



**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

7-я КОНФЕРЕНЦИЯ

**«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ
В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»**

06-10 февраля 2012 г., ИКИ РАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

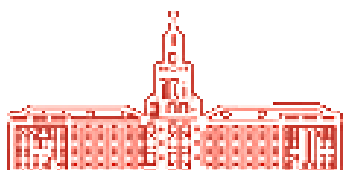
г. Москва

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Секция «Солнце», устные доклады.....</i>	<i>03</i>
<i>Секция «Солнце», стендовые доклады.....</i>	<i>25</i>
<i>Секция «Интергелиозонд», устные доклады.....</i>	<i>54</i>
<i>Секция «Ионосфера», устные доклады.....</i>	<i>65</i>
<i>Секция «Ионосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>77</i>
<i>Секция «Магнитосфера», устные доклады.....</i>	<i>86</i>
<i>Секция «Магнитосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>100</i>
<i>Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи», устные доклады.....</i>	<i>127</i>
<i>Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи», стендовые доклады.....</i>	<i>138</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», устные доклады.....</i>	<i>153</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», стендовые доклады.....</i>	<i>157</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», устные доклады.....</i>	<i>158</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», стендовые доклады.....</i>	<i>171</i>
<i>Секция «Токовые Слои», устные доклады.....</i>	<i>177</i>
<i>Секция «Токовые Слои», стендовые доклады.....</i>	<i>185</i>

Тезисы докладов даны в редакции авторов.

Конференция проводится при финансовой поддержке РАН, РФФИ и фонда «Династия»



С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЫСТРЫХ МАГНИТОЗВУКОВЫХ ВОЛН В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

А.Н. Афанасьев, А.М. Уралов, В.В. Гречнев

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

Солнечные эрупции и конвективные движения под фотосферой генерируют магнитогидродинамические волны. Для описания распространения волн, имеющих быструю магнитозвуковую природу, в работе используется приближение нелинейной геометрической акустики, которое учитывает нелинейное затухание волны и увеличение скорости движения волны по лучам вследствие нелинейности. Крупномасштабные волны, связанные с солнечными эрупциями, распространяются от активных областей на большие расстояния вдоль солнечной поверхности. Их проявления могут наблюдаться на изображениях как «EIT волны» и волны Мортонa. Результаты моделирования распространения таких волн сравниваются с наблюдениями в крайнем ультрафиолете в конкретном событии. Получено согласие рассчитанной кинематики волнового возмущения с наблюдениями и объяснена наблюдаемая разница между скоростями движения купола ударной волны вверх и вдоль солнечной поверхности. Предложена интерпретация наблюдаемых «двойных» фронтов «EIT волны». На основании этих результатов сделан вывод, что «EIT волна» представляет собой проявление свободно распространяющейся в короне слабой взрывной ударной волны, подтверждая одну из двух основных гипотез о природе «EIT волн». С другой стороны, распространение быстрых магнитозвуковых волн в неоднородной среде может приводить к диссипации энергии и нагреву среды. Как известно, этот процесс дает существенный вклад в общий энергетический баланс солнечной короны. Считается, что диссипация энергии волны происходит наиболее эффективно вблизи магнитных нулевых точек. Волна захватывается нулевой точкой, а ее амплитуда значительно увеличивается как из-за уменьшения альфвеновской скорости, так и из-за сходимости волнового фронта в окрестности нулевой точки. Линейная волна преобразуется в ударную волну, распространение которой всегда сопровождается диссипацией энергии. В докладе представлены результаты моделирования распространения быстрой магнитозвуковой волны вблизи двумерной магнитной нулевой точки. Ударная волна проходит нулевую точку даже в случае холодной плазмы, подобно волнам в теплой плазме. В отличие от линейной волны в холодной плазме, рост амплитуды ударной волны ограничен, поскольку нелинейные волны интенсивно затухают с ростом амплитуды. Диссипация энергии волны при этом приводит к распределенному в пространстве нагреву плазмы.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР (ПКД)

Е.Е. Беневоленская

ГАО РАН, г. Москва, Россия

Корональные дыры представляют собой крупномасштабные структуры магнитного поля Солнца открытой конфигурации и могут быть интерпретированы как неосесимметричные компоненты крупномасштабного магнитного поля. Анализ ПКД можно произвести, используя данные о солнечной короне в крайнем ультрафиолете (EUV). Так, данные космической обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO) в линии 193A прекрасно идентифицируют области ПКД. Для данного исследования были использованы EUV данные и магнитные HMI /SDO в виде компоненты магнитного поля по-лучу-зрения. На примере полярной короны дыры, существовавшей в июле-августе 2010 года, проведено детальное исследование динамики магнитных структур. Показано, что вариации положительного и отрицательного магнитных потоков осуществляются на временах порядка часов, что соответствует влиянию солнечной конвекции на генерацию и диссипацию мелкомасштабного магнитного поля Солнца. В то время как, соотношение между положительным и отрицательным магнитным потоком в области ПКД не показывает строгой корреляции, что говорит о транспорте магнитного потока из среднеширотных зон вслывания магнитного потока. В данной работе даны оценки транспорта магнитного потока за счёт вращения и турбулентной диффузии. Обсуждается роль меридиональной циркуляции.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ВСПЫШЕК НА ОБРАТНОЙ СТОРОНЕ СОЛНЦА

В.И. Выборнов, Л.К. Кашапова, М.А. Лившиц

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

Анализируются результаты наблюдений в жесткой рентгеновской области и микроволновом диапазоне события 27 октября 2002 года. Мощная вспышка наблюдалась далеко за восточным лимбом Солнца и связанный с ней протяженный источник зарегистрирован RHESSI в области до примерно 40 кэВ. Эруптивное событие наблюдалось в микроволновом диапазоне на обсерватории Nobeyama. Вспышка также наблюдалась с околomarсианской орбиты аппаратурой HEND, разработанной в ИКИ РАН и установленной на космическом аппарате Mars-Odyssey. По характеристикам рентгеновского излучения находится спектр электронов, ответственных за рассматриваемые излучения в рамках толстой мишени для наблюдений с околomarсианской и тонкой мишени – с околоземной орбиты. Выводы сопоставляются с результатами микроволновых наблюдений. Обсуждаются условия распространения электронов в солнечной короне.

УСКОРЕННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ И ЖЕСТКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

П.А. Грицык, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, 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 магнитного поля вспышечных петель порождают всплески жесткого рентгеновского излучения. В рамках модели толстой мишени с обратным током рассмотрено тормозное излучение нерелятивистских ускоренных электронов. Аналитический подход к решению этой задачи позволил найти точную функцию распределения быстрых электронов, на основе которой рассчитаны спектр и поляризация жесткого рентгеновского излучения. Рассчитан нагрев холодной плазмы пучками частиц прямого и обратного токов. Проведено детальное сравнение предлагаемой модели с классической моделью, не учитывающей эффект обратного тока.

ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ СОБСТВЕННЫЕ ВИХРЕВЫЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЦА И ИХ ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ В ГЛОБАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

Н.С. Джалилов

*Шемахинская Астрофизическая Обсерватория, г. Баку,
Республика Азербайджан, namigd@mail.ru*

Проанализированы статистические данные, известные из природных архивов, о квазипериодических изменениях климата Земли в прошлом. Записи об изменении концентрации космогенных изотопов ^{14}C и ^{10}Be по времени свидетельствуют о том, что в последнем ледниковом периоде и в Голоцене присутствовали резкие изменения климата с периодом несколько тысяч лет. Так как изменения концентрации этих двух изотопов находятся в хорошей корреляции с магнитной активностью Солнца, то, эти изменения позволяет восстановить деятельность Солнца далеко в прошлом. Оказалось, что светимость Солнца меняется с периодами несколько тысяч лет, что может стать главной причиной изменения климата Земли. В связи с этим мы развиваем теорию собственных колебаний Солнца в сверхнизкочастотном диапазоне. Для таких колебаний важным является учет дифференциального вращения по широтам Солнца. Для реальной табличной модели Солнца рассчитаны собственные колебания резонатора, который возникает между центром Солнца и конвективной зоной. Учитывается неадиабатичность колебаний включением поставку энергии из ядерного горения (p-p реакций) и переноса энергии излучением в диффузном режиме. Вычислен спектр собственных колебаний на основе решения краевой задачи уравнения возмущения температуры. Оказалось, что при очень малых широтных градиентах вращения (что согласуется с гелиосейсмологией), наиболее неустойчивыми являются квази: 2, 22, 100, 3000 и 30000-40000 летние моды. Этих мод мы назвали климатическими модами Солнца. Эти моды, которые по физике являются прототипами волн Россби в геофизике, могут изменять оптические свойства Солнца и привести к вариациям его светимости.

ВОЗМУЩЕННАЯ ЗОНА И ПОРШНЕВАЯ УДАРНАЯ ВОЛНА ВПЕРЕДИ СМЕ В НИЖНЕЙ КОРОНЕ ПО ДАННЫМ SDO

М.В. Еселевич

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

Корональный выброс массы (СМЕ) в событии 13 июня 2010 г., распространяющийся в направлении позиционного угла $PA \approx 245^\circ$, исследовался по данным AIA/SDO, LASCO C2, C3/SOHO. Показано, что впереди фронтальной структуры СМЕ постепенно возникает возмущенная зона, размер которой увеличивается по мере удаления СМЕ от Солнца. Формирование разрыва в передней части возмущенной зоны наблюдается в узком диапазоне позиционных углов $PA \approx (245-250)^\circ$. Он по своим характеристикам удовлетворяет поршневой столкновительной ударной волне. В остальных направлениях относительно оси движения СМЕ ($PA > 250^\circ$ и $PA < 245^\circ$) существует только возмущенная зона и устойчивый разрыв отсутствует. Анализ данного СМЕ, а также нескольких лимбовых СМЕ с различными скоростями по данным Mark 4, LASCO C2, C3 и COR2/STEREO подтвердил ранее установленные законы формирования поршневой ударной волны перед СМЕ.

СВОЙСТВА КОРОНАЛЬНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЭРУПТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

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

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

Представлены результаты анализа физических свойств коронального источника энерговыделения и ускорения электронов частично залимбовой эруптивной солнечной вспышки 3 ноября 2010 г. Данное событие выделяется тем, что в ходе его развития с помощью телескопа вакуумного ультрафиолетового излучения AIA/SDO, а также телескопа-спектрометра жесткого рентгеновского излучения RHESSI имелась возможность детально наблюдать эрупцию вспышечной магнитоплазменной структуры, сопровождавшуюся формированием многотемпературного ($T=1-10$ МК) плазмойда и связанного с ним коронального ускорителя электронов. Показано, что в импульсной фазе события ускоритель располагался между низколежащими ($h < 15$ Мм) вспышечными петлями и эруптирующим плазмойдом ($h < 80$ Мм). Приведены доводы в пользу того, что этот ускоритель представлял собой квазивертикальный токовый слой, который сформировался во время эрупции. Спектральный анализ рентгеновского (RHESSI) и радиоизлучения (RSTN, NRH, PHOENIX) вспышки показал, что магнитная энергия, содержащаяся в ускорителе ($W=10^{30}-10^{31}$ эрг), превышала энергию, выделившуюся в импульсной фазе вспышки. Полученные результаты не противоречат стандартной модели CSHKP эруптивных солнечных вспышек.

О СВЯЗИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА С ЦИКЛИЧЕСКИМИ ВАРИАЦИЯМИ СКОРОСТИ И ЧАСТОТЫ ПОЯВЛЕНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

Е.В. Иванов

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Московская обл., г. Троицк, Россия, eivanov@izmiran.ru

Исследована связь циклических изменений структуры крупномасштабного магнитного поля Солнца (КМПС) (изменений величины эффективного солнечного мультиполя) с циклическими вариациями частоты появления, максимальной и средней скоростей корональных выбросов массы (КВМ) в течение 23-го цикла активности. Обнаружена значительная корреляция ($r \sim 0.8-0.9$) изменения характерных размеров ячеек структуры КМПС с соответствующими изменениями максимальной скорости и частоты появления КВМ. Тем самым прослеживается связь между изменениями характерных размеров ячеек структуры КМПС и условиями образования крупномасштабных комплексов из нескольких активных областей, возникающих вблизи границ соответствующих ячеек. Предполагается, что максимальная скорость КВМ, возникающих в этих комплексах, зависит от энергии, накопленной в корональных арочных структурах, связывающих между собой активные области, входящие в состав соответствующего комплекса. В конце фазы спада 23-го цикла активности (2007-2009 гг.) при значительном росте характерных размеров ячеек КМПС возникновение комплексов из нескольких активных областей и соответственно возникновение мощных высокоскоростных КВМ становится невозможным. В это время наблюдается относительный рост частоты возникновения слабых низкоскоростных КВМ ($V < 700$ км/с), возникающих в отдельных относительно небольших источниках

СОЛНЦЕ ВБЛИЗИ МАКСИМУМА 24 ЦИКЛА СА: ГЕОЭФФЕКТИВНЫЕ ВСПЫШЕЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ХОД И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, Россия, ishkov@izmiran.ru

Рассмотрены основные характеристики и ход эволюции текущего 24 цикла СА после трёх лет развития и некоторые признаки позволяют сделать вывод, что текущий цикл входит в фазу максимума. Для достоверных циклов фазу максимума можно определить, как период времени, когда значения сглаженных чисел Вольфа лежат в пределах 15 % от величины максимума данного солнечного цикла. В тоже время кривая развития текущего солнечного цикла проходит ниже солнечного цикла 14 – самого низкого из достоверных. Запуск солнечной обсерватории SDO позволил с очень высоким пространственным и временным разрешениями начать изучение солнечных вспышек малых, средних (96) и больших (19) баллов, в том числе 9 протонных событий, выявить предполагавшиеся связи между вспышками и выбросами солнечных волокон и подтвердить 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. В то же время, геоэффективность солнечных вспышечных явлений и корональных дыр остаётся аномально низкой: и за эти 3 года не зарегистрировано ни одной очень большой магнитной бури ($A_p \geq 100$), всего одна большая магнитная буря ($A_p \geq 70$) и ни одного солнечного протонного события ($E_{pr} > 10$ MeV) с потоком протонов больше 100 p.f.u.

СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ И РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ПЯТЕННОГО ИСТОЧНИКА В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Т.И. Кальтман¹, В.М. Богод¹, А.Г. Ступишин², Л. В. Ясн²

¹ *С.-Петербургский филиал САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, arles@mail.ru*

² *С.-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

В работе представлена методика диагностики физических условий в переходной зоне и нижней короне Солнца в активной области с пятненным источником. На основе многоволновых поляризационных наблюдений на РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне, экстраполяции фотосферного магнитного поля и расчетов радиоизлучения диагностируются структура магнитного поля, высота основания короны и распределения кинетической температуры и электронной плотности с высотой. Демонстрируется метод, позволяющий на основе наблюдательных характеристик активной области отделить вклад радиоизлучения пятненного источника от вклада тонкой структуры флоккулярного источника и оценить относительные доли теплового тормозного и циклотронного механизмов излучения. На основе данных фотосферных измерений экстраполируется структура магнитного поля активной области от фотосферы до нижней короны в линейном и нелинейном бессиловом приближении, для сравнения приводится также дипольная аппроксимация. Для рассчитанного распределения магнитного поля в совокупности с наблюдательными оценками высоты основания короны и корональной температуры рассчитывается радиоизлучение активной области в сантиметровом диапазоне. Сопоставление расчетных размеров пятненного источника с размерами гирорезонансных уровней выявляет вклад различных гармоник в разных частях источника. Учет размеров источника, измеренных по данным наблюдений на РАТАН-600 на разных длинах волн позволяет оценить на соответствующих высотах диаметр зоны преимущественно циклотронного излучения над пятном. Более тонкий подбор модели распределения температуры и концентрации электронов осуществляется по специальным критериям подобия расчетных и наблюдаемых характеристик радиоизлучения.

ПРОЦЕССЫ УСКОРЕНИЯ НА НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 12 ИЮНЯ 2010 ГОДА

Л.К. Кашапова, Н.С. Мешалкина

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

Солнечная вспышка 12 июня 2010 года одно из самых загадочных событий текущего солнечного цикла. Несмотря на короткое время жизни и невысокий класс мощности (M2.0) во время нее было зарегистрировано гамма-излучение, что необычно для вспышек такого класса. Целью нашего исследования было найти возможные причины наблюдаемых несоответствий широко распространенным сценариям эволюции солнечных вспышек. Мы провели анализ параметров плазмы, полученных во время начальной стадии данной вспышки. Были использованы как наблюдения, полученные как в микроволновом (новый 10-ти антенный прототип радиогелиографа ССРТ и обсерватория Нобеяма), так и в рентгеновском диапазонах (КА Fermi). Установлено присутствие ускоренных электронов на самой ранней фазе развития данной вспышки. Эволюция и рентгеновских, и микроволновых спектров имеет тенденцию к постепенному ужесточению, что может указывать на наличие нескольких последовательных актов ускорения. Обсуждается возможный сценарий данного события.

«ФАЗОВАЯ КАТАСТРОФА» ПРЕДЫДУЩЕГО 23 ЦИКЛА – КАК НАЧАЛО ЗАТЯЖНОГО СБОЯ 11-ЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ СОЛНЦА

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

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

По изучению флуктуаций галактических космических лучей (ГКЛ) выявлен инвариантный характер солнечной цикличности, который можно представить как неизменность площади «заметаемой» под кривой солнечного цикла (Козлов В.И., Марков В.В., 2007). Дискретное (за цикл) стравливание избыточной энергии равными «порциями» присуще автоколебательным режимам регуляции энергии. Это указывает на то, что 11-летняя цикличность есть, возможно, не что иное, как автоколебательный и эффективный, т.е. солитонный механизм регуляции солнечной энергии обуславливающий постоянство температуры Солнца. Если 11-летняя цикличность есть автоколебательный режим, то обнаруженный по флуктуациям космических лучей сбой 11-летней цикличности в виде «низкочастотного дрейфа» периода 11-летнего цикла есть, по сути – «фазовая катастрофа» (по терминологии Куклина Г.В., 1982). Различного рода тесты с использованием введенного параметра флуктуаций ГКЛ выявили его уникальные диагностические возможности по сравнению с известными индексами солнечной активности. В результате применения метода *траекторного анализа на фазовой плоскости* к параметру флуктуаций ГКЛ установлено, что режим низкочастотного дрейфа обнаруженный нами для предыдущего цикла №23 соответствует режиму фазовой катастрофы, подобно той, которая была выявлена Г.В. Куклиным по числам Вольфа для циклов №№4-7. В итоге, сделан вывод, что фазовая катастрофа 23 цикла есть не что иное, как начало затяжного сбоя 11-летней цикличности Солнца. Как правило, при применении нового параметра для прогноза солнечной активности мы сталкиваемся с проблемой необходимости объединения двух, противоположных тенденций: постоянства критерия прогноза (*условие постоянства критерия неизбежно при формализации алгоритма прогноза*) и нестационарностью исследуемого процесса. Эта проблема решается нами путем перевода трендов оперативного прогноза в следующий мезомасштаб, посредством усреднения и т.д. В итоге, вместо одного, имеем три режима прогноза: оперативный, среднесрочный и долгосрочный: <http://www.forshock.ru/pred.html>; <http://www.forshock.ru/predlong.html>; <http://www.forshock.ru/predvlong.html>.

НЕГАУССОВСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СПИРАЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ

К.М. Кузанын¹, Д.Д. Соколов², Т. Сакураи³, Ю. Гао⁴, Х. Жанг⁴

¹ ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл. , Россия, kuzanyan@izmiran.ru

² МГУ, физический факультет, г. Москва, Россия

³ Национальная астрономическая обсерватория, Митака, Токио, Япония

⁴ Национальная астрономическая обсерватория, Солнечная обсерватория Хуайроу, Пекин, КНР

Изучается крупномасштабное распределение спиральности магнитных полей в активных областях Солнца. В целом распределение средних спиральностей активных областей по полушариям подчинено правилу: северное полушарие - отрицательный знак, южное - положительный. Установлено, что преимущественно величины средних спиральностей распределены по Гауссовскому закону с очень малым средним, однако всегда существует определенная часть областей, распределение которых существенным образом не укладывается в гауссовское. Как правило эти области определяют полушарное правило знаков. Особенно много таких областей вблизи максимума солнечного цикла. Можно заметить, что вышеописанное полушарное правило наиболее определенно выражено в максимуме солнечного цикла, в то время как на фазе роста и спада имеются значительные отклонения и даже обращение знаков средних спиральностей на противоположное правилу полушарий. Данные, полученные в ходе многолетних наблюдений на наземных станциях Хуайроу в Китае и Митака в Японии могут быть дополнены данными с космических станции Хиноде (Hinode-SOT/SP). Нарушение гауссовости распределения спиральных характеристик отражает важные особенности механизма турбулентного динамо на Солнце, и должно учитываться при моделировании динамо.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА УСКОРЕНИЯ ПРОТОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

В. Г. Курт¹, Б.Ю. Юшков¹, В.В. Гречнев²

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

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

Наблюдения гамма-излучения с энергиями фотонов 10-300 МэВ во время солнечных вспышек позволяют напрямую исследовать процессы ускорения протонов до субрелятивистских энергий. Спектр гамма-излучения вспышки формируется в основном тормозным излучением ускоренных электронов. Если протоны ускоряются во вспышке до энергий выше ~ 300 МэВ, то при взаимодействии с веществом солнечной атмосферы они генерируют заряженные и нейтральные пионы. При распаде последних генерируется широкая линия гамма-излучения с максимумом в области энергий 70 МэВ, которая при определенных условиях может быть выделена в наблюдаемом спектре излучения вспышки. Однако число вспышек, в которых указанная линия была надежно выделена, ограничено несколькими событиями, четыре из них были зарегистрированы в эксперименте СОНГ на ИСЗ КОРОНАС-Ф. В некоторых очень коротких импульсных событиях спустя 3-5 минут после регистрации высокоэнергичного гамма-излучения были зарегистрированы нейтроны с энергией до нескольких ГэВ. Этот факт также является однозначным свидетельством ускорения протонов субрелятивистских энергий во вспышке на Солнце, т.к. других механизмов генерации нейтронов, помимо взаимодействий высокоэнергичных протонов с веществом, не существует. Число солнечных вспышек, в которых наблюдалось высокоэнергичное гамма-излучение и при этом была выделена гамма-линия, вызванная распадом пионов, и/или регистрировались нейтроны высоких энергий, ограничено - всего 12 событий. Мы сравнили временные профили высокоэнергичного гамма-излучения с профилями других электромагнитных излучений и обнаружили, что в 8 случаях начало и максимум высокоэнергичного гамма-излучения наблюдаются вблизи момента основного энерговыделения вспышки, которое проявляется в виде всплеска в различных диапазонах электромагнитного излучения – тормозного излучения ускоренных электронов в интервале энергий 0.03-30 МэВ, гамма-излучения в узких ядерных линиях, высокочастотного радиоизлучения. Этот же момент характеризуется максимальными значениями температуры в источнике теплового рентгеновского излучения, регистрируемого на ИСЗ серии GOES, и его производной по времени. Следовательно, процесс эффективного ускорения протонов до субрелятивистских энергий в этих событиях стартует в интервале времени максимального энерговыделения. Отметим, что все эти события имеют достаточно короткую (1-5 мин.) импульсную фазу. В двух вспышках излучение, вызванное распадом пионов, не было надежно выделено в импульсной фазе на фоне тормозного излучения ультрарелятивистских электронов. Во вспышке 16.12.1988 фотоны высоких энергий были зарегистрированы лишь во втором, менее интенсивном импульсе энерговыделения. Таким образом, мы показали, что процесс эффективного ускорения протонов до субрелятивистских энергий в большинстве событий стартует в интервале времени максимального энерговыделения. Для большинства вспышек, ассоциированных с солнечными протонными возрастаниями и возрастаниями (GLE), не было измерений высокоэнергичного гамма-излучения. Результат нашей работы показывает, что время максимального энерговыделения во вспышке может быть использовано как время начала ускорения протонов в этих событиях.

СРАВНЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ЖЕСТКОМ РЕНТГЕНОВСКОМ И ГАММА ДИАПАЗОНЕ С РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ, ИЗМЕРЕННЫМ В ОБЛАСТИ ЧАСТОТ 200-400 ГГц.

**В.Г. Курт¹, П. Кауфманн^{2,3}, Ж.П. Раулин², В.С. Махмутов⁴,
Б.Ю. Юшков¹, Г.Д. Флейшман^{5,6}**

¹ НИИЯФ им. Д.В. Скобелева МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, vgk@srd.sinp.msu.ru

² Mackenzie Presbyterian University, Sao Paulo, SP, Brazil

³ Campinas State University, Campinas, SP, Brazil

⁴ Физический институт им. Лебедева, РАН, Москва, Россия

⁵ Center For Solar-Terrestrial Res., New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA

⁶ Физико-технический институт им. Иоффе, С. Петербург, Россия

Недавние наблюдения, проведенные с помощью радиотелескопов (SST -solar submm-w telescope, Аргентина и KOSMA, Швейцария), показали, что во время солнечных вспышек присутствует новый спектральный компонент, интенсивность которого возрастает в области THz частот одновременно с хорошо известным излучением, имеющим максимум в области микроволн. Несколько процессов было предложено для объяснения THz спектрального компонента (см, в частности, Fleishman, 2010), самым естественным из которых представлялось синхротронное излучение высокоэнергичных электронов или позитронов. Субмиллиметровое радиоизлучение было зарегистрировано, в частности, в мощных вспышках 25.08. 2001, 28.10.2003 и 04 11.2003, в которых спектрометр СОНГ на борту ИСЗ КОРОНАС-Ф зарегистрировал высокоэнергичные гамма-излучения в интервале энергий 0.04-200 МэВ. Это позволило впервые провести количественную диагностику радиоизлучения. Были установлены практически одновременные изменения амплитуды и формы спектра гамма-излучения и субмиллиметрового радиоизлучения в самом начале вспышки и показано, что появление в импульсной фазе вспышки “пионного” компонента совпадает с резким ростом интенсивности субмиллиметрового радиоизлучения. Однако интенсивность синхротронного излучения релятивистских позитронов, возникающих при распаде пионов, не может обеспечить измеренный в субмм диапазоне поток в $(1-2) \cdot 10^4$ sfu даже в самой интенсивной из известных вспышек в пионном излучении вспышке 28.10.2003г. Таким образом, этот механизм незачем принимать во внимание при объяснении природы излучения в субмм диапазоне. Комплексный анализ трех вспышек позволил вычислить температуру и плотность излучающей плазмы, размер магнитной петли, напряженность магнитного поля в основаниях и в вершине петли, и параметры спектра электронов. Моделирование спектра радиоизлучения с помощью кода (Fleishman, 2010) для найденных параметров показало, что в импульсной фазе событий 25.08.2001г., 28.10.2003г. ТГц-излучение может быть интерпретировано как синхротронное излучение ускоренных релятивистских электронов, что подтвердило качественный вывод, ранее полученный в работе (Raulin *et al.*, 2006). В лимбовой вспышке 04.11.2003 субмм излучение прекрасно коррелирует во всех временных структурах с временным профилем высокоэнергичного тормозного гамма излучения, однако рост интенсивности на частоте 400 ГГц не может быть объяснен синхротронным излучением этих электронов. Kaufmann *et al.*, 2010 предлагают довольно экзотическое объяснение спектра радиоизлучения на основе модельного эксперимента, в котором было получено согласие между потоком THz некогерентного синхротронного излучения и микроволновым когерентным синхротронным излучением. Последнее возникает вследствие существования микронеустойчивости пучка ультрарелятивистских электронов. Таким образом, можно сказать, что вопрос о происхождении THz оказался чрезвычайно трудным, хотя наш анализ частично его прояснил.

МИКРОВОЛНОВОЕ И СУБ-ТГц ИЗЛУЧЕНИЕ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

В.Ф. Мельников¹, Ж.Э.Р. Коста², П.Ж.А. Симоес³

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,

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

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, S.J.Campos, Brazil

³ Centro de Radio Astronomia e Astrofisica Mackenzie, Sao Paulo, Brazil

Предложен гиросинхротронный механизм одновременной генерации двух спектральных пиков (микроволнового и суб-терагерцового) радиоизлучения солнечных вспышек в рамках модели одиночной тонкой вспышечной петли. Ключевым в модели является образование повышенной концентрации релятивистских электронов в нижней части петли, где соотношение плотности плазмы n_0 к магнитному полю B достаточно велико, чтобы частота Разина $f_R = 20 n_0/B$ достигала значений $f_R \sim 200$ ГГц. Установлено, что в этом случае суб-терагерцовая и микроволновая спектральные компоненты излучения генерируются в различных частях вспышечной петли - вблизи оснований и в ее вершине, соответственно. Низкочастотная часть суб-терагерцового спектрального пика синхротронного излучения формируется за счет эффекта Разина и ее источник является оптически тонким. Последнее позволяет получить суб-терагерцовый пик излучения как суммарное излучение от протяженной аркады вспышечных петель с общим размером до десятков угловых секунд.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Ю.А. Наговицын, А.Л. Рыбак, Е.Ю. Наговицына

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

С применением вейвлет-преобразования на основе данных SOHO MDI рассмотрен вклад в долгопериодические (десятки-сотни минут) колебания центральной напряженности магнитного поля пятен H различных пространственных мод. Показано, что относительные (крутильные и радиальные) и абсолютные (широтные и долготные) моды дают примерно равный вклад в дисперсию H , однако для разных периодов колебаний этот вклад может различаться. Полученные результаты накладывают определенные ограничения на интерпретацию явления в рамках предложенных ранее моделей.

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ВИХРИ В КОРОНЕ СОЛНЦА

В.М. Накаряков

ГАО РАН, г. Санкт Петербург, Россия,
University of Warwick, Coventry, UK, V.Nakariakov@warwick.ac.uk

Наблюдения развития коронального выброса массы связанным с активной областью NOAA11121 3-го ноября 2010 года, с помощью инструмента Solar Dynamics Observatory Atmospheric Imaging Assembly, позволили впервые зарегистрировать развитие неустойчивости Кельвина-Гельмгольца на одной из сторон всплывающего плазмоида. Развитие неустойчивости сопровождалось ростом периодической вихревой структуры с характерным пространственным масштабом около 18.000 км, и характерной скоростью движения около 417 км/с. Вихревая структура двигалась в сторону, противоположную движению плазмоида. Аналогичные вихри, развивающиеся в результате взаимодействия выбросов массы с корональными петлями, могут приводить к резонансному возбуждению горизонтально-поляризованных изгибных колебаний этих петель с периодами около нескольких минут. Численное моделирование этого эффекта показало, что для широкого диапазона параметров число Струхала является постоянным, около 0.2, и что в вихревых рукавах плазма подвергается существенному сжатию. Полученные результаты имеют важное значение для объяснения и предсказания кинематики корональных выбросов массы, а так же показывают необходимые условия для возбуждения изгибных колебаний корональных петель.

СТАЦИОНАРНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР МОЖЕТ БЫТЬ ФЕНОМЕНОМ СОЛНЦА КАК ЗВЕЗДЫ

К.И. Никольская

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

Независимо от фаз активности, типа магнитных полей и гелиоширот наблюдается четкая обратная связь скоростей солнечного ветра (СВ) с магнитными полями Солнца. Высокоскоростные потоки СВ ($V > 500$ км/с) ассоциируются со слабыми замкнутыми МП, тогда как медленные ($V < 500$ км/с) – с сильными замкнутыми магнитными структурами активных областей и пояса стримеров, что указывает однозначно на торможение изначально высокоскоростных плазменных потоков в магнитных полях Солнца, глубоко под поверхностью источника. Введение в рассмотрение взаимодействия СВ с МП-ми Солнца приводит к альтернативной парадигме солнечного ветра: *торможение первичных высокоскоростных потоков вместо ускорения корональной плазмы*. При этом присутствие первичных высокоскоростных потоков вблизи поверхности фотосферы – *не гипотеза, а наблюдательный факт*. В рамках «парадигмы торможения» солнечный ветер и солнечная корона оказываются продуктом взаимодействия с солнечными МП плазмы первичных высокоскоростных потоков ($V \sim 900$ км/с), поступающих из фотосферы. В работе этот тезис аргументируется с помощью прямых измерений скоростей эклиптических и вне-эклиптических потоков перманентного солнечного ветра Ulysses/SWOOPS и SOHO/PM (PM – протонный монитор) а также наблюдений XUV – изображений Солнца Yohkoh, SOHO/EIT и магнитограммы MDI на SOHO и Обсерватории Kitt/Peak. Регулярные высокоскоростные истечения фотосферной плазмы в свою очередь, могут быть обусловлены воздействием на Солнце агрессивной вакуумной среды (тяги), *т.е. могут представлять собой феномен «Солнца как звезды»*.

СТАТИСТИКА ПЯТНООБРАЗОВАНИЯ: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИ

В.В. Пипин, Д.Д. Соколов

МГУ, г. Москва, Россия, d_sokoloff@hotmail.com

Мы изучаем возможность воспроизвести статистические соотношения, характеризующие циклы активности на Солнце, наблюдаемые по солнечным пятнам, например, такие, как правила Вальдмайера, как то связь между периодом цикла и его амплитудой, длина фазы роста и амплитуда, с помощью моделей динамо среднего поля с флуктуирующим альфа-эффектом. Мы рассматриваем динамо-модели, которые включают длинновременные флуктуации альфа-эффекта и два типа подавления альфа-эффекта – простое алгебраическое подавление и подавление, связанное с производством магнитной спиральности. Мы находим, что наши модели при 20% флуктуаций альфа-эффекта в состоянии качественно и количественно воспроизвести тренд и дисперсию относительно него в соотношениях Вальдмайера. При этом модели с динамическим подавлением спиральности обнаруживают лучшее сходство с наблюдениями, чем модели с алгебраическим подавлением. Мы сравниваем симулированное распределение вероятностей для амплитуды, периода, длительности фазы роста и спада для циклов активности с наблюдаемыми.

СТРУКТУРА АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА НА ГРАНИЦАХ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР

Д.В. Просовецкий, А.А. Кочанов, С.А. Анфиногентов,
Г.В. Руденко

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

Границы, разделяющие корональные дыры и «спокойное» Солнце, по-видимому, обладают особыми свойствами и их особенности являются определяющими для многих процессов в солнечной атмосфере. По данным SDO на границах корональных дыр расположены многочисленные области пересоединения магнитного поля, проявляющиеся в виде джетов. Наблюдения показывают, что волны, распространяющиеся вдоль поверхности Солнца и достигающие границ корональных дыр, отражаются и/или преломляются. Эти явления невозможно объяснить в предположении, что свойства корональных дыр определяет только открытое слабое униполярное магнитное поле. Мы исследовали границы корональных дыр по данным одновременных наблюдений в крайнем ультрафиолете КА SOHO/EIT, SDO/AIA и STEREO/EUVI Ahead и Behind. Было найдено, что границы корональных дыр значительно меняются в зависимости от угла, под которым они видны, а причиной этому является «стенка» на границах корональных дыр, состоящая из горячих петель высотой 5-15 тысяч километров, которые экранируют различные их участки. Двумерные наблюдения в радиодиапазоне на 5.7 (CCPT) и 17 ГГц (NoRH) показывают, что приполярные области Солнца, где практически постоянно присутствуют корональные дыры, имеют повышенную яркостную температуру. Было установлено, что радиоизлучение таких областей на 5.7 ГГц поляризовано, а степень поляризации составляет от 1 до 3 процентов. Магнитное поле в этих областях в предположении оптически тонкого излучения имеет величину от 20 до 30 гаусс. В случае оптически толстого излучения наблюдения на 5.7 и 17 ГГц дают значения от 10 до 20 гаусс. Такие значения индукции магнитного поля вряд ли могут соответствовать слабому полю корональных дыр. Можно предположить, что радиоизлучение выходит из высоких петель с достаточно плотной плазмой, лежащих на границах корональных дыр. Еще одним подтверждением этому служит экстраполяция фотосферного магнитного поля в потенциальном приближении. Ее результаты показывают, что на границах корональных дыр берут свое начало высокие петли, которые замыкаются на значительном удалении от них. Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на атмосферу Солнца на границах корональных дыр и, по нашему мнению, должны учитываться при моделировании и интерпретации наблюдений.

КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В СПОКОЙНОМ ПЕРЕХОДНОМ СЛОЕ МЕЖДУ КОРОНОЙ И ХРОМОСФЕРОЙ СОЛНЦА

О.В. Птицына, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ им. П. К. Штернберга, Россия, olga.ptitsyna@gmail.com

Получено распределение температур по толще вещества в переходном слое между короной и хромосферой Солнца в предположении, что нагрев плазмы классическим тепловым потоком уравновешен потерями энергии на излучение, использованы новейшие атомные данные о функции охлаждения плазмы излучением. Доказана устойчивость полученного решения в рассматриваемом диапазоне температур. Выполненные расчеты позволяют утверждать, что распределение температуры является устойчивым следствием тепловой неустойчивости в режиме конденсационной моды. Показано, что переходная область между короной и хромосферой представляет собой тонкий слой, в котором, однако, хорошо применимо обычное столкновительное приближение, что подтверждается сравнением рассчитанной дифференциальной меры эмиссии с наблюдательными данными. Показано, что равновесный профиль температур с разделением плазмы на высоко- и низкотемпературную устанавливается вне зависимости от режима нагрева: успевает или нет установиться гидродинамическое равновесие. Результатом работы также является утверждение, что в переходном слое спокойного Солнца режим нагрева близок к случаю медленного нагрева (такого нагрева, при котором за время изменения температуры успевает выровняться давление). Рассмотрен вопрос о тепловых убегающих электронах в переходном слое.

СТРУКТУРА ВНУТРЕННЕЙ КОРОНЫ СОЛНЦА И ЕЕ СВЯЗЬ С ЛОКАЛЬНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

В. Слемзин¹, Л. Харра², С. Кузин¹, Ф. Горяев¹, Д. Бергманс³

¹ *ФИАН, г. Москва, Россия, slem@sci.lebedev.ru*

² *Лаборатория им. Мюллара, Университетский колледж,
Лондон, Великобритания*

³ *Королевская Обсерватория Бельгии, Брюссель*

Наблюдения медленного солнечного ветра приводят к предположению о существовании на Солнце локальных источников в области средних широт. Среди таких источников могут быть потоки плазмы, исходящие из некоторых активных областей и проявляющиеся в структуре внутренней короны. Корональные лучи с супер-радиальной расходимостью, исходящие из активных областей и простирающиеся до 2,5 – 3 солнечных радиусов, впервые наблюдались в ВУФ изображениях внутренней короны, полученных телескопом СПИРИТ (2001-2005) в канале 175 Å, соответствующем температуре ~1 МК. По данным, полученным телескопами ТЕСИС (2009) и SWAP (2010-2011) в диапазоне 171 Å, корональные лучи возникают на лимбе над активными областями, в которых спектрометром Hinode/EIS регистрируются исходящие потоки плазмы со скоростями 10-50 км/сек и т.н. «веерные лучи». Диагностика плазмы с помощью метода дифференциальной меры эмиссии показала, что плазма исходящих потоков имеет ту же температуру ~ 1 МК, что и корональные лучи. С помощью потенциальной модели магнитного поля PFSS было установлено, что корональные лучи распространяются вдоль открытых силовых линий из источников, находящихся на границе активной области с корональной дырой. По измерениям на спутниках ACE, WIND, STEREO-A и B и расчетам по модели WSA, исходящим потокам соответствует медленный солнечный ветер со скоростью 300-450 км/сек, отношением плотностей ионов $O^7/O^6 \sim 0,1-0,2$ и $Fe/O < 0,1$, что характерно для положения источника на границе между активной областью и корональной дырой. Приводятся фильмы, показывающие эволюцию структуры ВУФ короны в течение солнечного оборота и синоптические карты короны в диапазоне 174 Å на высотах от лимба до 1,67 солнечного радиуса, построенные по данным, полученным телескопом SWAP в марте - апреле 2011 г.

О ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА БОЛЬШИХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Б.В. Сомов

Государственный Астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Россия

Прогноз больших солнечных вспышек – проблема не только научная, но и практическая, прикладная. Представлен краткий обзор современного состояния проблемы. Утверждается, что главным недостатком современного прогнозирования солнечных вспышек и малой достоверности прогнозов является недостаточное использование физических представлений о механизме вспышки. Изложены основные моменты физики солнечных вспышек, которые следует учитывать при разработке надежных и более детальных методов прогнозирования вспышек. Прежде всего, это – топологические модели крупномасштабного магнитного поля активных областей. Они позволяют найти взаимодействующие магнитные потоки в солнечной короне, области накопления избыточной энергии перед вспышкой. В свою очередь, теория магнитного пересоединения в «сверх-горячих», турбулентных токовых слоях объясняет вспышку как результат быстрого превращения энергии магнитного поля в энергию ускоренных частиц, мощные потоки тепла, быстрые течения плазмы и жесткое электромагнитное излучение. В качестве примера рассматривается эволюция активной области NOAA 10501 в течение 11 часов 18 ноября 2003 года. За это время активная область произвела три вспышки и два корональных выброса массы. На основе топологической модели магнитного поля показано, что условия в короне становились более благоприятными для магнитного пересоединения перед вспышками. Более того, конфигурация магнитного поля во время выбросов была близка к состоянию так называемого «топологического триггера». Высказывается предположение, что именно это явление стало их спусковым механизмом. Обсуждаются практические вопросы обеспечения прогнозирующих вспышки центра необходимыми в режиме реального времени наблюдениями магнитных полей на солнце. Сформулированы требования к современному наземному векторному магнитографу. Подчеркивается, что такой инструмент представляет собой специфически не спектрограф, а спектрополяриметр. Представлен сравнительный анализ двух вариантов таких магнитографов.

ПУЛЬСАЦИИ СУБ-ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК: ПЛАЗМЕННЫЙ МЕХАНИЗМ

А.В. Степанов, В.В. Зайцев, П.В. Ватагин

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

В работе предлагается модель квазипериодических пульсаций суб-терагерцового излучения солнечных вспышек на основе метода корональной сейсмологии и плазменного механизма излучения. Одним из современных вызовов в физике Солнца являются наблюдения интенсивного пульсирующего, с периодом 0.1 – 5 с, излучения солнечных вспышек на частотах 212 и 405 ГГц (Kaufmann *et al.* ApJ **697** 420, 2009). Суб-терагерцовое излучение объяснялось как на основе синхротронного механизма излучения высокоэнергичных (> 10 МэВ) электронов в сильном (≥ 2000 Гс) магнитном поле (Kaufmann *et al.* 2009), так и черенковским излучением электронов, ускоренных в хромосфере (Fleishman & Kontar, ApJ **709**, L127, 2010). В то же время нельзя исключать и плазменный механизм суб-терагерцового излучения, который весьма эффективен в микроволновом излучении вспышек. Анализ показал, что «просветление» хромосферы в суб-терагерцовом диапазоне относительно плазменного механизма радиоизлучения вблизи ленгмюровской частоты требует большой концентрации ионизованной компоненты плазмы в области хромосферы $n \sim 10^{15}$ см⁻³ и пучков (100-500) кэВ электронов с плотностью $n_1/n \geq 10^{-6}$. Это возможно при нагреве хромосферы во вспышке до температуры $(1-3) \times 10^6$ К и эффективном ускорительном механизме. Оба процесса обеспечиваются баллонной неустойчивостью, приводящей к проникновению языков частично ионизованной плазмы в токонесущую вспышечную арку в её хромосферной части. Пульсации с периодами от десятых долей секунды до нескольких секунд и глубиной модуляции 5-8 % вызываются БМЗ-колебаниями оснований вспышечной арки, модулирующими процесс ускорения электронов. Наблюдаемая частота пульсаций накладывает ограничение на размер источника суб-терагерцового излучения, который должен быть весьма компактным, ≤ 1000 км. Это затрудняет интерпретацию на основе синхротронного и гирсинхротронного механизмов излучения. Когерентный плазменный механизм, следовательно, объясняет как характеристики пульсаций, так и высокую, $\geq 10^{10}$ К, яркостную температуру суб-терагерцового излучения.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ В НАСТОЯЩЕМ И БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ

Ю.И. Стожков¹, В.П. Охлопков²

¹ *ФИАН, г. Москва, Россия, stozhkov@fian.fian.mipt.ru*

² *НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, okhlopkov@tasped.sinp.msu.ru*

Обсуждается текущая солнечная активность и дается прогноз ее развития в ближайшие годы. Приводятся доказательства того, что в ближайшие несколько десятилетий солнечная активность будет находиться на низком уровне, т.е. мы будем иметь длительный минимум солнечной активности, подобный минимуму Дальтона, который наблюдался в 1790 - 1835 гг. За последние 55 лет приводятся данные о потоках космических лучей в атмосфере в максимуме кривой поглощения. Показано, что значения потоков, ожидаемые в ближайшем будущем в атмосфере и ближнем космосе, будут достаточно большими по сравнению с потоками в предыдущих солнечных циклах. Это вызвано невысоким уровнем солнечной активности и низкой величиной напряженности межпланетного магнитного поля (~ 5 нТл).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЭНЕРГИЯМ СОЛНЕЧНЫХ НАНОВСПЫШЕК В ДИАПАЗОНЕ 10^{24} – 10^{27} ЭРГ

А.С. Ульянов, С.А. Богачев, С.В.Кузин

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

Используя данные космических наблюдений Солнца в вакуумном УФ диапазоне (эксперимент ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-Фотон) мы зарегистрировали и измерили временные профили и полную энергию для более чем 2000 солнечных нановспышек – событий с энерговыделением от 10^{24} до 10^{27} эрг, составляющим от 10^{-9} до 10^{-6} от типичной энергии большой солнечной вспышки. Ранее из наблюдений довольно уверенно было измерено распределение вспышек по энергиям в диапазоне 10^{27} – 10^{33} эрг, которое, как было показано, является степенным $dN \sim E^{-\phi}dE$ с наклоном $\phi \approx 1.6$. В области энергий ниже 10^{27} эрг, где высвобождают свою энергию нановспышки, наклон распределения также был ранее определен, но значительно менее уверенно. До текущего момента существовало как минимум три оценки ϕ : 1.79 ± 0.08 (Aschwanden *et al.*, 1999), 2.42–2.59 (Parnell & Jupp, 1999) и 2.53–2.59 (Krucker & Benz, 1998). Хотя различие между этими оценками кажется незначительным, оно является принципиальным, так как при ϕ меньше 2 суммарная энергия, высвобождаемая в нановспышках, получается меньше, чем в крупных событиях, а при $\phi > 2$, напротив, превышает ее. Источником прежней неопределенности ϕ в области энергий 10^{24} – 10^{27} эрг было то, что события в этом диапазоне являются предельно слабыми и регистрируются на пределе чувствительности, а также низкое временное распределение наблюдений, порядка минуты, которое приводило к тому, что значительная часть событий оказывалась пропущенной. Особенностью проведенного нами исследования помимо большого числа событий стал период наблюдений, совпавший с глубоким минимумом солнечной активности. Это позволило на фоне чрезвычайно спокойной короны Солнца с высокой точностью измерить энергию наиболее слабых вспышек с энергиями от 10^{24} до 10^{25} эрг. Второй особенностью стало рекордное временное разрешение наблюдений, около 4 секунд, что более чем в 10 раз превышает обычное разрешение в этом диапазоне (спутники SOHO, TRACE). В совокупности это позволило провести наиболее точное на настоящий момент исследование энергетического распределения нановспышек и получить следующие выводы: (1) распределение нановспышек в диапазоне энергий 10^{24} – 10^{27} эрг, действительно, является степенным с наклоном близким к двум; (2) точное значение наклона находится в области $\phi > 2$ и по нашим оценкам составляет 2.6. Основной вывод нашего исследования состоит в том, что основная вспышечная энергия Солнца заключена в области энергий ниже 10^{27} эрг, то есть в нановспышках. Мы также сообщаем, что не обнаружили «обрывания» спектра в диапазоне 10^{24} – 10^{27} эрг, которое необходимо для того, чтобы суммарная вспышечная энергия Солнца не была бесконечной. По всей вероятности точка перелома спектра находится в области энергий ниже 10^{24} эрг. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых – докторов наук № МД-5510.2011.2, а также гранта РФФИ № 11-02-01079-а.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ НОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ PROBA2 И SDO

В.Г. Файнштейн, Я.И. Егоров

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

С использованием данных с высоким временным разрешением недавно запущенных космических аппаратов PROBA2 и SDO, объединенных с данными коронографов LASCO C2, C3 и, в некоторых случаях, MarkIV, получена новая экспериментальная информация о свойствах лимбовых корональных выбросов массы (КВМ), как на начальной стадии, так и на последующих стадиях их движения. Исследованы КВМ, зарегистрированные в период июнь 2010 г. – сентябрь 2011 г. Сделан вывод, что корональные выбросы массы можно разбить на классы в зависимости от временного профиля скорости фронта КВМ. Установлено, что временные профили скорости КВМ, принадлежащих к различным классам, по-разному соотносятся с изменением со временем интенсивности мягкого рентгеновского излучения $I_{\text{SXR}}(t)$ из области вспышки, связанной с КВМ. И, соответственно, временные профили ускорения КВМ из разных групп по-разному связаны с профилями жесткого рентгеновского излучения $I_{\text{HX}}(t)$ или его аналога – dI_{SXR}/dt . Найдены закономерности изменения со временем углового размера КВМ, его траектории в плоскости неба, а также отношения поперечного размера КВМ к его продольному размеру. Обнаружено, в частности, что у некоторых КВМ на начальной стадии их движения более быстро увеличивается их поперечный размер, чем продольный, а на относительно больших расстояниях отношение поперечного размера КВМ к его продольному размеру меняется слабо. Это свидетельствует о выходе движения КВМ на этих расстояниях на автомоделный режим расширения. Для рассмотренных выбросов подтвержден вывод, полученный ранее по другим данным, о существовании обратной корреляции между максимальным значением ускорения и длительностью основного ускорения КВМ. В тех случаях, когда КВМ сопровождался эрупцией волокна (протуберанца), были сопоставлены амплитуды, длительности и другие кинематические характеристики протуберанца и КВМ.

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЛЯХ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ГИРОСИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

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

¹ *ФГБНУ Научно-исследовательский радиофизический институт,*

г. Нижний Новгород, Россия, filatovlv@narod.ru

² *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,*

г. Санкт-Петербург, Россия

Нестационарное изменение структуры магнитного поля ловушки приводит к дополнительному ускорению электронов посредством бетатронного механизма и механизма ускорения Ферми 1-го рода. Для расчета интегральных изменений в энергетическом и питч-угловом распределениях электронов в коллапсирующей магнитной ловушке ранее использован метод пробной частицы (Богачёв С.А., Сомов Б.В. Письма в АЖ, 2005; 2007). Однако, этот метод не даёт возможности получить информацию о пространственной динамике энергетического и питч-углового распределений ускоренных электронов. Вместе с тем, эта информация важна для интерпретации современных микроволновых и жестких рентгеновских наблюдений вспышечных петель с высоким пространственным разрешением. В предлагаемой работе эта возможность реализована путем численного решения нестационарного кинетического уравнения в приближении Фоккера-Планка. В результате проведенных вычислительных экспериментов получены нестационарные распределения электронов по энергии, питч-углу и положению в петле для различных законов эволюции неоднородного магнитного поля в ловушке. Рассчитаны также параметры гиротронного излучения, соответствующие полученным распределениям электронов.

НАБЛЮДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОГО ДЖЕТА В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ В КВАДРУПОЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Б.П. Филиппов

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

Проанализированы данные наблюдений развития крупномасштабного коронального джета 7 апреля 2011 г., полученные различными космическими и наземными обсерваториями. Джет виден в течение нескольких часов как яркий тонкий луч в поле зрения коронографа SOHO/LASCO C2. Ультрафиолетовые изображения Солнца в различных спектральных линиях позволяют судить о распределении температуры в корональной плазме, а наблюдения с разных точек зрения (SDO/AIA, PROBA2/SWAP, STEREO/SECCHI EUVI) дают информацию о трехмерной структуре корональных образований. Анализ изображений короны и фотосферных магнитограмм свидетельствует о квадрупольной магнитной конфигурации области, в которой формируется джет. На лимбе в полосе 171-174 Å образованию джета предшествует расширение темной области гиперболической формы, вершина которой соответствует основанию джета. Сопоставление с изображениями этой области на диске (STEREO A/SECCHI EUVI) позволяет сделать вывод, что темное образование формируется из корональной полости магнитного жгута, претерпевшего ограниченную эрупцию. Часть свободной магнитной энергии жгута расходуется на образование джета.

ON A ROLE OF ELECTRIC FIELD INDUCED BY BEAM ELECTRONS DURING PRECIPITATION INTO A FLARING ATMOSPHERE ON HIGH ENERGY EMISSION AND GENERATION OF LANGMUIR TURBULENCE

V.V. Zharkova¹, T.V. Siversky², A.V. Kuznetsov³ and D. Fisher¹

¹ *Department of Mathematics, University of Bradford, Bradford, BD7 1DP, UK, v.v.zharkova@brad.ac.uk*

² *Physics Department, Lviv University, Lviv, Ukraine*

³ *Armagh Observatory, Armagh BT61 9DG, Northern Ireland*

Simultaneous simulation of HXR and MW emission with the same populations of electrons is still a big challenge for interpreting observations of real events. Recent progress in simulations of particle kinetics with the time-dependent Fokker–Planck (FP) approach for precipitation with anisotropic scattering of electron beam in the energy range from 12 keV to 10 MeV in a converging magnetic field helped to the interpretation of X-ray and MW emissions observed in a few flares. The simultaneously observed HXR photon spectra and frequency distribution of MW emission and polarization were fit by those simulated from FP models that include the effects of energy losses and anisotropic scattering in Coulomb collisions, Ohmic losses and scattering under the influence of and electric field induced by beam electrons precipitating onto a converging magnetic loop. The simulated HXR energy spectrum above 10 keV is shown to have double power laws that were fit very closely the observed photon HXR spectra. Also our MW simulations are able to reproduce closely the main features of the MW emission and polarisation observed at higher frequencies: the spectral index, the frequency of peak intensity and the frequency of the MW polarization reversal. In addition, the self-induced electric field, which causes a return current from beam electrons themselves and from the ambient electrons, is found to produce Langmuir turbulence in two regions: at upper atmospheric levels below the injection and deeper at the chromospheric levels. Electrons with lower energies (<20 keV) are shown to generate intense low-hybrid and high-hybrid Langmuir waves on large spatial scales with well-defined patterns in the corona while higher energy electrons generate moderate low-hybrid waves in the chromosphere. The self-induced electric field reduces the level and makes narrower the regions with low-hybrid Langmuir turbulence in the corona and upper chromosphere. Further implications of these effects on electron beam dynamics and possible re-acceleration are discussed.

С Е К Ц И Я «СОЛНЦЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО ОДНОВРЕМЕННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАДИОГЕЛИОГРАФЕ НОБЕЯМА И SDO

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

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

Выполнен анализ колебательных процессов с периодами от нескольких десятков минут и больше, являющихся проявлением колебания пятна как единого целого, в ряде одиночных пятнен нового цикла, наблюдавшихся в 2010-2011 годах. Используются магнитограммы **HMI (SDO)** с интервалом 45 сек и радиокарты на волне 1.76 см, полученные с помощью радиогелиографа Нобеяма. Радиоизображения в интенсивности (параметр Стокса **I**) и круговой поляризации (параметр Стокса **V**) синтезировались с интервалом и временем усреднения также 45 сек. Исследуются возможные артефакты. Наличие в спектрах колебаний, полученных принципиально разными методами, похожих частот свидетельствует в пользу реальности таких колебаний.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЫСТРЫХ МАГНИТОЗВУКОВЫХ ВОЛН В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

А.Н. Афанасьев, А.М. Уралов

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

Эруптивные процессы в активных областях возбуждают магнитогидродинамические волны. Такие волны, прежде чем выйти на участки спокойного Солнца и проявиться в виде «ЕIT волн» и волн Мортонa, распространяются в магнитосфере активной области. Среда распространения содержит как участки очень сильного магнитного поля у поверхности Солнца, так и нулевые точки, которые располагаются выше в короне. В докладе представлены результаты моделирования распространения быстрой магнитозвуковой волны в активной области в приближении нелинейной геометрической акустики, которое учитывает нелинейное затухание амплитуды волны, а также увеличение скорости движения волны по лучам вследствие нелинейности. Волна распространяется существенно анизотропно, испытывая рефракцию в окрестности нулевой точки и отражение от участков сильного магнитного поля в основании активной области. Рассчитывается амплитуда волны.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕВЕРО-ЮЖНОЙ АСИММЕТРИИ В РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСАХ АКТИВНОСТИ

О.Г. Бадалян

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Россия

Рассматривается пространственно-временное распределение северо-южной активности на масштабах кэррингтоновского оборота по данным о яркости зеленой корональной линии 530.3 нм и рассчитанного магнитного поля на расстоянии 1.1 радиуса Солнца. Детальное рассмотрение последовательных карт распределения индекса A северо-южной асимметрии ($A = (N-S)/(N+S)$, где N и S - значения соответствующих индексов в северном и южном полушариях, соответственно) показывает, что изменение общего распределения индекса A на поверхности Солнца имеет ряд особенностей. В частности, широтно-долготные области с преобладанием яркости зеленой линии в одном из полушарий через 15-20 оборотов сменяются похожими по форме областями с преобладанием другого полушария, т.е. карта как бы изменяется на негативную. В этом, возможно, проявляются квазидвухлетние вариации в северо-южной асимметрии. Показано, что распределение индекса A по данным о зеленой корональной линии и о магнитном поле имеет как сходные, так и различные характеристики, связанные, в основном, с циклическими изменениями индексов активности. Природа северо-южной асимметрии и ее свойства характеризуют несинхронную работу двух полушарий Солнца, что свидетельствует о неодинаковой работе в них механизмов динамо.

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЯТЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ И АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

И.А. Бакунина

НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия;

ФБГНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, rinbak@mail.ru

Рассмотрена динамика параметров (I (интенсивности), V (круговой поляризации), P (степени круговой поляризации)) долгоживущих межпятенных радиоисточников, наблюдавшихся на радиогелиографах NoRH и CCRT в спокойных и вспышечных активных областях. Показана возможность использования адаптивных моделей временных рядов для прогноза мощных солнечных вспышек.

О ВЫСОТНОЙ СТРУКТУРЕ СЛОЖНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПО СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ РАДИОДАНЫМ

В.М. Богод, Т.И. Кальтман, А.Г. Ступишин, Л.В. Яснoв

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

СПГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Проведено исследование сложных активных областей, в которых присутствует пекулярный радиоисточник над линией раздела полярности магнитного поля на фотосфере (NLS). В ряде работ этот тип радиоисточников связывается с источниками разогрева активной области. Наблюдения интенсивности и круговой поляризации радиоизлучения были проведены в широком диапазоне волн с высоким 1% частотным разрешением. Для определения высотной структуры магнитного поля были применены различные экспериментальные и расчетные методы. Они основаны на экстраполяциях фотосферного магнитного поля полученных из магнитограмм со спутников SDO, SOHO для различных высот. На основе экстраполированного магнитного поля рассчитываются двумерные изображения теплового магнитотормозного излучения. Результаты расчета проходят процедуру свертки с соответствующей диаграммой радиотелескопа, и в дальнейшем сопоставляются с данными наблюдений на РАТАН-600 и с результатами стереоскопических измерений высотной структуры магнитного поля. Анализируются возможные причины различий расчетных и наблюдаемых характеристик излучения, связанные с присутствием NLS источника, наличием неоднородностей в распределении температуры и концентрации электронов и сложной топологией магнитного поля. На примере конкретной активной области проведено разделение ее структуры на отдельные радиоисточники. Измерены высоты этих радиоисточников, и соотношение высот для радиоисточников различной природы. Определены характеристики мелкомасштабной и крупномасштабной структуры коронального магнитного поля. Развита метод прямого измерения магнитного поля по многоволновым поляризационным радиоизмерениям вблизи лимба.

ДИНАМИКА ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО, ГАММА И МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК, ПРОИЗОШЕДШИХ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ 0069 В АВГУСТЕ 2002 Г.

