



**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

К О Н Ф Е Р Е Н Ц И Я

**«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ
В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»**

14-18 ФЕВРАЛЯ 2011 г., ИКИ РАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

г. Москва

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Секция «Солнце», устные доклады.....</i>	<i>3</i>
<i>Секция «Солнце», стендовые доклады.....</i>	<i>17</i>
<i>Секция «Ионосфера», устные доклады.....</i>	<i>32</i>
<i>Секция «Ионосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>37</i>
<i>Секция «Границы Магнитосферы», устные доклады.....</i>	<i>40</i>
<i>Секция «Границы Магнитосферы», стендовые доклады.....</i>	<i>42</i>
<i>Секция «Солнечный Ветер, Гелиосфера и Солнечно-Земные Связи», устные доклады.....</i>	<i>43</i>
<i>Секция «Солнечный Ветер, Гелиосфера и Солнечно-Земные Связи», стендовые доклады.....</i>	<i>56</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», устные доклады.....</i>	<i>61</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», стендовые доклады.....</i>	<i>66</i>
<i>Секция «Магнитосфера», устные доклады.....</i>	<i>68</i>
<i>Секция «Магнитосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>79</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», устные доклады.....</i>	<i>87</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», стендовые доклады.....</i>	<i>98</i>
<i>Секция «Токовые Слои», устные доклады.....</i>	<i>101</i>
<i>Секция «Токовые Слои», стендовые доклады.....</i>	<i>105</i>

С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТЕКУЩИЙ 24 ЦИКЛ СА: ВСПЫШЕЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ, ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ

В.Н. Ишков

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

Два с небольшим года развития 24 цикла СА позволяют рассмотреть основные характеристики его начальной стадии. На 26 месяц развития сглаженное число Вольфа достигло значения 20 и кривая развития текущего солнечного цикла почти повторяет начальный этап развития 10 (цикл средней величины) и 14 (самый низкий из достоверных солнечных циклов) циклов СА. Запуск солнечной обсерватории SDO позволил с очень высоким пространственным и временным разрешениями начать изучение солнечных вспышек малых, средних (18) и больших (3) баллов в том числе 3 протонных событий, выявить предполагавшиеся связи между вспышками и выбросами солнечных волокон и выявить глобальный характер даже не мощных солнечных вспышечных явлений. Привлечение наблюдательных данных космических обсерваторий STEREO даёт возможность исследовать вспышечные события с разных точек пространства и получать трёхмерную картину развития событий. За исследуемый период удалось исследовать несколько выбросов гигантских волокон и подойти вплотную к выявлению конкретной картины начала развития событий. Исследования корональных дыр по материалам CDO, SOHO и STEREO дало возможность отождествить границы и выявить "ядра" данных объектов, которые, по-видимому, являются ответственными за геоэффективность высокоскоростных потоков с ними связанных. Необходимо отметить, что развитие текущего солнечного цикла пока не привело к заметному восстановлению характеристик высокоскоростных потоков от солнечных корональных дыр, что значительно сказывается на их геоэффективности.

ОСОБЕННОСТИ ЭПОХИ МИНИМУМА 23 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Н.А.Лотова, В.Н.Обридко

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, г. Троицк, nlotova2009@rambler.ru*

Методами радиоастрономии проводится изучение солнечного ветра на небольших расстояниях от Солнца, $R < 70 R_s$, где R_s – радиус Солнца. Используются две модификации метода просвечивания. Эксперименты проводятся на радиотелескопах РАО РАН, г. Пущино: ДКР-1000 и РТ-22. Анализ полученных экспериментальных данных 1987-2009 гг. Основан на привлечении двух новых методов, разработанных авторами. Это – визуализация струйной структуры солнечного ветра по данным о гелиоширотной зависимости звуковой точки солнечного ветра R_{in} и внешней границы трансзвуковой области R_{out} , а также изучение корреляционной диаграммы $R_{in} = F(|B_R|)$, зависимости звуковой точки R_{in} от напряженности магнитного поля в источнике $|B_R|$ на поверхности $R = 2,5 R_s$. Установлено, что в результате необычной, неизвестной ранее эволюции источников солнечного ветра и связанной с ней компонентой медленного солнечного ветра от экваториальных корональных дыр возникло необычное временное уширение эпохи минимума в 23-ем цикле солнечной активности – крупной аномалии среди известных солнечных циклов.

О ФАЗЕ МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ЦИКЛЕ 24

М.Б. Крайнев

Физический институт им П.Н. Лебедева РАН, mkrainev46@mail.ru

Обсуждается поведение характеристик двух основных ветвей (пятнообразовательная и высокоширотная) солнечной активности в минимуме 24-ого солнечного цикла (СЦ; 2007-2010). Проводится сравнение минимума СЦ 24 с минимумами предыдущих количественно изученных циклов (12-23). Обсуждаются возможные причины необычного поведения активности в минимуме СЦ 24.

ОБ ИСТОЧНИКЕ 11-ЛЕТНЕЙ ГАРМОНИКИ В ВАРИАЦИЯХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Г.С. Иванов-Холодный, И.А. Молотков

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

С учетом результатов новых гелиосейсмических исследований, уточнивших параметры конвективной зоны и тахоклина, произведено уточнение теории солнечной активности, пришедшей на смену прежней динамо-теории. Критические замечания по динамо-теории приводятся в ряде публикаций, а в монографиях 2004г. А.А. Солорьеве и Г.А. Киричек "Диффузная теория солнечного магнитного цикла" и 2005г. Н.С. Джалилова и Ю. Штауде "Глобальные колебания Солнца" - их целая система. Одно из существенных замечаний касается того, что из-за отсутствия стабильного источника начала следующего солнечного цикла (СЦ) не может сохраняться стабильность моментов смены СЦ. Между тем, стабильная величина периода солнечной активности около 22 лет наблюдается в течение более сотни лет. Для решения этой проблемы много лет тому назад в работах Л.И. Гудзенко и В.Е. Чертопруды (1966, Астрон. ж. т.43, с.113; Тр. ФИАН, т.90,с.154) было выдвинуто гипотетическое предположение о том, что внутри Солнца существует некий стабильный генератор циклических колебаний, условно названный магнитным кристаллом. Ситуация может измениться коренным образом после проведения спутниковых гелиосейсмических исследований. Уже опубликованы результаты анализа наиболее надежных измерений за 1996-1999 годы и получены первые данные как об отклонениях от сферичности поверхности Солнца, так и о существовании в лучистой и конвективной зонах определенных структур (Aph.J., 2000, v.137, 1026-1038, Дзембовский и др.). При этом не обнаружен "магнитный кристалл". Особо следует подчеркнуть смелый вывод, полученный в данной работе о существовании в лучистой зоне (ЛЗ) не просто одной неоднородности, а целой их серии, расположенной на расстоянии 0,5-1.0 R Солнца. Для объяснения механизма образования наблюдаемой серии неоднородных структур в лучистой зоне предлагается использовать предложенный И.А.Молотковым ("Аналитические методы в теории нелинейных волн", 2003г., Физматлит) механизм образования нелинейных волн в световодах. Можно высказать такую идею, что в структурах из-за повышенной температуры изменяется коэффициент непрозрачности и происходит задержка (или небольшое усиление интенсивности) излучения, что приводит к слабой, но стабильной модуляции величины полного потока излучения Солнца.

АДАПТИВНЫЙ ФИЛЬТР КАЛМАНА ДЛЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Т. Подладчикова¹, Р. Ван дер Линден²

¹ УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», Украина; Королевская обсерватория Бельгии, Брюссель,

² Центр данных влияния Солнца, Королевская обсерватория Бельгии, Брюссель, Бельгия

В данной работе предлагается универсальная техника повышения точности среднесрочных методов прогнозирования солнечной активности, которое ежемесячно обновляется с поступлением новых данных. В основе предлагаемого подхода лежит адаптивный фильтр Калмана, который использует последние 6 среднемесячные наблюдения чисел Вольфа, что составляет шесть месяцев между последним доступным 13-месячным сглаженным числом Вольфа (стартовая точка обновления предсказания) и текущим месяцем. Как правило, последние шесть среднемесячных наблюдений чисел Вольфа практически не используются в алгоритмах предсказания из-за высокого уровня стохастической компоненты, хотя именно они дают существенную информацию об эволюции цикла в будущем. Разработанная процедура фильтрации последних 6 среднемесячных наблюдений чисел Вольфа фильтрует стохастическую компоненту, и таким образом, позволяет учесть динамику солнечной активности на протяжении последних шести месяцев и сдвигает стартовую точку обновления предсказания на шесть месяцев вперед, что обеспечивает повышение точности предсказания для всех методов. Предлагаемая техника тестировалась на трех среднесрочных методах прогнозирования числа Вольфа на 12 месяцев вперед, которые в настоящее время функционируют в реальном времени: Метод Линкольна-Макниша (NGDC), стандартный метод (SIDC, ROB), комбинированный метод (SIDC, ROB). Результаты показали повышение точности прогнозирования для всех трех методов от 5 до 57%. Предлагаемая техника внедрена в реальном времени в Центре анализа данных влияния Солнца в Королевской обсерватории Бельгии (SIDC, ROB). Ежемесячные бюллетени прогнозирования числа Вольфа на год вперед публикуются по адресу <http://sidc.oma.be/products/kalfil/> (прогнозы) и http://sidc.oma.be/sunspot-index-graphics/sidc_graphics.php (графики).

О РОЛИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЦА В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ КОРОНЫ И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

К.И. Никольская и М.А. Могилевский

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

Анализ данных измерений скоростей стационарного солнечного ветра (СВ) в рамках проекта Ulysses/SWOOPS, к настоящему времени завершено, выявил не только зависимость распределения потоков солнечной плазмы в гелиосфере от фаз циклов активности, но также привел к обнаружению четкой обратной связи между скоростями СВ и магнитными полями на поверхности Солнца: быстрый СВ ассоциируется со слабыми магнитными полями, медленный – с сильными. Последнее обстоятельство интерпретируется как свидетельство торможения первоначально высокоскоростных потоков магнитными полями Солнца вплоть до их захвата сильными магнитными структурами, приводящего к возникновению корональных образований. Таким образом, магнитные поля Солнца не только регулируют скорости СВ. Они играют ключевую роль в образовании короны. Этот вывод подтверждается наблюдениями:

*слабые магнитные поля → слабая «холодная» (фоновая) корона + высокоскоростной СВ,
сильные магнитные поля → яркая горячая корона активных областей + медленный СВ.*

ДИНАМИКА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ОБЛАСТЯХ КРОНАЛЬНЫХ ДЫР

Е.Е. Беневоленская, Ю.Д. Полявин

ГАО РАН, benevolenskayae@mail.ru

Мы представляем результаты исследования динамики магнитных полей в областях пониженной плотности короны (корональных дырах) используя данные космических обсерваторий: Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) и Solar Dynamics Observatory (SDO). Магнитные данные представлены в виде компоненты магнитного поля по лучу зрения как для SOHO/MDI (Michelson Doppler imager) так и для SDO/HMI (Helioseismic and Magnetic Imager). Корональные данные в эмиссионных линиях крайнего ультрафиолета (193A, 195A, 284A) хорошо выявляют структуру и эволюцию корональных дыр и позволяют сопоставить их с динамикой магнитного поля на солнечном диске (SOHO/EIT, SDO/AIA). В крупномасштабном магнитном поле корональная дыра, обычно, оказывается либо положительной либо отрицательной полярности, в то время как мелкомасштабное магнитное поле показывает довольно сложную динамику. Мы обсуждаем влияние фильтрации магнитного поля и ее роль в определении динамики мелкомасштабного магнитного поля.

ИЗМЕНЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ В СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

А.Г. Тлатов, В.В. Васильева

Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН

Рассмотрены свойства флоккул и ярких элементов хромосферы, определенных по данным ежедневных наблюдений в линии КIIc за период 1907-1997 гг., в частности распределение углов ориентации ярких площадок. Как правило, геометрическая ось флоккул, расположена под некоторым углом по отношению к солнечному экватору. Это связано с “тильт” углом - углом ориентации магнитной оси биполей, лежащих в основе флоккул, но возможно также обусловлено транспортными процессами в верхней атмосфере Солнца. Как правило, угол ориентации флоккул соответствует, закону Джоя для угла наклона магнитной оси биполей, т.е. ведущие области расположены ближе к экватору, чем хвостовые, но также встречаются области и обратной конфигурации. Показано, что угол наклона флоккул в цикле зависит от амплитуды цикла солнечной активности. Представлена модель формирования наклона активных областей и генерации нового магнитного поля не связанная с альфа-эффектом, а вследствие скручивания магнитных трубок в зоне генерации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТНОЙ СТРУКТУРЫ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОВОЛНОВЫХ РАДИО НАБЛЮДЕНИЙ

В.М. Богод, А.Г. Ступишин, Л.В. Яснoв

*Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, Россия
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.*

Проведен анализ высотной структуры активной области NOAA 10956 по много октавным наблюдениям ее радиоизлучения. Активная область NOAA 10956 состояла из нескольких циклотронных источников поляризованного излучения и радиоисточника над нейтральной линией магнитного поля (NLS). Показано, что использование высокоточных многоволновых наблюдений позволяет определять не только зависимость магнитного поля от высоты, но и соотношение высотных структур излучающей области для всех ее компонентов. Наблюдения проводились на радиотелескопе РТАН-600 в период с 16 по 22 мая 2007г в нескольких азимутах. Применение метода многоволновой стереоскопии позволило измерить и сопоставить высоты различных радиоисточников. Измерены характеристики собственного движения радиоисточников в активной области NOAA 10956 и проведена реконструкция магнитного поля, которая сопоставлена с результатами высотных измерений. Был проведен и анализ изменений положений интенсивности циклотронных радио источников, их правополяризованного и левополяризованного (R и L) излучений для NLS источника. Он показал, что высоты циклотронных радио источников находятся выше NLS источника на величину в среднем около 10 т.км. Обнаружено наличие быстропеременной мелкомасштабной и более стабильной крупномасштабной высотных магнитных структур в активной области и их изменения во времени в течение нескольких дней. Анализируются возможные инструментальные и реальные изменения высотных структур при наличии в активных областях различного типа неоднородностей, токовых слоев и сложной топологии магнитного поля.

НОВАЯ ВЕРСИЯ СОЛНЕЧНОГО СПЕКТРОМАГНИТОГРАФА ИЗМИРАН

Е.А. Руденчик¹, И.Е. Кожеватов²

¹ *Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова, Россия, Московская обл., г. Троицк, Россия.*

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

Описан принцип работы и представлена схема новой версии солнечного спектромагнитографа ИЗМИРАН. Приведены результаты первых измерений. Показано, что ошибка измерения параметров стокса определяется квантовым шумом приемников. вычислена теоретическая оценка точности измерений продольного и поперечного магнитного поля в рамках предположения о справедливости формул Унно. Проведена оценка точности определения поля по повторяемости, которая оказалась близка к теоретической.

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЛАЗМЕ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА РЕСИК/КОРОНАС-Ф

Я. Сильвестер¹, В.Д. Кузнецов²

¹ *ЦКИ ПАН,*

² *ИЗМИРАН, Россия.*

На основе анализа солнечных рентгеновских спектров, полученных с высоким спектральным разрешением в диапазоне 3.3-6.1 Å высокочувствительным спектрометром РЕСИК/КОРОНАС-Ф, определено содержание во вспышечной плазме солнечной короны элементов калия, аргона, хлора, серы, кремния, алюминия. Для анализа наблюдаемых спектров применены программа расчета атомных данных CHIANTI и приближение локального изотермического равновесия. Для 19 вспышек периода 2002-2003 гг. в пяти длинах волн в диапазоне 3.495÷4.220 Å измерена интенсивность континуального излучения и проведено ее сравнение с расчетами по программе CHIANTI.

КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ В РАДИОДИАПАЗОНЕ ПО ЗАТМЕННЫМ И ВНЕЗАТМЕННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В МИНИМУМЕ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

А.Д. Шрамко, С.А. Гусева

*Горная астрономическая станция ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия,
a_shramko@inbox.ru*

Исследование солнечных корональных дыр (КД) является одной из актуальных задач физики Солнца. Известно, что КД являются источниками квазистационарных потоков высокоскоростного солнечного ветра (до 700 км/с у орбиты Земли), удаляющегося от Солнца вдоль разомкнутых силовых линий магнитного поля (МП). КД связываются с солнечными источниками рекуррентных геомагнитных возмущений. В работе для исследования КД Солнца в минимуме 23 цикла активности привлечены данные орбитальной обсерватории SOHO, наземные наблюдения радиотелескопов Кисловодской горной астрономической станции ГАО РАН (ГАС ГАО) и радиогелиографа Nobeyama (Япония). Хотя период 2006-2008 годов характеризовался малым количеством активных областей на диске Солнца, он, тем не менее, благоприятен для изучения малоконтрастных объектов в радиодиапазоне - КД. Исследуется эволюция площадей КД, расположение КД на диске Солнца и особенности их излучения в радиодиапазоне. Представлены результаты наблюдений полного 29.03.2006г. и частного 01.08.2008г. солнечных затмений на радиотелескопах РТ-3 и РТ-2 ГАС ГАО. Из затменных наблюдений отождествлены компактные источники на диске Солнца и вклад КД в интегральный поток радиоизлучения. Обнаружен необычный эффект - повышенное радиоизлучение низкоширотных КД на длине волны 4.9 см, которое может быть обусловлено яркими рентгеновскими точками в КД. При этом полярные КД характеризуются пониженным уровнем радиоизлучения.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРЫ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА И КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР

Д.В. Просовецкий, А.А. Кочанов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, proso@iszf.irk.ru

В докладе представлены результаты исследования характеристик и пространственного распределения температуры, меры эмиссии (ЕМ) и «изотермической» дифференциальной меры эмиссии (ДЕМ) участков спокойного Солнца и корональных дыр по соотношению пар линий FeIX-X $\lambda=171\text{\AA}$ – FeXII $\lambda=195\text{\AA}$ и FeXII $\lambda=195\text{\AA}$ – FeXV $\lambda=284\text{\AA}$, наблюдаемых прибором EIT космической обсерватории SOHO. Эти линии излучаются различными слоями нижней короны спокойного Солнца с температурами от 1 до 2 миллионов кельвинов. Было установлено, что в распределении меры эмиссии по диску Солнца имеются особенности размером от ~1000 до ~50 000 км. Распределение температур по спокойному Солнцу в корональных дырах и на участках спокойного Солнца является гладким и заметно неоднородным становится лишь в активных областях. При сравнении спектра неоднородностей спокойного Солнца и корональных дыр выяснилось, что особенности в корональных дырах являются более крупномасштабными, а их мощность выше. На участках Солнца вне активных областей были обнаружены ленгмюровские каверны, амплитуда флуктуаций которых в 5-10 раз выше амплитуды на соседних участках. Также была установлена анизотропия наблюдаемой меры эмиссии в корональных дырах в зависимости от их гелиодолготы. Амплитуда величины, обратной к

DEM, спокойных областей и корональных дыр оказалась пропорциональна скорости солнечного ветра, связанного с соответствующими областями. В результате сравнения меры эмиссии и температуры, полученных по двум различным парам линий излучения, было установлено, что на высотах формирования ультрафиолетового излучения в корональных дырах наибольшие изменения претерпевает температура, а мера эмиссии практически не меняется. Изменения температуры с высотой на спокойном Солнце были зафиксированы только в мелкомасштабных объектах, связанных с петельными структурами, что указывает на более крупный масштаб изменения параметров плазмы на спокойных участках в отличие от корональных дыр. Более мелкий масштаб неоднородностей на спокойном Солнце указывает, по нашему мнению, на более высокий уровень выделения энергии на этих участках по сравнению с корональными дырами и согласуется с тем, что атмосфера корональных дыр имеет более низкую температуру.

СТРУКТУРА, ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧИХ ПЛАЗМЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ, ОБНАРУЖЕННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ СПИРИТ И ТЕСИС НА СПУТНИКАХ КОРОНАС

**А.М. Урнов¹, С.В.Кузин¹, С.А.Богачев¹, Ф.Ф.Горяев¹, Б.Р.Деннис²,
И.А.Житник¹, А.А.Рева¹, А.А.Соловьев³, С.В.Шестов¹**

¹ *Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН,*

² *Годардский центр космических исследований, Гринбелт, МД, США,*

³ *Главная астрономическая обсерватория, Пулково, С.-Петербург. Россия.*

Изучение структуры, временной динамики и физических характеристик плазменных образований в нижней короне Солнца необходимо для решения многих фундаментальных проблем физики солнечной атмосферы, связанных с нагревом корональных петель, механизмом ускорения солнечного ветра, образования КВМ и вспышек. Монохроматические изображения всего Солнца в рентгеновских и ВУФ линиях многозарядных ионов, полученные в экспериментах СПИРИТ и ТЕСИС на спутниках КОРОНАС-Ф (2001-2005) и КОРОНАС-ФОТОН (2009), соответственно, позволили впервые наблюдать горячие плазменные образования в нижней короне с температурой более 4 МК, характеризующиеся размерами от 6 секунд дуги до 0.3 солнечного радиуса с временем жизни от минут до десятков часов. В докладе представлен краткий обзор основных результатов исследования пространственно-временной динамики потоков коротковолнового излучения и плазменных параметров: распределений меры эмиссии, температуры и плотности, измеренных с помощью разработанных в ФИАНе методов комплексной диагностики. Диагностика плазменных структур была выполнена на основе указанных выше изображений в монохроматических лучах и спектральных данных, полученных одновременно в широкополосных спектральных интервалах на спутниках GOES, RHESSI, SOHO и Yohkoh. Обсуждаются также возможные модели и механизмы образования горячих плазменных структур, обнаруженных в результате наблюдения «импульсных» и «градуальных» вспышечных событий.

О ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ МЕЖДУ КОРОНОЙ И ХРОМОСФЕРОЙ СОЛНЦА

О.В. Птицына, Б.В. Сомов

ГАИШ им. П.К. Штернберга, МГУ, Россия.

Получено равновесное распределение температуры по толще вещества в переходном слое между короной и хромосферой Солнца в предположении, что теплопроводность обусловлена свободными электронами, и в каждой точке распределения имеет место баланс нагрева тепловым потоком и потерь на излучение. Показана устойчивость решения. Для полученного решения найденная дифференциальная мера эмиссии совпадает с реально наблюдаемой. На основе полученных результатов делается вывод, что переходный слой между короной и хромосферой Солнца следует рассматривать в столкновительном приближении. Часть результатов опубликована в статье Птицына О.В., Сомов Б.В., «О классической теплопроводности в переходном слое между короной и хромосферой Солнца», ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2010. №6. С. 95.

ОБНАРУЖЕНИЕ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ 5 МИНУТНОГО ДИАПАЗОНА ВО ВНЕШНЕЙ КОРОНЕ СОЛНЦА

**А.И. Ефимов¹, Л.А. Луканина, Л.Н. Самознаев¹, В.К. Рудаш¹, И.В. Чашей²,
М.К. Берд³, М. Петцольд⁴, Радиофизическая группа проектов MEX, VEX, ROS.**

¹ *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, efimov@ms.ire.rssi.ru*

² *Филиал Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН Физического Института им. П.Н.Лебедева РАН*

³ *Астрономический институт им. Аргеландера Боннского университета*

⁴ *Институт окружающей среды Кёльнского университета.*

В период с 2003 г. по 2005 г. Европейское Космическое Агентство осуществило ряд запусков космических аппаратов к различным объектам Солнечной системы. В 2003 г. на орбиту спутника Марса был выведен аппарат MARS-EXPRESS. В следующем 2004 г. по траектории, ведущей к комете Чурюмова-Герасименко, был отправлен зонд ROSETTA, а в 2005 г. на орбиту спутника Венеры был выведен космический аппарат VENUS-EXPRESS. Эти аппараты оснащены высокоэффективными бортовыми системами (передатчики с высоким уровнем мощности, антенны с большой апертурой). Указанные факторы в сочетании с высокоэффективными наземными комплексами обеспечили существенное (в некоторых случаях более чем на порядок) увеличение потенциала радиолиний по сравнению с аналогичными характеристиками более ранних миссий (ULYSSES, GALILEO и др.). При использовании этих бортовых и наземных комплексов для радиозондирования солнечного ветра была получена качественно новая информация о структуре солнечного ветра и сверхкороны Солнца. В период с 2004 г. по 2009 г. было выполнено 5 крупномасштабных циклов радиозондирования околосолнечной плазмы когерентными сигналами дециметрового и сантиметрового диапазонов волн, излучавшихся космическими аппаратами MARS-EXPRESS, VENUS-EXPRESS и ROSETTA. Впервые во временных спектрах флуктуаций частоты обнаружены квазипериодические компоненты. Выделенная квазипериодическая модуляция присутствует в 20% времени наблюдения и носит спорадический характер. Характерное время жизни квазипериодических возмущений около 30 минут. Средняя частота максимума спектральной плотности

составляет $\nu_{\max} = 5.5$ мГц (период флуктуаций около 3 минут) в области гелиоцентрических расстояний менее 8 радиусов Солнца R_S . На дистанциях, превышающих $10R_S$, средняя частота квазипериодических флуктуаций $\nu_{\max} = 4.3$ мГц (период около 4 минут). Относительная ширина спектральной линии $\Delta\nu/\nu_{\max}$ и превышение спектральной плотности над фоновым значением остаются неизменными на расстояниях от 4 до 40 солнечных радиусов и составляют в среднем 1.0 и 2.9 соответственно. Ответственные за флуктуации частоты квазипериодические флуктуации плотности плазмы во внутреннем солнечном ветре могут быть объяснены распространяющимися от Солнца магнитогидродинамическими волнами, которые, как следует из наших данных, играют важную роль в энергетическом балансе солнечной короны и солнечного ветра.

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ФИЗИКЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Б.В. Сомов

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

Современные космические наблюдения солнца обладают высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Это позволяет наблюдать и исследовать эффект магнитного пересоединения в высокотемпературной замагниченной плазме в солнечной короне и солнечном ветре. Более того, доступны самому всестороннему изучению вторичные эффекты, вызываемые вытекающими из пересоединяющего токового слоя потоками энергии в виде быстрых гидродинамических течений, мощных тепловых волн и ускоренных до высоких энергии заряженных частиц. Важно, что именно эти вторичные эффекты составляют наблюдаемую картину вспышки. Представлен краткий обзор специфических свойств крупномасштабного магнитного пересоединения в больших вспышках на солнце. Рассматривается вопрос об интерпретации современных численных экспериментов по пересоединению во вспышках, в частности, аналитических моделей пересоединения в токовых слоях типа токового слоя сыроватского, но с присоединенными МГД течениями, а также с разрывами токового слоя. Обсуждается проблема эволюционности полученных аналитических решений. Дан краткий обзор новых задач, связанных с наблюдаемыми проявлениями вспышечных потоков энергии в атмосфере солнца.

- [1]. Somov B.V., *Physical Processes In Solar Flares*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1992.
- [2]. Somov B.V., *Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection And Flares*, Springer Science+Business Media, Llc, New York, 2006.

РЕЛАКСАЦИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В УСЛОВИЯХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

А.В. Орешина, Б.В. Сомов

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,
МГУ им. М.В. Ломоносова, avo@sai.msu.ru*

Исследуется процесс переноса тепла из сверх горячего пересоединяющего токового слоя в окружающую слой плазму атмосферы Солнца. Показано, что условия применимости классического описания теплового потока (закона Фурье) в окрестности токового слоя не выполняются. Главное внимание уделяется учёту релаксации теплового потока. Физический смысл её заключается в том, что тепловой поток реагирует на изменение пространственного распределения температуры не мгновенно, как в классическом случае, а с некоторой задержкой. Проведен анализ новых эффектов, связанных с учётом релаксации. Показано, что этот метод устраняет противоречия, возникающие при классическом подходе, и лучше описывает перенос тепла во вспышках.

ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

А.И. Подгорный¹, И.М. Подгорный², Н.С. Мешалкина³

¹*Физический Институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия,
podgorny@fian.fian.ru*

²*Институт Астрономии РАН, Москва, Россия, podgorny@inasan.ru*

³*Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, Иркутск, Россия, nata@iszf.irk.ru*

Первичное энерговыделение солнечной вспышки наблюдается высоко в солнечной короне, где аккумуляция энергии может происходить только в магнитном поле. Трёхмерное МГД моделирование показывает, что токовый слой образуется в результате фокусировки возмущений в окрестности особой линии магнитного поля X-типа. Далее, в ходе квазистационарной эволюции токовый слой переходит в неустойчивое состояние, что приводит к взрывному выделению накопленной энергии. Для моделирования предвспышечной ситуации в солнечной короне над реальной активной областью, все начальные и граничные условия задаются из наблюдений в предвспышечном состоянии. При этом не делается никаких предположений о механизме солнечной вспышки. Выполненное МГД моделирование для активной области АО 10365 в сокращённом масштабе времени (поле на фотосфере изменялось в 10^4 раз быстрее, чем в реальности) показало образование нескольких токовых слоев. Однако, в этом случае появляются сильные возмущения с большими токами, которые могут маскировать токовые слои. Для выполнения МГД моделирования эволюции активной области в реальном времени, необходимо ускорить вычисления путем улучшения численных методов и применения суперкомпьютеров. Сделаны оценки времени расчетов с использования суперкомпьютера, необходимого для улучшения прогноза солнечных вспышек. Моделирование в реальном времени в течение короткого интервала времени показало начало образования токового слоя в результате фокусировки возмущений в окрестности особой линии X-типа. Созданы программы быстрого построения конфигураций магнитного поля в плоскостях, параллельных заданной плоскости и нанесения на изображение положения максимума плотности тока в любой выбранной подобласти. Усовершенствование графической системы позволило представить конфигурацию магнитного поля в трехмерном

пространстве в начале образования токового слоя. Построены изображения линий равной плотности тока и силовых линий магнитного поля. Создана графическая система необходимая для отыскания мест расположения токовых слоев и мест пересечения фотосферы с магнитными силовыми линиями, пересекающими токовый слой, которые, согласно электродинамической модели солнечной вспышки, являются положениями источников жесткого рентгеновского излучения. Эту гипотезу необходимо проверить путем сравнения найденных из графического анализа результатов МГД моделирования предполагаемых мест рентгеновского излучения с положениями источников рентгеновского излучения, полученными из наблюдений.

СВЯЗЬ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ВО ВСПЫШКАХ И ФОРМИРОВАНИЯ БЫСТРЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ

Л.К. Кашапова¹, М.А. Лившиц², И.Ю. Григорьева³, В.Н. Боровик³

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, lk@iszf.irk.ru*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, г. Троицк, Московская обл., Россия,*

³ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург.*

Существует несколько сценариев, которые объясняют связь между жесткими рентгеновскими всплесками и быстрыми корональными выбросами массы (КВМ). Целью данного исследования является выбор наиболее вероятного сценария на основе изучения эволюции количественных и качественных характеристик плазмы в источниках микроволнового и рентгеновского излучения. Материалом для исследования послужило событие 6 июля 2006 года, которое представляло собой вспышку класса M2.4, сопровождавшуюся быстрым корональным выбросом (КВМ) типа гало и формированием мощной аркады. В данном событии предыдущие исследователи выявили синхронность между ускорением КВМ и эволюцией потока ускоренных частиц (рентгеновский диапазон от 30 кэВ). Кроме того, наблюдения, проведенные с помощью CDS/SOHO, показали сложную, очень динамичную и в тоже время тонкую структуру переходной области во время этого события. Мы дополнили имеющуюся информацию наблюдениями в микроволновом диапазоне (РАТАН-600 и RSTN), также провели анализ наблюдение в рентгеновском диапазоне с учетом возможной комплексной структуры источников. Проводится сравнение полученных результатов с моделированием мощных нестационарных процессов на Солнце.

К ДИАГНОСТИКЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК: РЕЖИМЫ И ИСТОЧНИКИ

В.А. Ковалев

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН, г.Троицк, Московской обл., vik91250902@narod.ru*

Анализ данных наблюдений рентгеновского излучения с помощью дифференциального метода позволил выделить характерные интервалы поведения потоков F , температуры T и меры эмиссии EM . Начало вспышки, сопровождаемое возрастанием $N = u_t / u$, является более быстрым по сравнению с экспоненциальным законом. Из представления нагрева в виде $T_t' = T^b$ следует, что возрастанию N соответствует гиперболический режим с «обострением» ($b > 1$). Такой режим может возникнуть в случае сходящихся магнитных стенок. В частности, в ловушке, образованной перетяжками магнитной трубки, за счет механизма Ферми происходит ускорение заряженных частиц и формирование источника нагрева с $b \sim 1.5$. На наличие перетяжек указывают наблюдения мелкомасштабных высокотемпературных структур. Дополнительно освобождается энергия термомагнитных коаксиальных слоев магнитной трубки, сформированных в результате тепловой неустойчивости. В момент максимума $N(T)$ начинается быстрый рост EM , обусловленный взрывным «испарением» хромосферы, вызванным ускоренными частицами, высыпавшимися из ловушки. В результате возрастающего радиационного охлаждения $n^2 L(T)$ нагрев становится медленным, $N(T)$ уменьшается. Спад $u(t)$ состоит из трех интервалов. Сначала быстрый, «коллапсирующий» с усиленной диссипацией ($|N|$ возрастает). Затем медленный с уменьшением $|N|$, указывающий на значительное снижение диссипации, нагрев же еще продолжается. Наконец, заключительная стадия релаксации представляет собой длительный квазиэкспоненциальный охлаждения с $N \approx \text{const}$.

СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИМПУЛЬСНЫХ ВСПЫШКАХ

А.Б. Струминский^{1,2} и И.Н. Шарыкин^{2,1}

¹ *Институт космических исследований РАН, astrum@iki.rssi.ru,*

² *Московский физико-технический институт, г.Москва, Россия/*

Рассматриваются временные профили эффективной температуры вспышечной плазмы, вычисленной по данным GOES, функции нагрева $(dT/dt)/T$ и интенсивности жесткого рентгеновского излучения по данным RHESSI и INTEGRAL в событиях 1 января и 13 сентября 2005, 6 ноября 2010. Это мощные импульсные события, которые характеризовались наличием жесткого рентгеновского предвестника, развитием нетепловых явлений менее 10 мин и последующим экспоненциальным спадом температуры с характерным временем менее 20 мин. Нагрев плазмы определялся ускорением электронов в нескольких эпизодах длительностью около 1 мин, которые различались по месту и механизму энерговыделения. В начале событий наблюдалось энерговыделение в короне (тонкая мишень); далее происходил нагрев как тепловыми потоками сверху из области коронального энерговыделения (тепловой источник), так и снизу из оснований магнитных петель (толстая мишень). В некоторых эпизодах обнаружен явный избыток жесткого рентгеновского излучения по сравнению с наблюдаемым нагревом, что, по-видимому, обусловлено взаимодействием ускоренных электронов в короне и относительно малой энергетикой пучка электронов при большой энергии обрезания.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭРУПЦИЙ – ИСТОЧНИКОВ НЕРЕКУРРЕНТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

И.М. Черток¹, А.В. Белов¹, В.В. Гречнев²

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Московская обл., ichertok@izmiran.ru*

² *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск.*

Как известно, nereкуррентные возмущения космической погоды в виде геомагнитных бурь и Форбуш-понижений потока фоновых космических лучей вызываются солнечными корональными выбросами (coronal mass ejections; CMEs), которые при распространении от Солнца трансформируются в межпланетные транзиенты (ICMEs). Эрупция крупных CMEs на Солнце сопровождается в крайнем ультрафиолетовом диапазоне формированием ярких постэруптивных аркад и темных диммингов (временных депрессий излучения), которые визуализируют крупномасштабные магнитные структуры, вовлеченные в процесс CMEs. По материалам 23-его цикла рассмотрены события, в которых геомагнитные бури с амплитудой $|Dst| > 100$ нТл достаточно надежно отождествлены с их эруптивными источниками в центральной зоне солнечного диска. Установлено, что для таких событий имеет место тесная статистическая связь между количественными параметрами диммингов и аркад, вызываемых CMEs, с одной стороны, и величиной nereкуррентных Форбуш-понижений, амплитудой сильных геомагнитных бурь, а также временем распространения межпланетных возмущений от Солнца до Земли, – с другой. Количественные параметры диммингов и аркад, в частности, их суммарный магнитный поток продольного поля на уровне фотосферы, определялись по данным телескопа крайнего ультрафиолетового диапазона SOHO/EIT в канале 195 Å и магнитограммам SOHO/MDI. Полученные результаты означают, что характеристики сильных nereкуррентных возмущений космической погоды и время распространения межпланетных облаков до Земли в значительной мере определяются измеряемыми параметрами солнечных эрупций и могут оцениваться заблаговременно по наблюдениям диммингов и аркад. В качестве эксперимента такое краткосрочное прогнозирование по данным ультрафиолетовой диагностики солнечных эрупций проводилось в 2010г. в Центре прогнозов космической погоды ИЗМИРАНа и дало положительные результаты.

ОТКЛОНЕНИЕ КОРОНАЛЬНЫХ ЛУЧЕЙ УДАЛЕННЫМИ КОРОНАЛЬНЫМИ ВЫБРОСАМИ: УДАРНАЯ ВОЛНА ИЛИ МАГНИТНОЕ ДАВЛЕНИЕ?

Б.П. Филиппов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Московская обл.

Проанализировано несколько случаев воздействия корональных выбросов на радиальные структуры солнечной короны, удаленные на десятки градусов от видимых границ выбросов. На сериях снимков коронографа SOHO/LASCO C2 процесс выглядит подобно прохождению изгибающей волны вдоль радиального луча. Многие авторы интерпретируют такие наблюдения как проявление ударной волны, возбуждаемой в короне быстрым выбросом. Поскольку такая же картина наблюдается и в случае медленных выбросов, мы искали другое объяснение наблюдаемому эффекту. Предложена модель, в которой искривление радиальных лучей вызывается магнитным полем движущегося магнитного жгута, связанного с выбросом. Данный механизм действует как в случае быстрых (сверхальвовенских) выбросов, так и медленных. Рассчитанные искажения радиальных силовых линий хорошо соответствуют наблюдаемым деформациям корональных лучей.

