоизлучением III-типа. За эти эмиссии ответствен электронный пучок с энергией ~50 кэВ, который достигал орбиты Земли и наблюдался на аппарате GOES. Это рентгеновское излучение обладало типичным для тонкой мишени степенным спектром. Электроны, вызывающие это излучение, могли ускоряться в продольных токах за фронтом альфвеновской волны, генерируемой в токовом слое полем Холла. Другая система продольных токов замыкается в хромосфере, а ускоренные электроны генерируют спектр, типичный для толстой мишени. Наблюдаемый сценарий вспышки согласуется с электродинамической моделью.

**НОВЫЙ ПОДХОД К МАГНИТОГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЕ И МГД-МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

А.А. Соловьев<sup>1</sup>, Е.А. Киричек<sup>1</sup>, В.Н. Шаповалов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Калмыцкий государственный университет

Система уравнений магнитогидростатики принципиально недоопределена: часть функциональных зависимостей выбирается в ней произвольным образом. В отсутствие поля внешних сил задача гидростатики для осесимметричных магнитоплазменных конфигураций сводится к известному уравнению Града-Шафранова, содержащему произвольные зависимости газового давления и продольного тока от магнитного потенциала. При наличии внешнего силового поля (например, гравитационного) задача резко усложняется. Обобщение уравнения Г-Ш возможно лишь при очень жестких ограничениях на распределение плотности. Однако, для систем, обладающих тем или иным видом симметрии (осевой, трансляционной, винтовой) возможна другая формулировка задачи, при которой в качестве произвольно задаваемых функций выбирается магнитный потенциал и продольный ток. Распределения для газового давления и плотности получаются в виде квадратурных формул. Преимущества нового подхода демонстрируются на ряде примеров для солнечных магнитных конфигураций.

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОДЕЛЬНОГО ПОДХОДА К ОПИСАНИЮ КИНЕМАТИКИ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ**

А.М. Уралов<sup>1</sup>, В.В. Гречнев<sup>1</sup>, Ан.Н. Афанасьев<sup>1</sup>, И.М. Черток<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИСЗФ СО РАН, Иркутск, e-mail: andr\_a@bk.ru

<sup>2</sup> ИЗМИРАН, Троицк, Россия

Корональные выбросы массы (КВМ), наблюдаемые на расстояниях от 2 до 30 солнечных радиусов, имеют широкий диапазон кинематических характеристик. Наш анализ показывает, что существует два предельных случая выбросов – ускоряющиеся и замедляющиеся. Замедляющиеся выбросы становятся после кратковременной фазы быстрого ускорения при взрывных эрупциях в активных областях. Для них характерно появление корональных ударных волн, волн Мортон и всплесков II типа в метровом и декаметровом диапазонах. В отличие от ускоряющихся КВМ, структура таких выбросов может не быть трехкомпонентной. Ускоряющиеся КВМ связаны с эрупциями волокон вне активных областей и не сопровождаются ударными волнами вблизи Солнца, а расширяющиеся над лимбом «волны EIT» в этом случае являются, скорее всего, структурными компонентами КВМ. Кроме того, возможны промежуточные и комбинированные варианты кинематики. Широко используемая полиномиальная аппроксимация расширения КВМ предполагает его равномерное или равноускоренное движение. Однако наблюдения показывают значительное уменьшение величины ускорения КВМ при его движении. Для описания расширения выбросов различных кинематических типов предлагается использовать автоматический подход. На его основе разработана методика определения кинематических характеристик КВМ, позволяющая определить кинематический тип выброса и ожидаемые особенности сопровождающих явлений, точнее оценить время начала эрупции и согласовать времена вспышек, выбросов и радиовсплесков II типа. Область применимости предлагаемого кинематического описания КВМ – от момента достижения максимального ускорения до тех пор, пока аэродинамическое влияние солнечного ветра не станет существенным – по-видимому, в основном, до выхода КВМ из поля зрения коронографов LASCO.

**ВРЕМЯ ОЖИДАНИЯ СВЕРХМОЩНЫХ ВСПЫШЕК НА СОЛНЦЕ**И.С. Веселовский<sup>1</sup>, А.В. Прохоров<sup>2</sup><sup>1</sup> НИИЯФ МГУ, ИКИ РАН<sup>2</sup> НИИЯФ МГУ

Анализируется статистика по времени ожидания рентгеновских вспышек на Солнце в зависимости от их пиковой мощности по данным ИСЗ серии GOES за 1980-2006гг. Выполнена экстраполяция экспериментальных данных различными аналитическими зависимостями и проведена оценка возможных коридоров ошибки вместе с доверительными интервалами. Экстраполяция этих зависимостей внутри этих коридоров как в сторону низких, так и в сторону высоких значений мощности сопряжена с определёнными трудностями и отличается большой степенью неопределённости. Обсуждаются физические причины этой неопределённости, отклонение от двойной логарифмической зависимости и невозможность указать предельное значение на величину мощности рентгеновской вспышки. Вспышечные события на Солнце с мощностью на 2-3 порядка больше наблюдавшихся экстремальных (1956, 1972, 1991, 2003 и т.п.) могли иметь катастрофические последствия для биосферы. Вероятность подобной сверхэкстремальной рентгеновской вспышки с мощностью излучения на орбите Земли более 1 Вт/м трудно оценить в силу указанных причин. Оценка среднего времени ожидания для неё характеризуется от нескольких тысяч лет до сотен миллионов лет и более в зависимости от принятых законов экстраполяции.

**ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ МАГНИТНЫХ ТРАНЗИЕНТОВ, ГАММА-ИСТОЧНИКА И ЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ 14 ИЮЛЯ 2000 г.**

В.И. Сидоров, Ю.В. Кузьминых, С.А. Язев

ИСЗФ СО РАН, АО ИГУ

Предлагается сценарий, в рамках которого хромосферные магнитные транзиенты, гамма-источник и высокоэнергичные протоны, наблюдавшиеся в солнечной вспышке 14.07.2000 г. (Бастилия), рассматриваются как проявления единого процесса. Пучок протонов,двигающийся из вершины вспышечной петли к ее основаниям, представляет собой электрический ток. Ток, имеющий соленоидальную составляющую вследствие спиральной закрученности петли, обеспечивает появление дополнительного магнитного поля (МП), которое, при соответствующей закрутке, ослабляет собственное (продольное) магнитное поле петли. При этом наблюдается эффект фотосферного магнитного транзиента. Падение продольного МП приводит к появлению в петле вихревого электрического поля, которое при сильных неоднородностях за ~ 10-20 секунд способно ускорить протоны до энергий ~ 200 МэВ. Протоны с большей скоростью вдоль петли высыпаются в хромосферу на внешней границе заходящей в пятно вспышечной ленты и порождают источник гамма-излучения. Протоны с меньшей скоростью вдоль петли в результате дрейфа в неоднородных магнитных и электрических полях способны сместиться в область открытых силовых магнитных линий, выходящих в корону из тени пятна. Здесь частицы отражаются от «магнитного зеркала» над тенью пятна выше хромосферы и уходят в корону. Таким образом, предложен механизм эффективного ускорения частиц во вспышечной петле, обеспечивающий выход энергичных протонов в гелиосферу, сопровождаемый наблюдаемыми явлениями фотосферных магнитных транзиентов и гамма-всплесков.

**ФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРЕДВЕСНИКОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

А.Г. Тлатов

*Кисловодская горная астрономическая станция ГАО РАН*

Получены новые прогностические индексы солнечной активности по данным распределения крупномасштабного магнитного поля и полярной активности. К числу таких индексов, относятся площадь и средняя широта крупномасштабных магнитных полей, полярная активность по данным наблюдений в континууме и спектральной короны 5303А и другие. Обсуждаются корреляционные связи между этими индексами и амплитудой следующего цикла солнечных пятен. Выполнен прогноз 24-го цикла активности. Изучена связь между длительностью циклов крупномасштабного магнитного поля и длительностью циклов солнечных пятен. Установленные связи позволяют предположить, что на фазе спада и минимума активности полярное поле формируется источниками как прежнего, так и нового циклов активности. Найденные соотношения позволяют оценить баланс этих источников и выполнить прогноз характеристик нового цикла солнечных пятен.

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

### СТРУКТУРА ИОНОСФЕРЫ В ОБЛАСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА

М.Г. Дёминов,

*ИЗМИРАН*

На основе решения самосогласованной системы уравнений для электрического поля магнитосферной конвекции и ионосферной плазмы проведен анализ структуры ионосферы в области поляризационного джета. Получено, что в этой области возможно возникновение предельного условия G, при котором максимум концентрации электронов Ne на высотах области F2 слабо выражен или даже полностью отсутствует. Такая сильная перестройка ионосферы в области поляризационного джета связана со следующей цепочкой процессов. В период роста геомагнитной активности формируется поляризационный джет – интенсивный направленный на запад дрейф плазмы в узкой полосе субавроральных широт. В формировании этого джета важную роль играют процессы ионосферно-магнитосферные взаимодействия, приводящие к дополнительному увеличению интенсивности джета через уменьшение проводимости ионосферы. Образование поляризационного джета приводит к увеличению температуры ионов и, как следствие, к росту скорости рекомбинации ионов кислорода. Это приводит к подъему нижней границы области F2. Для концентрации молекулярных ионов становится существенной взаимная диффузия ионов кислорода и молекулярных ионов даже на высотах преобладания молекулярных ионов, что было невозможно для фоновых условий. Качественное изменение характера диффузии совместно с высокими значениями температуры ионов и приводит к аномальному высотному распределению Ne, при котором максимум Ne на высотах области F2 слабо выражен или даже отсутствует. Даны экспериментальные обоснования реализации этого условия.

### МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ СИНГЛЕТНОГО И ТРИПЛЕТНОГО ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА В АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

А.С. Кириллов

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты Мурманской области*

Полосы системы Лаймана-Бирджа-Хопфилда и Вегарда-Каплана молекулярного азота (обусловленные электронными переходами  $a^1\Pi_g, v \rightarrow X^1\Sigma_g^+, v'$  и  $A^3\Sigma_u^+, v \rightarrow X^1\Sigma_g^+, v'$ , соответственно) являются характерными полосами свечения авроральной ионосферы в ультрафиолетовой области. На основании квантово-химических приближений мы рассчитали коэффициенты гашения синглетных ( $a^1\Pi_g$ ,  $a^1\Sigma_u^-$ ,  $w^1\Delta_u$ ) и триплетных ( $A^3\Sigma_u^+$ ,  $B^3\Pi_g$ ,  $W^3\Delta_u$ ,  $B'^3\Sigma_u^-$ ) состояний молекулярного азота. Эти расчеты позволяют оценить квантовые выходы продуктов во время неупругих молекулярных столкновений. Проведено сравнение рассчитанных коэффициентов с имеющимися в научной литературе экспериментальными данными. Коэффициенты гашения и квантовые выходы применяются при моделировании колебательной заселенности синглетных и триплетных состояний  $N_2$  на высотах авроральной ионосферы. Мы исследуем зависимость относительных интенсивностей полос систем Лаймана-Бирджа-Хопфилда и Вегарда-Каплана от высоты. Показано, что столкновительные молекулярные процессы играют очень важную роль в электронной кинетике  $N_2$  во время авроральных высыпаний. Также специальное внимание уделено вкладу столкновений электронно-возбужденного молекулярного азота с  $O_2$  молекулами в электронной кинетике молекул  $N_2$  на высотах авроральной ионосферы.



**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУКТУРЕ НА ГЕОМАГНИТНОМ ЭКВАТОРЕ**

Н.И. Ижовкина<sup>1</sup>, И.С. Прутенский<sup>1</sup>, С.А. Пулинец<sup>1</sup>, Н.С. Ерохин<sup>2</sup>,  
Л.А. Михайловская<sup>2</sup>, З. Клос<sup>3</sup>, Х. Роткель<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН, г. Москва*

<sup>3</sup> *Space Research Center, CBK PAN, Bartycka, 18 a, 00-716, Warsaw Poland*

Образование неоднородных плазменных структур, распространение электромагнитных и электростатических возмущений в таких структурах представляют интерес для физики плазмы и геофизики. Широкополосные спектры электростатического излучения электронного компонента ионосферной плазмы, измеренные в экспериментах на спутниках Интеркосмос-19 и АПЭКС, зависят от геофизических условий. Можно отметить, что эта зависимость проявляется, например, в неоднородном геомагнитном поле. По данным измерений широкополосного волнового излучения в верхней ионосфере в области геомагнитного экватора (АПЭКС) исследовано распространение волнового излучения в крупномасштабной области пониженной плотности плазмы. Показано, что формирование плазменной полости могло быть связано с развитием электростатической неустойчивости плазмы в окрестности геомагнитной экваториальной поверхности при затухании плазменных вихревых структур и электростатических колебаний, распространяющихся поперек геомагнитных силовых линий и пересекающих геомагнитную экваториальную поверхность. Яркость наблюдавшегося электромагнитного излучения на частотах выше собственных частот плазмы, локальной плазменной и/или верхнегибридной, уменьшается с ростом указанных собственных частот, что может быть связано с рассеянием электромагнитных волн на электростатических возмущениях плазмы.

**ГЛОБАЛЬНАЯ КАРТИНА ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ СУББУРИ 17 ФЕВРАЛЯ 1998 Г. ПО ДАННЫМ SUPERDARN И НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ**

А.Т. Карпачев<sup>1</sup>, П.Ф. Денисенко<sup>2</sup>, N. Beloff<sup>3</sup>, T.D. Carozzi<sup>3</sup>, M. Lester<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *ИЗМИРАН*

<sup>2</sup> *Ростовский Университет*

<sup>3</sup> *University of Sussex, UK*

Построена глобальная картина квази-волновых вариаций (КВВ) параметров ионосферы во время умеренного усиления геомагнитной активности 17 февраля 1998 г. по данным системы радаров SuperDARN и глобальной сети станций наземного зондирования. По картине высокоширотной конвекции, данным 4 спутников DMSP и сети наземных магнитометров определены источники возмущений ионосферы в области аврорального овала, разнесенные во времени и в пространстве. Источником крупномасштабных КВВ в дневном (Американском) секторе являлся дневной касп. КВВ четко фиксировались по вариациям skip distance на радарх SuperDARN и с трудом выделялись по наземному зондированию. В раннем вечернем (Европейском) секторе КВВ ионосферы было создано совместным действием восточного и западного электроджетов. Наиболее четко КВВ проявились в позднем вечернем (Сибирском) секторе, что связано с резким усилением западного электроджета именно в этом секторе. В Азиатском послеполуночном секторе КВВ также было связано с усилением западного электроджета, но было ограничено субавроральными широтами. В утреннем (Американском) секторе усиления западного электроджета были слабыми, тем не менее КВВ фиксировались и на средних широтах. Таким образом, мозаичная картина источников определила сложную реакцию ионосферы во время умеренного возмущения 17 февраля 1998 г. Полученная картина резко отличается от глобальной картины для интенсивной бури 22 марта 1979 г., во время которой мощный всплеск активности во всей области аврорального овала породил мощное КВВ, фронт которого был сплошным, т.е. охватывал все часы местного времени.

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ СЛОЕВ В ИОНОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ**

А.Л. Гаврик, Ю.А. Гаврик, Л.Н. Самознаев, Т.Ф. Копнина

*ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, alg248@ire216.msk.su*

Разработаны принципы увеличения чувствительности метода двухчастотного радиопросвечивания, обеспечивающие обнаружение и исследование тонких структур ионосфер планет. Новая прецизионная методика увеличивает точность и разрешающую способность при определении характеристик ионосферы по экспериментальным данным, а разработанные критерии позволяют разделить эффекты влияния плазмы, атмосферы и шума. Теоретически показано, что влияние разреженных атмосфер и ионосфер планет на результаты радиопросвечивания определяется функциональной взаимосвязью характеристик радиосигналов, в частности, рефракционное ослабление мощности прямо пропорционально градиенту частоты радиосигнала. Наличие взаимосвязей доказано экспериментально данными радиопросвечивания. Апробация методики проведена по данным регистрации напряженности поля когерентных радиосигналов станций ВЕНЕРА-15,16, чувствительность методики к влиянию плазмы оказалась выше, чем у зарубежных миссий по исследованию Венеры. В результате применения новых технологий обработки и анализа экспериментальных данных впервые установлено существование нижней области ионосферной плазмы в дневной ионосфере Венеры на высотах от 80 до 120 км. Нижняя ионосфера проявляется регулярно, для нее характерны сильная изменчивость и слоистая структура с вертикальным масштабом 5-10 км. Свойства нижней ионосферы зависят от освещенности Солнцем, в частности, на ночной стороне подобные слои не наблюдаются.

**К ВОПРОСУ О ЗАРЯДКЕ НАНО- И МИКРОМАСШТАБНЫХ ЧАСТИЦ В ЗАПЫЛЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ В ПРИСУТСТВИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

С.И. Копнин, А.А. Моржакова, С.И. Попель

*Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия, serg\_kopnin@mail.ru*

Рассмотрены процессы зарядки нано- и микромасштабных пылевых частиц в ионосферной плазме Земли. Показано, что в присутствии солнечного излучения фотоэффект при взаимодействии излучения с поверхностью пылевой частицы может приводить к появлению в ионосферной плазме электронов с температурой порядка 1 эВ. Взаимодействие указанных электронов с окружающей плазмой приводит к нагреву ее электронной компоненты. Эффективность нагрева зависит от концентрации нейтралов и от интенсивности солнечного излучения на соответствующей высоте. Получены условия на концентрации нейтралов, размеры пылевых частиц и диапазоны высот, где этот процесс оказывается существенным. Изменение температуры электронов в ионосферной плазме, в свою очередь, приводит к увеличению положительного заряда пылевых частиц. Установлены диапазоны высот, для которых указанный процесс заметен (увеличение заряда достигает величин порядка нескольких десятков процентов). Кроме того, рассмотрено влияние эффектов резонансной перезарядки ионов при их взаимодействии с нейтралами. Получено выражение для микроскопического тока ионов на положительно заряженную пылевую частицу с учетом влияния эффекта резонансной перезарядки. Оказывается, что эффект резонансной перезарядки ионов при их взаимодействии с нейтралами может приводить к существенному уменьшению тока ионов на положительно заряженную пылевую частицу. Найдено условие на концентрации нейтралов в плазме, при которых указанный эффект оказывается существенным. Определены области параметров запыленной плазмы ионосферы, в которых при вычислении зарядов пылевых частиц следует учитывать эффект резонансной перезарядки ионов. Оказывается, что рассмотренные в работе эффекты важны при описании серебристых облаков, полярных мезосферных радиоотражений, метеорной пыли, активных геофизических экспериментов Fluxus. Авторы выражают признательность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку. С.И.К. выражает благодарность некоммерческому фонду «Династия» за финансовую поддержку.

**ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА СИГНАЛЫ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ GPS ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СПУТНИКЕ CHAMP**

А.Г. Павельев<sup>1</sup>, С.С. Матюгов<sup>1</sup>, О.И. Яковлев<sup>1</sup>, А.А. Павельев<sup>1</sup>, J. Wickert<sup>2</sup>, T. Schmidt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Россия*

<sup>2</sup> *GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ — Potsdam), Germany*

Цель работы состоит в анализе связи между солнечной активностью и вариациями интенсивности радиосигналов навигационной системы GPS по данным измерений на спутнике CHAMP (Германия). Плазменные возмущения вызывают вариации амплитуды и фазы высокостабильных, синхронизированных атомными часами, сигналов навигационных спутников при прохождении их через магнитосферу, ионосферу и мезосферу Земли на трассах спутник-спутник. Для количественной оценки уровня флуктуаций интенсивности сигналов навигационных спутников использовался индекс мерцаний S4. Анализ материалов базы данных объемом около 500 тысяч сеансов измерений, созданной с помощью спутника CHAMP в течение 2001-2008 годов, позволил получить информацию о долговременных изменениях усредненного индекса S4. Долговременный тренд индекса S4 зависит от географического положения района измерений. В полярных районах индекс S4 в течение 2001-2008 годов постепенно снижался от 10% до 7%. В экваториальных районах индекс S4 возрос от 7,5% в 2002 году до 9% в 2008 году. Различие в медленных изменениях индекса S4 в полярных и экваториальных районах связано, по-видимому, с различными механизмами ионизации. В полярных районах возможный механизм спада ионизации связан с уменьшением интенсивности солнечного ветра на нисходящей ветви солнечной активности. В экваториальных районах преобладал механизм ионизации, вызванный ультрафиолетовым излучением Солнца, изменения которого в течение цикла солнечной активности существенно меньше. Проведенный анализ показал важность изучения характеристик амплитудных вариаций сигналов спутников системы GPS для исследования механизма взаимосвязи между солнечной активностью и природными процессами в ионосфере и мезосфере.

**ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В АТМОСФЕРНЫХ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ**

В.Н. Ангаров, С.И. Климов, В.Г. Родин, Л.М. Зелёный

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, [angarov@tarusa.skbkp.ru](mailto:angarov@tarusa.skbkp.ru)*

В настоящее время микроспутники достаточно широко используются в практике, в том числе и для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. При этом практически используется относительно узкий диапазон электромагнитных излучений видимого диапазона (visible light). Используя большой опыт фундаментальных космических исследований, ИКИ РАН в последние 2 года прорабатывает научные программы с использованием микроспутников, ориентированные на изучение инфракрасного – infrared, ультрафиолетового –UV и гамма – X-ray диапазонов не только для фундаментальных космических исследований, но и ориентированных на задачи изучения некоторых аспектов чрезвычайных ситуаций. В последние годы обнаружен ряд новых физических явлений в атмосфере, фундаментально изменивших наше представление о грозовых разрядах. ИКИ с участием НИИЯФ МГУ, ФИАН, ЛЦ ИКД НАНУ-НКАУ (Львов, Украина), Университета Этвоша (Будапешт, Венгрия) модельный состав комплекса научных приборов (12.5 кг):

- Рентген – гамма детектор (диапазон рентгеновских и гамма излучений – 50-500 кЭв);
- Ультрафиолетовый детектор (диапазон ультрафиолетовых излучений – 300-450 нм);
- Радиочастотный анализатор (20-50 МГц);
- Камера оптического диапазона (пространственное разрешение 300 м);
- Плазменно-волновой комплекс (0.1-40 кГц).

Микроспутник «Чибис-М» разрабатывается и изготавливается в ИКИ. Общая масса «Чибис-М» со служебными системами, конструкцией и научными приборами – 40 кг. Научно-образовательная программа, начатая на микроспутнике «Колибри-2000» будет продолжена и на «Чибис-М». Дискуссия по методическим вопросам изучения атмосферных грозовых разрядов проведена в рамках рабочей группы ИССИ (ISSI Team: CARNES (Coupling of Atmosphere Regions with Near-Earth Space)).

## С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» С Т Е Н Д О В Ы Е Д О К Л А Д Ы

### ФЛУКТУАЦИИ ТРАЕКТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОВОЛНЫ ПРИ ПОЛНОМ ВНУТРЕННЕМ ОТРАЖЕНИИ ОТ СЛОЯ ПЛАЗМЫ

Н.Т. Афанасьев, О.А. Ларюнин

*Иркутский государственный университет, nta@api.isu.ru*

Учет особенностей рассеяния радиоволны при полном внутреннем отражении от случайно-неоднородного слоя плазмы имеет важное значение для диагностики параметров плазменной турбулентности. На основе приближения геометрической оптики и метода возмущений ранее [1] были исследованы вопросы влияния точки отражения на флуктуации фазы при нормальном падении радиоволны на линейный слой плазмы со случайными неоднородностями диэлектрической проницаемости, заданными гауссовой функцией корреляции. В результате был сделан важный вывод о преобладающем влиянии на флуктуации фазы случайных неоднородностей, расположенных в окрестности точки отражения. В настоящей работе предложен метод расчета статистических моментов фазы, направления распространения и доплеровского смещения частоты радиоволны при полном внутреннем отражении от случайно-неоднородного слоя плазмы с произвольной монотонной зависимостью регулярной диэлектрической проницаемости от высоты. В приближении метода малого параметра решена статистическая траекторная задача при нормальном падении радиоволны на слой плазмы. Получены интегральные выражения для флуктуаций траекторных характеристик. Непосредственное усреднение полученных интегралов для расчета статистических моментов связано с большими вычислительными трудностями, поскольку подинтегральные функции имеют особенности в точке отражения. Поэтому при построении моментов траекторных характеристик радиоволны предварительно сделано аналитическое преобразование интегралов к виду, позволяющему корректно учесть особенности в точке отражения.