А.В. Богомолов¹, Л.К. Кашапова², И.Н. Мягкова¹

¹ *НИИЯФ им. Д.В. Скобелъкина МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, aabboogg@rambler.ru*

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

В работе представлен анализ динамики параметров плазмы солнечных вспышек, основанный на наблюдениях жесткого рентгеновского, гамма и микроволнового излучения. Целью наших исследований является поиск закономерностей в изменении характеристик ускоренных во вспышках частиц с ростом вспышечной активности. Прибором СОНГ (Солнечные Нейтроны и Гамма-кванты), установленным на борту Российской солнечной обсерватории КОРОНАС-Ф, было зарегистрировано жесткое рентгеновское и гамма-излучение девяти вспышек, произошедших с 17 по 24 августа в активной области (АО) NOAA0069. Следует отметить, что одна из вспышек этой серии (20.08.2002г., UT ~2:10) имела класс C5.5, но, тем не менее, от нее было обнаружено жесткое рентгеновское излучение с энергией более 60 кэВ, что не характерно для таких слабых вспышек. За весь период наблюдений прибором СОНГ было зарегистрировано только 2 таких события. Более того, примерно через 6 часов после вспышки C5.5 во вспышке, произошедшей в той же активной области и имевшей класс всего M3.4, было зарегистрировано гамма-излучение с энергией вплоть до 8 МэВ, что говорит об очень жестком спектре ускоренных в данной вспышке частиц. Помимо данных прибора СОНГ мы также использовали данные наблюдения жесткого рентгеновского излучения на RHESSI и данные по микроволновому излучению (RSTN, радиообсерватория Nobeyama). Полученные зависимости анализировались с учетом положения вспышек относительно магнитной топологии активной области и эволюции структуры магнитного поля.

ПЕКУЛЯРНЫЕ ИСТОЧНИКИ В МИКРОВОЛНОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

В.Н. Боровик¹, А.Н. Коржавин²

¹ ГАО РАН, г. С.-Петербург, Россия, vnborovik@mail.ru

² СПбФ САО РАН, г. С.-Петербург, Россия

Микроволновое излучение активных областей на Солнце содержит важную информацию о процессах и местах накопления и высвобождения энергии в солнечной атмосфере. В настоящее время установлено, что пекулярные радиоисточники (ПИ), локализованные вблизи нейтральной линии фотосферного магнитного поля, являются одной из типичных (иногда доминирующих) компонент микроволнового излучения активных областей (не только вспышечно-активных, производящих мощные рентгеновские вспышки и корональные выбросы массы (СМЕ), но и квази-стабильных), наряду с источниками, связанными с пятнами, корональными петлями, флоккулами и гало (Shibasaki, Alissandrakis and Pohjolainen, *Solar Physics*, 273, 309-337, 2011). Этот вывод был сделан на основе радионаблюдений во время солнечных затмений, многоволновых спектрально-поляризационных наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 и БПР с умеренным пространственным разрешением и подтвержден наблюдениями на радиотелескопах и радиоинтерферометрах с высоким пространственным разрешением (WSRT, VLA, NoRH и ССТР). Представлен обзор наблюдений пекулярных источников на РАТАН-600, БПР и во время затмений за период 1970-2011гг, выполненных в группе ГАО-САО РАН; дан анализ результатов наблюдений и их интерпретация; приводятся аргументы в пользу того, что регистрация ПИ в микроволновом излучении активных областей может являться фактором прогноза мощных эруптивных событий.

АССИМЕТРИЯ СУПЕРСИММЕТРИИ СОЛНЦА

Е.А. Гаврюсева

г. Москва, Россия

На основе проведенных обширных исследований топологии и динамики фотосферных магнитных полей были выявлены крупномасштабные структуры и изучено их поведение во времени в течение трех последних циклов активности 21, 22, 23. Суперсимметрия присуща широтной и долготной структурам, а также вращению магнитного поля. Изучена их северо-южная асимметрия и выявлены ее очень интересные важные свойства.

НАБЛЮДЕНИЯ КОМПЛЕКСА АКТИВНОСТИ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2011 г.

А.А. Головки¹, В.Д. Трифонов¹, С.А. Язев¹, Д. Батмунх²

¹ *ИСЗФ СО РАН, Россия, golovko@iszf.irk.ru*

² *Исследовательский центр по астрономии и геофизике Монгольской Академии наук,
г. Улаанбаатар, Монголия, batmunkh@yandex.ru*

В августе-сентябре 2011г. в рамках кооперативной наблюдательной программы с участием Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН и обсерватории Хурэл Тогоот Исследовательского центра по астрономии и геофизике Монгольской академии наук проведены наблюдения крупного многоядерного комплекса активности, который произвел мощные вспышки (до балла X6.9) с геофизическими эффектами в августе-сентябре 2011 г. В начале августа в нем наблюдались активные области №№ 11260, 11261 и 11263, развивавшиеся квазисинхронно и показавшие признаки взаимной связи явлений активности. Комплекс активности был первой структурой такого класса в текущем 24-м цикле и в этом цикле не имеет себе равных по продолжительности существования, размерам, уровню вспышечной активности.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫХОДА НОВОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

А.А. Головки

ИСЗФ СО РАН, Россия, golovko@iszf.irk.ru

По магнитограммам MDI SOHO, для новой активной области №10488 рассчитаны распределения Гельдеровской экспоненты, мультифрактальные спектры и сегментированные изображения для интервала наименьших фрактальных размерностей. Установлено, что растущие пятна и факелы совпадают с участками минимальных фрактальных размерностей на сегментированных изображениях, что подтверждает идею использования данного метода для диагностики всплывающих новых магнитных потоков. Получены характерные формы мультифрактальных спектров для последовательных фаз развития новой активной области. Спустя 30 часов с начала выхода нового потока, проявились пульсации в его развитии, синхронные с аналогичными пульсациями в развитой соседней активной области № 10486. Это явление предшествовало мощной вспышке X17.2/4В 28 октября 2003 г. и свидетельствует о взаимодействии двух близких активных областей.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРИПОЛЮСНОЙ КРОНАЛЬНОЙ ДЫРЕ СОЛНЦА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАДИТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

О.А. Голубчина, А.Н. Коржавин, С.Х. Тохчукова

СПб филиал САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, golubchina_olga@mail.ru

Для определения распределения яркостной температуры с расстоянием в корональной дыре северного полюса Солнца были использованы радионаблюдения полного солнечного затмения 29.03.2006г., выполненные на Северо-восточном секторе РАТАН-600. Максимальная фаза затмения равнялась $\Phi = 0.998$. Открытым оставался узкий серп западного лимба Солнца, т.е. примерно 0.2% оптического диска Солнца. В момент максимальной фазы затмения центр ножевой диаграммы направленности антенны находился в районе этого узкого серпа и совпадал с корональной дырой, расположенной вблизи северного полюса Солнца. Обстоятельства затмения были таковы, что почти исключался мешающий фактор засветки от полного потока Солнца. С учётом обстоятельств затмения была построена математическая модель солнечного затмения. Сопоставление полученных параметров математической модели и реального наблюдения затмения позволило определить распределение яркостной температуры с расстоянием в приполюсной корональной дыре Солнца на волне 13 см. Полученные яркостные температуры равны $T_b = 10^3 \times (30.0, 20.0, 10.0, 9.0, 8.5, 8.0, 7.5, 7.0, 6.5, 5.9, 4.5, 3.7, 2.0, 1.0, 0.5, 0.2, 0.05, 0.03)$ К для соответствующих расстояний от центра оптического диска Солнца: $R_c = (1.0, 1.01, 1.02, 1.03, 1.04, 1.05, 1.06, 1.07, 1.08, 1.1, 1.15, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.9)$. На волне 13 см обнаружено резкое падение яркостной температуры в районе приполюсной корональной дыры от значения $T_b = 30000$ К на расстоянии 1 R_c до 10000 К на расстоянии 1.02 R_c от центра оптического диска Солнца.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШКИ 12.02.2010Г. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Р.В. Горгуца¹, В.А. Ковалев¹ И.Г. Костюченко², В.В. Фомичев¹

¹ *ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия*

² *ФХИ*

С помощью дифференциального метода проанализированы данные наблюдений сложного радиовсплеска 12.02.2010 г., полученные на комплексе аппаратуры ИЗМИРАН, включающем спектрографы метрового диапазона и радиометры на фиксированных частотах: 169 МГц, 204 МГц и 3013 МГц. Показано, что возрастание потока радиоизлучения кратковременных импульсов, соответствующих радиовсплескам III и V типов до максимального значения двухступенчатое: ускоренный начальный процесс нарастания потока в начале импульса сменяется замедленным (по сравнению с экспоненциальным). Последующий спад потока также происходит в два этапа: ускоренный и замедленный. Интервал с экспоненциальным законом роста потока отсутствует, что свидетельствует или о его малой длительности или об отсутствии линейной стадии возбуждения плазменной турбулентности. Возрастание потока микроволнового излучения на 3013 МГц также является двухступенчатым: ускоренный режим сменяется на замедленный. Такое поведение находит объяснение на основе баланса энергии при учете нелинейного источника.

О РОЛИ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЙЯНИЯ В ВУФ ИЗЛУЧЕНИИ ВНУТРЕННЕЙ КОРОНЫ СОЛНЦА

**Ф.Ф. Горяев¹, В.А. Слемзин¹, Л.А. Вайнштейн¹,
Л. Долла², А.Н. Жуков²**

¹ *Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, goryaev_farid@mail.ru*

² *Королевская Обсерватория Бельгии, Брюссель*

При изучении физических процессов в солнечной короне большое значение имеет правильная интерпретация яркости наблюдаемых корональных структур. Излучение короны в рентгеновском и ВУФ диапазонах спектра определяется двумя механизмами возбуждения: столкновениями между ионами и электронами на малых высотах при большой плотности и резонансным рассеянием при удалении от Солнца. При расчетах излучение короны обычно всюду считается оптически тонким. Мы рассмотрели соотношение между столкновительным и радиационным механизмами в зависимости от расстояния до поверхности Солнца для нескольких наиболее ярких линий ионов с температурой возбуждения ~ 1 МК, использующихся в каналах 171, 174, 175 Å телескопов EIT, TRACE, СПИРИТ, ТЕСИС, SWAP. Потоки излучения от диска Солнца рассчитывались по данным телескопа EIT/SOHO в спектральном канале 171 Å и базы данных CHIANTI. Было установлено, что в зависимости от силы линии столкновительный механизм возбуждения преобладает при больших плотностях плазмы до расстояний $\sim 0,5-1$ солнечного радиуса от поверхности Солнца. На больших расстояниях и малых плотностях свечение протяженных корональных структур определяется механизмом резонансного рассеяния, причем яркость уменьшается при движении потоков плазмы со скоростью более 20 км/с за счет доплеровского смещения профиля линии в движущейся плазме. Используя эти результаты, мы промоделировали зависимость яркости солнечной короны в ВУФ диапазоне вдоль радиуса и сравнили их с данными наблюдений. Был также рассмотрен вопрос о влиянии резонансного рассеяния в излучении ВУФ линий на солнечном лимбе. Получены результаты, показывающие, что для использования в целях диагностики сильных линий ВУФ диапазона в нижних слоях солнечной короны необходимо оценивать влияние их оптической толщины.

СТРУКТУРНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАЗМЫ НА ЛИМБЕ СОЛНЦА В 23 ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ

С.А. Гусева, А.Д. Шрамко

ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, svqual@yandex.ru, a_shramko@inbox.ru

В работе проведено исследование формы лимбовых структур плазмы в солнечной хромосфере (протуберанцев) и в короне (корональных лучей и арочных систем) на высотах (1-6) $R_{\odot}$ и особенностей в распределении магнитных полей и нейтральных линий вблизи солнечной поверхности. В качестве наблюдательных данных о структуре солнечной короны были использованы патрульные снимки с орбитальной обсерватории SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) (инструменты LASCO и EIT), а информация о магнитных полях (МП) бралась из наблюдений наземного магнитографа в Стэнфорде. Форма и положение протуберанцев в линии H α брались по наблюдениям на Кисловодской ГАС ГАО РАН. Результаты исследования показали, что существует зависимость между высотой и формой корональных шлемовидных лучей и величиной поперечного градиента фонового МП, а также формой протуберанцев на линии раздела полярности МП в основаниях корональных лучей. Из полученной зависимости высоты и площадей протуберанцев от величины

поперечного градиента МП Солнца (g) отчетливо видны 2 зоны распределения протуберанцев. Наибольшее количество протуберанцев наблюдается в первой зоне при небольших значениях $g < 180 \mu\text{Tc}$. с большим разбросом значений высот $h(0.5 \div 350)''$ и площадей $S(5 \div 1500)\text{п.е.}$ Во второй зоне при значениях $g = (250 \div 650) \mu\text{Tc}$. наблюдаются протуберанцы в 2-3 раза меньшим значением высоты и в 4-5 раза меньшим значением площади. Эти протуберанцы находятся в низкоширотных областях, их распределение по широтам соответствует «бабочке маундера» для пятен. По величине градиента МП лучи так же, как и протуберанцы разбиваются на 2 зоны – лучи над спокойными протуберанцами (малый градиент $g < 180 \mu\text{Tc}$) и над активными областями (большой градиент $g > 250 \mu\text{Tc}$). Более высоким лучам соответствует малое значение градиента. Сделан статистический анализ параметров лучей короны Солнца за период 23-го Солнечного цикла.

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ МАГНИТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ – ТОЧЕК САМОПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НУЛЕВОГО F-ФАКТОРА

О.Г. Ден², И.В. Зимовец¹

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

² ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл., Россия, den@izmiran.ru

Проведено дальнейшее изучение обнаруженных ранее особенностей магнитного поля - точек самопересечения линий (поверхностей) $F=0$, которые, как показано в предыдущих работах [1-2], можно рассматривать в качестве источников первичного энерговыделения в солнечных вспышках. F - некоторый дифференциальный фактор в выделенной системе координат, связанной с магнитным полем в каждой точке. Выявлены два типа этих особенностей (введено общее их название как ТР – “Transition Point”): первый тип (ТР1) – точка пересечения одноименных компонент, второй тип (ТР2) – точка пересечения разноименных компонент (членов) дивергенции магнитного поля. Показано, что в этих особенностях происходят скачкообразные с нарушением непрерывности пространственные процессы перенаправления знака и компонент дивергенции магнитного поля. Структура особенности второго типа (ТР2) такова, что в них, по-видимому, могут происходить наиболее мощные солнечные вспышки. Также проведено сравнение исследуемых нами особенностей с нулевой точкой магнитного поля при ее существовании. Рассмотрено некоторое модельное магнитное поле с нулевой точкой из работы [3]. Показано, что ТР-особенности не совпадают с нулевой точкой, но могут соседствовать с ней: в данном конкретном случае особенность первого типа располагалась достаточно близко от нулевой точки. Рассматриваемые особенности существуют и тогда, когда нет нулевых точек, поэтому можно предположить, что эти особенности отражают более глубокие структурные свойства поля по сравнению с нулевыми точками магнитного поля.

[1]. О.Г. Ден, Астрон. журн., **85**, №11, 1035 (2008).

[2]. О.Г. Ден, И.В. Зимовец, Астрон. журн., **87**, №5, 503 (2010).

[3]. В.С. Горбачев, С.Р. Кельнер, Б.В. Сомов, А.С. Шварц, Астрон. журн., **65**, №3, 601 (1988).

О СУЩЕСТВОВАНИИ ДВУХ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ПО ДАННЫМ SDO

В.Г. Еселевич

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

Изучена динамика двух “импульсных” СМЕ (25 марта 2008 и 13 июня 2010 г.) по данным AIA/SDO (211A) и STEREO/EUVI (171A). Результаты сопоставлены с расчетами в МГД – приближении. На основе этого сделан вывод о том, что формирование “импульсных” СМЕ начинается под фотосферой Солнца и может быть связано с явлением сверхзвукового всплывания магнитных трубок (жгутов) из конвективной зоны. Радиальная скорость таких трубок на уровне фотосферы может достигать сотен км/с, а их угловой размер $d \leq 3^\circ$. Вероятная причина их всплывания из конвективной зоны – неустойчивость “медленной” волны (неустойчивость Паркера)

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ БЫСТРЫХ КРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ТИПА «ГАЛО» НА РАННЕЙ СТАДИИ ИХ ДВИЖЕНИЯ

Ю.С. Загайнова, В.Г. Файнштейн

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

По данным GOES/SXI исследована начальная стадия движения шести быстрых корональных выбросов массы типа гало (ГКВМ), связанных с мощными вспышками рентгеновского класса «Х» и «М», и прослежено движение этих ГКВМ в поле зрения SOHO/LASCO C2 и C3. Показано, что основное ускорение 5 из 6 рассмотренных ГКВМ начинается до начала связанной с ГКВМ вспышки; одного ГКВМ, в пределах $0 \div 30$ секунд с момента начала вспышки. Все изученные ГКВМ либо с самого начала их регистрации, либо спустя несколько минут после начала поступательного движения представляют собой петлеобразные структуры. По данным разных инструментов обнаружено, что движение ГКВМ от 29.10.03 начинается в виде поступательного движения аркады петель или трех петлеобразных структур, а затем эта аркада (петли) преобразуются в одну петлеобразную структуру с широким фронтом и большими угловыми размерами. Установлено, что характер изменения скорости $V(t)$ и ускорения $a(t)$ для ГКВМ, возникающих в одной АО, оказывается подобным. Показано, что время основного ускорения ГКВМ близко ко времени нарастания интенсивности мягкого рентгеновского излучения из связанной с ГКВМ вспышки. Подтвержден вывод работы [Zhang and Dere, (2006)] о существовании обратной корреляции между амплитудой ускорения ГКВМ и длительностью ускорения, но для существенно больших значений максимальной скорости и ускорения, чем в цитируемой работе. Установлено, что на начальном этапе траектории ГКВМ являются криволинейными и отклоняются от экватора; причем, ГКВМ, возникшие в северном полушарии Солнца, отклоняются к северному полюсу, ГКВМ, возникшие в южном полушарии – к южному. Исследовано изменение углового размера ГКВМ со временем. Для случая, когда вершина угла, определяющего размер выброса, помещается в центр солнечного диска, показано, что угловой размер всех рассмотренных ГКВМ в несколько раз увеличивается со временем до выхода в поле зрения LASCO C2 и C3, где, затем, изменяется слабо. Показано, что в 4 из 6 рассмотренных событий в первые минуты движения ГКВМ расширяются быстрее в поперечном направлении. На больших расстояниях, - в поле зрения SOHO/LASCO C2 и C3, - для всех 6 событий отношение продольного размера к поперечному со временем изменяется слабо, что указывает на установление автотомодельного режима расширения.

СОЛНЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ II: СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, Россия, ishkov@izmiran.ru

Логика развития исследований солнечных экстремальных событий поставила в повестку дня изучение ситуаций, когда сравнительно слабые (отнюдь не экстремальные) солнечные вспышечные события вызывают в околоземном космическом пространстве события экстремальной мощности. Из 17 солнечных протонных событий с потоком протонов превышающим 10^4 p.f.u. (S4) с энергией $E > 10$ МэВ, 7 событий были вызваны большими, но отнюдь не экстремальными солнечными вспышками. 6 подобных протонных событий осуществились в 23 цикле солнечной активности. Это дало возможность подробно рассмотреть характеристики и динамику развития самих активных областей, взаимодействие магнитных потоков и роль близлежащих солнечных структур в осуществлении вспышечных событий, а также учесть особенности вспышечного энерговыделения и динамических явлений самих вспышечных событий. С учётом геометрических факторов исследовалась возможность прогноза таких протонных событий ещё в период подготовки вспышечных событий.

О ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В СЛАБЫХ ВСПЫШКАХ

**Л.К. Кашапова¹, Г.В. Руденко¹, А.А. Муратов¹, В.М. Богод²,
С.Х. Тохчукова²**

¹ *ИСЗФ, г. Иркутск, Россия*

² *САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, susan@sao.ru*

Доклад посвящен исследованию природы энерговыделения во время солнечной вспышки класса C2.4. Событие произошло 10 августа 2011 года в активной области 11263 вблизи западного лимба с максимумом в 9:35 UT. Оно было зарегистрировано на РАТАН-600 и спектрополяриметре Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Особенностью этого события была регистрация рентгеновского потока с энергий выше 25 кэВ, что не является типичным для слабых вспышек. Временные профили микроволнового и рентгеновского излучения коррелировали, что свидетельствует о генерации излучения в обоих диапазонах одной и той же популяцией электронов. Рентгеновские спектры, полученные на КА RHESSI и FERMI, указывают на то, что излучение с энергией выше 25 кэВ могло генерироваться как нетепловыми электронами, так и высокотемпературным источником ($T > 30$ МК). Мы воспроизвели микроволновые спектры с помощью программы трехмерного моделирования гиротронного излучения GX_Simulator (Флейшман и др, 2011), используя параметры вспышечной плазмы, полученные из рентгеновского излучения, и структуру магнитного поля, восстановленную в потенциальном приближении по магнитограммам HMI/SDO. Результаты сравниваются с существующими теоретическими моделями и наблюдениям других авторов.

РОЛЬ МАГНИТНОЙ ТОПОЛОГИИ ПРИ УСКОРЕНИИ ЧАСТИЦ И ГЕНЕРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Г.Н. Кичигин¹, Л.И. Мирошниченко^{2,3}, В.И. Сидоров^{1,4}, С.А. Язев^{1,4}

¹ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

² ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова, Московская область, г. Троицк, Россия

³ НИИЯФ МГУ им. Д.В. Скобелевича, г. Москва, Россия

⁴ Астрономическая обсерватория ИГУ, Иркутск, Россия, yamari@yandex.ru

Предлагается новый сценарий для изучения некоторых экстремальных солнечных событий типа вспышки 29 сентября 1989 г. Залимбовая вспышка балла 1В/Х9 произошла в АО с расчётными координатами 24°S, ~105°W. Она сопровождалась, в частности, яркой фотосферной эмиссией с энергией 2.223 МэВ (линия захвата нейтрона), мощным рентгеновским и радиоизлучением, а также большим потоком солнечных космических лучей (СКЛ) по наблюдениям на поверхности Земли. В новом сценарии ионы ускоряются электрическим полем ~0.01-0.1 В/см до энергий ~10-100 МэВ/нуклон в эруптивных магнитных арках быстрого коронального выброса вещества (КВВ), сопровождающего вспышку [1, 2]. При расстоянии между основаниями КВВ ~300-500 тыс. км, ускоренные ионы, двигаясь вдоль силовых линий магнитного поля эруптивных арок, попадают в удаленное от вспышечной активной области основание выброса – на видимую полусферу Солнца. Захваченные в арках КВВ энергичные ионы удерживаются электрическим полем вблизи одного из оснований арок в магнитной пробке над пятном. Выброшенное в корону при вспышке волокно частично падает обратно в основания КВВ, вызывая хромосферное испарение. Таким образом, в нижней короне, вблизи одного основания эруптивных арок КВВ создаются необходимые условия для ядерных реакций с генерацией вторичных нейтронов: концентрация плазмы $\geq 10^{12}/\text{см}^3$ и длительное, порядка 10 минут, удержание ускоренных ионов. При этом замедление вторичных нейтронов и генерация линии 2.223 МэВ происходит в фотосфере видимой полусферы Солнца. Как пример возможной магнитной топологии коронального выброса, хотя и при отсутствии гамма-излучения, анализируется протонная вспышка 7 июня 2011 г. (координаты 21°S, 54°W, балл 2N/M2.5). Существенно, что расстояние между основаниями быстрого КВВ, в которые падала плазма волокна, выброшенного из вспышечной АО, составило ~300-500 тыс. км. Новая топологическая модель и новый сценарий были опробованы ранее на примере события 23 июля 2002 г.

[1]. Сидоров В.И., Кичигин Г.Н., Язев С.А. О топологии выбросов коронального вещества в мощных вспышечных событиях на Солнце // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». Т.3. №2. 2010, с. 139–155.

[2]. Кичигин Г.Н., Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Язев С.А. Особенности крупного солнечного события 23 июля 2002 г.: модель источника ускоренных частиц // Труды всероссийской конференции «Солнечная и солнечно-земная физика-2010», СПб, Пулковское, 2010, с.201– 204.

ОБ УПЛОЩЕНИИ СПЕКТРА ЦИКЛОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ

В.А. Ковалев

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

Проведен анализ рассчитанного автором ранее коэффициента циклотронного поглощения нерелятивистскими ($\beta_T \ll 1$) электронами горячей плазмы в случае произвольных значений $s\beta_T$. Показано, что при достаточно больших номерах гармоник s происходит уплощение спектра (в пределе $s \gg 1$, $\mu(s) \sim s^{-2}$). Уплощение спектра излучения возникает также при возрастании β_T . Это согласуется с наблюдениями радиовсплесков на двух частотах в миллиметровом диапазоне волн.

СВЕРХНЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

Д.Ю. Колотков¹, А.Е. Дубинов, Е.Е. Беневоленская

¹ *Саровский физико-технический институт - филиал НИЯУ, МИФИ,
г. Саров, Нижегородская обл., Россия, molotok300@gmail.com*

Выявлен новый класс нелинейных волн в плазме – сверхнелинейные волны (SNW), характеризующиеся нетривиальной топологией своих фазовых портретов. Несколькими простыми примерами ранее продемонстрировано, что SNW могут существовать в виде плазменных волн различной физической природы, например, в виде электростатических волн (например, ионно-звуковых) и МГД-волн (например, альфвеновских). Оказалось, что одним из необходимых условий для существования SNW является наличие не менее трех различных заряженных компонент плазмы (электроны, позитроны, ионы, пылинки и др.), причем увеличение количества компонент плазмы приводит к усложнению топологии фазового портрета SNW. Солнечная корональная плазма является уникальной лабораторией для тестирования физических процессов, протекающих в ней. В последнее время, благодаря развитию космических наблюдений в крайнем ультрафиолете с высоким разрешением, оказывается возможным определять вариации в корональных процессах на временах нескольких минут. Solar Dynamics Observatory даёт информацию о состоянии солнечной короны в крайнем ультрафиолете благодаря AIA (Atmospheric Imager Assembly) в линиях 94Å (Fe XVIII), 304Å (He II), 171Å (Fe IX), 193Å (Fe XII/XXIV), 211 Å (Fe XIV), 131Å (Fe VIII/XXI), 335 Å (Fe XVI). Эти линии возбуждаются в широком температурном диапазоне и характеризуют температурное состояние солнечной корональной плазмы ($\log T$ варьирует от 3.7 до 7.3). Последние данные этой обсерватории говорят о наличии многочисленных волновых явлений в диапазоне от двух минут до 7-8 минут, и более длиннопериодичные колебания. Следовательно, поиск нелинейных волн нового типа представляется для нас крайне актуальной задачей, которую мы хотим обсудить в данном сообщении.

ОСОБЕННОСТИ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 22 АВГУСТА 2005 ГОДА ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО И ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

С.А. Кузнецов^{1,2}, В.М. Мельников^{2,1}

¹ *ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, corner1988@mail.ru*

² *ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,*

В работе проводится сравнительное исследование временной динамики излучений солнечной вспышки 22 августа 2005 года из различных участков вспышечной петли на основе микроволновых данных и данных о жестком рентгеновском излучении (ЖРИ) по наблюдениям с высоким пространственным разрешением (радиогелиограф Нобейма и КА RHESSI, соответственно). Проанализированы временные профили микроволнового излучения на частотах 17 и 34 ГГц, а также временные профили потоков фотонов ЖРИ в различных диапазонах энергий: 3–6 кэВ, 6–12 кэВ, 12–25 кэВ, 25–50 кэВ, 50–100 кэВ, 100–300 кэВ. Обнаружены аномально большие временные задержки пиков радиоизлучения по отношению к пикам ЖРИ (вплоть до 1 мин), как для вершины петли, так и для ее оснований. Кроме того, установлено, что максимумы потоков ЖРИ, зарегистрированного в менее энергичных каналах (12–25 кэВ, 25–50 кэВ), наступают раньше максимумов потоков ЖРИ в более энергичных каналах (50–100 кэВ, 100–300 кэВ). Рассматриваются возможные причины этих временных задержек.

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ МГД МОД В ОДИНОЧНОЙ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛЕ

Е.Г. Куприянова, В.Ф. Мельников, К. Шибасаки

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

Целью работы является отождествление физического механизма квазипериодических пульсаций (КПП) микроволнового излучения одиночной вспышечной петли на основе данных Радиогелиографа Нобейма (NoRH) с высоким пространственным разрешением. Для исследования выбрана вспышка 03.07.2002, характеризующаяся наличием во временных профилях КПП нескольких спектральных компонент. Пространственные и спектральные свойства КПП исследованы методами корреляционного, Фурье и вейвлет анализа. Обнаружено пространственное разделение источников отдельных спектральных компонент КПП. Установлено, что источник пульсаций с периодом 30 с локализован во внутренней части вспышечной петли, а источник с периодом 20 с локализован на периферии петли, вблизи ее оснований. Сравнение пространственных и спектральных свойств КПП с результатами решения дисперсионного уравнения для собственных колебаний магнитной трубки позволило сделать выбор между потенциально возможными модами стоячих МГД волн (радиальной, изгибной, баллонной и другими) в исследуемой вспышечной петле. Исходя из жестких ограничений, полученных из данных о пространственной структуре пульсирующей области, показано, что наблюдаемые свойства спектральных компонент наиболее точно описываются первой и второй гармониками изгибной (кинк) моды быстрых магнитозвуковых волн.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА УСКОРЕНИЯ ПРОТОНОВ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА НАЧАЛО НАЗЕМНЫХ ВОЗРАСТАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

В. Г. Курт¹, Б. Ю. Юшков¹, А. В. Белов², В.В. Гречнев³, И. М. Черток²

¹ НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, clef@srd.sinp.msu.ru

² ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл. Россия

³ Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

Протоны, ускоренные до субрелятивистских энергий, при взаимодействии с веществом солнечной атмосферы генерируют заряженные и нейтральные пионы, которые мгновенно распадаются (порог рождения пионов в p - p реакциях ~ 300 МэВ). Это приводит, в конечном счете, к генерации гамма-излучения с широким максимумом в области энергий 50–100 МэВ. Анализ данных многоканального детектора жёсткого рентгеновского и гамма-излучения СОНГ на ИСЗ КОРОНАС-Ф и других экспериментов, выполненных ранее, показал, что гамма-излучение, вызванное распадом пионов, появляется вблизи времени максимального энерговыделения вспышки, которое соответствует максимальной интенсивности тормозного излучения ускоренных электронов в интервале энергий 0.03–30 МэВ, гамма-излучения узких ядерных линий и всплесков радиоизлучения в микроволнах и более коротких волнах. Это время также соответствует максимуму производной мягкого рентгеновского излучения и температуры его источника. Поэтому мы предположили, что момент максимального энерговыделения вспышки и есть наиболее вероятный момент начала ускорения протонов на Солнце. Мы нашли время максимального энерговыделения для 42 вспышек, ассоциированных с наземными возрастаниями интенсивности солнечных космических лучей (ground level enhancement – GLE) за период с 1972 по 2006 гг. На основе созданной нами базы данных GLE с привлечением данных о потоках протонов с энергиями выше 700 МэВ в межпланетном пространстве для каждого из этих событий был найден момент начала возрастания. Запаздывание прихода к Земле первых частиц относительно времени регистрации максимума электромагнитного излучения, связанного с максимальным энерговыделением вспышки, в 72% событий лежит в пределах 1–10 мин., что соответствует времени кратчайшего распространения частиц. Этот факт показывает, что протоны, наблюдаемые в начальной фазе наземных возрастаний, ускоряются именно в момент самой вспышки. Начало наблюдавшегося в 38 событиях радиоизлучения II типа совпадает с моментом максимального энерговыделения с точностью ± 3 мин, что свидетельствует о тесной физической связи между вспышкой и возникновением коронального выброса массы

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ РАДИОВОЛН ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ ОТ N ОДИНАКОВЫХ ПЛОСКИХ СЛОЁВ ПЛАЗМЫ И “ЗЕБРА” – СТРУКТУРЫ В РАДИОИЗЛУЧЕНИИ СОЛНЦА

А. И. Лаптухов, Г.П. Чернов

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, г. Троицк, Россия, laptukhov@izmiran.ru

Сделаны аналитические и численные расчёты коэффициентов отражения и прохождения квазимонохроматических радиоволн через произвольное число одинаковых кусочно-однородных слоёв плазмы для произвольного угла наклона падающей волны к нормали плоской неоднородности. Показано, что чередование полос прозрачности и непрозрачности слоёв плазмы (эффект «зебра»-структуры) имеет место при любых углах падения. Полосы непрозрачности для обыкновенных волн шире, чем для необыкновенных. Для наблюдения чёткой картины «зебра»-структуры поток радиоволн в солнечной атмосфере должен быть узконаправленным, что возможно во время вспышек.

ИЗУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НОВЫМИ МЕТОДАМИ

Н.А. Лотова, В.Н. Обридко

ИЗМИРАН, г. Троицк Московской обл., Россия

Метод просвечивания, используемый в современном изучении солнечного ветра, содержит ряд особенностей, которые позволяют получить новую, более полную информацию о процессах, происходящих на Солнце и в потоках солнечного ветра. Основу нового подхода составляют две независимые модификации метода просвечивания, связанные с изучением угла рассеяния радиоволн $2\theta(R)$ и индекса мерцаний $m(R)$. В нашем случае они используются одновременно в изучении одной и той же области межпланетного пространства – области формирования сверхзвукового потока солнечного ветра. Новая модификация метода просвечивания позволяет расширить статистику просвечивающих источников, сближающихся с Солнцем на малых прицельных расстояниях, и перейти к масштабным экспериментам по изучению солнечного ветра в трансзвуковой области. В результате удастся получить новые характеристики потока: гелиоширотный профиль трансзвуковой поверхности солнечного ветра и звуковой профиль солнечного ветра. Анализ радиоастрономических данных во взаимосвязи с характеристиками магнитных полей в короне Солнца позволяет получить спектр типов потоков солнечного ветра и связать его с характеристиками магнитных полей в короне.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВОЛОКНАХ

Г.П. Машнич, В.С. Башкирцев, А.И. Хлыстова

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

Современные космические наблюдения Солнца, а также наблюдения с использованием адаптивной оптики имеют высокое пространственное, временное и спектральное разрешение. Это позволило исследовать свойства сверхтонких структур, которые заполняют протуберанцы и волокна. Актуальным остается вопрос о взаимосвязи динамических процессов, происходящих на разных пространственных масштабах в этих объектах. По материалам спектральных наблюдений в Саянской Солнечной Обсерватории спокойных солнечных волокнах выполнено исследование временных и пространственных свойств колебательных движений в волокнах. В движениях волокон в плоскости неба обнаружены квазичасовые колебания. Во фрагментах волокон размером несколько угловых секунд наблюдались периоды колебаний 50 – 60 мин и амплитуды колебаний 2-3 км/с как в доплеровской скорости, так и в колебательных движениях в плоскости неба. На основании долготной зависимости амплитуд квазичасовых колебаний предполагается, что плоскость колебаний вещества волокон имеет небольшой угол наклона к солнечной поверхности. В волокнах вблизи центрального меридиана Солнца кроме квазичасовых колебаний в вейвлет-спектрах доплеровской скорости регистрируются пики с периодами ~ 20 и ~ 5 минут. Наблюдаемые изменения характеристик колебаний скорости от оси волокна к его периферии дают основания полагать, что квазичасовые колебания возбуждаются распространяющейся волной.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЖРИ ВДОЛЬ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ

В.Ф. Мельников¹, Ю.Е. Чариков², И.В. Кудрявцев²

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,

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

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

Проведено моделирование пространственного распределения характеристик жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) на основе численного решения нестационарного кинетического уравнения в форме Фоккера-Планка. Рассмотрены два случая нестационарной инжекции нетепловых электронов в вершине вспышечной петли длительностью 10 с. В первом случае инжекция происходит анизотропно в конусе, направленном вдоль поля в одно из оснований петли. Во втором случае электроны инжектируются изотропно. В первом случае (случае анизотропной инжекции) в основаниях петли формируются мощные источники ЖРИ, а источник в вершине петли на 3 порядка менее интенсивный. Степень поляризации ЖРИ в основаниях низкая, она не превышает 8%. В то же время излучение из вершины на энергиях фотонов 30 – 60 кэВ в начале инжекции достигает 43%. Существенно другие пространственные распределения характеристик ЖРИ получаются в случае изотропной инжекции электронов. Из-за эффекта накопления энергичных электронов резко усиливается яркость излучения из вершины: интенсивность ЖРИ оказывается сравнимой с интенсивностью излучения из оснований. По своим характеристикам этот яркий источник в вершине петли очень похож на широко обсуждаемый «загадочный» корональный источник ЖРИ (см. Krucker *et al.* 2008). Рассчитанная степень поляризации ЖРИ из вершины демонстрирует сильную изменчивость: в начальные моменты времени после инжекции она достигает 15-18% на энергиях фотонов 30-90 кэВ, через 5 с уменьшается до 0, а затем, сменив знак, возрастает до 8%. При этом в основаниях петли ЖРИ практически не поляризовано. Найденные при моделировании особенности пространственных распределений характеристик ЖРИ могут быть измерены рентгеновскими телескопами-поляриметрами в будущих экспериментах и использованы для диагностики типа питч-углового распределения ускоренных электронов.

ЯЧЕИСТАЯ КОНФИГУРАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОРОНЫ В ЭПОХИ НИЗКОЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

В.Л. Мерзляков, Л.И. Старкова

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

Исходя из наблюдаемой структуры корональных шлемов в эпохи низкой активности Солнца, делается вывод об ячеистой конфигурации крупномасштабного магнитного поля. Наличие, как правило, 2 или 4 основных шлемов указывает на периодическую смену знака магнитного поля по долготе через 60° . Из анализа материалов наблюдений солнечных затмений 21.09.1941 и 25.02.1952 выявлена широтная протяженность таких областей одной полярности до 60° в обеих полусферах. Также обнаружено, что до широт $40^\circ - 60^\circ$ ориентация магнитных силовых линий преимущественно азимутальная в интервале расстояний 1.3 – 2.0 радиусов Солнца от его центра. В пределах тех же высот напряженность магнитного поля спадает с расстоянием как r^{-n} с показателем $n > 3.3$.

ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $f(|B|)$ НАПРЯЖЕННОСТИ В ФОНОВОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ ДО ЦЕНТРА СОЛНЕЧНОГО ДИСКА, ФАЗЫ АКТИВНОСТИ И ВРЕМЕНИ

В.Н. Обридко, В.Е. Чертопруд

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина РАН, г. Троицк, Россия, vechert@list.ru

По данным SOHO/MDI (15-летний ряд карт напряженности солнечного магнитного поля B) анализируется эффект центр-лимб в фоновом магнитном поле Солнца. Обработана последовательность 4821 магнитных карт, охватывающая практически весь ряд наблюдений SOHO с суточным шагом. Вокруг центра солнечного диска на каждой из карт проведено 11 окружностей и между ними выделено 10 смежных колец со средними радиусами r от 5° до 65° . В каждом из них вычислена плотность распределения $f(|B|)$ величины $|B|$, определенная с шагом 5 Гс в диапазоне до 200 Гс. Найденные для каждого дня оценки f усреднены по ансамблям дней с заданными свойствами (например, уровнем солнечной активности), в результате получены оценки плотности распределения $f(|B|)$ в зависимости от расстояния до центра солнечного диска, фазы активности и времени. Из-за быстрого спада плотности $f(b)$ с ростом b анализировались не сами $f(b)$, а $\log f(b)$. Для описания эффекта центр-лимб использовалась разность $d(b)$ между значениями $\log(f(b))$ при $r=10^\circ$ и $r=65^\circ$. Рассмотрение изменений индексов во времени проводилось с шагом 10 оборотов Кэррингтона. Полученные по всем данным зависимости $\log(f(b))$ подтверждают обнаруженный ранее авторами эффект центр-лимб в фоновом магнитном поле. В интервале $b \approx 30-75$ Гс значения $\log(f(b))$ растут с удалением от центра солнечного диска, а в интервале $b \approx 100-200$ Гс – падают. Эффект сохраняется как при очень слабой и так и при очень сильной солнечной активности и устойчив во времени. На любом расстоянии r от центра солнечного диска при $b > 50$ Гс временные вариации $\log(f(b))$ носят циклический характер и четко связаны с вариациями $F_{10.7}$. Эта связь усиливается вне центра солнечного диска ($r=21-65^\circ$) при $b > 100$ Гс (коэффициенты корреляции превышают 0.87). Временные вариации $d(b)$ также носят циклический характер, но не связаны с вариациями $F_{10.7}$ и существенно различаются при $b < 80$ Гс и $b > 100$ Гс. Найденные результаты свидетельствуют о наличии двух составляющих в фоновом магнитном поле Солнца. Авторы признательны коллективу сотрудников SOHO/MDI за предоставленные данные. Работа поддержана грантами РФФИ 10-02-00960-а и 11-02-00259-а.