О ФОРМИРОВАНИИ ИМПУЛЬСНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

М.В. Еселевич¹, В.Г. Еселевич²,

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, mesel@iszf.irk.ru*

² *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, esel@iszf.irk.ru*

Проведен анализ данных наблюдений нижней короны, полученных на инструментах Mk4 и PICS (Mauna Loa Solar Observatory), EUVI (STEREO). Показано, что импульсные СМЕ, в отличие от постепенных, имеют высокие скорости уже очень низко в короне и, возможно, возникают в конвективной зоне. В этом случае они могут вылетать оттуда в виде магнитных трубок, имея скорости до нескольких сот км/с и угловой размер вблизи фотосферы $d_0 < 3^\circ$. В качестве возможного механизма их выброса из конвективной зоны рассматривается неустойчивость медленной волны (неустойчивость Паркера

НАБЛЮДЕНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА ТЕСИС НА СПУТНИКЕ КОРОНАС-ФОТОН

С.А. Богачев, С.В. Кузин, А.С. Ульянов, С.В. Шестов

Физический институт им П.Н.Лебедева РАН, bogachev@sci.lebedev.ru

Корональные выбросы массы (КВМ) – хорошо изученные явления, которые наблюдаются в белом свете при помощи коронографов, устанавливаемых на борту космических аппаратов. В настоящее время в космосе действуют три таких прибора: коронограф LASCO на спутнике SOHO (Европа) и коронографы COR на космических аппаратах STEREO-A и STEREO-B (США). Наблюдения КВМ на SOHO/LASCO доступны, начиная с высоты ~700 тыс. км, а на STEREO/COR – с высоты ~ 300 тыс. км. Более низкие области короны скрыты искусственной луной. В результате, КВМ наблюдаются, начиная с уже достаточно поздних стадий, когда выброс как объект уже полностью сформирован. Именно отсутствие прямых наблюдений КВМ на ранних стадиях, во многом, приводит к неопределенности в вопросе о механизмах выброса, источнике его вещества, а также связи КВМ со вспышками и эрупцией протуберанцев. В ходе эксперимента ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-ФОТОН, благодаря высокой чувствительности рентгеновской оптики (примерно на порядок выше, чем у SOHO и STEREO) и широкому полю зрения (4 солнечных радиуса), были получены изображения короны Солнца в диапазоне высот от 0 до ~ 1-2 млн. км. Это позволило провести наблюдения КВМ (и ряда других типов эруптивных событий), начиная от поверхности Солнца до высот, на которых они становятся видны коронографами белого света. В докладе представлены результаты этих наблюдений.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТОПОЛОГИИ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА, ВСПЫШЕК И КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

Е.В. Иванов

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

Исследованы изменения структуры (топологии) крупномасштабного магнитного поля Солнца (КМПС) в течение 23-го солнечного цикла (1996-2006 гг.) и соответствующие изменения средней скорости корональных выбросов массы (КВМ). Обнаружено, что во второй половине фазы роста, максимуме и первой половине фазы спада 23-го солнечного цикла изменение величины эффективного солнечного мультиполя обратно пропорционально изменению средней скорости КВМ. С ростом характерного размера ячейки КМПС (уменьшением значения эффективного солнечного мультиполя) происходит рост средней скорости КВМ. Поскольку характерные размеры ячейки КМПС определяют характерные размеры комплексов активности (и соответственно размеры корональных арочных структур, объединяющих активные области в единый комплекс активности) средняя скорость КВМ растет с ростом размеров последних. Произведено сопоставление структуры КМПС на 3-х уровнях солнечной атмосферы: на поверхности Солнца и на высотах 1.3R (высоте корональных арочных структур, объединяющих активные области в единый комплекс активности) и 2.5 R Солнца (поверхности источника). Показано, что по крайней мере для наиболее интенсивных КВМ типа гало существенно лучшая концентрация КВМ к нейтральной линии на поверхности источника (основанию гелиосферного токового слоя) наблюдается в том случае, когда

предполагаемое место выброса КВМ происходит не из места соответствующей вспышки на поверхности Солнца, а из вершины арочных структур, связывающих между собой активные области, объединенные в единый комплекс активности ($\sim 1.3R$ Солнца).

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

И.А. Биленко

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

Согласно современным наблюдательным данным существуют различные типы корональных выбросов массы (КВМ). КВМ связанные со вспышечными процессами в активных областях, КВМ связанные с эрупцией волокон, а также КВМ связанные с динамикой корональных петель. Они имеют различные параметры и структуру, и являются следствием различных физических процессов. Рассматривается влияние изменения структуры и напряженности глобального магнитного поля Солнца на формирование различных типов КВМ. Выделены и анализируются как периоды стабильного, устойчивого состояния глобального магнитного поля так и его эволюционные изменения, приводящие к неустойчивости коронального магнитного поля и инициации КВМ различных типов. Показана зависимость параметров КВМ от значения и состояния коронального магнитного поля. Изменения структуры и напряженности глобального магнитного поля определяют характер КВМ, а, следовательно, и космическую погоду на орбите Земли.

С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ДРЕЙФ ПЕРИОДА 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА №23 - КАК ПРЕДВЕСТНИК «ФАЗОВОЙ КАТАСТРОФЫ»

В.И. Козлов, В.В. Козлов

*Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера, СО РАН,
г. Якутск, cosmoprognoz@mail.ru*

Посредством введенного ранее параметра флуктуаций космических лучей исследуется выход на критический режим геоэффективной фазы 11-летнего цикла. В результате, выявлен эффект переполюсовки – нестационарная полугодовая вариация, отражающая переходный нестационарный колебательный процесс смены знака общего магнитного поля Солнца, который определяет максимальную геоэффективность и длительность фазы переполюсовки. Этот переходный колебательный процесс, очевидно, и проявляется в виде известного «провала Гневышева» в солнечных параметрах, космических лучах и в радиоизлучении, определяя тем самым и «квазидвухлетнюю вариацию» в характеристиках солнечной активности. В течение трех 11-летних циклов 21-23 установлена связь огибающей вариаций параметра флуктуаций космических лучей с огибающей вариаций «показателя эффективности солнечного мультиполя» (введенного *Ивановым и др., 1997; Ivanov and Obridko, 2001*). Огибающая вариаций обоих параметров, достигающая максимума на стадии завершения переполюсовки, идентифицируется с огибающей группового солитона. Солитонный же механизм является наиболее эффективным, по сравнению с другими конвективными механизмами «стравливания» избыточной энергии. Причем, стравливания «дискретными» (за цикл) порциями, что присуще автоколебательным режимам регуляции энергии, в данном случае – 11-летней цикличности. Факт обнаружения нами «низкочастотного дрейфа» периода 23 цикла, явился независимым аргументом в пользу гипотезы авторов о существовании инварианта 11-летнего цикла «амплитуда-длительность», его проверяемым следствием (*Козлов и Марков, 2007*). Известно, что затягивание ветви спада должно предшествовать «фазовой катастрофе» 11-летнего цикла (*Ку克林 Г.В., 1982*). Кроме того, по результатам ретроспективного анализа замечено увеличение длительности солнечного цикла перед его долговременным сбоем (*Фрик П.Г., 2005*). В 23 цикле отмечено также нарушение правила «Гневышева-Оля» (амплитуда нечетного цикла оказалась ниже амплитуды предыдущего четного цикла), что случается, как правило, перед длительным сбоем 11-летнего цикла (*Комитов Б.П. и др., 2005*). В итоге, сделан вывод, что в настоящее время, начиная с середины 22 цикла мы уже находимся, как минимум, на стадии неординарного спада солнечной активности, и как максимум - в начальной фазе затяжного сбоя 11-летней цикличности (<http://www.forshock.ru>).

ВЛИЯНИЕ ПЛАНЕТ НА СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ

Ю.С. Копысов¹ и Ю.И. Стожков²

¹ *Институт ядерных исследований РАН kop@akado.ru*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

К настоящему времени во временном ряде солнечных пятен обнаружены спектральные линии и их периоды совпадают с комбинациями периодов вращения внешних планет. Кроме того установлено, что периоды глубоких солнечных минимумов происходили в периоды, когда центр масс солнечной системы находился вне Солнца. Эти два факта приводят к выводу, что гравитационные поля планет влияют на солнечную активность. В настоящей работе рассматривается механизм модуляции солнечной активности гравитационными полями планет. Этот механизм может объяснить вышеперечисленные наблюдательные факты.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ, ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ю.И. Стожков¹ и В.П. Охлопков²

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

² *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, stozhkov@fian.fiandns.mipt.ru*

Анализируется состояние солнечной активности в начальные годы текущего солнечного цикла. Показано, что прогноз о длительном минимуме солнечной активности (новый минимум Маундера или Дальтона), сделанный в 2008 г., оправдывается. Приведены данные о потоках космических лучей в земной атмосфере в 19 – 24 солнечных циклах. С 2006 г. по настоящее время наблюдаются высокие потоки галактических космических лучей. Показано, что наблюдаемые глобальные изменения климата не могут быть вызваны изменениями светимости Солнца или увеличением потока космических лучей. Обсуждается механизм, который может быть ответственен за изменения климата.

ИНДЕКС ФОНОВОЙ АКТИВНОСТИ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА: РЕЗУЛЬТАТЫ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В.Н. Ишков, В.Г. Петров

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

Затянувшийся минимум солнечной активности и запуск космических солнечных обсерваторий с очень большим разрешением фильтрограмм в линиях крайнего ультрафиолета и мягкого рентгеновского излучения позволили сосредоточить внимание на солнечных активных явлениях до вспывшечного уровня (эфемерные активные области, уярчения в оптике, яркие рентгеновские точки). Эти явления связаны между собой одной физической причиной – всплытием новых магнитных потоков малой величины ($10^9 - 10^{12}$ Вб) и скорости всплытия ($10^7 - 10^9$ Вб/сек). Такие субвспывшечные явления, интенсивность, которых в диапазоне мягкого рентгеновского излучения на 1–2 порядка ниже уровня вспышек в своём большинстве сопровождаются выбросом солнечной плазмы

в околосолнечное пространство. Созданная программа подсчёта таких мелких активных образований на полном видимом диске Солнца в линиях крайнего ультрафиолета и мягкого рентгеновского диапазона была применена для всего периода времени фазы минимума 23–24 циклов СА (2005–2010 гг.). Это дало возможность исследовать возможности ежедневного расчёта количества подобных объектов (индекса солнечной фоновой активности) и понять необходимость введения нового индекса солнечной фоновой активности в периоды минимальной вспышечной активности. Такой индекс может быть полезным для задач исследования фоновых характеристик потоков частиц супратермальных энергий, основных параметров внутренней и внешней гелиосферы и т.п.

СООТНОШЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ТЕНИ И ПОЛУТЕНИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ЗА 1874-1976 гг.

Н.Г. Блудова, В.Н. Обридко, О.Г. Бадалян

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

Рассмотрена вариация структуры солнечного пятна, то есть изменение со временем относительной доли тени внутри пятна соответственно. Выяснилось, что это отношение имеет вековой тренд с максимумом в 30-х годах XX века. В это же время минимальным оказалось число пятен, не имеющих тени. Дальнейшее исследование показало, что наблюдаемый вековой тренд в основном связан с малыми пятнами, площадью до 200 м.д.п.. Для пятен больше 300 м.д.п. зависимость относительной доли тени пятна от полной площади практически практически исчезает.. Это соответствует значению, выведенному М. Вальдмайером по большим пятнам для отношения радиусов тени и всего пятна 0.42, что дает среднее отношение площадей 0.18.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОСТОВЕРНОГО РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА: ПРИЗНАКИ ПРАВДОПОДОБИЯ ЦИКЛОВ СА

В.Н. Ишков, И.Г. Шибает

ИЗМИРАН, ishkov@izmiran.ru, ishib@izmiran.ru

В продолжение изучения достоверного ряда относительных чисел солнечных пятен и возможного включения в статистику отдельных солнечных циклов из восстановленного ряда, были проведены исследования свойств (статистических и наблюдательных) отдельных 11- и 22-летних циклов СА. Выявлена близость средних для длительности циклов, хотя разброс отличен почти в два раза. Ещё контрастней эта ситуация для длительности ветвей роста, как для средних, так и для дисперсии. По зависимости длительности цикла, ветвей роста и спада от величины максимума цикла для компонент достоверного ряда выявлена отрицательная корреляция между длительности ветви роста и величиной максимума цикла и полное её отсутствие для ветви спада. И, наоборот, для восстановленного ряда выявлена значимая положительная корреляция между длительности ветви спада и величиной максимума цикла. Сделана попытка создать обобщённый портрет достоверного цикла СА с целью получения доказательного описания возможных и невозможных характеристик отдельных солнечных циклов.

НАБЛЮДЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ НА ТЕЛЕСКОПАХ РТ-7,5 МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА И РТ-14 ОБСЕРВАТОРИИ МЕТСАХОВИ (ФИНЛЯНДИЯ)

**В.В. Смирнова¹, В.С. Рыжов², А.В. Жильцов²,
A. Riehoainen³, J. Kallunki^{3,4}**

¹ С.-Петербургский Государственный университет,
vvsvid@rambler.ru, vnag@VN1014.spb.edu

² Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
v_ryzhov@mail.ru, zhilcovave8@mail.ru

³ University of Turku (Finland), alerie@utu.fi

⁴ Aalto University, Metsähovi Radio Observatory (Finland), kallunki@kurp.hut.fi.

Нами была разработана методика совместных наблюдений и мониторинга активных областей и вспышечных событий на радиотелескопах РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана (рабочий диапазон: 93 ГГц и 136 ГГц) и РТ-14 обсерватории Метсахови (Финляндия) (рабочий диапазон 2-150 ГГц) и получены первые наблюдательные результаты. Мы проанализировали данные наблюдений активных областей над пятнами в отсутствии вспышек на частотах 93 и 37 ГГц на предмет поиска длинноволновых (>1 мин.) колебаний плотности потока миллиметрового радиоизлучения посредством вейвлет-анализа. Нами были обнаружены колебания с периодами около 30-50 и 100 минут и дана их предварительная интерпретация в рамках модели «мелкого пятна».

ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДАЕМОЙ И РАСЧЕТНОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ 10956 С ПЕКУЛЯРНЫМ ИСТОЧНИКОМ

В.М. Богод¹, Т.И. Кальтман¹, А.Г. Ступишин², Л.В. Яснов²

¹ Специальная Астрофизическая обсерватория, С.-Петербург, Россия

² С.-Петербургский Государственный университет, С.-Петербург, Россия

В работе проводится анализ спектральной и пространственной структуры активной области 10956, включавшей пекулярный источник и наблюдавшейся 16-21 мая 2007 г. Приводятся результаты стереоскопических измерений высотной структуры магнитного поля в нижней короне Солнца, которые получены на большом числе длин волн (56) с использованием одновременных спектрально-поляризационных наблюдений на РАТАН-600 в диапазоне 6-18 ГГц с частотным разрешением около 1%. Сравнения сканов, полученных на радиотелескопе РАТАН-600 со структурой магнитного поля на фотосфере показывают, что существует мощный неполяризованный источник, расположенный над линией раздела полярностей фотосферного магнитного поля (пекулярный, или NLS источник). По ряду параметров (высокая интенсивность излучения, слабая степень поляризации, размеры источника) этот источник соответствует известным характеристикам пекулярных источников, но при этом имеет показатель степени существенно ниже: $n=3\div4$ вместо обычных $7\div10$. Результаты определения магнитного поля по данным радионаблюдений сравниваются со структурой магнитного поля, восстановленного по экстраполяции фотосферного поля на основе данных, полученных со спутника SOHO (инструмент MDI). Показано, что имеющиеся особенности положений источников АО могут быть связаны с существованием NLS источника и что высоты пятенных (ядерных) источников были больше высоты NLS источника в среднем на 1-2

тыс. км. Исходя из трехмерного реконструированного магнитного поля и упрощенных модельных распределений электронной концентрации и кинетической температуры, рассчитано тепловое магнитотормозное излучение активной области. Такой расчет предоставляет дополнительный способ оценки высоты излучения источников и распределения плотности и температуры. Анализируются возможные причины различий расчетных и наблюдаемых пространственных и спектральных характеристик излучения, связанных с присутствием пекулярного источника, неоднородностями в распределении температуры и концентрации электронов и сложной топологией магнитного поля.

СКОРОСТИ ЭВОЛЮЦИИ НОВОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА

А.А. Головки

Институт солнечно-земной физики СО РАН, golovko@iszf.irk.ru

Процесс выхода нового магнитного потока — наиболее быстро протекающий процесс в эволюции солнечных магнитных полей. Распад и исчезновение магнитного потока в регулярных биполярных активных областях является более медленным процессом. Для быстрых изменений характерны скорости в пределах $3 — 6 \times 10^8$ Вб/с, в то время как для медленных $0.6 — 1.5 \times 10^8$ Вб/с. В тех случаях, когда можно проследить эволюцию биполярной магнитной структуры от рождения до гибели и оценить ее время жизни t и максимальный магнитный поток F , выполняется соотношение $\lg F = A + b \lg t$. Если время измеряется в секундах, и поток — в Вб, $A = 14$ и $b = 1.2$. В работе Zhou et al. (2010), подтверждена справедливость этого соотношения для наиболее мелкомасштабных элементов магнитного потока на основании измерений с помощью магнитографа SOT/NFI Hinode. В сложных активных областях, где входят в контакт области противоположных полярностей различных биполярных систем, в зонах контакта происходит быстрое гашение магнитного потока (magnetic cancellation). По данным наблюдений фотосферного магнитного поля активных областей 24-го солнечного цикла в 2009-2010 гг., проведен анализ случаев взаимодействия новых магнитных потоков с существующими структурами, коррелирующего с возникновением очагов вспышечной активности.

- [1]. Головки А.А. Соотношение между максимальным магнитным потоком и временем жизни солнечных активных областей. - *Астрономический журнал*, 1998, Т. 75, №4, С. 618-625.
- [2]. Zhou G.P., Wang J.X., Lin C.L. Solar Intranetwork Magnetic Elements: Evolution and Lifetime. - *Solar Physics*, 2010, V. 267, P. 63-73.

КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПЯТНАХ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

**В.Е. Абрамов-Максимов¹, Г.Б. Гельфрейх¹, Н.И. Кобанов²,
С.А. Чупин², К. Шибасаки³**

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург, Россия, beam@gao.spb.ru

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

³ Nobeyama Solar Radio Observatory, Minamisaku, Nagano, Japan.

Представлены результаты исследования короткопериодических колебательных процессов в солнечных пятнах по одновременным наблюдениям в оптическом и радио диапазонах. Сопоставлены колебания микроволнового излучения на частоте 17 ГГц по наблюдениям на радиогелиографе Нобейма, генерируемого на высоте переходного слоя и нижней короны, и колебания лучевых скоростей по наблюдениям в линии H α на Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН. Кросс-вейвлет преобразование и вейвлет-когерентность уверенно выделяют общие цуги колебаний. В то же время нестабильный характер колебаний дал возможность выявить похожие детали трёхминутных колебаний, имеющие небольшой сдвиг по времени, в вейвлет-спектрах, полученных из оптических и радио наблюдений. Цуги колебаний микроволнового излучения запаздывают по отношению к цугам колебаний лучевых скоростей. Время задержки, равное 45 сек, интерпретируется как время распространения вверх МГД-волн в магнитном поле пятна. Принимая полученное из оптических наблюдений значение для скорости распространения волны, равное 60 км/сек, мы оцениваем высоту области радиоизлучения в 2700 км.

К ВОПРОСУ О СУЩЕСТВОВАНИИ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА СОЛНЦЕ

А.Г. Тлатов

Кисловодская Горная станция ГАО РАН

Изменения скорости вращения солнечной атмосферы, обнаруживаются различными методами, например, при изучении перемещения трассеров солнечной активности, при доплеровских измерениях скорости, методами гелиосейсмологии. Широтно-временная картина крутильных колебаний может различаться, в зависимости от метода.

Однако, возможно, что при детектировании крутильных колебаний накладываются артефакты, возникающие при обработке данных. Это происходит, поскольку все методы используют усреднение данных вращения в определенном широтном интервале $\Delta\theta$ и интервале времени Δt . При этом при распространении волны активности по широте относительное число элементов на высокоширотной θ_1 и низкоширотной θ_2 границе будет меняться в течение цикла. Следовательно, будет меняться и скорость вращения, приписываемая элементу $\Delta\theta$. При вычитании средних значений скорости за большой интервал времени могут получаться волны вариаций скорости вращений по широте и времени, отождествляемые как волны крутильных колебаний. При доплеровских измерениях неравномерное распределение ярких элементов в ячейке или скорости звука при гелиосейсмологических измерениях также могут приводить к детектированию несуществующих отклонений в измеряемой скорости вращения.

В работе представлены результаты моделирования кажущихся отклонений скорости вращения при типичных распределениях волн активности и зависимости скорости вращения от широты $\omega(\theta)$. При этом выделяются области дрейфа скорости вращения к

экватору на средних и низких широтах, и полярные ветви дрейфа скорости вращения. Результаты моделирования сравниваются с получаемыми картинами крутильных колебаний.

САМООРГАНИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ СТРУКТУР В ВЕРХНИХ СЛОЯХ КОНВЕКТИВНОЙ ЗОНЫ СОЛНЦА

О.В. Чумак

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ
им. М.В. Ломоносова, chumak@sai.msu.ru*

Предложена динамическая модель возникновения и эволюции полей сетки и солнечных активных областей (АО) как процесса диффузной агрегации магнитопотоковых трубок (МПТ) в верхних слоях конвективной зоны Солнца. В явном виде записаны уравнения движения МПТ под действием гидродинамических сил, сил магнитного взаимодействия, и случайной силы. Проведено компьютерное моделирование процессов агрегации МПТ в кластеры разных размеров и сравнение полученных результатов с данными наблюдений. Сравнение осуществлялось путем сопоставления скейлинговых характеристик магнитного поля наблюдаемого в солнечных АО и получаемого в эксперименте. Модель имеет три свободных параметра: N - число МПТ в единице объема, a - радиус поперечного сечения МПТ и d - модуль средней скорости их хаотических перемещений. Варьирование этих параметров приводит к образованию кластеров МПТ разного вида и, соответственно, к разным значениям хаусдорфовой, информационной и корреляционной размерностей результирующего модельного поля АО. Параметры модели подбирались таким образом, чтобы все три фрактальные размерности соответствовали наблюдаемым значениям. На примере АО 10488, возникшей и развившейся в сложную конфигурацию вблизи центрального меридиана, показано, что хорошее количественное соответствие упомянутых скейлинговых показателей наблюдается при следующих параметрах модели. Внутрисеточные поля: $N = 150 \pm 50$; $a = (100 \pm 50)$ км; $d = (3.5 \pm 10)$ км/сек. Поля сетки: $N = 150 \pm 50$; $a = (200 \pm 50)$ км; $d = (3.5 \pm 10)$ км/сек. Поля пятен и активных областей: $N = 150 \pm 50$; $a = (300 \pm 50)$ км; $d = (3.5 \pm 10)$ км/сек. Эти результаты соответствуют данным наблюдений, не противоречат известным ранее теоретическим оценкам, полученным в рамках модели «спагетти» Паркера но дают новую интерпретацию физических процессов эволюции локальных магнитных полей в верхних слоях солнечной конвективной зоны.

СЛОЖНЫЕ ЖГУТЫ ВОЛОКОН В ДИАПАЗОНЕ 180 – 270 МГц В ЯВЛЕНИИ 12 ФЕВРАЛЯ 2010 г.

Г.П. Чернов, В.В. Фомичев, Р.В. Горгуца, А.К. Маркеев, Д.Е. Соболев

ИЗМИРАН, г. Троицк Московской обл., gchernov@izmiran.rssi.ru

В ходе дня 12 февраля 2010 г. спектрограф ИЗМИРАН (25 – 270 МГц) зарегистрировал три больших группы всплесков III типа, и после каждой группы на фоне невысокого континуума появлялась необычная тонкая структура. Согласно данным радиогелиографа Нансэ, источники всех трех групп всплесков располагались в одной активной области 11046 и их излучение сопровождалось всплесками в мягком рентгене (GOES): в 07:21 UT C7.9, в 09:40 UT B9.6 и в 11:25 UT M8.3. После первой группы всплесков наблюдались классические волокна (fiber bursts) в сочетании с обратнотрендевыми волокнами с необычным дугообразным дрейфом. После третьей (самой мощной) группы наблюдались стабильные секундные пульсации и необычные медленнодрейфующие волокна. Мгновенная полоса частот у них на порядок превышала полосу частот классических волокон, а частотный дрейф был в несколько раз меньше. Сложные жгуты волокон (типа fiber bursts) наблюдались в самой слабой группе в интервале 09:40:30 – 09:42:00 UT. Одиночные жгуты волокон многократно описывались ранее. Они представляют собой узкополосные (~ 0.5 МГц) волокна, периодически повторяющиеся в небольшой полосе частот (5–6 МГц) в течение нескольких секунд. В данном явлении мы наблюдаем множество хаотически дрейфующих жгутов, пересекающихся и накладывающихся друг на друга. В полосе частот 185–225 МГц одновременно можно различить до десятка разнообразных жгутов. Кроме того, в отличие от прежних данных, в каждом жгуте волокна не повторяют друг друга, а следуют почти хаотически по частоте и времени. В этой связи необходимо будет существенно пересмотреть применявшиеся ранее модели. Например, одиночный жгут строго периодических волокон связывался с захватом частиц (ускоренных в ударном фронте) в небольшую ловушку между вторым ударным фронтом или передним краем коронального выброса массы (КВМ). Такая модель оправдывалась совпадением появления жгутов с моментом пересечения траекторий ударного фронта и КВМ на диаграмме высота/время. Таким образом, в этой модели необходимо предположить существование множества мелких ударных фронтов за передним краем КВМ. Возможно, что такая турбулентная зона действительно могла находиться в хвосте КВМ, если судить по сильно неоднородной структуре на снимках КВМ, полученным в эксперименте STEREO (STEREO Behind COR2) в 10:24:25 и 12:54:25 UT.

МГД ВОЛНЫ И НАГРЕВ КОРОНЫ

В.Д. Кузнецов, Н.С. Джалилов

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

Для температурно-анизотропной бесстолкновительной плазмы с тепловыми потоками установлено сильное взаимодействие МГД-волн, распространяющихся в направлении против теплового потока. Такие условия реализуются в нижней короне, где волны распространяются вверх из нижних слоев атмосферы, а тепловой поток должен быть направлен вниз от горячей короны. Возникновение неустойчивостей, связанных с взаимодействием волн, рассматривается в качестве механизма нагрева солнечной короны. Приводятся характерные инкременты и масштабы неустойчивых мод для условий нижней короны.

ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В НИЖНЕЙ КОРОНЕ

Д.В. Просовецкий¹, И.Н. Мягкова², А.А. Кочанов¹

¹*Институт Солнечно-Земной физики СО РАН, Иркутск, proso@iszf.irk.ru*

²*НИИ ядерной физики МГУ им. Д.В. Скобелева, Москва*

Сравнительный анализ вариаций скорости потоков солнечного ветра вблизи орбиты Земли и потока ультрафиолетового излучения в линии Fe XII $\lambda=195\text{\AA}$ из корональных дыр позволил нам идентифицировать области в КД, являющиеся источниками быстрой компоненты солнечного ветра в нижней короне. На уровне нижней короны источники не соответствуют деталям хромосферной сетки, ярким корональным точкам, стримерам, которые традиционно указываются в качестве источников потоков частиц, в дальнейшем регистрируемых вблизи Земли. По нашему мнению, мелкомасштабное фотосферное и хромосферное магнитное поле на уровне короны образует крупномасштабные структуры с особенностями в линиях излучения/поглощения, в которых и формируются потоки высокоскоростного ветра, наблюдающиеся вблизи Земли. По данным наблюдений в ультрафиолете и в микроволновом диапазоне длин волн были найдены характеристики плазмы атмосферы Солнца в этих областях.

ДИНАМИКА ПРЕДВСПЫШЕЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПЕКУЛЯРНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ДАННЫМ NORN (17 ГГц)

И.А. Бакунина^{1,2,3}, В.Ф. Мельников^{3,2}

¹*Национальный Исследовательский Университет ГУ ВШЭ, Нижний Новгород*

²*ФГНУ Научно-исследовательский Радиофизический Институт, Нижний Новгород, ³ Главная (Пулковская) Астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург*

В данной работе рассмотрены несколько АО 23-го цикла солнечной активности со сложной магнитной (дельта) конфигурацией, в которых наблюдаются пекулярные (внепятенные или NLS) источники. По данным NoRH (17 ГГц) показано похожее поведение степени круговой поляризации пекулярных источников за несколько часов до вспышки. Отмечается рост степени круговой поляризации, который вызван либо подъёмом потока поляризованного излучения, либо уменьшением потока интенсивности (эффект «потемнения») при неизменном поляризованном потоке.

НАБЛЮДЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРОНАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ В ГЛУБОКОМ МИНИМУМЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

А.С. Кириченко, С.А. Богачев

Физический институт им П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, kirichenko@lebedev.ru

В ходе эксперимента ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-Фотон с марта по май 2009 года были проведены серии длительных наблюдений короны Солнца в диапазоне температур выше 5 МК. Период наблюдений соответствовал состоянию глубокого минимума солнечной активности: за 3 месяца на Солнце не произошло ни одной вспышки рентгеновского класса C и выше; кроме того, по данным каталога NOAA, было зарегистрировано только 5 активных областей с пятнами. В этих условиях нами было обнаружено несколько десятков событий нагрева плазмы до температур выше 5 МК продолжительностью от нескольких минут до нескольких часов и даже суток. Некоторые быстрые события могут быть интерпретированы как микровспышки; в большинстве же случаев речь идет о длительном энерговыделении. Фактически, высокотемпературная компонента была зарегистрирована нами в излучении почти всех (четырех из пяти) наблюдавшихся активных областей, а также в большом количестве ярких точек. Наблюдения проводились на монохроматическом изображающем спектрогелиометре в линии MgXII 8.42 Å, входившем в состав научной аппаратуры ТЕСИС. Данный прибор, в принципе, не чувствителен к излучению плазмы с температурой ниже 4-5 МК и по этой причине является очень достоверным источником данных о высокотемпературных процессах в короне. Для ряда событий, путем сравнения данных в линии MgXII 8.42 Å с одновременными наблюдениями HINODE/XRT и еще одного «высокотемпературного» прибора ТЕСИС – телескопа на длину волны 132 Å, удалось диагностировать точную температуру, до которой происходит нагрев: от 5 до 15 МК в разных событиях. Мы предполагаем, что это первые прямые наблюдения нагрева корональной плазмы от начальной температуры в 1 МК до 10 МК и выше, происходящего в отсутствие крупных активных областей и вспышек, в условиях глубокого минимума активности Солнца. Данные наблюдения, несомненно, могут повлиять на наши представления об интенсивности энерговыделения в слабых магнитных полях и микроструктурах солнечной короны, а также, в целом, о балансе энергии в короне Солнца.

ВЫСОТНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

В.Л. Мерзляков, Л.И. Старкова

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

Проведено исследование положения плоскости поляризации К-короны Солнца по данным полного солнечного затмения 1 августа 2008 года. Обнаруженные области значимого отклонения этой плоскости от тангенциального к лимбу направления указывают на наличие в короне направленных потоков электронов. Такие потоки представляют собой, по-видимому, токи намагничивания в неоднородной по плотности плазме. Из полученных результатов следует, что на высотах $0.29 R_s$ и $\approx 0.8 R_s$ скорость токов максимальна. Максимальные скорости соответствуют электронной температуре более 10^7 К. Отмеченные факты говорят о двух локальных высотных зонах повышенного энерговыделения в солнечной короне.

ОТРАЖЕНИЕ АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН И ТУБУЛИЗАЦИЯ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

Ю.Т. Цап^{1,2}, А.В. Степанов²

¹ НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» МОНУ, Крым, yur@crao.crimea.ua

² Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург

Рассматриваются механизмы генерации корональных альвеновских волн, распространяющихся к Солнцу, что может приводить к нагреву плазмы и ускорению потоков солнечного ветра в результате каскадного процесса, обусловленного нелинейным взаимодействием между модами с противоположно направленными волновыми векторами. На основе ВКБ-приближения получено решение линейного волнового уравнения для стратифицированной изотермической атмосферы, которое хорошо согласуется с полученными ранее результатами. Показано, что альвеновские моды в стратифицированной среде не испытывают непрерывного отражения, когда длина волны сравнима или меньше характерной шкалы высот, а трансформируются в моды промежуточного типа, обладающие свойствами колебаний и бегущих волн. Это предполагает, что отраженные альвеновские моды не могут быть ответственны за реализацию каскадного процесса. Происхождение, направленных к Солнцу альвеновских мод, связывается с параметрическим распадом ($A \rightarrow A' + S$, где S - акустическая волна), предложенным Галеевым и Ораевским (1963).

РАДИОВСПЛЕСКИ II ТИПА И УСКОРЕНИЕ ПРОТОНОВ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

Ю.Т. Цап^{1,2}, Е.А. Исаева¹

¹ НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» МОНУ, Крым, yur@crao.crimea.ua

² Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург

На основе данных мировой сети солнечных радиотелескопов для 78 протонных событий исследована связь между интенсивностью протонов в межпланетном пространстве и радиовсплесками II типа за период с 1989 по 2005 г. На графиках зависимости между интенсивностью протонов разных энергий и скоростью частотного дрейфа метровых-декаметровых радиовсплесков обнаружено два семейства событий. Это предполагает генерацию ударных волн как в области вспышечного энерговыделения, так и на фронтах выбросов корональной массы.

ЖЁСТКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В МОДЕЛИ ТОЛСТОЙ МИШЕНИ С ОБРАТНЫМ ТОКОМ

П.А. Грицык, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ им. П.К. Штернберга, funt@inbox.ru

Характерным для солнечных вспышек является ускорение заряженных частиц до высоких энергий. В большинстве вспышек в значительном количестве ускоряются электроны, которые при распространении вдоль вспышечных петель порождают всплески жёсткого рентгеновского излучения со степенным спектром потока квантов у Земли. В представляемой работе в рамках нетепловой интерпретации жёсткого рентгеновского излучения предлагается модель толстой мишени с обратным током. Аккуратный аналитический подход к решению задачи о нетепловых электронах позволил найти функцию распределения быстрых электронов, на основе которой рассчитаны спектр и поляризация жёсткого рентгеновского излучения. Проведено детальное сравнение предлагаемой модели с классической моделью, не учитывающей эффект обратного тока. Все результаты имеют наглядное графическое представление.

ДИНАМИКА СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОНОВ В МАГНИТНОЙ АРКЕ

Г.Н. Кичигин¹, Л.И. Мирошниченко², В.И. Сидоров^{1,3}, С.А. Язев^{1,3}

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, г.Троицк, Московская обл. Россия.*

³ *Астрономическая обсерватория ИГУ, г. Иркутск, Россия.*

В больших вспышечных событиях 23 июля 2002 г. и 28 октября 2003 г. имеются сходства и различия наблюдательных особенностей в локализации источников жесткого рентгеновского и гамма-излучения в линии 2.223 МэВ, а также в других диапазонах длин волн, которые еще не получили однозначного объяснения. Также сохраняются неясности с механизмами ускорения и формирования спектров энергичных частиц. Поэтому представляется необходимым новый подход в исследованиях, способный объяснить существование как одиночного, так и парного гамма-источника в линии 2.223 МэВ, локализация которого существенно смещена относительно источников в жестком рентгеновском диапазоне. В данной работе рассматриваются закономерности движения солнечных протонов, ускоренных до энергий 1-100 МэВ и захваченных в магнитной арке с током, имеющей в основании магнитную пробку. Учитывается влияние на протоны столкновений, а также электрического поля, направленного по оси арки.

ЖЕСТКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ПЕРИОД С 2001 ПО 2005 Г. ПО ДАННЫМ ИСЗ «КОРОНАС-Ф» (ПРИБОР СОНГ)

А.В. Богомолов, И.Н. Мягкова, В.И. Галкин

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына МГУ
им. М.В.Ломоносова, aabboogg@rambler.ru*

В работе представлены результаты исследования более сотни солнечных вспышек, произошедших в период с августа 2001 г. по конец 2005 г., от которых было зарегистрировано жесткое рентгеновское и гамма-излучение. Измерения проводились с помощью сцинтилляционного спектрометра СОНГ, установленного на борту российской солнечной обсерватории КОРОНАС-Ф. Энергетический диапазон прибора СОНГ составлял от ~50 кэВ до сотен МэВ. В мягком рентгеновском излучении класс исследованных нами вспышек составил от C5.1 до X28, из них 34 класса X, 65 – М-класса и 6 вспышек С-класса (в соответствии с классификацией эксперимента, проводимого на ИСЗ GOES). В работе приведен каталог данных вспышек, в котором рассмотрены временные и спектральные особенности жесткого рентгеновского и гамма-излучения, измеренного во время различных событий, приводится максимальный ток в жестком рентгеновском излучении (>50 кэВ) и гамма-излучении (>500 кэВ). Особое внимание уделено сериям вспышек, связанных с одной и той же областью, таким как вспышки последней декады августа 2002 (АО NOAA 0069), конца мая 2003 (АО NOAA 0365). Проанализирована проблема геоэффективности вспышек, в которых наблюдалось жесткое рентгеновское и гамма-излучение (с учетом их локализации на диске и сопровождающего вспышку коронального выброса массы).

ВРЕМЕННОЙ ПРОФИЛЬ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В НЕЙТРОННОЙ ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ НА ВОДОРОДЕ И СВОЙСТВА ОБЛАСТИ ВСПЫШКИ

Е.В. Троицкая¹, И.В. Архангельская²

¹ *НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына, МГУ им. М.В.Ломоносова,
troi@dec1.sinp.msu.ru*

² *Кафедра Экспериментальной ядерной физики и космофизики НИЯУ «МИФИ»*

По данным наблюдений [1,2] гамма-излучения в ряде линий на спутнике КОРОНАС-Ф аппаратурой АВС-Ф с детектора СОНГ-Д подробно исследовано экстремальное солнечное событие 20 января 2005г. Методом статистического моделирования рассчитаны временные профили гамма-линии 2.223 МэВ, происходящей от захвата вспышечных нейтронов водородом. Расчеты выполнены в предположении двух видов спектра ускоренных во вспышке частиц: бесселевского и степенного и различного содержания нуклида ³He в области ядерных реакций. Для учета распространения первичных ускоренных частиц в магнитной петле применена различная геометрия испускания генерированных ускоренными частицами нейтронов. Для расчетов необходимы также данные по ядерным линиям 4.44 МэВ от ¹²C и от кислорода ¹⁶O. Обсуждается значение выбора модели высотного хода плотности солнечной атмосферы при расчетах. Сравнение результатов моделирования с данными наблюдений гамма-линии 2.223 МэВ, а также с некоторыми более слабыми линиями, такими, как 20.58 МэВ и 0.937 МэВ позволяет

сделать ряд выводов относительно области вспышки и области ядерных реакций, в частности, вывод об увеличенном содержании ^3He в процессе рассматриваемой вспышки. Помимо моделирования по полному времени наблюдения гамма-излучения проведено исследование по отдельным временным интервалам, что позволило выявить изменение спектра частиц со временем.

- [1]. Arkhangelskaja I.V., Kotov Yu.D., Arkhangelsky A.I., Glyanenko A.S. // Adv. Space Res. 2009. V. 43. №4. P. 542-546. (2) Arkhangelskaja I.V., A.I. Arkhangelsky, Yu.D. Kotov, P.A. Kalmykov, A.S. Glyanenko. // Adv. Space Res. 2009. 43(4). P. 589-593.

МЕДЛЕННЫЕ МАГНИТОЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ В ДВУХЛЕНТОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

В.М. Накаряков^{1,2}, И.В. Зимовец³

¹ *Университет Уорика (Англия)*

² *ГАО РАН*

³ *ИКИ РАН, ivanzim@iki.rssi.ru*

Известно, что в некоторых двухленточных солнечных вспышках триггерное возмущение, инициирующее процесс энерговыделения, распространяется преимущественно вдоль оси аркады магнитных петель со скоростью всего несколько десятков км/ч, что значительно ниже характерных альфвеновской и звуковой скоростей. В работе показано, что подобное триггерное возмущение может интерпретироваться как медленные магнитозвуковые волны (ММВ). ММВ могут эффективно распространяться поперек силовых линий магнитного поля – вдоль оси аркады и линии инверсии магнитного поля – посредством эффекта волновода за счет отражения в подножиях петель аркады. Перпендикулярный магнитному полю компонент групповой скорости ММВ составляет десятые доли звуковой скорости, что соответствует наблюдениям. Максимальное значение групповой скорости ММВ увеличивается с ростом отношения звуковой и альфвеновской скоростей. Для широкого диапазона параметров задачи, соответствующих реальности, максимальное значение групповой скорости ММВ соответствует распространению под углами 25-28 градусов к магнитному полю. Обсуждается применение исследуемого эффекта распространения ММВ для объяснения квазипериодических пульсаций жесткого электромагнитного излучения двухленточных вспышек.

МИКРОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ AR 10030, В КОТОРОЙ ВСПЫШКА 15 ИЮЛЯ 2002 (X3.0 GOES) СВЯЗАНА С ВРАЩЕНИЕМ ПЯТЕН

И.Ю. Григорьева, В.Н. Боровик

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, irina19752004@mail.ru*

Рассмотрена эволюция микроволнового излучения активной области AR NOAA 10030, в которой 15 июля 2002г в 19:59 UT произошла вспышка X3.0 GOES. Характерной особенностью этой группы явилось вращение основного пятна и прилегающих к нему мелких пятен против часовой стрелки, расположенных в центральной части АО (данные TRACE, SOHO/MDI) за период с 13 по 17 июля, что отмечено в работе Браун и др. (D.S. Brown et al., Sol. Phys., 2003, 216, pp. 79-108). Авторы связали повышенную вспышечную продуктивность этой группы с вращательными движениями в ней.