[1] Денисов Н.Г., Ерухимов Л.М. Статистические свойства фазовых флуктуаций при полном отражении от ионосферного слоя // Геомагнетизм и аэрономия. 1966. Т.VI. №4. С.695.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ИНЖЕКЦИИ ПЛАЗМЫ С БОРТА ОРБИТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МИР

Ю.В. Лисаков<sup>1</sup>, О.В. Лапшинова<sup>2</sup>, В.Н. Яковлев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ИКИ РАН, [ylissako@iki.rssi.ru](mailto:ylissako@iki.rssi.ru),

<sup>2</sup> РКК "Энергия", [post2@rsce.ru](mailto:post2@rsce.ru),

<sup>3</sup> ФГНУ "НИИ ПМЭ", [riame@sokol.ru](mailto:riame@sokol.ru)

Обсуждаются данные, полученные в период март 1999г. – апрель 2000г. в активном эксперименте на ОК *Мир*. Воздействие на околоспутниковую среду осуществлялось установленным на борту импульсным плазменным инжектором (ИПИ) "Ариэль", для диагностики использовался прибор "Зонд-Заряд". Рабочее тело ИПИ – молекулы  $\text{BaCl}_2$ , которые при инжекции частично диссоциируют и ионизируются. ИПИ имел две плазменные пушки, инжектирующие в зависимости от заданного режима в одном из взаимно перпендикулярных направлений, кроме того, одна из пушек инжектировала "тепловую" плазму (3км/с), другая – "энергичную" (10км/с). Эффекты инжекции регистрировались двумя датчиками прибора "Зонд-Заряд" (4 параметра), апертуры которых были направлены диаметрально противоположно. В каждом датчике имелись два типа детекторов: плоский зонд (измерения флуктуаций зондового тока) и детектор (датчик) вибрационного типа (измерения квазистационарных электрических полей). Были проанализированы измерения эффектов более 200 инъекций с разным временным разрешением, различными направлениями инъекций относительно вектора скорости и магнитного поля. Эффекты, наблюдавшиеся на фоне измерений флуктуаций зондового тока, представляли собой резко нарастающее колебательное возмущение (2 ÷ 5 колебаний, амплитудой более чем на порядок превышающей среднее текущее значение параметра), постепенно затухающее (длительность возмущения – менее 1с) с увеличивающимся периодом. Эффекты, наблюдавшиеся на фоне измерений

квазистационарных электрических полей, представляли собой резкий скачок параметра (в несколько раз превышающий среднее текущее значение) и постепенное возвращение (продолжительностью от долей до нескольких секунд) к среднему текущему значению параметра. Проанализированы некоторые временные параметры зарегистрировавшихся эффектов.

### **СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ИОНОСФЕРНОЙ И ПЛАЗМОСФЕРНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИЕЙ В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Т.Л. Гуляева

*ИЗМИРАН, 142190 Троицк, Московская область, gulyaeva@izmiran.ru*

Эмпирические ионосферные и плазмосферные модели используются для оценки эффектов заряженных частиц в околоземном космическом пространстве на высотах до 6 земных радиусов. В частности, они позволяют оценить вклад интегральной ионизации в ионосфере, ИЕС, и плазмосфере, ПЕС, в полное электронное содержание ТЕС в столбе единичного сечения от основания в ионосфере до высоты навигационных спутников 20200 км. В докладе проведено сравнение модельного и наблюдаемого отношения ТЕС/ИЕС, значения которого выше единицы показывают вклад плазмосферы в ТЕС. Наблюдения ИЕС на высотах ионосферы (80-1336 км) оценены по данным альтиметра над акваторией мирового океана системой спутников Топекс-Джэйсон, полного электронного содержания ТЕС по данным системы GPS на высотах (80-20200 км) за половину цикла солнечной активности в 2001-2007. Показано, что плазмосферная часть ИЕС по модели может превышать 50% ТЕС в минимуме солнечной активности. В то же время соотношение ТЕС/ИЕС по наблюдательным данным становится меньше единицы по мере приближения к солнечному минимуму. Это свидетельствует о необходимости переоценки карт полного электронного содержания для учета плазмосферной составляющей в дополнение к ионосферной компоненте при анализе данных сигналов навигационных спутников.

### **СЕЙСМОИОНОСФЕРНЫЕ И ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ В ПЕРИОД СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

В.М. Смирнов, Е.В. Смирнова.

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

Интенсивные исследования ионосферных связей в течение последних нескольких лет показывают, что сейсмоионосферные явления представляют собой уникальные события среди ряда других причин изменчивости ионосферы. Отличие физических механизмов сейсмоионосферных связей от механизмов ионосферных бурь и других источников ионосферной изменчивости ведут к их различному проявлению в поведении ионосферы. Процесс подготовки землетрясений занимает, как правило, значительный период времени и поэтому требует проведения длительных наблюдений над возможными очагами землетрясений. Существующая сеть наземных навигационных станций слежения позволяет осуществлять такие наблюдения за состоянием ионосферы и, следовательно, дает возможность определять ионосферные эффекты землетрясений. Мониторинг состояния ионосферы проводился нами методом радиопросвечивания в период 1-10 октября 2005 года по наблюдениям с нескольких пунктов, оснащенных двухчастотными системами для приема сигналов спутника GPS. Анализ гелиофизической и геофизической обстановки показал, что существенные изменения электронной концентрации, наблюдаемые в рассматриваемый период времени по данным наблюдений навигационных станций, не могут быть вызваны гелиогеофизическими вариациями. Характерное изменение электронной концентрации в максимуме слоя F2 (рост за 3-5 суток с резким уменьшением за 1-3 суток до землетрясения) свидетельствует о подготовке сейсмического события в рассматриваемом регионе.

**КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА НА ВЫСОТАХ НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ И МЕЗОСФЕРЫ**

А.С. Кириллов

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты Мурманской области*

Излучение полос систем Герцберга I, Герцберга II, Чемберлена молекулярного кислорода (переходы  $A^3\Sigma_u^+ \rightarrow X^3\Sigma_g^-, c^1\Sigma_u^- \rightarrow X^3\Sigma_g^-, A^3\Delta_u \rightarrow a^1\Delta_g$  в электронно-возбужденной молекуле  $O_2$ , соответственно) является характерной особенностью свечения ночного неба Земли. Основным механизмом образования молекул  $O_2(A^3\Sigma_u^+)$ ,  $O_2(c^1\Sigma_u^-)$ ,  $O_2(A^3\Delta_u)$  в ночной атмосфере на высотах нижней термосферы и мезосферы является процесс тройного столкновения с участием двух атомов кислорода  $O(^3P)$ , ассоциация которых и приводит к образованию электронно-возбужденной молекулы  $O_2$ . Поскольку значительную роль в электронной кинетике молекулярного кислорода в атмосфере на данных высотах играют молекулярные столкновительные процессы, в настоящей работе был проведен расчет коэффициентов скоростей гашения электронно-возбужденного молекулярного кислорода  $O_2(A^3\Sigma_u^+,v)$ ,  $O_2(c^1\Sigma_u^-,v)$ ,  $O_2(A^3\Delta_u,v)$  при столкновениях с молекулой  $O_2$ . При расчетах были учтены процессы внутримолекулярного и межмолекулярного переноса электронного возбуждения. Рассчитанные коэффициенты гашения электронного возбуждения для состояний Герцберга сравниваются с экспериментальными данными, имеющимися в научной литературе. Наблюдается удовлетворительное согласие рассчитанных коэффициентов с экспериментальными значениями для колебательных уровней. Проведен расчет функции распределения по колебательным уровням молекул  $O_2(A^3\Sigma_u^+,v)$ ,  $O_2(c^1\Sigma_u^-,v)$ ,  $O_2(A^3\Delta_u,v)$  для высот нижней термосферы и мезосферы.

**ДИАГНОСТИКА ИОНОСФЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ОРБИТЫ С ПОМОЩЬЮ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИМАДЖЕРА**А.К. Кузьмин<sup>1</sup>, К.Н. Чиков<sup>2</sup><sup>1</sup> *Институт космических исследований, г. Москва, Россия*<sup>2</sup> *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский Государственный университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург, Россия*

Научиться контролировать в реальном времени условия в космическом пространстве вокруг Земли – одна из важнейших задач космических исследований. В рамках заинтересованности в решении этой задачи продолжается развитие методики дистанционной диагностики ионосферных энергетических и электродинамических характеристик на основе спектрофотометрических измерений и анализа распределений интенсивности свечения эмиссий верхней атмосферы и ионосферы, наблюдаемых сверху. Серийные панорамные изображения и карты интенсивности свечения конкретных эмиссий, получаемые с орбиты, могут быть не только источником данных для такого анализа, но и позволят проводить, зависящую от времени, томографическую реконструкцию монохроматических изображений вертикальных авроральных структур, наблюдаемых последовательно под различными азимутальными углами. В докладе делается обзор основных аспектов методики и рассматривается один из вариантов возможной реализации эксперимента на низкоапогейном ИСЗ.

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

### **КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВСПЛЕСКИ ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКОШИРОТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПРИ СЕВЕРНОМ НАПРАВЛЕНИИ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Г.В. Койнаш, О.Л. Вайсберг, Л.А. Аванов

*Институт космических исследований Российской академии наук, г. Москва, Россия*

Проведен анализ всплесков плотной плазмы, наблюдавшихся внутри высокоширотной северной части хвоста магнитосферы Земли при северном направлении межпланетного магнитного поля. Функции распределения ионов по скоростям указывают на то, что плазма обтекающего потока была инжектирована в хвост вдоль открытой силовой трубки. Наблюдаемые плазменные образования конвектируют от Земли из области, находящейся вверх по потоку относительно космического аппарата. Рассмотрены свидетельства в пользу возможных сценариев наблюдаемого явления: 1. Колебания магнитопаузы, 2. Импульсная инжекция вдоль открытой силовой трубки, 3. Многократное пересоединение с образованием квази-замкнутой flux-rope. Направление движения плазмы в этих всплесках и функции распределения ионов по скоростям позволяют считать сценарий № 3 наиболее вероятным.

### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ОБЛАКА С ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ**

Н.В. Еркаев

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

На основе численного трёхмерного магнитогидродинамического моделирования исследовано нестационарное взаимодействие границы магнитного облака с головной ударной волной на дневной стороне магнитосферы. Граница облака характеризуется значительным падением плотности и давления плазмы при одновременном росте магнитного давления. Рассмотрены два варианта ориентации границы магнитного облака: 1) симметричный случай (граница ортогональна скорости солнечного ветра) и 2) несимметричный случай (граница наклонена под углом к скорости ветра). В результате пересечения облаком фронта головной ударной волны возникает существенно нестационарная картина течения плазмы в переходном слое. Расчеты показывают, что уменьшение динамического давления солнечного ветра, связанное с падением плотности, вызывает быстрое перемещение фронта головной ударной волны навстречу потоку солнечного ветра. Это приводит к значительному увеличению толщины переходного слоя. Внутри облака формируется область сильного магнитного поля, располагающаяся между фронтом головной ударной волны и токовым слоем, медленно приближающимся к магнитопаузе. Между этим токовым слоем и магнитопаузой образуется слой плазмы, характеризуемый ослабленным магнитным давлением и повышенным плазменным давлением при относительно постоянном полном давлении.

**МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЛАСТИ ИОННОГО ФОРШОКА  
ДЛЯ ОКОЛОЗЕМНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

Г.Н. Кичигин

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*

В работе рассматриваются процессы, связанные с образованием перед фронтом околоземной бесстолкновительной ударной волны (БУВ) так называемой форшок области. Предлагается модель, основанная на серфинге захваченных во фронте БУВ ионов, в рамках которой находит объяснение как механизм ускорения ионов во фронте, так и геометрия границы ионного форшока. Ускоренные за счет серфинга ионы формируют популяцию «продольных пучков» («отраженных ионов»). Как известно, существует некоторый критический угол между нормалью к фронту БУВ и вектором ММП  $\theta_{Вн} = \theta_k$ , при котором ионы, ускоренные за счет серфинга во фронте БУВ, имеют максимальные энергии. В работе показано, что после окончания процесса ускорения из этой точки пучок движется перед фронтом БУВ под углом  $(\pi/2 - \theta_k)/2$  к вектору межпланетного магнитного поля (ММП) вдоль линии, которая и определяет геометрию границы ионного форшока. Эта интерпретация в корне отличается от общепринятой, где полагается, что наклон линии, определяющей эту границу, к силовым линиям ММП, связан со сносом ионов потоком СВ. Критический угол  $\theta_k$  в основном зависит от пространственной ширины фронта БУВ. Как следует из расчетов, при типичных значениях наблюдаемой на космических аппаратах (КА) энергии пучков в 5-10 кэВ ширина фронта составляет единицы  $c/\omega_{pi}$  ( $c$  – скорость света,  $\omega_{pi}$  – плазменная ионная частота) при этом критический угол примерно равен  $60^\circ-70^\circ$ , а угол наклона граничной линии форшока к вектору ММП  $(\pi/2 - \theta_k)/2$ , следовательно, составляет  $10^\circ-15^\circ$ . Для углов  $\theta_{Вн} < \theta_k$  энергия продольных пучков уменьшается при уменьшении  $\theta_{Вн}$  как  $1/\cos^2\theta_{Вн}$ . Этот факт, следующий из наших расчетов, приводит к тому, что продольные пучки максимальных энергий сосредоточены вблизи границы ионного форшока БУВ. Как следует из данных измерений на КА, ширина фронта БУВ минимальна при  $\theta_{Вн} = \pi/2$  и затем растет с уменьшением  $\theta_{Вн}$ . Принимая это во внимание, можно предположить, что ионы, ускоренные за счет серфинга в интервале углов  $\pi/2 > \theta_{Вн} > \theta_k$  попадают за фронт БУВ с энергиями до сотен кэВ. Эти энергичные ионы, рассеиваясь на колебаниях, существующих за фронтом и в магнитослое, приводят к нагреву плазмы и вдоль силовых линий попадают в область форшока, где могут проявляться в популяции так называемых диффузных ионов. Все перечисленные выше особенности, полученные из расчетов представленной работы, хорошо подтверждаются данными измерений на КА.

**ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСА ДАВЛЕНИЯ НА МАГНИТОПАУЗЕ В ПОДСОЛНЕЧНОЙ ТОЧКЕ  
ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СПУТНИКОВ ПРОЕКТА THEMIS**С.С. Россоленко<sup>1,2</sup>, Е.Е. Антонова<sup>1,2</sup>, И.П. Кирпичев<sup>2,1</sup><sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ, г. Москва<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, г. Москва, sv\_ross@mail.ru

Исследован баланс давлений на магнитопаузе вблизи подсолнечной точки для пересечений магнитопаузы спутниками проекта THEMIS 18 июля 2007 года. Обсуждена проблема проникновения плазмы внутрь магнитосферы. На основе спутниковых данных определены динамическое, статическое и магнитное давления плазмы в магнитослое, магнитное и статическое давления плазмы внутри магнитосферы. Изучены вариации полного давления при нахождении одного из спутников внутри магнитосферы, а другого в магнитослое вблизи магнитопаузы. Показано, что для исследованных событий в пределах применимости приближения изотропной магнитной гидродинамики соблюдается условие баланса давлений в подсолнечной точке с точностью ~10%.



**СТАТИСТИКА СВОЙСТВ ПУЧКОВ ПОЧТИ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ (ПМИ) ВБЛИЗИ ОКОЛОЗЕМНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

В.Н. Луценко, Е.А. Гаврилова

*Институт космических исследований Российской академии наук, г. Москва, Россия*

Открытие ПМИ стало возможным благодаря рекордно высокому энергетическому и временному разрешению аппаратуры ДОК-2 (проект Интербол), а также использованию специальных алгоритмов измерений. Диапазон энергий ионов составлял 20-800 кэВ, энергетическое разрешение 8-9 кэВ. Типичный спектр ПМИ содержал три линии с соотношением энергий 1:2: (5-6). Это позволило нам предложить объяснение этого явления, как результата ускорения ионов водорода, гелия и группы CNO плазмы солнечного ветра в потенциальном электрическом поле, возникающем при кратковременных разрывах волокон токового слоя ОЗУВ. Ионный состав ПМИ был подтвержден сравнением спектров, полученных ДОК-2 со спектрами прибора EPIC (спутник Geotail), для случая, когда оба спутника находились около ОЗУВ недалеко друг от друга. Первые результаты изучения ПМИ, основанные на анализе нескольких десятков наиболее эффективных событий, были опубликованы в 1999-2000 гг. В 2008 г. нами было начато систематическое изучение всего массива данных эксперимента ДОК-2 по событиям с ПМИ (более 1000 случаев). Были построены статистические распределения для энергий, соотношений энергий и интенсивностей всех трех наблюдавшихся линий (ионы  $H^{+1}$ ,  $He^{+2}$ , (C, N, O)  $^{+(5-6)}$ ), мест наблюдения ПМИ, длительности событий и других параметров, важных для понимания природы и происхождения пучков ПМИ. Одновременно были собраны и проанализированы данные о параметрах магнитных полей и плазмы солнечного ветра, полученные на нескольких других спутниках. В частности, особое внимание уделялось тангенциальным разрывам (токовым слоям) в солнечном ветре, которые, как мы показали ранее, при взаимодействии с ОЗУВ могут инициировать разрывы волокон токового слоя ОЗУВ. Возможно, продолжение этой работы позволит найти и другие причины разрывов токовых слоев и даст новую информацию о динамике этих важнейших объектов космической плазмы.

**О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ИОНОПАУЗЫ ВЕНЕРЫ В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

М.И. Веригин, Г.А. Котова

*Институт космических исследований Российской академии наук, г. Москва, Россия*

Отчетливая верхняя граница ионосферы Венеры – ионопауза была обнаружена при заходе Маринера 5 в радиотень планеты в 1967 г. Следующее радиозатмение Маринера 10 поставило под некоторое сомнение постоянное существование такой границы, которое было окончательно установлено после анализа результатов многократных радиозатмений спутников Венера 9, 10. Плазменные эксперименты на спутнике Пионер-Венера собрали большой массив научной информации на протяжении полного солнечного цикла, однако прямые измерения в окрестности ионопаузы были возможны только в максимуме солнечной активности, когда высота перицентра этого спутника была достаточно низка. И, наконец, спутник Венера-Экспресс, недавно начавший работать у Венеры в период минимума солнечной активности, практически не пересекал ионопаузу вследствие ее низкой высоты в это время. В докладе в рамках новой количественной модели анализируются пересечения ионопаузы спутником Пионер-Венера в зависимости от их высоты, зенитного угла и потока солнечного УФ излучения. Результаты моделирования сравниваются с положениями прямых наблюдений этой границы. Показано, что обнаруженная зависимость положения ионопаузы от изменения потока УФ излучения в цикле солнечной активности не объясняет наблюдавшиеся значительные вариации положения околосолнечной ударной волны в солнечном цикле.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УДАРНЫХ ВОЛН В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ

В.Н. Решетник, А.В. Агапитов

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина,  
vnr@univ.kiev.ua*

Солнечный ветер на орбите Земли имеет нестационарную во времени и пространстве структуру. Ударные волны и другие границы неоднородностей параметров солнечного ветра обеспечивают условия для переноса массы, импульса и энергии в плазме межпланетной среды и, вследствие этого, являются предметом детального изучения с 60 гг. Относительно короткое время наблюдения (обычно до десятков секунд) и отличная от плоскости геометрия наблюдаемых разрывов усложняет интерпретацию наблюдений, зафиксированных на борту одиночного космического аппарата. Важность правильной интерпретации результатов наблюдений для физики магнитосферы Земли и для физики плазменных границ приводит к необходимости использования измерений многоспутниковых миссий. Геометрические параметры поверхностей неоднородностей в солнечном ветре – параметры, которые могут использоваться для моделирования взаимодействия неоднородностей солнечного ветра с магнитосферой Земли. В предлагаемой работе впервые на разных пространственных масштабах был проведен анализ параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП), полученных с четырех космических платформ STEREO A, STEREO B, ACE и Wind на протяжении 2007 года. В результате был выявлен ряд событий, которые были зафиксированы в измерениях всех четырех аппаратов. Были оценены изменения радиуса кривизны магнитогидродинамического разрыва в зависимости от расстояния между аппаратами. Радиусы кривизны поверхности фронта гидродинамических разрывов в плоскости эклиптики для различных событий варьируют в пределах 500–3000  $R_E$ . При рассмотрении физических процессов в околоземном космическом пространстве и в магнитосфере Земли фронты ударных волн могут считаться плоскими. Для ряда единичных событий (например, 7 мая 2007 г.) на пространственных масштабах взаимного удаления системы STEREO A и STEREO B (в 2007 г. единицы тысяч  $R_E$ ) радиус кривизны меняется слабо, и в рамках погрешности определения может считаться постоянным.

## О НЕКОТОРОЙ АНАЛОГИИ МЕЖДУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН С МАГНИТНЫМИ ОБЛАКАМИ И МАГНИТОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ

С.А. Гриб

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, СПб, Россия,  
sagrib@SG10548.spb.edu*

Рассматривается столкновение бегущих по солнечному ветру прямых и обратных МГД ударных волн с границами магнитного облака, представляемыми в виде стационарных тангенциальных разрывов. Обращается внимание на возникновение так называемых внутренних волн или быстрых ударных волн, преломленных внутрь облака. Указывается на аналогию в преломлении солнечных ударных волн внутрь облака и внутрь магнитосферы Земли и на различие в состоянии вторичных волн разрежения в магнитопереходном слое перед магнитным облаком и перед магнитосферой. Обсуждается сдувание этих волн ускоренным потоком солнечного ветра в слое перед облаком. Предполагается возможность возникновения обратных ударных волн перед магнитосферой Земли. Отмечается, что теоретические результаты, говорящие о возникновении первичных быстрых волн разрежения и преломленных ударных волн в магнитных облаках и в магнитосфере Земли, подтверждаются данными экспериментальных наблюдений. При описании непрерывного потока плазмы вне тангенциальных разрывов, моделирующих границы облака, используются интегральные МГД инварианты. Работа выполнена в рамках программы ОФН 16 и при поддержке со стороны гранта РФФИ 08-01-00-191.

**С Е К Ц И Я**

**«ГРАНИЦЫ МАГНИТОСФЕРЫ»  
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

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

### СТРУКТУРА МАГНИТНЫХ ДИПОЛЯРИЗАЦИЙ И ИНЖЕКЦИЙ ПЛАЗМЫ ВО ВНУТРЕНнюю МАГНИТОСФЕРУ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА THEMIS

В.А. Сергеев<sup>1</sup>, С.В. Дубягин<sup>1</sup>, С.В. Апатенков<sup>1</sup>, В. Ангелопулос<sup>2</sup>, Дж. МакФадден<sup>3</sup>, Т.А. Корнилова<sup>4</sup>, И. А. Корнилов<sup>4</sup>, И.В. Головчанская<sup>4</sup>

<sup>1</sup> С-Петербургский государственный университет, С-Петербург,

<sup>2</sup> Университет Калифорнии, Лос Анжелес,

<sup>3</sup> Университет Калифорнии, Беркли,

<sup>4</sup> Полярный Геофизический Институт, Апатиты, Россия

Инъекции плазмы во внутреннюю магнитосферу известны давно, однако их структура, динамика и связь с диполяризациями магнитного поля изучены крайне слабо. Прекрасную возможность изучить структуру и понять механизм инъекций и диполяризации представляет проект THEMIS, при условии комплексного использования измерений системой спутников в магнитосфере, наземными приборами в ионосфере, и использования подстраиваемых магнитосферных моделей для проектирования между магнитосферой и ионосферой. Мы приведем некоторые предварительные результаты изучения этих явлений на расстояниях 5-12 Re по материалам первого сезона хвостовых наблюдений проекта, который уже дал ряд неожиданных результатов. В частности, основным плазменным эффектом диполяризации оказался рост плазменного давления в экваториальной магнитосфере, начинающийся до прихода фронта диполяризации. При прохождении фронта наблюдается резкое падение концентрации плазмы и структурирование всех параметров, со значительным падением величины энтропии плазменной трубки. Впервые выделены авроральные проявления области диполяризации и ее резкого переднего фронта, которые могут послужить мощным средством исследования как глубины проникновения инъекций, так и механизмов их структурирования.

### ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОТОКА ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ

М.А. Шухтина<sup>1</sup>, Е.И. Гордеев<sup>1</sup>, В.А. Сергеев<sup>1</sup>, А.Д. DeJong<sup>2</sup>, В. Hubert<sup>3</sup>

<sup>1</sup> С-Петербургский государственный университет, С-Петербург

<sup>2</sup> Southwest Research Institute, США

<sup>3</sup> Laboratory of Planetary and Atmospheric Physics, University of Liège, Liege, Belgium

Величина магнитного потока хвоста магнитосферы  $F$  является одним из ключевых параметров, характеризующих состояние системы магнитосфера – солнечный ветер. Однако измерение величины магнитного потока представляет большие трудности, т.к. этот глобальный параметр трудно оценить по измерениям в отдельных точках. Для расчета величины  $F$  предлагается метод (далее SPR), являющийся модификацией метода [Petrinec and Russell, 1996]. Метод содержит множество предположений и поэтому требует тщательного тестирования, которое было проведено с помощью МГД-моделирования в центре ССМС (Community Coordinated Modeling Center). Величина  $F$  рассчитывалась для искусственного события длительностью 5 часов, включающего суббурю, по нашей методике и прямым интегрированием величины потока через поперечное сечение хвоста. Анализ показал хорошее соответствие результатов двух методов ( $cc > 0.9$ , коэффициент регрессии  $\sim 0.8$ ), что дает основания для дальнейшего использования метода. Далее величина  $F$  была рассчитана методом SPR для нескольких реальных событий (суббуря, стационарная конвекция-SMC, sawtooth event) и сопоставлена с величиной потока, полученной из снимков полярной шапки. Результаты показали качественное соответствие полученных величин. Статистическое исследование поведения величины  $F$ , рассчитанной по SPR, в разных магнитосферных режимах подтвердило полученные ранее результаты

Petrinec, S.M., and Russell, C.T.: Near-Earth magnetotail shape and size as determined from the magnetopause flaring angle, J. Geophys. Res., 101, 137, 1996.