НЕЛИНЕЙНАЯ МАЛОМОДОВАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМО ПАРКЕРА С МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Е.П. Попова

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

Модель динамо Паркера применима для исследования процессов генерации и эволюции магнитного поля звезд и планет. Для системы динамо Паркера проведено построение динамической системы с меридиональной циркуляцией с помощью маломодового приближения. Построена зависимость от времени тороидальной и полоидальной компонент магнитного поля при различных значениях динамо-числа и меридиональной циркуляции. Выявлены режимы осцилляций, васцилляций и динамо-всплесков, и показано как они зависят от интенсивности меридиональных потоков и величины динамо-числа. Описаны особенности этих режимов и поведено сравнение с наблюдательными данными для солнечного и гео- магнитных полей. Обсуждаются особенности режима инверсий при наличии меридиональной циркуляции. Построены бафтерфляй-диаграммы для различных режимов и обсуждаются основные особенности таких диаграмм.

ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ КВМ НА ФОРМУ ДИАГРАММ СПЕКТРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС – ФОТОННЫЙ ПОТОК.

Т.С. Сизых, Л.К. Кашапова

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

Хорошо известно, что поток ускоренных частиц характеризуется спектральным индексом и фотонным потоком на фиксированном значении энергии. Эти параметры являются одним из основных средств диагностики процессов переноса и выделения энергии в солнечных вспышках. Для исследования этих параметров часто анализируют их временные зависимости. Другой метод заключается в описании эволюции этих параметров построением диаграмм спектральный индекс – фотонный поток. В данной работе мы попытались проследить влияние коронального выброса массы (КВМ) на форму диаграмм спектральный индекс – фотонный поток, применив этот метод к нескольким мощным вспышкам. Часть из рассмотренных вспышек сопровождалась КВМ, другие – нет. Кроме того, рассмотренные события находились в разных частях солнечного диска (в центре и вблизи лимба). Полученные результаты обсуждаются с точки зрения дальнейшего применения для диагностики процессов, сопровождающих солнечные вспышки.

ДИССИПАТИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО БЕССИЛОВОГО МАГНИТНОГО ЖГУТА С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО СПАДАЮЩИМ ПОЛЕМ В РЕЗИСТИВНОЙ СРЕДЕ

А.А. Соловьев,

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

Получено новое точное решение, описывающее диссипативную эволюцию вертикального магнитного жгута с бессилой внутренней структурой (статическое решение Шварцмана), находящего в пассивной среде конечной проводимости. На границе магнитного жгута, где радиальное поле обращается в нуль, баланс полного давления (газовое + магнитное) поддерживается за счет давления внешней среды, в которой магнитное поле отсутствует (или имеет потенциальный характер). Диссипативные процессы внутри жгута (джоулево энерговыделение) приводят к уменьшению магнитного давления в жгуте, и внешняя среда, восстанавливая баланс давлений, сжимает жгут как в радиальном, так и вертикальном направлениях. Обсуждаются применения полученного решения для описания горячих рентгеновских точек на Солнце.

ДЛИННОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СТРУКТУР АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ ПО ДАННЫМ SDO/HMI И РАДИОТЕЛЕСКОПА МЕТСАХОВИ

В.В. Смирнова¹, A. RiehoKainen², J. Kallunki^{2,3}

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, vsvvid@rambler.ru*

² *University of Turku (Finland)*

³ *Aalto University, Metsähovi Radio Observatory (Finland), alerie@utu.fi, kallunki@kurp.hut.fi*

Нами были проанализированы данные наблюдений активных областей на Солнце в отсутствии вспышек на частоте 37 ГГц на радиотелескопе РТ-14 Метсахови и одновременные наблюдения магнитного потока по данным спутника SDO/HMI. Длительность наблюдений для каждой выбранной активной области в радиодиапазоне составляла 10-12 часов. В результате обработки данных методом вейвлет преобразования, были обнаружены квазипериодические колебания с периодами около 200-300 минут. В данный момент не существует единой точки зрения на природу долгопериодических колебаний, связанных с активными областями на Солнце. Мы полагаем, что полученные периоды колебаний могут быть интерпретированы как колебания активных областей в целом.

ФОРМИРОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА ИЗ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР МОЛОГО РАЗМЕРА

А.Г. Тлатов

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

В работе (Tlatov *et al.* 2010) было установлено, что преимущественная ориентация магнитной оси мелкомасштабных биполей (МБ) или эфемерных областей зависит от полярности крупномасштабного поля. МБ ориентированы в соответствии с распределением крупномасштабного магнитного поля, а именно направление магнитной оси связано с зональным распределением полярности крупномасштабного магнитного поля. Так в минимуме активности 23-24-го циклов на широтах выше 30° , преимущественное направление магнитной оси МБ соответствует направлению глобального магнитного поля. В среднеширотной области, где полярность крупномасштабного магнитного поля противоположна полярному полю в каждой полусфере, также меняется и направление магнитной оси мелкомасштабных биполей. Эти факты указывают, что возможно, магнитные биполи малого масштаба образуются в результате приповерхностного динамо механизма. Поскольку число МБ может составлять одновременно несколько сотен, МБ, вероятно, могут оказывать влияние на формирование крупномасштабного и глобального магнитного поля Солнца. Из соответствия направления магнитной оси МБ и глобального поля видно, что МБ могут усиливать крупномасштабное магнитное поле в приповерхностном динамо процессе. В отсутствии солнечных пятен это привело бы к монотонному возрастанию глобального магнитного поля. Но в действительности при некоторой величине глобального поля происходит генерация пятен и начинается цикл. Возможно, чередование на Солнце циклов активности с периодами глубокого минимума солнечных пятен, таких как минимум Маундера, является следствием преобладания того или иного вида динамо на Солнце. Этим же механизмом можно объяснить постоянную магнитную активность на некоторых типах звезд. Очевидно, что в этом случае поверхностное динамо преобладает, а в отдельных случаях это может приводить и к появлению гигантских пятен на полюсах. В динамо Земли также преобладает поверхностное динамо, а смена знака аналогичная циклам солнечных пятен, происходит эпизодически. Таким образом, мы можем заключить, что крупномасштабное магнитное поле по-видимому, может существовать и без пятен вследствие генерации МБ. В периоды отсутствия пятен крупномасштабное поле может усиливаться, вследствие поверхностного динамо, приводящее к росту глобального магнитного поля. Двухкомпонентное динамо, может объяснить самые различные феномены, наблюдаемые на Солнце и звездах, а также эффекты геомагнетизма.

ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВСПЫШКИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ ПЛАЗМЫ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО СОБЫТИЯ 20 ЯНВАРЯ 2005 г.

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

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

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

По данным наблюдений гамма-излучения в ряде линий на КОРОНАС-Ф/АВС-Ф/СОНГ-Д исследовано солнечное событие 20 января 2005г. Методом статистического моделирования рассчитаны временные профили гамма-линии 2.223 МэВ, возникающей при захвате вспышечных нейтронов водородом. Расчеты выполнены в предположении бесселевского спектра ускоренных во вспышке частиц и различного содержания нуклида ^3He в области ядерных реакций. Учтена геометрия испускания генерированных ускоренными частицами нейтронов. Сравнение результатов моделирования с данными наблюдений гамма-линии 2.223 МэВ как в целом, так и в последовательных временных интервалах позволило выявить увеличенное содержание ^3He в процессе рассматриваемой вспышки и его возрастание со временем, а также изменение со временем спектра протонов, и плотности в подвспышечной области. Показано, что содержание ^3He по отношению к водороду меняется за период вспышечного гамма-излучения от малого уровня 2×10^{-5} на фазе возрастания до 2×10^{-4} на фазе спада. За тот же период времени спектральный индекс протонов возрастает (спектр становится жёстче), а модель плотности солнечной атмосферы меняется от модели спокойной атмосферы до модели с увеличенной плотностью до $2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в нижней хромосфере и по всей толще фотосферы. При усреднении по полному времени гамма-излучения в линии 2.223 МэВ отношение концентраций $n(^3\text{He})/n(^1\text{H}) = (1.4 \pm 0.15) \times 10^{-4}$. Отмечается, что повышенное содержание ^3He может рассматриваться, как косвенное подтверждение возможного вклада широкой гамма-линии с нижней границей 20.58 МэВ от радиационного захвата нейтронов нуклидом ^3He в слабое возрастание интенсивности гамма-излучения, наблюдаемое в диапазоне 15-21 МэВ. Событие представляет также интерес с точки зрения изучения солнечных вспышек, обогащённых изотопом ^3He .

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИБОРОМ ФОКА НА СПУТНИКЕ «КОРОНАС-ФОТОН». ОРГАНИЗАЦИЯ ОТКРЫТОГО ДОСТУПА К ДАННЫМ

А.В. Туманов, А.В. Кочемасов, Ю.Д. Котов

НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия, tumanov.anderi@gmail.com

Прибор ФОКА осуществлял измерения абсолютной интенсивности мягкого рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучений Солнца с временным разрешением 0,4 секунды в трех спектральных каналах (0,5-11 нм, 116-125 нм, 0,5-7 нм совместно с 27-37 нм). Наблюдения проводились на борту космического аппарата «КОРОНАС-ФОТОН» с февраля по декабрь 2009 года. Во время работы прибор регистрировал излучение спокойного Солнца в минимуме активности. Также было зарегистрировано несколько десятков слабых вспышек (до класса С включительно). Во время захода спутника в тень и выхода из тени Земли прибор измерял ослабление солнечного излучения земной атмосферой. Для распространения полученной в эксперименте информации применяется формат данных стандарта FITS. Каждому измерению сопоставлены географические и магнитные координаты спутника, маркеры условий наблюдения. Для графического отображения данных разработано специальное программное обеспечение (ПО). Оно позволяет производить выборку данных по определенным критериям, таким как нахождение аппарата над освещенной областью или над геомагнитной аномалией, отслеживать координаты спутника для любого момента времени с выводом на карту, просматривать данные одновременно с двух приборов. Поддержка разных форматов данных реализована системой расширений. В работе приводятся описания форматов данных и ПО, а сами файлы данных и программа доступны на FTP-сервере сайта «КОРОНАС-ФОТОН» <ftp://coronas-photon.ru/pub>. Доступ к научным данным также планируется организовать через международную базу солнечных астрофизических данных VSO.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ / МАГНИТНАЯ ДИАГНОСТИКА ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭРУПЦИЙ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И СЛЕДСТВИЯ

И.М. Черток¹, А.А. Абунин¹, А.В. Белов¹, В.В. Гречнев²

¹ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова РАН, г.Троицк, МО, Россия, ichertok@izmiran.ru

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

В статье Chertok *et al.* (Solar Phys., в печати) изложены основы диагностики солнечных эрупций – источников nereкуррентных геомагнитных бурь и Форбуш-понижений, которые вызываются корональными/межпланетными выбросами (coronal mass ejections; CMEs/ICMEs). В качестве параметра, характеризующего эрупцию, используется суммарный магнитный поток в областях наблюдаемых в крайнем ультрафиолетовом диапазоне ярких постэруптивных аркад и темных диммингов (временных депрессий излучения), которые визуализируют крупномасштабные магнитные структуры, вовлеченные в процесс CMEs. Эруптивный магнитный поток определялся по данным телескопа SOHO/EIT в канале 195 Å и магнитограммам SOHO/MDI. Рассмотрено около 50 событий 23-его цикла, в которых интенсивные геомагнитные бури с индексом $|Dst| > 100$ нТл достаточно надежно отождествлены с их эруптивными источниками в центральной зоне солнечного диска. Для этих событий установлена тесная корреляция между эруптивным потоком, с одной стороны, и величиной Форбуш-понижений, амплитудой геомагнитных бурь, а также транзитным временем распространения ICMEs от Солнца до Земли, – с другой. С увеличением магнитного потока интенсивность геомагнитных бурь и Форбуш-понижений существенно возрастает, а транзитное время заметно уменьшается. 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 данным оперативных наблюдений диммингов и аркад. На этой основе получены следующие дополнительные результаты:

- Для крупных эрупций, которые являются источником наиболее быстро наступающих и интенсивных геомагнитных бурь, магнитный поток аркады в несколько раз превышает магнитный поток диммингов.
- Подтверждено, что между интенсивностью геомагнитных бурь и величиной транзитного времени существует обратная зависимость, т.е. чем сильнее геомагнитная буря, тем короче временной интервал между соответствующей солнечной эрупцией и началом бури.
- По данным о 160 эрупциях 23-его цикла, связанных с CMEs типа гало из центральной зоны солнечного диска, показано, что между эруптивным магнитным потоком и модулем вектора скорости таких CMEs в короне имеет место прямая зависимость. Настоящий анализ дает дополнительные свидетельства того, что и интенсивность геомагнитных бурь, Форбуш-понижений, и скорость CMEs/ICMEs (т.е. транзитное время) в значительной мере определяются мощностью и масштабом солнечных эрупций, выражаемых, в частности, магнитным потоком ультрафиолетовых диммингов и аркад.

ФРАКТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

О.В. Чумак

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, chuo@yandex.ru

Представлены результаты исследования фрактальных размерностей магнитных полей солнечных активных областей по 96 мин и 1 мин данным SOHO/MDI с уровнем отсечки по полю 700гс. Показано что:

- средние по времени значения размерностей северной и южной полярностей магнитного поля в активных областях могут существенно различаться;
- ряды размерностей северной и южной полярностей демонстрируют временные вариации со значительной амплитудой;
- вариации показывают неустойчивую корреляцию на разных временных интервалах;
- общий характер вариаций слабо или, практически, полностью не зависит от выбранного временного шага, то есть временные ряды вариаций демонстрируют временную стохастическую самоафинность;
- по 1-минутным данным, на фоне стохастического процесса явно просматривается квази 5-минутная ритмика. Это говорит о том, что 5-минутные колебания связаны со скейлинговыми показателями сильных локальных магнитных полей АО;
- перед большими вспышками обнаруживаются значительные скачки в амплитуде вариаций размерностей.

ПРОГНОЗ 24 ЦИКЛА И РЕАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

О.В. Чумак, Т.В. Матвейчук

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, chuo@yandex.ru

В докладе представлено сравнение результатов прогнозов чисел Вольфа на 24 цикл солнечной активности с имеющимися на данный момент реальными данными. В основном обсуждается соответствие данных на текущем отрезке восходящей ветви цикла. Рассмотрены, также, прогнозы основных параметров 24 цикла, предложенные разными авторами, в том числе и предложенных авторами доклада. Представлен авторский метод прогноза и обсуждаются его возможности. Прогноз опубликован в Chumak O.V., Matveychuk T.V. – Res. Astron.&Astroph., 2010, V. 10, Is. 9, pp. 935-942.

НАБЛЮДЕНИЕ ПРЕДИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЫ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 9 АВГУСТА 2011 ГОДА

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivan.sharykin@phystech.edu

В работе на основе данных КА RHESSI, GOES и SDO проводится анализ физических процессов в предимпульсной фазе мощнейшего на сегодняшний день события 24-го цикла солнечной активности – вспышки рентгеновского класса X6.9, произошедшей 9 августа 2011 г. Пространственно-разрешенные наблюдения показали, что рентгеновские источники и активные горячие петли в предимпульсной и импульсной фазах располагались в различных местах вспышечной аркады. В предимпульсной фазе по данным прибора AIA SDO наблюдались структуры переменной яркости с температурой 0.1-10 МК, а также рост потока УФ излучения 1600 и 1700 ангстрем. Это свидетельствует о том, что процессы происходили как в плотной части солнечной атмосферы, так и в короне. Возможным источником нагрева могли быть нетепловые электроны или электрические токи. Произведены расчеты параметров спектра нетепловых электронов, а также оценки величины плотности электрических токов, которые бы могли обеспечить наблюдаемый нагрев при различном объеме источника энерговыделения.

ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ НЕТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЕ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 9 АВГУСТА 2011 ГОДА.

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ivan.sharykin@phystech.edu

В работе на основе анализа данных КА RHESSI, GOES и SDO проводится исследование процессов энерговыделения в импульсной фазе мощнейшего на сегодняшний день события 24-го цикла солнечной активности – вспышки рентгеновского класса X6.9, произошедшей 9 августа 2011 г. Энергия нетепловых электронов рассчитывалась посредством спектрального анализа рентгеновского излучения вспышечной области по данным наблюдений RHESSI. Данные наблюдений GOES использовались для расчета меры эмиссии и температуры, а инструмента AIA/SDO – для оценки геометрических параметров вспышечной области. Основываясь на полученных сведениях, были произведены расчеты внутренней энергии плазмы, потерь тепла за счет теплопроводности и на излучение. По рассчитанным энергиям произведены оценки значения низкоэнергетической границы спектра нетепловых электронов и фактора заполнения вспышечных петель, с помощью которых можно объяснить баланс между энергией нетепловых электронов и внутренней энергией плазмы в сумме с потерями тепла за счет излучения и теплопроводности.

МАГНИТНЫЕ БУРИ С ВНЕЗАПНЫМ И ПОСТЕПЕННЫМ НАЧАЛОМ КАК ИНДЕКСЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Б.Д. Шельтинг, В.Н. Обридко

ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова РАН, г. Троицк, Россия

Из анализа данных магнитной обсерватории ИЗМИРАН показано, что геомагнитные бури с внезапным и постепенным началом образуют две независимые популяции, не связанные ни временем появления, ни характером самого возмущения. Это различие определяется тем, что источники на Солнце, вызывающие эти возмущения различны: бури с внезапным началом вызываются корональными выбросами масс, бури с постепенным началом вызываются высокоскоростными потоками солнечного ветра, истекающими из корональных дыр. Показано, что запаздывание максимумов на кривых геомагнитной возмущенности относительно максимума чисел пятен меняется со временем, причем не одинаково для разного уровня геомагнитной возмущенности. Последнее определяется тем, что среди бурь с малой и средней интенсивностью возрастает доля бурь связанных с корональными дырами. Количество бурь слабой мощности коррелирует с высотой следующего цикла с коэффициентом корреляции 0.87. Обращается внимание на то, что характеристики глобального магнитного поля уже сейчас близки к состоянию переполусовки.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ВСПЫШЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО ДАННЫМ ВУФ СПЕКТРОГЕЛИОГРАФА СПИРИТ НА СПУТНИКЕ КОРОНАС-Ф

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

*Учреждение РАН Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН,
г. Москва, Россия, sshestov@gmail.com*

Излучение короны Солнца в вакуумном ультрафиолетовом (ВУФ) диапазоне длин волн несет самую разнообразную информацию о состоянии корональной плазмы – ее температурном и плотностном составе, обилиях химических элементов, ионизационном равновесии, наличии ламинарных и турбулентных течений. Эта информация может быть получена методами спектроскопического анализа коротковолнового излучения. За последние несколько десятков лет проводились многочисленные спектроскопические наблюдения короны с бортов ракет и спутников, но, несмотря на большой объем полученной информации, ряд важных вопросов остается нерешенным. В частности, недостаточно подробно исследована плазма солнечных вспышек, что объясняется малым количеством зарегистрированных спектров вспышек. Спектрогелиограф ВУФ диапазона СПИРИТ работал на борту спутника КОРОНАС-Ф с 2001-го по 2005-й год. Спектрогелиограф был построен по бесщелевой схеме с дифракционной решеткой скользящего падения. Такая оптическая схема, с одной стороны, обеспечивает большое поле зрения (покрывает весь диск Солнца и ближнюю корону), с другой – позволяет достигать относительно высокое спектральное и высокое пространственное разрешение. За время работы спектрогелиографа зарегистрировано несколько тысяч спектрогелиограмм, в т.ч. несколько десятков спектров мощных солнечных вспышек баллов М и X на разных этапах их развития. Рабочие спектральные диапазоны 176-207 Å и 280-330 Å спектрогелиографа СПИРИТ содержат эмиссионные линии различных многозарядных ионов – от «холодных» Si VIII и Mg VIII (соответствует температура $T \sim 0.8$ млн К) до «горячий» вспышечных Fe XXIV (температура $T \sim 20$ млн К). Относительные интенсивности таких линий могут быть использованы для

определения температуры и плотности плазмы. Основная сложность при интерпретации полученных спектров связана с сильным блендированием спектральных линий. Разработана методика интерпретации полученных спектров, основанная на теоретическом моделировании (для расчета используется база данных CHIANTI v. 6.0.1). По измерению относительных интенсивностей спектральных линий рассчитывается температурный состав плазмы (так называемая дифференциальная мера эмиссии – ДМЭ), оценивается ее плотность. Эти параметры используются далее для моделирования спектра и последующего уточнения интенсивностей блендированных линий. На основе предложенной методики проведено исследование вспышечной плазмы – измерена ДМЭ, плотность. Определена динамика ДМЭ некоторых вспышек балла X. Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых МК-3875.2011.2, гранта РФФИ 11-02-01079а, международной программы SOTERIA программы FP7/2007-2013 (грант 218816).