Ежедневные микроволновые наблюдения Солнца, выполненные на РАТАН-600 в коротковолновой части см-диапазона, показали некоторые особенности в структуре радиоизлучения этой АО: развитие источника над линией раздела фотосферного магнитного поля, зарегистрированного за 2 дня до вспышки X3.0. Приводится анализ микроволновых характеристик отдельных компонент радиоизлучения активной области AR 10030 в период с 13 по 17 июля 2002г и сопоставление их с данными, полученными в других диапазонах излучения Солнца.

СОЛНЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ I: МАГНИТНЫЕ БУРИ

В.Н. Ишков¹, О.С.Яковчук²

¹ ИЗМИРАН, ishkov@izmiran.ru

² НИИЯФ МГУ, olesya@dec1.sinp.msu.ru

Логика развития исследований солнечных экстремальных событий поставила в повестку дня изучение ситуаций, когда сравнительно слабые (относительно не экстремальные) солнечные вспышечные события вызывают в околоземном космическом пространстве события экстремальной мощности. Из 5 магнитных бурь с $Dst < -300$ нТл только в двух несомненным источником были экстремальные солнечные вспышки. В остальных трех солнечных вспышки были просто больших и даже средних баллов. Примером таких событий являются экстремальные магнитные бури марта 2001, ноября 2003 г. и ноября 2004 года. В этих вспышечных событиях во временных пределах одной вспышки осуществились от двух до четырёх рентгеновских всплесков, породивших серии быстрых корональных выбросов вещества, взаимодействие которых и стало наиболее вероятной причиной экстремальных магнитных бурь. В докладе рассмотрена динамика активных областей, взаимодействие магнитных потоков и роль близлежащих солнечных структур в осуществлении вспышечных событий и преимущественном направлении распространения возмущений от отдельных вспышек. Подобный подход даёт возможность прогноза экстремальных магнитных бурь ещё в период подготовки вспышечных событий.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЛНЫ В ФОТОСФЕРЕ СОЛНЦА. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Г.А. Егоров, В.М. Журавлев

*Лаборатория космических исследований, Ульяновский Государственный университет,
zhvictorm@spacephys.ru*

Волны в атмосфере Солнца являются на сегодняшний день основным источником информации о его внутреннем строении. Методы, позволяющие на основе изучения спектров волновых процессов, наблюдаемых в фотосфере и хромосфере Солнца, строить распределение плотности, температуры и напряженности магнитного поля по глубине, объединены в одну дисциплину, называемую гелиосейсмологией. Основным инструментом гелиосейсмологии является наблюдения и исследования собственных звуковых мод колебаний фотосферы, имеющих характерную частоту около 5 минут. В меньшей степени исследуются волны, имеющие периоды более нескольких часов. Такие волны наблюдаются в виде перемещающихся с различной скоростью контрастных пятен по лимбу Солнца на его изображении в различных спектрах излучения. Эти волны относятся уже к волнам другой природы, нежели звуковые. Исследование этих волн может дать новую дополнительную к стандартным методам гелиосейсмологии информацию. В частности, такие волны порождаются градиентами в меридиональном направлении (с севера на юг) скорости зонального (вдоль экватора) переноса плазмы в фотосфере Солнца, связанном с дифференциальным его вращением. Изучение таких волн возможно с помощью исследования последовательностей изображений Солнца, которые поступают с борта космических аппаратов, таких как SOHO. В настоящей работе представлено описание созданного в Лаборатории космических исследований пакета программ, позволяющего анализировать с помощью цифрового спектрального анализа волны по изображениям Солнца. Пакет программ может применяться для анализа изображений в различных диапазонах излучения, в том числе, магнитограмм Солнца. В докладе представлены и проанализированы первые предварительные результаты обработки магнитограмм Солнца за предыдущий цикл Солнечной активности.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ РЯДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И ИЗОБРАЖЕНИЙ СОЛНЦА И ЗЕМЛИ. НАУЧНЫЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТЫ

**Г.А. Егоров, А.В. Журавлев, В.М. Журавлев, Д.А. Корнилов,
С.В. Летуновский, С.В. Фундаев, И.Ш. Хасанов**

*Лаборатория космических исследований, Ульяновский государственный университет,
zhvictorm@spacephys.ru*

В докладе предлагается описание программного комплекса, разработанного в Лаборатории космических исследований, для изучения волновых процессов в космической плазме и атмосферах Солнца и Земли на основе цифровых рядов данных и цифровых изображений, поступающих с борта космических аппаратов. Излагаются основные направления научных исследований, проводимых с помощью данного комплекса программ и некоторые основные результаты, полученные с его помощью. Кроме научного проекта Лаборатория космических исследований реализует с помощью данного комплекса программ образовательный проект, включающий, в частности, мультимедийный космофизический практикум, разработанный совместно с НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова и методические материалы по физике околоземного космического пространства, подготовленные совместно с Самарским аэрокосмическим университетом им. С.П. Королева. Кроме этого, образовательный проект включает специальные мультимедийные разработки (практикум и пособия) для школьников, позволяющие познакомить школьников с современными методами изучения околоземного космического пространства на основе реальных данных о движении искусственных спутников Земли.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ СПАЙКОВ И ЗЕБРА-СТРУКТУРЫ В КОРОТКОМ РАДИОВСПЛЕСКЕ 29 МАЯ 2003 г.

Г.П. Чернов¹, Р.А. Сыг², Н.С. Мешалкина², У. Йен³, Ч. Тан³, Б. Тан³

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, gchernov@izmiran.rssi.ru*

² *Институт солнечно-земной физики, г. Иркутск,*

³ *Лаборатория солнечной активности Национальной Астрономической Обсерватории Китайской академии наук (NAOC)*

Короткий радиовсплеск 29 мая 2003 г. (02:12:30 – 02:14:30 UT) был связан со вспышкой M1.5 (по классификации GOES) (02:09 – 02:24 UT) в AR 10368. Он наблюдался на спектрополяриметре NAOC (станция Хуайроу, Пекин) в диапазоне частот 5.2 – 7.6 ГГц с разрешением 5 мс и 10 МГц. Положения радиоисточников были получены на ССРТ на 5.7 ГГц и радиогелиографе Nobeyama на 17 ГГц. Конфигурация вспышки содержала две системы петель с общим основанием вблизи N-пятна. Основаниям петель отвечали источники поляризованного излучения на 17 ГГц, к вершинам петель тяготели источники в интенсивности: на частоте 17 ГГц в коротких петлях, и на 5.7 ГГц в системе длинных петель. В обеих системах петель наблюдались субсекундные импульсы излучения. Короткие импульсы на 17 ГГц (с временным разрешением 100 мс) наблюдались в R- поляризованном источнике над N- магнитной полярностью (необыкновенная мода). Положения источников субсекундных импульсов на 5.7 ГГц менялись от импульса к

импульсу, но были связаны с вершинами отдельных петель над нейтральной линией магнитного поля.. Динамические спектры показали, что все излучение состояло из миллисекундных импульсов (спайков) длительностью 5-10 мс в мгновенной полосе 70 – 100 МГц. Они представляли собой сверхтонкую структуру различных всплесков, главным образом, быстро и медленно дрейфующих волокон и различных полос зебра-структуры. Было выделено пять масштабов зебра-структуры. Восемь импульсов наблюдались в узкой полосе приема ССРТ вокруг частоты 5.7 ГГц. Слабое фоновое излучение было слабо поляризованным L знака. Быстрые импульсы (спайки) были умеренно поляризованными R- знака. Появление спайков было связано с формированием двух новых радиоисточников разной поляризации, которые возникли одновременно на картах ССРТ и радиогелиографа Нобейама. Это произошло после всплытия новых магнитных потоков противоположной полярности в ведущем пятне и образования новой магнитной δ - конфигурации. В качестве основного механизма генерации спайков (как первичного излучения) предлагается слияние плазменных волн с вистлерами в пульсирующем режиме взаимодействия вистлеров с ионнозвуковыми волнами. В этом случае естественно можно объяснить появление волокон и спорадических полос зебра-структуры, обнаруживающих частотное расщепление.

С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

М.В. Клименко^{1,2}, В.В. Клименко¹, К.Г. Ратовский³, Л.П. Гончаренко⁴

¹ Западное отделение ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Калининград, Россия, vvk_48@mail.ru,

² Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

³ Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия,

⁴ Обсерватория Хайстек, Массачусетский технологический институт, Вестфорд, Массачусетс, США.

Проведен сравнительный анализ результатов численного моделирования ионосферных эффектов последовательности геомагнитных бурь 9–14 сентября 2005 года, полученных с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), разработанной в Западном Отделении ИЗМИРАН, в трех постановках задачи. В первой постановке задачи изменения таких входных параметров модели, как разность потенциалов через полярные шапки, продольные токи второй зоны и высыпания энергичных частиц задавались зависящими от трехчасового *Kp*-индекса. Во второй постановке задачи в модели ГСМ ТИП блок расчета высыпаний энергичных частиц был изменен согласно современной эмпирической модели высыпаний, в которой энергия и потоки энергии частиц зависят от *Kp*-индекса, и положение зоны высыпаний зависит от геомагнитной активности. Кроме того, в этой постановке задачи вариации разности потенциалов через полярные шапки и продольных токов второй зоны зависят от *AE*-индекса, имеющего минутное разрешение по времени. Также учитывается 30-минутная задержка в развитии продольных токов второй зоны относительно изменений разности потенциалов во время внезапного начала бури. Наконец, в этой постановке задачи учтены эффекты пяти солнечных вспышек, имевших место в рассматриваемый промежуток времени. Третья постановка задачи отличается от предыдущей тем, что 30-минутная задержка в развитии продольных токов второй зоны относительно изменений разности потенциалов учитывается на всех фазах развития геомагнитных бурь. Проведен анализ физических механизмов, ответственных за полученные в модельных расчетах ионосферные эффекты геомагнитных бурь. Проведено сравнение результатов модельных расчетов с данными наблюдений: станций наземного зондирования ионосферы и радаров некогерентного рассеяния. Сделаны выводы относительно полученных результатов модельных расчетов и дано объяснение причин расхождения результатов расчетов и наблюдений. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант №08-05-00274).

МОДЕЛЬ АВРОРАЛЬНЫХ ВЫСЫПАНИЙ: СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ СПУТНИКОВ DMSP F6 И F7

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

ПГИ Кольского научного центра РАН, vorobjev@pgia.ru

Модель авроральных высыпаний создана на основе статистической обработки данных, полученных в результате более 35 000 пересечений спутниками DMSP F6 и F7 авроральной зоны двух полушарий. Для каждого пролета спутника в базу данных, кроме стандартных значений положения границ различных типов высыпаний и характеристик высыпающихся частиц, были внесены сведения о параметрах межпланетной среды, значения индексов магнитной активности и фаза магнитосферного возмущения в период проведения спутниковых измерений. Интерактивная модель авроральных высыпаний (Auroral precipitation model) размещена на страницах ПГИ в Интернете (<http://pgia.ru/lang/ru/webapps/>). Модель позволяет по задаваемому пользователем уровню магнитной активности (AL и Dst индексы) получить: (1) планетарное распределение зон авроральных высыпаний различных типов, (2) картину распределения средних энергий высыпающихся электронов в различных областях и (3) планетарную картину распределения потоков энергии высыпающихся частиц. В качестве уровня магнитной активности в модели используется 5 мин индекс AL и часовой индекс Dst. Пользователем на глобальной картине распределения характеристик высыпаний могут быть нанесены интересующие его станции или пункты наблюдения в соответствующие моменты UT путем задания их географических координат или отметкой «мышью» на картах Google. Глобальное распределение зон электронных высыпаний может быть представлено как в исправленной геомагнитной, так и в географической системе координат. Выполнение исследований финансово поддержано Программой Президиума РАН №4, часть 8 и грантом РФФИ 09-05-00818.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОМАСШТАБНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И КОНВЕКЦИИ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ ПОЛЯРНОЙ ШАПКИ

Р. Ю. Лукьянова^{1,2}, А.Козловский³

¹ *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, renata@aaari.nw.ru*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Университет.*

Расположение европейского радара EISCAT на Шпицбергене (ESR) уникально тем, что в течение суток радар находится вблизи границы полярной шапки (ГПШ), переходя в зависимости от комбинации различных факторов из области открытых силовых линий геомагнитного поля в область замкнутых линий. Измерения ESR в режиме CP2 за период 2000-2008 гг. (всего 1700 часов) позволили собрать большую статистику экспериментальных данных для исследования траекторий и скорости течения плазмы вблизи ГПШ, а также оценить степень смещения границ шапки при изменении направления вектора ММП. В данной работе на основе анализа измерений ESR рассматриваются следующие вопросы: (1) статистическая зависимость меридиональной и зональной скоростей конвекции ионосферной плазмы от параметров ММП; (2) оценка смещения границы полярной шапки в зависимости от величины и знака ВУ ММП и степень влияния этого смещения на зональный дрейф плазмы; (3) связь между ВУ ММП и азимутальной скоростью конвекции в различные часы местного времени. Показано, что в

зависимости зонального дрейфа плазмы от ВУ ММП, а также в смещении ГПШ под действием знака ВУ присутствует явно выраженная утренне-вечерняя асимметрия, обусловленная, вероятно, особенностями крупномасштабной конвекции. Показано, каким образом результаты могут быть использованы при разработке региональной модели ионосферного электрического поля.

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Т.Л. Гуляева и Л.В. Пустовалова

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

В моделях и методах прогноза ионосферных возмущений используются различные источники возмущений космической погоды (солнечный ветер, межпланетное магнитное поле, ММП, индекс авроральной электроструи, АЕ, планетарные геомагнитные индексы A_p , K_p , Dst , и др.). Модель прогноза критической частоты слоя F2 в Москве с заблаговременностью в 24 часа на основе возмущений ММП (Tsayouri and Belehaki, 2006) используется и обновляется в режиме реального времени на сайте ИЗМИРАН (<http://www.izmiran.ru/services/iweather>). Отклонения текущих значений foF2 от медианы сопровождаются вычислением W индекса ионосферной погоды, градуированного от спокойных условий, $W=\pm 1$, до интенсивных бурь, $W=\pm 4$. Методы прогноза изменения высоты максимума в ионосфере менее развиты, что связано как с ограниченными источниками этого параметра, так и с более ограниченным его применением на практике по сравнению с максимальной плотностью электронов. В ИЗМИРАН ранее был разработан метод прогноза изменений критической частоты и высоты максимума ионизации во время ионосферных бурь и суббурь на основе возмущений АЕ индекса (Шашунькина, 1969; Deminova et al., 1998). В докладе предложена модель изменений высоты максимума слоя F2 на основе прогноза критической частоты foF2, что позволяет избежать использование АЕ индекса. Модель представлена аналитическими зависимостями приращений высоты максимума от изменений критической частоты, магнитной широты, сезона (дня в году) и солнечной активности. Модель апробирована по наблюдениям ионозонда в Москве (средние широты) и Соданкюла (авроральная зона), расположенных на расстоянии 1435 км вдоль геомагнитного меридиана 122°Е. Метод пригоден также для прогноза высоты максимума по прогнозу foF2 в режиме "Буря" (Fuller-Rowell et al., 2000) по Международной модели ионосферы, основанном на предыстории геомагнитного A_p индекса. Тем самым показана взаимозаменяемость индексов магнитосферных возмущений (использование индексов A_p или ММП вместо АЕ индекса) в качестве управляющих параметров ионосферной прогностической модели.

ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛА РАДАРА MARSIS ИОНОСФЕРОЙ МАРСА

О.В. Юшкова, В.М. Смирнов

ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, o.v.y@mail.ru

Для исследования диэлектрических характеристик и морфологии грунта Марса на борту аппарата «Mars-Express» установлен длинноволновый радар MARSIS. При радиолокационном зондировании используется ЛЧМ сигнал. Радар работает в 4-х диапазонах, центральные частоты которых 1,8, 3, 4, 5 МГц, ширина спектра сигналов 1 МГц. Задача определения диэлектрической проницаемости и глубины залегания внутренних границ базируется на анализе изменения фазы и амплитуды отраженного от поверхности и внутренних границ спектра сигнала по сравнению с аналогичными параметрами излученного сигнала и, в общем виде, относится к классу некорректно поставленных. При ее решении должен быть учтен вклад всех факторов, вносящих изменения в характеристики излученного сигнала; в том числе, и ионосферы. Нами рассмотрены, какие именно изменения происходят с параметрами спектра сигнала при его прохождении через ионосферу от космического аппарата до поверхности и обратно. Теоретические оценки подтверждены результатами численного моделирования и результатами обработки экспериментальных данных. Разработан метод коррекции влияния ионосферы при решении обратной задачи подповерхностного радиолокационного зондирования.

СТРУКТУРА ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ

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

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

Исследованы слоистые структуры ионосферы Венеры по данным двухчастотного радиопросвечивания. Применение новой методики анализа данных радиопросвечивания позволило изучить тонкую структуру ионосферы в интервале высот от нижней границы до ионопаузы. По результатам обработки данных спутников "Венера-15,-16" с применением новых технологий показана возможность детектирования слоев с малой концентрацией плазмы, появившаяся благодаря теоретическому обоснованию линейной связи вариаций энергетических и неэнергетических параметров двух когерентных радиоволн диапазонов 32 и 8 см и прецизионному определению интенсивности и фазы радиоволн. Корреляция вариаций мощности радиосигнала с вариациями градиента его частоты обеспечивает высокую точность определения физических характеристик ионосферы Венеры. На границах плазменных слоев при резком увеличении градиента электронной концентрации происходит фокусировка радиоволны и ее мощность увеличивается, по экспериментальным данным выявлены многочисленные границы, что свидетельствует о слоистой структуре ионосферы Венеры. Максимальные градиенты электронной концентрации наблюдаются на границах областей нижнего и главного максимумов ионизации, на этих высотах фокусировка может увеличить мощность радиоволны в 4 раза. В нижней части ионосферы протяженностью 20...40 км, расположенной ниже области максимальной ионизации, регулярно формируются периодические структуры с характерным вертикальным масштабом плазменных слоев 4...5 км. Выше области максимальной ионизации дневной ионосферы на высотах 150...180 км обнаружены вариации рефракционного ослабления радиоволн, связанные с

вариациями градиентов электронной концентрации и свидетельствующие о слоистой структуре верхней части ионосферы. Регулярное наблюдение слоистых структур может быть следствием волновой активности в ионосфере Венеры. Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН № VI.15 "Плазменные процессы в Солнечной системе" и гранта РФФИ 10-02-01015-а.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА ЭКВАТОРИАЛЬНУЮ ИОНОСФЕРУ ПО ДАННЫМ СИСТЕМ GPS/ГЛОНАСС

Е.В. Смирнова, В.М. Смирнов

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

В настоящее время навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС успешно используются для определения интегральных параметров ионосферы. Глобальность их наблюдения и достаточно обширный набор наземных пунктов приема навигационных сигналов позволяют проводить наблюдения за ионосферой Земли одновременно в разных регионах земного шара. Такие наблюдения особенно ценны, так как дают возможность проанализировать влияние солнечных вспышек на разные области ионосферы. Большинство наблюдаемых особенностей экваториальной ионосферы связано с геометрией магнитного поля в низких широтах. Магнитное поле в окрестности экватора ориентировано практически параллельно земной поверхности. Различие между географическим и геомагнитным экваторами приводит к разным соотношениям между скоростями образования и переноса плазмы в различных долготных секторах, а также к асимметрии гребней экваториальной аномалии. На основе результатов обработки данных измерений навигационных приемников, расположенных в экваториальной зоне, рассмотрены ионосферные эффекты солнечной вспышки 28 октября 2003 года. Показано, что реакция экваториальной ионосферы отличается от среднеширотной ионосферы южного и северного полушарий. В частности, выявлено наличие периодических флуктуаций. Период флуктуаций составил, с точностью до дискретности выдачи данных, 60 сек. Указанные флуктуации наблюдались на станциях, расположенных в разных часовых поясах, местное время в которых составило UT $\pm$ 4 часа. Значительное изменение электронного содержания наблюдалось в течение нескольких минут, в то время как интенсивность рентгеновского излучения наблюдалась вплоть до 24 часов. Показано что время релаксации ионосферы составило $\tau_p \sim 2$ часа, а скорость изменения полного электронного содержания достигла предвспышечного уровня около 13 часов. Поведение максимума скорости изменения полного электронного содержания в целом соответствует реакции среднеширотной ионосферы, но его значение более чем в 2,5 раза больше. Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОФН РАН «Плазменные процессы в солнечной системе».

РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ СЛОЙ НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ ИОНОСФЕРЫ

Н.С. Ерохин¹, Е.С. Меркулов², М.В. Поверенный²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

² Елецкий государственный университет им. И.А.Булгина

Рассмотрены точные решения линейного уравнения Гельмгольца, описывающие безотражательное прохождение электромагнитной волны через широкий неоднородный слой плазмы с мелкомасштабными структурами ее плотности большой амплитуды. Показано, что плазменный слой может включать достаточно широкие области непрозрачности, а также субслои, в которых возникают всплески волнового поля большой амплитуды. Изменением параметров задачи можно существенно варьировать профиль неоднородности плазмы в слое с включением любого числа различных мелкомасштабных структур, областей непрозрачности и в каждом случае реализуется безотражательное прохождение падающей из вакуума электромагнитной волны через неоднородный плазменный слой. Получены профили пространственного распределения нормированной амплитуды поля электромагнитной волны, эффективной диэлектрической проницаемости плазмы, безразмерного волнового числа и неоднородного распределения плотности плазмы в слое, демонстрирующие большие вариации характеристик волны и плазменного слоя. Причины использования для данных взаимодействий точно решаемых моделей заключаются в наличии мелкомасштабных неоднородностей большой амплитуды. Точно решаемые модели представляют интерес для исследования особенностей взаимодействия электромагнитных волн с неоднородными средами, в частности, возможностей их безотражательного туннелирования через волновые барьеры. Решение и исследование точных моделей важны как для теоретического анализа возможностей туннелирования волн через протяженные, сильно неоднородные слои, так и для практических приложений, в частности, в задачах нагрева плазмы электромагнитным излучением, просветления волновых барьеров, для понимания механизмов выхода излучения от источников, находящихся в плотной плазме в астрофизике. Кроме того такие модели активно используются для исследований по повышению эффективности просветляющих и поглощающих покрытий в радиодиапазоне и разработки тонких радиопрозрачных обтекателей для антенн. Используемая в данной работе методика анализа представляет несомненный интерес также для задач согласования характеристик плазмы и падающей из вакуума электромагнитной волны, позволяющего существенно увеличить эффективность поглощения электромагнитного излучения в слоях плазменных резонансов. Анализ точно решаемых моделей позволит значительно улучшить существующие представления о пространственно-временной динамике электромагнитных полей в неоднородных диэлектрических структурах.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР, НАБЛЮДАЕМЫХ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Н.В. Семенова, А.А. Мочалов, А.Б. Пашин

Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Предсказание существования Ионосферного Альвеновского Резонатора (ИАР) для электромагнитных эмиссий герцового диапазона было основано на особенности высотного распределения ионосферной плазмы. Хотя при теоретических оценках собственных частот ИАР были использованы существенные упрощения, они позволили изучить как основные особенности самого резонатора, так и его влияние на ряд процессов в магнитосферно-ионосферной системе. Обнаружение Спектральных Резонансных Структур (СРС) дает возможность использовать их для диагностики ионосферной плазмы. Такая диагностика требует более точных оценок собственных частот ИАР. Алгоритм расчетов возмущений в герцовом диапазоне на основе полноволнового приближения был разработан и использован для вычисления зависимости коэффициента отражения альвеновской волны от ионосферы. Для анализа соответствия рассчитанных собственных частот ИАР и наблюдаемых СРС в высоких широтах выбрано событие 2 апреля 2004 года, когда радар некогерентного рассеяния в Лонгиере проводил измерения электронной плотности и СРС были отчетливо видны на спектрограммах обс. Баренцбург. Сравнение электронной плотности, измеряемой радаром, с полученной по различным ионосферным моделям подтвердило, что этот параметр может существенно отличаться от измеряемого. Ионный состав в данном эксперименте не определялся и в численных расчетах он задавался по различным ионосферным моделям. Наилучшее соответствие наблюдается при применении в численных расчетах ионного состава, определяемого по модели IRI-2007.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ P_i2 В РАМКАХ ТЕОРИИ АНОМАЛЬНОЙ ДИФфуЗИИ

А.В. Петленко, Ю.А. Копытенко

С-Петербургский Филиал Института земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн РАН, petlenko.58@mail.ru

Наличие тонкой структуры поля геомагнитных пульсаций типа P_i2 выводится из сопоставления динамики распределений поля по данным его измерений на сети станций "BEAR" с распределениями локальных уярчений авроральной светимости, зарегистрированными спутником "Polar" в УФ области спектра, и по результатам градиентного анализа поля. Установлен связанный характер осцилляций поля локальных ионосферных источников P_i2 . Частичная когерентность поля этих источников объясняется в терминах теории аномальной диффузии, в частности, положения этих источников совпадают с точками поворота эффективных центров ионосферных холловских токов, движущихся по траекториям Леви блужданий.

СТРУКТУРНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ТАЙФУНАМИ

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

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова, РАН, kostin@maryno.net*

По данным всего комплекса научных приборов спутника Космос-1809 рассмотрены изменения параметров ионосферной плазмы на высоте ~960 км над ~70 тайфунами. Ионосферные эффекты отдельных тайфунов выделялись путем сопоставления измерений на 10 последовательных витках, которые происходили при одинаковых LT. Дополнительными индикаторами служили структуры аврорального овала и терминатора, а также структурные образования над ядерными полигонами и стендом Сура, так как были выбраны сбросы со спутника научной информации при проведении мощных техногенных экспериментов. Показано, что на начальных стадиях формирования тайфуна – тропической депрессии и тропического шторма над ним, в отдельных случаях, в ночной ионосфере формируется область пониженной плотности плазмы (babble) ~ 40% размерами в сотни километров. Над развитым тайфуном образуется широкая область повышенного Ne, растянутая на 30°-40° к востоку. Симметричная относительно геомагнитного экватора область повышенного Ne, которая сдвинута ~ 60°-80° на запад, наиболее отчетливо, проявляется на следующий день после интенсификации тайфуна. Над «глазом» супер тайфуна наблюдается узкий ~ 100 км пик Ne, который, по-видимому, связан с соударениями ионов с нейтралами восходящего пучка, достигающего ~ 1500 км, что интерпретируется по структуре электрического поля. Столкновение тайфуна с атмосферным гребнем или сушей приводит к повороту его траектории движения, а над ним формируются квазисолитонные структуры Ne с осциллирующей головой и растянутым хвостом. Наиболее отчетливо эти эффекты выявляются при анализе регистрации от 24 сентября 1992 г, когда наблюдалось сразу 10 тайфунов. Такие же структуры осцилляций Ne часто выделялись с экваториальной стороны полярного овала. Интенсивная грозовая активность в зоне тайфуна увеличивает прохождение неканализированных свистов, что в ночных условиях приводит к резкому возрастанию электростатических колебаний на циклотронной частоте водорода (канал 450 Гц) в магнитосопряженной тайфуну области под зоной отражения свистов. В дневных условиях область интенсивных циклотронных колебаний расплывается и становится симметрична относительно геомагнитного экватора. Полученные результаты указывают на сильную взаимосвязь тайфуна и ионосферы.

ДОЛГОТНАЯ СТАТИСТИКА ПЛАЗМЕННЫХ «ПУЗЫРЕЙ», ВИДИМЫХ НА ВЫСОТАХ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ В КОНЦЕНТРАЦИИ He^+

Л.Н. Сидорова

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

Идея экваториального происхождения плазменных областей пониженной концентрации He^+ (или «пузырей») подвергнута новой проверке. Для этого проведен детальный сравнительный анализ их долготной статистики наблюдения, рассчитанной для разных полушарий в разные сезоны, со статистикой наблюдения экваториальных неоднородностей F-области (EFI), экваториального F-рассеяния (RFS (EFS)) и экваториальных плазменных «пузырей» (EPB). Рассматривалась долготная статистика плазменных «пузырей», видимых в концентрации He^+ на высотах верхней ионосферы (~1000 км) согласно данным спутника ISS-b (1978-80, $F_{10.7} \sim 200$). Эти «пузыри» обычно регистрируются в интервале широт $25 \div 50^\circ$ INV LAT ($L \sim 1.3-3$) северного и южного полушарий в послезаходный период местного времени (Sidorova, Adv. Space Res., 2004, 2007). С другой стороны рассматривалась статистика EFI, полученная в работах (McClure et al., JGR, 1998), (Basu et al., Radio. Sci., 1976) и (Su et al., JGR, 2006) по данным спутников AE-E, OGO-6 и ROCSAT, соответственно. Кроме того были использованы измерения RFS (EFS), полученные в работах (Matuyama and Matuura, JGR, 1980, 1884) по данным ISS-b, и результаты измерений экваториальных плазменных «пузырей» (EPB) (Watanabe and Oya, JGG, 1986) по данным спутника Hinotori (1981, 650 км). Наилучшее подобие сравниваемых статистик выявлено для периодов равноденствий. Обнаружено, что для периодов солнцестояний подобие несколько нарушается из-за комплексного влияния сезонного фактора и долготного эффекта. С учетом поправки на сезонные и долготные особенности разных полушарий сделан вывод о сходстве долготных статистических характеристик областей пониженной концентрации He^+ (или «пузырей») и экваториальных ионосферных неоднородностей F-области, что свидетельствует об общности природы вышеназванных явлений.

ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НАД ГРОЗОВЫМИ РАЗРЯДАМИ И ОЦЕНКА ИХ ЭНЕРГИИ

Л.В. Козак, И.С. Клоков

Кафедра астрономии и физики космоса физического факультета, Киевского национального университета им. Т.Шевченка, Киев, Украина, kozak@univ.kiev.ua

Постоянный интерес к изучению грозовых явлений в последнее время подогревается наблюдениями достаточно редких кратковременных оптических явлений, таких как спрайты, эльфы и джеты. В рамках работы был проведен анализ свечения в оптическом диапазоне атмосферы Земли в результате грозового разряда. Для исследования были использованы собственные наблюдения грозовой активности в августе 2009 года на горе Кошка, Симеиз, Крым. Комплекс исследовательской аппаратуры состоит из видео камеры (Watec 902H), захватчика кадров, GPS приемника и ноутбука с соответствующим программным обеспечением. Для оценки энергии свечения атмосферы, была построена калибровочная кривая внефокального изображения звезды, которая является фотометрическим стандартом (Вега, α Lyr). При этом были учтены спектр звезды,

атмосферное поглощение и спектральная чувствительность камеры. Для анализа особенностей свечения атмосферы над грозовыми разрядами были построены изофоты изображений. Кроме того, были аналитически исследованы и численно промоделированы зависимости энергии свечения атмосферы от таких параметров как: величина зарядов и расстояния между ними, проводимость атмосферы и т.д.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ПОЛОС МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА В АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ И В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО РАЗРЯДА

А.С. Кириллов

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

Измеренные в верхней атмосфере интенсивности свечения ультрафиолетовых полос Лаймана-Бирджа-Хопфилда и Вегарда-Каплана молекулы N_2 (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) могут быть использованы при дистанционном зондировании состава атмосферы [1]. Поскольку на высотах ионосферы молекулярные столкновения играют существенную роль в электронной кинетике молекул азота, при моделировании распределения заселенностей различных колебательных уровней синглетных и триплетных состояний N_2 необходимы данные о скоростях гашения электронно-возбужденного молекулярного азота с окружающими молекулами. На основании квантово-химических приближений, предложенных в [2], проведен расчет коэффициентов гашения трех синглетных ($a^1\Sigma_u^-$, $a^1\Pi_g$, $w^1\Delta_u$) и четырех триплетных ($A^3\Sigma_u^+$, $B^3\Pi_g$, $W^3\Delta_u$, $V^3\Sigma_u^-$) состояний молекулярного азота при столкновениях с невозбужденными молекулами N_2 и O_2 . При расчете были учтены разрешенные по спину процессы. Рассчитанные константы гашения сравниваются с имеющимися в научной литературе экспериментальными данными. Используя модель электронной кинетики молекулярного азота в смеси газов N_2 , O_2 , O , рассчитаны колебательные заселенности синглетных и триплетных состояний N_2 на различных высотах авроральной ионосферы и при различных давлениях в условиях лабораторного разряда. Показано, что молекулы и атомы кислорода существенным образом сказываются в электронной кинетике N_2 для рассмотренных условий и на изменении соотношения интенсивностей полос Лаймана-Бирджа-Хопфилда и Вегарда-Каплана в воздухе, по сравнению с чистым азотом.

[1] Meier R.R., "Ultraviolet spectroscopy and remote sensing of the upper atmosphere," Space Sci. Rev., 1991, v.58, p.1–185.

[2] Kirillov A.S., "Application of Landau-Zener and Rosen-Zener approximations to calculate rates of electron energy transfer processes," Adv. Space Res., 2004, v.33, p.993–997.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КИНЕТИКИ МОЛЕКУЛ АЗОТА И КИСЛОРОДА НА КОЛЕБАТЕЛЬНУЮ ЗАСЕЛЕННОСТЬ ИХ ОСНОВНЫХ СОСТОЯНИЙ НА ВЫСОТАХ ВЫСОКОШИРОТНОЙ НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ И МЕЗОСФЕРЫ

А.С. Кириллов

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

Модель электронной кинетики молекул N_2 и O_2 для высот высокоширотной нижней термосферы и мезосферы используется для исследования влияния молекулярных столкновений на колебательную заселенность состояния $X^1\Sigma_g^+$ молекулы азота и состояния $X^3\Sigma_g^-$ молекулы кислорода. При этом на основании квантово-химических приближений был проведен расчет коэффициентов скоростей образования колебательно-возбужденных молекул $N_2(X^1\Sigma_g^+, v>0)$ и $O_2(X^3\Sigma_g^-, v>0)$ в процессах гашения электронного возбуждения молекул азота и кислорода при внутримолекулярном и межмолекулярном переносе энергии. Показано, что вклад молекулярных столкновений с участием электронно-возбужденных N_2 и O_2 в колебательное возбуждение молекул $N_2(X^1\Sigma_g^+)$ и $O_2(X^3\Sigma_g^-)$ на высотах высокоширотной нижней термосферы и мезосферы увеличивается с ростом давления. Межмолекулярные процессы переноса энергии возбуждения с $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ и $N_2(a^1\Pi_g)$ на молекулу кислорода, а также внутримолекулярные процессы с участием $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ доминируют в возбуждении колебательных уровней $v\sim 10-24$ и $v\geq 25$ молекулы $N_2(X^1\Sigma_g^+)$, соответственно. Для колебательной кинетики молекулярного кислорода $O_2(X^3\Sigma_g^-)$ важны молекулярные столкновения с участием всех пяти рассмотренных электронно-возбужденных молекул O_2 (два нижайших синглетных состояния $a^1\Delta_g$, $b^1\Sigma_g^+$ и три состояния Герцберга).

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ИСКУССТВЕННЫМИ ОБЛАКАМИ И СТРУЯМИ В ИОНОСФЕРЕ

Н.И. Ижовкина

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

В экспериментах с искусственными плазменными облаками и струями в ионосфере и магнитосфере исследовались электрические поля в околоземном космическом пространстве. Наблюдалось развитие немонотонной по плотности плазмы стратификации искусственного плазменного образования с масштабом страт поперек геомагнитного поля – метры - десятки метров. В работе показано, что электродинамика плазменных облаков и струй, распадающихся на страты, определяется возбуждением и затуханием быстрых колебаний электронного компонента плазмы на фоне медленных колебаний ионного в диапазонах частот электростатических колебаний замагниченной плазмы (электростатические бернштейновские моды электронного и ионного компонентов плазмы и ионно-звуковые колебания).

АКТИВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В КОСМОСЕ

Г.Л. Гдалевич¹, Ю.М. Михайлов², Н.С. Баранец², З. Клосс³

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

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН,

³ Центр космических исследований ПАН.

Активные эксперименты в космосе начались с ядерных взрывов в атмосфере. Затем начались эксперименты с ускорителями заряженных частиц. Несколько позже - с магнитными или электрическими антеннами волн различного диапазона. Почти одновременно с ними начались эксперименты по изучению Альвеновской ионизации при помощи напуска газа. Несмотря на различные типы активных экспериментов, процессы в плазме очень похожи: нагрев плазмы, появление электрических полей и токов, ускорение частиц, возникновение КНЧ-ОНЧ и Альвеновских волн. В докладе будет приведена краткая история всех типов активных экспериментов, а также показаны окончательные результаты их проведения.

С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕКАМЕТРОВЫХ СИГНАЛОВ НА ТРАНСИОНОСФЕРНЫХ РАДИОТРАССАХ

Н.Т. Афанасьев¹, А.Н. Афанасьев^{2,3}, В.П. Марков¹

¹ Иркутский государственный университет, г. Иркутск Россия, nta@api.isu.ru

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск Россия.

³ Университет Хельсинки, Финляндия.

В работе [1] был предложен метод диагностики неоднородности ионосферы на основе ее многочастотного радиопросвечивания с борта космического аппарата, находящегося на геостационарной или высокоэллиптической орбите. Согласно этому методу в нескольких наземных приемных пунктах проводится анализ трансionoсферных деkamетровых сигналов на различных несущих частотах. Отслеживая характеристики сигналов в пунктах наблюдения, можно контролировать состояние среды за счет ее изменений в пространстве сканирования трансionoсферных сигналов. Альтернативный метод диагностики ионосферной неоднородности путем ее просвечивания деkamетровыми сигналами с быстро движущихся низкоорбитальных космических аппаратов рассмотрен в [2]. В данном случае организуется один или несколько наземных пунктов наблюдения. Использование деkamетрового диапазона, как наиболее близкого к плазменным частотам слоя F2, обеспечивает высокую чувствительность этих методов и позволяет эффективно восстанавливать тонкую структуру ионосферы. Для указанных методов диагностики целесообразным является численное моделирование дистанционно-частотных характеристик (ДЧХ) сигналов на трассах космический аппарат-Земля. Между тем в реальных условиях расчет ДЧХ представляет собой довольно сложную процедуру. В работе предложен численно-аналитический метод моделирования ДЧХ при трансionoсферном зондировании ионосферы с локализованной крупномасштабной неоднородностью электронной плотности. Рассмотрен сферический случай. Получены приближенные аналитические формулы для расчета деформации ДЧХ, вызванной воздействием неоднородности. Показана возможность определения параметров крупномасштабной неоднородности с помощью численно-аналитического синтеза возмущенных ДЧХ деkamетровых сигналов, излученных с борта низколетящего или геостационарного космического аппарата.

[1]. Гивишвили Г.В. Многочастотное просвечивание ионосферы – новый метод глобальной диагностики ионосферы в реальном времени // Космические исследования. 1994. Т.32. Вып. 4-5. С. 142.

[2]. Авдюшин С.И., Данилкин Н.П., Иванов И.И., Ковалев С.В. Кушнеревский Ю.В., Мигулин В.В., Стасевич В.И. Влияние ионосферных неоднородностей на трансionoсферные сигналы // Геомагнетизм и аэрономия. 1988. Т.28/

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА НА СТРУКТУРУ СУБАВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ

В.Л. Халипов¹, А.Е. Степанов², И.А. Голиков³, В.И. Попов³, Е.Д. Бондарь²

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

² Институт космических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера
СО РАН, Якутск;

³ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск.