**СТРУКТУРА ПОПЕРЕЧНЫХ ТОКОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ**

И.П. Кирпичев<sup>1,2</sup>, Е.Е. Антонова<sup>2,1</sup>, К.Г. Орлова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт Космических Исследований РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова*

Приведены результаты моделирования распределения поперечных токов в высокоширотной магнитосфере. Предполагалось соблюдение условия магнитоэлектрического равновесия. Получены радиальные профили давления на геоцентрических расстояниях от 7 до 10 радиусов Земли с использованием результатов наблюдений в экспериментах AMPTE/CSE и THEMIS. Учтено сжатие магнитосферы в дневные часы, приводящее к смещению минимальных значений магнитного поля на магнитной силовой линии от экватора к высоким широтам. Получены плотности поперечного тока на дневных силовых линиях и определен интегральный ток. Показано, что интегральный ток в дневной части магнитосферы замыкается внутри магнитосферы, составляя высокоширотное продолжение кольцевого тока – разрезной кольцевой ток. Обсуждена динамика моделируемой токовой системы во время магнитосферных бурь и суббурь.

**ТЕТА-АВРОРА ПРИ СЕВЕРНОМ ММП**

Е.С. Беленькая

*НИИЯФ МГУ, Ленинские Горы, Москва, 119991*

Предложен механизм, ответственный за генерацию тета-авроры при северном ММП с  $V_y$ , не равном нулю. Топология магнитосферного магнитного поля при северном ММП позволяет объяснить возникновение тета-авроры. Ключевую роль играет разность потенциалов между двумя нейтральными точками магнитного поля, расположенными в районах каспов, где при северном ММП осуществляется трехмерное пересоединение. Трансполярная дуга, как и конвекция, возникают благодаря взаимодействию солнечного ветра с магнитосферой.

**РАЗВИТИЕ АСИММЕТРИЧНОГО КОЛЬЦЕВОГО ТОКА ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ**

В.В. Калегаяев<sup>1</sup>, К.Ю. Бахмина<sup>1</sup>, И.И. Алексеев<sup>1</sup>, Е.С. Беленькая<sup>1</sup>, Я.И. Фельдштейн<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *НИИЯФ МГУ klg@dec1.sinp.msu.ru*

<sup>2</sup> *ИЗМИРАН*

С использованием параболоидной модели магнитного поля рассчитан отклик магнитосферных токовых систем на внешнее воздействие со стороны солнечного ветра, в частности, приводящий к развитию асимметричной компоненты кольцевого тока. Асимметричный кольцевой ток рассматривался как семейство пространственных токовых контуров, в северном и южном полушариях, состоящих из участков частичного кольцевого тока в плоскости геомагнитного экватора, замыкающихся через ионосферу системой продольных токов. Оценки величины полного частичного кольцевого тока выполнены из сопоставления рассчитанной асимметрии магнитосферного магнитного поля на геомагнитном экваторе с величиной геомагнитного индекса  $A_{sym-H}$ . Для магнитной бури 6-14 ноября 2004 года вычислены вариации симметричной и асимметричной компонент магнитного поля кольцевого тока. Рассчитаны вклады магнитосферных токовых систем в геомагнитные индексы  $Dst$  и  $AU$ .

**ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВКЛАД ПЛАНЕТАРНОГО ДИПОЛЯ И МАГНИТОСФЕРНЫХ**

**ТОКОВЫХ СИСТЕМ В МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ВДОЛЬ ОРБИТЫ MESSENGER  
ВО ВРЕМЯ ПЕРВОГО ОБЛЕТА МЕРКУРИЯ**

И.И. Алексеев<sup>1</sup>, Е.С. Беленькая<sup>1</sup>, Д.А. Славин<sup>2</sup>, С. Боардсен<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИЯФ МГУ, 119992, Москва, Россия,

<sup>2</sup>NASA GSFC Greenbelt, MD 20771, USA.

Представлена параболоидная модель магнитосферы Меркурия. Она основана на предположении о том, что основные токовые системы, формирующие магнитосферу Меркурия, подобны соответствующим глобальным токовым системам, обнаруженным в магнитосфере Земли. Миниатюрные (по сравнению с Землей) размеры магнитосферы Меркурия приводят к тому, что относительный вклад планетарного диполя и экранирующих его токов магнитопаузы, а также вклад токового слоя хвоста оказываются одного порядка. Разработанная модель позволяет оценить дипольный момент Меркурия, смещение диполя относительно центра планеты и основные параметры магнитосферы. Минимизируя суммарное квадратичное отклонение ( $\chi$  квадрат) модельного поля от имеющихся измерений магнитного поля (данные Mariner 10 и первый пролет MESSENGER около Меркурия 14 января 2008 года) можно оценить прогностическую точность предложенной модели и относительную роль токов хвоста и токов на магнитопаузе. Различие в относительном долготном положении КА в системе координат, привязанной к планете, делает более точным определение долготного смещения планетарного диполя.

**ПЕРЕСТРОЙКА ПРОТОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ**

Л.Л. Лазутигн, Ю.И. Логачев, Е.А. Муравьева

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

По измерениям на низковысотных спутниках КОРОНАС-Ф и SERVIS-1 рассматриваются процессы захвата в протонный пояс и ускорения во время фазы восстановления сильных магнитных бурь солнечных протонов с энергией 1-20 МэВ. Прослеживается связь процессов ускорения протонов и релятивистских электронов. Показано, что солнечные протоны вносят вклад в протонный пояс от максимума до конца 11-летнего цикла солнечной активности, тогда как на другой половине цикла определяющим источником протонного пояса остается процесс радиальной диффузии частиц из авроральной зоны.

## ДИНАМИКА ПРОТОНОВ ВО ВНУТРЕННЕЙ ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В.В. Богданов<sup>1</sup>, М.И. Веригин<sup>2</sup>, Г.А. Котова<sup>2</sup>, В.В. Безруких<sup>2</sup>, А.В. Кайсин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований и распространения радиоволн  
ДВ РАН, с. Паратунка, Камчатский край*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН, Г.Москва*

В докладе представлено исследование динамики протонов, дрейфующих в плоскости магнитного экватора внутренней плазмосферы Земли. В основу анализа положены дрейфовые уравнения и лагранжевый формализм. Рассмотрение проводилось для главной и восстановительной фаз возмущенного магнитного поля. На основе постоянства обобщенного импульса заряженной частицы в стационарном аксиальном магнитном поле (дипольное приближение)  $P_\phi$ , записанного относительно ведущего центра и постоянства  $RU_\phi = (e/c)\mu k$ , следующего из дрейфовых уравнений, получены инвариантные формы, где  $e/c$  – отношение заряда к скорости света,  $\mu = mv_\perp^2 / 2H$  – первый адиабатический инвариант,  $k$  – коэффициент пропорциональности между радиус-вектором ведущего центра частицы и радиусом кривизны силовой линии. Однако, в переменном магнитном поле за счет вихревого электрического поля  $E$  ( $\partial H / \partial t = -c \cdot \text{rot} E$ ) появляется радиальный дрейф  $U_R = cE / H$ , который в зависимости от фазы магнитосферного возмущения приводит к смещению протонов от Земли ( $R$  возрастает) или к Земле ( $R$  уменьшается). На главной фазе возмущения магнитное поле уменьшается и протоны двигаются от Земли. При этом энергия их уменьшается, поскольку  $Rv_\perp = \text{const}$  и  $v_\perp \sim 1/R$ . На восстановительной фазе процесс протекает в обратном порядке: поле  $H$  возрастает, протоны двигаются к Земле и их энергия растет. Рассмотрено применение данного подхода к объяснению изменения температуры протонов в плазмосфере Земли во время развития магнитных бурь по данным космического аппарата ИНТЕРБОЛ-2 и его субспутника МАГИОН-5. С использованием значений  $D_{st}$ -вариаций для конкретной магнитной бури было оценено изменение температуры протонов  $T_p$ , которое находится в хорошем согласии с измерениями  $T_p$ , выполненными на КА.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ЧАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГОДОВОЙ АМПЛИТУДЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ, РЕГИСТРИРУЕМОГО МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИЕЙ, СВЯЗАННОЙ С СОЛНЕЧНО – МАГНИТОСФЕРНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

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

*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия*

Изменение годовых значений геомагнитного поля, фиксируемое обсерваторией – его вековой ход – включает в себя изменение Главного магнитного поля Земли (ГМПЗ), генератор которого находится в глубине планеты и изменение поля магнитосферных токовых систем, генерирующих переменное геомагнитное поле (ПГП). Проведен анализ вклада ПГП, чья временная динамика контролируется солнечной активностью, в годовые амплитуды поля. Геомагнитные данные обсерваторий исследованы внутри длительного периода наблюдений, что позволило оценить вклад каждого месяца в годовую амплитуду геомагнитного поля и временную динамику этого вклада от года к году. Одновременно проведен анализ связи геомагнитного поля внутри каждого месяца с индексами солнечной активности (индекс F10.7) и с параметрами межпланетной среды (скорость и плотность солнечного ветра, компоненты вектора межпланетного магнитного поля). Демонстрируется: роль циклов солнечной активности во временной динамике геомагнитного поля и возможность учета роли циклов при выделении векового хода ГМПЗ. Одновременно демонстрируется возможность более строгого учета этого векового хода на основе среднемесячных амплитуд поля и оценка вклада ПГП в вековой ход ГМПЗ.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ КОНВЕКЦИИ ПЛАЗМЫ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

В.В. Вовченко<sup>1</sup>, Е.Е. Антонова<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> *Институт Космических Исследований РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова*

Представлены предварительные результаты моделирования изменений магнитного поля при конвекции плазмы в высокоширотной магнитосфере на геоцентрических расстояниях, не превышающих 8 радиусов Земли. Исходное магнитное поле считалось дипольным. Задавались плотность, температура плазмы и распределение потенциала электрического поля на внешней границе области моделирования. Численно решалась задача о самосогласованном распределении электрического и магнитного полей и плазмы при магнитосферно-ионосферных взаимодействиях. В ходе конвекции плазмы происходило заполнение внутренних областей магнитосферы. Возмущение давления приводило к возмущению магнитного поля, которое учитывалось в предположении соблюдения условия магнитостатического равновесия на каждом шаге моделирования. Получено распределение изолиний постоянного магнитного поля  $B=\text{const}$  в экваториальной плоскости. Показано, что в ходе конвекции плазмы в распределении  $B=\text{const}$  могут образовываться петлевые структуры. Обсуждена применимость полученных результатов для объяснения структуры потоков электронов на границе внешнего радиационного пояса.

**ТОКИ ЧЕПМЕНА-ФЕРРАРО И ПРОДОЛЬНЫЕ ТОКИ ЗОНЫ 1 В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ИМПУЛЬСНОМУ ОБТЕКАНИЮ МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ**

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

*Институт Лазерной Физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

В последнее время на установке КИ-1 была проведена серия экспериментов нового типа [1–3] по моделированию экстремального сжатия магнитосферы Земли под воздействием сверхмощных КВМ с кинетической энергией  $\geq 10^{34}$  эрг. В опытах впервые было обнаружено, что при таком воздействии магнитопауза может драматически сместиться с обычных  $10R_E$  до  $(3 \div 4)R_E$ , вызывая экстремальное возмущение магнитного поля на поверхности Земли  $\sim 10^3$  нТ. Этот основной эффект порождается токами Чепмена-Ферраро, текущими на магнитопаузе. В тоже время в высокоширотных областях были обнаружены интенсивные продольные токи, замыкающиеся на проводящей оболочке диполя. Интегральная величина продольных токов в эксперименте оказалась сравнимой с полным током ЧФ, а возмущение магнитного поля на полюсах, вызываемое ими в пересчете на условия Земли составляет  $\sim 10^4$  нТ. В настоящей работе приводятся результаты комплексных измерений продольной токовой системы и различных сопутствующих эффектов. Работа выполняется в рамках госбюджетной программы ИЛФ СО РАН.

- [1]. Ponomarenko, A.G., Zakharov, Yu.P., Antonov, V. M., Boyarintsev, E.L., Melekhov, A.V., Posukh, V.G., Shaikhislamov, I.F., and Vchivkov, K.V., 2007, IEEE Trans. Plasma Sci., 35, 813.
- [2]. Zakharov, Yu. P., Antonov, V.M., Boyarintsev, E.L., Melekhov, A.V., Posukh, V.G., Shaikhislamov, I.F., Vchivkov, K.V., Nakashima, H., and Ponomarenko, A.G., 2008, J. Phys.: Conf. Ser., 112, #042011.
- [3]. Ponomarenko, A.G., Zakharov, Yu. P., Antonov, V.M., Boyarintsev, E.L., Melekhov, A.V., Posukh, V.G., Shaikhislamov, I.F., and Vchivkov, K.V., 2008, Plasma Phys. Contr. Fusion, 50, #074015.

**ТИТАН КАК ИСТОЧНИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЙ**

*17-20 февраля 2009 г., ИКИ РАН*



В.В. Зайцев, В.Е. Шапошников

ИПФ РАН

Интенсивное километровое радиоизлучение Сатурна (SKR) было открыто во время полета КА "Voyager" вблизи планеты. Источники этого излучения находились в высокоширотной части обоих полушарий на дневной стороне планеты. Полеты КА "Cassini" показали, что SKR наблюдается также от источников, располагающихся на ночной стороне на силовых линиях вблизи L-оболочек L~10-15 [1]. Было также обнаружено, что появляемость SKR коррелирует с положением спутника Титан на его орбите: появляемость значительно возрастала в моменты, когда Титан находился на ночной стороне Сатурна, и уменьшалась при нахождении спутника на дневной стороне в полуденном секторе [2]. До полетов КА "Cassini" считалось, что единственным источником электронов, генерирующих SKR, является солнечный ветер. Корреляция интенсивности SKR с положением Титана на орбите указывает на то, что спутник также является источником электронов для SKR. Атмосфере Титана сама является источником ультрафиолетового излучения. Оценки показывают, что ни солнечные фотоны, ни фотоэлектроны, ни энергичные электроны из магнитосферы Сатурна не могут обеспечить необходимый энергетический вклад в ультрафиолетовое свечение Титана. В рамках выполненной работы рассмотрен механизм ускорения электронов в электродинамической цепи Сатурн-спутник Титан, обусловленный наличием у Титана проводящей ионосферы, движущейся в магнитном поле планеты. Ускорение электронов из состава ионосферы спутника происходит благодаря электрическому полю разделения зарядов. Проводимость ионосферы Титана при учете магнитного поля планеты представляет собой трехкомпонентный тензор, величина которого существенно зависит от концентрации нейтралов в ионосфере спутника. Анизотропия проводимости приводит к тому, что индуцированное поле  $\mathbf{E}_i$  генерирует в ионосфере не только перпендикулярные токи, направленные по  $\mathbf{E}_i$ , но стремится возбудить также холловский ток, ортогональный поверхности Титана. Поскольку холловский ток не может замыкаться на поверхности спутника, то в ионосфере возникает электрическое поле разделения зарядов, имеющее проекцию на направление магнитного поля. Величина этого электрического поля может быть порядка индуцированного поля  $E_i$ . В результате в условиях ионосферы Титана энергия ускоренных электронов может достигать 5-10 кэВ, что достаточно для генерации километрового радиоизлучения. Мощности ускорительного механизма оказывается также достаточно для объяснения ультрафиолетового свечения атмосферы Титана. Вариация интенсивности SKR в зависимости от положения Титана на орбите обусловлено двумя факторами. Во время нахождения на ночной стороне Сатурна Титан попадает внутрь оболочки L ~ 14, вытянутой вследствие влияния кольцевого тока [3]. Поэтому его электроны могут попадать в ночной источник SKR, расположенный на силовых линиях вблизи L ~ 10-15, и активировать его. Ослабление источника SKR на дневной стороне обусловлено уменьшением магнитного поля вблизи дневной магнитопаузы, что приводит к уменьшению эффективности ускорения электронов, а также периодическим выходом Титана из магнитосферы планеты во время которого Титан оказывается не связанным посредством магнитного поля с источниками SKR.

- [1]. Farrell, W. M., Kurth, W. S., Kaiser, M. L., et al. 2005, Geophys. Res. Lett., 32, L18107, doi:10.1029/2005GL023449.
- [2]. Menietti, J. D., Groene, J. B., Averkamp, T. F., et al. 2007, J. Geophys. Res., 112, A08211, doi:10.1029/2007JA012331.
- [3]. Connerney, J. E., Davis, L., & Chenette, D. L. 1984, in Saturn, ed. T. Gehrels (Tucson: University of Arizona Press), 354–377.

**ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОВСПЛЕСКОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАЗМЫТОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПЛАЗМЕ**

Д.М. Карфидов

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия, karfidov@fpl.gpi.ru*

Проведены исследования генерации электромагнитного излучения на плазменной частоте и ее гармонике при взаимодействии размытого по скоростям электронного пучка с плазмой в условиях, моделирующих взаимодействие потоков энергичных электронов с плазмой солнечной короны. Электромагнитное излучение имеет характер вспышек на плазменной частоте и ее второй гармонике. Мощность излучения на основной частоте составляет  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  Вт/см<sup>3</sup>; и пропорциональна квадрату отношения энергии электронов пучка к температуре электронов плазмы  $W_b/T_e$  при постоянной плотности электронов пучка  $n_b/n_0$  и  $(n_b/n_0)^2$  при постоянной энергии электронов  $W_b/T_e$ . Мощность излучения на второй гармонике приблизительно на 30 дБ ниже мощности излучения на основной частоте. Длительность вспышек не превышает 0,1 мксек и определяется, по-видимому, шириной полос пропускания приемника  $\Delta f \approx 10$  МГц. В качестве основного механизма излучения электромагнитных волн на плазменной частоте рассматривается рассеяние возбуждаемых электронным пучком плазменных волн на нетепловых флуктуациях плотности ионов плазмы. Излучение на второй гармонике генерируется в результате слияния двух плазменных волн с противоположными направлениями волновых векторов, возбуждаемых в результате развития распаднoй неустойчивости плазменных волн. Порог радиоизлучения оказывается ниже порога модуляционной неустойчивости, приводящей к замедлению релаксации пучка.

**ЭФФЕКТИВНАЯ ДЛИНА ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ В ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СРЕДАХ**

Ю.В. Чугунов

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

Показано, что эффективная длина приемной дипольной антенны в средах с анизотропной дисперсией может сильно возрастать (в десятки и сотни раз по сравнению с действующей длиной антенны в вакууме) в направлениях приема излучения, соответствующих резонансному характеру возбуждения продольных волн в изотропной движущейся плазме или квазиэлектростатических волн в магнитоактивной плазме. Это соответствует резонансному отклику антенны на возбуждение этих волн, который пропорционален коэффициенту возбуждения. Другими словами приемная антенна является своеобразным частотно-угловым фильтром, вырезающим из имеющегося спектра регулярного излучения фиксированные направления и резонансные частоты. Результаты вычислений применены для объяснения экспериментальных данных волновых экспериментов в ионосфере Земли и в плазме солнечного ветра. Особенности поведения эффективной длины приемной антенны в резонансных частотных интервалах открывают новые возможности диагностики параметров космической плазмы в волновых экспериментах с использованием дипольных приемных антенн, а также позволяют предложить новые алгоритмы обработки экспериментальных данных волновых экспериментов по диагностики и анализу неравновесных электромагнитных излучений в космической плазме.

**ИСТОЧНИКИ УСКОРЕННЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ У МАРСА**

А. Григорьев<sup>1</sup>, С. Барабаш<sup>2</sup>, группа АСПЕРА-3

<sup>1</sup> *Институт Космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Шведский Институт Космической Физики, С-98128, Кируна, Швеция*

Отсутствие планетарного магнитного поля у Марса ведет к непосредственному взаимодействию солнечного ветра с верхней частью атмосферы планеты. Энерго-масс-анализатор ионов и детектор нейтральных частиц АСПЕРА-3 проекта Марс Экспресс исследовал окружающую среду Марса. Эксперимент успешно длится уже несколько лет, в течение которых было выявлено много интересных находок, касающихся взаимодействия солнечного ветра с Красной планетой. С помощью детектора нейтральных частиц НПД, являющихся частью комплекса АСПЕРА-3, было обнаружено «свечение» Марса в ускоренных нейтральных частицах. НПД предназначен для измерения дифференциального потока ускоренных нейтральных частиц в диапазоне энергий 0.1 – 10 кэВ с разрешением между Н и О. Обнаруженные с помощью НПД источники ускоренных нейтральных частиц, а также механизмы их возникновения, будут рассмотрены.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ**

В.С. Семенов<sup>1</sup>, С. Киехас<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *С-Петербургский государственный университет, С-Петербург*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований, Грац, Австрия*

Обычно полагают, что процесс магнитного пересоединения связан с преобразованием магнитной энергии, запасенной в токовом слое, в кинетическую энергию плазменных джетов, распространяющихся в обе стороны от Х линии. Признаки пересоединения BBFs (ускоренные потоки плазмы) и TCRs (распространяющиеся области сжатого поля) уверенно регистрируются и в хвосте магнитосферы, и на магнитопаузе. Используя модель импульсного пересоединения удается показать, что в TCRs находится примерно в два раза больше энергии, чем в ускоренных потоках, и, следовательно, сжатое поле над BBFs должно обязательно учитываться при рассмотрении баланса энергии.

**МАГНИТОСФЕРНЫЙ МГД – РЕЗОНАТОР И ЕГО ВОЗБУЖДЕНИЕ ВНЕМАГНИТОСФЕРНЫМИ ГИДРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ**

В.А. Мазур

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

В рамках одномерно-неоднородной модели среды теоретически исследованы свойства МГД-резонатора в лобовой части магнитосферы (его собственные частоты и собственные моды) и его возбуждение гидромагнитными волнами, падающими на магнитосферу из солнечного ветра. Рассмотрено падение монохроматических волн, нестационарных волн с регулярной зависимостью от времени (например, волновых пакетов) и стационарного стохастического шума. Показано, что влияние магнитосферного резонатора приводит к резонансному характеру уровня накачки магнитосферы падающими волнами. В магнитосферу проникают волны только в узких спектральных диапазонах вблизи собственных частот резонатора, ширина которых порядка декремента затухания собственных мод. Волны с другими частотами отражаются от магнитопаузы. В результате широкополосные падающие волны, как регулярные, так и стохастические, возбуждают в магнитосфере определенный набор собственных мод и соответствующих частотам этих мод пиков альфвеновского резонанса, расположенных в области непрозрачности для собственных мод резонатора. Декремент затухания собственных мод обусловлен поглощением в точках альфвеновского резонанса и излучением в солнечный ветер через не полностью отражающую магнитопаузу. Для ограниченных во времени нестационарных колебаний это приводит к затуханию возбужденных собственных мод в соответствии с их декрементом и к затуханию пиков альфвеновского резонанса с декрементом затухания альфвеновских волн. Для стохастического шума формируется стационарная картина, в которой спектральная плотность шумов имеет острые

максимумы на собственных частотах, ширина которых в резонаторе равна декременту затухания собственных мод, а в области пиков альфвеновского резонанса – сумме декремента затухания собственной моды и декремента затухания альфвеновской волны.

### **СВОЙСТВА ОНЧ ХОРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ CLUSTER: СРАВНЕНИЕ С МОДЕЛЬЮ ЛАМПЫ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ**

Е.Е. Титова<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, А.Г. Демехов<sup>2</sup>, О. Сантолик<sup>3</sup>, Э. Макусова<sup>3</sup>,  
Д. Гарнет<sup>4</sup>, Ж. Пикет<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ПГИ КНЦ РАН Апатиты, Россия

<sup>2</sup> ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup> Карлов Университет, Прага, Чешская республика

<sup>4</sup> Университет Айова, Айова, США

ОНЧ хоры самые интенсивные, распространенные и в то же время загадочные ОНЧ эмиссии в земной магнитосфере. Они наблюдаются как последовательность повторяющихся дискретных элементов, обычно с повышающейся частотой. В настоящее время предложена только одна модель генерации ОНЧ хоров, объясняющая как большие инкременты на линейной стадии неустойчивости, так и характерные параметры нелинейной стадии. Это модель В.Ю. Трахтенгерца (1995, 1999), основанная на переходе циклотронного магнитосферного мазера в режим лампы обратной волны (ЛОВ). В докладе обсуждаются свойства источника и характеристики ОНЧ хоров по наблюдениям на спутниках CLUSTER на расстояниях около 4 Re. Многокомпонентные волновые измерения на спутниках CLUSTER показали что источник хоров локализован вблизи экваториального района, и позволили определить пространственные размеры и временные вариации положения источника хоров. Обсуждается согласие наблюдаемых характеристик источника хоров с моделью ЛОВ. Для нескольких пролетов спутника CLUSTER в области экваториального источника была определена связь наклонов ОНЧ хоровых элементов на динамическом спектре (скорости дрейфа частоты  $df/dt$ ) с вариациями концентрации холодной плазмы  $N_e$ . Показано, что с увеличением концентрации холодной плазмы наклоны хоровых элементов уменьшаются, причем закон убывания  $df/dt \sim N_e^{-2/3}$  находится в хорошем соответствии с предсказаниями модели ЛОВ.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ МАГНИТОСФЕРЫ ПО СВОЙСТВАМ ОНЧ – ИЗЛУЧЕНИЙ**

П.А. Беспалов

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

В земных радиационных поясах возбуждаются различные типы естественных электромагнитных излучений ОНЧ – диапазона. Условия возбуждения этих излучений зависят от параметров космической плазмы, геометрии системы и условий переноса волн в магнитосферной ловушке. Эффективное взаимодействие волн и частиц часто хорошо описывается теорией плазменного магнитосферного мазера. Плазменный магнитосферный мазер может в зависимости от конкретной геофизической обстановки функционировать в нескольких основных режимах. Например, динамика плазменного магнитосферного мазера критически зависит от мощности источников энергичных частиц и ее распределения по энергии, питч-углам и пространственным координатам. При этом могут возбуждаться различные типы электромагнитных излучений ОНЧ – диапазона. Использование достижений теории плазменного магнитосферного мазера можно использовать для обоснования новых диагностических возможностей.