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ БЕЗ КВАЗИДВУХЛЕТОК И БОЛЕЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОМПОНЕНТ

И.Г. Шибаев

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

В работе используются ряд ежемесячных чисел Вольфа W и этот же ряд, усредненный по 13 месяцам W^* ($W \Rightarrow W^*$). При определении стандартных (табличных) параметров циклов опираются на ряд W^* . Исходя из простых правил, разбивают усредненный ряд на циклы и для каждого цикла определяют его длительность T_c , максимальное значение числа Вольфа в цикле W_m и, соответствующий ему, момент времени T_m ($T_m < T_c$). Этот же подход можно применить для ряда, полученного из W , но по другому правилу. В данной работе для анализа используется преобразованный ряд $P13$ ($W \Rightarrow P13$). Этот ряд получен из ряда ежемесячных чисел Вольфа исключением квазидвухлеток и более высокочастотных компонент. В первой части работы проведено сравнение характеристик циклов стандартного и преобразованного рядов. Можно отметить сохранение «энергии», возросшую гладкость и одновершинность циклов преобразованного ряда, а также, в ряде случаев, вариацию W_m и T_m . Во второй части работы обсуждается возможность прогнозирования и реконструкции солнечных циклов исходя из свойств циклов преобразованного ряда.

С Е К Ц И Я «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТЕЛЕСКОП ТРЕК ДЛЯ МИССИИ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

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

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

ТРЕК – это многоканальный телескоп, входящий в состав аппаратуры космической солнечной обсерватории Интергелиозонд и предназначенный для получения высокоточных изображений переходного слоя и короны Солнца в спектральных линиях вакуумного УФ диапазона, недоступных для регистрации с поверхности Земли. Основной научной задачей ТРЕК является исследование тонкой структуры и динамики атмосферы Солнца и активных солнечных областей, в том числе из-за пределов солнечной эклиптики. ТРЕК включает в себя телескопические каналы широкого поля зрения для наблюдения полного диска Солнца, а также каналы сверхвысокого пространственного разрешения для получения рекордных по детализации снимков отдельных участков солнечной короны. Наблюдения Солнца будут осуществляться в четырех спектральных линиях: He II 304 Å ($T \sim 80$ тыс. К), Fe IX 171 Å ($T \sim 0.8$ млн. К), Mg XII 8.42 Å ($T \geq 4$ млн. К) и Fe XXIII 131 Å ($T \geq 6$ млн. К). При этом в линиях Fe IX 171 Å и Fe XXIII 131 Å будут производиться наблюдения со сверхвысоким разрешением, а наблюдения Солнца в широком поле зрения будут осуществляться в линиях He II 304 Å, Fe IX 171 Å и Mg XII 8.42 Å. В линии Fe IX 171 Å, таким образом, будут вестись наблюдения в обоих режимах. ТРЕК входит в состав более обширного комплекса научной аппаратуры, разрабатываемого в ФИАН и работающего под управлением единого бортового компьютера. Благодаря этому телескопы смогут реализовывать большое число координированных научных программ, в том числе синхронизировать свою работу со всеми другими приборами ФИАН. Среди «самостоятельных» научных задач ТРЕК можно выделить программу наблюдений полярных солнечных областей, которая будет реализована впервые в мире; особый интерес при этом представляет исследование дифференциального вращения Солнца на высоких широтах. В настоящем докладе приводятся технические характеристики аппаратуры ТРЕК, обсуждаются режимы ее работы, а также перечисляются научные программы, которые предполагается реализовать с помощью ТРЕК в ходе миссии Интергелиозонд.

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ТЕЛЕСКОПА СОРЕНТО ДЛЯ МИССИИ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

С.А. Богачев, А.С.Кириченко, И.В. Зимовец, С.В. Кузин

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

СОРЕНТО – это телескоп-спектрометр, входящий в состав научной аппаратуры российской космической миссии Интергелиозонд. СОРЕНТО предназначен для построения высокоточных изображений и спектров Солнца в рентгеновском диапазоне от 5 до 100 кэВ. Как известно, основное излучение солнечной короны лежит в области относительно низких энергий – преимущественно в крайнем УФ диапазоне. Интенсивное излучение с более высокими энергиями, от 5 кэВ и выше, возникает, в основном, во время вспышек и складывается из тормозного излучения ускоренных во вспышке электронов и из теплового излучения вспышечной плазмы, нагретой до температур от 5 до 100 млн. К. Возникновение в короне Солнца источников интенсивного рентгеновского излучения, таким образом, является индикатором происходящих здесь активных процессов, а также позволяет получить о них количественную информацию – измерить темп высвобождения тепловой и нетепловой энергии, определить количество ускоренных электронов, измерить их спектр. Установка аппаратуры СОРЕНТО на космическом аппарате Интергелиозонд позволит существенно улучшить временное и пространственное разрешение наблюдений Солнца в рентгеновском диапазоне по сравнению с данными, получаемыми аппаратурой той же конструкции с расстояния 1 а.е. В рамках эксперимента планируется также реализовать первую в мире программу стереоскопических наблюдений Солнца в диапазоне 5–100 кэВ совместно телескопами СОРЕНТО на спутнике Интергелиозонд и STIX на европейском спутнике Solar Orbiter. В настоящем докладе приводятся данные о техническом облике СОРЕНТО, его задачах, а также о планируемых программах научных наблюдений.

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТА ГЕЛИОН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПРОЕКТЕ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

**М.И. Веригин¹, А.П. Ремизов¹, Г.А. Котова¹, В. Трухлик², Г.-У. Аустер³,
М. Хильхенбах⁴, Ф. Хрушка², Л. Гуикинг³, В.В. Безруких¹**

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

² IAP ASCR, г. Прага, Чехия

³ IGER TU-BS, г. Браунвейг, Германия

⁴ MPS, г. ККатленбург-Линдау, Германия

Эксперимент ГЕЛИОН предназначен для быстрых измерений детальных энергетических и угловых спектров ионов солнечного ветра и планетного происхождения. Измерения с помощью этого прибора могут внести существенный вклад в изучение свойств солнечного ветра в ранее неисследованных областях вблизи Солнца и вне плоскости эклиптики: - в исследование радиальной эволюции солнечного ветра; - в исследование транзиентных явлений, связанных с развитием солнечной активности, таких, как корональные инъекции массы и глобальные межпланетные ударные волны, распространяющиеся через всю гелиосферу; - в исследование плазменной структуры гелиосферного токового слоя на малых гелиоцентрических расстояниях; - в уточнение механизмов формирования солнечного ветра. По сравнению с экспериментом SWA, который предполагается использовать в европейском проекте Solar Orbiter для измерения энергетических и угловых спектров ионов солнечного ветра, угловое разрешение ГЕЛИОН дает возможность достаточно точного определения направления прихода солнечного ветра и его вариаций методами компьютерной томографии. Работа выполнена при частичной поддержке программы П22 РАН.

ЭКСПЕРИМЕНТ «ФОТОСКОП»: НАБЛЮДЕНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В ОПТИЧЕСКОМ И БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНАХ

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

ИЗМИРАН, г. Троицк Московской обл., Россия, yzhugzhda@mail.ru

Целью эксперимента "Фотоскоп" на борту КА «Интергелио-Зонд» является получение непрерывных, высокоточных данных об изменении потока солнечного излучения в спектральном диапазоне от 300 нм до 1650 нм в течение всего времени активного существования космического аппарата. Изучение флуктуаций излучения Солнца в широком спектральном диапазоне и в различных временных масштабах имеет важное значение для многих задач физики Солнца. Научная программа эксперимента на основе полученных данных охватывает ряд задач в области гелиосейсмологии, изучении различных аспектов солнечной переменности, связи флуктуаций потока солнечного излучения с изменениями климата на Земле. Одну из таких задач представляет изучение каппа-эффекта, являющимся ключевым в понимании природы флуктуаций излучения Солнца и звезд. Большое научное значение имеют исследования перераспределения энергии в солнечном спектре, вызываемое такими проявлениями активности в фотосфере как пятна, вспышки и факелы. Особый интерес представляют наблюдения флуктуаций излучения Солнца на внеэклиптических участках орбиты КА.

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕНТГЕНОВСКИМ ТЕЛЕСКОПОМ СОРЕНТО НА СПУТНИКЕ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

И.В. Зимовец¹, А. Кириченко², С.А. Богачев², С.В. Кузин²

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

² *ФИАН, г. Москва, Россия*

СОРЕНТО – телескоп-спектрометр, предназначенный для построения изображений и спектров рентгеновского излучения Солнца в диапазоне энергий 5-100 кэВ с высоким пространственным разрешением и близкими к рекордным энергетическим и временным разрешениями. СОРЕНТО входит в состав научной аппаратуры космической обсерватории Интергелиозонд, орбита которой впервые позволит выполнить пространственно-разрешенные наблюдения Солнца с малых гелиоцентрических расстояний (~0.3 а.е.), в том числе из-за пределов плоскости эклиптики. Работа телескопической системы СОРЕНТО основывается на принципе модуляции сигнала набором неподвижных решеток-коллиматоров, под которыми расположены непозиционно-чувствительные полупроводниковые детекторы на основе кристаллов CdTe или CdZnTe. В настоящей работе излагаются принципы работы телескопа СОРЕНТО и методы построения рентгеновских изображений Солнца с его помощью.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПРОЕКТЕ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРИМЕНТА ГЕЛИЕС ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЭЛЕКТРОНОВ

Р.А. Ковражин¹, Г.А. Владимирова¹, А.Л. Глазунов¹, Ж.-А. Сово², Ж.-Ж. Токавен²

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

² Институт астрофизических и планетных исследований (IRAP), Тулуза, Франция

В работе рассмотрены научные задачи исследования солнечного ветра в проекте ИНТЕГЕЛИОЗОНД и методика измерений функций распределения электронов от ~ 1 эВ до 5 кэВ с высоким энергетическим разрешением в широком диапазоне углов с помощью эксперимента ГЕЛИЕС. Прибор «Гелиес» обладает полным полем зрения $360^\circ \times 120^\circ$ и энергетическим разрешением $dE/E = 18\%$. Сканирование спектра электронов и поля зрения прибора по углам осуществляется за 2 с. Скорость передачи информации определяется режимами работы прибора и изменяется в пределах $0.3 \div 3$ Кбайт/с.

ПОЛЯРИМЕТРИЯ И СПЕКТРОМЕТРИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ПРОЕКТЕ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

**Ю.Д. Котов¹, В.Н. Юров¹, А.С. Глянченко¹, Е.Э. Лупарь¹, Ю.А. Трофимов¹,
Е.А. Жучкова¹, О.Н. Умнова¹, А.В. Кочемасов¹, И.В. Рубцов¹, В.М. Круглов²
Г.А. Матвеев², В.П. Лазутков², Д.В. Скородумов², М.И. Савченко².**

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, Россия, kotov@mephi.ru*

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

В работе приведен краткий обзор опубликованных расчетов степени линейной поляризации жесткого рентгеновского тормозного излучения, генерируемого анизотропным пучком электронов, ускоренных в солнечных вспышках. Приведены существующие данные поляризационных измерений, выполненных на спутниках. Сопоставление расчетов и измерений свидетельствует о крайней скудости экспериментальных данных и отсутствии единой модели их описания. Описан поляриметр ПИНГ-П, входящий в состав прибора ПИНГ-М, предназначенный для работы на космическом аппарате «Интергелиозонд». Прототипом поляриметра ПИНГ-П послужил прибор ПИНГВИН-М, успешно работавший в течение 2009г. на спутнике «Коронас-Фотон». Принцип определения степени линейной поляризации рентгеновского излучения в диапазоне 20 – 200кэВ основан на измерении азимутальной асимметрии рассеянного излучения. Для подавления счета фоновых событий в качестве рассеивателей используется три органических сцинтилляционных кристалла, сигналы с которых включены на совпадение с сигналами от поглотителей. В качестве поглотителей используются шесть кристаллов NaI(Tl). Для уменьшения вклада кратного рассеяния в двух и более рассеивателях используется система антисовпадений. Согласно расчетам по Монте-Карло, эффективная площадь поляриметра ПИНГ-П составляет от 2 до 7 см² в зависимости от энергии падающих фотонов. Систематическая погрешность определения степени поляризации, возникающая из-за структурного построения прибора, не превышает ~ 2%. Для вспышек балла X1 статистика зарегистрированных за несколько секунд событий с энергией фотонов > 25 кэВ будет достаточная для определения поляризации со статистической точностью вплоть до 1%. В докладе приведены научные задачи эксперимента по прецизионной спектрометрии излучения солнечных вспышек в диапазонах мягкого (1,5-25 кэВ) и жесткого рентгеновского и гамма-излучения (25-2000 кэВ). Приведены описания и характеристики полупроводникового (на основе кремниевого дрейфового диода - SDD) и сцинтилляционного (на основе сцинтиллятора LaBr₃(5%Ce) спектрометров прибора ПИНГ-М для проекта «Интергелиозонд». Масса НА «ПИНГ-М» 13,5кг, полное энергопотребление 17,5 Вт, объем среднесуточной передаваемой информации НА «ПИНГ-М», не более 30 Мбайт/сутки.

КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ФИАН ДЛЯ МИССИИ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

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

ФИАН, г. Москва, Россия, kuzin@sci.lebedev.ru

Космическая миссия «Интергелиозонд» представляет собой эксперимент нового типа, в рамках которого будут проведены первые длительные исследования Солнца и плазменной межпланетной среды с расстояний до 60 солнечных радиусов от Солнца, включая исследования вне пределов плоскости эклиптики. В Физическом институте им. П.Н.Лебедева в настоящее время ведутся работы по созданию четырех инструментов для данной солнечной обсерватории, объединенных в комплекс, то есть работающих под управлением единого бортового компьютера и способных выполнять координированную научную программу, в том числе вести одновременные наблюдения Солнца по общей циклограмме. В состав научной аппаратуры, разрабатываемой ФИАН, входят следующие инструменты: (1) многоканальный телескоп «ТРЕК», предоставляющий изображения короны и переходного слоя Солнца в линиях вакуумного УФ диапазона, недоступных для регистрации с поверхности Земли; (2) телескоп жесткого рентгеновского диапазона «СОРРЕНТО» для построения изображений Солнца в диапазоне энергий 5–100 кэВ; (3) оптический коронограф «ОКА» для наблюдения ‘внутренней’ короны Солнца в диапазоне высот от 2° до 10° от центра Солнца и (4) оптический телескоп «Гелиосфера» для исследования структуры солнечной короны и особенностей распространения корональных выбросов массы на расстояниях от 10° до 30° от центра Солнца. В совокупности поля зрения перечисленных инструментов без пропусков перекрывают диапазон высот от поверхности Солнца до приблизительно 45 миллионов километров, то есть 0.3 астрономические единицы. С точки зрения температурного диапазона инструменты позволят одновременно получать изображения переходного слоя и короны Солнца в области температур от 0.1 до 1 млн. К, наблюдать высокотемпературную плазму с T порядка и больше 5 млн. К, а также регистрировать нетепловые источники излучения. Пространственное разрешение наблюдений в каналах высокого разрешения будет составлять около 250 км на пиксель в точке перигелия, что в 5 раз выше, чем разрешение телескопов на спутнике КОРОНАС-Фотон и в 1.7 раз выше, чем пространственное разрешение действующей солнечной обсерватории SDO. Научная программа эксперимента основана на использовании как особенностей орбиты (приближение к Солнцу на расстояние в 0.3 а.е, в том числе выход за пределы плоскости эклиптики), так и особенностей комплекса научной аппаратуры – широкое перекрытие наблюдений по высоте и температурному диапазону и высокое угловое разрешение. В результате планируется получение большого числа новой информации о физике активных солнечных явлений, прежде всего о транзиентных геоэффективных событиях и их связи с солнечными вспышками. Отдельно можно отметить, что в ходе эксперимента планируется впервые в мире измерить дифференциальное вращение Солнца в области полярных шапок, что имеет значение для построения моделей солнечного динамо и, в целом, для понимания природы солнечного цикла. Также в результате совместных наблюдений с европейской миссией Solar Orbiter планируется провести первые в мире стереоскопические исследования Солнца в диапазоне 5–100 кэВ для изучения особенностей формирования и распространения жесткого рентгеновского излучения Солнца.

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД»

В.Д. Кузнецов

ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл., Россия, kvd@izmiran.ru

Приводятся основные научные задачи космического проекта «Интергелиозонд», предназначенного для исследований внутренней гелиосферы и Солнца с близких расстояний и из внеэклиптических положений, а также приоритетные наблюдения и измерения, призванные обеспечить получение новых данных и решение актуальных научных задач солнечной физики. Дается краткое описание баллистического сценария миссии, состава и характеристик комплекса научной аппаратуры, обсуждаются варианты кооперации с проектами Solar Orbiter и Solar Probe Plus.

ПРОЕКТ «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД»: СТРАТЕГИЯ ЗАЩИТЫ ОПТИЧЕСКОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕЛЕСКОПА ОТ ЛУЧЕВЫХ ТЕРМОНАГРУЗОК

В.Н. Обридко, И.Е. Кожеватов, Е.А. Руденчик

ФГБНУ НИРФИ, Россия, kozh-ie@mail.ru

Известно, что успешная работа научных инструментов на открытых платформах космических аппаратов требует решения проблемы их защиты от тепловых нагрузок. Основной причиной нагрева космических аппаратов чаще всего является воздействие солнечных световых пучков. Особенно много лучистой энергии захватывается фотосферными широкоапертурными телескопами при их работе на малых расстояниях от Солнца. Космический аппарат «Интергелиозонд» в перигелии приближается Солнцу на расстояние 0.33 а.е., где поток лучистой энергии составляет примерно 13.5 кВт/м^2 . Поэтому эффективная защита многофункционального оптического телескопа «Тахомаг» от термонагрузок является необходимым условием успешной работы всего комплекса научной аппаратуры. В представляемом докладе рассматривается схема МФОТ «Тахомаг» с точки зрения его уязвимости к воздействиям лучевых нагревных эффектов. Сильные ограничения по массе и жесткие требования по надежности существенно сужают выбор материалов и конструкторских решений. В докладе обсуждается возможная стратегия защиты от лучистого нагрева в рамках существующих ограничений. Предварительный анализ и численные оценки показывают, что проблема может быть решена при использовании доступных на сегодняшний день материалов и технологий. Имеются перспективы для существенного повышения эффективности теплозащиты, если находящиеся в стадии лабораторных испытаний материалы и технологии перейдут в разряд доступных к моменту создания полетного варианта телескопа.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ИМВЭ

**А.А. Скальский¹, Г.Н. Застенкер¹, Н.Л. Бородкова¹, К.В. Ануфрейчик¹,
И.А. Добровольский¹, С.И. Климов¹, А.А. Петрукович¹, Н.Е. Рыбьева¹,
В.В. Храпченков¹, З. Немечек², Я. Шафранкова², Л. Прех²**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Карлов Университет, г. Прага, Чешская республика

Основными задачами интегрированного магнитно-волнового эксперимента ИМВЭ являются систематическое изучение пространственно-временной динамики мелкомасштабных и среднемасштабных структур межпланетной среды в ходе длительного полета КА «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» от Земли в сторону Солнца, сравнительный анализ особенностей этих структур солнечного ветра в зависимости от гелиошироты, исследование турбулентности межпланетной среды в области высоких частот, включая измерение флуктуаций различных параметров в мало изученном диапазоне 0.1- 30 Гц и оценка таких аспектов этих флуктуаций, как их частотный спектр, перемежаемость, перераспределение энергии по спектру колебаний. Для проведения этих исследований был разработан эксперимент ИМВЭ, включающий в себя датчик низкочастотного магнитного поля (ДНМП-И), датчики высокочастотного магнитного поля (ДВМП-И), датчики потока ионов (БМСВ-И) и блок электроники. Эксперимент предназначен для измерения следующих параметров межпланетного магнитного поля и плазмы солнечного ветра: магнитных полей и волн в диапазоне частот до 1 МГц, энергетических спектров потока ионов в диапазоне 0.2 - 4.0 кэВ, величины и направления переносной скорости потока протонов, температуры протонов и плотности плазмы, а также, при определенных условиях в солнечном ветре, содержания и параметров потока ионов гелия. Предполагается, что временное разрешение этих измерений будет составлять от 0.5 с до 1.5 с для энергетического спектра потока ионов, величин переносной скорости, ионной температуры и плотности плазмы и 30 мс для вектора магнитного поля, величины и двух углов прихода потока ионов.