Исследовано влияние поляризационного джета на структуру субавроральной ионосферы с помощью численного моделирования области F высокоширотной ионосферы. Для этого в модельных расчетах в полосе поляризационного джета шириной 1-2 градуса дополнительно задавалось электрическое поле северного направления в диапазоне от 5 до 100 мВ/м. Результаты модельных расчетов сопоставлены с экспериментальными данными наземных станций ионосферного зондирования в конкретные дни весеннего равноденствия. Показано удовлетворительное согласие модельных значений электронной концентрации с ионосферными плазменными частотами, измеренными с наземных станций.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УНЧ ВОЗМУЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НАЗЕМНЫХ МАГНИТНЫХ И РАДАРНЫХ ДАННЫХ: МЕТОД КАЖУЩЕГОСЯ ИМПЕДАНСА

**В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко², А.Е. Козловский³, Е.Н. Федоров²,
К. Кауристи⁴**

¹ Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, belakhov@mail.ru

² Институт физики Земли РАН, г. Москва, Россия

³ Обсерватория Соданкюла университета Оулу, г. Оулу (Финляндия)

⁴ Финский метеорологический институт, г. Хельсинки (Финляндия)

Глобальные Pc5 пульсации на восстановительной фазе сильной магнитной бури 31 Октября 2003 года исследуются с помощью наземных магнитных данных и данных UHF радара EISCAT в Tromso с приемниками в Sodankyla и Kiruna. Данная система позволяет определить вектор скорости и электрического поля в F-области ионосферы. Для определения физической природы геомагнитных Pc5 пульсаций и нахождения относительного вклада различных МГД мод в Pc5 пульсации был применен метод кажущегося импеданса. Из теории прохождения МГД волн через тонкую ионосферу получено аналитическое выражение для кажущегося импеданса. Теоретические значения сравнивались с отношением измеренного электрического поля в ионосфере к магнитному полю на Земле. Импедансы альфеновской и магнитозвуковой мод существенно отличаются. Основываясь на данных соображениях, мы полагаем, что глобальные Pc5 пульсации являются преимущественно альфеновскими волнами с незначительным вкладом БМЗ моды.

ПРОЯВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ Pc5 ПУЛЬСАЦИЙ В ПАРАМЕТРАХ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

А.Е. Козловский¹, В.Б. Белаховский², В.А. Пилипенко³

¹ Обсерватория Соданкюла университета Оулу, г. Оулу (Финляндия)

² Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, belakhov@mail.ru

³ Институт физики Земли РАН, г. Москва

Рассмотрено событие 29 Апреля 2001 года, когда наблюдались Pc5 пульсаций в геомагнитном поле на станциях сети IMAGE. Наибольшая амплитуда Pc5 пульсаций была зарегистрирована на станции *Bjornoja*. Наблюдается проявление резонансных свойств в геомагнитных Pc5 пульсациях: уменьшение частоты Pc5 пульсаций с увеличением геомагнитной широты, смена фазы и эллиптичности при переходе через резонансную область. Луч VHF радара EISCAT в Tromso был наклонен под углом 30° и направлен на Шпицберген. Таким образом, увеличение высоты вдоль луча будет сопровождаться увеличением геомагнитной широты. Видны достаточно четкие Pc5 пульсации в скорости ионосферной плазмы вдоль луча примерно от 68° до 72° геомагнитной широты, что соответствует диапазону 100-410 км по высоте. В концентрации, температуре ионов и электронов четких Pc5 пульсаций вдоль всего широтного профиля не наблюдается. Спектральный анализ показывает уменьшение частоты Pc5 пульсаций в скорости ионосферной плазмы с увеличением геомагнитной широты, что говорит о проявлении резонансных свойств Pc5 пульсаций в скорости ионосферной плазмы.

СВЯЗЬ АМПЛИТУДЫ ИСКУССТВЕННЫХ ПУЛЬСАЦИЙ С ПАРАМЕТРАМИ ИОНОСФЕРНОЙ ТОКОВОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Мочалов¹, А.Б. Пашин¹, Т.К. Йоман²

¹ Полярный геофизический институт КНЦ РАН

² Университет Лестера, Великобритания

Теоретическая модель генерации искусственных пульсаций при нагреве мощным наземным КВ передатчиков предсказывает простую зависимость их амплитуды от ионосферного электрического поля. Влияние высотного профиля электронной плотности в ионосфере на их возбуждение имеет более сложный характер. Возмущение ионосферной проводимости при нагреве ионосферы мощной КВ радиоволной при времени воздействия меньше 1 секунды обусловлено зависимостью от температуры электронов частоты их столкновений с нейтральными частицами. Систематическое изучение возмущений проводимости проведенное методом численного моделирования показало, что наибольшие величины эти возмущения имеют в условиях достаточно развитой D-области ионосферы. Большое число нагревных экспериментов, проводившихся в 2006 году на установке SPEAR (арх. Шпицберген), позволяет провести изучение генерации пульсаций по данным обс. Баренцбург. Отсутствие выраженной зависимости вероятности генерации пульсаций от магнитной активности и конвекции ионосферной плазмы, поставило вопрос о выявлении зависимости параметров искусственных эмиссий от параметров ионосферной токовой системы, определенных по магнитным данным. Интенсивность и местоположение «электроджета» можно оценить по величине горизонтальной компоненты вариаций магнитного поля и ее отношения к вертикальной компоненте. Для эксперимента 12 июля 2006 г., интервал нагрева – 05.30-06.30 UT, отклик ионосферы на частоте модуляции КВ волны – 3 Гц – стабильно проявился на спектрограмме вариаций

магнитного поля. Амплитуда искусственных пульсаций в горизонтальной плоскости испытывает сильные вариации в течение интервала нагрева.. Из сопоставления поведения горизонтальной компоненты возмущения и ее отношения к вертикальной можно заключить, что магнитные возмущения за этот часовой интервал в основном обусловлены пространственными вариациями местоположения токовой системы. Поведения интенсивности искусственных пульсаций можно объяснить ослаблением ионосферного электрического поля в D области ионосферы из-за большой величины поперечной проводимости в области электроджета.

ДИСТАНЦИОННАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ХАРАКТЕРИСТИК АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ С ОРБИТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РОССИЙСКИХ КА

А.К. Кузьмин

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Рассматриваются методические особенности готовящихся и планируемых спектрофотометрических экспериментов (как в видимой области спектра, так и в области вакуумного ультрафиолета), нацеленных на дистанционные измерения энергетических и электродинамических характеристик ионосферы с орбит перспективных российских КА. Развитие изображающих технологий последних лет позволяет построить новые широкоугольные изображающие монохроматические приборы для измерений распределений интенсивностей конкретных эмиссий, которые являются диагностическими индикаторами энергетических авроральных характеристик как по высыпающим электронам, так и по протонам. Планируемые орбиты и системы ориентации российских низкоапогейных КА Зонд и Метеор-МП позволяют проводить такие измерения в видимой области спектра в пространственном поле порядка 1000 км с пространственным разрешением порядка нескольких сотен метров и временным разрешением 0,1-0,3 сек, а высокоапогейная орбита и система ориентации КА Арктика-М позволяют проводить глобальные измерения интенсивности аврорального овала (как по электронам, так и протонам) в области вакуумного ультрафиолета с пространственным разрешением ~5-10 км и временным разрешением несколько десятков секунд.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ГИДРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ПО НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

**Н.С. Носикова, В.М. Пилипенко, А.Ю. Щекотов, Е.Н. Федоров,
О.М. Чугунова**

МИФИ, Москва, Россия

ИКИ РАН, Москва, Россия

ИФЗ, Москва, Россия.

Спектральная резонансная структура в диапазоне 1-5 Гц, вызванная Ионосферным Альфвеновским Резонатором (ИАР), повсеместное, но довольно нерегулярное явление. Мы проанализировали данные наземных измерений на низкоширотных станциях Moshiri и Paratunka, полученные с помощью чувствительных магнетометров. Для получения тонкой структуры Pc1-излучений были использованы такие методы анализа, как динамический и вайвлет спектр, статический спектр и поляризационный спектр. Для нескольких выбранных дней было исследовано изменение спектральной структуры ИАР. Результаты анализа данных согласуются с моделью ИАР, основанной на численном решении уравнение МГД и электродинамики для системы ионосфера-атмосфера-земля. Сопоставление полученных данных поднимает ряд важных вопросов о возможных механизмах возбуждения ИАР и природе спектральной резонансной структуре Pc1 излучений.

ПЕРЕНОС ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ВИХРЕВЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Ю.Н. Извекова, С.И. Попель

Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, Россия, besedina_yn@mail.ru

Обсуждается перераспределение пылевых частиц в ионосфере в результате взаимодействия с вихревыми структурами. Рассматривается поведение пылевых частиц в акустико-гравитационных вихрях, которые могут формироваться на высотах 110-130 км. Получена зависимость времени пребывания частицы в вихре от её размера. Слои пылевых частиц в ионосфере толщиной порядка километра, образующиеся на высотах, меньших 120 км, распределяются по области существования акустико-гравитационных вихревых структур. В результате на высотах 110–120 км могут образовываться пылевые вихри. Показано, что одним из механизмов переноса пылевых частиц в ионосфере являются вертикальные потоки (стримеры), генерируемые пылевыми вихрями в результате развития параметрической неустойчивости в атмосфере с градиентом концентрации пылевых частиц. Работа выполнена при финансовой поддержке Российской академии наук (Программа фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Наноразмерные частицы в природе и техногенных продуктах: условия нахождения, физические и химические свойства и механизмы образования»; Программа фундаментальных исследований ОФН РАН № 15 «Плазменные процессы в солнечной системе») а также Фонда «Династия» и РФФИ.

ПЫЛЕВЫЕ ИОННО-ЗВУКОВЫЕ СОЛИТОНЫ В ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ В СЛУЧАЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

Ю.Н. Извекова, А.П. Голубь, Т.В. Лосева, С.И. Попель

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия, besedina_yn@mail.ru

Рассматривается возможность существования пылевых ионно-звуковых солитонов в присутствии электромагнитного излучения для параметров плазмы запыленной ионосферы, когда заряды пылевых частиц оказываются положительными. Показано, что в условиях ионосферной плазмы оказывается возможным существование солитоноподобных возмущений, которые обладают основными свойствами солитонов, но при этом затухают и замедляются в основном из-за поглощения и рассеяния ионов на пылевых частицах, а также процесса зарядки пылевых частиц. В этом смысле пылевые ионно-звуковые солитоны, распространяющиеся в плазме, пылевые частицы в которой имеют положительные заряды, аналогичны пылевым ионно-звуковым солитонам в случае, когда отсутствует электромагнитное излучение, а заряды пылевых частиц отрицательны. Однако, в случае положительно заряженных пылевых частиц возмущения затухают медленнее и распространяются на большие расстояния, чем в случае отрицательно заряженных пылевых частиц. Кроме того, существенным отличием случая положительно заряженных пылевых частиц от случая отрицательно заряженных пылевых частиц является отсутствие в первом случае гибридных пылевых ионно-звуковых солитонов. Таким образом, наблюдения за солитонами в ионосферной плазме могли бы оказаться полезными с точки зрения выявления знака заряда пылевых частиц, что представляет существенный интерес для диагностики вещества, из которого состоят пылевые частицы в ионосфере. Работа выполнена при финансовой поддержке Российской академии наук (Программа фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Наноразмерные частицы в природе и техногенных продуктах: условия нахождения, физические и химические свойства и механизмы образования»; Программа фундаментальных исследований ОФН РАН № 15 «Плазменные процессы в солнечной системе») а также Фонда «Династия» и РФФИ.

КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «ГРОЗА» НА МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»

А.В. Бондаренко¹, Л. Боднар², Г.К. Гарипов³, В.М. Готлиб¹, Л.М. Зелёный¹,
В.Н. Каредин⁴, С.И. Климов¹, В.М. Козлов⁴, И.В. Козлов¹, В.Е. Корепанов⁵,
Д.И. Новиков, В.Г. Родин¹, С.И. Свертилов³, И.В. Яшин³.

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² BI-Electronics;

³ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

⁴ СКБ КП ИКИ РАН, Россия

⁵ ЛЦ ИКД НАНУ-НКАУ.

Изучение физических процессов при атмосферных грозовых разрядах на базе микроспутника «Чибис-М» ориентировано на детальные исследования одного из самых загадочных, хотя и часто наблюдаемых, природных явлений. Последние десятилетия принесли серьёзные изменения в наше понимание природы грозовых разрядов, что было также связано и с космическими исследованиями. Во время гроз были обнаружены: исключительно мощные импульсы гамма-излучения; радиоимпульсы сверхвысокой мощности и энергии, создававшие радиоизлучение в очень широком диапазоне частот. В основе этих феноменов лежит физическое явление, которое было в начале 90-х годов теоретически предсказано А.В. Гуревичем и К.П. Зыбиным в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН. Оно получило название «пробой на убегающих электронах» ПУЭ. Пути развития исследований по высотным грозовым разрядам были основными задачами грантов РФФИ по ориентированным фундаментальным исследованиям 06-02-08076-офи (руководитель академик РАН Гуревич А.В. - ФИАН и 09-05-13587-офи_ц (руководитель академик РАН Зелёный Л.М. - ИКИ РАН). Работы продолжаются по гранту 10-05-93107 НЦНИЛ_а (руководитель д.ф.-м.н. Климов С.И. - ИКИ РАН. Исполнителями этих грантов являлись сотрудники ФИАН, ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ. В результате работ по грантам проработана теория ступенчатого лидера в сильных электрических полях. В отличие от принятой теории, в ней одновременно учитываются три основных процесса: обычный пробой, явление убегания электронов и пробой на убегающих электронах. Показано, что в результате обычного пробоя в сильном электрическом поле происходит убегание рождающихся высокоэнергичных электронов. Часть этих электронов, энергия которых превышает критическое значение, являются «затравкой» для пробоя на быстрых электронах, в результате которого нарастает лавина электронов релятивистских энергий. Релятивистские электроны эффективно излучают тормозные гамма-кванты. Проведено сравнение предложенной модели с данными наблюдений космической обсерватории RHESSI идущих со стороны Земли гамма-всплесков. Показано, что предложенная модель позволяет объяснить эти наблюдения. На основе проделанных расчетов сформулированы требования к комплексу научной аппаратуры (КНА «Гроза») по экспериментальному изучению высотных разрядов на микроспутнике «Чибис-М». Первостепенным требованием является одновременное измерение радио- и гамма-излучений в субмикросекундном временном разрешении. В состав КНА «Гроза» микроспутника «Чибис-М» входят: • рентген-гамма-детектор РГД (диапазон рентгеновских и гамма-излучений — 50...500 кэВ, НИИЯФ МГУ; • ультрафиолетовый детектор ДУФ (диапазон ультрафиолетовых излучений — 300...450 нм), НИИЯФ МГУ; • радиочастотный анализатор РЧА (20...50 МГц) с АФУ РЧА, (ИКИ РАН); • цифровая камера оптического диапазона ЦФК (пространственное разрешение 300 м), ИКИ РАН; • магнитно-волновой комплекс — МВК (0,1...40 кГц), BI-Electronics, ЛЦ ИКД НАНУ-НКАУ в составе: ПСА (процессор спектрального

анализа), ИМ (индукционный магнитометр), КВЗ1 и КВЗ2 (комбинированный волновой зонд), БЭ ФМ и ДФМ (феррозондовый магнитометр); • блок накопления данных БНД-Ч, СКБ КП ИКИ РАН; • передатчик научной информации ПРД 2,2 с АФУ-2,2, ИКИ РАН. Состав научной аппаратуры - комплексный и уникальный по ширине охвата энергетического диапазона и временному разрешению при ограниченной массе приборов. Следствием этой комплексности является то, что по организационно-техническим показателям перечисленная выше аппаратура рассматривается как единый прибор, называемый КНА «Гроза». Это обусловлено и тем, что фактом регистрации высотного разряда («события») служит выработка блоком БНД-Ч единого триггера события на основе совпадения триггеров приборов РГД, РЧА, ДУФ. Вся телеметрируемая научная информация, накапливаемая в БНД-Ч, будет передаваться на наземный приёмный пункт с помощью высокоинформативного передатчика ПРД 2,2. КНА «Гроза» ориентирован на проведение измерений на орбите и решение следующих научных задач: а) по изучению ступенчатого лидера высотных молний; б) высотного распределения разрядов облако — поверхность Земли и облако — облако; в) изучение узких биполярных радиоимпульсов (NBP); г) регистрация фона радиоизлучений в диапазоне 20...50 МГц; д) регистрация всплесков УФ-излучения; е) изучение электромагнитных параметров космической погоды в диапазоне $10^{-2} \dots 2 \cdot 10^4$ Гц. Решение последней задачи должно осуществляться как параллельно с изложенными выше задачами, так и самостоятельно с помощью МВК. Исследование плазменно-волновых параметров космической погоды на микроспутниках может способствовать развитию мониторинга процессов солнечно-земных связей. Новизна предлагаемого подхода к исследованию новых физических механизмов электрических разрядов в атмосфере на микроспутнике «Чибис-М» обеспечивается: а) созданием измерительной аппаратуры субмикросекундного временного разрешения измерительной аппаратуры и разработка принципиально новой бортовой системы сбора и обработки высокоопросной телеметрической информации, осуществляющей одновременную регистрацию процессов, происходящих в радио-, оптическом и гамма-диапазоне; б) в разработке, с учетом имеющегося задела и поставленной фундаментальной задачи, специальной космической платформы и комплекса научной аппаратуры. Следует отметить, что КНА «Гроза» базируется на разработках, выполненных в ходе проведения ряда предшествующих проектов в области фундаментальным космическим исследованиям (ВЕГА, «Фобос», «Интербол» и др.), а также на микроспутниках «Колибри-2000» и «Университетский-Татьяна».

МЕТОДИКА ОТРАБОТКИ КОМАНДНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА «ОБСТАНОВКА 1-Й ЭТАП» НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МКС

**В.А. Грушин, А.Б. Беликова, Л.Д. Белякова,
С.И. Климов, Д.И. Новиков**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Эксперимент «Обстановка 1-й этап» - «Исследования в приповерхностной зоне МКС плазменно-волновых процессов взаимодействия сверхбольших космических аппаратов с ионосферой» включён в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС» и реализуется с помощью плазменно-волнового комплекса научной аппаратуры (ПВК), разрабатываемого на основе приборов, успешно использовавшихся ранее ИКИ РАН в международной кооперации при проведении фундаментальных исследований в космосе. Эксперимент проводится в интересах фундаментальных космических исследований и носит поисковый характер, так как до сих мало известны спектральные и энергетические характеристики электромагнитных полей в ионосфере (на высотах 350–400 км). На этих высотах не было, и нет отечественных долгоживущих космических аппаратов, кроме орбитальных станций, с помощью которых можно было бы осуществить комплексные исследования свойств ионосферной плазмы. Поисковый характер эксперимента требует настройки оптимальных режимов работы ПВК, что в свою очередь требует послышки с Земли на борт значительного количества телекоманд, т.е. выполнение интенсивной программы эксперимента. Бортовой информационно-управляющий комплекс (ИУС) и Блок хранения телеметрической информации (БХТИ) ПВК, взаимодействуют по 10 МГц интерфейсу Ethernet по стандартным протоколам. ИУС передаёт данные на Землю по радиоканалу в зонах радиовидимости МКС. БХТИ с одной стороны воспринимает команды от РС МКС и с другой стороны передаёт в РС МКС данные. Команды, задающие режим работы отдельных приборов для оперативности могут объединяться в макрокоманды, и сценарии, хранимые в БХТИ. Их запуск требует передачи на борт небольшого объёма данных. Предварительная отладка таких сценариев в последующем сэкономит время и позволит избежать ошибок в управлении комплексом.

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА НЧА-РЧА ПРОЕКТА РЭЛЕК

В.А. Грушин, Т.В. Гречко, Л.Д. Белякова

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Электронные радиационные пояса впервые наблюдались на спутниках серии "Электрон" в 60-х годах XXв. Позже имели место наблюдения в ходе балонных экспериментов высыпаний высокоэнергичных (>500 кэВ) электронов с потоками 5×10^{25} частиц за шесть дней. Для систематического изучения явления возникновения потоков высокоэнергичных электронов в магнитосфере готовится эксперимент РЭЛЕК на малом космическом аппарате МКА-2. В ходе эксперимента будут проводиться одновременные наблюдения с высоким временным разрешением вариаций потоков энергичных электронов и протонов и интенсивности низкочастотного электромагнитного излучения. Также будет проводиться измерение тонкой временной структуры транзиентных явлений в оптике, УФ, рентгеновском и гамма диапазонах и мониторингирование заряженного и нейтрального компонентов аппаратного фона в различных областях околоземного пространства. Решение научных задач требует непрерывного мониторингирования электрического и магнитного поля, для чего эксперимент РЭЛЕК включает комплекс НЧА-РЧА (низкочастотный анализатор магнитного поля - радиочастотный анализатор). Аппаратура комплекса НЧА-РЧА создаётся в кооперации РФ, Польша, Украина, Венгрия. Компоненты комплекса были испытаны в других космических экспериментах и будут проверены в эксперименте Обстановка на МКС.

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, СПРАВЕДЛИВЫЕ НА ЛЮБОЙ ФАЗЕ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ, КАК ОДИН ИЗ ИТОГОВ АССАМБЛЕИ COSPAR 2010

В. Г. Еселевич

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

Существование законов солнечного ветра (СВ), справедливых на любой фазе цикла солнечной активности, является одним из важных выводов, которые можно сделать по результатам прошедшей Ассамблеи COSPAR 2010. Большая часть этих законов была установлена в 80-90-х годах прошлого века. Но потом, под давлением огромного количества статистических исследований, которые в той или иной мере нивелировали эти важные результаты, во многом, были забыты. Однако, благодаря информации, полученной на космическом аппарате SOHO, и затем на аппаратах STEREO, а также применению методов моделирования физических процессов, разработанных в последние 10-15 лет, появилась возможность проследить выполнение законов СВ в течение нескольких прошедших циклов солнечной активности. Это, в свою очередь, позволило сформулировать их уже как физические законы. В данном докладе сделана попытка представить список из 17 физических законов СВ, который, скорее всего, не является полным, а также отметить первых авторов этих законов. Знание физических законов, существование которых доказывается только экспериментально, еще не означает знание действия их механизмов. В истории физики есть много случаев, когда физический закон и определяющий его механизм предсказывались теоретически, а затем окончательно подтверждались экспериментально. Но также известны ряд законов физики, механизмы которых остаются не выясненными. Формулировка физических законов СВ, фактически, означает, что раздел космической науки “солнечный ветер” переходит из стадии накопления данных и многовекторных исследований в стадию формирующегося отдельного раздела физики.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В КОРОНЕ СОЛНЦА И ВНУТРЕННЕЙ ГЕЛИОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КА “УЛИСС”

А.Т. Лукашенко, И.С. Веселовский

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына
МГУ, Москва, veselov@dec1.sinp.msu.ru*

На основании экспериментальных данных, полученных на КА “Улисс” предложена модель для расчета магнитного поля в короне и внутренней гелиосфере, представляющая собой развитие модели потенциального поля-поверхности источника. В дополнение к фотосферной поверхности и поверхности источника вводится новая разграничивающая сферическая поверхность, на которой модуль радиальной составляющей магнитного поля полагается равным константе, а ее знак скачкообразно изменяется при переходе от одной полусферы к другой. Получены общие аналитические формулы для расчета потенциала и вектора поля в рамках данной модели. Выполненные расчеты и их результаты подробно обсуждаются на примере гармоник низшей мультипольности. Представлена визуализация расчетных линий поля.

О ПРИРОДЕ ДВУГОРБОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЛОСКОСТИ ЭКЛИПТИКИ НА РАССТОЯНИИ 1 А.Е.

О.В. Хабарова¹, В.Н.Обридко²

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, olik3110@list.ru*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, г.Троицк, Московская область.*

То, что горизонтальные компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) V_x и V_y (GSE) или радиальная компонента V_r (RTN) имеют провал распределения в области нуля, известно очень давно. До настоящего времени этот факт объяснялся наличием секторной структуры. Полагалось, что это - следствие того, что Земля относительно редко пересекает гелиосферный токовый слой по сравнению со временем своего пребывания в секторе определенного знака (ноль считался в основном признаком пересечения секторной границы), отсюда наблюдаются преимущественно положительные или отрицательные значения горизонтальных компонент ММП. Теоретически при таком подходе распределение на орбите Земли должно иметь вид, аналогичный распределению радиальной компоненты V_r магнитного поля Солнца на уровне фотосферы или поверхности источника солнечного ветра вдоль сечения поверхности Солнца плоскостью эклиптики. Между тем, последние два распределения - строго Гауссовы, симметричные относительно нулевого значения. Выяснилось также, что секторные границы вносят незначительный вклад в число нулей распределения ММП. Налицо противоречие, требующее объяснения. Для выявления картины пространственных и временных изменений распределения ММП в плоскости эклиптики были проанализированы данные солнечных магнитографов, OMNI2 и КА Helios 2, Ulysses, Venus orbiter, Voyager 1 за период 1977-2009. Наблюдается существенная зависимость вида распределения от гелиоцентрического расстояния, гелиомагнитной широты и фазы цикла. Эффект двугорбости наиболее ярко выражен на расстоянии 0.7-1 а.е., дальше провал в нуле пропадает (на расстоянии 3-4 а.е. в низких гелиографических широтах и 4-6 а.е. - в

высоких). Все полученные факты укладываются в гипотезу о наличии трех распределений, накладывающихся друг на друга - два обусловлены приходом плазмы с обеих полусфер Солнца, а центральное - соответствует теоретически ожидаемому полю, приходящему из приэкваториальных областей. Показано, что теоретически ожидаемое центральное распределение играет некоторую роль лишь до 0.7 а.е., далее оно замыкается боковыми. Т.е. наблюдаемая картина ММП у Земли довольно слабо соответствует существующим моделям распространения ММП в космическом пространстве. Причина наблюдаемой недостаточности нулевых значений ММП на 1 а.е. - в доминирующем влиянии поля, пришедшего от активных областей в высоких широтах, а также в возможном пропадании нулей в результате продолжительного пересоединения в гелиосферном токовом слое на расстоянии от Солнца до Земли. Исследования поддержаны грантом РФФИ 10-02-00277-а.

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ МЕРЦАНИЯ СИЛЬНЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ НА ФАЗЕ СПАДА ВБЛИЗИ МИНИМУМА 23 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

**С.К. Глубокова^{1,2}, А.В. Глянецв^{1,2}, С.А. Тюльбашев¹,
И.В. Чашей¹, В.И. Шишов¹**

¹ Пуццинская Радиоастрономическая Обсерватория АКЦ ФИАН, chashey@prao.ru

² Пуццинский Государственный Университет

Представлены результаты наблюдений межпланетных мерцаний радиоисточников ЗС 298 и ЗС 48 в период малой активности Солнца, выполненных на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Получены радиальные зависимости индексов мерцаний, в которых проявляется влияние низкоширотного гелиосферного токового слоя. По временным спектрам мерцаний определены значения скорости солнечного ветра и показано их хорошее согласие со значениями, найденными методом разнесенного приема. Поступила в редакцию.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОТОКА СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОНОВ И ГЕЛИЯ В ПРОШЛОМ

Г.С. Ануфриев

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург,
anufriev.vass1@mail.ioffe.ru

Уже давно исследователи пытаются установить эволюцию солнечного корпускулярного излучения путем изучения соотношений различных солнечных изотопов в метеоритах. Трудностей на этом пути много. Луна обладает ценным свойством сохранять запись о внешних процессах в интервале времени, который включает большинство событий Солнечной системы. В частности, облучаемая лунная поверхность аккумулирует ионы солнечного ветра, что предоставляет возможность получать информацию о процессе изменения потока солнечного ветра в длительном интервале времени. В наших исследованиях была использована колонка лунного грунта, доставленная автоматической станцией Луна-24 в 1976 году. Известно, что солнечный ветер состоит в основном из ядер водорода. В дальнейшем – просто «из водорода». Следовательно, в лунном грунте нужно искать водород. Но, как оказалось, на Луне водорода, практически, нет. Дело в особенностях водорода и в высокой температуре (~1200°С) на освещаемой и облучаемой Солнцем лунной поверхности. Задача

представляется неразрешимой. Дело спасает гелий, который по распространенности занимает в корпускулярном потоке Солнца второе место и его обилие в потоке достаточно жестко связано с обилием водорода. Таким образом, исследуя в грунте изотопный состав химически нейтрального гелия мы можем получить информацию о солнечных потоках гелия и водорода в прошлом а также об их вариациях. Иными словами появляется возможность получить важные параметры заранее неизвестной информации о длительной работе Солнца как основного «энергетического агрегата» солнечной системы. Результаты будут полезны при обсуждении происхождения солнечной системы, в том числе при более детальной систематике метеоритных и планетных данных. При реконструкции потоков гелия и водорода на интервале в ~ 500 миллионов лет, кроме наших данных о вариациях солнечно-ветрового гелия по глубине лунной колонки, использованы также опубликованные данные, полученные при проведении экспериментов с космическими аппаратами Genesis, ACE/SWICS, миссиями APOLLO, и другие современные спутниковые данные. Рассмотрено несколько вариантов подходов к реконструкции потоков. Главным результатом, вероятно, является установление причины обнаруженных гелиевых вариаций - это вклад в солнечный ветер потока гелия в результате процесса выбросов корональной солнечной массы (СМЕ). Получены величины потоков и их вариации. В частности, получено, что поток протонов во времени по сравнению с потоком гелия существенно более постоянен. Это позволяет ввести в рассмотрение новое понятие о «солнечной гелиевой активности» как отражение активизации процесса СМЕ в длительном временном интервале.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ И ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ЛУНА-РЕСУРС С ПОМОЩЬЮ ПАНОРАМНОГО ЭНЕРГО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРА АРИЕС-Л

**О.Л. Вайсберг¹, Г.В. Койнаш¹, П.П. Моисеев², В.В. Летуновский³,
А.К. Тоньшев³, Р.Н. Журавлев¹, А.Ю. Шестаков¹, С.Н. Подколзин¹,
М.С. Долгонос¹, С.П. Моисеев², Л.С. Горн⁴, А.А. Шаманов⁵,
А. Стяжкин⁶, J.J. Berthelier⁷, J. Becker⁷**

¹ ИКИ РАН, olegv@iki.rssi.ru

² НПП «Астрон Электроника»

³ СКБ КП ИКИ РАН

⁴ СНИИП

⁵ НПО «Альфа»

⁶ ИЗМИ РАН

⁷ LATMOS, Франция

Задачей эксперимента является исследование взаимодействия солнечного ветра с поверхностью Луны, десорбции поверхностного слоя и состава поверхностного слоя на различных масштабах. Предполагается исследовать отражение и рассеяние солнечного ветра поверхностью, вторичную ионную эмиссию и другие факторы десорбции, экзосферу Луны и ионы, захваченные солнечным ветром, а также вклад атмосферных ионов и характеристики атмосферы. Для проведения этих исследований будет использоваться панорамный энерго-масс-анализатор Ариес-Л, являющийся модификацией прибора ДИ для проекта Фобос-Грунт. Он состоит из панорамного зеркала с полусферическим полем зрения, торового электростатического анализатора, одновременно являющегося селектором энергии и элементом масс-спектрометра, электростатического затвора для время-пролетного анализа и изображающего МКП-детектора. Посадочный аппарат Луна-Ресурс предполагается посадить на поверхность Луны на широте 85°. Прибор размещается так, чтобы он мог видеть поверхность Луны и солнечный ветер. Это позволяет контролировать условия эксперименты по диагностике поверхности Луны. Во время эксперимента будут получены данные по солнечному ветру, околоземной ударной волне и в хвосте магнитосферы, что позволит использовать их для исследований в области солнечно-земных связей и магнитосферы Земли.

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ В ПЕРИОД 2006-2010 гг. ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В СТРАТОСФЕРЕ

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

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, gbaz@rambler.ru

В работе представлены результаты измерений космических лучей в атмосфере Земли на полярных и средних широтах с 2006 г. по 2010 г. Особенностью этого периода был глубокий и продолжительный минимум солнечной активности, когда физические характеристики гелиосферы существенно отличались от соответствующих характеристик периодов предыдущих минимумов. В 2009 г. интенсивность космических лучей достигла максимального значения за все время измерений с 1957 г. Наблюдался необычный энергетический спектр вариаций космических лучей. Сделана попытка теоретической интерпретации указанного поведения космических лучей.

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ГЛОБАЛЬНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В ФАЗЕ МИНИМУМА АКТИВНОСТИ В СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ 21-24

М.Б. Крайнев

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, mkrainev46@mail.ru

По данным о характеристиках гелиосферного магнитного поля (ГМП) около Земли и по результатам расчётов формы гелиосферного глобального токового слоя (ГТС) в различных вариантах модели потенциального магнитного поля на поверхности источника ГМП (модель обсерватории Вилкокса (WSO) Стэнфордского университета, США) выбирается наиболее адекватный вариант WSO-модели. Обсуждается поведение различных характеристик ГМП и ГТС, важных для поведения в гелиосфере космических лучей, в эпохи минимума солнечных циклов 20-24.

О ВЛИЯНИИ ЭФФЕКТОВ ГРАНИЦЫ ГЕЛИОСФЕРЫ НА ПАРАМЕТРЫ РАССЕЯННОГО СОЛНЕЧНОГО ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ

О.А. Катущкина^{1,2}, В.В. Измоленов^{1,2,3}, Д.Б. Алексахов³, Ю.Г. Малама³

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

² Механико-математический ф-т МГУ им. М.В.Ломоносова

³ Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН

В настоящей работе исследуется влияние процессов, происходящих в области взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой, на параметры рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения, измеряемого на орбите Земли. При этом для описания распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере использовалась усовершенствованная кинетическая модель. В этой модели учитываются как эффекты, связанные с границей гелиосферы, так и локальные эффекты солнечной ионизации, гравитации и радиационного давления, существенные вблизи Солнца. На основе полученных распределений атомов водорода в гелиосфере были вычислены спектры рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения для различных направлений луча зрения наблюдателя, находящегося на орбите Земли, а также интегральные характеристики этих спектров. Показано, что наиболее чувствительной к свойствам распределения атомов водорода в гелиосфере является ширина линии спектра рассеянного излучения. Это означает, что имеющиеся многочисленные экспериментальные данные по рассеянному излучению могут быть использованы как источник дополнительной информации о свойствах границы гелиосферы.

ВОЗМОЖНА ЛИ ГЕНЕРАЦИЯ ОБРАТНОЙ БЫСТРОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ПОТОКЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В МАГНИТОСЛОЕ ПЕРЕД ПЛАНЕТАРНОЙ МАГНИТОСФЕРОЙ?

С.А. Гриб

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия,
sagrib@gmail.com*

Предлагается новая модель физического механизма возникновения обратной нестационарной магнитогидродинамической (МГД) ударной волны в потоке солнечного ветра. Рассматривается нелинейное опрокидывание МГД волны сжатия, возникающей при отражении вторичной быстрой волны разрежения от границы магнитосферы Земли. Определяется предельная линия, на которой нарушается изэнтропичность потока и образуется сильный разрыв как огибающая семейства характеристик. Указывается на то, что обратное (по отношению к Солнцу) резкое смещение фронта носовой ударной волны, наблюдаемое на космическом аппарате Cluster SC3, непосредственно демонстрирует воздействие на него обратной МГД ударной волны, возникающей непосредственно в магнитослое в области потока вблизи от фронта носовой волны. Таким образом, утверждается реальная возможность возникновения обратной МГД ударной волны не только в свободном потоке солнечного ветра, но и в магнитослое перед планетарной магнитосферой за счёт опрокидывания отраженной от магнитопаузы нелинейной МГД волны сжатия. Работа выполнялась при частичной поддержке грантом РФФИ 08-01-00191и программой ОФН-15.

РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ГЕОМАГНИТНУЮ АКТИВНОСТЬ

А. С. Парновский¹, Ю. И. Ермолаев²

¹*Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев, Украина,
parnowski@gmail.com*

²*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, ermol@iki.rssi.ru*

В зависимости от типа солнечного ветра, физический сценарий его взаимодействия с магнитосферой Земли может различаться. Разрабатываемые до настоящего времени модели предсказания космической погоды не принимали во внимание этот факт. На основе «Каталога крупномасштабных типов солнечного ветра» [1] были созданы выборки из базы данных OMNI2 [2], соответствующие 4 типам солнечного ветра: спокойному ветру, коротящим областям взаимодействия, корональным выбросам массы и областям сжатия. Методом регрессионного моделирования [3] для каждой из этих выборок были построены модели для прогнозирования геомагнитных индексов D_{ST} и a_p на 3 часа вперед. Анализ структуры полученных моделей подтвердил исходное предположение о различии сценариев взаимодействия магнитосферы с солнечным ветром для разных типов последнего и дал возможность построить некоторые феноменологические модели этих сценариев.

[1]. Yermolaev Yu.I. et al. 2009, Cosmic Res., 47(2), 81.

[2]. King J.H. & Papitashvili N.E. 2005, J. Geophys. Res., doi:10.1029/2004JA010804.

[3]. Parnowski A.S. 2009, Astrophysics & Space Science, 323(2), 169. doi:10.1007/s10509-009-0060-4. [arXiv:0906.3271].

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ДИНАМИКУ И СТРУКТУРУ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ – ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ИСЗ СЕРИИ КОРОНАС

И.Н. Мягкова

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобелева МГУ,
им. М.В.Ломоносова, irnim@rambler.ru*

Несмотря на то, что связь динамики потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли (РПЗ) с параметрами солнечного ветра (СВ), а именно, с его скоростью, установлена достаточно давно, многие фундаментальные проблемы, в частности, проблема ускорения электронов РПЗ до релятивистских энергий, пока не решены. В последнем минимуме солнечной активности состояние межпланетного пространства и магнитосферы Земли было чрезвычайно спокойным, в течение длительных периодов времени амплитуда *Dst* –вариации не превышала -30 нТ. Это позволило выполнить уникальные наблюдения. Данные о потоках релятивистских электронов, полученные в эксперименте на российской солнечной обсерватории КОРОНАС-Фотон в 2009 году, использовались для изучения структуры и динамики внешнего РПЗ на малых высотах. Низкая полярная орбита спутника (высота 550 км, наклонение 82.5°) позволяла регистрировать электроны в полярных областях (при пересечениях внешнего РПЗ 4 раза за виток, длительность которого составляет примерно 1.5 часа). В течение 2009 года, после прихода к Земле высокоскоростных потоков СВ в марте, апреле и начале мая, а также в июле, августе и конце октября 2009 года наблюдались резкие (более чем на порядок) возрастания потоков релятивистских электронов в внешнем РПЗ. Данные возрастания были зарегистрированы как на геостационарной орбите (ИСЗ GOES), так и на малых высотах, причем возрастания на малых высотах происходили на несколько дней позже по сравнению с геостационарной орбитой. Было выяснено, что приход к Земле высокоскоростного потока СВ не является достаточным условием для возрастания потоков релятивистских электронов во внешнем РПЗ, поскольку далеко не каждый приход высокоскоростного потока СВ в 2009 году сопровождался резким увеличением потока релятивистских электронов РПЗ даже при условии наличия отрицательного *Bz*. Так как на ряде высокоширотных наземных станций одновременно с увеличениями потоков электронов внешнего РПЗ наблюдалось возрастание волновой активности, можно предположить, что именно волновая активность стала причиной вариаций потоков релятивистских электронов. Поскольку эксперимент на КОРОНАС-Фотон был третьим по счету экспериментом серии, есть возможность проследить за изменениями интенсивности и структуры внешнего РПЗ на малых высотах при разных уровнях СА. Мы можем это сделать, сравнивая данные экспериментов серии КОРОНАС – КОРОНАС-И (1994) – спад СА, КОРОНАС-Ф (2001-2005) – максимум СА и КОРОНАС-Фотон – минимум СА.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА СИСТЕМЫ ИОНОСФЕРА-АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ СИГНАЛОВ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ТРАССАХ СПУТНИК-СПУТНИК В ПЕРИОД 2002-2010 ГОДОВ

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

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва, Россия

Для выявления воздействия солнечного ветра и ультрафиолетового излучения Солнца на ионосферу Земли и планет предложено применить развиваемый в ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН метод глобального мониторинга ионосферы и атмосферы Земли с помощью высокостабильных сигналов радионавигационных систем на трассах спутник-спутник по данным систематических наблюдений в период 2002-2010 годов. Обоснована теоретически и подтверждена экспериментально в результате анализа голограмм, зарегистрированных в экспериментах радиопросвечивания ионосферы Земли, осуществленных в ходе спутниковых миссий «GPS/CHAMP», «GPS/FORMOSAT-3», «GPS/MET» и «МИР/GEO», однозначная связь между интенсивностью и производными по времени фазы прошедших через исследуемую среду зондирующих радиоволн. Разработанный метод позволил впервые определять высоту, наклон и горизонтальное смещение ионосферных слоев, отдельно измерять параметры слоистых и турбулентных структур, что было затруднительно ранее при радиозондировании на трассах спутник-спутник. Из анализа данных радиопросвечивания следует, что производные по времени фазы несущей (эйконала) и доплеровского сдвига частоты, а также интенсивность радиосигналов (определяемая, в частности, индексом S4), являются важнейшими параметрами, необходимыми для радиовидения ионосферных слоев. Анализ материалов базы данных, созданной с помощью спутника CHAMP в течение 2001-2008 годов, позволил получить информацию о долговременных изменениях усредненного индекса S4 в глобальном масштабе. В полярных районах индекс S4 в течение 2001-2008 годов постепенно снижался, в то же время усредненный по всему земному шару индекс практически не менялся, что связано с различными механизмами ионизации. В полярных районах наблюдался спад ионизации, связанный с уменьшением интенсивности солнечного ветра на нисходящей ветви солнечной активности. В остальных районах преобладал механизм ионизации, обусловленный ультрафиолетовым излучением Солнца, изменения которого в течение цикла солнечной активности существенно меньше. Выявлена четко выраженная квазипериодическая структура вариаций индекса S4 в глобальном масштабе с периодом 5-7 месяцев. Проведенные исследования показали необходимость изучения амплитудных и фазовых вариаций сигналов навигационных спутников GPS/ГЛОНАСС для исследования механизма взаимодействия между солнечной активностью и процессами в ионосфере.