## О ВЛИЯНИИ БАУНС-ОСЦИЛЛЯЦИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА ГЕНЕРАЦИЮ ХОРОВЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.Г. Демехов

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

В рамках упрощенной численной нелинейной модели магнитосферной лампы обратной волны исследуется возможное влияние баунс-осцилляций энергичных электронов в геомагнитной ловушке на нелинейную стадию генерации хоровых ОНЧ излучений в магнитосфере Земли. В обычно используемом приближении, когда учитывается только один проход электронов через область генерации, влияние неоднородности магнитного поля обеспечивает преимущественную генерацию повышающихся тонов. Если же частицы, возвращающиеся в область генерации в процессе баунс-осцилляций, сохраняют фазовую группировку, приобретенную ими на предыдущем проходе этой области, то в системе генерируются понижающиеся тоны. Полученный результат можно объяснить тем, что при наличии начальной фазовой группировки более интенсивным оказывается взаимодействие волн и частиц на участке, где частицы движутся в направлении убывания геомагнитного поля и, соответственно, испытывают адиабатическое ускорение в направлении продольного движения. Это увеличение модуля продольной скорости соответствует уменьшению частоты циклотронного резонанса, что и приводит к понижению частоты генерируемого волнового пакета на более поздней стадии генерации. Эти результаты позволяют предположить, что генерация хоровых элементов с понижающейся частотой имеет место в условиях когда амплитуда баунс-осцилляций электронов, генерирующих хоры, близка к характерному размеру области генерации.

## ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ КНЧ ВОЛН В ЗЕМНОМ МАГНИТОСФЕРНОМ КАСПЕ И ЕГО БЛИЖАЙШЕЙ ОКРЕСТНОСТИ

С.А. Романов<sup>1</sup>, Е. Amata<sup>2</sup>, М. Dunlop<sup>3</sup>, С.П. Савин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *IKI, Moscow, Russia, sroman@mx.iki.rssi.ru*

<sup>2</sup> *IFSI, Roma, Italy,*

<sup>3</sup> *SSTD, RAL, Chilton, Didcot, Oxon, OX11 0QX, UK,*

Данные измерений флуктуаций магнитного поля и плазмы четырех космических аппаратов миссии Cluster, полученные в верхних областях магнитосферного каспа 13 февраля 2001 г. использованы для исследования закономерностей возникновения и развития турбулентности магнитного поля внутри каспа и его окрестностях в условиях южного направления  $z$  – компоненты IMF. Совместный анализ сигналов с четырех спутников показал, что практически все турбулентное поле может быть представлено совокупностью регулярных колебаний. Из анализа магнитных флуктуаций с помощью усовершенствованного метода разности фаз получена уникальная последовательность дисперсионных поверхностей вдоль траектории Cluster'a, позволяющая судить о составе волн, определяющих измеренную турбулентность. Использованный метод выделяет из совокупности колебаний, действующих в течение отобранного временного интервала, те из них, которые доминируют в данный момент по амплитуде. Оказалось, что даже небольшие сдвиги интервала анализа (несколько секунд) приводят к существенным изменениям в получаемой картине дисперсионных соотношений. Это обстоятельство, очевидно, свидетельствует о том, что все выделяемые таким образом волновые структуры присутствуют одновременно в течение времени, определяемого шириной окна, с приблизительно равными амплитудами и почти с одинаковыми вероятностями быть обнаруженными анализирующей программой. Незначительные изменения этих вероятностей при небольших сдвигах окна приводят к тому, что в разные моменты выбираются различные доминанты. О том, что это именно так, свидетельствуют свойства полученных дисперсионных поверхностей. Важным обстоятельством является то, что, при внешне широком разнообразии деталей, 95 % всех дисперсионных поверхностей содержат и показывают один и тот же физический смысл. Все их особенности свидетельствуют о том, что генерация волн в каспе и прилежащих областях определяется, главным образом, локальными процессами взаимодействия неоднородных потоков плазмы с заторможенной плазмой, обогащенной ионосферными ионами.

**С Е К Ц И Я «МАГНИТОСФЕРА»      С Т Е Н Д О В Ы Е Д О К Л А Д Ы****ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛАЗМЕННОМ ЦИКЛОТРОННОМ МАЗЕРЕ В ЛАБОРАТОРНОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ**

А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, А.Г. Демехов, Д.А. Мансфельд, А.Г. Шалашов

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

Экспериментально и теоретически исследован новый режим генерации электромагнитного излучения в двухуровневом циклотронном мазере, активной средой которого служит распадающаяся неравновесная плазма импульсного ЭЦР разряда в лабораторной магнитной ловушке пробочной конфигурации. В условиях ЭЦР разряда реализуется плазма с двумя фракциями электронов – холодная плотная ( $N_e \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ,  $T_e \sim 300 \text{ эВ}$ ) с изотропной функцией распределения по скоростям, и горячая, существенно менее плотная ( $N_e \sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$  и  $T_e \sim 10 \text{ кэВ}$ ) с сильно неравновесным распределением по скоростям. На стадии распада плазмы, когда плазменная частота электронов  $\omega_p$  становится много меньше гирочастоты  $\omega_b$ , экспериментально зарегистрированы квазипериодические всплески СВЧ излучения плазмы (длительность импульса  $\sim 5 \text{ мкс}$ , период  $\sim 100\text{-}200 \text{ мкс}$ ), сопровождаемые импульсными высыпаниями энергичных электронов из ловушки (энергия  $> 7 \text{ кэВ}$ ). 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. Такие условия близки по параметрам плазмы к условиям генерации аврорального километрового радиоизлучения в магнитосфере Земли. В работе показано, что даже в отсутствие постоянно действующего источника частиц с неравновесным распределением по скоростям в системе возможен импульсный режим генерации излучения за счет характерного для распада плазмы быстрого монотонного уменьшения порога неустойчивости. Построена самосогласованная нелинейная модель, объясняющая обнаруженные в эксперименте квазипериодические всплески СВЧ излучения плазмы, сопровождаемые импульсными высыпаниями энергичных электронов из ловушки.

**СВЯЗЫВАНИЕ ТОРОИДАЛЬНЫХ И ПОЛОИДАЛЬНЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

В.В. Данилова, О.К. Черемных, А.В. Агапитов

*Институт космических исследований, НАНУ-НКАУ, Киев, Украина*

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина*

В магнитосфере Земли квазидипольное магнитное поле внутриземных источников теряет аксиальную симметрию из-за воздействия внешних токовых систем. В данной работе рассматривается альфвеновский резонанс в системах с магнитным полем, неоднородным не только по радиальному направлению (как в дипольной конфигурации или в пробкотроне), но и зависящим от азимутального угла. Показано, что в таких магнитных конфигурациях возможно связывание полоидальных и тороидальных собственных альфвеновских мод и перекачка энергии между ними. На основе измерений космических аппаратов ICE и IRM проекта AMPTE в 1984–1989 г. проведен статистический анализ областей регистрации ULF пульсаций. Показано, что области наиболее вероятной регистрации пульсаций, идентифицированных как тороидальные альфвеновские резонансные моды, находятся в утреннем и вечернем секторах магнитосферы. В этих же областях азимутальный градиент магнитного поля в магнитосфере Земли принимает максимальные значения. В ночном секторе колебания практически отсутствуют. Это связано с низкой проводимостью ночной ионосферы. Полученные теоретические результаты универсальны и могут быть применены к различным системам удержания плазмы с магнитными конфигурациями, допускающими азимутальные неоднородности магнитного поля или плотности плазмы.

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВНЕЗАПНЫХ ИМПУЛЬСОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА  
В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

В.В. Шастун, А.В. Агапитов

*Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина*

Взаимодействие магнитопаузы с неоднородностями в солнечном ветре приводит к смещению положения стоячей ударной волны и магнитопаузы, что приводит к распространению возмущения в магнитосфере Земли. На основе магнитомерических измерений космических аппаратов системы THEMIS, было исследован механизм распространения возмущений параметров солнечного ветра в магнитосфере. Показано, что при распространении возмущения в магнитосфере, изменение параметров состояния плазмы соответствует адиабатическому процессу, а возмущение магнитного и плазменного давления происходят синфазно. На основании этого сделан вывод о том, что возмущение распространяется в виде быстрой магнитозвуковой волны. Было рассмотрено распространение быстрых магнитозвуковых импульсов в магнитосфере Земли, которые генерируются внезапными импульсами (sudden impulses, далее SI) в параметрах солнечного ветра. Предложена численная модель распространения таких возмущений в магнитосфере Земли с учётом недипольных поправок к внутрешемному магнитному полю (IGRF) и внешних токовых систем (модель Олсона – Пфитцера). На основе измерений магнитного поля и параметров плазмы на борту космических аппаратов было экспериментально исследовано распространение возмущения в магнитосфере. Было проведено сравнение результатов численного моделирования распространения быстрых магнитозвуковых волн с результатами анализа магнитного поля и параметров плазмы, полученных на борту космических аппаратов в магнитосфере (GOES10, CLUSTER, POLAR и GEOTAIL) и (WIND, ACE) в солнечном ветре. Получено хорошее соответствие времени прохождения и конфигурации фронта волны внутри магнитосферы с результатами, полученными численно.

**ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНИЗИРОВАННОГО ВОДОРОДА  
В ПЛАЗМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ  
АВРОРАЛЬНОГО ЗОНДА**

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

*Институт космических исследований РАН, vbez@romance.iki.rssi.ru*

Недавние измерения характеристик холодной плазмы, выполненные на Авроральном зонде, обнаружили понижение температуры ионизованного водорода в ночном секторе плазмосферы во время геомагнитных бурь. Это понижение авторы эксперимента объяснили замещением ионизованного водорода, содержавшегося в ночных силовых трубках до бури, на более холодный ионосферный водород. Замещение плазмосферной плазмы ионосферной может приводить к наблюдавшемуся понижению температуры, но при этом следовало бы ожидать также значительных изменений концентрации холодной плазмы в ночном секторе по сравнению со спокойным периодом. Однако опубликованные ранее экспериментальные данные подобных вариаций концентраций не содержали. В предлагаемом докладе приводятся результаты измерения температуры и концентрации ионизованного водорода в процессе развития нескольких магнитных бурь и в том числе бури 27-28.02.1997, когда в ночном секторе плазмосферы были зарегистрированы резкие понижения как температуры так и концентрации холодной плазмы. Приводятся также экспериментальные данные, свидетельствующие о глубоком проникновении в плазмосферу потоков электронов с  $E > 40$  эВ вплоть до  $L \sim 2$  во время развития бури 27-28.02.1997. Представленные экспериментальные результаты обсуждаются.

**НЕУСТОЙЧИВОСТИ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАМЫ НА ТОКОВОМ СЛОЕ МАГНИТОПАУЗЫ И СОПУТСТВУЮЩАЯ ДИНАМИКА ЧАСТИЦ.**Е.В. Панов<sup>1,2</sup><sup>1</sup> *Институт космических исследований Австрийской академии наук, Грац*<sup>2</sup> *ИКИ РАН, Москва*

Используя данные функций распределения частиц и электромагнитных полей с четырех КА Кластер, исследована динамика частиц на толстом ассиметричном токовом слое магнитопаузы Земли. Установлено, что перпендикулярные энергичные ионы, прямо влетающие в магнитосферную долю из плотного и горячего магнитослоя, формируют анизотропную функцию распределения скоростей (такую, что  $T_{\perp p}/T_{\parallel p} \sim 3$ ) на магнитосферной стороне магнитопаузы. Найдено, что анизотропия ионов ведет к раскачиванию ионно-циклотронных волн ( $\delta B/B \sim 5\%$ ). Показано, что волны в четыре инерционные длины, распространяются анти-параллельно магнитному полю со скоростью  $\sim 0.7$  альфвеновской скорости. Кроме того, выявлена сопутствующая анизотропия в функциях распределения скоростей электронов (такая что  $T_{\perp p}/T_{\parallel p} \sim 1.3$ ) коррелирующая с усиленными колебаниями электрического поля на электронно-циклотронной частоте. Обсуждается, что процесс вторичного резонансного взаимодействия раскаченных волн с частицами может объяснить наблюдаемое более глубокое, по сравнению с гирорадиусом, проникновение горячих ионов магнитослоя в магнитосферу.

**THEMIS OBSERVATIONS OF COMPRESSIONAL Pc5 PULSATIONS IN THE DAWN-SIDE MAGNETOSPHERE**Г.И. Коротова<sup>1</sup>, D. G. Sibeck<sup>2</sup>, V. Kondratovich<sup>3</sup><sup>1</sup> *IZMIRAN, Troitsk, Moscow Region, 142190, Russia,*<sup>2</sup> *Code 674, NASA/GSFC, Greenbelt, MD 20771 USA,*<sup>3</sup> *SP Systems, Inc, Greenbelt, MD, USA*

We use 3s time resolution THEMIS-A plasma, magnetic field, and energetic particle observations of compressional Pc5 pulsations observed in the dawnside magnetosphere on November 7, 2007 to distinguish between three proposed causes: the drift mirror instability, the drift-bounce instability, and the injection of plasma sheet plasma blobs. We demonstrate that the pulsations maintain thermal and magnetic pressure balance, then employ finite gyroradius techniques to determine wave properties from corresponding gyrophase distributions of ions with energies from 0 to 21 keV. Having determined the key parameters, we test the main candidates for generation of waves and find that the compressional pulsations are more likely excited by the mirror instability than the drift-bounce resonance.

**ГЛОБАЛЬНАЯ ДИНАМИКА ULF-ПУЛЬСАЦИЙ ВО ВРЕМЯ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ**О.В. Козырева<sup>1</sup>, Н.Г. Клейменова<sup>1,2</sup><sup>1</sup> *Институт физики Земли РАН*<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН*

Новый волновой ULF-индекс используется для статического анализа наземной волновой активности во время сильных магнитных бурь. Исследуется уровень волновой активности в диапазоне пульсаций Pc5-Pi3 в утреннем, послеполуденном и ночном секторах в полярных, авроральных и субавроральных широтах во время 19 сильных магнитных бурь ( $Dst_{\min}$  от  $-100$  до  $-150$  нТл). Показано, что в начальную фазу бурь наибольшая активность длиннопериодных геомагнитных пульсаций наблюдается в утреннем секторе (03–12 MLT) полярных широт ( $70^\circ$ – $90^\circ$ ). В главную фазу наиболее интенсивные пульсации отмечаются в авроральных широтах ( $60^\circ$ – $70^\circ$ ), причем интенсивность пульсаций в утреннем секторе значительно выше, чем в ночном (21–03 MLT) и вечернем (12–18 MLT) секторах. В восстановительную фазу волновая активность наибольшая в утреннем и дневном секторах авроральных широт. Пространственная динамика активности геомагнитных пульсаций для разных бурь демонстрируется с помощью глобальных карт распределения интенсивности пульсаций в заданный интервал времени (LAT-MLT диаграммы). Для анализа пространственно-временной динамики в различных MLT



секторах вычисляются магнитные кеограммы (LAT-UT диаграммы) по меридианальным цепочкам магнитометров в Скандинавии, Гренландии и на 210 магнитном меридиане. Показано, что во магнитных бурь наблюдается как полярный, так и экваториальный сдвиг области генерации пульсаций.

**КАКАЯ ЖЕ ПЛАЗМА ЗАПОЛНЯЕТ КОЛЬЦЕВЫЕ ТОКИ МАГНИТОСФЕР ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ?**

В.В. Темный

<sup>1</sup> *Институт истории естествознания и техники РАН (ИИЕТ РАН). Москва, vladtemnyi@gmail.ru, vlad@localtel.ru, temnyy@ihst.ru*

Гипотеза о постоянном существовании «спокойного кольцевого тока (СКТ) над атмосферой Земли» на оболочке  $L=3,8 \pm 0,8 R_E$  существует 90 лет [Шмидт А., 1917]. Возникающие во время магнитных бурь тороидальные «возмущённые кольцевые токи (ВКТ)» помещали на  $L=(10-7) R_E$  [Chapman, Ferraro, 1930, 1931, 1933; Калинин, 1939] и на  $L=(3-5)$  (Бенькова, 1939). Магнитометры межпланетных станций ЛУНА-1, -2 в 1959 году впервые обнаружили признаки существования КТ по депрессии геомагнитного поля на  $L=(3-4)$  [Долгинов и др., 1959, 1960]. Спустя полгода спутник EXPLORER-6 зарегистрировала тот же самый эффект, но на  $L=(5-6)$  [Sonett и др., 1960]. Интенсивные потоки ионов СКТ с плотностью энергии  $\epsilon_p = nE$ , соизмеримый с плотностью энергии локального геомагнитного поля  $\epsilon_B = B^2/8\pi$ ,  $-\beta \approx (\epsilon_p / \epsilon_B) \sim 0,1$ , были неожиданно обнаружены с центром на  $L=3,5$  на EXPLORER-12 в 1961 [Davis, Williamson, 1963]. Также они наблюдались в 1962-1964 гг. на спутниках EXPLORER-14, -15, -26 и ЭЛЕКТРОН-1, -3 [Davis, 1965; Davis, Williamson, 1966; Soraas and Davis, 1968; Болюнова и др., 1965; Тёмный, 1966]. В 1966 году на спутнике OGO-3 был зарегистрирован ВКТ, заполненный протонами с  $E_p \sim 10$  кэВ во время геомагнитных бурь [Frank, 1967]. Кольцевые токи с  $\beta \approx 0,1$  сразу попали в поле интересов плазменной физики из-за их устойчивого равновесия в поле геомагнитного диполя [Кадоццев и Рокотян, 1960]. Эксперименты 1964 года показали возможности заполнения КТ плазмой с плотностью энергии  $\beta_{КТ} > 0,2$  [Болюнова и др., 1965; Тёмный, 1966]. В 1970 году на спутнике ATS-5 получено  $\beta_{СКТ} \geq 0,2$  на  $L=6,6$  и  $\beta_{ВКТ} \approx 2,7$  [DeForest and McIlwain, 1971]. Это означает, что КТ с  $\beta \geq 0,1$  может заполнить все оболочки  $3 \leq L \leq 6,6$  [Тёмный, 1966; 1977]. Эксперимент 1984 года AMPTE (спутник CCE) позволил определять энергетические спектры и концентрацию  $n$  компонент ионов плазмы КТ. Перед началом эксперимента AMRTE/CCE была разработана прогностическая модель СКТ [Temny, 1984]. Она в целом оказалась верной для характерного КТ. В СКТ наблюдалась плазма с  $\beta_{СКТ} \geq 0,1$ , главным образом протонного состава. В КТ регистрировался рост интенсивности ионов  $O^+$ . Результаты регистрации  $O^+$ ,  $He^+$  и молекулярных ионов  $NO^+$  [Klecker и др., 1986] служат свидетельством об источнике ионосферном источнике плазмы ВКТ. На основе энергетических спектров, полученных в эксперименте AMRTE/CCE-МЕРА [McEntire и др., 1985; Krimigis и др., 1985] с учётом результатов эксперимента CHEM на CCE [Gloeckler и др., 1985] и HPCE [Shelley и др., 1985] были получены бимаксвелловские функции распределения ионов в пространстве скоростей для горячего (hot) и холодного (cold) компонентов плазмы –  $f_{p,i}$  ( $см^6 \cdot c^{-3}$ ) [Тёмный, 1987]. Из них были определены: температура ионов плазмы ( $T_{p,i}$ ), их концентрация ( $n_{p,i}$ ) и плотность энергии

$\epsilon_{p,i} = n_{p,i} T_{p,i}$ . Оказалось, что в СКТ  $T_{p,hot} \sim 50$  кэВ,  $T_{p,cold} \sim 3$  кэВ. Было установлено, что всегда  $\epsilon_{p,i,hot} (-100 \text{ кэВ } см^3) \gg \epsilon_{i,cold} (-0,5 \text{ кэВ } см^3)$ . После МГГ2007-2008 целесообразно определить количественные величины  $\beta_{RC}$  в земной магнитосфере. Подобные параметры плазмы КТ в магнитосферах гигантов планет-гигантов получены на космических аппаратах PIONEER-10, -11 и VOYAGER-1, -2. В КТ Юпитера ( $L_j \leq 7$ ) у горячей плазмы  $\beta \approx 1$ . Плотность энергии холодной плазмы [Frank et al. 1975; McNutt, 1988]  $\epsilon_{i,cold} \leq 5 \text{ эрг } см^3$  пренебрежительно мала по сравнению с  $\epsilon_{i,hot}$ . В КТ Сатурна на орбите Реи ( $3 \leq L_S \leq 8,7$ )  $\epsilon_{i,hot} \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ эрг } см^3$  [Krimigis и др., 1983] также больше чем  $\epsilon_{i,cold}$  [Frank et al., 1980, Richardson. 1986]. Полное  $\beta_p \leq 0,3$  или  $\beta_{O^+} \leq 0,2$ . Кольцевой ток Урана заполнен горячей [Mauk, 1987] и холодной [McNutt и др., 1987] плазмой с  $\beta_{e+p} \leq 0,1$ . В КТ Урана обнаружены молекулярные ионы  $H_2^+$  с  $E/m \geq 0,6$  МэВ/нуклон. В КТ Нептуна (на  $L_{Np} \leq 10$ ) также обнаружены две компоненты ионной плазмы: горячая [Krimigis и др., 1989, 1990] и холодная [Richardson и др., 1991]. У них  $\epsilon_{i,hot} \approx \epsilon_{i,cold} \sim (0,1-1) \text{ кэВ} \cdot см^3$   $\beta \sim 0,2$ .

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЕРИОДЫ ГЛАВНЫХ ФАЗ (ГФ) ГЕОМАГНИТОСФЕРНЫХ БУРЬ (ГМБ) ПО ДАННЫМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА**

И.В. Ковалевский

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В.Пушкова РАН, jkoval@izmiran.ru*

Исследуются главные причины главных фаз анализируемых геомагнитосферных бурь ( $D_{st}^{min} = -37 \div -226$  нТл, используются часовые данные) с применением кластерного анализа в виде метода "ближайшего соседа". На основе одномерной (по  $D_{st}$ -индексу) масштабной кластерной классификации 31 ГФ выделены слабые (СБ), умеренные (УБ), сильные (СИБ) и очень сильные (ОСИБ) бури (группировки). Корреляционная кластеризация 32 взаимосвязанных физических процессов (ВФП), характеризующих каждую ГФ, позволила установить наличие общей части (СР) внутренней структуры ВФП для всех группировок, в свою очередь, каждая выборка обладает собственной общей внутренней структурой, которые отличаются друг от друга. Сделан вывод, что исследуемые выборки ГФ характеризуются различным физическим развитием, зависящим от масштаба события. Наличие СР свидетельствует о том, что магнитосферная активность в период ГФ всех масштабов  $D_{st}$  определяется преимущественно  $V_z$  и  $V_y$  компонентами межпланетного магнитного поля (ММП) и связанными на их основе функциями связи, а также полной величиной ММП  $V$ . Установлено, что наиболее тесные связи присущи  $D_{st}(V^2V_s)$  и  $D_{st}(VB_s)$ , где  $V_s$ -южная компонента ММП,  $V$  – скорость солнечного ветра. Суббуревая активность (АЕ) играет существенную роль лишь в периоды ГФ СБ и УБ, тогда как скоростная группировка ( $V$ ) проявляет существенную активность лишь в период ГФ ОСИБ. Роль параметра Акасофу  $\epsilon$  оказалась менее заметной. Делается вывод, что, в первом приближении, функции связи  $V^2V_s$  и  $VB_s$  больше всего подходят для прогнозирования  $D_{st}$  индекса и функции инъекции  $Q$  в период исследуемых ГФ ГМБ.

**ДИНАМИКА ВОЛН, ПЛАЗМЫ И ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ ВО ВРЕМЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ БУРЬ**

Г.Л. Гдалевич

*ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Движение границ квази-захваченных ( $\sim 0,04-2,0$  MeV) электронных потоков, низкочастотных волн и тепловой плазмы изучается по данным спутников Интеркосмос-19 и Космос-900 во время нескольких небольших магнитосферных бурь и на Космосе-1686 получены данные во время сильной магнитной бури. Движение границ рассматривается как во время стадии развития или главной фазы бурь, так и во время фазы во время стадии восстановления магнитных бурь. В ряде магнитных бурь во время главной фазы наблюдается движение энергичных частиц, низкочастотных волн и тепловой плазмы к экватору, но в ряде других наблюдается только движение плазмы и волн к экватору, но энергичные частицы движутся к полюсу. Обсуждается разница в поведении границ движения энергичных частиц и плазмы и волн.