ВЛИЯНИЕ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УСЛОВИЙ НА РАЗВИТИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

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

Институт космических исследований РАН, г. Москва, nnikolae@iki.rssi.ru

На основе архива данных OMNI для периода 1976-2000 годов выполнен анализ 798 геомагнитных бурь с $D_{st} < -50$ нТ и их межпланетных источников – крупномасштабных типов солнечного ветра: CIR (145 магнитных бурь), Sheath (96); магнитные облака MC (62); Ejecta (161), источник остальных 334 магнитных бурь оказался неопределенным. Для исследования динамической связи между развитием параметров в межпланетных источниках и в магнитосферных индексах использовался двойной метод наложенных эпох (ДМНЭ), в котором за опорные времена взяты моменты начала магнитной бури и минимума D_{st} индекса. В результате анализа подтверждены известные факты, что 1) независимо от вида межпланетного источника начало магнитной бури наступает через 1-2 часа после поворота ММП к югу ($B_z < 0$), и окончание главной фазы бури, и начало восстановительной фазы наблюдаются через 1-2 часа после исчезновения южной компоненты ММП; 2) наиболее эффективная генерация магнитной бури наблюдается для Sheath перед MC. Для Sheath перед Ejecta этот эффект выражен слабо. На главной фазе бури параметры B_z и E_y в среднем мало изменяются между началом и концом главной фазы (минимума D_{st} и D_{st}^*), в то время как D_{st} и D_{st}^* монотонно уменьшаются, приблизительно пропорционально интегралу B_z и E_y по времени. Такое поведение индексов согласуется с предположением, что процесс генерации бури связан не просто с текущим значением B_z и E_y , а обладает памятью о предыстории. Кроме того, в работе анализируется развитие главной фазы магнитных бурь с $D_{st} \leq -50$ нТ с разным типом межпланетного источника путем сопоставления интегрального электрического поля $\sum E_y$ с величиной D_{st} индекса главной фазы. Показано, что на главной фазе магнитных бурь всех типов индекс D_{st} понижается с ростом интегрального электрического поля $\sum E_y$. Теснота связи между этими параметрами (коэффициент корреляции) выше для бурь, вызванных областью сжатия перед межпланетными CME, чем магнитными облаками MC и коротящими областями взаимодействия CIR. Можно предположить, что высокое динамическое давление усиливает эффективность электрического поля для 4-х типов течений: областей сжатия (ShE, ShE+ShMC), коротящих областей взаимодействия CIR и неопределенного типа IND. По-видимому, D_{st} индекс не зависит от уровня флуктуаций sB ММП почти для всех типов течений (различия в пределах погрешности) на фоне зависимости D_{st} от $\sum E_y$ главной фазы бури. Оценки пороговых значений интегрального электрического поля $\sum E_y$ для достижения уровня интенсивности умеренных ($D_{st} \leq -50$ нТ) и сильных ($D_{st} \leq -100$ нТ) бурь указывают на тенденцию их зависимости от типа источника магнитной бури. Можно предположить, что, в среднем, области сжатия перед межпланетными CME имеют пороговые значения в 1.5 раза ниже, чем сами межпланетные CME.

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

ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА НА МАССУ ФОТОНА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.С. Веселовский

*НИИЯФ им. Д.В. Скобелыцына МГУ; ИКИ РАН, г. Москва, Россия,
veselov@dec1.sinp.msu.ru*

Масса фотона в классической электродинамике равна нулю. Экспериментальная проверка точности выполнения этого условия имеет принципиальное физическое значение и производится различными способами в лабораторных экспериментах и с использованием астрофизических наблюдений. В настоящее время наиболее надежно установленным верхним пределом для массы фотона считается величина $2 \cdot 10^{-51} \text{ г}$ (Goldhaber, A. S. and Nieto, M. M. (2010). Photon and graviton mass limits. Rev. Mod. Phys., vol. 82, Issue 1, pp. 939-979). Указанный верхний предел был получен на основе анализа и интерпретации данных об измерении магнитных полей в солнечном ветре на расстояниях до 40 а. е. на космических аппаратах “Voyager” (Ryutov, D. D. (2009) Relating the Proca Photon Mass and Cosmic Vector Potential via Solar Wind. Phys. Rev. Lett., vol. 103, Issue 20, id. 201803). Этот предел на четыре порядка меньше значений, получающихся из лабораторных экспериментов. Обсуждается вопрос о надежности и возможности улучшения данной оценки.

ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ТЕЧЕНИЙ

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, <mailto:nnikolae@iki.rssi.ru>

В работе на основе каталога крупномасштабных типов солнечного ветра, созданного с использованием базы OMNI за период 1976 – 2000 г [Ермолаев и др., 2009], проводится исследование зависимости максимальных значений геомагнитных индексов $|Dst|$ и AE (интенсивности кольцевого и аврорального токов), наблюдаемых во время магнитных бурь, от величины межпланетного электрического поля E_y . Анализ сделан для 8 категорий магнитных бурь, вызванных разными типами течений солнечного ветра: CIR – 86 бури, MC – 43 бури, ShMC – 8, Ejecta – 95, ShEjecta – 56, MC+Ejecta – 138, ShMC+ShEjecta – 64, и неопределенный тип – 75 бурь. В результате анализа показано, что величина $|Dst|$ индекса (интенсивности кольцевого тока) растет с ростом электрического поля E_y для всех 8-ми типов течений. При сильных электрических полях $E_y > 11$ мВ/м внутри магнитных облаков MC и, возможно, внутри всех ICME (MC+Ejecta), величина $|Dst|$ индекса выходит на насыщение. Величина AE индекса (интенсивность аврорального тока) во время магнитных бурь не зависит от величины электрического поля E_y почти для всех течений, кроме магнитных облаков MC и, возможно, области сжатия перед ними ShMC. Наблюдается линейный рост AE индекса внутри MC при низких значениях поля $E_y < 11$ мВ/м, и спад при сильных полях $E_y > 11$ мВ/м. Так как во всех типах солнечного

ветра динамическое давление Pd и флуктуации sB ММП коррелируют с величиной E_y , то оба геомагнитных индекса $|Dst|$ и AE не демонстрируют на фоне их зависимости от E_y дополнительной зависимости от Pd и sB ММП. Полученные статистические результаты согласуются с данными других авторов для отдельных типов течений и дополняют их по другим типам течений. Нелинейная связь интенсивности $|Dst|$ и AE индексов с E_y компонентой электрического поля, наблюдаемая при сильных электрических полях E_y внутри МС и возможно всех IMCE, согласуется с моделированием магнитосферно-ионосферной токовой системы зоны I в условиях насыщения потенциала полярной шапки.

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕКУРРЕНТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Ю.С. Шугай

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

Иерархический подход к прогнозированию рекуррентных потоков солнечного ветра (СВ) был реализован следующим образом. В качестве входных данных использовалась информация о скорости потоков СВ за предыдущие обороты Солнца, а также данные о текущих значениях площадей корональных дыр (КД) и об их корреляционных связях со скоростью СВ, обнаруженных на различных космических аппаратах и в различных спектральных диапазонах. Использовались изображения, полученные прибором SWAP со спутника PROBA2 в спектральном диапазоне с центром на длине волны 17.4 нм, и прибором AIA с космического аппарата SDO с центром на длинах волн 19.3 нм и 17.1 нм. Для прогноза были взяты данные за 2010 год в период роста 24-го цикла солнечной активности. На первом уровне иерархии было получено несколько модельных оценок скорости потоков СВ на основе различных входных данных. На втором уровне иерархии из полученных оценок формировался окончательный прогноз скорости СВ на 3 дня вперед. Предложенный иерархический подход позволяет повысить точность прогноза скорости СВ счет объединения нескольких простых модельных оценок в единое решение. Кроме того, одновременное использование информации с различных космических аппаратов решает проблему пропусков в данных, а также может быть использовано для лучшего понимания физических процессов формирования потоков СВ.

ВЫЯВЛЕНИЕ СПОРАДИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ПРИ ФРАКТАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Т.Е. Вальчук

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

Структура потоков солнечного ветра в околоземном космическом пространстве является важным диагностическим признаком для определения источника генерации, породившего конкретный поток. Этот признак использован нами для выявления спорадических потоков в околоземном космосе по данным Wind. Последующий анализ и проекция спорадических потоков на солнечный диск позволяет отождествить источники генерации. Для исследования структуры потоков солнечного ветра применен фрактальный метод Хигучи. Разработанная методика позволяет определять изменчивую фрактальную размерность приходящего к Земле солнечного ветра. По вариациям фрактальной размерности выявляются структурные изменения непрерывного потока плазмы от Солнца (за исключением интервалов отсутствия данных с КА, иногда имеющих место в телеметрии). Таким путем с помощью фрактального анализа осуществляем диагностику солнечного ветра, проводим отождествление потенциальных источников потоков на Солнце и оцениваем возникающие вариации спорадического потока СВ за время прохождения 1а.е. в гелиосфере.

ДВУМЕРНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ГКЛ В ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЯХ ГЕЛИОСФЕРЫ

М.С. Калинин, М.Б. Крайнев

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

Предложено осесимметричное транспортное уравнение для галактических космических лучей, являющееся следствием трёхмерного по пространственным координатам уравнения, в котором трёхмерность обусловлена наличием в гелиосфере токового слоя произвольной формы. Особенность предложенного уравнения заключается в значительном ослаблении дрейфового механизма модуляции в секторной зоне по сравнению с его классическим значением и независимостью степени ослабления от знака полярности межпланетного магнитного поля. При обеих полярностях дрейфовые эффекты сильно зависят от формы ТС. Такое поведение дрейфов соответствует современной трактовке модуляции галактических космических лучей в последовательных циклах солнечной активности, отличающихся полярностью межпланетного магнитного поля. Предложенное уравнение может быть использовано для описания процессов модуляции ГКЛ в гелиосфере.

ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ПРИ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В.И. Власов

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

Для исследования межпланетной среды используются межпланетные мерцания, быстрые (порядка 1 секунды) флуктуации амплитуды сигнала. Однако, практически при всех радиоастрономических наблюдениях независимо от времени суток эпизодически проявляются медленные (десятки секунд и минуты) вариации интенсивности радиоизлучения космических источников подобные ионосферным мерцаниям. Но, если эти вариации имеют не только ионосферное происхождение, а вызваны крупномасштабными возмущениями в солнечном ветре, то они представляют как познавательный, так и практический интерес для солнечно – земной физики. Особенно ценными они могут оказаться для выявления крупномасштабных возмущений в ближних областях окосолнечной среды (до ~ 0.5 а.е. от Солнца), где межпланетные мерцания подавлены влиянием рассеяния радиоволн. По данным регулярных наблюдений 2007-2009 г.г. проведен сравнительный анализ суточного распределения вариаций интенсивности космических источников для различных по удаленности от Солнца областей межпланетной среды. Полученные результаты показывают, что в дневное время (в среднем от 8 до 16 часов) вариации интенсивности излучения космических радиоисточников вызваны не ионосферой, а солнечным ветром. Таким образом, открывается реальная возможность по радиоастрономическим наблюдениям выявлять и исследовать крупномасштабные возмущения в солнечном ветре близких от Солнца, практически недоступных другим методам, областей межпланетной среды. Это значит также, что вариации радиоисточников можно будет использовать при изучении солнечно-земных связей, а также, совместно с солнечными данными и с данными наблюдений межпланетных мерцаний - для прогнозирования космической погоды.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ РАДИОИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ

С.И. Сергеев, В.И. Шишов

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

С 2006 г в Пушчинской радиоастрономической обсерватории на радиотелескопе БСА ведется круглосуточный мониторинг космических радиоисточников в соответствии с программой «Космическая погода» с целью радиоастрономического картографирования межпланетной плазмы, основанной на наблюдениях в метровом диапазоне волн мерцаний нескольких сотен радиоисточников. В данной работе представлены результаты анализа динамических спектров суточных записей наблюдений участка небесной сферы в границах от $03^{\circ} 25'$ до $12^{\circ} 40'$ по склонению. При анализе во временной области для слабых мерцающих источников можно оценить лишь основные параметры мерцаний (средний индекс мерцаний по ансамблю источников, подсчет количества мерцающих источников) за фиксированный промежуток времени. Усреднение суточных записей за пол года позволяет увеличивать соотношение сигнал/шум только для профиля радиоисточников, однако мерцания остаются некогерентны, что приводит к "размазыванию" полезного сигнала по спектру. Для выявления характериски слабых

мерцающих радиоисточников проведён сравнительный анализ различных методов вычисления динамического спектра в базисах Фурье и Вейвлет. Спектрограмма в базисе Фурье позволяет получить большое частотное разрешение, при меньшем временном разрешении, которое зависит от ширины окна, вида оконной функции и параметрах наложения. При анализе слабых мерцающих радиоисточников, время наблюдения мерцаний значительно меньше, что определяется диаграммой направленности антенны. Незначительно время наблюдения снижает эффективность использования динамического спектра в базисе Фурье. Выявление характерных особенностей при разложении по вейвлет-базису с центральной частотой соответствующей характерной частоте мерцаний радиоисточников, позволяет локализовать во времени частотные особенности мерцающих радиоисточников, однако при ухудшении частотного разрешения. Проведение когерентного усреднения в спектральной области позволяет определять источники с уровнем полезного сигнала меньшим чем уровень шумов, что делает возможным использовать динамический спектр для поиска и определения спектральных характеристик слабых мерцающих радиоисточников в реальном времени.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ИОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ПОКАЗАНИЯМ ТРЕХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ ФАРАДЕЯ В ПРИБОРЕ БМСВ

И.Т. Гагуа, Т.И. Гагуа, Г.Н. Застенкер

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, gagua@list.ru

Мониторинг параметров солнечного ветра (СВ) является важной составляющей в проблеме изучения и предсказания «космической погоды». Для этих измерений разрабатывается прибор БМСВ – быстрый монитор солнечного ветра в эксперименте «Плазма-Ф» на спутнике «Спектр-Р». В данном докладе рассматривается задача определения по показаниям прибора БМСВ с рекордно высоким временным разрешением (доли секунды) таких параметров солнечного ветра как величина потока ионов и углы его прихода при известном отношении переносной и тепловой скоростей потока. Для решения этой задачи используется сопоставление одновременно измеренных токов трех разнонаправленных датчиков прибора БМСВ - интегральных цилиндров Фарадея. Способ определения основан на переборе возможных значений величины потока. При этом доказано, что в качестве решения можно взять то значение потока ионов, при котором сумма квадратов вычисленных значений направляющих косинусов потока наиболее близка к единице. Для нахождения направления потока ионов при известной величине этого потока используется библиотека угловых характеристик датчиков, заранее рассчитанных для каждого значения отношения переносной скорости потока к его тепловой скорости в широких пределах их изменения. Для тестирования этого метода выбирался некоторый массив данных о направлении и величине потока, для которых решалась прямая задача, т.е. вычислялись отклики трех датчиков на поток ионов с заданными параметрами. Затем эти вычисленные отклики подавались на вход программы обработки как данные измерений. Результаты этого расчета сравнивались с исходными значениями. В итоге показано, что разработанный метод позволит с помощью прибора БМСВ определять величину потока ионов СВ с точностью от 1% до 10% (в зависимости от угла падения и температуры потока) и углы прихода потока (в пределах отклонения направления потока до 30 град. от оси прибора) с точностью от 1 град. до 5 град.

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОТОКА ИОНОВ В ПРИМЕНЕНИИ К ПРИБОРУ БМСВ - БЫСТРОМУ МОНИТОРУ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

**А.С. Юрасов^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹,
И.В. Колоскова¹, Н.Н. Шевырев¹**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, yurale@yandex.ru

² НИИЯФ им. Д.В. Скобелыцина, МГУ, г. Москва, Россия.

Разрабатываемый сейчас эксперимент по определению с очень высоким временным разрешением (от десятых долей секунды до одной секунды) основных параметров солнечного ветра - потока (как вектора), переносной скорости, ионной температуры и плотности будет использовать для этих измерений прибор БМСВ (быстрый монитор солнечного ветра). В состав этого прибора входят три датчика - интегральных цилиндра Фарадея, на управляющие сетки которых подается пилообразное положительное (т.е. тормозящее ионы) напряжение в диапазоне от 200 В до 3.7 кВ. В соответствии с этим, выходные токи датчиков будут представлять собой интегральные энергетические спектры, т.е. запирающие характеристики, в которых ток коллектора спадает с увеличением приложенного напряжения. Определение параметров солнечного ветра (СВ) с помощью данных прибора БМСВ будет производиться на основе сопоставления измерений с заранее рассчитанной библиотекой откликов - набором интегральных спектров для различных скоростей, температур и углов падения потока СВ. Поэтому задачей данной работы являлось проведение расчета такой многомерной библиотеки для как можно более широкого набора параметров. Расчет запирающих ионных характеристик используемых датчиков осуществлялся при следующих предположениях: - функция распределения падающих частиц максвелловская; - поток частиц (ионов) состоит, главным образом, из протонов; - электрическое поле внутри датчика считается однородным и идеально плоским. Таким образом, движение ионов внутри датчика рассматривается на основе простой электростатики, когда поле симметрично относительно оси датчика. Для систематического расчета была разработана специальная программа, позволившая создать базу откликов датчика (т.е. его угловых и запирающих характеристик) в зависимости от различных входных параметров СВ - переносной скорости от 100 км/с до 800 км/с, - ионной температуры от 0.01 эВ до 300 эВ, - угол падения от 0 до 30 град.. Существенным обстоятельством является доказанное в работе утверждение, что в широкой области изменения параметров вид интегральных спектров полностью определяется углом падения потока и величиной отношения переносной скорости ионов к их тепловой скорости. Определены рамки применимости этого утверждения. С учетом реальной чувствительности и уровня шумов датчиков в приборе БМСВ рассмотрена возможность определения в солнечном ветре с рекордно высоким временным разрешением тех же, что и для протонов, параметров потока дважды ионизованного гелия (альфа-частиц).

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОТЕНЦИАЛОМ ИОНОСФЕРЫ И ПРИЗЕМНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ

**Р.Ю. Лукьянова^{1,2}, А.А. Круглов³, А.В. Франк-Каменецкий¹,
А.Л. Котиков³, Г.Б. Бернс⁴, В. Д. Р. Френч⁴**

¹ *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
renata@aari.nw.ru*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Санкт-Петербургский государственный университет*

⁴ *Австралийский Антарктический Дивизион.*

Получены соотношения между среднечасовыми значениями вертикального приземного электрического поля, измеряемого на ст. Восток в Антарктике, и потенциалом ионосферы над станцией. В обоих параметрах рассматривалась та часть, которая контролируется солнечным ветром, соответственно ΔE_z и U_{ext} . Для определения ионосферного потенциала применялись модели конвекции [Weimer, 1995] и [Lukianova and Christiansen, 2006], а также модель по данным системы радаров SuperDARN. Анализ проведен как на примере отдельных дней, так и на всей выборке 170 дней «хорошей погоды» за 1998-2000 гг. Для отдельного дня наилучший коэффициент корреляции (R) между ΔE_z и U_{ext} , полученный по трем моделям, составил соответственно 0.81, 0.80 и 0.88. Общий коэффициент корреляции для всего массива данных составил $R=0.24-0.32$. В суточном ходе R менялся от больших значений днем ($R \approx 0.4$) к меньшим значениям ночью ($R \approx 0.1$), при этом в ранние утренние часы наблюдалось некоторое повышение R . Особенности суточного хода R , по-видимому, отражают возможности адекватного описания структуры эквипотенциалов электрического поля ионосферы с помощью крупномасштабных стационарных моделей конвекции. В зависимости от ориентации межпланетного магнитного поля (ММП) R изменяется сложным образом, но общая тенденция состоит в его повышении при переходе от ММП $B_y < 0$ к $B_y > 0$. Этот факт объясняется асимметрией картин конвекции при противоположных знаках B_y .

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АНТЕННЫ БСА ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

А.В. Бутенко^{1,2}, С.А. Тюльбашев

¹ *Пушчинская Радиоастрономическая Обсерватория Астрокосмического центра
Физического института РАН им. П.Н.Лебедева*

² *Пушчинский Государственный Университет, Россия.*

В рамках программы «Космическая погода» на радиотелескопе БСА ФИАН проводятся наблюдения нескольких сотен радиоисточников, и ведется ежедневный мониторинг состояния межпланетной плазмы. Частота наблюдений 111.5 МГц, полоса приема 600 кГц, постоянная времени 0.1 с. Чувствительность радиотелескопа БСА меняется в зависимости от технического состояния антенны, погодных условий и других факторов. Для успешной обработки данных получаемых с БСА требуется оценка чувствительности для любого выбранного дня. В качестве калибровочных источников были использованы источники из 4С-каталога с плотностью потока >6 Ян на частоте 178 МГц. Было проведено отождествление источников записанных на БСА с источниками 4С-каталога. Плотности потока в 4С-каталоге даны для частоты 178 МГц. Для пересчета плотности потока на частоту 111.5 МГц были взяты оценки потоков отождествленных источников на других частотах (использовался база данных NED) и вычислен

спектральный индекс для каждого источника. С учетом полученной оценки спектрального индекса производился пересчет плотности потока на частоту 111.5 МГц. Т.о., был составлен список калибровочных источников, с помощью которого можно оценить флуктуации шумовой дорожки в Янских в площадке обзора. Колебания полученной оценки чувствительности день ото дня связаны, как мы предполагаем, в первую очередь с изменением погодных условий, которые могут влиять на состояние антенно-фидерного тракта антенны. Средняя чувствительность наблюдений в течение месяца (с 17 октября 2009 по 17 ноября 2009) составляет 2.4 Ян на среднем склонении 7.5 градусов.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

С.А. Красоткин, И.С. Веселовский, В.В. Радченко, В.М. Шахпаронов

НИИЯФ им. Д.В.Скобелева, МГУ им.М.В. Ломоносова, sergekras@rambler.ru

Предлагается метод зондирования плотности верхней атмосферы и ее неоднородностей как функции координат и времени по наблюдению за положением в пространстве большого числа (до нескольких десятков) одинаковых миниатюрных искусственных спутников Земли, движущихся одновременно в различных точках пространства и постепенно теряющих свою высоту из-за трения вплоть до сгорания в атмосфере. Особенность метода состоит в использовании уже существующих систем глобального позиционирования для прецизионного определения координат указанных спутников и передачи этой информации по имеющимся каналам спутниковой связи без затрат на изготовление большого «родительского» аппарата. Оборудование каждого из стандартных малых спутников состоит из одинаковых радиопередатчиков с миниатюрными источниками питания и хорошо подходит для реализации в качестве учебно-научного проекта. Изготовление простейшей аппаратуры доступно любительским и студенческим коллективам под наблюдением и патронажем специалистов. Запуск может быть осуществлен попутно «одной кассетой» с последней ступени ракеты-носителя. Метод, который условно может быть назван «Дети в космосе», весьма прост и полезен для развития относительно недорогого научно-технического творчества молодежи при вполне серьезных ожидаемых научных результатах, которые трудно или даже невозможно получить другими методами. Предлагается для осуществления в рамках международной кооперации по программе «International Space Weather Initiative».

ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ИОННОГО СОСТАВА ОТ ЭНЕРГИИ В СУПРАТЕРМАЛЬНЫХ ПОТОКАХ ЧАСТИЦ ВО ВНУТРЕННЕЙ ГЕЛИОСФЕРЕ

М.А. Зельдович, Ю.И. Логачев

НИИЯФ МГУ, mariya@srd.sinp.msu.ru; logachev@srd.sinp.msu.ru

По данным космических аппаратов ACE и STEP изучался ионный состав потоков заряженных частиц с энергиями ~ 0.03 -2 МэВ/нуклон (супрагермальных частиц) на 1 а.е. в спокойные периоды солнечной активности. Изучались энергетические спектры и временное поведение ионов ^3He , ^4He , C, O, CNO, Ne-S и Fe на протяжении 23 цикла. Показано, что форма спектров этих ионов была различной в разные спокойные периоды. Такое же различие обнаружила зависимость относительного состава некоторых ионов от энергии. Полученные результаты указывают на различные популяции частиц, ускоренных до супрагермальных энергий в различных активных процессах в солнечной атмосфере.

МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДОЙ

Д.А. Вавилов, А.М. Садовский, А.А. Скальский

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

В работе представлен обзор имеющихся данных о намагниченности лунной поверхности, моделей их происхождения, а также физических явлений, связанных с взаимодействием участков намагниченности с межпланетной плазмой. Российская миссия Луна-Глоб, запуск которой предполагается в 2014 году, включает в себя орбитальный аппарат, что позволит провести подробное картирование магнитных аномалий лунной поверхности и исследование их взаимодействия с солнечным ветром. Работа поддерживается грантами НШ-3200.2010.2 и РФФИ 10-02-01063-а.

ТРИНАДЦАТИЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ПУЛЬСА И ДАВЛЕНИЯ ПО СОБСТВЕННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Ю.И. Кукса¹, И.Г. Шибанов²

¹ ЦГЭМИ ИФЗ РАН

² ИЗМИРАН, Россия

Один из авторов работы более тринадцати лет регулярно фиксировал свои пульс, верхнее и нижнее давления. Измерения проводились ежедневно утром и вечером. В данной работе анализируется временной интервал с 25 марта 1997 г. по 02 апреля 2010 г., всего 4758 дня. Утренние и вечерние ряды пульса и давлений анализируются отдельно. Также анализируется обобщенный (утро + вечер) ряд разности верхнего и нижнего давлений. Кроме сравнения статистических характеристик рядов подробно анализируется спектральная гармоника с периодом в 7 дней и её модуляция. Также проведено сопоставление исследуемых рядов с ежедневными числами Вольфа для ряда спектральных гармоник.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОРЫВНЫХ ПРОНИКАЮЩИХ ИНЖЕКЦИЙ СГУСТКОВ КОМПОНЕНТ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПРИПОВЕРХНОСТНУЮ ОБЛАСТЬ ЗЕМЛИ

Д.Г. Гонсировский

Выявление солнечноветровых инъекций в настоящем случае проведено по признакам «прямого» участия энергии всплесков солнечной активности в некоторых экзогенных геодинамических процессах. Доказательная база получена методом множественной графической корреляции, основанном на приёмах сопоставления временных рядов показателей аномальности данных наблюдений (Гонсировский, Хаджиев, 2008 г.). Главным содержанием комплекса работ была совместная обработка временных рядов значений скоростей и плотности плазмы солнечного ветра (данные КА ACE и SOHO), приземной температуры воздуха и атмосферных осадков (данные метеостанций). Учитывались сведения по солнечным вспышкам, рентгеновскому излучению (данные КА GOES) и по пятнообразовательной деятельности Солнца. На Земле измерений параметров существа проблемы не производилось, поэтому ниже приведенные утверждения носят в себе элемент вероятности. Внимание по цепочке уделено следующему: 1) геоэффективным корональным выбросам масс (как следствия эрупций солнечных вспышек и истечения вещества из корональных дыр); 2) отсоединившимся внутрь геомагнитосферы, при нажиме на неё ударной волны порывов солнечного ветра, сгустковым хаотично замагниченным внутренне турбулентным плазменным образованиям в виде «волокон», «столбов», «магнитных трубок» и т. п.; 3) проникновению последних на гиперзвуковых скоростях, без диссипации, сквозь капсы и плазменный слой хвоста геомагнитосферы к поверхности Земли (иногда вследствие соударений закручивая ИСЗ и снижая их орбиту); 4) инъекционному ударному, проникающему в разные среды, кратковременному импульсному, блуждающему по территории воздействию рассматриваемого вида переносчика солнечной энергии на земные процессы. Четырёхкратным повторением солнечноветровой фактор подтвердил своё наличие в природе, участвуя в катастрофическом селепроявлении по р. Герхожансу в г. Тырнаузе (июль 2000 г.). Как это по аналогии следует из статистических исследований для селей, накануне перехода урагана «Катрина» (август 2005 г.) в 3-ю, 4-ю и 5-ю категории процессу вполне могли поспособствовать инъекционные удары сгустков компонент солнечного ветра. И только потом на трассах либо прямого пролёта, либо отскока сгустка от водной поверхности образовались «тепловые башни», вписавшиеся затем в земные условия существования (Гонсировский, 2010 г.). Можно утверждать, что проникающие компоненты солнечного ветра напрямую или по индуктивной цепи разрушали газовые гидраты на дне океана в «Бермудском треугольнике», вспузыривая всю толщу воды (от чего тонули суда). С разрушением газовых гидратов рассматриваемыми инъекциями частично связан процесс схода ледника Колка (сентябрь 2002 г.). На том же предположении наличия индукции можно утверждать, что сверхкритическую загазованность выработок шахты Распадской (май 2010 г.) вызвала случайно локализованная по этому месту и времени солнечноветровая инъекция. Вывод о наличии инъекций и отскоков можно предложить как гипотезу для выработки объяснений необычных изменений характеристик подземных вод на Кавминводах для времён повышения солнечной активности (Пруцкая, Круткина, 2002 г.; Пруцкая, Малофеева, 2003 г.), эффекта «Тунгусского метеорита», возникновения кругов на полях, шаровых молний, НЛО.

«ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ» ПОТОКА ПЛАЗМЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

**М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹, О.М. Калаев²,
А.А. Чернышов¹, А.С. Петросян¹**

¹ *Институт Космических Исследований РАН, Москва, orearm@gmail.com*

² *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина,
Московский Государственный Университет, Москва.*

Солнечный ветер является потоком турбулентной плазмы. Исследование характеристик турбулентности солнечного ветра имеет большое значение для решения проблемы транспорта энергии из солнечного ветра в магнитосферу. Одним из свойств турбулентности солнечного ветра является «перемежаемость». По данным спутника Интербол-1 исследована с рекордно высоким временным разрешением «перемежаемость» флуктуаций потока (плотности) плазмы солнечного ветра и амплитуды межпланетного магнитного поля в области сравнительно высоких частот (вплоть до 16 Гц). Получено, что в области частот менее ≈ 0.05 Гц величина «экссесса» функции вероятности флуктуаций (характеризующая «перемежаемость») стабильно растет при уменьшении периода флуктуаций, а для частот более ≈ 0.05 Гц величина «экссесса» ведет себя нестабильно (это могут быть как возрастания, так и спады величины экссесса). На низкочастотном краю этого диапазона полученные нами значения «экссесса» хорошо согласуются с результатами прежних экспериментов. Получена связь показателя уровня «перемежаемости» плазмы с наличием или отсутствием на данном интервале резких границ структур плотности солнечного ветра. При наличии таких резких границ структур плотности величина «экссесса» (как для плазмы, так и для магнитного поля) всегда заметно возрастает по сравнению с областями, в которых подобные скачки отсутствуют. Таким образом, высокий уровень «перемежаемости» является характерным свойством интервалов солнечного ветра, содержащих резкие границы его структур. Проведено сравнение спектров флуктуаций плотности и скорости солнечного ветра, для проверки «умеренно сжимаемой» модели турбулентности солнечного ветра. Согласно этой модели предполагается, что в турбулентном солнечном ветре реализуется режим, при котором флуктуации плотности являются пассивной примесью в умеренно сжимаемом течении звуковой турбулентности.

С Е К Ц И Я «МАГНИТОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТРАНСПОЛЯРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ПРОДОЛЬНЫЕ ТОКИ И СТРУКТУРА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

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

Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск

В эксперименте по обтеканию лазерной плазмой магнитного диполя обнаружено характерное азимутальное магнитное возмущение, связанное с продольными токами и расположенное в области магнитосферы, непосредственно примыкающей к низкоширотному пограничному слою. Этот результат впервые прямым образом подтверждает гипотезу о магнитосферном генераторе, согласно которой трансполярный потенциал возбуждается относительным движением плазмы поперек магнитного поля в тонком пограничном слое на низких широтах. Потенциал передается на полюса вдоль силовых линий и при возможности замыкания генерирует продольные токи. Было обнаружено, что при проводящей поверхности диполя, моделирующей ионосферу, протекают интенсивные продольные токи и в пограничном слое наблюдается азимутальное магнитное возмущение. При диэлектрической поверхности токов нет, а азимутальная компонента не имеет выраженной структуры. В эксперименте по обтеканию магнитного диполя квазистационарной плазмой тета-пинча благодаря применению секционированного покрытия полярных областей был измерен трансполярный потенциал. Обнаружено, что потенциал зависит примерно квадратичным образом от скорости потока. Это соответствует спутниковым данными для Земли, полученным в условиях слабого межпланетного магнитного поля. Измерение электрического поля вдоль линии терминатора показали, что трансполярный потенциал связан с наличием таких характерных особенностей в экваториальном пограничном слое, как положительное электрическое поле в утреннем секторе, и отрицательное поле в вечернем. Таким образом, получено два независимых экспериментальных подтверждения модели магнитосферного генератора. Лабораторный эксперимент предсказывает наличие вблизи пограничного слоя характерного азимутального магнитного поля генерируемого продольными токами. Этот тип возмущения на уровне 1-10 нТ еще не обнаружен в магнитосфере Земли. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН проект 2.3.1.10, Российского фонда фундаментальных исследований проект 09-02-00492 и Программы ОФН РАН VI.15 Плазменные процессы в солнечной системе.

ТОПОЛОГИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ И ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ЛОВУШЕК ДЛЯ ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ

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

¹ *НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия*

² *Институт Космических Исследований РАН, г.Москва, Россия*

³ *Университет Сантьяго де Чили, Чили.*

Приведены результаты анализа топологии высокоширотных процессов с использованием данных наблюдений спутников серий КОРОНАС и МЕТЕОР, международного проекта ТЕМИС. Выделена область до геоцентрических расстояний $\sim 10-13R_E$, в которой поперечные токи не замыкаются на магнитопаузу. При этом, в среднем, токовые петли окружают Землю, но могут формироваться и локальные токовые формирования. Проведен анализ результатов наблюдений сравнительно устойчивых азимутально асимметричных потоков энергичных электронов с энергиями, превышающими перепад потенциала утро-вечер. Движение таких электронов почти не возмущается авроральными электрическими полями. Показано, что в высокоширотной магнитосфере могут возникать сравнительно долгоживущие (в течении нескольких часов) ловушки для энергичных электронов. Обсуждены процессы ускорения и высыпания частиц из таких ловушек.

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ТОЧКИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА THEMIS

**М.С. Пулинец¹, М.О. Рязанцева^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1},
Е.Е. Антонова^{1,2}, Г.Н. Застенкер²**

¹ *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына, МГУ, г. Москва, Россия*

² *Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

Исследованы пересечения магнитопаузы вблизи подсолнечной точки по данным эксперимента THEMIS. Анализировались изменения параметров плазмы и магнитного поля в магнитослое после пересечения магнитопаузы. Проведено сравнение с параметрами плазмы и магнитного поля в солнечном ветре, измеренными в том же проекте на спутниках THEMIS-A и -B. Учтена временная задержка прихода солнечного ветра к подсолнечной точке магнитопаузы. Выделены события, когда магнитное поле вблизи магнитопаузы имеет ориентацию не совпадающую с ориентацией магнитного поля в солнечном ветре. Проведено сравнение результатов наблюдений с полученными ранее результатами.

О МЕХАНИЗМЕ АНОМАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ МАГНИТОСФЕРНЫХ ГРАНИЦ И СВЯЗИ ГЛОБАЛЬНЫХ И МИКРОМАСШТАБОВ

**С.П. Савин¹, В.П. Будаев^{1,2}, Л.М. Зеленый¹, В.Н. Луценко¹,
Л.В. Козак³, Н.Л. Бородкова¹, С. А. Романов¹**

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, ssavin@iki.rssi.ru*

² *РНЦ Курчатовский институт, Россия*

³ *Киевский университет, Украина.*

На основе данных спутников ИНТЕРБОЛ, ГЕОТЕЙЛ, ТЕМИС и КЛАСТЕР объяснен механизм аномальной динамики магнитослоя (МГС), который может пересекаться спутниками за времена до 2 порядков меньшие нормальных, а магнитопауза (МП) – прогибаться на расстояния порядка толщины МГС. Показано, что деформацию МП вызывают сверхбыстрые плазменные струи (СПС, с магнитозвуковым числом Маха $M_{MS} \leq 3$, остальные возмущения распространяются в МГС обычно с $M_{MS} \ll 1$), а не минимумы давления плазмы. При деформации МП с образованием вторичной ударной волны (УВ), МП может выходить за среднюю головную УВ, что и объясняет пересечение спутниками УВ и МП через несколько минут. Типичное кинетическое давление в СПС в несколько раз выше давления солнечного ветра (СВ). СПС, по всей видимости, представляют собой собственные моды открытой системы СВ- магнитосфера с конечными размерами. Аномальная динамика обычно связывается с аномалиями потока (АП), вызываемыми взаимодействием вращательных разрывов в СВ с головной УВ. Но нами выделены и случаи без разрывов или связанные с межпланетной УВ, или с резким уменьшением потока СВ. Показано, что локальное сохранение потока при обтекании АП объясняет прилегающие СПС: они компенсируют уменьшение потока через АП. Характерные поперечные размеры СПС - несколько тысяч км - относятся к промежуточным масштабам, их границы (несколько десятков км) - к микромасштабам, а сами СПС реализуют взаимосвязь всех масштабов, передавая через всю систему взаимодействующих плазм наиболее энергоемкие возмущения с наибольшей скоростью. Они структурируют всю область взаимодействия солнечной и магнитосферной плазм между головной УВ и МП и модулируют пограничные слои под МП, "экспортируя" таким образом промежуточные и микромасштабы внутрь магнитосферы. Специфической глобальной особенностью взаимодействия является модуляция появления СПС и аномальных пересечений МП и УВ резонансными колебаниями МГС как целого. Статистический анализ в турбулентных погранслоях показал, что СПС являются экстремальными событиями, обеспечивающими "дальнодействие" – статистическую связь глобальных и микромасштабов, что и обуславливает наблюдаемые свойства перемежаемости и обобщенного самоподобия. Подобную СПС роль могут играть ускоренные потоки плазмы в геомагнитном хвосте, в лабораторной (blobs) и астрофизической (jets) плазме.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЭНЕРГИЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ

Н.Н. Павлов

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына,
МГУ им. М.В.Ломоносова, nnp@mail.ru*

На основе анализа движения солнечных вспышечных частиц в несколько идеализированных межпланетном и магнитосферном магнитных полях рассматривается, как такие частицы будут проникать и распространяться в магнитосфере в зависимости от их энергии, а также от угла и места попадания в магнитосферу. Идеализация межпланетного поля состоит в пренебрежении возмущениями, вносимыми магнитослоем в траектории частиц рассматриваемых энергий; геомагнитное поле представляется полем диполя с искусственно установленной границей подобной магнитопаузе; все поля считаются статическими. Для случая двухмерного движения частиц в плоскости геомагнитного экватора получены зависимости глубины проникновения от энергии, угла и места входа в магнитосферу; показано, при каких величинах параметров частица станет захваченной, квази-захваченной или пройдет магнитосферу без гировращения. Иллюстрируется геометрический смысл Штермеровской границы захваченной радиации как окружности (при двухмерном движении), по которой движется частица, совершающая Ларморовский оборот по замкнутой орбите вокруг Земли. Приводятся примеры наблюдений, в которых солнечные частицы оказались обнаруженными глубже, чем разрешено расчётами; обсуждается, как изменить исходные предположения, чтобы объяснить результаты измерений. Для случая трёхмерного движения продемонстрирован эффект асимметрии углов падения на магнитосферу частиц, подлетающих к ней с большими питч-углами и в неперпендикулярных потоках. Отдельно (вне дипольной идеализации) представлен эффект угловой асимметрии влёта частиц в лоб, позволяющий не привлекать давнюю идею о замкнутости полярного и межпланетного магнитных полей для объяснения асимметричного прихода солнечных частиц в северную и южную полярные зоны.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В АНОМАЛИЯХ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА

А.Ю. Шестаков, О.Л. Вайсберг

Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

Работа посвящена исследованию распределения скоростей частиц плазмы в теле аномалий горячего потока, которые образуются при взаимодействии межпланетных токовых слоев с околоземной ударной волной. Были рассмотрены несколько событий, зарегистрированных на КА ИНТЕРБОЛ. По измерениям скорости плазмы вдоль линии пересечения спутником аномальной области вычислено среднее значение. Остаточные значения скоростей были использованы для исследования конвекции плазмы внутри аномалии, в предположении квази-стационарной структуры аномалии. Как правило, в теле аномалии определяется область, которую можно рассматривать как источник тепловой и конвективной энергии аномалии. В работе обсуждаются сходства и различия характеристик рассмотренных явлений и конвекции плазмы внутри них.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ МАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ВЗРЫВНОЙ ФАЗЫ СУББУРИ - ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НОВОЙ МОДЕЛИ ТОКОВОГО КЛИНА СУББУРИ

**В.А. Сергеев, Н.А. Цыганенко, М.В. Смирнов, А.В. Николаев,
Г. Сингер, В. Баумйоханн**

*С.-Петербургский государственный университет, г. С.-Петербург,
victor@geo.phys.spbu.ru*

Основным элементом токовой системы суббури считают систему токового клина суббури (ТКС/SCW), однако до сих пор ее согласие с магнитными возмущениями в магнитосфере практически не проверялось, главным образом из-за отсутствия реалистичной и практичной расчетной модели. В докладе приводятся результаты систематического исследования по спутниковым измерениям новой расчетной модели ТКС (модели TW09), параметры которой задавались по данным интерпретации наземных магнитных возмущений, либо определялись из одновременных измерений нескольких магнитосферных спутников. Проверка по данным магнитных измерений спутников как на геостационарной орбите, так и в долях хвоста магнитосферы показала как наличие возмущений с ожидаемой структурой, так и существование значительных систематических различий, возможная природа которых также обсуждается в данном докладе.

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОТОКОВ ПРОТОНОВ НА ВЫСОКИХ ШИРОТАХ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ

В.В. Калегает, Н.А. Власова

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, klg@dec1.sinp.msu.ru

Проведен сравнительный анализ динамики потоков протонов с энергиями 30-240 кэВ, характерными для частиц кольцевого тока, в области высоких широт в магнитосфере Земли во время геомагнитных бурь 21-22.01.2005 и 15-16.12.2006. Для изучения особенностей потоков протонов использовались измерения трех низковысотных солнечно-синхронных спутников серии NOAA: POES 15, POES 16 и POES 17. На основе анализа данных и с использованием магнитосферного моделирования изучено влияние условий в межпланетной среде на магнитную ситуацию в магнитосфере Земли. Показано, что долготное распределение максимальных потоков высыпающихся протонов существенно асимметрично на всех фазах развития магнитной бури. В то же время, наблюдаются особенности, характерные для спокойных условий, для внезапного начала бури, для максимума бури и для фазы восстановления. Во время спокойных условий наблюдался ожидаемый максимум потоков высыпающихся частиц в вечерне-ночном секторе. Во время внезапного начала бури (SSC) поток инжектируемых частиц в ранние утренние часы превысил потоки, регистрируемые в вечерне-ночном секторе. Наблюдалось увеличение потока частиц в послеполуденном секторе, которое может быть связано с поджатием магнитосферы. Следствием сжатия магнитосферы возможно является и уменьшение потока в вечернем секторе за счет утечки частиц через вечерний фланг магнитопаузы. Для оценки утренне-вечерней асимметрии потоков частиц с 90° питч-углами были рассчитаны интегральные потоки, измеренные на орбите спутника POES 15 от $L \sim 2$ до границы изотропизации во время геомагнитной бури 21-22.01.2005.

Обнаружено, что во время SSC величина потока в утреннем секторе больше, чем в вечернем; на главной фазе и в начале фазы восстановления ситуация обратная: величина потока в вечернем секторе больше, чем в утреннем.

ГЕНЕРАЦИЯ *Dst*-ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ГИГАНТСКИХ МАГНИТНЫХ БУРЬ

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

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

Гигантские магнитные бури – это бури, в периоды которых минимальное значение индекса *Dst* достигает амплитуды порядка - 400 нТл и меньше. При этом форма *Dst*-вариации во время главных фаз таких бурь представляет собой очень быстрое, в течение 2-3 часов, изменение индекса *Dst* до его минимального значения и, последующее за этим, такое же быстрое его восстановление. Введенный, более полувека тому назад для количественного описания магнитных бурь, индекс *Dst* характеризует аксиально-симметричное возмущенное геомагнитное поле вблизи дипольного экватора на уровне земной поверхности. Отрицательная амплитуда его означает понижение геомагнитного поля, которое связывают с экваториальной токовой системой в магнитосфере, называемой кольцевым током. Считается, что нейтральный токовый слой, текущий поперек хвоста магнитосферы, дает малый вклад в понижение поля вблизи Земли. Также считается, что высокоширотная магнитосферно-ионосферная токовая система тоже вносит незначительный вклад в регистрируемое низкоширотными обсерваториями, по данным которых рассчитывается *Dst* индекс, магнитное возмущение. Однако кольцевой ток физически не может так быстро возникать и восстанавливаться, чтобы на основе его можно было объяснить временное поведение *Dst* вариации, которое фиксируется во время гигантских магнитных бурь. Нами демонстрируется модельный расчет *Dst*-вариаций в периоды конкретных гигантских магнитных бурь, которые могут быть созданы именно токовой системой хвоста магнитосферы, в результате быстрого приближения к Земле границы плазменного слоя, и токами в авроральной зоне, в результате их быстрого смещения в сторону экватора. Для такого расчета используется параболоидная модель магнитосферных токовых систем НИИЯФ МГУ и модель высокоширотных токовых систем ИЗМИРАН. Модельный расчет подтверждает возможность объяснения генерации особых конфигураций *Dst* вариаций геомагнитного поля во время гигантских магнитных бурь за счет этих двух токовых систем.

ВОЛНОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ CIR- И СМЕ-БУРЬ В МИНИМУМЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

О.В. Козырева¹, Н.Г. Клейменова^{1,2}

¹*Институт физики Земли РАН, г. Москва, Россия*

²*Институт космических исследований, РАН, Москва, Россия, kozyreva@ifz.ru*

Анализ дневной волновой геомагнитной активности ($f=2-7$ мГц) во время CIR- и СМЕ-магнитных бурь в минимуме солнечного цикла показал, что во всех фазах CIR-бурь наиболее интенсивные дневные пульсации на земной поверхности наблюдаются преимущественно в дополуденном секторе на геомагнитных широтах выше 70° , в то время как в СМЕ-бурях - на широтах ниже 70° . Установлено, что в CIR-бурях амплитуда Pc5 пульсаций значительно ниже, чем в СМЕ-бурях, а максимум в спектре наблюдается на более низких частотах и отмечается на более высоких широтах, что подтверждает их резонансную природу. Источник генерации ULF волн как в CIR-бурях, так и в СМЕ-бурях, по-видимому, один и тот же – резонанс магнитных силовых линий за счет развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца на флангах магнитосферы, вызванной подходом к магнитосфере Земли высокоскоростного потока солнечного ветра. Более высокоширотное положение максимума интенсивности Pc5 пульсаций в CIR-бурях, свидетельствует о больших размерах дневной магнитосферы во время CIR-бурь, чем во время СМЕ-бурь.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МАГНИТОСФЕР ГОРЯЧИХ ЭКЗОПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

М.Л. Ходаченко¹, И.И. Алексеев², Е.С. Беленькая², Х. Ламмер¹

¹*Институт космических исследований, Австрийской Академии наук, Грац, Австрия*

²*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ. г. Москва, Россия.*

Предыдущие исследования показали, что относительно слабое магнито-дипольное поле экзопланет-гигантов («Горячих Юпитеров») на близких к звезде гравитационно синхронизированных орбитах не может обеспечить достаточно больших размеров магнитосферы планеты. Данное обстоятельство приводит к слабой защищённости верхних слоёв атмосферы и ионосферы от прямого взаимодействия их с плазмой звёздного ветра, и как следствие, к значительной нетепловой потере массы атмосферой планеты за счёт увлечения её вещества потоком звёздного ветра. В данной работе представлен более общий, по сравнению с ранее использовавшимся, взгляд на структуру магнитосферы «Горячих Юпитеров», основанный на Параболоидной Модели Магнитосферы (ПММ). Помимо традиционно рассматривавшегося при изучении экзопланетарных магнитосфер магнитного диполя планеты, ПММ учитывает и другие важные структурные элементы магнитосферы планеты, такие как токовая система хвоста, токи магнитопаузы и кольцевой ток магнитодиска. Гидродинамический разлет расширяющейся атмосферы «Горячего Юпитера» и последующая фотоионизация её вещества под воздействием излучения звезды обеспечивают значительное количество плазмы для формирования протяженного экваториального магнитного диска планеты. Показано, что в большинстве случаев магнитное поле диска у «Горячих Юпитеров» преобладает над полем диполя, и именно оно в конечном итоге определяет характер и размер магнитосферы планеты. Более медленное, по сравнению с дипольным, убывание величины магнитного поля диска с расстоянием ($\sim 1/r^2$) приводит к большим размерам магнитосферы «Горячего Юпитера», на 40 - 70 % превышающим аналогичные размеры в случае «чисто дипольной»

магнитосферы. Таким образом, наличие магнитного диска вокруг близких к своим звёздам экзопланет-гигантов с расширяющимися атмосферами представляет собой важный элемент для понимания специфики взаимодействия этих планет со звёздным ветром, а также магнитосферной защиты их атмосфер.

ДАВЛЕНИЕ ПЛАЗМЫ В ОКРУЖАЮЩЕМ ЗЕМЛЮ ПЛАЗМЕННОМ КОЛЬЦЕ НА ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ ОТ 6 ДО 10 R_E ПО ДАННЫМ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА THEMIS

И.П. Кирпичев^{1,2}, Е.Е. Антонова^{2,1}

¹ *Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия*

² *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ, им. М.В. Ломоносова, Россия.*

Давление плазмы является основным параметром, определяющим крупномасштабную динамику магнитосферной плазмы. Градиенты давления определяют величину токов в плазме в условиях магнитостатического равновесия. Несмотря на длительную историю измерения параметров плазмы в высокоширотной магнитосфере, сравнительно плохо изучено распределение плазмы в окружающем Землю на геоцентрических расстояниях превышающих $6R_E$ плазменном кольце. Обычно ночная часть кольца считается частью плазменного слоя, хотя результаты экваториального спутника AMPTE/CCE показали, что давление плазмы до геоцентрических расстояний до $8.8R_E$ имеет близкую к аксиально симметричной конфигурацию. Результаты работы спутников проекта THEMIS позволяют восстановить структуру плазменного давления на больших геоцентрических расстояниях. Представлены результаты предварительного статистического анализа распределения плазменного давления и магнитного поля в экваториальной плоскости при $10 R_E > X_{SM} > -15 R_E$ и $15 R_E > Y_{SM} > -15 R_E$. Получено статистически усредненное распределение давления плазмы в окружающем Землю плазменном кольце. Проведено сравнение полученных результатов с результатами спутников AMPTE/CCE и GEOTAIL.

СОСТАВ B_y В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

А.А. Петрукович

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

По данным 11 лет наблюдений спутника GEOTAIL исследованы факторы, создающие магнитное поле B_y в плазменном слое хвоста магнитосферы Земли. Построена модель B_y , зависящая от ММП B_y , координат X , Y , и угла наклона диполя. Зависимость B_y от угла наклона диполя появляется, прежде всего, из-за наклона нейтрального слоя, создающего нечетный профиль соответствующей части B_y в зависимости от Y . Кроме того выделена часть B_y , положительно коррелированная с углом наклона диполя независимо от Y с амплитудой 1-2 нТл. В утреннем секторе все эти факторы компенсируют друг друга, а в вечернем складываются и при этом их суммарный эффект становится сравнимым с эффектом ММП. Эта сезонная вариация B_y создает азимутальную асимметрию хвоста магнитосферы. Проявления похожего эффекта наблюдались в картинах полярной конвекции и наблюдениях полярных сияний и, по всей видимости, связаны с градиентом проводимости полярной шапки. Кроме действия внешних факторов, обнаружено также усиление B_y , по сравнению с величиной, предсказываемой статистической моделью, обусловленное внутренней динамикой плазменного слоя. В результате формируется асимметричный хвост распределения B_y , в частности, приводящий к переоценке влияния внешних факторов.

ЕЩЕ РАЗ О НАПРАВЛЕННОМ К ЗЕМЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В ТОКОВОМ СЛОЕ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА

И.М. Подгорный¹, А.И. Подгорный²

¹*Институт Астрономии РАН, Москва, Россия, podgorny@inasan.rssi.ru,*

²*Физический Институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия.*

Одновременные измерения компонент электрического и магнитного полей и плотности тока при пересечении продольных токов, выполненные на аппарате ИКВ-1300, являются до сих пор единственными. При пересечении аппаратом пары продольных токов (направленных вверх и вниз) на ночной стороне было показано, что генератор продольных токов находится в хвосте, и что электрическое поле в геомагнитном хвосте направлено к Земле. Двужидкостный МГД анализ поведения плазмы в токовом слое объясняет генерацию электрического поля эффектом Холла. Эти измерения показали, что замыкание пары продольных токов происходит в ионосфере, а Западный электроджет расположен между парой продольных токов. Он представляет собой ток Холла, который генерируется разностью потенциалов между двумя слоями токов. Что касается тока в токовом слое, то он является следствием взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем Земли. Генератор тока локализован в пограничном слое между плазмой солнечного ветра и магнитным полем хвоста, и генерируемый ток замыкается током токового слоя, разделяющего половинки магнитного хвоста. Никакой другой причины формирования геомагнитного хвоста, кроме солнечного ветра, нет. Поэтому, расчет тока в токовом слое, исходя из дрейфового приближения при представлении геомагнитного хвоста как замкнутой самосогласованной системы, в которой магнитное поле формируется токами дрейфа частиц в стационарном электрическом поле, возникшем внутри самого хвоста, не представляется оправданным.

ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРОЕКЦИИ ВСПЫШЕК ПРОТОННЫХ СИЯНИЙ И ПЛАЗМОПАУЗЫ ВО ВРЕМЯ РЕЗКОГО СЖАТИЯ МАГНИТОСФЕРЫ СОЛНЕЧНЫМ ВЕТРОМ

А.Г. Яхнин, Т.А. Яхнина, Т.А. Попова

ПГИ КНЦ РАН, Анатиты

Во время скачков динамического давления солнечного ветра часто наблюдаются вспышки протонных сияний в дневной субавроральной области. Взаимосвязь этих вспышек с геомагнитными пульсациями в диапазоне ионно-циклотронных волн (широкополосными всплесками, появлением или усилением квазимонохроматических $Pc1$) указывает на то, что причиной протонных сияний является развитие в магнитосфере ионно-циклотронной неустойчивости и связанное с ней рассеяние частиц по питч-углам. Чтобы определить область, в которой развивается неустойчивость, мы сопоставили протонные сияния с положением плазмопаузы, которое определялось по модели V. Pierrard. Показано, что вспышки протонных сияний всегда проектируются в область между магнитопаузой и плазмопаузой. Экваториальный край вспышек протонных сияний, охватывающих широкий диапазон широт и связанных с широкополосными всплесками $Pc1$, в большинстве случаев приурочен к плазмопаузе. Такие вспышки и пульсации обычно наблюдаются при сильных сжатиях магнитосферы. В относительно слабых событиях, наблюдаются вспышки в довольно узком диапазоне широт и им соответствуют квазимонохроматические пульсации $Pc1$. Проекция экваториального края таких вспышек может либо совпадать с плазмопаузой, либо находиться от нее на значительном расстоянии. Таким образом, во время сильного сжатия магнитосферы, когда, как полагают, ионно-циклотронная неустойчивость развивается за счет быстрого роста анизотропии протонов кольцевого тока, по положению экваториального края протонных сияний можно диагностировать положение плазмопаузы. В случаях слабого сжатия магнитосферы, роста анизотропии может оказаться недостаточно для превышения порога неустойчивости. В таких случаях неустойчивость может развиваться в областях, где рост анизотропии «поддержан» наличием градиента холодной плазмы (плазмопауза или оторванные от плазмосферы облака холодной плазмы).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОТОНОВ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ВДОЛЬ ОРБИТЫ СПУТНИКА ИНТЕРБОЛ-1

Г.А. Котова, М.И. Веригин, В.В. Безруких, О.С. Акенътиева

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

Создана база данных, включающая плотность и температуру протонов, рассчитанные по данным прибора АЛЬФА-3/Интербол-1, сопутствующую информацию о координатах спутника, индексы солнечной активности и параметры солнечного ветра. На основе имеющихся данных, полученных в 1995-2000 гг., анализируются распределения температуры и плотности протонов в плоскости геомагнитного экватора и в меридиональной плоскости. Работа выполнена при частичной поддержке программ РАН ОФН15 и П4.

ПРЯМЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ НА СПУТНИКЕ ИНТЕРБОЛ-2

В.В. Афонин

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

1. На спутнике ИНТЕРБОЛ-2 при помощи сферического зонда Ленгмюра (прибор КМ-7) измерялись концентрация N_e и температура T_e электронов холодной (≤ 10 eV) плазмы во внутренней магнитосфере на высотах 2-3 RE. N_e и T_e определялись путем снятия вольт-амперных характеристик (ВАХ) зонда Ленгмюра. ВАХ измерялись каждые 5,12 с; за один типичный пролет северной полярной области регистрировалось ~ 2500 ВАХ. Каждая ВАХ состояла из 11 пар ток-потенциал зонда $I_p(U_p)$. Помимо передачи на землю ВАХ зонда $I_p(U_p)$ бортовой анализатор вычислял и передавал на землю T_e в цифровом виде. Величина T_e определялась по наклону полулогарифмической кривой $\log I_e(U_p)$, для чего на борту формировалась вольт-амперная характеристика электронной ветви ВАХ зонда путем вычитания из $I_p(U_p)$ ионного тока I_i , подбираемого так, что баланс токов на зонд выполнялся при наиболее отрицательном значении развертки $U_p = -15$ V. Технически ВАХ зонда измерялась путем подачи на зонд 11 фиксированных (логарифмически распределенных) значений тока смещения зонда и регистрацией плавающего потенциала.

2. Электронная ветвь зондовой характеристики $I_e(U_p)$ представляет собой интегральный спектр электронной компоненты плазмы, поэтому разность потенциалов U_p между 1-й и последней точками развертки ВАХ является «шириной» электронного спектра в заданном диапазоне токов.

3. При наличии в плазме процессов, приводящих к дополнительному нагреву ионной компоненты плазмы, в ВАХ зонда $I_p(U_p)$ появляются ионные токи, дополнительные к ионным токам максвелловского приближения, что приводит к характерным загибам вниз в области малых токов сконструированной на борту электронной ветви зондовой характеристики $I_e(U_p)$. Поэтому «сужение» спектра свидетельствует о наличии в плазме эффективного локального нагрева ионов или появления потоков ускоренных ионов. Приводятся результаты измерений, демонстрирующие этот эффект и распределение зон нагрева или ускорения ионов вдоль траекторий ИНТЕРБОЛ-2 при пролете северной высокоширотной области.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ТРУБОК ВБЛИЗИ ДАЛЬНОГО ШЛЕЙФА ВЕНЕРЫ

Т.А. Шахвердян и О.Л.Вайсберг

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

В работе рассмотрены измерения магнитного поля в дальнем шлейфе Венеры на космическом аппарате Пионер-Венера за 10 лет измерений (15 серий прохождения КА в зоне дальнего хвоста, ~ 10 RV). В качестве признака того, что измеряемое на этом расстоянии от Венеры магнитное поле может принадлежать силовой трубке, которая имеет сильную массовую нагрузку в области вблизи планеты, принят критерий близкого к оси X направления магнитного поля (прокси-параметр). В докладе приводятся результаты анализа распределения таких силовых трубок вблизи аккреционного хвоста Венеры.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ПУЛЬСАЦИЙ ТИПА КУП

А.А. Любчик

ПГИ, г. Анатиты, Россия, lubchich@pgia.ru

Численно моделируется генерация ионно-циклотронных волн убывающего периода (КУП) в модели бесстолкновительной двуионной плазмы, описываемой системой уравнений Власова-Максвелла. Предполагается, что генерация КУП происходит в вечернем секторе в процессе взаимодействия ионно-циклотронных волн с дрейфующим в фоновой плазме облаком энергичных ионов, инжектированных в ночном секторе в процессе развития суббури. Для описания распределения фоновых потоков энергичных ионов и распределения концентрации холодной плазмы используются эмпирические модели, описанные в литературе. Исследуются свойства КУП на различных L-оболочках в зависимости от характеристики инжектированных частиц. Показано, что ключевыми параметрами для генерации КУП являются начальная энергия инжектированных частиц и их питч-угловое распределение, а также питч-угловое распределение фоновых ионов. Показано, что результаты моделирования для параметров, соответствующих наблюдениям, согласуются с основными свойствами КУП.

КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ

П.А. Беспалов¹, М. Parrot², J. Manninen³

¹ *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

² *LPC2E/CNRS, Orleans, France*

³ *Sodankylä Geophysical Observatory, Finland*

В космических и наземных экспериментах показано существование естественных короткопериодических ОНЧ излучений, в которых отдельные спектральные элементы повторяются периодически с периодом от 2 до 7 секунд. На основе оригинальных экспериментальных данных определены основные морфологические свойства этих излучений. По нашему мнению возбуждение короткопериодических излучений происходит в результате эффектов квазилинейной релаксации, которые компенсируют дисперсионное искажение сигналов. Квазилинейная релаксация функции распределения энергичных электронов изменяет инкремент циклотронной неустойчивости, а с ним и спектральные формы ОНЧ излучений. Изучены некоторые особенности квазилинейного взаимодействия свистовых волн с электронными радиационными поясами. Показано, что при определенных условиях квазилинейная релаксация может увеличивать инкремент циклотронной неустойчивости на переднем фронте электромагнитного импульса. Такое эффективное насыщение поглощения обеспечивает разбиение шумового ОНЧ излучения на отдельные электромагнитные импульсы, форма которых сохраняется от импульса к импульсу. Обсуждаются некоторые свойства и проявления эффективного насыщения поглощения. Полученные результаты важны для лучшего понимания свойств пространственно-временной структуры ОНЧ излучений и потоков энергичных электронов.

[1] Bepalov P.A., Parrot M., Manninen J. Short-period VLF emissions as solitary envelope waves in a magnetospheric plasma maser//J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. V. 72. P. 1275-1281.

К ВОПРОСУ О СТАТИСТИЧЕСКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАЦИИ ДИСКРЕТНЫХ ХОРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Б.В. Козелов ¹, Е.Е. Титова ¹, А.Г. Демехов ², О. Сантолик ³

¹ Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

³ Институт атмосферной физики ЧАН, Прага, Чехия

Несмотря на то, что дискретные КНЧ-ОНЧ хоровые излучения изучаются уже более 50 лет, теоретически обоснован только один механизм их генерации, предложенный В.Ю. Трахтенгерцем (1995, 1999) на основе режима генерации магнитосферного циклотронного мазера типа лампы обратной волны (ЛОВ). Генерация низкочастотных волн в режиме ЛОВ связана с развитием абсолютной неустойчивости вблизи геомагнитного экватора и с появлением последовательности коротких квазимонохроматических дискретных сигналов. ЛОВ модель генерации хоровых элементов получила ряд экспериментальных подтверждений по данным современных спутниковых экспериментов. Так, недавно полученные по данным спутника CLUSTER значения безразмерного параметра q , который характеризует превышение электронного потока над порогом абсолютной неустойчивости, хорошо согласуются с численными расчетами (Демехов и Трахтенгерц, 2008) и достигают величин $q \sim 10$. Вместе с тем, кажется маловероятным, что такое большое превышение порога может постоянно поддерживаться в области генерации. Ранее было показано, что для объяснения статистических свойства последовательности хоровых элементов в рамках модели ЛОВ необходимо дополнительно учесть флуктуации функции распределения электронов, определяющей превышение порога генерации. В статье (Козелов и др., 2003) была предложена дискретная модель, которая позволяет воспроизвести ряд статистических особенностей динамики КНЧ-ОНЧ эмиссий по данным наземных наблюдений. Модель основана на том, что вблизи порога генерации при наличии шума в ЛОВ-генераторе должен возникать режим переключающей перемежаемости. Принимая во внимание шумоиндуцированный режим генерации, легко понять, что моменты генерации дискретных элементов являются экстремальными для параметров генератора. Поэтому распределение значений q - параметра в моменты генерации может существенно отличаться от среднего. Эти соображения проиллюстрированы на примере численной модели. Работы выполнены при поддержке Программы ОФН VI.15 "Плазменные процессы в солнечной системе".

[1]. Демехов А. Г., Трахтенгерц В. Ю. // Изв. вузов-Радиофизика. 2008. Т.51, №9. С. 977.

[2]. Козелов Б.В., Титова Е.Е., Любич А.А., Трахтенгерц В.Ю., Маннинен Ю. // Геомагнетизм и аэрономия, Т.43. №5. С.635-644, 2003.

[3]. Trakhtengerts V.Y. // J. Geophys. Res., V 100, P. 17205-17210, 1995.

[4]. Trakhtengerts V.Y. // Ann. Geophys., V.17, P. 95-100, 1999.

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ELF ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА FAST

И.В. Головчанская, Б.В. Козелов, И.В. Деспирак

ПГИ, КНЦ РАН, Россия.

Широкополосная турбулентность, регистрируемая низковысотными спутниками в ULF, ELF диапазонах частот (BBELF turbulence), исследована по измерениям электрических полей спутником FAST. Использованы данные с частотой дискретизации 500 с^{-1} , что соответствует $\sim 14 \text{ м}$ при переходе от доплеровских частот к пространственным масштабам. Методом дискретного вейвлет преобразования и определения наклона логарифмических диаграмм (ЛД), исследован индекс масштабирования электрических полей α на масштабах от 28 м до 3,6 км. Его оценка ($\alpha \sim 2$) в области высот порядка 1000 км в среднем согласуется с оценкой α , полученной ранее по данным спутников Dynamics Explorer 2 и ICB-1300 (разрешение $< 20 \text{ с}^{-1}$) для электрических флуктуаций в диапазоне масштабов 1-30 км. Показано, что степенной характер ЛД, характеризуемый найденным наклоном, продолжается вплоть до масштабов, сравнимых с инерционной длиной электрона λ_e . Полученное значение α не соответствует предсказаниям классических теорий турбулентности гидродинамического типа Колмогорова ($\alpha = 5/3$) и Ирошникова-Крайхнена ($\alpha = 3$), и, по-видимому, может быть объяснено теорией нелинейного взаимодействия инерционных альвеновских волн в нижней магнитосфере Земли (высоты $h < 4 R_E$).

МАГНИТНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРНОГО КАСПА: СТЕПЕННОЙ ЗАКОН ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ ОТ ВОЛНОВОГО ЧИСЛА

С. А. Романов

ИКИ РАН, sroman@iki.rssi.ru

Существующие модели МГД турбулентности предсказывают степенную зависимость энергии колебаний магнитного поля от волнового числа k . По результатам обработки измерений Кластера, выполненных в течение 20-и минутного пересечения области верхнего каспа, получено 300 спектров мощности $B^2(k, f)$. Часть из них относится к магнитослою, другие – собственно к каспу и его границам; значительная доля спектров получена также в плазменной мантии магнитосферы. Примененная методика обработки позволила установить замечательные свойства k – спектров в исследуемых областях. Каждому волновому числу в этих спектрах соответствуют две волны, имеющие разные частоты в системе отсчета плазмы и противоположно направленные k – векторы. Большинство спектров, а также энергетические распределения в зависимости от k , построенные по 40 соседним спектрам, характеризуются ярко выраженной анизотропией, связанной с фоновым магнитным полем. Характер анизотропии в магнитослое перед магнитопаузой соответствует более быстрому каскадированию энергии флуктуаций вдоль $k_{\perp}$ и медленному вдоль $k_{\parallel}$. Кроме того, практически все спектры содержат особенности, связанные с ионно-циклотронными и гибридными резонансами. Аппроксимация зависимости $B^2(k)$ одномерным степенным законом с усреднением по всем направлениям, дала значения показателя степени $\gamma = -1.72 \pm 0.15$ по всей области наблюдения. Эта средняя величина лишь на 3% отличается от колмогоровского

степенного закона с показателем $-5/3$. Таким образом, удалось показать, что, несмотря на анизотропию и наличие циклотронных резонансов, область значений длин волн от ~ 20 до ~ 2000 км (k от ~ 0.003 до 0.3 рад/км) соотносится по своим свойствам с инерционной областью МГД моделей.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА КЛАСТЕР

М.В. Степанова¹, Е.Е. Антонова^{2,3}, И.Л. Овчинников²

¹ *Университет Сантьяго де Чили, Чили*

² *НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия*

³ *Институт Космических Исследований РАН, г.Москва, Россия*

Приведены результаты анализа устойчивости турбулентного плазменного слоя по данным проекта КЛАСТЕР. Согласно работам Антоновой и Овчинникова (1996, 1999), турбулентный плазменный слой формируется при достижении равновесия между турбулентным и регулярным переносами поперек плазменного слоя. При этом турбулентный перенос приводит к расширению слоя, а регулярный перенос - к его сжатию. Величины коэффициента квазидиффузии, концентрации частиц и регулярной скорости плазмы были получены по данным проекта КЛАСТЕР. Величина поля утрачено оценена по данным сети радаров СУПЕРДАРН. Получено хорошее количественное совпадение между полученными результатами и предсказаниями теории, что включает не только толщину плазменного слоя но и распределение магнитного поля по его толщине.

С Е К Ц И Я «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОХОЖДЕНИЕ РЕЗКИХ И БОЛЬШИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПЛОТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ЧЕРЕЗ МАГНИТОСЛОЙ

Л.С. Рахманова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, amica1106@rambler.ru

² НИИЯФ им. Д.В. Скобелевича, МГУ, г. Москва, Россия

Магнитослой, являясь интерфейсом между солнечным ветром и магнитосферой, определяет интенсивность и характер воздействия неоднородностей солнечного ветра и межпланетного магнитного поля на магнитосферу существенно модифицируя их. Поэтому весьма важно исследовать, каким образом разного рода возмущения солнечного ветра распространяются через магнитослой до магнитопаузы. В данной работе проведено изучение прохождения отдельных мелкомасштабных вариаций солнечного ветра через турбулентный магнитослой на базе экспериментальных данных известного пятиспутникового проекта Themis. Орбиты этих спутников устроены таким образом, что можно выбрать конфигурацию, когда как минимум один спутник находится в солнечном ветре и как минимум один в магнитослое. Для анализа выбирались достаточно резкие (длительностью не более нескольких минут) и достаточно большие (с изменением не меньше чем на 20%) скачки плотности солнечного ветра, которые можно однозначно выделить как на фоне спокойного невозмущенного ветра (СВ), так и на фоне сильно флуктуирующего магнитослоя (МСЛ) одновременно на двух или более спутниках. Сопоставление изменений в этих двух областях плотности плазмы и амплитуды магнитного поля для одного и того же события позволяет утверждать, что при прохождении через околоземную ударную волну и движении по магнитослою такие структуры сохраняют достаточно резкие границы и форму, однако амплитуда скачка и длительность его фронта могут меняться при переходе из одной области в другую (причем по-разному для плотности плазмы и величины магнитного поля). В докладе анализируются эти различия для нескольких изученных событий.

МИНИ МАГНИТОСФЕРА: ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛЬ

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

Отдел лазерной плазмы, Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск

В последние годы появилось ряд проблем, связанных с формированием мини-магнитосферы. Мини-магнитосфера возникает, когда малое небесное тело как астероид, локальная область на поверхности Луны или Марса, или искусственный аппарат обладают собственным магнитным полем. На масштабах ионного гиоррадиуса или ионного скина взаимодействие Солнечного ветра с локальным магнитным полем значительно отличается от хорошо известных планетарных магнитосфер из-за кинетических и двух жидкостных эффектов. В настоящей работе эта проблема изучается методами лабораторного эксперимента, 3D PIC численного моделирования и аналитического анализа. Разработанная Холловская модель показывает, каким образом масштаб магнитосферы и точка остановки плазмы изменяются от МГД размера по балансу давлений до радиуса

Штермера. Приводятся данные лабораторных измерений специфичной компоненты магнитного поля, генерируемой Холловским членом. Ряд экспериментов в режимах с малой и большой ионной плазменной длиной обнаружили значительную разницу в точке остановки плазмы. Проведено численное моделирование, которое оказалось в хорошем согласии с данными эксперимента и предсказаниями аналитической модели. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН проект 2.3.1.10, Российского фонда фундаментальных исследований проекты 09-02-13578 и 09-02-00492, и Программы ОФН РАН VI.15 Плазменные процессы в солнечной системе.

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ТОКОВОМ СЛОЕ ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Р.А. Ковражкин¹, М.С. Долгоносов¹, Ж.-А. Сово²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Центр исследований космических излучений ЦНРС, Тулуза, Франция.

Проведен анализ распределения субструктур энерго-диспергированных форм VDIS, наблюдаемых вблизи полярного края ночной авроральной зоны с энергиями 1-30 кэВ, причем для каждой следующей к полюсу субструктуры её энергия больше, чем для предыдущей, имеющей более экваториальную инвариантную широту. Осуществлены экспериментальные проверки механизма неадиабатического ускорения и «резонансной» генерации ионных пучков (бимлетов) в тех областях токового слоя хвоста магнитосферы, из которых ионы распространяются к Земле. Для этих областей теоретически был предсказан универсальный закон, связывающий энергию ионов $W(N)$ с номером резонансной области $N=1,2,3,\dots$: $\ln W(N) \sim 1.33 \cdot \ln N$ [1]. Экспериментальные результаты по данным независимых экспериментов ИОН (спутник ИНТЕРБОЛ-2) и CIS (спутники CLUSTER) показывают, что при линейной аппроксимации кривых связи энергии ионов с номером субструктуры VDIS ($\ln W(N) = A \cdot \ln N + B$) наклон A изменяется в диапазоне 0.66-1.95, т.е. отличается от теоретического значения 1.33. Учет электрического поля E_z , перпендикулярного токовому слою, как показывают результаты численного моделирования, приводит к вариациям наклона A [2]. Однако для объяснения экстремальных величин A , полученных в экспериментах, требуется, вероятно, учет дополнительных факторов, влияющих на процессы формирования областей, генерирующих ионные пучки в токовых слоях хвоста магнитосферы.

[1]. Л.М.Зеленый, М.С.Долгоносов, Е.Е. Григоренко, Ж.-А. Сово, Письма в ЖЭТФ, 85, 4, 225-231, 2007.

[2]. M.S. Dolgonosov, G.Zimbardo, and A. Greco(2010) J. Geophys. Res, 115, A02209, doi: 10.1029/2009JA014398.

ЭНЕРГО-ДИСПЕРГИРОВАННЫЕ ИОННЫЕ СТРУКТУРЫ VDIS И TDIS КАК ИНДИКАТОРЫ МОДИФИКАЦИИ ПОГРАНИЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ

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

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Центр исследований космических излучений ЦНРС, Тулуза, Франция.

Исследована динамика поведения пограничного плазменного слоя (ППС) при переходе от магнитоспокойных к суббуриевым периодам в магнитосфере Земли. Показано, что индикатором изменения ППС может служить появление энерго-диспергированной ионной структуры VDIS (Velocity Dispersed Ion Structure) или TDIS (Time of flight Dispersed Ion Structure) в приполярной области авроральной магнитосферы. VDIS представляет собой глобальную ионную структуру, энергия в которой увеличивается с увеличением полярной широты, в то время как TDIS состоит из нескольких рекуррентных инжекций с периодом 2-4 мин, дисперсия энергии в которых наблюдается во всем диапазоне для каждой инжекции и не зависит от широты. Переходы VDIS в TDIS и TDIS во VDIS в зависимости от геомагнитной активности удалось обнаружить по данным спутников ИНТЕРБОЛ-2 и CLUSTER на высотах (2-4) R_E при двойном пересечении авроральной зоны на одном и том же витке спутника. Исследовано уникальное событие перехода VDIS в TDIS на одном сечении авроральной области по данным двух спутников CLUSTER, движущихся с задержкой 20 мин. относительно друг друга. Анализ энергетического распределения электронов вблизи полярного края авроральной зоны показывает, что в магнитоспокойные периоды, соответствующие появлению VDIS, наблюдаются низкоэнергичные электроны со средней энергией 0.2-0.8 кэВ, а в периоды начала и фазы экспансии суббури, соответствующие появлению TDIS, наблюдаются более энергичные электроны со средней энергией 2-5 кэВ. Наличие низкоэнергичных электронов в периоды регистрации VDIS интерпретируется как характерный признак существования классического ППС, а появление резкого повышения средней энергии электронов в периоды регистрации TDIS – как «схлопывание» т.е. уменьшение области ППС в хвосте магнитосферы и приближение её к Земле.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОНЧ ХОРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ЛАМПЫ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ В МАГНИТОСФЕРЕ

**Е.Е. Титова^{1,2}, Б.В. Козело¹, А.Г. Демехов³, О. Сантолик⁴, Э. Мацушова⁴,
Ж.-Л. Рош⁵, Ж.-Г. Тротиньон⁵, Д. Гарнет⁶, Ж. Пикет⁶,**

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия,

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³ ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия,

⁴ Карлов Университет, Прага, Чешская республика,

⁵ LPCE/CNRS, Орлеан, Франция,

⁶ Университет Айова, Айова, США,

Механизм генерации хоровых эмиссий был предложен В.Ю.Трахтенгерцем (1995, 1999) на основе нового режима магнитосферного циклотронного мазера типа лампы обратной волны (ЛОВ). Согласно модели ЛОВ резкий градиент (типа ступеньки) на функции распределения электронов является наиболее важным фактором, определяющим генерацию хоровых излучений, однако, как показывают оценки параметров ступеньки, измерить такую деформацию функции распределения современными приборами не представляется возможным. Вместе с тем, свойства ступеньки в модели ЛОВ определяют параметр q , характеризующий превышение электронного потока над порогом абсолютной неустойчивости. С этим параметром, в свою очередь, связаны наклоны хоровых элементов, которые можно измерить и таким образом получить косвенные данные о свойствах перепада на функции распределения. Используя измерения ОНЧ хоров, выполненные широкополосным приемником WBD, а также измерения плотности электронов прибором WHISPER на спутниках CLUSTER, мы определили значения и вариации наклонов хоровых элементов и по этим результатам вычислили параметр q в экваториальной области источника. Найдено, что значения параметра $q \approx 5 - 10$ и не зависят от плотности холодной плазмы, что согласуется с результатами численного моделирования хоровых элементов на основе модели ЛОВ. Во время прохождения спутниками CLUSTER области генерации наблюдался значительный разброс значений наклонов хоровых элементов и параметра q . В докладе обсуждается связь разброса значений параметра q с характеристиками ступеньки на функции распределения электронов.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МАКСИМУМА АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ Pc1 И ПРОТОННЫХ СИЯНИЙ В СУБАВРОРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ.