**АВРОРАЛЬНОЕ КИЛОМЕТРОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И СОЛНЕЧНЫЕ РАДИОВСПЛЕСКИ III ТИПА**

Т.В. Романцова<sup>1</sup>, М.М. Могилевский<sup>1</sup>, А.А. Скальский<sup>1</sup>, Я. Ханаш<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> *Центр научных исследований ПАН, Торунь, Польша*

По результатам одновременных наблюдений Аврорального Километрового Излучения на спутнике ISEE-1 и радиовсплесков III типа (километрового диапазона) на спутнике ISEE-3 показали, что, по крайней мере, иногда эти явления происходят одновременно. На основании этих измерений В. Кальвертом (1981), было выдвинуто предположение, что солнечные всплески III типа могут стимулировать развитие мазерной неустойчивости, а следовательно – возбуждать АКР. При этом им была высказана гипотеза о развитии каскадного процесса («принцип домино») в авроральной области и о том, что тонкая структура АКР является проявлением этого процесса. Целью данной работы является проверка гипотезы В. Кальверта. Используя данные прибора Польшрад, на спутник Интербол-2, был проведен статистический анализ случаев АКР и радиовсплесков III типа. Поскольку прибор Польшрад был предназначен для измерения АКР и не был приспособлен для измерения солнечных радиовсплесков, то для расширения статистики были использованы измерения радиовсплесков на спутниках Wind и Geotail. В работе представлен статистический анализ, а также отдельные наиболее интересные случаи одновременного наблюдения АКР и солнечных радиовсплесков III типа.

**НАБЛЮДЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОМ ШЛЕЙФЕ МАРСА  
(ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА ФОБОС-2)**

Д. Вавилов<sup>1,3</sup>, К. Мазелль<sup>2</sup>, А. Скальский<sup>1</sup>, А. Федоров<sup>2</sup>, М. Веригин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований, Москва, Россия, skalsky@iki.rssi.ru*

<sup>2</sup> *Centre d...tude Spatiale des Rayonnement, Toulouse, France (CESR/CNRS)*

<sup>3</sup> *Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия*

Потоки электронов, разогретых до температуры 100эВ, наблюдаются на ночной стороне марсианской магнитосферы. Одновременные измерения магнитного поля и колебаний электрического поля показывают, что появление потоков разогретых электронов совпадает с наблюдением изменения знака X-компоненты магнитного поля и повышенной интенсивности флуктуаций электрического поля. Эти наблюдения указывают, что разогретая популяция электронов регистрируется при пересечении плазменного слоя хвоста магнитосферы Марса. В работе рассмотрено два механизма нагрева электронов, связанных с процессами взаимодействия волна-частица и общей динамикой плазмы в хвосте индуцированной магнитосферы Марса. Работа поддерживается грантами РФФИ 07-02-92210 и НШ-472.2008.2.

**ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ  
В АВРОРАЛЬНОМ ОВАЛЕ**

В.И. Бадин

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

Предложена методика спектрального анализа магнитометрических данных как решения обратной задачи выбора оптимальной ширины спектрального окна, которая определяет эквидистантный спектр, наиболее вероятный для данного временного ряда магнито-разностных измерений. Под магнито-разностными измерениями понимается разность меридиональных составляющих магнитного поля, измеренных магнитометрами соседних станций меридиональной цепочки. На основе предложенной методики проведен гармонический анализ магнито-разностных данных, полученных в авроральном овале как в спокойных, так и в возмущенных условиях. В диапазоне УНЧ обнаружены спектры двух качественно различных типов. Спектры первого типа преобладают в спокойных условиях и могут быть интерпретированы как спектры связанных продольно-поперечных магнитогидродинамических колебаний в дипольном геомагнитном поле. Спектры второго типа преобладают в возмущенных условиях. С учетом доплеровского сдвига частот, обусловленного увлечением ионосферного газа дрейфом магнитосферной плазмы, спектры второго типа могут быть обусловлены сигналами вращающихся источников. Такими источниками предположительно являются магнитосферные плазменные вихри сравнительно небольших масштабов, существенно меньших, чем масштабы планетарной магнитосферной конвекции.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОРБИТАЛЬНОГО РАДАРА  
«МАРСИС» МИССИИ «МАРС-ЭКСПРЕСС»**Н.А. Арманд, В.Н. Марчук, В.М. Смирнов, О.В. Юшкова*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН,  
marchuk@ms.ire.rssi.ru*

В космических исследованиях подповерхностное радиозондирование является практически единственным доступным средством определения внутренней структуры грунта космических тел. Сложность исследований грунта с борта космического аппарата заключается в том, что большинство планет и их спутников обладает ионосферой, информация о которой ограничена. Известно, что для подповерхностного зондирования оптимально использовать длинные метровые волны, для которых ионосфера может быть не прозрачна. В качестве примера приведены результаты обработки данных, полученных на 1855 витке орбиты. Этот виток интересен тем, что он проходил через полярную шапку Марса, поэтому можно ожидать появления отражений от ледового покрытия. Всего на 1855 витке было получено 900 выборок (измерений), которые распределены по 8 участкам орбиты. Первые измерения проводились на дневной стороне, где ионосфера практически непрозрачна для радиоволн низкочастотного диапазона. Измерения в перицентре проходили над сумеречной областью, а увеличение высоты началось над ночной ионосферой. С точки зрения возможности получения интересных результатов наиболее перспективен участок 7, так как он проходил над полярной шапкой Марса в районе ночной ионосферы. Показано, что разработанные методы обработки позволяют уверенно диагностировать наличие отражений от границ с разной диэлектрической проницаемостью.

**ВАРИАЦИИ ФОНА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА НИЗКИХ ШИРОТАХ  
НА ТЕРРИТОРИИ БРАЗИЛИИ**

И.М. Мартин<sup>1</sup>, М.А. Алвес<sup>1</sup>, А.А. Гусев<sup>2</sup>, Г.И. Пугачева<sup>2</sup>, О.Р. Григорян<sup>3</sup>, А. Петров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *University of Taubate, Taubate, Sao Paulo, Brazil*

<sup>2</sup> *Институт Космических Исследований РАН, ИКИ РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *НИИЯФ МГУ*

Приведены результаты измерений потоков тепловых и медленных нейтронов в области энергий 0.02 эВ – 10 МэВ, выполненных на низких широтах на территории Бразилии в г. Сан Жозе дос Кампос, расположенном на высоте 650 км над уровнем моря, в лаборатории Института Новых Технологий СТА (Центр Технологии Аэронавтики). Цель измерений: экологический контроль уровня радиоактивного радона и других элементов и исследование возможной связи кратковременных увеличений потоков нейтронов с грозами, землетрясениями и другими природными явлениями. Использовались изготовленные в России незранированные стандартные нейтронные счетчики типа СИ-19 рабочей площадью 270 см<sup>2</sup>, наполненные газом <sup>3</sup>He при давлении 3.4 атм с напряжением питания 1300 В, и аналогичный счетчик, изготовленный в США (Lundlun USA), площадью 70 см<sup>2</sup> и с давлением 3.8 атм. Эффективность регистрации нейтронов такими счетчиками растет с уменьшением энергии нейтронов, достигая ~ 80% для тепловых нейтронов. Наблюдаются стабильные скорости счета детекторов ~ 43 1/см<sup>2</sup>сутки с вариациями, совпадающими с изменениями метеорологических условий (дождь, ветер и т.д.). Вариации в период дождей обычно связывают с изменением концентрации радона и его изотопов в дождевой воде. 8 января 2009 в 21 час 30 минут местного времени было наблюден одно кратковременное, 2-х минутное стократное увеличение скорости счета нейтронов, сопровождающее молнию. Наблюдения будут продолжены в г. Карагуататуба на уровне моря, в г. Итатиайя на высоте 2350 м в районе горного пика, и в других городах (Бауру, Браганса Паулиста, Кампос де Жордао, Таубате) штата Сан Пауло. Предполагается также использовать детекторы для исследования распределения нейтронов на околоземных орбитах спутников.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЗОНДА ЛЕНГМЮРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ  
(ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА АМОЕВА)**

В.В. Афонин

*Институт космических исследований Российской академии наук,  
Москва, Россия, vvaфонin@iki.rssi.ru*

На спутнике Интербол-2 при помощи сферического зонда Ленгмюра (прибор КМ-7) измерялись концентрация  $N_e$  и температура  $T_e$  электронов холодной ( $\leq 10$  эВ) плазмы во внутренней магнитосфере на высотах 2-3-RE. Впервые прямым методом без использования каких-либо априорных предположений были проведены непрерывные измерения этих параметров вдоль трассы полета спутника, включая освещенные участки траектории. Экспериментальные вольт-амперные характеристики (ВАХ) измерялись каждые 5,12 с; за один типичный пролет северный полярной области регистрировалось ~2500 ВАХ. Характеристики тепловой плазмы и потенциал корпуса КА определялись из каждой ВАХ методом подбора параметров (fitting method) аналитической модели зонда Ленгмюра к экспериментальным кривым. С этой целью была разработана аналитическая модель LPIbM (Langmuir Probe Interball Model), в которой тепловая и сверхтепловая плазма представлена смесью двух тепловых (максвелловская плазма и т.н. «тепловой хвост») популяций ( $N_e$ ,  $T_e$ ,  $T_i=T_e$  для каждой), до 4-х электронных пучков с  $N_b$ ,  $T_b$  и  $E_b$  каждый (движущееся максвелловское распределение со своей концентрацией, температурой и переносной энергией), и один ионный поток  $F_i$  – поток ионов, превышающий тепловой ток ионов на зонд [Afonin and Smilauer, 2000]. Величины параметров плазмы получаются фиттинг-методом путем решения задачи минимизации функционала в N-мерном пространстве. В случае наиболее простой плазмы, наблюдавшейся вдоль орбиты спутника Интербол-2  $N = 5$  (максвелловская плазма с тепловым хвостом). При наличии в плазме одного или двух пучков холодных электронов  $N = 8$  или 11. Обработка экспериментальных данных проводилась при помощи интерактивной процедуры подбора, в которой задание параметров и решение об окончательной оценке качества подбора производится оператором визуально, т.е., практически «вручную», поэтому обработка данных

происходит очень медленно и требует неприемлемо много времени. Автоматическая обработка ВАХ в таком многомерном пространстве при наличии в аналитической модели экспоненциальных и логарифмических функций, взаимной коррелированности некоторых параметров и, как следствие, многоэкстремальности практически нереальна. Описывается применение метода безусловной оптимизации функции от нескольких переменных АМОЕВА - Adaptive Modeling by Evolving Blocks Algorithm, также известный как метод деформируемого многогранника и симплекс-метод, или Метод Нелдера - Мида.

## ИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДИМ ДЛЯ ПРОЕКТА ФОБОС-ГРУНТ

А. Григорьев<sup>1</sup>, S. Varabash<sup>2</sup>, M. Wieser<sup>2</sup>, M. Emanuelsson<sup>2</sup>,  
А. Скальский<sup>1</sup>, И. Добровольский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Шведский Институт Космической Физики, Кируна, Швеция*

ДИМ является миниатюрным ионным масс-спектрометром, разработанным для Российского проекта Фобос-Грунт. ДИМ предназначенным для изучения взаимодействия солнечного ветра с Фобосом. Его поле зрения охватывает 2 π полусферу. Несмотря на малый размер, прибор осуществляет как энергетический, так и массовый анализ ионов. Поток ионов, пройдя электростатическим дефлектор, анализируется по энергии, после чего ионы попадают в секцию анализа скорости, в которой измеряется время пролета частиц между электростатический шлюзом и стоповой поверхностью. Величина скорости дает, в комбинации с известной энергией, массу частиц. Прибор оптимизирован для мониторинга потока солнечного ветра.

## СТРУКТУРА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ ИСТЕЧЕНИЯ ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА

Ю. В. Чугунов

*Институт прикладной физики РАН*

Рассмотрена самосогласованная осесимметричная задача о стационарных конфигурациях плазмы вокруг вращающейся намагниченной планеты с учетом истечения ионизованного газа с некоторой магнитной поверхности  $L = L^*$ , значение которой ( $L^* \approx 6.6$  для земных условий) находится из аналитического решения исходных уравнений магнитогидродинамики и токовой статики. Эта замкнутая система уравнений решается в предположении, что полярная составляющая массовой скорости анизотропно-проводящей среды равна нулю, вязкость несущественна и проводимость Холла равна нулю, а продольная проводимость велика по сравнению с поперечной. В качестве простой модели расширяющейся плазмосферы рассмотрена задача о конфигурации и параметрах плазменной оболочки вокруг вращающейся намагниченной планеты, состоящей из трех слоев: 1) внутренней части (плазмосферы), ограниченной магнитной оболочкой  $L = r/R \sin^2 \vartheta \dot{L}_*$  ( $r$  есть расстояние от центра планеты,  $\vartheta$  - полярный угол,  $R$  - радиус планеты), где давление изотропно, а вращение азимутальное и твердотельное; 2) внешней части (плазмопаузы)  $L \dot{L}_*$ , в которой, наряду с нетвердотельным азимутальным вращением, имеет место радиальное движение среды, а давление плазмы анизотропно; 3) тонкого проводящего слоя ионосферной плазмы, примыкающего к поверхности планеты. Найденное точное аналитическое решение исходных нелинейных уравнений описывает адиабатическое расширение плазменной оболочки, скачок плотности среды при пересечении границы плазмосферы, распределение плотности газа внутри и вне плазмосферы и в ионосферном слое, распределение токов проводимости и возмущений магнитного поля.

**ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ ПЛАЗМА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ЯДРОМ И ГАЛО, ОПИСЫВАЕМАЯ  
ОБОБЩЕННЫМИ КАППА РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ, И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА  
ПОТОКА В ЗАДАЧЕ ЧЕПМЕНА-ФЕРРАРО**

В.М. Губченко, А.В. Смирнов

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Нижегородский университет,  
ua3thw@appl.sci-nnov.ru*

Проблема Чепмена-Ферраро о взаимодействии потока плазмы с областью намагниченности лежит в основе изучения магнитосфер и солнечных стримеров. Внешним потоком является горячая бесстолкновительная плазма с заданной изотропной функцией распределения частиц по скоростям (ФРЧ). Форма ФРЧ характеризует электромагнитные свойства набегающего потока. В зависимости от формы ФРЧ поток проявляет себя как проводящая (резистивная) или как диэлектрическая (диамагнитная) среда. Это определяется величиной безразмерного параметра  $G_v$  – «добротностью» потока. В случае преобладания проводящих свойств потока ( $G_v \ll 1$ ) формируются структура типа геомагнитного хвоста / солнечного стримера - пакет из возбужденных мод индукционного поля, наблюдаемых в виде «тонкой» структуры сформированной из магнитных жгутов и токовых слоев на фоне «толстой» диамагнитной структуры. В обратном случае ( $G_v \gg 1$ ) наблюдается компактное симметричное «диполизированное» состояние, сформированное диамагнитными токами. ФРЧ потока солнечного ветра двухкомпонентная; она состоит из ядра и гало и как целое может описываться обобщенным каппа распределением. Проведены вычисления величины  $G_v$  отдельно для изотропного ядра, гало и для обобщенного изотропного каппа распределения. Проведено сопоставление  $G_v$  с вычислениями  $G_v = G_{VM}$  для вырожденного каппа распределения - максвелловской ФРЧ. Показано увеличение и уменьшение  $G_v$  относительно  $G_{VM}$  в зависимости от параметров каппа распределения ФРЧ.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ ПОЛЯРНОГО ВЕТРА НА ВЫСОТАХ ~20000 КМ**

Д.В. Чугунин

*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

В работе представлены характеристики потоков полярного ветра на высотах ~20000 км измеренные масс-спектрометром Гиперболоид, который был установлен на спутнике Интербол-2. Характеристики приводятся для восходящих потоков ионосферных ионов  $H^+$ ,  $He^+$  и  $O^+$  из освещенной полярной шапки в период минимума солнечной активности. Предварительно были отобраны участки орбит с минимальными высыпаниями магнитосферных ионов и электронов, а также максимально исключены измерения, где наблюдаются потоки ионов идущих из каспа/клефта. Таким образом, в статье представлены концентрации, продольные скорости и температуры ионов в областях, в которых с максимальной долей вероятности можно обнаружить потоки полярного ветра. Обнаружено, что случаи, когда до детектора доходят только ионы  $H^+$  с большой долей вероятности являются потоками полярного ветра. Их характеристики хорошо согласуются с гидродинамической моделью Tube-7 и равны  $n \approx 1.5 \text{ см}^{-3}$ ,  $V_{||} \approx 21 \text{ км/с}$ ,  $T_{||} = 3500 \text{ К}$ ,  $T_{\perp} = 2000 \text{ К}$ . В случаях, когда также детектируются ионы  $He^+$  и  $O^+$  температуры оказываются существенно выше модельных, а у потоков  $O^+$  измеренные продольные скорости оказываются выше модельных в несколько раз. Кроме того, было выявлено, что потоки полярного ветра преимущественно наблюдаются в областях полярной шапки, где потоки полярного дождя очень малы.

**ТРИ ТИПА МАГНИТОСФЕРНОГО ОТКЛИКА В ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЯХ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА 0.2-5 Гц НА БОЛЬШИЕ И РЕЗКИЕ СКАЧКИ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА**

В.А. Пархомов<sup>1</sup>, Г.Н. Застенкер<sup>2</sup>, М.О. Рязанцева<sup>2,4</sup>, Б. Цэгмед<sup>3,6</sup>, Т.А. Попова<sup>5</sup>

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

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

<sup>3</sup> Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

<sup>4</sup> НИИЯФ МГУ имени Д.В. Скобельцина

<sup>5</sup> Полярный геофизический институт КФ РАН

<sup>6</sup> Центр исследований по геофизике и астрономии АН Монголии

На основе наблюдений вариаций потока солнечного ветра на спутнике Интербол-1 и геомагнитных пульсаций на двух среднеширотных и одной авроральной обсерваториях представлены результаты исследования магнитосферного отклика на большие скачки потока (давления) солнечного ветра ( $\sim 4 \times 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , при длительности скачка не более 60 секунд). Показано, что такие возрастания потока ионов солнечного ветра как при неизменной скорости так и для случаев прихода к Земле межпланетных ударных волн при различном направлении вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля, могут вызвать магнитосферный отклик в виде усиления токовых систем – кольцевого тока (положительное возрастание SYM H), западной и восточной электроструй (возрастание AU и AL), сопровождаемых тремя видами режимов возбуждения геомагнитных пульсаций: 1) генерацией кратковременного всплеска широкополосных пульсаций типа P<sub>i</sub>, имеющих шумоподобный спектр; 2) генерацией кратковременных колебаний с изменяющейся частотой PCF в диапазоне 0.2–5 Гц с девиацией частоты около 0.4 Гц/мин.; 3) отсутствием пульсаций в частотном диапазоне 0.2–5 Гц при наличии низкочастотных пульсаций типа Psc 3-5. Первый и второй виды пульсаций наблюдаются только для 20% событий со скачками потока, а все остальные такие события относятся к третьему типу. Однако почти для всех случаев прихода межпланетных ударных волн наблюдается возбуждение геомагнитных пульсаций первого или второго типа. Отмечено существенное влияние направления межпланетного магнитного поля на возбуждение пульсаций разных типов. Обсуждаются возможные механизмы наблюдаемых закономерностей.

**АСИММЕТРИЯ ВЫХОДА АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ИСТОЧНИКА**

И.Л. Моисеенко<sup>1</sup>, Т.В. Романцова<sup>1</sup>, М.М. Могилевский<sup>1</sup>, Т.М. Буринская<sup>1</sup>, Я. Ханаш<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Центр научных исследований ПАН, Торунь, Польша

Несмотря на многолетние исследования природы Аврорального Километрового Излучения (АКР) и структуры его источника до настоящего момента остаются открытыми ряд принципиальных вопросов генерации АКР и, в частности, выхода этого излучения из областей с пониженной концентрацией фоновой плазмы. Одним из возможных экспериментальных подходов к решению этой задачи является анализ диаграммы направленности АКР. Для определения диаграммы направленности нами использовались измерения АКР, сделанные в двух, пространственно разнесенных точках – на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 и ПОЛАР. Из анализа разности нижней частоты обрезания излучения и изменения этой частоты при удалении спутников от источника излучения были определены углы раскрытия диаграммы вдоль и поперек источника в направлении север-юг и восток-запад. Результаты анализа показали, что в направлении север-юг раскрытие диаграммы направленности уже, чем в направлении восток-запад. Такая асимметрия раскрытия диаграммы направленности может быть связана с геометрией источника: узкого в направлении север-юг ( $\sim 10$ -100 км) и вытянутого вдоль овала полярных сияний в направлении восток-запад (100–1000 км).



**ВОЗДЕЙСТВИЕ БОЛЬШИХ И РЕЗКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ: АНАЛИЗ НЕСКОЛЬКИХ СОБЫТИЙ**

Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер

*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

Рассмотрена реакция магнитосферы и ионосферы на приход к Земле больших изменений динамического давления солнечного ветра с резкими фронтами. Показано, что под воздействием импульса давления солнечного ветра изменяется магнитное поле на геосинхронной орбите: оно возрастает при возрастании давления солнечного ветра и уменьшается, если давление солнечного ветра падает. Потоки энергичных частиц также изменяются: на дневной стороне магнитосферы потоки энергичных частиц возрастают с приходом импульса динамического давления солнечного ветра, а на ночной стороне реакция потоков энергичных частиц зависит от направления межпланетного магнитного поля. При условии отрицательной  $B_z$  компоненты ММП на ночной стороне магнитосферы могут наблюдаться инъекции потоков энергичных электронов. Показано, что большое и быстрое возрастание давления солнечного ветра, сопровождающееся слабо отрицательной  $B_z$  компонентой ММП, может приводить к высыпанию частиц на дневной стороне аврорального овала, и развитию псевдобрейкапа или суббури на ночной стороне овала. Динамика аврорального овала показывает, что после прохождения импульса динамического давления солнечного ветра авроральная активность ослабевает. Иными словами, импульс давления солнечного ветра в присутствии слабо отрицательного ММП может не только вызывать развитие псевдобрейкапа/суббури, но и контролировать это развитие.

**ЗОНЫ ЗАХВАТА ЭНЕРГИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРНЫХ КАСПОВ**

А.А. Гусев, Г.И. Пугачева

*ИКИ РАН, Профсоюзная 84/32, Москва, Россия*

Рассматривается явление квазиустойчивого захвата заряженных частиц с энергиями кэВ-МеВ в магнитосфере в области каспа. Удаленные линии геомагнитного поля на дневной стороне магнитосферы сжаты солнечным ветром в области экватора и имеют два минимума в значении силы геомагнитного поля вдоль магнитной силовой линии в высоких широтах с обеих сторон экватора в областях северного и южного каспов. В этих минимумах могут образовываться зоны квазиустойчивого захвата энергичных заряженных частиц каспа, топологически подобных классическим "радиационным поясам" Земли. Численное моделирование орбит заряженных частиц, проходящих через области этих минимумов геомагнитного поля, показывает, когда и где могут возникать зоны захваченной радиации. Существование и геометрия этих зон радиации зависит от наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики (т.е. от сезона). "Радиационный пояс" в северном каспе появляется только во время летнего солнцестояния в северном полушарии, а южная зона захвата частиц появляется в зимнем солнцестоянии. В периоды равноденствия зоны захвата энергичных заряженных частиц существуют в обоих каспах, в основном в возмущенной магнитосфере. Захваченные частицы дрейфуют в зонах захвата с периодом несколько минут с сохранением 1 и 2-го адиабатического инвариантов. Ключевые слова: магнитосфера, захваченные частицы, радиационные пояса, касп.

**ВОЗБУЖДЕНИЕ МАГНИТНЫХ И РИОМЕТРИЧЕСКИХ Pc5 ПУЛЬСАЦИЙ**

В.Б. Белаховский<sup>1</sup>, В.А. Пилипенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, [belakhovsky@mail.ru](mailto:belakhovsky@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт физики Земли РАН, Москва,

Детально рассмотрено событие 21 ноября 2003 г., во время которого наблюдались интенсивные Pc5 пульсации магнитного поля, риометрического поглощения и потоков электронов на восстановительной фазе сильной магнитной бури. Глобальная структура возмущений изучается с помощью мировой сети магнитометров и риометров, дополненных данными детекторов частиц на геостационарных спутниках LANL. Локальная пространственная структура исследуется по данным региональной сети финских вертикальных риометров и станций магнитной сети IMAGE. Хотя наблюдается определенное подобие в частотном составе и временной эволюции магнитных и риометрических вариаций, локальная фазовая структура этих колебаний оказывается различной. Предположено, что эти вариации являются проявлениям осцилляторных свойств двух слабо-связанных систем: магнитосферного МГД волновода/резонатора и системы циклотронные шумы + электроны. Зарегистрированные Pc5 колебания являются результатом возбуждения магнитосферного волновода на утреннем и вечернем флангах магнитосферы. Сопоставление электронных потоков по данным геостационарных спутников LANL и УНЧ волновой активности показывает, что магнитосферный волновод оказывается в метастабильном состоянии при высоких скоростях солнечного ветра, и инжекция частиц стимулируют возбуждение волновода.