Т.А. Яхнина и А.Г. Яхнин

ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия.

«Пятна» протонных сияний в субавроральной области являются отображением на ионосферном «экране» области источника пульсаций Pc1. Для нескольких событий положение таких «пятен» сопоставлено с распределением амплитуды пульсаций Pc1, определенным по данным меридиональной сети индукционных магнитометров, расположенных в Финляндии и на арх. Шпицберген. Показано, что максимум амплитуды пульсаций расположен в области «пятна». В событии, когда наблюдалось одновременно два пятна, амплитудное распределение отличалось на разных частотах: на более низких (высоких) частотах максимум был связан с пятном протонного свечения на большей (меньшей) широте. Взаимосвязь максимума амплитудного распределения Pc1 и протонных сияний является дополнительным аргументом в пользу того, что локализованные протонные высыпания, действительно, связаны с развитием в магнитосфере ионно-циклотронной неустойчивости, и, с другой стороны, указывает на продольное (дактированное) распространение ионно-циклотронных волн в магнитосфере. Информация о положении источника Pc1 позволяет более корректно судить и об ионосферном распространении Pc1, в частности, определять затухание таких волн в ионосферном волноводе. Для других типов геомагнитных пульсаций в диапазоне ионно-циклотронных волн (колебаний убывающего периода, широкополосных всплесков Pc1) взаимосвязь положения протонных сияний и максимума амплитуды пульсаций также имеет место.

СРАВНЕНИЕ РАЗВИТИЯ ДВУХ МАГНИТОСФЕРНЫХ СУББУРЬ В СОБЫТИЯХ 1 АВГУСТА 1998 г.

Н.Л. Бородкова¹, В.А. Пархомов²

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

² *ГОУВПО Байкальский государственный университет экономики и права.*

Проведено исследование двух последовательных суббурь, произошедших 1.VIII.1998 г. с интервалом в один час при разных условиях в солнечном ветре. B_z компонента межпланетного магнитного поля была стабильно отрицательной в течении обоих событий, однако динамическое давление солнечного ветра за несколько минут до начала второго события сильно и резко возросло до ~ 14 нПа и в последующем продолжало увеличиваться, претерпевая кратковременные вариации. Первая суббуря, начавшаяся в 17.36.20 – 17.36.47 UT, являлась типичной суббурей, которой предшествовал псевдобрейкап. Оба явления, псевдобрейкап и суббуря, укладываются в рамки модифицированной NENL модели. Признаки, присущие типичной суббуре, были обнаружены и у второй суббури, начавшейся в 18.30.18-18.30.45 UT. К ним можно отнести возникновение Pi2 пульсаций и инжекций энергичных электронов, образование быстрых усилений авроральной эмиссии и продольных токов токового клина суббури. Однако, развитие второй суббури протекало с сильными особенностями, обусловленными тем, что магнитосфера была сжата повышенным динамическим давлением солнечного

ветра. Особенностью данной суббури являлась ее локализация на широтах вблизи полярной границы овала в послеполуночном секторе. Другой особенностью развития суббури являлись усиление и глобальная модуляция магнитосферных токовых систем и управление развитием данной суббури внешним параметром – динамическим давлением солнечного ветра.

МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭПИЦЕНТРА ВЗРЫВНОЙ ФАЗЫ СУББУРИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА НАЗЕМНОЙ СЕТИ МАГНИТОМЕТРОВ

С.А. Сюсюкалов¹, В.А. Пилипенко², С. Климанов¹

¹ *МИФИ, г. Москва, Россия*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Разработан метод восстановления амплитудного и фазового фронтов УНЧ возмущений (диапазон Pi1-2 геомагнитных пульсаций) по данным сети наземных магнитометров. Алгоритм основан на комплексном вейвлет-преобразовании и двумерной интерполяции вейвлет-коэффициентов. Фронты возмущения представляются в виде 2D поверхностей вейвлет-коэффициентов на выбранной частоте для последовательных моментов времени. Получены динамически-изменяющиеся с малым временным шагом картины вейвлет-коэффициентов для модельного возмущения, подтверждающие возможность нахождения его источника при помощи вейвлет-интерполяции. Метод применен для определения кажущегося ионосферного источника Pi1-2 возмущений во время развития взрывной фазы суббури по данным сети CARISMA. Используемый алгоритм позволяет эффективно рассчитать локализацию источника, оценить механизм распространения возмущений в разных частотных диапазонах, и даже выделить УНЧ "предвестник" суббури.

ВОЗРАСТАНИЯ ПОТОКОВ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ГРАНИЦ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

М.В. Караваев¹, М.О. Рязанцева^{1,2}, И.Н. Мягкова¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, Б.В. Марьин¹

¹ *НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, michael23j@mail.ru*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

Внешний электронный пояс испытывает значительные вариации даже во время слабых геомагнитных возмущений. Особенно подвержена изменениям полярная граница внешнего радиационного пояса. В данной работе производится сопоставление данных спутников Метеор-М №1 и Коронас-Фотон с целью выяснения локализации относительно аврорального овала квазистационарных (наблюдающихся в течении нескольких часов) возрастных потоков энергичных электронов (с энергиями 200-1000 KeV) на полярных границах внешнего электронного радиационного пояса. По данным ИСЗ Коронас-Фотон выделены случаи многократного наблюдения таких высыпаний на нескольких последовательных витках орбиты. С использованием данных почти одновременных наблюдений низкоэнергичных (0.3-16КэВ) электронов на ИСЗ Метеор-М №1 показано, что возрастные потоки энергичных электронов к полюсу от внешней границы внешнего радиационного пояса локализованы на широтах аврорального овала, т.е. в области повышенной турбулентности в широком диапазоне частот и масштабов, в которой возможно возникновение турбулентного ускорения. Обсуждена возможность о

формирования квазистационарных возрастных в локальных ловушках магнитного поля. Для получения вышеуказанных результатов был разработан комплекс программ для обработки, анализа и сопоставления данных экспериментов Коронас-Фотон и Метеор-М №1.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ НАЗЕМНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ И ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ В БЛИЖНЕМ ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ

**Н.Г. Клейменова^{1,2}, О.В. Козырева¹, М.В. Успенский³,
К. Кауристи³, А.А. Власов³**

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kleimen@ifz.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ Финский Метеорологический институт, Хельсинки.

Представлены результаты комплексного анализа наблюдений утренних геомагнитных пульсаций Pc5 (T~3-8 мин) 18 января 2008 г. (04-06 UT, при B_z ММП >0) на сети скандинавских магнитометров IMAGE и наблюдений вариаций электрического поля и скорости конвекции в ионосфере Земли на высокоширотном радаре EISCAT (Шпицберген). Данные наземных наблюдений сопоставлены с данными регистрации вариаций магнитного поля и заряженных частиц на спутниках THEMIS (P3, P4 и P5), находящихся в ближнем хвосте магнитосферы на расстояниях 9-12 Re. Обнаружено, что резкое начало генерации резонансных геомагнитных пульсаций Pc5 произошло после одновременного импульса в T_e и T_i по данным радара EISCAT. Генерация пульсаций внезапно прекратилась с появлением большого положительного импульса в N_e и резкого уменьшения T_e и T_i . Возбуждение Pc5 пульсаций сопровождалась развитием аврорального брейкапа вблизи границы полярной шапки. На спутниках THEMIS в это время наблюдался положительный импульс в B_z и дрейфующий к Земле всплеск в N_e . Вариации в N_i были в противофазе с вариациями в T_i . В ночном секторе магнитосферы на земной поверхности в это время регистрировались одновременные всплески геомагнитных пульсаций Pi2.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ. КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ВНЕ И ВНУТРИ МАГНИТОСФЕРЫ

Н. В. Ягова¹, В. А. Пилипенко^{1,2}, Л. Н. Баранский¹

¹ ИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН, nyagova@yandex.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Работа посвящена изучению спектров высокоширотных геомагнитных возмущений Pc5/Pi3 диапазона. Показано, что в отличие от спектральной мощности, высшие моменты спектрального распределения Pc5/Pi3 и особенно спектральный наклон меняются практически независимо от параметров плазмы солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, измеренных перед ударной волной. Показано, что фоновый уровень высокоширотных Pc5/Pi3 существенным образом связан с уровнем возмущений давления плазмы и магнитного поля в магнитослое, а мощность возмущений в магнитослое существенным образом влияет на наклон и форму спектра Pc5/Pi3 внутри магнитосферы.

ИСКАЖЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЛАЗМЫ И ТОКОВЫЕ СИСТЕМЫ МАГНИТНОЙ БУРИ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

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

² НИИЯФ им. Д.В. Скобелыцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

Получены решения нелинейной задачи о возмущении магнитного поля диполя заданным осесимметричным распределением давления горячей плазмы. Определены радиальные профили возмущения магнитного поля, объемов магнитных силовых трубок и плазменного параметра. Показано, что искажения магнитного поля плазменным давлением во время магнитосферной бури является существенным фактором, приводящим к отклонениям от соотношения Десслера-Паркера-Скопке. Полученные решения применены к описанию большой магнитной бури февраля 1986 г., при которой были получены радиальные профили давления в дневные часы на спутнике AMPTE/CSE. Показано, что симметричная компонента кольцевого тока обеспечивает основной вклад в Dst вариацию.

НАГРЕВ ИОНОСФЕРНЫХ ИОНОВ НА ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Представлены результаты анализа измерений параметров плазмы и электромагнитных полей, сделанных на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 во время геомагнитных возмущений. Показано, что в околополуночном секторе в момент пересечения полярной границы аврорального овала наблюдаются ионосферные ионы H⁺ и O⁺ с энергиями достигающими несколько кэВ. На границе овала скорости ионов имеют пич-угловое распределение близкое к 90 градусам, что говорит о локальном поперечном нагреве данных ионов. Из анализа измерений следует, что ионы испытывают нагрев со скоростью 100 эВ/с. Предложен механизм, связанный с инжекцией плазмы из хвоста магнитосферы и пространственного разделения электронов и ионов на этой границе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РАСПАДАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЫ ЭЦР РАЗРЯДА В НАРАСТАЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

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

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,
mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru*

Генерация вспышек электромагнитного излучения, связанных с взрывным развитием циклотронных неустойчивостей магнитоактивной плазмы, и сопровождающихся высыпанием энергичных частиц из ловушки, наблюдается в широком диапазоне параметров плазмы в самых разнообразных условиях: в магнитосферах Земли и планет, в солнечных корональных петлях, а также в лабораторных магнитных ловушках. Большое влияние на процессы генерации электромагнитных волн при циклотронной неустойчивости оказывает действие переменных во времени и пространстве магнитных полей. Одним из механизмов ускорения частиц может быть адиабатическое магнитное сжатие плазмы, который наблюдается на подготовительных стадиях солнечных вспышек, а также в условиях радиационных поясов Земли. Данная работа посвящена исследованию циклотронной неустойчивости в разреженной плазме в нарастающем магнитном поле. Эксперименты проводились в плазме, создаваемой и поддерживаемой мощным миллиметровым излучением гиротрона в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке в условиях электронного циклотронного резонанса (ЭЦР разряд). Нагрев в условиях ЭЦР позволяет создавать двухкомпонентную плазму, содержащую плотную холодную компоненту с изотропным распределением по скоростям, и менее плотную компоненту горячих электронов с анизотропной функцией распределения (с преобладанием поперечной по отношению к магнитному полю кинетической энергии над продольной). В такой плазме развитие неустойчивости определяется существенным различием во временах жизни в ловушке горячей и холодных компонент плазмы. После выключения ЭЦР нагрева плотность холодной компоненты плазмы быстро уменьшается, тем самым создаются условия для возбуждения волн, распространяющихся поперек магнитного поля. В ходе эксперимента были зарегистрированы квазипериодические всплески импульсных высыпаний энергичных электронов синхронно с импульсами СВЧ излучения плазмы в направлении перпендикулярном магнитному полю ловушки. Исследования спектрального состава показали, что вспышки электромагнитного излучения генерируются на частотах, заметно превышающих значение гирочастоты электронов в центре ловушки. При этом частота регистрируемого электромагнитного излучения увеличивалась пропорционально максимальной напряженности магнитного поля в системе. В течение времени после окончания СВЧ импульса и до возникновения неустойчивости (несколько мс) напряженность магнитного поля существенно увеличивалась. При этом осуществлялась накачка энергии в горячую анизотропную компоненту электронов. Продемонстрировано, что адиабатическая компрессия является эффективным механизмом ускорения электронов, что приводит к более интенсивному развитию циклотронных неустойчивостей.

МУЛЬТИКОМПОНЕНТНАЯ ПЛАЗМА В МАГНИТОСФЕРАХ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В.В. Тёмный

*ИИЕТ РАН, г. Москва, Россия, temnyy@ihst.ru;
vladtemnyi@gmail.ru.*

Измерения плазмы в магнитосфере Земли ведутся уже более полувека [Грингауз, 1960]. В плазмосфере, рассматриваемой как продолжение её ионосферы, установлен спад концентрации плазмы к её границе и определена температура ионов $T_{ip} \sim \text{эВ}$. Вне плазмопаузы регистрировалась значительно меньшая концентрация плазмы ($n_{ip} < 10 \text{ см}^{-3}$) с более высокой температурой $T_i \sim 10 \text{ эВ}$. Потоки электронов с $E_e > 300 \text{ эВ}$ и протонов с $E_p > 5 \text{ МэВ}$ были отнесены к захваченным частицам радиационных поясов, поскольку их концентрация была $\ll$ плотности и, и внеплазмосферной плазмы. Ситуация изменилась после обнаружения в магнитосфере Земли захваченных ионов с $E \sim 100 \text{ кэВ}$ – «кольцевых токов» [Davis, Williamson, 1963, 1966; Болюнова и др., 1965, 1966]. Их концентрация n_{kt} вне плазмосферы оказалась соизмеримой с n_{ip} , а плотность энергии $\epsilon_{kt} (= n_{kt} E_i) \gg n_{ip} T_{ip}$. Попытка рассматривать n_{kt} как горячий компонент магнитосферной плазмы не получил признания даже после определения её температуры T_{ikt} на основе функций распределения. Они были получены из первичных данных эксперимента AMPTE [Temny 1984, 1985, 1986; Тёмный, 1987] и публикаций переводов результатов AMPTE в сборнике «Энергичные частицы в магнитосфере Земли» под редакцией В.В.Мигулина [Москва, «Мир». 1990. 440 стр.]. Применение усовершенствованных спектрометров плазмы на КА PIONEER-10 & -11 VOYAGER-1 & -2 дало возможность определить в магнитосферах планет-гигантов Солнечной Системы плотности энергии горячей $\epsilon_{i \text{ hot}} (= n_{i \text{ hot}} T_{i \text{ hot}})$ и $\epsilon_{i \text{ cold}} (= n_{i \text{ cold}} T_{i \text{ cold}})$. В магнитосферах Юпитера и Сатурна $\epsilon_{i \text{ hot}} (с T_{i \text{ hot}} \sim \text{десятки кэВ}) > \epsilon_{i \text{ cold}} (с T_{i \text{ cold}} \sim \text{кэВ})$ [Frank. et al. 1975, 1980; Richardson et al., 1986]. В магнитосферах Урана и Нептуна $\epsilon_{i \text{ hot}} \sim \epsilon_{i \text{ cold}}$ [Mauk et al., 1987; McNutt et al., 1987; Richardson et al., 1990]. Существуют аргументы в пользу ионосферных источников горячей плазмы в магнитосферах планет-гигантов. Этот вывод можно отнести и к горячим ионам кольцевого тока магнитосферы Земли.

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ ХОРОВЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРАХ ЗЕМЛИ, ЮПИТЕРА И САТУРНА

А. Г. Демехов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Проведено сопоставление параметров хоровых излучений в магнитосферах различных планетах (Земля, Юпитер, Сатурн) с предсказаниями модели магнитосферной лампы обратной волны. Результаты обработки экспериментальных данных по хоровым излучениям в магнитосферах этих планет и их сравнения с теорией, основанной на переходе циклотронной неустойчивости в магнитосфере в режим лампы обратной волны, позволяют сделать важный вывод о наличии определенной универсальности параметров этого режима. В частности, безразмерный параметр, характеризующий превышение порога абсолютной неустойчивости, которая приводит к генерации дискретных излучений, оказался близким для различных планет и по порядку величины равным 10. Это согласуется с полученными нами ранее результатами численных расчетов, в соответствии с которыми близкое значение параметра превышения порога неустойчивости необходимо для формирования дискретных элементов, поскольку при этом электроны успевают совершить несколько нелинейных осцилляций в поле волны за время прохождения области нелинейного взаимодействия.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ САТУРНА В МАГНИТОСФЕРУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ММП

**Е.С. Беленькая¹, S.W.H. Cowley², J.D. Nichols², И.И. Алексеев¹,
М.С. Блохина¹, В.В. Калегаев¹**

¹ ИЯФ им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
(elena@dec1.sinp.msu.ru),

² Department of Physics & Astronomy, University of Leicester, Leicester LE1 7RH, UK.

Исследуется влияние межпланетного магнитного поля (ММП) на формирование магнитосферы Сатурна и на связь вдоль магнитных силовых линий экваториальной магнитосферы с магнитопаузой и/или полярными областями. Это позволяет определить соответствие между различными участками наблюдаемых полярных сияний и зонами магнитосферы/магнитопаузы, что дает возможность судить о природе свечений. Изучается период времени с 12 по 15 февраля 2008 г., когда УФ снимки полярных сияний в южном полушарии Сатурна были получены при помощи космического телескопа Хаббл, а космический аппарат Кассини измерял ММП в солнечном ветре вблизи дневного сектора головной ударной волны. Это позволило получить надежные данные по межпланетному магнитному полю, контролирующему динамику полярных сияний Сатурна. Вычисления структуры магнитосферного магнитного поля и границы между открытыми и замкнутыми силовыми линиями на ионосфере для усредненных векторов ММП, соответствующих (с определенным временем запаздывания) выбранным УФ снимкам полярных сияний, проводились в параболоидной модели магнитосферы. Проведенное исследование позволяет определить локализацию в магнитосфере и/или на магнитопаузе областей, связанных с сияниями на приполярном и приэкваториальном краях полярного овала Сатурна.

МАГНИТОСФЕРЫ «ГОРЯЧИХ» ЮПИТЕРОВ С МОЩНЫМ МАГНИТОДИСКОМ

И.И. Алексеев¹, Е.С. Беленькая¹, В.В. Калегаев¹, М.Л. Ходаченко²

¹ *НИИЯФ МГУ,*

² *Институт космических исследований, Грац, Австрия.*

Рассмотрено формирование магнитодиска в магнитосфере экзопланеты гиганта типа магнитосферы Юпитера в Солнечной системе. Рассмотрено расширение внешней атмосферы во вращающемся дипольном поле из-за эффекта убегания надтепловых молекул после их ионизации и ускорения ионов до сверхальвеновских скоростей. Максимальное значение скорости ковращения на экваторе дипольной силовой линии и минимум магнитного поля там же приводит к вытягиванию силовых линий и формированию тонкого токового диска в экваториальной плоскости. Подобная структура наблюдалась в солнечной системе при пролетах КА через магнитосферу Юпитера и во время работы КА Галилео в качестве искусственного спутника Юпитера. В случае Юпитера основным источником плазмы магнитодиска считаются ионизованные выбросы вулканов Ио, а в предлагаемой нами модели источником плазмы является «полярный» ветер над верхней атмосферой экзопланеты. В рассматриваемую модель магнитосферы экзопланеты помимо токов магнитопаузы, токовой системы хвоста и плоского дискообразного тока в экваториальной плоскости добавлена токовая система Альфвена. Эта токовая система является результатом работы униполярного генератора во вращающемся дипольном поле, она образована вытекающими из ионосферы токами в районе ближнего к планете края магнитодиска, радиально растекающимися токами в экваториальной плоскости, втекающими токами на внешнем краю диска и замыкающими меридиональными ионосферными Педерсеновскими токами. Для рассмотренной модели магнитосферы экзопланеты получена проекция вдоль магнитного поля высокоширотных областей ионосферы в удаленный хвост и на экваториальную плоскость.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА УНЧ ВОЛН В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА СПУТНИКАХ THEMIS

К.А. Меликян¹, В.А. Пилипенко^{1,2}, О.В. Козырева¹

¹ *ИФЗ РАН, г. Москва, Россия*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

Проанализированы колебания диапазона Pc5, зарегистрированные магнитометрами на 5 спутниках Themis в начальной фазе проекта в 2007 г., когда орбиты соответствовали конфигурации pearl-on-string. По-существу, эти наблюдения можно рассматривать как градиентную установку в космосе. Анализ данных градиентных измерений позволил определить локальную пространственно-временную структуру волн и выявить их физическую природу. Изучить связь между УНЧ волнами в магнитосфере Земли и их наземным откликом по данным мировой сети магнитометров.

МЕХАНИЗМЫ РАДИОЭМИССИИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАЗМЫТОГО ПО СКОРОСТЯМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПЛАЗМЕ

Д.М. Карфидов

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

Измерены характеристики радиоизлучения при взаимодействии размытого по продольным скоростям электронного пучка с водородной и аргоновой плазмой. Установлена обратная пропорциональность порогового плазменного поля квадратному корню из массы ионов, что подтверждает ранее высказанное предположение о рассеянии плазменных волн на нетепловых флуктуациях плотности ионов в качестве механизма радиоэмиссии. Показано, что, в отличие от излучения на плазменной частоте, излучение на второй гармонике не может быть объяснено в рамках теории слабой турбулентности. В качестве сильнотурбулентного механизма генерации второй гармоники рассматривается когерентное излучение из ленгмюровских каверн. Образование каверн, в свою очередь, приводит к стабилизации пучка, но не оказывает существенного влияния на характеристики излучения на плазменной частоте.

ОСОБЕННОСТИ ЗАРЯЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ В ПЕРИОД НИЗКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ СПУТНИКА ИНТЕРБОЛ-2

Н.Ф. Смирнова¹, Т.М. Мулярчик¹, Г. Станев², С.А. Терехов³

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Институт космических и солнечно-земных исследований БАН, София, Болгария

³ Специальное конструкторское бюро космического приборостроения
ИКИ РАН, г. Таруса, Россия

Заряжение космических аппаратов главным образом определяется положением орбиты и влиянием космической погоды. Интербол-2 был выведен на орбиту (апогей 19211 км, перигей 769 км) через три месяца после начала 23-го цикла солнечной активности. Представленные результаты основываются на данных, полученных с октября 1996 г. по март 1998 г. Сопоставление одновременных измерений потенциала спутника Интербол-2 зондовыми приборами ИЭСП-2 (измеритель электрических полей) и КМ-7 (датчик электронной температуры) позволяет оценить величину плотности фотоэлектронного тока на спутнике Интербол-2. Фотоэлектронная плотность тока находится, как правило, в диапазоне $1.8 \div 3.6 \text{ пАсм}^{-2}$, т.е. имеет значения, определенные для ионосферных спутников, но фотоэлектронный ток на спутнике Интербол-2 возрастает со временем функционирования аппарата в космосе, что характерно для магнитосферных спутников, в феврале-марте 1998 года фотоэлектронная плотность тока находилась в диапазоне $3.6 \div 4.0 \text{ пАсм}^{-2}$. Пониженные значения фототока с поверхности Интербол-2 можно объяснить функционированием спутника в период глубокого минимума солнечной активности и орбитой с низким перигеем. Орбита Интербол-2 проходит через радиационные пояса Земли, через самый центр внешнего радиационного пояса. В радиационных поясах эквипотенциал Интербол-2 нарушается. Этот вывод основывается на анализе данных, полученных прибором АНОД при пересечении спутником радиационных поясов более 50 раз в период активной ориентации. Технологический эксперимент АНОД был предназначен для изучения долговременного функционирования солнечных панелей. С этой целью на спутнике были установлены 5 небольших экспериментальных панелей. В

этой работе сопоставляются токи с экранов на корпус спутника двух панелей, одна из которых располагалась на основных солнечных панелях, а другая на блоке электроники, на стороне космического аппарата обращенной к Солнцу. Ориентация сопоставляемых панелей полностью совпадает, и токи на корпус спутника с экранов этих панелей должны в идеале совпадать при штатной ориентации и равномерно проводящей поверхности спутника. Во всех случаях, когда спутник находится в радиационных поясах и не в тени, токи с экранов этих панелей имеют противоположные знаки, что свидетельствует о нарушении эквипотенциала спутника. За пределами радиационных поясов измеряемые токи приблизительно совпадают, а на ионосферных высотах отмечаются максимальные и одинаковые значения. Таким образом, эквипотенциал Интербол-2 нарушается только при прохождении радиационных поясов, но на участках орбиты, где работала научная аппаратура, нет. С целью повышения достоверности наблюдаемого эффекта в докладе подробно представлена методика измерения токов с экранов панелей на корпус спутника прибором АНОД.

ЛОВУШКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ (ЦИЛИНДРЫ ФАРАДЕЯ) ЭКСПЕРИМЕНТА «РЕПИН» ПРОЕКТА РЕЗОНАНС

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

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

В докладе приводится описание Цилиндров Фарадея (ЦФ) и их основные параметры: чувствительность, угловые и энергетические характеристики, полученные как расчетным путем, так и в результате калибровки плазменных датчиков. Удовлетворительное совпадение полученных результатов указывает на эффективность выбранной методики расчета, несмотря на его простоту и быстродействие. Моделирование характеристик ЦФ проводилось в предположении плоского электрического поля, т.е. когда зазор между сетками был много меньше их диаметра, что в большинстве случаев справедливо. Сравнение измеренного в эксперименте «провисания» электрического поля анализирующей сетки $\Delta E/E \sim 0.31$ с полученным в результате численного моделирования $\Delta E/E \sim 0.34$ свидетельствует о достаточной эффективности этого метода при оценке параметров разрабатываемых ЦФ. Что касается угловых параметров, то результаты приведенных расчетов практически идеально совпадают с экспериментальными результатами, в основном благодаря простоте конструкции ЦФ. Для сравниваемого ЦФ угловая характеристика имела вид равнобедренного треугольника с шириной по основанию 110° для обоих случаев - расчет и эксперимент.

ТОТЕМ: БЫСТРЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЙ И ИОННЫЙ АНАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПРОЕКТА РЕЗОНАНС

**Г.В. Койнаш¹, О.Л. Вайсберг¹, П.П. Моисеев³, В.В. Летуновски.²,
А.К. Тоньшев²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² СКБ КП ИКИ РАН, Калужская область, г. Таруса,

³ НПП «Астрон Электроника».

Одной из целей проекта РЕЗОНАНС является исследование взаимодействий волн и частиц, а также процессов наполнения магнитосферных трубок плазмой в ходе естественных и активных процессов в магнитосфере и ионосфере. Быстрое измерение функций распределения по скоростям ионов и электронов необходимо для наилучшего решения поставленной задачи в проекте РЕЗОНАНС. Нами была разработана схема электронной оптики для измерения параметров магнитосферной плазмы, наиболее удовлетворяющая требованиям поставленной задачи. В большинстве случаев в магнитосфере достаточно наблюдать только питч-угловое распределение ионов и электронов, однако в ряде случаев необходимо определение негиротропности распределения. Исходя из этих требований мы предложили метод одномоментного измерения двухмерной функции распределения в пространстве энергия-питч-угол. Ионный энерго-масс-спектрометр и электронный энерго-спектрометры используют идентичные входные электронно-оптические схемы, обеспечивающие 360° плоское поле зрения. В этом угле зрения одномоментно измеряется энергетическое распределение в широком диапазоне от $E_0 - 10 \times E_0$ с возможностью изменять энергию E_0 в диапазоне начиная от 50 эВ и до 3 КэВ (верхняя граница определяется высоковольтным источником питания). Два противоположных питч-угловых распределения измеряются одновременно, позволяя определить негиротропность распределения. Для однозначного определения энергии, массы и заряда ионов ионный спектрометр включает в себя времяпролетный анализатор и детектор полной энергии (полупроводниковый детектор). Приборы находятся в разработке. Мы приводим описание приборов и их свойств.

ВОЛНОВОДНЫЕ МОДЫ В ИСТОЧНИКЕ АКР

**И.Л. Моисеенко¹, М. М. Могилевский¹, Т.В. Романцова¹,
Я. Ханаш², Т.М. Буринская¹, Д.В. Чугунин¹,**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Центр космических исследований ПАН, Польша.

При анализе измерений аврорального километрового излучения (АКР), зарегистрированного в эксперименте ПОЛЬРАД на спутнике ИНТЕРБОЛ-2, на полярной границе авроральной области обнаружено усиление излучения на нижних частотах обрезания АКР. Нижняя частота этого излучения на 8 - 20 кГц выше, чем локальная циклотронная частота электронов. Из детального анализа низкочастотного АКР следует, что его амплитуда возрастает в 20-70 раз по сравнению с «фоновыми» значениями и имеет амплитудную модуляцию, с характерными периодами 40-60 сек. Повышение интенсивности на низких частотах интерпретируется как пересечение спутником области источника и регистрацией волноводных мод в нем.

О ПРИРОДЕ УСКОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МОНОХРОМАТИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ В МАГНИТОСФЕРЕ

Д.Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

МФТИ, г.Москва, Россия, david@iki.rssi.ru

Если квази-монокроматическая волна, распространяющаяся в неоднородной магнитоактивной плазме, имеет достаточно большую амплитуду, то существуют захваченные по фазе частицы, энергия которых возрастает или убывает в зависимости от «знака» неоднородности. Изменение плотности энергии таких частиц может намного превышать плотность энергии волны, что противоречит закону сохранения энергии, если считать, как это обычно негласно предполагалось, что источником или стоком энергии для частиц является волна. В работе показано, что в действительности рост (или уменьшение) энергии захваченных по фазе частиц связан(о) с передачей энергии от (к) пролетных(м) частиц(ам), в то время как волна является, главным образом, лишь посредником в процессе энергообмена. Важность понимания этого факта состоит, в конечном итоге, в установлении правильных количественных ограничений на приобретаемую или отдаваемую частицами энергию, которая может быть на порядки больше, чем та величина, которую частицы могут получить от волны или отдать волне. Результаты работы имеют непосредственное приложение к проблеме динамики частиц в радиационных поясах Земли (см., например, Trakhtengerts and Rycroft, 2008) и к проблеме триггерного излучения (Helliwell, 1969).

[1] V.Y. Trakhtengerts M.J. Rycroft. Whistler and Alfvén mode cyclotron masers in space. 2008. Cambridge University Press.

[2] R.A. Helliwell. Low-frequency waves in the magnetosphere. 1969. Rev. Geophys. V. 7. 281-303.

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

МОДЕЛЬ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕГОСЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ ВДОЛЬ ТРУБКИ ПОТОКА В СЛАБОИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЕ

Ю.В. Думин

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, dumin@yahoo.com*

Доклад представляет собой дальнейшее развитие наших предшествующих идей о возможной роли перехода от “индукционного” к “дрейфовому” механизму вмерзновенности магнитного поля как одном из факторов нагрева плазмы в атмосфере Солнца [1, 2]. Детальное рассмотрение этого процесса для случая магнитной силовой трубки, заполненной слабоионизованной плазмой, стратифицированной во внешнем гравитационном поле, показывает, что магнитное пересоединение инициируется наиболее эффективно в месте приближенного равенства между гирочастотами и частотами столкновений заряженных частиц. Далее, благодаря выделению тепла и его распространению вдоль силовых линий магнитного поля, место наиболее эффективного пересоединения сдвигается вверх. Тем самым, обеспечивается самоподдерживающийся процесс распространения пересоединения и нагрева вдоль магнитной силовой трубки. При этом следует также ожидать быстрого возрастания температуры с высотой за счет уменьшения плотности (и, следовательно, объемной теплоемкости) плазмы при приблизительно постоянном энерговыделении на единицу длины силовой трубки. Численное решение уравнений, описывающих вышеупомянутые процессы, для простой одномерной модели действительно дает профили температуры, монотонно возрастающие с высотой на значительную величину. Таким образом, это явление могло бы быть применено как для описания микровспышек, ответственных за нагрев хромосферы и переходного слоя, так и для интерпретации других мелкомасштабных вспышечных явлений в нижней атмосфере Солнца.

[1]. Yu.V. Dumin. *Advances in Space Research*, v. 30, p. 565 (2002).

[2]. Yu.V. Dumin. *Solar System Research*, v. 32, p. 323 (1998).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН И ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ КАК МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ГРУППАМИ ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Д.Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

МФТИ, г. Москва, Россия, david@iki.rssi.ru

Обмен энергией между волнами и резонансными (обычно энергичными) частицами является важной особенностью взаимодействия волн и частиц в плазме. Если резонансное взаимодействие в неустойчивой магнитоактивной плазме включает два или более циклотронных резонанса, то возбуждение волны может в то же время сопровождаться переносом энергии между различными группами энергичных частиц. В качестве примера рассмотрено возбуждение квазирезонансной свистовой волны в результате развития конусной неустойчивости. Показано, что этот процесс неизбежно сопровождается передачей энергии от частиц, взаимодействующих с волной на первом циклотронном резонансе, к черенковским резонансным частицам. Этот процесс является особенно заметным в случае, когда плазма находится на пороге устойчивости. В этом случае поток энергии от одной группы частиц к другой намного больше, чем поток энергии в нарастающую волну, так что волна фактически является посредником в переносе энергии между двумя группами энергичных частиц. Поскольку квази-равновесное состояние плазмы является естественным состоянием в магнитосфере (Андронов, Трахтенгерц, 1964; Kennel and Petschek, 1966), указанный процесс обеспечивает постоянный механизм переноса энергии между энергичными частицами в магнитосферной плазме, приводя к появлению частиц очень высоких энергий. В силу известной аналогии между взаимодействием электронов со свистами и протонов с ионными циклотронными волнами указанный процесс должен также играть роль в динамике протонов радиационных поясов.

- [1]. А.А. Андронов, В.Ю. Трахтенгерц. Кинетическая неустойчивость внешнего радиационного пояса Земли. Геомагнетизм и Аэронавтика. 1964. Т.IV. No 2. 233-255.
- [2]. C. F. Kennel and H. E. Petschek. Limit on stably trapped particle fluxes. J. Geophys. Res. 1966. V. 71. No 1. 1-28.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПОТОКА ПЛАЗМЫ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Т.М. Буринская, М.М. Шевелёв

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, mposimba@gmail.com

Исследована устойчивость цилиндрического потока плазмы, распространяющегося вдоль магнитного поля, относительно возбуждения длинноволновых низкочастотных электромагнитных колебаний. Аналитически получено общее дисперсионное уравнение с учетом сжимаемости плазмы. Для высокотемпературной плазмы, в пределе несжимаемой плазмы, построена диаграмма устойчивости системы в зависимости от плазменных параметров. Показано, что с понижением температуры поток плазмы остается неустойчивым, практически, в тех же областях параметров, что и для несжимаемой плазмы. Однако инкременты неустойчивости с понижением температуры уменьшаются, при этом наибольшими инкрементами обладают колебания с длинами волн порядка и больше ширины потока. Результаты численного анализа показали, что в низкотемпературном пределе, когда скорость звука много меньше альфеновской скорости,

инкременты возбуждения осесимметричных мод колебаний значительно меньше, чем инкременты мод не обладающих осевой симметрией. Проводится сравнение полученных результатов с результатами, полученными в рамках трехслойной модели. Обсуждается возможность применения развиваемой модели для объяснения механизма генерации длинноволновых электромагнитных колебаний экспериментально наблюдаемых в пограничной области плазменного слоя хвоста магнитосферы одновременно с прохождением высокоскоростных потоков плазмы.

МАГНИТОСФЕРНЫЙ МГД-РЕЗОНАТОР, НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА НА МАГНИТОПАУЗЕ И АЛЬФВЕНОВСКИЙ РЕЗОНАНС В ГЛУБИНЕ МАГНИТОСФЕРЫ

В.А. Мазур¹, Д.А. Чуйко²

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск*

² *Иркутский Государственный университет, г. Иркутск.*

Характер неоднородности плазмы во внешней части лобовой и фланговых областей магнитосферы обеспечивает существование в них МГД-резонатора для быстрых магнитозвуковых волн, привязанного к области минимальных значений скорости Альфвена. Наличие такого МГД-резонатора оказывает важное влияние на многие волновые явления в магнитосфере. В частности, инкремент неустойчивости Кельвина-Гельмгольца на магнитопаузе имеет максимальные значения, когда частота сносных колебаний в солнечном ветре kV_{sw} совпадает с собственными частотами магнитосферного резонатора ω_n . Другими словами неустойчивость Кельвина-Гельмгольца резонансным образом возбуждает собственные моды магнитосферного резонатора. Каждой собственной моде соответствует свой альфвеновский резонанс – магнитная поверхность, на которой частота альфвеновской волны равна собственной частоте ω_n . Эта поверхность расположена в глубине области непрозрачности собственной моды (за поверхностью отражения), т.е. в глубине магнитосферы. На ней происходит резкое усиление амплитуды колебания и диссипация его энергии. Для неустойчивости Кельвина-Гельмгольца эта диссипация играет стабилизирующую роль. В докладе представлены результаты теоретического исследования указанного комплекса вопросов, осуществленного аналитическими методами в рамках одномерно-неоднородной модели среды.

МАГНИТНЫЙ ШАР ВО ВНЕШНЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНОМ ПОЛЕ: ДИССИПАТИВНОЕ СЖАТИЕ

А.А. Соловьев

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, solov@gao.spb.ru

Рассматривается диссипативная эволюция магнитного шара, обтекаемого потенциальным внешним полем (модель Чандрасекхара-Прендергаста, 1956) в резистивной среде. Магнитное поле шара представляет собою совокупность магнитных тороидов, заключенных в сферические слои. Получено новое точное МГД-решение, описывающее равномерное радиальное сжатие магнитного шара с растущими внутри его плотностью и давлением. Формально шар сжимается до нуля за конечное время (магнитный коллапс). Время сжатия может быть относительно небольшим (в пределах 1 суток) даже для шара с радиусом в несколько Мм, если величина магнитной спиральности, захваченной в нем (т.е. количество магнитных тороидов, заключенных в объеме шара), окажется достаточно велика. Вдоль оси симметрии система открыта (на этой оси и магнитное, и электрическое поле чисто радиальные, но знакопеременные по пространству), поэтому вдоль этой оси плазма будет вытекать со скоростью, близкой к альвеновской и заряженные частицы будут ускоряться «рывками», создавая регулярные всплески рентгеновского излучения. Обсуждаются приложения полученного решения применительно к солнечным вспышкам.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМО-ВОЛН В ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДЕ

Е.П. Попова, А.Е. Артюшкова, Д.Д. Соколов

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

Считается, что цикл солнечной активности основан на действии динамо процесса. Простейшая схема механизма динамо основана на совместном действии дифференциального вращения и альфа-эффекта в одном сферическом слое конвективной зоны Солнца. Анализ такой модели показывает, что длительность цикла активности на порядок меньше наблюдаемой. При этом включение меридиональных потоков в однослойную модель не позволяет учитывать полную циркуляцию вещества. В данной работе исследовано поведение динамо-волн в двухслойной среде, где альфа-эффект и дифференциальное вращение находятся в разных сферических слоях (такая модель была предложена Паркером в 1993 г.). Для этой задачи оказалось возможным построение асимптотического решения. Показано, как на длительность цикла влияет соотношение коэффициентов турбулентной диффузии в слоях. Также в схему динамо была введена меридиональная циркуляция. При этом двухслойная модель позволила учесть возвращение вещества, после его растекания от экватора к полюсам. Оказалось, что длительность цикла увеличивается не только за счет роста интенсивности меридиональной циркуляции в обоих слоях, но и при увеличении разницы значений меридиональной циркуляции каждого слоя. В работе обсуждаются различные режимы поведения динамо-волн, в том числе и соотношения параметров, при которых могут возникать минимумы активности.

АНОМАЛЬНОЕ РАСПЛЫВАНИЕ ИМПУЛЬСА И «СВЕРХНАПРАВЛЕННОСТЬ» ИЗЛУЧЕНИЯ ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН В ПЛАЗМЕ

Ю.В. Чугунов

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

При анализе поля излучения дипольных антенн в плазме наибольший интерес представляют те области частот и пространственных масштабов, в которых наиболее сильно влияние временной и пространственной дисперсии на поля излучения. Прежде всего, это резонансные частотные интервалы в магнитоактивной плазме и в движущейся изотропной плазме, в которых дисперсия проявляется особенно ярко. В настоящем докладе анализируются особенности электромагнитного поля дипольной антенны в этих частотных интервалах. Акцент делается на анализе поля излучения при импульсном излучении гармонического сигнала, когда эффекты временной и пространственной дисперсии оказывают существенное влияние на задержку и распыление квазигармонического импульса при его распространении в плазме от точки излучения до точки приема. Объясняются результаты ракетного ионосферного эксперимента OEDIPUS-C по излучению и приему волн нижнегибридного диапазона частот.

ГЕНЕРАЦИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН ЭЛЕКТРОНАМИ, УСКОРЕННЫМИ В УСЛОВИЯХ ЭЦР В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ АНТЕННЫ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ

**М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Костров, Д.А. Одзерихо,
С.Э. Привер, А.В. Стриковский**

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

Циклотронное ускорение электронов плазмы, окружающей бортовые антенные устройства космических аппаратов, наблюдается при совпадении рабочих частот бортовых передатчиков с электронной циклотронной частотой и ее гармониками. В работе предлагается способ генерации низкочастотных волн за счет модуляции потока ускоренных электронов, формирующегося в ближней зоне антенны, на которую подан мощный амплитудно-модулированный сигнал. Данный способ возбуждения низкочастотных волн (в частности – свистового диапазона) был опробован в модельных экспериментах, выполненных на крупномасштабном плазменном стенде «Крот». Параметры плазмы и размеры антенн были выбраны с учетом преобразований подобия, и соответствовали физическим условиям в верхней ионосфере Земли. Исследована структура «диамагнитной полости», формируемой потоком ускоренных электронов, а также пространственная структура и спектр низкочастотных волн, возбуждаемых на частоте модуляции сигнала, подводимого к магнитным рамочным и электрическим дипольным антеннам. Установлено, что структура возбуждаемых волн зависит от частоты модуляции. В основном, наблюдается возбуждение косых свистовых волн, волновой вектор которых ориентирован под большими углами к направлению внешнего магнитного поля. Обсуждаются перспективы использования предлагаемого метода генерации свистовых волн в активных экспериментах в ближнем космосе.

О РОЛИ САМО-ИНДУЦИРОВАННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ НА ЕГО ЖЕСТКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ И МИКРОВОЛННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОЛЯРИЗАЦИЮ

В.В. Жаркова¹, Т.В. Сиверский^{1,2}, Н. Мешалкина³, Л.К. Кашапова, А.В. Кузнецов⁴ и А.А. Алтынцев³

¹ *Факультет математики, университет Брадфорда, Великобритания;*

² *Университет бизнеса, Львов, Украина;*

³ *Институт солнечно-земной физики, Иркутск, Россия*

⁴ *Астрономическая обсерватория г. Арма, Северная Ирландия, Великобритания*

Интерпретация высоко-энергетического излучения от электронов ускоренных во время вспышек, тормозного жесткого рентгеновского или микроволнового, очень сильно зависит от применяемой модели. Наиболее популярная чисто-столкновительная модель толстой мишени страдает существенными недостатками ввиду отсутствия учета углового рассеяния электронов и энергетических потерь на рассеяние в электрическом поле наведенного самим пучком и на их отражение в сходящемся магнитном поле петли. Мы показываем, что учет электрического поля пучка позволяет значительно модифицировать параметры электронов выведенные из наблюдений жесткого рентгеновского излучения и получить хорошее соответствие наблюдаемых спектров фотонов для жесткого рентгеновского излучения, его направленности и поляризации. Эта коррекция позволяет также более надежную интерпретацию микроволнового и Н-альфа излучения наблюдаемых во вспышках. Мы представляем также краткое описание программ используемых в вычислениях и их применение для интерпретации наблюдений инструментов на борту RHESSI и будущих подобных спутников.

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО СЕРФОТРОННОГО УСКОРЕНИЯ ЧАСТИЦ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Е.А. Кузнецов, Л.А. Михайловская, В.М. Лозников

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

На основе численных расчетов рассмотрено ультрарелятивистское ускорение заряженных частиц в космической плазме при их серфинге на пространственно локализованном пакете электромагнитных волн. Задача сведена к исследованию нестационарного, нелинейного уравнения для фазы волны на несущей частоте. Изучена временная динамика релятивистского фактора, компонент импульса и скорости частиц, их траектории и возникновение циклотронного вращения во внешнем магнитном поле после вылета зарядов из эффективной потенциальной ямы. Обнаружена зависимость динамики взаимодействия частицы с волной от знака скорости заряда вдоль волнового фронта. Показано, что темп ускорения захваченной частицы практически постоянен при пересечении ею волнового пакета. Набор энергии частицей пропорционален характерной толщине волнового пакета. При выборе релятивистских значений фазовой скорости волны в механизме серфинга наибольшее ускорение заряженных частиц идет по направлению распространения волны. В обратном случае – низких значений фазовой скорости основное ускорение зарядов происходит вдоль волнового фронта. Сформулированы оптимальные условия для реализации в космической плазме ультрарелятивистского ускорения частиц пакетом электромагнитных волн. Указано, что в солнечной гелиосфере данный механизм

ускорения может давать локальные отклонения спектра частиц от традиционного степенного скейлинга в области энергий десятки-сотни Гэв, зависящие от условий космической погоды. Показано, что на плоскости начальных данных область захвата частиц в режим релятивистского серфотронного ускорения является достаточно широкой по начальной фазе волны на траектории заряда. Обсуждается эффективность ускорения в зависимости от фазовой скорости волны и других параметров задачи.

ДИНАМИКА РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ И ПОЛЕ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

А.А. Васильев, А.И. Нейштадт, А.В. Артемьев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

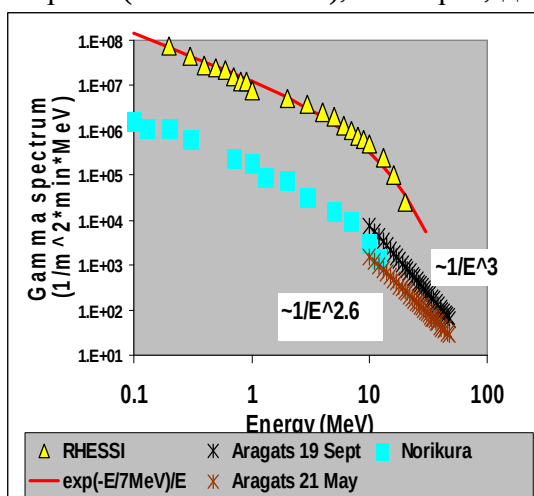
Проведено исследование динамики релятивистской заряженной частицы в однородном магнитном поле и поле плоской медленной электромагнитной волны. В задаче возможен резонанс типа «волна-частица» между скоростью ларморовского движения частицы в однородном магнитном поле и фазовой скоростью волны. Исследованы резонансные явления, возникающие при прохождении через этот резонанс. Показано, что захват в резонанс приводит к неограниченному ускорению частицы серфотронного типа. Захваченная частица движется вдоль фронта волны, причем ее энергия неограниченно (в рамках рассмотренной модели) растет. Рассеяние на резонансе приводит к стохастизации движения частицы и диффузионному росту ее энергии. Получены асимптотические формулы для вероятности захвата и амплитуды рассеяния на резонансе.

РЕГУЛЯРНЫЙ МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ИНТЕГРАЛОВ СТОЛКНОВЕНИЯ И СПЕКТРЫ ГАММА-ЧАСТИЦ В ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ

В.Ф Туганов,

ИКИ РАН, ГНЦ РФ ТРИНИТИ

В физических явлениях, обнаруженных в атмосфере за последние годы, выявлен ряд интересных фактов, которые могут существенно расширить наши представления о грозовых разрядах. По наблюдениям космических обсерваторий, таких например, как RHESSI и др., зарегистрированы исключительно мощные, идущие от Земли импульсы гамма-излучения. Причем, спектры их частот ω имеют при $\omega \geq 10$ Мэв две разные формы: экспоненциальную ($\exp(-\omega/7)/\omega$) и степенную ($\omega^{-\beta}$, где $\beta \sim 3 \div 4$). А спектры для меньших энергий ($0.1 < \omega < 10$ Мэв), наоборот, достаточно универсальны, имея степенной ($\sim 1/\omega$) вид



(см. рис.). Поскольку механизм излучения гамма-квантов вероятнее всего один - тормозной, - то все спектры, а это и их универсальность, и их различия (при $\omega \geq 10$ Мэв), очевидно, порождены разными распределениями $f(\epsilon)$ электронов по энергии ϵ , но вид их таков, что дает одинаковую зависимость гамма-спектров ($\sim 1/\omega$) для низких частот ($\omega < 10$ Мэв). Этому отвечает, например, функция $f(\epsilon)$ с характерной энергией ϵ_0 : она определяет смену режима зависимости от ϵ , например, неубывание ее при $\epsilon < \epsilon_0$ и резкий спад (экспоненциальный или степенной) при $\epsilon \gg \epsilon_0$. В области энергий $\epsilon \gg mc^2$ тормозной гамма-спектр [1] ($\xi = \epsilon/D$,

$v = \omega/D$, D – средняя энергия электронов)

$$\Phi(n) \approx \frac{1}{n} \int_n^\infty dx f(x) \left[1 - \frac{n}{x} + 3/4 \left(\frac{n}{x} \right)^2 \right] \ln \left(\frac{2Dx}{mc^2} \left(\frac{x-n}{n} \right) \right) \quad (1)$$

задан тогда при $v \ll \xi_0$ ($\xi_0 = \epsilon_0/D$) зависимостью $\Phi(v) \sim 1/v$, причем независимо от вида функции $f(\epsilon)$. Зато для $v \gg \xi_0$ все наоборот: спектр, полностью определен ее видом. Так для степенного при $\xi \gg \xi_0$ распределения электронов ($f(\xi) \sim \xi^{-\beta}$, $\beta \sim 3 \div 4$) гамма-спектр примет вид, полученный из наблюдений $\Phi(v) \sim v^{-\beta}$, повторив по форме само распределение $f(\xi)$. Если же оно экспоненциальное ($f(\xi) \sim \exp(-\xi)$), то соответствующий интеграл в (1) даст фактор $\exp(-v)$ (логарифмическую расходимость устранил экранирование [1]). И в целом излучаемый спектр так же примет вид, полученный из наблюдений $\Phi(v) \sim \exp(-v)/v$. Поскольку грозовой разряд по природе един, то присутствие этих двух форм спектров может означать не только существование промежуточной формы (порожденной более сложным видом распределения электронов). Возможен, как минимум, один параметр, определяющий переход между этими двумя формами спектров и распределений электронов, что как раз и отвечают тем двум предельным состояниям разряда. Регулярный метод нахождения интегралов столкновения (см., например, в [2]) позволяет найти такое распределение (угадав соответствующий закон движения точки в фазовом пространстве). В предельных случаях соответствующего параметра a (природа которого не ясна) оно дает для распределения $f(\xi)$ либо экспоненту ($a \gg 1$), либо степень ($a < 1$) с показателем β как функции коэффициента вариации энергии d ($\beta(d) = 3 + 1/d \geq 3$).

[1]. Ахиезер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1981. - 432 с.

[2]. Садченко К.В., Туганов В.Ф. - Режим доступа: sceruchitel.ru/?p=196 -

ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ИЗ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Н.Г. Макаренко

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия.

Доклад является кратким введением в анализ цифровых астрономических изображений методами математической морфологии и вычислительной топологии. Цифровое изображение представляет собой дискретную функцию, заданную на решетке пикселей, в каждом из которых, значение поля кодируется «уровнем серого». Для компактной области эти матричные данные позволяют определить меру Радона или емкости Шоке. Множество уровней для случайного поля может не иметь связных структур, но для достаточно регулярного поля, пиксели образующие множество выбросов значений, выше заданного уровня, принадлежат кольцу выпуклости. Они представляют собой бинарные изображения на которых можно определить морфологические функционалы Минковского (кривизну Лифшица – Киллинга), имеющие простой геометрический смысл. Для плоскости это периметр, который измеряет полную вариацию поля для множества уровней, характеристика Эйлера, которая измеряет альтернированную сумму индексов особых точек поля и площадь. Эти три функционала описывают геометрию поля. Топология поля описывается симплициальными комплексами, построенными для каждого множества уровней. Для вычислений предпочтительнее комплексы Рипса и Witness. Они позволяют оценить персистентные гомологии, т.е. гомотопические инварианты, которые дополняют морфологическое описание. Формализм иллюстрируется приложением к MDI магнитограммам Солнца.

ЭВОЛЮЦИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ПЛОТНОСТИ В САМОГРАВИТИРУЮЩЕМ ГАЗОВОМ СЛОЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

К.В. Краснобаев^{1,2}, Р.Р. Тагирова²

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, rtaghirova@gmail.com

Рассматривается двумерное неустановившееся течение, возникающее в результате прохождения через газовый слой ударной волны. Предполагается, что в основном состоянии газ находится в гидростатическом равновесии. Непосредственно перед столкновением с излучающей ударной волной граница слоя возмущена. В расчетах масштаб и амплитуда начального возмущения границы варьируются. Такая постановка задачи позволяет исследовать эффекты перемешивания вещества в более широком классе начальных условий, чем это имеет место в случае взаимодействия ударной волны со сферическим облаком. В результате численного моделирования определены скорость роста возмущений, условия развития коллапса, пространственная структура неоднородностей плотности. Конкретные расчеты проведены применительно к модели взаимодействия ударных волн, порождаемых вспышками сверхновых или звездными ветрами, с веществом Солнечной туманности.

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

БАЛЛОННЫЕ МОДЫ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ В ОКОЛОЗЕМНОЙ ПЛАЗМЕ

Н.Г. Мазур¹, Е.Н. Федоров¹, В.А. Пилипенко²

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, ngmazur@mail.ru; ENFedorov1@yandex.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru.

Ключевая дилемма физики околоземного пространства связана с определением положения области зарождения суббури: в хвосте магнитосферы в результате магнитного пересоединения или на квазидипольных силовых линиях в результате пока не отождествленной неустойчивости. К настоящему времени все большее число исследователей склоняется к мнению, что суббуря начинается на квазидипольных силовых линиях, а пересоединение в хвосте магнитосферы является вторичным процессом. В качестве возможного триггера суббури часто предлагается баллонная (ballooning) неустойчивость. Баллонные возмущения в плазме конечного давления, находящейся в криволинейном магнитном поле, описываются системой зацепленных уравнений для альфвеновской и медленной магнитозвуковой мод. Наиболее простым и наглядным образом свойства этих возмущений можно характеризовать локальным дисперсионным соотношением, получаемым в приближении ВКБ. Это дисперсионное соотношение широко применяется для предсказания возможных неустойчивостей и спектральных свойств низкочастотных колебаний в ночной магнитосфере. Нами математически корректно прослежен вывод дисперсионного соотношения из исходной системы зацепленных МГД мод и переход к различным предельным случаям. Детально изучено поведение дисперсионных кривых различных ветвей колебаний, а также возможности для развития неустойчивостей и формирования областей нераспространения волн. Это позволило уточнить результаты предшествующих работ и даже указать на некорректности в некоторых из них. В частности, показано, что быстрая альфвеновская ветвь колебаний всегда устойчива, а апериодическая неустойчивость может возникать на медленной магнитозвуковой ветви колебаний. Кроме того, помимо локального анализа устойчивости коротковолновых возмущений, решена задача о глобальном анализе неустойчивости, но в рамках простой цилиндрической геометрии, когда переменные разделяются.

ИНВЕРСИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОСТОЙ МОДЕЛИ ГЕОДИНАМО

Г.С. Собко, В.Н. Задков, Д.Д. Соколов, В.И. Трухин

Физический факультет, МГУ, г. Москва, Россия

Предлагается простая конечномерная модель геодинамо, полученная из уравнений электродинамики средних полей и воспроизводящая феномен инверсий геомагнитного поля. Показано, что шкала инверсий, получаемая в рамках этой модели, достаточно близка по своим свойствам к наблюдаемой. Механизм инверсий связан с влиянием флуктуаций альфа-эффекта. Для возникновения инверсии в рамках такой модели не нужно существенно менять гидродинамические параметры задачи, а достаточно учесть флуктуации альфа-эффекта. Если среднеквадратичное отклонение флуктуаций составляет 10% среднего значения альфа, для возникновения инверсии достаточно флуктуации в 2-3 стандартных отклонения, что вполне согласуется с представлением о сравнительной редкости инверсий. Еще одним фактором, приводящим к режиму с инверсиями, является то, что в линейном режиме модель в разных областях параметрического пространства может генерировать магнитные поля с различным поведением - монотонно-растущие и растущие с осцилляциями.

ФАЗОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ РАДИОВОЛН ПРИ РАССЕЯНИИ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОМ ОТРАЖАЮЩЕМ СЛОЕ ПЛАЗМЫ

Н.Т. Афанасьев¹, А.Н. Афанасьев^{2,3}, О.А. Ларюнин², В.П. Марков¹

¹ *Иркутский ГУ, г. Иркутск Россия, nta@api.isu.ru*

² *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск Россия*

³ *Университет Хельсинки, Финляндия.*

Рассмотрена задача малоуглового рассеяния радиоволн при полном внутреннем отражении от слоя плазмы с турбулентными неоднородностями диэлектрической проницаемости. Сделано аналитическое преобразование решения уравнения эйконала, полученного в приближении метода возмущений. На основе модифицированного представления для флуктуаций эйконала построены статистические моменты фазовых флуктуаций радиоволн при нормальном падении на отражающий турбулентный слой плазмы с монотонным профилем регулярной диэлектрической проницаемости. Введенное аналитическое преобразование для возмущения эйконала позволяет эффективно рассчитать моменты фазы в окрестности точки отражения радиоволны. Получены приближенные формулы для дисперсии и пространственного спектра флуктуаций фазы в случае трехмерного пространственного спектра неоднородностей. Для линейного слоя плазмы показана сходимость полученных результатов к известным из литературы. На основе модифицированного представления для возмущения эйконала сделана приближенная оценка вклада флуктуаций точки отражения во флуктуации фазы радиоволны. Определены условия применимости асимптотических формул для расчета статистических моментов фазы. Показано, что флуктуациями точки отражения можно пренебречь, если градиенты случайной компоненты диэлектрической проницаемости не превышают среднего градиента, обеспечивающего регулярную рефракцию радиоволны в слое. Сделанная оценка находится в соответствии с известными результатами работы [1]. Асимптотические выражения для статистических моментов фазы, полученные на основе модифицированного представления для флуктуаций эйконала, удобны при численных расчетах, поскольку они не содержат особенности в точке отражения радиоволны.

Поэтому на их основе можно проводить исследования флуктуаций фазы для широкого класса спектров турбулентных неоднородностей и монотонных профилей регулярной диэлектрической проницаемости плазмы. Приведены результаты численного моделирования моментов фазы на основе асимптотических формул.

[1]. Фукс И.М. Флуктуации фазы при полном внутреннем отражении от слоисто-неоднородной среды // Изв.вузов Радиофизика. 1974. Т.17. № 1. С.84.

РАССЕЯНИЕ СВИСТОВЫХ ВОЛН НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ

И.В. Кузичев, Д.Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, mar-cuss@yandex.ru

Одним из важных вопросов, связанных с распространением ОНЧ волн, которые распространяются в магнитосфере и ионосфере Земли в свистовой моде, является выход волны на Землю. ОНЧ волны, возникающие в результате молниевых разрядов или являющиеся излучением наземных ОНЧ-передатчиков, экспериментально регистрируются на Земле приблизительно в магнитосопряженной с источником излучения точке. В магнитосфере Земли низкочастотная свистовая волна распространяется с групповой скоростью, направление которой мало отклоняется от геомагнитного поля. В то же время, при падении на ионосферу волновой вектор волны обычно составляет довольно большой угол с нормалью к поверхности Земли. Однако из анализа уравнений для электромагнитного поля в ОНЧ-диапазоне следует, что на Землю могут выйти лишь те волны, которые падают на ионосферу почти вертикально. Таким образом, для объяснения экспериментального наблюдения ОНЧ волн на Земле требуется некоторый механизм, приводящий к появлению в спектре излучения соответствующих волновых векторов. Наиболее простым таким механизмом является рассеяние волны на мелкомасштабных неоднородностях плотности в верхней ионосфере. В работе рассмотрена задача о рассеянии свистовой волны с произвольным направлением вектора волновой нормали на занимающем конечную область пространства слое с мелкомасштабными неоднородностями. Предложен новый подход к решению этой задачи, основными особенностями которого являются описание процесса рассеяния величинами с ясным физическим смыслом, а именно, коэффициентами прохождения и рассеяния, а так же то, что спектральная амплитуда поля не разделяется на медленно и быстро меняющиеся части, что позволяет отказаться от приближений, использовавшихся в предшествующих работах. Получено решение уравнений Максвелла в борновском приближении, определены коэффициенты отражения и прохождения волны.

РАЗМЕРНЫЕ И БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ В КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ РАЗЛЕТА ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ СЛАБОЗАМАГНИЧЕННЫХ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ ПЛАЗМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МАГНИТОСФЕРОПОДОБНЫХ СТРУКТУР

В.М. Губченко

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

Ключевыми областями при формировании топологии магнитосфероподобных трехмерных структур в горячей бесстолкновительной «лабораторной» и космической плазме являются области слабой замагниченности, в которых масштаб замагниченного движения частиц превышает масштабы исследуемых структур. Данные локальные области образованные вихревыми токами и полями, представляемые как структуры внутри трехмерных X точек или как вся магнитосфероподобная структура в целом, формируются в процессах разлета горячей (высокоэнергичной) «плотной» (высокого давления по параметру плазменного бета) плазмы через магнитное поле. Эти разлеты могут быть как симметричными, так и асимметричными, в последнем случае происходит формирование магнитных хвостов или стримеров. Описание динамики плазмы в этих диффузионных областях проводится введенными масштабными и безразмерными параметрами, характеризующих разлетающуюся плазму как поток отдельных частиц, характеризуемых функцией распределения частиц (ФРЧ). В условиях медленных разлетов по сравнению с тепловыми электронными скоростями в плазме основную роль играют индукционные процессы, характер которых зависит от формы ФРЧ плазмы, определяющей конкретные электромагнитные свойства плазмы. В этих условиях вводятся «линейные» резистивные и диамагнитные масштабы и соответствующие им безразмерные параметры анизотропии плазмы локального и интегрального характера по отношению к ФРЧ, зависящие от значения ФРЧ при данной «резонансной» скорости разлета, от макро скорости потоков, токовых скоростей и эффективной температурной анизотропии. Введенный линейный параметр добротности G на основе двух параметров анизотропии, по своему влиянию на топологию полей, является электромагнитным аналогом акустического числа Маха. В зависимости от величины и знака параметр G характеризует статические недиполизированные - с хвостом стримером при $G \ll 1$ и диполизированные – без хвоста топологические компактные состояния при $G \gg 1$, а также динамические автомодельные квазибестоковые режимы при $G = -1$. Кроме того, введены «нелинейные безразмерные параметры», характеризующие замагничивание частиц при формировании разлетом масштаба «диффузионной области». Проведено сопоставление полученных безразмерных кинетических параметров с известными безразмерными параметрами введенных для характеристики МГД течений.

- [1]. В.М.Губченко. О кинетическом описании крупномасштабных токонесущих электромагнитных структур, возбуждаемых в движущейся горячей бесстолкновительной плазме. Труды конференции «XII Харитоновские чтения - международная научная конференция по проблемам физики высоких плотностей энергии», РФЯЦ, 19- 23 апреля 2010 года, г. Саров.
- [2]. V.M. Gubchenko. Planetary magnetospheres formed by flows of hot collisionless dense plasma and kinetic plasma parameters governing topology reconfiguration. EPSC Abstracts, Vol. 5, EPSC2010-656, 2010, European Planetary Science Congress 2010, Roma, Italy, 19-25 September 2010.

С Е К Ц И Я «ТОКОВЫЕ СЛОИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАВНОВЕСИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ НЕЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ

В.В. Ляхов, В.М. Нещадин

ДТОО «Институт ионосферы», v_lyahov@rambler.ru,

В работе развита кинетическая теория равновесия и устойчивости неэлектронейтральных токовых слоев, образующихся при произвольных значениях параметров среды. Дано обобщение равновесной функции распределения токового слоя (функции Харриса), учитывающее анизотропию температуры плазмы вдоль и поперек слоя. Предложена методика исследования устойчивости токового слоя с учетом эффекта поляризации плазмы. Вычислен тензор диэлектрической проницаемости и получено дисперсионное уравнение для исследования возможных мод неустойчивости неэлектронейтрального токового слоя. Получено неэлектронейтральное равновесное решение для токового слоя хвоста магнитосферы и исследована его неустойчивость. Обсуждается возможный механизм аннигиляции магнитного поля в хвосте магнитосферы и ускорения заряженных частиц в ходе развития магнитосферной суббури.

МОДЕЛЬ ДВУМЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Л.М. Зелёный¹, Х.В. Малова^{1,2}, В.Ю. Попов^{1,3}, А.В. Артемьев^{1,2},
А.А. Петрукович¹**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

² НИИЯФ МГУ (hmalova@yandex.ru),

³ Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия.

Представлена кинетическая самосогласованная модель тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы Земли с учетом слабой продольной неоднородности магнитного поля. Модель токового слоя учитывает анизотропию распределения плазмы, состоящей из пучков частиц, летящих вдоль магнитных силовых линий. Учтено влияние популяций пролетных и захваченных частиц, которые присутствуют в хвосте магнитосферы Земли. С помощью численных кодов найдены самосогласованные решения задачи и построены профили магнитного поля, плотности плазмы и тока. Показано, что роль пролетных частиц сводится к поддержанию одномерного токового слоя, вложенного в плазменный слой, в то время как захваченные частицы дрейфуют в неоднородном магнитном поле, перераспределяя магнитное поле, плотность плазмы и тока в продольном направлении. Таким образом, захваченная плазма играет определяющую роль в поддержании двумерной структуры токового слоя. Возможности приложения данной модели обсуждаются.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ШИРА НА «АНИЗОТРОПНОЕ» ПЛАЗМЕННОЕ РАВНОВЕСИЕ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Л.М. Зеленый¹, Х.В. Малова^{2,1}, В.Ю. Попов^{3,1}, О.В. Мингалев⁴,
И.В. Мингалев⁴

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² НИИЯФ МГУ (hmalova@yandex.ru),

³ Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия

⁴ ПГИ КНЦ РАН

Представлена самосогласованная теория сравнительно тонких токовых слоев в бесстолкновительной космической плазме в присутствии сдвиговой компоненты (шира) магнитного поля B_y , часто регистрируемой в процессе спутниковых наблюдений. Сделано предположение о симметричных источниках плазмы по обе стороны от токового слоя и малости B_y компоненты, так что ионы являются незамагниченными в центре слоя. Найдено и исследовано численное решение уравнений Власова-Максвелла для данного типа плазменного равновесия. Показано, что, в отличие от конфигурации с $B_y=0$, в слое с широм взаимодействие “частица – токовый слой” меняется. Коэффициент отражения частиц в северной и южной долях становится асимметричным, и это зависит от величины B_y -компоненты. Асимметрия отражения порождает различие в плазменной плотности по обе стороны от токового слоя, что, в свою очередь, приводит к асимметрии плотности тока и магнитного тока в северной и южной долях. В присутствии ненулевого сдвигового магнитного поля дрейф замагниченных электронов в центре токового слоя уменьшается, что приводит к эффективному увеличению толщины слоя. Асимметрия плотности плазмы приводит также к изменению баланса сил в токовом слое и его смещению как целого от симметричного положения.

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ, УСКОРЕНИЕ ПЛАЗМЫ И ГЕНЕРАЦИЯ ОБРАТНЫХ ТОКОВ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ

А.Г. Франк*, Н.П. Кирий, С.Н. Сатунин

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

Исследования динамики токовых слоев и процессов магнитного пересоединения на основе лабораторных экспериментов позволяют сопоставить структуру магнитных полей, электрических токов и электродинамических сил, с одной стороны, и параметров плазменных потоков, которые ускоряются в пределах слоя, с другой стороны. В докладе представлены результаты, полученные с помощью установки ТС-3D (ИОФ РАН). Изучалась магнитная структура токовых слоев, которые формировались в 2D и 3D магнитных конфигурациях с X линией. Температуры ионов, электронов и энергии направленных движений плазмы измерялись методами спектроскопии. Обнаружены потоки плазмы, которые движутся вдоль поверхности токового слоя с энергиями, значительно превышающими тепловую энергию. Проведен анализ пространственной структуры электродинамических сил с целью интерпретации особенностей ускорения плазмы в токовых слоях. Обнаружено, что у боковых краев слоя возникают токи обратного направления по отношению к основному току, протекающему в центральной области слоя, что указывает на появление дополнительных динамических эффектов при направленном движении плазмы в сильном поперечном магнитном поле. Генерация плазменных потоков в токовых слоях, которые формируются в условиях лабораторных экспериментов, может рассматриваться как аналог процессов ускорения плазмы на Солнце и в магнитосфере Земли. Работа выполнена при частичной поддержке Программы ОФН-15 и РФФИ, проект № 09-02-00971.

НЕКОТОРЫЕ ОБОБЩЕНИЯ МОДЕЛИ ТОКОВОГО СЛОЯ СЫРОВАТСКОГО

С.И. Безродных¹, В.И. Власов², Б.В. Сомов¹

¹*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ
им. М.В. Ломоносова, somov@sai.msu.ru*

²*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, vlasov@ccas.ru*

Рассмотрены двумерные стационарные модели магнитного пересоединения, включающие тонкий токовый слой типа токового слоя Сыроватского и четыре присоединенные к его торцам разрывные магнитогидродинамические (МГД) течения конечной длины. Характер течений не задан, а определяется из самосогласованного решения задачи в приближении сильного магнитного поля. Найдены обобщенные аналитические решения, которые учитывают возможность разрыва токового слоя в области аномального сопротивления плазмы. Изучена глобальная структура магнитного поля в области пересоединения, а также его локальные свойства вблизи токового слоя и присоединенных разрывов. В режиме пересоединения, при котором в токовом слое присутствуют обратные токи, присоединенные разрывы являются транс-альвеновскими ударными волнами вблизи торцов токового слоя. Показана возможность двух типов переходов от незволюционных ударных волн к эволюционным вдоль разрывных течений в зависимости от геометрических параметров модели. Обсуждается связь полученных результатов с численными экспериментами по магнитному пересоединению.

О РАЗРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЯХ ПЛАЗМЫ В ОКРЕСТНОСТИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩИХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Л.С. Леденцов^{1,2}, Б.В. Сомов²

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, koob@mail.ru*

² *Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,
г. Москва, somov@sai.msu.ru*

Рассмотрен вопрос об интерпретации численных экспериментов по магнитному пересоединению в солнечных вспышках. В рамках классической постановки задачи о разрывных магнитогидродинамических течениях установлено соответствие между стандартной классификацией магнитогидродинамических разрывов и параметрами, характеризующими величину потока массы через разрыв и конфигурацию магнитного поля. Также найдено наглядное графическое представление зависимости между углами вектора магнитного поля относительно нормали к плоскости разрыва по обе ее стороны. Соотношения между параметрами двумерного разрывного течения имеют наиболее простой вид в системе координат, где силовые линии магнитного поля параллельны скорости вещества - системе де Хофмана–Теллера. В связи с этим рассмотрен вопрос о преобразовании конфигурации магнитного поля при переходе к “лабораторной” системе координат, в которой присутствует электрическое поле. Результат применен к аналитическому решению о структуре магнитного поля в окрестности пересоединяющего токового слоя, полученному ранее Безродных и др. Показано, что вблизи торцов токового слоя, при наличии в нем обратных токов, появляются области неэволюционных ударных волн.

ОБРАТНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ

И.В. Орешина, Б.В. Сомов

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, ivo@sai.msu.ru*

В двумерном приближении рассчитана конфигурация магнитного поля внутри магнитосферы плоского магнитного диполя. В нашей постановке задачи магнитосфера деформирована в результате воздействия на неё либо солнечного ветра (в случае магнитосферы Земли), либо прохождением ударной волны, вызванной, например, взрывом сверхновой (в случае магнитосферы компактной звезды). Как следствие, часть магнитного потока диполя увлечена на бесконечность, что формирует хвост магнитосферы, в котором возникает токовый слой. Вычислены прямой и обратный электрические токи, возникающие в этом слое. Зависимости этих величин от входящих в задачу параметров представлены в виде графиков. Показано, что прямой ток в нашей постановке задачи бесконечный; величина обратного тока конечна. Получена аналитическая формула для её вычисления; при фиксированном расстоянии от звезды до внутреннего края токового слоя величина обратного тока уменьшается с ростом магнитного потока, уносимого на бесконечность. Получена аналитическая формула для вычисления максимальной величины магнитного потока, при которой обратный ток обращается в ноль; при фиксированном потоке, уносимом на бесконечность, величина обратного тока уменьшается с ростом расстояния между звездой и краем токового слоя.

Представленные на графиках безразмерные величины могут быть использованы для определения соответствующих размерных величин для магнитосфер произвольных объектов, если заданы магнитный момент такого объекта и газовое давление на границе магнитосферы.

РЕЗОНАНСНОЕ УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ

А.В. Артемьев, В.Н. Луценко, А.А. Петрукович, Л.М. Зелёный

ИКИ РАН, Москва, lzelenyi@iki.rssi.ru

В докладе рассматриваются вопросы взаимодействия ионов с мезомасштабными структурами (фронтами диполизации) в хвосте земной магнитосферы на расстояниях порядка $20R_E$. Представлены результаты анализа статистики наблюдений спектров больших энергий ($E > 50$ кэВ) ионов в окрестности фронтов диполизации, полученные на спутнике Interball(tail). Обнаружены небольшие моноэнергетические группы ионов, ускоренных до энергий порядка 100 кэВ. В качестве механизма ускорения предложен механизм резонансного взаимодействия ионов с фронтом электромагнитной волны в фоновом магнитном поле. Сопоставление экспериментальных данных по магнитному полю (компонента B_z), скорости фронта и энергии ускоренных частиц с теоретической моделью позволило получить оценки на пространственные масштабы фронта диполизации вдоль направления Утро-Вечер R_y : средняя величина масштаба R_y для статистики из 125 наблюдений составила $\langle R_y \rangle = 6R_E$.

PIC-МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОВРЕМЕННОГО УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ В ТОКОВОМ СЛОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛАКОВ

В.В. Жаркова и Т.В. Сиверский

Факультет Математики, Университет Брадфорда, Великобритания

Мы представляем расчеты траекторий, энергетических спектров и распределения электронов и протонов ускоренных в токовом слое с простой магнитной топологией для отношения масс протона к электрону для разных исходных плотностей плазмы внутри слоя. Мы показываем что первоначальное разделение электронов и протонов по отношению к средней плоскости токового слоя производит сильное поляризационное электрическое поле поперек токового слоя которое значительно модифицирует траектории частиц. Это поле также приводит к тому, что эжекции из токового слоя электроны удаляются на определенное расстояние от токового слоя, но затем возвращаются в токовый слой где протоны все еще продолжают ускоряться. Это приводит к циркуляции электронов вокруг токового слоя что создает электронное облако видимое как корональный источник во вспышках. Мы также обсуждаем последствия полученных процессов на наблюдения ускоренных частиц.

РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ (ПОТОКА) СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ОКОЛО СЕКТОРНЫХ ГРАНИЦ

О.В. Хабарова, Г.Н. Застенкер

ИКИРАН, г. Москва, Россия, olik3110@list.ru

В результате работ, проведенных в 2000-2009, было выявлено, что малоизученные резкие изменения плотности плазмы солнечного ветра (с амплитудой $>0.5 \times 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$), наблюдающиеся в околоземном пространстве в среднем несколько раз в сутки по данным Интербол-1 и Wind, представляют собой тонкие границы ($\sim 10^3$ – 10^4 км) структур с размерами $\sim 10^5$ – 10^6 км. Было показано, что данное явление связано с областями, в которых увеличена плотность солнечного ветра и магнитное поле, а также их вариабельность. Такие условия характерны для гелиосферного токового слоя. Выяснилось, что подавляющее большинство секторных границ ассоциируется с изучаемыми скачками плотности. Вблизи гелиосферного токового слоя содержится около 40% всех зарегистрированных изменений плотности - это большая величина, если учитывать, что пересечения секторных границ регистрируются относительно редко. Одной из причин возникновения изучаемых структур вблизи секторных границ может являться магнитное пересоединение в гелиосферном токовом слое и в мелкомасштабных токовых слоях - бывших сепараторах локальных групп пятен из одного полушария. Обсуждаются модели, дающие картину, сходную с наблюдаемой, в частности, описывающие группировку резких изменений плотности в указанных областях. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-02-01063-а.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОНКИХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ

Л.М. Зеленый, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович

ИКИ РАН, Москва, lzelenyi@iki.rssi.ru

В работе рассматривается распределение температуры электронов в тонких токовых слоях хвосте земной магнитосферы по данным наблюдений спутниковой миссии Cluster и теоретических моделей. Получена экспериментальная зависимость температуры электронов от магнитного поля для статистики тонких горизонтальных токовых слоёв. Показано, что температура электронов падает с ростом магнитного поля как $T_e = T_{\text{emax}}(1 + \alpha(B_x/B_{\text{ext}})^2)$, где T_{emax} и B_{ext} - максимальные значения температуры электронов и амплитуда магнитного поля. Для статистики из 62 пересечений тонких токовых слоёв получено среднее значение $\langle \alpha \rangle \approx -1$. Наблюдаемые зависимости $T_e(B_x)$ объяснены в рамках теории адиабатического нагрева электронов при конвекции к Земле. На основе сопоставления наблюдаемых значений α и теории получены оценки для продольного пространственного масштаба тонких токовых слоёв L_x . Показано, что для абсолютного большинства слоёв $5R_E < L_x < 20R_E$ и среднее значение соотношения продольного и поперечного масштабов $L_x/L \approx 25$. Построена модель распределение температуры электронов для вложенных токовых слоёв и получены зависимости $T_e(B_x)$ для различных значений соотношения пространственных масштабов тонкого и фонового токовых слоёв.

С Е К Ц И Я «ТОКОВЫЕ СЛОИ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО УСКОРЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ С УЧЕТОМ НЕЙТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ

Г.С. Воронов, Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк

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

Исследованы процессы нагрева и ускорения плазмы в лабораторных токовых слоях на основе методов спектроскопии. Эксперименты проводились в Отделе физики плазмы Института общей физики РАН. Токовые слои формировались с помощью экспериментальной установки ТС-3D в двумерных (2D) и трехмерных (3D) магнитных конфигурациях при разряде в гелии, условия эксперимента изменялись в сравнительно широких пределах. В 2D магнитных конфигурациях были обнаружены быстрые (сверхтепловые) потоки плазмы, ускоренные вдоль поверхности токового слоя. Установлены зависимости температуры и энергии ускоренных ионов гелия от начального давления газа в вакуумной камере установки и амплитудного значения электрического тока, протекающего в плазме. Показано, что атомы гелия также приобретают сверхтепловые скорости вдоль поверхности слоя, по всей видимости, вследствие процесса резонансной перезарядки быстрых ионов гелия на атомах. Изучены особенности эволюции температуры и энергии направленного движения нейтрального гелия в плазме токового слоя. Работа выполнена при частичной поддержке Программы ОФН-15, и гранта РФФИ, проект № 09-02-00971.