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

### КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ПОТОКИ

В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг

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

Показано, что контраст корональных дыр определяет собой скорость истекающих из них потоков. Проведено сопоставление также с другими параметрами солнечного ветра – плотностью, температурой и магнитным полем. В периоды низкой солнечной активности корреляционные связи оказались довольно высокими, пригодными для практического ежедневного прогнозирования. Важным достоинством метода является то, что в нем используются непосредственно наблюдаемые величины без каких либо дополнительных предположений. В рамках потенциального приближения рассчитана модель структуры магнитного поля внутри корональной дыры. Показано, что квазирадиальность устанавливается уже на высотах 200000 км. С учетом этого удастся более точно согласовать наблюдаемое и вычисленное у Земли магнитное поле.

### ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ В МИНИМУМЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Ю.С. Шурай

*НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва,  
[jshugai@srd.sinp.msu.ru](mailto:jshugai@srd.sinp.msu.ru)*

Особенностью минимума 23-го цикла солнечной активности является существование на Солнце долгоживущих экваториальных корональных дыр (КД). В работе рассматривается рекуррентная экваториальная КД, наблюдавшаяся в течение всего 2008 года, и связанные с ней потоки высокоскоростного солнечного ветра (СВ). Прослеживается изменение размеров и границ КД. Оценивается влияние замкнутых магнитных структур, расположенных в КД или рядом с ней, на эволюцию КД. Параметры КД сопоставляются с параметрами высокоскоростных потоков СВ, измеряемых на околоземной орбите на различных космических аппаратах.

### СТЕРЕОСКОПИЯ ТРАНСЗВУКОВЫХ ДОАЛЬВЕНОВСКИХ ДВИЖЕНИЙ ПЛАЗМЫ В ОСНОВАНИИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР

И.С. Веселовский<sup>1,2</sup>, О.С. Яковчук<sup>1</sup>, V. Bothmer<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН*

<sup>3</sup> *Institute for Astrophysics, University of Göttingen, Göttingen, Germany*

Наблюдения на ИСЗ STEREO-A, STEREO-B, SOHO и Hinode с высоким пространственным и временным разрешением в нескольких участках спектра, выполненные в 2007-2008 гг., дают возможность для стереоскопического исследования трёхмерной структуры и динамики движущихся неоднородностей в основаниях корональных дыр. Эти неоднородности имеют вид уярчений самой разнообразной формы и размеров (петли, струи, смесь того и другого и т.п.). Время жизни таких образований в короне может быть как менее одной минуты, так и более недели. Одни из них явно имеют продолжения в нижние слои короны и хромосферу, другие не показывают такой связи, что может свидетельствовать об их транзитном происхождении вследствие нелинейной динамики самой короны. В докладе сообщается об анализе таких событий и определении их параметров из наблюдений. Интерпретация связана с представлениями о турбосфере Солнца, как о месте формирования потоков солнечного ветра.

**ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАДТЕПЛОВЫХ ИОНОВ ВО ВНЕШНЕМ СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ**

Х.Й. Фар, И.В. Чашей, Д. Вершарен

*ПРАО АКЦ ФИАН, chashey@prao.ru*

Измерения показывают, что распределение по скоростям надтепловых (более энергичных, чем подхваченные) протонов солнечного ветра имеет степенной вид с показателем степени около 5. Л.Фиском и Г.Глоклером (L.Fisk, G.Gloeckler) для интерпретации надтеплого хвоста предложена модель, согласно которой степенное распределение формируется локально при взаимодействии подхваченных частиц (энергии порядка 1 кэВ) с магнитозвуковой турбулентностью, причем близкий к наблюдаемому степенной спектр может быть найден из автотурбулентной теории. Нами проведено сравнение характерных скоростей диффузионных и транспортных процессов, которое показывает, что для соответствующих надтепловому хвосту скоростей протонов взаимодействие с турбулентными флуктуациями является неэффективным. Предложена модель, в которой надтепловой хвост формируется не подхваченными протонами, а частицами аномальных космических лучей (энергии порядка 100 кэВ), которые после рассеяния на неоднородностях солнечного ветра выносятся потоком замагниченной плазмы и при этом теряют энергию. В рамках предложенной модели также удается объяснить существование степенного распределения протонов по скоростям, которое имеет показатель степени около 4 и находится в достаточно хорошем согласии с данными КА VOYAGER-1.

**ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА**

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, Троицк, Московская область, Россия, obridko@izmiran.ru.*

<sup>2</sup> *Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия.*

Основу исследований составляют эксперименты по массовому зондированию околосолнечной межпланетной плазмы на радиальных расстояниях от Солнца  $R \sim 4-70 R_s$ , РАО РАН, а также расчеты магнитных полей в солнечной короне: напряженности и структуры по измерениям магнитного поля на поверхности Солнца в Солнечной обсерватории Дж. Вилкокса, США. Данные экспериментов позволяют локализовать в околосолнечном пространстве,  $R \sim 10-20 R_s$  положение ближней к Солнцу границы переходной, трансзвуковой области солнечного ветра,  $R_{in}$  и на этой основе провести взаимосвязанное изучение структуры солнечного ветра и ее источников – компонент магнитного поля в солнечной короне. Анализ эволюции типов потока в период 2000–2007 гг. позволяет сформулировать физически обоснованный критерий, определяющий временные границы различных эпох в цикле солнечной активности.

**НЕРАВНОВЕСНЫЙ ХАРАКТЕР ПЛАЗМЫ В ГЕЛИОСФЕРНОМ УДАРНОМ СЛОЕ**

В.В. Измоденов<sup>1,2,3</sup>, Ю.Г. Малама<sup>1,3</sup>, С.В. Чалов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт Космических Исследований РАН*

<sup>2</sup> *МГУ им. М.В. Ломоносова, механико-математический факультет*

<sup>3</sup> *Институт Проблем Механики им. А.Ю. Ишлинского РАН*

Представлены результаты многокомпонентной модели взаимодействия солнечного ветра с окружающей его локальной межзвездной средой. В рамках модели протоны и электроны солнечного ветра, а также захваченные ионы рассматриваются как различные компоненты, имеющие одинаковую массовую скорость. Протоны и электроны солнечного ветра описываются гидродинамически, а для описания захваченных ионов используется кинетический подход. Предполагается, что функция распределения захваченных ионов является изотропной и удовлетворяет кинетическому уравнению типа Фоккера-Планка. Как протоны солнечного ветра, так и захваченные ионы взаимодействуют с межзвездными атомами водорода посредством перезарядки. В представленной модели кинетическое уравнение для атомов водорода решается совместно с гидродинамическими и кинетическим уравнениями для заряженных частиц. Будут представлены и обсуждены первые результаты, полученные в рамках модели, а также проведено сравнение с имеющимися экспериментальными данными.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНЫХ АТОМОВ ВНУТРИ ГЕЛИОСФЕРЫ**

О.А. Катушкина<sup>1,2</sup>, В.В. Измоденов<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> *Институт Космических Исследований РАН*

<sup>2</sup> *МГУ им. М.В. Ломоносова, механико-математический факультет*

<sup>3</sup> *Институт Проблем Механики им. А.Ю. Ишлинского РАН*

Межзвездные атомы водорода проникают внутрь гелиосферы и несут существенную информацию о свойствах локальной межзвездной среды, а также о структуре гелиосферного ударного слоя, то есть области взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой. Поэтому их детальное теоретическое изучение играет важную роль для интерпретации различных экспериментальных данных. Длина свободного пробега атомов водорода сопоставима с характерным размером гелиосферы, поэтому в работе для исследования распределения атомов водорода внутри гелиосферы используется кинетический подход и методом характеристик решается кинетическое уравнение, в котором учитываются процессы перезарядки, фотоионизации, ионизации электронным ударом, гравитационного солнечного притяжения и радиационного давления. В модели учитываются нестационарные процессы, связанные с 11-летним циклом солнечной активности, зависимость эффективной частоты ионизации от гелиошироты, а также учтены изменения параметров межзвездных атомов при их прохождении через область гелиосферного интерфейса. Проведено сравнение полученных результатов с результатами самосогласованной кинетико-газодинамической модели взаимодействия солнечного ветра с двухкомпонентной межзвездной средой. По результатам сравнения делаются выводы о том, как изменение функции распределения атомов водорода в области гелиосферного интерфейса проявляется внутри гелиосферы на относительно небольших гелиоцентрических расстояниях. Показано, что с помощью разработанной модели для атомов водорода внутри гелиосферы и измерений рассеянного Лайман-альфа излучения можно определить изменение потока массы солнечного ветра в зависимости от времени и гелиошироты.

**РОЛЬ КРУПНОМАСШТАБНОГО СОЛНЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ  
РАСПРОСТРАНЕНИИ СКЛ В ТРЕХМЕРНОЙ ГЕЛИОСФЕРЕ**

А. Струминский<sup>1</sup>, И. Зимовец<sup>1,2</sup> Б. Хибер<sup>2</sup>, А. Классен<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Кильский Университет, Киль, Германия*

Крупномасштабная структура солнечного магнитного поля может играть существенную роль при распространении солнечных космических лучей (СКЛ) до наблюдателя. Здесь мы исследуем ее роль на примере наблюдений СКЛ в различных точках гелиосферы в декабре 2006 года. Активная область 10930, ставшая видимой на восточном лимбе Солнца в начале декабря 2006 года, стала источником четырех рентгеновских вспышек (5, 6, 13 и 14 декабря) и СКЛ вблизи Земли. Частицы СКЛ также наблюдались на гелиоцентрическом расстоянии 2.8 а.е. в южной полярной шапке ( $70^\circ$ ) с борта КА ULYSSES. прибором KET/Ulysses в диапазоне от 6 МэВ/нуклон до 2 ГэВ/нуклон. В начале активного периода силовые линии межпланетного магнитного поля (ММП) соединяли с Южной корональной дырой не только ULYSSES, но и Землю, так как Южная корональная дыра простиралась вплоть до точки магнитного соединения Солнца с Землей. В конце активного периода ULYSSES по-прежнему был соединен с корональной дырой, а Земля была уже соединена практически с активной областью. Так от вспышки 5 декабря на Земле и ULYSSES наблюдались сравнимые потоки СКЛ, но потоки СКЛ от вспышек 13 и 14 декабря, значительные на Земле, были практически незаметны на ULYSSES. Магнитное соединение Земли с Южной корональной дырой было нарушено, по-видимому, 6 декабря в результате распространения ударной волны от вспышки 5 декабря.

**О СООТНОШЕНИИ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА СОЛНЕЧНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ  
ВСПЛЕСКОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПОТОКОВ ПРОТОНОВ У ЗЕМЛИ**

И.М. Черток<sup>1</sup>, В.В. Гречнев<sup>2</sup>, Н.С. Мешалкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ИЗМИРАН, Троицк;*

<sup>2</sup> *ИСЗФ, Иркутск*

Анализ экстремального протонного события 20.01.2005 обострил дискуссию по давно обсуждаемой проблеме: ускоряются ли приходящие к Земле солнечные космические лучи (СКЛ) во вспышке или в корональной ударной волне перед быстро распространяющимся корональным выбросом? При этом одним из важных является вопрос о связи между энергетическим спектром СКЛ и параметрами, характеризующими частотный спектр вспышечных микроволновых всплесков. В ряде работ по материалам предшествующих циклов солнечной активности было показано, что такая связь существует, в частности, для протонов с энергией десятки МэВ. В данном докладе представлены результаты анализа этой связи по данным 23-его цикла. Установлено, что для событий, связанных со вспышками на западной половине диска, имеет место заметная корреляция между показателем  $\delta$  степенного интегрального энергетического спектра протонов, зарегистрированных у орбиты Земли,  $J_E \propto E^{-\delta}$ , и такими параметрами радиовсплесков, излучаемых во вспышке на Солнце, как отношение пиковых потоков на частотах 8,8–9,4, 15,4–17, 35 и 80 ГГц. Микроволновым всплескам с жестким частотным спектром, в которых частота спектрального максимума достаточно велика, соответствуют потоки протонов с жестким (пологим) энергетическим спектром, т.е. с малым  $\delta$ . Вспышки же с мягким радиоспектром (низкой частотой спектрального максимума), наоборот, приводят к потокам протонов с мягким (крутым) энергетическим спектром, т.е., с большим  $\delta$ . К тому же, наиболее интенсивные потоки протонов обычно наблюдаются после вспышек с мощным микроволновым излучением. Такая связь частотного радиоспектра и энергетического спектра потока протонов не укладывается в «синдром большой вспышки» и является еще одним важным аргументом в пользу вывода, что частицы СКЛ (по крайней мере, их основного импульса) ускоряются непосредственно во вспышке в процессах взрывного и/или постэруптивного энерговыделения, а не в ударной волне на фронте коронального выброса.

**МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ**

М.С. Калинин, М.Б. Крайнев

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

Обсуждается модификация широко используемой при гелиосферных исследованиях модели гелиосферного наклонного токового слоя, связанная с его нестационарностью. В модифицированной модели токовый слой имеет конечную толщину и все три компоненты магнитного поля. Для параметризации модели рассматриваются результаты расчётов конфигурации токового слоя на поверхности источника межпланетного магнитного поля в потенциальном приближении по магнитным полям, измеренным на фотосфере Солнца (обсерватория Вилкокса, Стэнфордский университет, США). В сопутствующем докладе (Крайнев, Калинин) эта модель используется при исследовании модуляции галактических космических лучей.

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ И ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА**

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

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

В работе исследуется относительная частота появления различных типов солнечного ветра и их геоэффективность для магнитных бурь с  $Dst < -50$  нТл, как в целом за весь период времени 1976-2000 г, так и их вариации в течение 2.5 циклов солнечной активности. Исходными данными для анализа является каталог крупномасштабных типов солнечного ветра за период 1976-2000 годов (см. <ftp://ftp.iki.rssi.ru/omni/>), созданный нами на основе базы OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>) и подробно описанный в работе [Ермолаев и др., Космич.Исслед., №2, 2009]. Среднегодовое число различных типов событий составляет:  $124 \pm 81$  для гелиосферного токового слоя (HCS),  $8 \pm 6$  для магнитного облака (MC),  $99 \pm 38$  для Ejecta,  $46 \pm 19$  для Sheath перед Ejecta,  $6 \pm 5$  для Sheath перед MC, и  $63 \pm 15$  для CIR. При средней длительности событий для HCS  $5 \pm 2$  ч, MC  $24 \pm 11$  ч, Ejecta  $29 \pm 5$  ч, Sheath перед Ejecta  $16 \pm 3$  ч, Sheath перед MC  $9 \pm 5$  ч, CIR  $20 \pm 4$  ч, различные события наблюдаются HCS в  $6 \pm 4\%$ , MC в  $2 \pm 1\%$ , Ejecta в  $20 \pm 6\%$ , Sheath перед Ejecta в  $8 \pm 4\%$ , Sheath перед MC в  $0.8 \pm 0.7\%$ , CIR в  $10 \pm 3\%$  времени наблюдений. В течение 1976 – 2000 г только для 58% умеренных и сильных магнитных бурь (с индексом  $Dst < -50$  нТл) имелись измерения, которые позволили определить источник в солнечном ветре. Из 464 идентифицированных магнитных бурь 31% был вызван событиями CIR, 21% - областью Sheath, ~13% - магнитными облаками MC и ~35% - событиями Ejecta. Показано, что самыми геоэффективными (~61%) являются магнитные облака (MC). В 3 раза менее геоэффективными (~20–21%) являются и события CIR, и Ejecta, имеющие область Sheath. Наименьшая геоэффективность (~8%) у событий Ejecta, не имеющих область Sheath. Обсуждаются вариации распространенности и геоэффективности различных типов солнечного ветра в цикле солнечной активности.

**ФОРБУШ-ЭФФЕКТЫ, НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ПЕРИФЕРИИ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

М.А. Лившиц, А.В. Белов, А.Р. Осокин, Е.А. Ерошенко, Л.К. Кашапова

*ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН*

Обсуждается происхождение большого Форбуш эффекта 17 июля 2005 года. Интенсивность галактических космических лучей 16 июля уменьшилась примерно на 2 %, а затем в начале и конце суток 17 июля Форбуш – эффект достиг 8 % на многих наземных мониторах. Возмущение в околоземном пространстве было сравнительно небольшим (скорость ветра  $V=500$  км/с, модуль магнитного поля  $B \sim 10$  нТл, с  $B_z$  компонентой также близкой к 10 нТл) и оно не могло обеспечить такую величину Форбуш эффекта. В этом событии наблюдалась также сильная анизотропия космических лучей – необычайно большая компонента в экваториальной плоскости, направленная к Солнцу вдоль силовых линий ММП. Обсуждаются наблюдения двух вспышек M9.1 и X1.2, произошедших 14 июля 2005 года в группе 10786 близ западного лимба. Основная длительная вспышка, начавшаяся около 6 UT, была слабее, однако на ее фоне в

7:22–7:24 UT произошло достаточно мощное импульсное выделение энергии не в ведущей, а в хвостовой части группы. Рентгеновское излучение второй из этих вспышек было достаточно большим даже в диапазоне 100 КэВ. Обращается внимание на то, что СМЕ, ассоциированный со второй вспышкой, характеризовался скоростью около 2300 км/с в начале выброса и, сгребая остатки предыдущих выбросов, сформировал резкий западный фронт соответствующего межпланетного возмущения, в котором западнее линии Солнце-Земля развился гигантский Форбуш эффект. Таким образом, уменьшение интенсивности галактических космических лучей связано в данном случае с мощным возмущением межпланетного пространства, но Земля прошла только через его периферию.

### **РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ТУРБУЛЕНТНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, ВКЛЮЧАЯ ГЕЛИОСФЕРНЫЙ ТОКОВЫЙ СЛОЙ**

О.В. Хабарова, Г.Н. Застенкер

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

Рассмотрены малоизученные резкие изменения плотности плазмы солнечного ветра (в несколько раз за несколько минут или даже секунд), наблюдающиеся в околоземном пространстве в среднем несколько раз в сутки по данным Интербол-1 и Wind. Обсуждаются особенности и причины неравномерности их распределения по времени. Изучение отдельных случаев и статистические исследования показывают, что данное явление связано с областями, в которых увеличена плотность солнечного ветра и магнитное поле, а также их вариабельность. Число резких изменений потока ионов на высокоапогейном спутнике Интербол-1 за сутки (по данным за 5 лет) может быть смоделировано с использованием плотности солнечного ветра, магнитного поля и их стандартного отклонения по суточным данным OMNI2 (уровень корреляции модельного параметра с оригинальным рядом  $\sim 0.7$ ). Этот факт демонстрирует неслучайность условия комбинированного влияния указанных параметров на перенос или рождение резких мелкомасштабных границ в солнечном ветре. Показано, что подавляющее большинство секторных границ содержит изучаемые скачки плотности, и что условия солнечного ветра в гелиосферном токовом слое совпадают с найденными ранее условиями наиболее частой встречаемости изучаемых резких границ. Между тем, в гелиосферном токовом слое их содержится лишь 40%, остальные 60% не связаны ни с токовым слоем, ни с какими иными ярко выделенными структурами типа магнитных облаков или областей перемешивания. Обсуждаются вопросы происхождения, распространения и выживания резких мелкомасштабных границ в солнечном ветре.



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

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ТОПОЛОГИИ И ДИНАМИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА НА ГЕЛИО- И МАГНИТОСФЕРУ

Е. Гаврюсева

*Институт Ядерных Исследований РАН, Москва, elena.gavryuseva@gmail.com*

Отношения между фотосферным магнитным полем, межпланетным полем, характеристиками солнечного ветра на около земной орбите и геомагнитными возмущениями были изучены, используя WSO наблюдения крупно масштабного магнитного поля Солнца (МПС) и данные OMNI за 1976–2007 годы. Связь между МПС и межпланетным магнитным полем (ММП) была проанализирована на короткой временной шкале (сравнивались ежедневные данные, полученные в течение нескольких лет в минимуме и максимуме солнечной активности на разных широтах), чтобы выявить реальную эффективную задержку между процессами на Солнце и на Земной орбите. Корреляции между временным поведением СМП и ММП, характеристиками солнечного ветра и геомагнитными возмущениями были вычислены для наборов данных 30-летней длины и для более коротких подинтервалов, чтобы определить гелиошироты, где рождается солнечный ветер, и как это зависит от фазы цикла активности. Такой подход к изучению солнечно-земных связей является эмпирическим и помогает избежать упрощений и модельных предположений о сложных взаимодействиях между различными характеристиками плазмы на пути от Солнца до Земли. Эти результаты полезны для понимания гелиосферной структуры и для предсказания магнитосферных возмущений на базе явлений на поверхности Солнца.

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ОПРЕДЕЛЕННЫХ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОРБИТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ПЕРИОДОВ РЕЗКОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ, ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМЛЕ И ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ

А.Л. Харитонов, Г.П. Харитонова, А.Х. Фрунзе

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова РАН, ahariton@izmiran.ru*

В пределах нашей галактики в различных физических полях (в оптическом диапазоне, в диапазоне гамма-излучений и инфракрасных излучений) прослеживается спиралевидная структура: скопления облаков ионизированного водорода, относительно уплотненных полос космической пыли, а также межзвездного газа в радиодиапазоне. Согласно этой теории, развитие галактики связано с непрерывным разрушением звезд в ее центральной части и выносом продуктов их разрушения в виде газопылевых струйных потоков и рукавов электромагнитной природы, закрученных в виде логарифмической спирали. Основные элементы глобальной спиралевидной структуры нашей галактики: 1) спиралевидная ветвь Стрельца-Киля, 2) спиралевидная ветвь Персея, 3) спиралевидная ветвь Ориона. Эти спиралевидные структуры прослеживаются на протяжении многих оборотов галактики. Спиралевидные ветви галактик, в соответствии с волновой теорией строения и развития галактики, являются волнами плотности, а процесс их распространения представляет собой твердотельное вращение волн. Эта теория допускает наличие галактических ударных волн, которые представляют собой область сжатого газа, вдоль внутренней кромки спиралевидной волны. Галактическая ударная волна приводит к сжатию межзвездной пыли и в зоне фронта волны наблюдается увеличение концентрации такой пыли. На основании этой теории галактических спиральных волн плотности предполагается, что орбита нашей Солнечной системы периодически пересекается со спиралевидными ветвями (волнами плотности) Стрельца, Персея, Ориона.

**НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ОТКЛИК НА СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**В.Н. Ишков<sup>1</sup>, Ю.И. Кукса<sup>2</sup>, И.Г. Шибяев<sup>1</sup><sup>1</sup> ИЗМИРАН<sup>2</sup> ЦГЭМИ ИФЗ РАН

По данным магнитометрической станции (магнитные компоненты  $B_{x,y,z}$ ; частота квантования 2Hz; г. Троицк, освещенная сторона) анализируется прямой отклик на ряд солнечных вспышек. Дополнительная ионизация ионосферы, вызванная этими вспышками, приводит к токовой перестройке и возмущению В-компонент. Так как солнечные события носят случайный характер и проявляются, в той или иной форме, на фоне достаточно регулярных процессов, то важна оценка фоновых состояний анализируемых параметров и их динамика на временных интервалах разного масштаба. Проведен анализ суточной и более высокочастотных гармоник на временных массивах длительностью до и более месяца. Выделено влияние фаз Луны на суточную гармонику. Отмечается, что по степени гладкости параметров высокочастотных компонент можно оценить характеристики нерегулярных событий.

**ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ И ПОТОК ДРЕВНЕГО СОЛНЕЧНО- ВЕТРОВОГО ГЕЛИЯ**

Г.С. Ануфриев

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

О древнем солнечном корпускулярном излучении известно очень мало. В то время как происхождение и эволюция солнечного ветра относится к одной из нерешенных вопросов солнечной физики. Вероятно, определенный свет на эту проблему может пролить информация о древнем солнечном ветре. Однако до последнего времени данные отсутствовали. В основном сведения были получены по метеоритным данным, но достаточно плохо привязаны к временной шкале. Исследования колонки лунного грунта дали возможность получить информацию о значительных вариациях солнечного гелия вплоть до 63 миллионов лет в прошлом. Дальнейший анализ полученной информации был направлен на учет влияния возможного изменения концентрации и фракционирования изотопов в длительном интервале времени на обнаруженные вариации интенсивности солнечного корпускулярного излучения. Отметим, что дискретный отбор образцов по колонке грунта позволяет построить картину вариаций гелия с большими пропусками. Кроме того, грубый отбор проб (~2 см по длине колонки) позволяют получить интегральный результат «размазанный» на интервале в миллион лет. Более подробные данные с интервалом в сотни лет позволяют получить исследования осадочных океанических пород с малой скоростью роста (~1 мм/тыс.лет), аккумулирующих космическую пыль с имплантированным солнечным ветром. Наши исследования железомарганцевые конкреций и поднятых колонки донного ила свидетельствуют о том, что возможно проследить вариации солнечного ветра вплоть до миллионов лет и наблюдать длительные вариации солнечного ветра. Это позволяет продлить результаты наблюдения вариаций современного солнечного корпускулярного излучения на многие тысячи лет в прошлое.

**ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК КАК ИНДИКАТОР УСКОРЕНИЯ ПРОТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

В.Г. Курт<sup>1</sup>, Б.Ю. Юшков<sup>1</sup>, В.И. Галкин<sup>1</sup>, К. Кудела<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия

<sup>2</sup> Институт экспериментальной физики Словацкой АН, Кошице, Словакия

С помощью детектора СОНГ на ИСЗ КОРОНАС-Ф было зарегистрировано гамма-излучение высоких энергий (>100 МэВ) в четырех солнечных вспышках (24.08.2001, 28.10.2003, 04.11.2003 и 20.01.2005). Выделение в последовательных спектрах спектральной особенности, обусловленной генерацией и распадом нейтральных пионов, позволило с высокой точностью определить моменты появления в солнечной атмосфере протонов, ускоренных до энергий свыше 300 МэВ. Сравнение времен ускорения протонов на Солнце и регистрации частиц на 1 а.е. позволяет сделать вывод, что выход частиц в межпланетное пространство начинается практически одновременно с их ускорением. Сам по себе факт появления гамма-излучения от распада нейтральных пионов и временные характеристики этого излучения свидетельствуют в пользу ускорения высокоэнергичных протонов непосредственно во вспышечной области.

**О ДРЕЙФЕ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В МОДИФИЦИРОВАННОМ НАКЛОННОМ ТОКОВОМ СЛОЕ ГЕЛИОСФЕРЫ**

М.Б. Крайнев, М.С. Калинин

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

Обсуждается скорость дрейфа заряженных частиц в модели модифицированного наклонного токового слоя (МНТС), а также влияние этой скорости дрейфа на распределение в гелиосфере интенсивности галактических космических лучей. Модель МНТС представляет собой модификацию известной модели наклонного токового слоя, связанную с его вращением нестационарностью, и более подробно изложена в сопутствующем докладе (Калинин, Крайнев).

**IMPULSIVE, STOCHASTIC AND SHOCK WAVE ACCELERATION OF RELATIVISTIC PROTONS IN LARGE SOLAR EVENTS OF 29 SEPTEMBER 1989, 14 JULY 2000, 28 OCTOBER 2003, AND 20 JANUARY 2005**

Л.И. Мирошниченко<sup>1</sup>, J. Pérez-Peraza<sup>2</sup>, A. Gallegos-Cruz<sup>3</sup>, E.V. Vashenyuk<sup>4</sup>, Yu.V. Balabin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geofísica, UNAM, C.U., Coyacac, 04510, México, D.F., M...XICO, N.V. Pushkov Institute IZMIRAN, Moscow Region, 142190, RUS.

<sup>2</sup> Instituto de Geofísica, UNAM, C.U., Coyacac, 04510, México, D.F., M...XICO.

<sup>3</sup> UPIICSA, I.P.N., Depto. de Ciencias Básicas, TÈ 950, Iztacalco, 08400, México D.F., M...XICO.

<sup>4</sup> Polar Geophysical Institute, Apatity, Murmansk Region, 184209, RUSSIA

Using the data from neutron monitors and applying various techniques, the parameters of relativistic solar protons (RSP) outside the magnetosphere are currently being derived by several research groups. Such data, together with direct proton measurements from balloons and spacecraft, allows the determination of particle energy spectra near the Earth's orbit in successive moments of time. Spectra of relativistic solar protons in a number of large solar events tend to indicate the existence of multi-step acceleration at/near the Sun. In this paper, we study the generation of RSP by neutral current sheet, stochastic, and shock-wave acceleration, within the framework of two-component concept for Ground Level Enhancements (GLE) of solar cosmic rays (SCR). Our analysis is extended to large solar events (GLEs) of 29 September 1989, 14 July 2000, 28 October 2003, and 20 January 2005. We found two different particle populations (components) in the relativistic energy range: a prompt component (PC), characterized by an early impulse-like intensity increase, hard spectrum and high anisotropy, and a delayed component (DC), presenting a gradual late increase, soft spectrum and low anisotropy. Based on two-source model for SCR spectrum formation at the Sun, the authors have carried out theoretical calculations of spectra in the sources for both components. We conclude that the processes in neutral current sheet, together with stochastic acceleration in expanding magnetic trap in the solar corona, are able to explain the production of two different

relativistic components. Shock acceleration in the presence of coronal mass ejection (CME) fits fairly only the non-relativistic range of SCR spectrum, but fails in the description of relativistic proton spectra, especially for prompt component. *Subject headings:* acceleration of particles – relativistic solar protons – ground level events – Sun: flares, coronal mass ejections – Sun: solar cosmic rays

### **СПЕЦИФИКА НАБЛЮДЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФОБОСА С СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ.**

В.Г. Мордовская

*ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская область, valen@izmiran.ru.*

Орбиты трех космических аппаратов с комплексами плазменных измерений проходили вблизи Фобоса. «Фобос 2» и «Mars Express» сближались с Фобосом до расстояний меньших 200 км. Но ни с европейского (Mars Express), ни с американского спутника (MGS) сообщений о взаимодействии Фобоса с солнечным ветром, не поступало. В тоже время в ходе миссии «Фобос 2» как на круговой, так и на эллиптической орбите наблюдался ряд явлений, связанных с спутником Марса. В данной работе рассмотрена проблема наблюдения этих эффектов. Показано, что наблюдение плазменных возмущений, связанных с Фобосом, зависят от геометрии эксперимента.

### **МАССОВЫЕ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ЭКЛИПТИЧЕСКОЙ И ЭКСТРА-ЭКЛИПТИЧЕСКОЙ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ ( $R \leq 5 \text{ AE}$ ) ГЕЛИОСФЕРЕ**

К.И. Никольская

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН  
им. Н.В.Пушкова. г. Троицк, Московской обл., knikol@izmiran.troitsk.ru*

В докладе будут представлены результаты анализа вариаций массовых скоростей протонов стационарного солнечного ветра (СВ), проведенного по данным прямых измерений Ulysses/Swoops в течение всего пребывания КА на квази-полярной орбите (1991 - сент. 2008 гг.), и данным, полученным путем дистанционных IPS – наблюдений разных обсерваторий в период 1994 – 1997 гг. Рассматривались изменения скоростей  $V_{\text{СВ}}$  в зависимости от гелиошироты  $\alpha$  в пределах  $0 \pm 80^\circ$ , гелиоцентрических расстояний в пределах  $2.5 R_{\text{SUN}} < r \leq 5 \text{ AE}$  и солнечной активности в течение 1.5 цикла. Наиболее интересный результат наблюдений – четко выявляющаяся обратная связь с солнечной активностью: в эпохи минимумов активности и их окрестностей на всех расстояниях от Солнца вне пояса стримеров наблюдаются только высокоскоростные потоки СВ со стабильными скоростями 700 – 800 км/с, в то время как в пределах пояса стримеров регистрируется преимущественно медленный СВ ( $\leq 500$  км/с). В эпохи активного Солнца в гелиосфере доминируют медленные потоки СВ. Устанавливается однозначная обратная связь скоростей СВ с магнитными полями Солнца: слабые замкнутые магнитные поля ( $< 100$  Гс.) - высокоскоростной СВ со стабильными скоростями 700-800 км/с и наоборот. Основное заключение: магнитные поля Солнца регулируют скорости потоков солнечного ветра путем торможения последних. Будут обсуждены следствия этого вывода и приведены примеры отождествления вариаций скоростей протонов СВ с локальными магнитными образованиями на Солнце.

### **ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СОБЫТИЯ В ПАРАМЕТРАХ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ**

*17-20 февраля 2009 г., ИКИ РАН*

О.С. Яковчук<sup>1</sup>, И.С. Веселовский<sup>1,2</sup>, Н.Г. Макаренко<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

В настоящее время для описания параметров и предсказания состояния космической погоды используют различные индексы. Каждый из них является интерференцией множества физических процессов, различных по пространственной и временной сложности. Индексы имеют различную корреляционную структуру отсчетов и демонстрируют распределения с «тяжелыми хвостами». Для последних, вероятность больших отклонений уменьшается по степенному закону. Исследование событий в «хвостах» таких распределений, которые часто называют «экстремальными» дает важную информацию о физике процессов. В докладе рассматриваются различные определения «экстремальных событий» в контексте наблюдаемых индексов и обсуждаются теоретические и практические проблемы их изучения.

## **СОЛНЕЧНЫЕ КОРОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ (СМЕ) И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ЯВЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ STEREO**

И.М. Черток

*ИЗМИРАН, Троицк*

В реализуемом с конца 2006 г. проекте STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory) два одинаковых космических аппарата выведены на орбиту Земли таким образом, что один из них опережает Землю, а другой отстает. При этом угол между каждым аппаратом и линией Земля-Солнце увеличивается со скоростью  $22,5^\circ$  в год. На обоих аппаратах установлены высококачественные телескопы крайнего УФ диапазона, коронографы, гелиосферные имеджеры, а также приборы для регистрации энергичных частиц и прямых измерений параметров межпланетной плазмы. Это позволяет проводить стереоскопические наблюдения различных структур на Солнце и в межпланетном пространстве, в том числе важнейших с точки зрения космической погоды корональных выбросов (Coronal Mass Ejections) на всем пути их распространения от Солнца до Земли. Проект STEREO является прорывным для многих направлений солнечной и солнечно-земной физики. В докладе представлено краткое описание STEREO и проиллюстрированы некоторые результаты проведенных на его основе исследований, в основном, касающихся СМЕ и связанных с ними явлений. В частности, обсуждаются следующие вопросы: что такое STEREO; 3-мерная реконструкция и определение источника эрупции СМЕ; профиль ускорения СМЕ и вспышечное энерговыделение; прилиббовая вспышка с корональным источником жесткого рентгена; крупномасштабные корональные волны; оценки высоты волокон; СМЕ в межпланетном пространстве (ICMEs); STEREO и космическая погода. В заключение указаны основные сайты STEREO.

## **О СТРУКТУРЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МИНИМУМЕ 23 ЦИКЛА**

*17-20 февраля 2009 г., ИКИ РАН*

Т.Е. Вальчук

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В.Пушкова РАН, г.Троицк, Московской обл., valchuk@izmiran.ru*

Классификация типичных проявлений струйных потоков СВ содержит: высокоскоростные потоки (ВСП) СВ из корональных дыр (КД); спорадические выбросы корональной массы (СМЕ) и волокон, рождающиеся в резкой перестройке корональных магнитных полей (МП); вспышечные потоки СВ; медленные потоки СВ над активными областями на Солнце в отсутствие вспышек; т.н. коротирующие (CIR) потоки, возникающие при распространении быстрых потоков в среде медленных потоков. В последнем случае формируется область сжатия на лидирующей границе ВСП. Спорадические и рекуррентные потоки СВ ассоциируются с аналогичными проявлениями солнечной активности (СА). Короткоживущие события СА (вспышки, СМЕ, выбросы волокон) на фоне долгоживущих рекуррентных проявлений (активных областей, устойчивых групп солнечных пятен и КД) в изменчивой среде СВ усложняют диагностику потоков СВ, особенно в фазе роста и максимума СА. Поэтому фаза минимума СА, когда спорадические события редки, позволяет изучить структуру индивидуальных потоков СВ. Вариации потоков СВ в фазе минимума на орбите Земли отражают изменения СА, реализующейся преимущественно в трансформациях магнитных полей на Солнце и остаточных пятен старого цикла вблизи экватора Солнца. Радиально уходящий с расстояния  $10 R_{\text{Sun}}$  СВ с ММП является проявлением открытой магнитосферы Солнца, которая наиболее регулярна в минимуме СА: уплотненный плазменный слой разделяет гелиосферу на две глобальные области (преимущественно положительной и отрицательной полярности). Вариации СВ от одного Кэррингтоновского оборота к последующему в период минимума и оценка фрактальной размерности СВ по методу Хигучи легли в основу оценки струйной структуры потоков по данным КА Wind. Наиболее геоэффективный тип потоков в минимуме – это регион коротирующих потоков. Оценена геомагнитная возмущенность в минимуме 23 цикла и проявления нового 24 цикла до 2008 г. включительно.

**С Е К Ц И Я «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ»****ДИНАМИКА ДИССИПАТИВНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛЬФЕНОВСКИХ ВОЛН  
В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ**

М.В. Медведев,

*University of Kansas, 1251 Wescoe Hall Drive, Malott Hall, Room 1082, Lawrence, KS 66045, USA*

Nonlinear Alfvén waves, sometimes observed in the Solar Wind, represent the ponderomotive coupling of Alfvénic magnetic energy to ion-acoustic quasi-modes, which modifies the phase velocity  $v_A$  and caused their wave-front to get steeper. In the warm, collisionless Solar Wind plasma the resonant particle-wave interactions result in relatively rapid (compared to the particle bounce time) formation of quasi-stationary Rotational Discontinuities, which have been the subject of intense satellite observations and theoretical investigations, and whose emergence and dynamics has not been understood for a long time. We have shown that these discontinuities are quasi-stationary wave-form remnants of nonlinearly evolved coherent Alfvén waves. In the long-term asymptotic, however, the resonant particles are trapped in the quasi-stationary Alfvénic discontinuities by mirroring forces giving rise to the nonlinear Landau damping and, ultimately, to a formation of a plateau on the distribution function, so that the linear collisionless damping vanishes. Using virial theorem for trapped particles, we have demonstrated analytically that their effect on the nonlinear dynamics of such discontinuities is highly non-trivial and forces a significant departure of the theory from the conventional paradigm. Considering the strongly compressible MHD (Alfvénic) Solar Wind turbulence as an ensemble of randomly interacting Alfvénic discontinuities and nonlinear waves, we have also shown two different phases of turbulence exist, which are due to the collisionless (Landau) damping and depend on whether it is strong enough to provide an adequate energy sink at all scales and thus to support a steady-state cascade of wave energy.

**СЕРФОТРОННОЕ УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЛОКАЛИЗОВАННЫМИ  
ПАКЕТАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ**

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

*Институт космических исследований РАН, nerokhin@mx.iki.rssi.ru*

Одним из механизмов формирования потоков релятивистских частиц в космической плазме является серфинг зарядов на электромагнитных волнах. Для корректных оценок числа ускоренных частиц, их максимальной энергии и энергетических спектров необходим анализ условий захвата заряженных частиц в режим ускорения и эффективности ускорения при воздействии пакетов электромагнитных волн. Изложены результаты численных расчетов захвата и последующего сильного ускорения зарядов в магнитоактивной плазме при воздействии волнового пакета с плавной огибающей его амплитуды. С учетом интегралов движения задача сведена к анализу нестационарного, нелинейного уравнения второго порядка диссипативного типа для несущей фазы пакета на траектории заряженной частицы. Волновой пакет распространялся поперек достаточно слабого внешнего магнитного поля. Максимальная амплитуда электрического поля в пакете была выше порогового значения, что обеспечивало возможность захвата частиц в режим серфотронного ускорения. В диапазоне благоприятных фаз, который оказался достаточно широким, при реализации черенковского резонанса имеют место захват и последующее сильное релятивистское ускорение зарядов. Набор энергии частицей возрастает с увеличением характерной полуширины волнового пакета. Численные расчеты выявили новое обстоятельство: при достаточно больших начальных значениях компоненты импульса заряда в направлении волнового фронта захват его в режим серфинга может и не реализоваться. Из анализа следует необходимость исследования возможности захвата и последующего ускорения частиц после ряда гирооборотов во внешнем магнитном поле.

**АЛЬФА-ЭФФЕКТ - ИТОГИ ПЕРВЫХ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ**

Д.Д. Соколов<sup>1</sup>, П.Г. Фрик<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГУ, [sokoloff@dds.srcc.msu.su](mailto:sokoloff@dds.srcc.msu.su)

<sup>2</sup> Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, [frick@icmm.ru](mailto:frick@icmm.ru)

Формирование крупномасштабных магнитных полей в космосе обычно обязано совместному действию дифференциального вращения и т.н. альфа-эффекта, который в свою очередь связан с нарушением зеркальной симметрии турбулентности (конвекции) во вращающихся телах. Около полувека подобные модели динамо опирались лишь на теоретические выкладки, поскольку альфа-эффект не поддавался ни непосредственному наблюдению, ни лабораторной регистрации. В самое последнее время ситуация изменилась, так что теперь этот эффект регистрируется как в лабораторных экспериментах, так и наблюдательно. В этот прогресс, достигнутый совместными усилиями мирового научного сообщества, внесла достойный вклад российская наука. В докладе приведен обзор соответствующих результатов.

**ВОЛНЫ И НЕУСТОЙЧИВОСТИ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ: 16-ТИ МОМЕНТНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ**

В.Д. Кузнецов, Н.С. Джалилов

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

Рассмотрены волны и неустойчивости в анизотропной (замагниченной) бесстолкновительной плазме в рамках 16-ти моментных уравнений переноса, учитывающих тепловые потоки. Для случая малых несжимаемых возмущений в однородной среде получено общее дисперсионное уравнение и показано, что наряду с обычными шланговыми модами возникают две дополнительные тепловые моды. При этом свойства самих шланговых мод сильно изменяются. Все волновые моды взаимодействуют между собой. В зависимости от параметров плазмы исследованы области взаимодействия, условия возникновения неустойчивостей, а также условия применимости полученных решений. Применительно к солнечной короне получены численные оценки характеристик волн, удовлетворительно описывающие колебания в магнитных петлях.

**ФОРМИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ И ЛАБОРАТОРНОЙ ПЛАЗМЕ**

А.В. Костров

*ИПФ РАН, Нижний Новгород*

На основании результатов лабораторных экспериментов и анализа радиоизлучения космической плазмы показано, что формирование дискретной структуры частотных спектров обусловлено нерезонансными параметрическими эффектами, а именно – квазипериодической фазовой или частотной модуляцией излучения. Показано, что нестационарность показателя преломления плазмы, приводящая к частотной модуляции излучения, может быть связана с возмущениями внешнего магнитного поля низкочастотными колебаниями, возбуждаемыми одновременно с регистрируемым высокочастотным излучением. Установлено, что дисперсионные эффекты при распространении частотно-модулированных сигналов в плазме могут приводить к формированию «уникальных» динамических спектров. Анализ дискретных динамических спектров радиоизлучения Солнца и Юпитера показывает, что при приеме частотно-модулированных сигналов радиотелескопами, постоянная времени которых превышает период модуляции, динамический спектр может иметь линейчатую («зебра») структуру, соответствующую Фурье-спектру частотно-модулированного сигнала. В работе рассматриваются различные сложные динамические спектры радиоизлучения Солнца и Юпитера.



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

### ТЕОРИЯ НЕТОЧЕЧНЫХ ЧАСТИЦ И МАГНИТНОГО ЗАРЯДА БЕЗ МОНОПОЛЯ. МЕХАНИЗМ «САМОСЖАТИЯ» ПЛОТНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ПЛАЗМЫ И ОБРАЗОВАНИЯ ЗВЁЗД БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

А.И. Лаптухов

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Московская область, laptukhov@izmiran.ru*

Приводятся высказывания лауреатов Нобелевских премий о необходимости новой физической теории. Кратко рассмотрены эксперименты разных групп (Адаменко С.В., Уруцкоева Л.И., Савватимовой И.Б., Кузнецова В.Д и др.), в которых получены данные о протекании ядерных реакций в твёрдотельной плазме при разных видах электрического разряда через неё с напряжением от одного до сотен кВ. В рамках современной теории точечных частиц такие низкоэнергетические реакции в плазме с ионами меди, титана, палладия и др. не объяснимы. Поэтому нужна новая теории реальных (неточечных) частиц. Такая новая теория микромира построена автором [1] только на основе фундаментальных законов сохранения энергии, заряда, импульса и момента импульса и в макромире совпадает с современной теорией точечных частиц, а также с уравнением Шрёдингера. В эту теорию естественным образом входит магнитный заряд неточечных частиц, но нет магнитных монополей, т.к. интегральная величина магнитного заряда любой изолированной частицы или системы частиц всегда равна нулю. Это согласуется с многочисленными, тщательными, но безуспешными попытками обнаружения монополя. Новые магнитные силы магнитного заряда являются короткодействующими и ответственны за то, что электрический заряд неточечных частиц не разлетается из их объёма. Теоретически показана возможность длительного существования ранее неизвестных частиц - элтонов - отрицательно заряженных сгустков плазмы разных (микроскопических) размеров с плотностью частиц  $n \sim 10^{30} \text{ 1/см}^3$  (как у белых карликов). Наблюдаемые в опытах И.Б. Савватимовой многочисленные трассеры с удивительнейшими свойствами, в опытах Уруцкоева и др. "странное" излучение - это элтоны. На основе теории неточечных частиц с учётом магнитных сил магнитного заряда предложен единый простой естественный механизм образования белых карликов из обычных звёзд, физический механизм образования, роста, устойчивости элтонов в твёрдотельной неравновесной плазме и коллективных ядерных реакций в их объёме. Заметим, что удовлетворительной теории образования белых карликов пока не существует; что "самосжатие" плазмы, весьма необходимое С.В. Адаменко для объяснения своих необычных и очень важных экспериментальных результатов, и рост элтонов - это почти одно и то же. Дано также объяснение удивительного (на первый взгляд) отсутствия радиоактивности в продуктах таких "низкоэнергетических" ядерных реакций в сверхплотной плазме.

[1] Лаптухов А.И. Электродинамика и динамика неточечных частиц – новая физика микромира. «Тривант». Москва, 2007, 63 с.

**ГЕНЕРАЦИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ И НИЗКОЧАСТОТНЫХ ТОКОВ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВИСТОВЫХ ВОЛН С ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМОЙ**

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

*ИПФ РАН, Нижний Новгород*

В модельных лабораторных экспериментах, выполненных на большом плазменном стенде «Крот», исследована генерация квазистационарных токов и магнитных полей высокочастотной накачкой свистового диапазона частот. Показано, что в слабостолкновительной плазме при распространении интенсивных свистовых волн возбуждается система соленоидальных токов, охватывающих пучок накачки по азимуту. Генерация нелинейных токов обусловлена дрейфом электронов во внешнем магнитном поле под действием поперечной пондеромоторной силы (силы Миллера). Периодическая модуляция амплитуды высокочастотного пучка приводит к генерации токов на частоте модуляции, которые, в свою очередь, могут излучать низкочастотные волны в окружающую плазму. Продемонстрирована параметрическая генерация низкочастотных волн свистового диапазона пучком накачки, состоящим из двух ВЧ волн с близкими частотами, попутных или встречных, а также амплитудно-модулированной накачкой.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАДАЮЩЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ С УДАРНОЙ ВОЛНОЙ: СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ АНАЛИТИЧЕСКИМ РЕШЕНИЕМ ДЛЯ ИДЕАЛЬНОЙ СРЕДЫ И ЧИСЛЕННЫМИ РАСЧЕТАМИ ДЛЯ ВЯЗКОЙ СРЕДЫ**

А.А. Любич, И.В. Дэспирак

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

Проведено численное моделирование взаимодействия падающей гидродинамической волны с ударной волной для вязкой среды с числом Прандтля  $Pr = 3/4$ . Рассматривались случаи падения звуковой волны со стороны сжатой среды, а также прямой и обратной звуковой волны и энтропийной волны со стороны несжатой среды. На границах области моделирования, включающей ударную волну, задавались граничные условия исходя из аналитических решений соответствующей задачи в идеальной среде, описываемой уравнением Эйлера. Для сравнения использовались два типа решений, которые дают разные граничные условия. Одно из них учитывает динамический и кинематический эффекты, связанные с колебаниями поверхности ударной волны, а второе – только кинематический эффект. Эти решения по-разному описывают результат взаимодействия падающих волновых возмущений солнечного ветра с лобовой ударной волной и дают разные условия, при которых возможно спонтанное излучение волн ударной волной. В результате численного моделирования определялась амплитуда колебаний центра ударной волны. Эта величина сравнивалась со значениями, даваемыми аналитическими решениями. Было показано, что результаты численного моделирования в вязкой среде хорошо согласуются с аналитическими решениями в идеальной среде для всех рассматриваемых типов падающих волн. Согласие является одинаково хорошим для аналитических решений, полученных как при учете динамического эффекта, так и без его учета. Сделан вывод о том, что только сравнение полученных решений с экспериментальными результатами позволит определить, какой из двух типов решений является физически корректным.

**С Е К Ц И Я «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ****САМООРГАНИЗАЦИЯ ЯВЛЕНИЙ ПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ СЛУЧАЙНОГО РОСТА**

Д.И. Иудин

*Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород*

В работе рассматриваются результаты численного моделирования динамической перколяции на простой кубической решетке со случайно растущим потенциалом. Предполагается, что рост потенциального рельефа осуществляется в широком диапазоне инкрементов и имеет, следовательно, многомасштабный характер. При этом дисперсия распределения увеличивается не только во времени, но и в пространстве. Потенциальный рельеф в этом случае имеет характер горного ландшафта и может быть промоделирован пространственным распределением, называемым обобщенным броуновским распределением. Для формирования обобщенного броуновского распределения потенциала на простой кубической решетке, мы использовали трехмерный аналог алгоритма Фосса. Рассмотрена ситуация, когда рост потенциального рельефа ограничен некоторым критическим значением разности потенциалов между соседними узлами, по достижении которого происходит пробой – «металлизация» связи. Предполагается, далее, что на следующем шаге модельного времени возникший пробой может инициировать пробой соседних связей решетки (инфицировать соседей), если приложенная к ним разность потенциалов превышает некоторый фиксированный уровень - уровень активации, значение которого меньше критического. При этом разыгрывается стохастический процесс фрактальной «металлизации» среды, обладающий универсальными скейлинговыми свойствами, типичными для критической кинетики сильно неравновесных систем. Рассмотрены явления переноса на возникающих проводящих структурах. Исследована возможность векторной перколяции, когда при передаче возбуждения дополнительно требуется сохранение знака перепада потенциала.

**МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ СИГНАЛАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**Н.А. Арманд<sup>1</sup>, А.И. Ефимов<sup>1</sup>, Л.А. Луканина<sup>1</sup>, В.К. Рудаш<sup>1</sup>, Л.Н. Самознаев<sup>1</sup>, И.В. Чашей<sup>2</sup><sup>1</sup> *Фрязинский филиал Учреждения РАН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*<sup>2</sup> *Филиал Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН Учреждения РАН Физического Института им. П.Н.Лебедева РАН*

Осуществление многочисленных экспериментов радиозондирования околосолнечной плазмы радиоволнами метрового, дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов позволило получить данные об уровне флуктуаций сигналов в широком интервале расстояний от Солнца до радиолинии  $R$  и различных фазах цикла солнечной активности. Показано, что радиальная зависимость индекса мерцаний  $m(R)$  может быть аппроксимирована степенной зависимостью с показателем степени  $\alpha$ , который уменьшается по мере удаления от Солнца. Для объяснения наблюдаемой зависимости  $m(R)$  была выполнена модификация теоретических соотношений, позволяющих рассчитать индекс мерцаний с использованием новых данных о характеристиках турбулентности околосолнечной плазмы. Показано, что  $m(R)$  определяется радиальными профилями среднеквадратичного значения флуктуаций концентрации плазмы  $\sigma_N(R)$ , показателя трехмерного спектра турбулентности  $p(R)$  и внешнего масштаба турбулентности  $L_0(R)$ . Сравнение расчетных значений  $m(R)$  с наблюдаемыми из данных радиозондирования позволило прийти к следующим выводам. При гелиоцентрических расстояниях менее 10 солнечных радиусов  $R_S$  показатель  $\alpha$  имеет значение  $1.84 \pm 0.13$  и определяется величинами  $\sigma_N$  и  $L_0$ . При  $R = (10 \dots 70)R_S$  показатель  $\alpha = 1.77 \pm 0.15$ . Наблюдаемое уменьшение  $\alpha$  с ростом  $R$  обусловлено изменением с расстоянием внешнего масштаба турбулентности. В области установившегося течения на дистанциях более  $100R_S$ , где показатель  $p$  и внешний масштаб турбулентности не зависят от  $R$ , значение  $\alpha$  уменьшается до  $1.5 \pm 0.6$ . Анализ экспериментальных данных позволил разработать модифицированную модель турбулентности солнечного ветра, которая в отличие от существующих моделей учитывает изменение внешнего масштаба турбулентности с расстоянием по закону близкому к линейной зависимости.

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПЛАЗМЫ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА «ИНТЕРБОЛ»**

*Л.В. Козак<sup>1</sup>, С.П. Савин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, физический факультет, Украина*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований Российской Академии Наук, Москва, Россия*

Проведено исследование статистических особенностей флуктуаций магнитного поля в разных областях магнитосферы Земли и плазмы солнечного ветра на различных временных масштабах по данным спутника Интербол для входа в магнитосферу 23 июня 1998 года. Изучались изменения формы и параметров функции плотности вероятности распределения величин для периодов нахождения спутника в пограничных областях магнитосферы. В качестве характеристики эволюции на разных временных шкалах исследовались изменения высоты максимума функции плотности вероятности и ее отклонение от нормального распределения (kurtosis). Было найдено два асимптотических режима для плотности вероятности, которые характеризуются разными степенными законами. Кроме того, для анализа характера турбулентных процессов были исследованы структурные функции разных порядков и проведено сравнение полученных результатов с лог-Пуассоновской каскадной моделью и моделью Ирошникова-Крейчнана.

**СУББУРЕВАЯ И БУРЕВАЯ АКТИВНОСТЬ МАГНИТОСФЕРЫ КАК ОТКЛИК НА СТОХАСТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА**

*Б.В. Козелов*

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН*

Одной из до сих пор актуальных задач является поиск связи между характеристиками солнечного ветра и откликом магнитосферно-ионосферной системы. Известно, что эта связь нелинейная, кроме того, структура солнечного ветра также весьма сложна, что ограничивает возможности построения прогностических моделей. Развитие численных методов анализа временных рядов даёт новые подходы к решению этой задачи. Недавно было показано, что флуктуации глобальных характеристик в ряде лавинных (модели Bak-Tang-Wiesenfeld и Zhang) и турбулентных (2D Navier-Stokes) систем могут быть описаны стохастическими дифференциальными уравнениями с окрашенным шумом в правой части и диффузионным коэффициентом, зависящим от амплитуды флуктуаций. Для приложения к магнитосферной активности необходимо обобщение данного подхода на случай мультифрактального шума. В докладе обсуждаются результаты анализа мультифрактальных характеристик стохастической компоненты временных рядов индексов геомагнитной активности с разрешением 1 мин. и 1 час. и соответствующих параметров солнечного ветра.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ МАГНИТОСФЕРНОЙ И ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ОБЛАСТИ**

И.В. Головчанская, Б.В. Козелов

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН*

Несмотря на большой прогресс в исследовании низкочастотной (ниже гирочастоты протона) плазменной турбулентности на высоких широтах, достигнутый в последнее десятилетие, ряд ключевых вопросов, касающихся её природы, остаётся не выясненным. Индексы спектров мощности и показатели масштабирования турбулентности существенно отличаются по оценкам разных авторов, что не позволяет отождествить её режим. Не сопоставлены характеристики магнитосферной и ионосферной турбулентности (определенной, в частности, по данным телевизионных наблюдений полярных сияний). Не проведено сравнение проявлений турбулентности в электродинамике и в оптике. Обсуждается возможность решения этих и ряда других проблем на основе анализа измерений на низкоорбитальных и высоко-апогейных спутниках с высоким временным разрешением и наземным телевизионным наблюдениям полярных сияний на Кольском полуострове (ПГИ) и в Скандинавии.

**МОДЕЛИ ПЕРЕМЕЖАЕМОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЗЕМНОЙ МАГНИТОСФЕРЕ**

С.Д. Рыбалко, А.В. Артемьев, Л.М. Зеленый

*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

В работе рассматривается модель турбулентных электромагнитных полей, совмещающая два временных процесса с существенно различными статистическими свойствами. В рамках данной модели реализуется перемежаемая турбулентность, а управляющие параметры модели позволяют регулировать степень перемежаемости. Полученные структурные функции  $S_p(\Delta) \sim \Delta^{\zeta_p}$  и зависимости показателей  $\zeta_p$  от  $P$  свидетельствуют о наличии перемежаемости и, как следствие, мультифрактальности, построенных моделей. Изучено влияние перемежаемости на процессы ускорения заряженных частиц. Найдены зависимости скорости разогрева плазмы турбулентными полями от степени перемежаемости. Данные результаты могут быть применены для качественного описания процессов ускорения и транспорта частиц в Земной магнитосфере и для сопоставления наблюдаемых характеристик турбулентного поля с модельными данными.

**МАРКОВСКИЙ ПРОГНОЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ МЕТОДАМИ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Н.Г. Макаренко

*ГАО РАН*

Доклад является введением в методы стохастического (Марковского) предсказания экстремальных значений скалярных временных рядов. Современные методы нелинейного прогноза временных рядов методами вложения основаны на концепции низкоразмерного динамического хаоса и корректны для ситуации, когда доля детерминизма в наблюдениях высока. Однако, во многих случаях эти условия не выполняются и приходится использовать стохастические (Марковские) модели. Их основой служит случайная динамическая система (СДС) определенная на компактном множестве интервалов вещественной прямой. Ее траектории, посредством сдвигов, продуцируют бесконечные символические последовательности. При довольно общих предположениях, СДС имеет единственную эргодическую инвариантную меру, которая является средним временем пребывания фазовых точек в каждом из интервалов. Методы символической динамики позволяют оценить эту меру непосредственно из временного ряда. Если эмпирическая мера стационарна и имеет мультифрактальные свойства, можно построить ее модель с помощью сжимающих отображений - Системы Итеративных функций (IFS), с вероятностями. Решением обратной задачи IFS можно вычислить матрицу переходных вероятностей необходимую для Марковского прогноза. В докладе приводятся обобщения подхода и приложения к рядам геофизических индексов.

**МЕТОДЫ ПАТТЕРНОВ ПОРЯДКА В ДИАГНОСТИКЕ И ПРОГНОЗЕ СКАЛЯРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

И.С. Князева, Н.Г. Макаренко

ГАО РАН

Данные о физических процессах в гелиосфере часто представлены в форме скалярных временных рядов. Отсчеты рядов для различных индексов имеют разные шкалы, что существенно усложняет их обработку в рамках одного статистического ансамбля. Кроме того, отсчеты искажены шумами разной природы. Поэтому простые методы спектральной фильтрации трудно использовать. Во многих случаях интересная информация о физическом процессе содержится не в абсолютных значениях отсчетов, а в их отношении взаимного порядка (больше или меньше). Паттерны порядка легко выделяются кодированием рядов с помощью слов конечного алфавита. В такой форме ряды удобно сравнивать и изучать их корреляционную структуру. Более того, указанный метод не чувствителен к ошибкам, которые сохраняют отношение порядка. В докладе рассматриваются техника выделения паттернов порядка, методы синтаксического анализа полученных слов и прогноз таких паттернов. Техника иллюстрируется на примере рядов некоторых геофизических индексов.

**СУПЕРДИФфуЗИЯ НА ГРАНИЦЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ:  
СРАВНЕНИЕ С КРАЕВОЙ ПЛАЗМОЙ ТОКАМАКОВ**

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

<sup>1</sup> ИКИ РАН, Москва, [ssavin@iki.rssi.ru](mailto:ssavin@iki.rssi.ru)

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

Сравнение статистических свойств турбулентности в магнитосферных погранслоях по данным спутников «Интербол-1», «Кластер» и «Геотейл» по отношению к краевой плазме термоядерных установок продемонстрировало однотипный характер временных зависимостей структурных функций плазменных флуктуаций и их мультифрактальных спектров. Несмотря на существенную разницу плазменных параметров, пограничная турбулентность в обоих случаях проявляет черты расширенного самоподобия, наряду со свойствами перемежаемого характера процессов переноса, обусловленного аномальным, по сравнению с гауссовским распределением вероятностей, и спорадическими всплесками потока плазмы. В большинстве исследованных случаев турбулентный каскад хорошо описывается лог-Пуассоновской моделью с одномерными диссипативными структурами. Статистический подход позволяет характеризовать наблюдаемые процессы переноса как умеренную супердиффузию с зависимостью среднеквадратичного смещения от времени  $\langle \delta x^2 \rangle \propto \tau^\alpha$  при  $\alpha \approx 1.4 \div 1.87 > 1$ . Степень перемежаемости пограничной турбулентности в обоих случаях также весьма близка.

**С Е К Ц И Я      «ТОКОВЫЕ СЛОИ»      УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ****СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАЦИОНАРНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ PIC-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Д.Б. Коровинский<sup>1</sup>, В.С. Семенов<sup>1</sup>, Н.В. Еркаев<sup>2</sup>, А.В. Дивин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет, [daniil.korovinskiy@gmail.com](mailto:daniil.korovinskiy@gmail.com)

<sup>2</sup> Институт компьютерного моделирования СоРАН

В данной работе к проблеме построения модели магнитного пересоединения в бесстолкновительной плазме применены два подхода, – численный и аналитический. Проведено сравнение стационарной теоретической модели, полученной на базе уравнения Грэда-Шафранова, и результатов численного моделирования методом Particle-in-Cell. Теоретическая модель, построенная в рамках приближения электронной Холл-МГД, и численное моделирование, учитывающее кинетические эффекты, демонстрируют хорошее соответствие. Показано, что полученные решения для электромагнитных и динамических параметров плазмы качественно согласуются; что eHMHD-модель отражает все основные характерные черты холловского пересоединения, в том числе: формирование электронных пучков, огибающих сепаратрисы магнитного поля, и соответствующей квадрупольной структуры этого поля, формирование узкого электронного джета вдоль X -линии, джетов в направлении ускорения протонов и само их ускорение.

**НАГРЕВ ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩИМ ТОКОВЫМ СЛОЕМ: КЛАССИЧЕСКАЯ И АНОМАЛЬНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ**

Б.В. Сомов, А.В. Орешина

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
МГУ им. М.В. Ломоносова*

Моделируется процесс нагрева плазмы в солнечной короне высокотемпературным пересоединяющим токовым слоем. Уравнение теплопроводности решается с учётом классического, аномального и «аномально-классического» потоков тепла. Обсуждается область применимости каждого приближения. На основе полученных распределений температуры в окрестности токового слоя делаются выводы о свойствах мягкого рентгеновского излучения в окрестности токового слоя. Проводится сравнение с наблюдениями.

**ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ИСТОЧНИКОВ ПЛАЗМЫ НА СТРУКТУРУ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ**

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

<sup>1</sup> Полярный геофизический институт РАН, г. Мурманск, Россия

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва, Россия

При помощи основанной на методе макро-частиц численной модели тонкого токового слоя (ТТС) исследован вопрос о влиянии на структуру ТТС анизотропии образующих слой источников плазмы в долях хвоста. Показано, что равновесные симметричные конфигурации ТТС существуют для достаточно большого диапазона значений параметра анизотропии источников, равного отношению тепловой скорости к величине гидродинамической скорости, в частности, при очень слабо анизотропных источниках (с большим значением параметра анизотропии).

**УСТОЙЧИВОСТЬ ТОКОВОГО СЛОЯ: ЛИНЕЙНАЯ И НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ**

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

<sup>1</sup> *Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия, Ante0226@gmail.com*

<sup>2</sup> *Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Физический факультет, МГУ, г. Москва, Россия*

Рассмотрено возникновение и последующее развитие разрывной моды неустойчивости в равновесной конфигурации тонкого токового слоя. Полученные результаты о линейной неустойчивости токового слоя и величины ионных инкрементов. Построенная модель развития неустойчивости вплоть до появления локальных областей, в которых происходит размагничивание электронной компоненты плазмы. Установлен предел дальнейшего развития электронной моды неустойчивости и найдена величина магнитных островов. Исследован процесс последующего развития неустойчивости, поддерживаемой резонансным взаимодействием с ионной компонентой на фоне стабилизирующего эффекта захваченных электронов. Решена задача поиска решения уравнения в периодическом двумерном потенциале, созданном регулярными островами захваченных электронов и свободной энергией ионной компоненты.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСКОРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТОСФЕРЕ МЕРКУРИЯ В ПРОЦЕССЕ МНОГОКРАТНЫХ ДИПОЛЯРИЗАЦИЙ**

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

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

<sup>2</sup> *Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва, Россия,*

<sup>3</sup> *МИФИ, г. Москва, Россия,*

<sup>4</sup> *Физический факультет, МГУ, г. Москва, Россия*

Исследованы процессы ускорения заряженных частиц в магнитосфере Меркурия, которая является малой и сильно зависимой от характеристик натекающего на нее солнечного ветра. Суббуревая активность в магнитосфере Меркурия моделируется с помощью глобальной модели магнитосферы, в которой заданы последовательные возмущения магнитного поля, описывающего процесс диполяризации. Возникающие при этом электрические поля способствуют термализации магнитосферной плазмы. Заряженные частицы трассировались в хвосте магнитосферы с начальными энергиями 100 эВ. Показано, что энергия основной части частиц возрастает до величины порядка 100 кэВ за 2-3 суббуревых цикла, после чего частицы покидают магнитосферу. Энергии, приобретенные ионами, в среднем на 30-40% ниже энергии электронов, что, по-видимому, связано с малостью поперечного размера Меркурия и соответствующей малостью «взлетной полосы» для ионов поперек хвоста магнитосферы, где частицы могли бы набрать энергию, равную электронной, что согласуется с предсказанием, сделанным в работе (Zelenyi et al., J. Geophys. Res., 1990).



**РАВНОВЕСНЫЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В ПЛАЗМЕ С ДВУХТЕМПЕРАТУРНЫМ И КАППА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ ИОНОВ**

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

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

<sup>2</sup> *Физический факультет, МГУ, г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва, Россия*

Построена самосогласованная теория токовых слоев в плазме, где популяция ионов имеет двухтемпературное или каппа-распределение. Квазиadiaбатическое приближение применено для описания ионов, полужидкостное описание – для электронов. Для простейшей модели одномерного токового слоя получены и решены уравнения типа Греда-Шафранова. Показано, что в широкой области параметров системы могут существовать самосогласованные решения, которые зависят от наличия горячих ионов в системе, их температуры и относительной плотности. Так, получены решения с одним или несколькими пиками плотности тока, причем толщины полученных решений могут быть существенно шире по сравнению со случаем однокомпонентной плазмы с максвелловскими функциями распределения. Обсуждается возможность применения модели для описания токовых слоев в магнитосфере Земли, толщины которых значительно больше гирорадиуса ионов, а распределение плазмы носит немаксвелловский характер при больших значениях энергий заряженных частиц в плазме.

**ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ И СТРУКТУРЫ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЯ**

А.Г. Франк

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

Представлен обзор экспериментов по динамике токовых слоев, которые выполнялись на нескольких экспериментальных установках «Токовый слой» в ФИАН'е и ИОФ РАН'е, в 2D магнитных полях с нулевой линией и в различных 3D магнитных конфигурациях. В первых экспериментах (установка ТС-2), было показано, что переход сравнительно редкой плазмы в турбулентное состояние препятствует накоплению магнитной энергии и образованию токового слоя. Увеличение плотности плазмы позволило в значительной мере подавить турбулентность, проследить за процессом формирования слоя и получить нейтральный токовый слой со степенью вытянутости поперечного сечения (отношение ширины слоя к толщине) порядка 5. Протяженные токовые слои со степенью вытянутости 10-12 были затем реализованы при значительном увеличении тока плазмы (установка ТС-3). Показано, что распределение плазмы также приобретает форму плоского слоя. Обнаружена высокая стабильность слоя относительно развития тинг-неустойчивости; как правило, в слое присутствовала нормальная компонента магнитного поля. Специальный выбор начальных условий позволил осуществить разрыв токового слоя, или импульсную фазу магнитного пересоединения, которая сопровождается рядом динамических эффектов, в том числе – ускорением заряженных частиц. При изучении эволюции токовых слоев в 3D магнитных полях (установка ТС-3D) был определен диапазон магнитных конфигураций, в которых возможно формирование слоя, выявлено влияние продольной компоненты магнитного поля (guide field) на основные характеристики слоя. Обнаружено возбуждение в слое токов Холла, определена их структура и их роль в динамике плазмы. Приводятся геометрические размеры установок, основные параметры магнитных полей, токов, концентрации и температуры плазмы в различных экспериментах.

**ПРОБЛЕМА «РАЗРЫВА ТОКА» В БЛИЖНЕЙ ЧАСТИ ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ:**

*17-20 февраля 2009 г., ИКИ РАН*

**НЕЛИНЕЙНАЯ БАЛЛОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ?**

А.П. Кропоткин

*Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва, Россия*

В работах последних лет изучается вопрос о том, какие моды баллонного типа могут согласно линейной теории возбуждаться в ближней к Земле части плазменного слоя в геомагнитном хвосте, и с привлечением мощных программ МГД моделирования выясняется, каков характер их последующей нелинейной эволюции: существует или нет «суббуревая детонация»? Мы обращаем внимание на дополнительный фактор, который может существенно изменить результаты такого анализа, применительно к возмущениям с малым масштабом поперек магнитного поля: в этом случае необходим учет быстрой эволюции конфигурации – ее «диполизации». Однако, возникающий при этом эффект фазового перемешивания несуществен для крупномасштабного возмущения. Применительно к нему подходящей схемой описания оказывается нелинейный срыв равновесия – динамическая бифуркация с задержкой относительно момента прохождения маргинально устойчивого состояния.

**ИОННЫЕ ПУЧКИ В ПОГРАНИЧНОЙ ОБЛАСТИ ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ: ДВА РЕЖИМА НЕАДИАБАТИЧЕСКОГО УСКОРЕНИЯ ИОНОВ В ТОКОВОМ СЛОЕ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА**

Е.Е. Григоренко, Л.М. Зеленый, М.С. Долгоносков

*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия.*

В пограничном плазменном слое (ППС) геомагнитного хвоста часто наблюдаются пучки плазмы ускоренной в токовом слое (ТС) в области магнитной сепаратрисы. Характеристики ионных функций распределений по скоростям наблюдаемых в этих пучках несут информацию о пространственных и временных характеристиках источников их ускорения. Представленные в данной работе наблюдения функций распределения ионов и электронов, измеренных в ППС на различных расстояниях от Земли (от  $-15 R_E$  до  $-220 R_E$ ) спутниками Geotail и Cluster, свидетельствуют о существовании двух различных режимов ускорения плазмы в ТС: в области замкнутых силовых линий магнитного поля с малой  $B_z > 0$  (т.е. сравнительно далеко от дальней X-линии) и непосредственно вблизи X-линии. В первом случае в ППС наблюдаются коллимированные по энергиям ионные пучки ( $\leq 20$  кэВ), движущиеся вдоль силовых линий магнитного поля к Земле даже при наблюдениях на расстояниях до  $-110 R_E$  от Земли. Такие ионные пучки (бимлеты) наблюдаются в ППС, в среднем, не менее 10 мин. Одновременно с ними регистрируются изотропные функции распределения электронов по скоростям (энергии электронов  $< 1$  кэВ). Многоспутниковые измерения Cluster показали, что в некоторых случаях бимлеты имеют малые пространственные масштабы в направлении перпендикулярном магнитному полю ( $< 1 R_E$ ). Перечисленные характеристики указывают на квазистационарное неадиабатическое ускорение ионов, формирующих бимлеты, электрическим полем утро-вечер в пространственно локализованных источниках (резонансах) расположенных в области замкнутых силовых линий магнитного поля в дальнем ТС. Другой режим неадиабатического ускорения ионов, статистически более часто наблюдаемый в активные геомагнитные периоды, осуществляется непосредственно вблизи X-линии, на что указывают анизотропные функции распределения электронов по скоростям. Ускорение вблизи X-линии часто имеет нестационарный характер, что подтверждается высокими энергиями ионов и электронов, наблюдаемых в таких пучках. Переход от одного режима ускорения к другому может быть рассмотрен как слияние локализованных резонансных источников вблизи X-линии и формирование одного более протяженного в пространстве источника. Это предположение подтверждается наблюдениями в ППС трансформаций ионных функций распределения первоначально коллимированных по параллельным скоростям в широкие по параллельным скоростям распределения, сопровождающихся увеличением средней энергии ионов и электронов в пучке.

**ВЛИЯНИЕ БИПОЛЯРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ БИМЛЕТОВ В ГЕОМАГНИТНОМ ХОСТЕ ХВОСТЕ**

М.С. Долгоносов, Л.М. Зеленый

*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

Исследовано влияние биполярного электрического поля на резонансные условия ускорения ионов в токовом слое. Такого рода электрическое поле неизбежно возникает для поддержания квази-нейтральности в токовом слое. Как показывают экспериментальные данные (по данным спутника Cluster) масштабы электрического поля составляют всего несколько сот километров, а амплитуда порядка кТ/е. Нами было показано, что биполярное электрическое поле приводит к смещению резонансных областей  $r$  Земле (или от Земли) в зависимости от параметров токового слоя, что, в свою очередь, ведет к уменьшению (или увеличению) характерной энергии каждого бимлета пропорциональное величине электрического поля. Проведено сравнение аналитически полученных оценок с результатами численного моделирования.

**С Е К Ц И Я      «ТОКОВЫЕ СЛОИ»      С Т Е Н Д О В Ы Е   Д О К Л А Д Ы****ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ ПЛАЗМЫ  
В ТОКОВЫХ СЛОЯХ**

Н.П. Кирий, А.Г. Франк

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, e-mail: kyrie@fpl.gpi.ru*

В работе изучалось тангенциальное ускорение плазмы в токовых слоях – направленное движение энергичных плазменных потоков вдоль поверхности токовых слоев, развивающихся в 2D и 3D магнитных конфигурациях. Эксперименты проводились на установке ТС-3D с помощью методов спектроскопии. Измерялись профили спектральных линий ионов гелия и аргона: He II 468.6 нм, He II 320.3 нм и Ar II 480.6 нм, а также профили линий атомарного гелия: He I 587.6 Å и He I 667.8 нм. Профили спектральных линий гелия регистрировались с помощью программируемой электронно-оптической камеры “NANOGATE 1-UF”, в которой использовалась микроканальная пластина в качестве усилителя яркости и ПЗС матрица. Измерения профилей каждой спектральной линии проводились одновременно в двух направлениях: вдоль электрического тока в плазме (ось  $z$ ) и вдоль большего поперечного размера (ширины) слоя (ось  $x$ ). Было установлено, что полуширины всех спектральных линий, зарегистрированных в  $x$ -направлении, в среднем в 4–5 раз превышают полуширины тех же линий, наблюдавшихся в  $z$ -направлении. Показано, что эти различия связаны с наличием направленного движения плазмы – вытеканием плазмы вдоль ширины токового слоя из центральной области к периферии со скоростями, значительно превышающими тепловые. Определены температура ионов и энергия направленных потоков плазмы, плотность плазмы в разных областях токового слоя и эволюция этих параметров во времени. Изучены зависимости энергии ускоренных плазменных потоков от условий эксперимента, проведен анализ возможных механизмов ускорения. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-02-01409.