НАБЛЮДЕНИЕ ГЕЛИОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ШИРОКОМ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ ПРИБОРАМИ ОКА И ГЕЛИОСФЕРА В ПРОЕКТЕ ИНТЕРГЕЛИОЗОНД

**С.В. Шестов, С.В. Кузин, С.А. Богачев, А.А. Перцов,
А.А. Рева, А.С. Ульянов, А. С. Кириченко**

*Учреждение РАН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
г. Москва, Россия, sshestov@gmail.com*

Приборы Ока и Гелиосфера, входящие в состав комплекса изображающей аппаратуры ФИАН для КА Интергелиозонд, представляют собой внеосевые внезатменные телескопы-корonoграфы на видимый диапазон длин волн. Основными научными задачами приборов Ока и Гелиосфера являются исследование структуры и динамики дальней короны и корональных выбросов массы на высотах от 1 до 55 млн. км над фотосферой, в том числе с проведением наблюдений вне солнечной эклиптики. Корonoграф Ока построен по модифицированной схеме корonoграфа Лио с внешней искусственной Луной. Роль искусственной Луны выполняет термоэкран КА Интергелиозонд. Корonoграф располагается на боковой панели КА в тени термоэкрана. Такое решение позволяет существенно сократить габариты корonoграфа при уменьшенном количестве рассеянного света на искусственной луне. Оптическая ось корonoграфа заклонена под углом 4.5° к оси КА, что обеспечивает незатенение рабочего поля зрения 8° . Поле зрения корonoграфа частично пересекается с полями зрения телескопа Трек и широкопольным телескопом Гелиосфера. Широкопольный телескоп Гелиосфера состоит из линзового объектива, ПЗС-фотоприемника и системы бленд. Он располагается, как и корonoграф Ока, на боковой панели КА в тени термоэкрана. Оптическая ось телескопа заклонена под углом 18° к оси КА, направление заклонения совпадает с направлением заклонения корonoграфа Ока. Поле зрения телескопа Гелиосфера составляет 20° , что соответствует высотам от 20 до 55 млн км над фотосферой. Нижняя граница поля зрения телескопа Гелиосфера частично перекрывается с верхней границе поля зрения корonoграфа Ока. Приборы Ока и Гелиосфера вместе с остальными изображающими инструментами ФИАН работают под управлением единого бортового компьютера. Благодаря этому телескопы-корonoграфы смогут реализовывать большое число координированных научных программ, в том числе синхронизировать свою работу со всеми другими приборами ФИАН. Среди «самостоятельных» научных задач приборов Ока и Гелиосфера можно выделить программу наблюдений траекторий распространения КВМ, изучение их влияния на магнитосферу Земли. В настоящем докладе приводятся технические характеристики корonoграфов Ока и Гелиосфера, обсуждаются режимы ее работы, а также перечисляются научные программы, которые предполагается реализовать с помощью телескопов-корonoграфов в ходе миссии Интергелиозонд.

PUZZLES OF PARTICLE AND ENERGY TRANSPORT IN SOLAR FLARES IMPOSED BY RECENT SUNQUAKES OF 14 DECEMBER 2006 AND 15 FEBRUARY 2011

V.V. Zharkova¹, S.I. Zharkov², S.A. Matthews² and L. Green²

¹ *Department of Mathematics, University of Bradford, Bradford,
BD7 1DP, UK , v.v.zharkova@brad.ac.uk*

² *Mullard Space Science Laboratory, University College London,
Holmbury St. Mary, Dorking, RH5 6NT UK,*

Sunquakes are observed during some solar flares in a form of ripples on the solar surface, or ridges in time-distance diagram as for the first sunquake of 9 July 1996 reported by Kosovichev and Zharkova, 1998 who suggested that they are acoustic waves produced in the solar interior by hydrodynamic shocks generated by beam electrons. Then another sunquakes were discovered in other flares with acoustic holography technique (Donea, Braun, Lindsay, 1999) during the cycle 23 some of the total number of 17 had simultaneously revealed ripples. The locations of sunquakes are often found to be close either to the locations of HXR or gamma-ray sources (Zharkova and Zharkov, 2007) that allowed to suggest that protons play essential role in generating sunquakes. Also it turned out that strongest X-class flares not always induce sunquakes, while some M-class flares produced the strongest sunquakes observed in the cycle 23. Frequently, the locations of sunquakes also coincided with the locations of white light flares (Donea *et al*, 2006). The co-locations of sunquakes with HXR and WL emission allowed to put forward a suggestion that sunquakes could be also generated by backwarming heating coming from the upper atmospheric layers to the photosphere (Donea *et al*, 2006). Zharkova (2008) demonstrated that electron beams can over-ionize the ambient atoms at the photospheric levels to cause WL flares lasting for 15-30 minutes but found no evidences of strong backwarming heating that can result in acoustic waves. At the same time, Zharkova *et al* (2005) and Hudson *et al* (2008) noticed that some sunquakes are accompanied by drastic changes of a magnetic field occurred in the locations of sunquakes. It allowed Hudson *et al* (2008) to suggest that sunquakes can be formed by the direct changes of magnetic field and are, in fact magneto-acoustic waves. Hence, these three working theories were employed for interpretation of sunquakes produced by different flares with different physical conditions. However, the recent sunquakes detected during the early phase of X-class flares of December 14, 2006 (4) and February 15, 2011 (2) observed with GONG and SDO revealed that some their locations are not associated with either hard X-ray or white light emission unlike many other cases of sunquakes observed earlier. Furthermore, in the 4 sunquakes detected from the ground-based GONG data for the 14 December flare only two were co-located with HXR and WL emission while the other two did not have any signatures of either emission. In addition, only the sources with HXR emission revealed signs of strong magnetic field variation, while the other two sources, one of which was the strongest sunquake with ripples did not show sharp magnetic field drop or increase. The first X class flare of the cycle 24 occurred on 15 February has produced a very strong seismic response in the photosphere with ripples in one source observed first by Kosovichev (2011), accompanied by egression power and ripples observed in the second source (Zharkov *et al*. 2011). Both sources are found to be located at the two ends of the sigmoid structure outside the main HXR arcade and associated with the flux rope eruption (Zharkov *et al.*, 2011). Moreover, more detailed analysis of the observed photospheric changes around the seismic sources in the flare 15 February 2011 revealed their very unusual, physical appearances before the impulsive stage of the flare, with the seismic sources showing little hard X-ray (HXR) emission and not very strong magnetic field variations. Using acoustic holography different frequency responses and the presence of supersonic transients of the two sources are reported. Possible implications of these findings on the proposed scenarios of physical mechanisms leading to such the unusual sunquakes are discussed.

С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ВОЛНОВАЯ АКТИВНОСТЬ ВБЛИЗИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ПО РАДИОЗАТМЕННЫМ ДАННЫМ СПУТНИКОВ ВЕНЕРА-15,-16

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

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

В докладе показана возможность обнаружения волновых процессов в системе *атмосфера-ионосфера* по возмущениям радиосигналов в радиозатменных экспериментах. Анализ сделан для 33 сеансов радиопросвечивания на основе данных о напряженности электромагнитного поля двух когерентных радиосигналов спутников ВЕНЕРА-15,-16, полученных при проведении экспериментов в 1983-1984 г.г. и обработанных новыми методами. Выявление стратифицированных периодических колебаний плотности среды осуществлялось новым методом, основой которого является аналитически установленная линейная связь вариаций частоты и поверхностной плотности энергии электромагнитного излучения, деформированного при распространении через сферически симметричную неплотную газовую оболочку планеты. Положенный в основу принцип интерпретации радиозатменных данных позволяет одновременно анализировать трансформацию параметров сигналов в плазме и в нейтральной среде, хорошо адаптирован к задачам обнаружения взаимосвязанных колебаний плотности в системе *атмосфера-ионосфера* и не использует интегральных преобразований, ограничивающих чувствительность результатов радиопросвечивания к малым вариациям показателя преломления среды. Апробация метода показала, что радиофизические характеристики вертикального профиля показателя преломления среды, полученные в течение короткого промежутка времени (~1 мин) в процессе перемещения радиолуча из нижних слоев атмосферы в ионосферу, могут являться индикатором волновой активности вблизи нижней границы ионосферы Венеры. Обнаружено, что волновой процесс, природа которого не выявлена, вызвал возмущения в системе *атмосфера-ионосфера*, образовав на высотах 65...115 км вертикальную периодическую структуру слоев толщиной ~6 км. Индикатором волнового процесса может являться нарастание амплитуды возмущений вследствие уменьшения плотности атмосферы с высотой, вариации показателя преломления среды будут приводить к колебаниям интенсивностей радиосигналов и к модуляции частот зондирующих когерентных сигналов. Новый метод позволил отдельно анализировать вариации плотности плазмы, оказалось, что закономерные вариации параметров радиоволн при перемещении радиолуча наиболее четко проявляются в ионосфере. В нижней области ионосферы протяженностью ~30 км амплитуда колебаний интенсивности сигнала с длиной волны 32 см увеличилась в ~3 раза при перемещении луча вверх, закономерное увеличение амплитуды колебаний прямо указывает на волновую природу выявленных периодических возмущений сигнала. Признаки волновой активности, формирующей периодические структуры слоев, наблюдались в большинстве сеансов радиопросвечивания нижней дневной ионосферы, а на ночной стороне Венеры аналогичные эффекты отсутствовали. Периодические структуры слоев в нижней дневной ионосфере менялись от сеанса к сеансу, нестационарное состояние слоистых структур указывает на доминирующую роль динамических процессов вблизи нижней границы дневной ионосферы Венеры. Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН № VI.15 «Плазменные процессы в Солнечной системе» и гранта РФФИ 10-02-01015-а.

НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛАЗМЫ В АНОМАЛИЯХ ГЕОМАГНИТНОГО ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-900

Г.Л. Гдалевич¹, А.Х. Депуева², Н.И. Ижовкина²

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

² ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

Космос-900 имел круговую орбиту с высотой 500 км. Это очень важно для исследования неоднородностей плазмы на одной высоте и разных широтах. В докладе приводятся данные о бразильской и восточно-сибирской аномалиях. Затем представлены данные о неоднородностях плазмы в этих аномалиях. Наконец, представлена теория, объясняющая появление неоднородностей в этих аномалиях. Причем в бразильской аномалии и восточно-сибирской аномалии неоднородности плазмы описываются различными теориями.

ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВО ВРЕМЯ КОСМИЧЕСКИХ БУРЬ В ИОНОСФЕРЕ И ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Т.Л. Гуляева¹, И.С. Веселовский^{2,3}

¹ ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл., gulyaeva@izmiran.ru

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Определение глобального содержания электронов, ГЭС, в околоземном космическом пространстве по картам полного электронного содержания, GPS-ТЕС, было предложено в работах Афраймовича и др. [2006, 2007, 2008]. ГЭС суммировалось по всем ячейкам карты ТЕС как произведение вертикального ТЕС в столбе единичного сечения на площадь единичной ячейки карты на поверхности Земли. При этом не учитывалось изменение в объеме усеченной пирамиды от площади единичной ячейки на поверхности Земли до орбиты навигационных спутников GPS, 20200 км, пренебрежение которым приводит к недооценке ГЭС на порядок величины. В этом приближении были исследованы изменения ГЭС в солнечном цикле, с сезоном, на ночной и дневной стороне Земли и его компоненты в различных широтных зонах. Указанные закономерности изучались со скользящим окном в 10 дней, исключаяющим краткосрочные изменения в ионосфере и плазмосфере. В данной работе проведены расчеты ГЭС с учетом сферичности околоземного космического пространства во время типичных космических бурь за период 2003-2011 гг. Показано, что изменения ГЭС в максимуме бури достигают 20-30%, после исключения суточных, сезонных и солнечно-циклических изменений ГЭС. Обсуждаются связи полученных эффектов в ионосфере и плазмосфере с изменениями гелио-геофизических параметров во время космических бурь. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11-02-91370-СТ_а) и СНТИТ (проект ЕЕЕАГ 110Е296).

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ В ИОНОСФЕРЕ МЕТОДАМИ GPS - ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

В.И. Захаров, В.Е. Куницын, М.А. Титова

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

Считается установленным, что ионосфера может служить индикатором различных волновых воздействий, проявляющихся в системе геосфер. Если генерируемые волны лежат в полосе собственных частот атмосферы, то они могут распространяться до ионосферных высот и приводить к модуляции плотности ионизованной компоненты воздуха. Последнее обстоятельство может регистрироваться достаточно надежными радиофизическими методами. Однако вопрос об источниках этих возмущений, вернее, о локализации начального возмущения, необходимо рассматривать особо. Действительно, в ионосфере обычно наблюдают суперпозицию волновых возмущений от разных источников – как наземных, так и чисто атмосферных или космических. В работе рассмотрены примеры локализации таких структур в некоторых случаях, когда удастся связать указанные возмущения с конкретными источниками. В частности, обсуждаются результаты применения региональных интерферометрических GPS- наблюдений для выделения отклика верхней атмосферы на глобальные синоптические процессы на примере 6 крупнейших тропических циклонов или тайфунов 2004-2009 гг. Получено, что волновые структуры в этом случае географически связаны с местами орографических возмущений. Например, возможна генерация акустико-гравитационных возмущений на береговой линии при ее обтекании воздушными массами, захваченными тайфуном. Возбуждение таких волновых структур наиболее эффективно происходит при большой скорости развития или спада тайфуна, причем резко меняется структура спектра выделенных возмущений. Нами были обработаны данные сетей IGS и UNAVCO в периоды 01-15 февраля.2010 г. (регион землетрясения на Гаити), 18 февраля – 21 марта 2010г. (регион группы землетрясений в Чили), данные сети GEONet 1-31 марта 2011г. (события в Японии). Проведенный анализ спектров выделенных волновых структур, имеющих скорости, соответствующие АГВ (от 300 до 1200 м/с), показывает, что всегда в период после значительных сейсмических событий изменяется параметр α спада волнового спектра $S(k) \sim k^\alpha$, $k=2\pi/\lambda$, λ - характерный размер волнового возмущения, причем запаздывание возникновения «реакции ионосферы» на конкретные события от 8 до 12 часов. Общий анализ полученных данных позволяет сделать также вывод, что сейсмически активные районы генерируют акустические волны не только во время, но до и после активной фазы землетрясения, причем источником волновых структур является не только будущий эпицентр, но прежде всего вся область подготовки землетрясения, включая границы тектонических плит и активные разломы, расположенные в регионе. В ряде случаев интерпретировать получаемые данные сложно – не удастся отделить естественную волновую активность ионосферы, включая и упомянутую выше «орографическую» генерацию волн, от связанной с литосферным воздействием. Все сказанное требует учета процессов волновой передачи энергии из различных геосферных источников в ионосферу для модернизации существующих представлений о взаимодействиях в системе геосфер.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ НАСЕЛЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА НА ВЫСОТАХ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА

А.С. Кириллов

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

Представлена модель кинетики электронно-возбужденных состояний $A^3\Sigma_u^+$, $A^3\Delta_u$, $b^1\Sigma_g^+$ молекулярного кислорода на высотах нижней термосферы и мезосферы с учетом процессов переноса электронного возбуждения при молекулярных столкновениях. Модель учитывает образование электронно-возбужденного O_2^* при тройных столкновениях, спонтанные излучательные переходы между состояниями, гашение электронного возбуждения при неупругих молекулярных столкновениях. Рассчитанные на основании Розена-Зинера и Ландау-Зинера коэффициенты гашения O_2^* используется при моделировании колебательных населенностей электронно-возбужденных состояний молекулярного кислорода. Проведен расчет относительных населенностей $O_2(A^3\Sigma_u^+, v)$, $O_2(A^3\Delta_u, v)$ и $O_2(b^1\Sigma_g^+, v)$ на высотах 80-110 км. Сравнение рассчитанных населенностей с результатами экспериментальных оценок [Stegman and Murtagh, 1988; Slanger *et al.*, 2000; Slanger *et al.*, 2004] дает хорошее согласие.

- [1] Slanger T.G., Cosby P.C., Huestis D.L., Osterbrock D.E. Vibrational level distribution of $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-15)$ in the mesosphere and lower thermosphere region // J. Geophys. Res., 2000, v.105, p.20557-20564.
- [2] Slanger T.G., Cosby P.C., Huestis D.L., Widhalm A.M. Nightglow vibrational distributions in the $A^3\Sigma_u^+$ and $A^3\Delta_u$ states of O_2 derived from astronomical sky spectra // Ann. Geophysicae, 2004, v.22, p.3305-3314.
- [3] Stegman J., Murtagh D.P. High resolution spectroscopy of oxygen u.v. airglow // Planet. Space Sci., 1988, v.36, p.927-934.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ В МАЕ 2010 ГОДА

В.В. Клименко¹, **М.В. Клименко**¹, **К.Г. Ратовский**², **Н.А. Коренькова**¹,
А.Е. Степанов³

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

² *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

³ *ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия*

Сравнительный анализ результатов численного моделирования ионосферных эффектов последовательности геомагнитных бурь 9–14 сентября 2005 года, полученных ранее с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП), с данными ионосферных наблюдений выявил удовлетворительное качественное согласие. При этом использовалась постановка задачи, в которой изменения входных параметров модели таких, как разность потенциалов через полярные шапки и продольные токи второй зоны задавались зависящими от *AE*-индекса с минутным временным разрешением, а энергия и потоки энергии высыпаящихся частиц зависящими от трехчасового *Kp*-индекса. Также учитывалась 30-минутная задержка в развитии продольных токов второй зоны относительно изменений разности потенциалов во время геомагнитных бурь. В данном исследовании мы использовали эту же постановку задачи и рассмотрели ионосферные эффекты геомагнитных бурь 2–3 и 28–30 мая 2010 года. Нами проведен анализ физических механизмов, ответственных за ионосферные эффекты геомагнитных бурь, и сравнение результатов модельных расчетов с данными наблюдений станций наземного зондирования ионосферы. Для этих же бурь мы выполнили дополнительные модельные расчеты с заданием разности потенциалов через полярные шапки, зависящей от параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, и провели сравнительный анализ двух вариантов модельных расчетов.

ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВНЕЗАПНОГО СТРАТОСФЕРНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ 2009 ГОДА

**М.В. Клименко¹, В.В. Клименко¹, Ф.С. Бессараб¹, Ю.Н. Кореньков¹,
И.В. Карпов¹, К.Г. Ратовский², Н.А. Коренькова¹, А.Е. Степанов³,
М.А. Черниговская²**

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

² *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

³ *ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия*

Представлены результаты исследования отклика ионосферы на стратосферное потепление в январе 2009 г. Данный период характеризовался низкой солнечной и геомагнитной активностью. Исследование выполнено с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосфера, Ионосфера, Протоносфера (ГСМ ТИП). Внезапное стратосферное потепление (ВСП) моделировалось заданием возмущения температуры и плотности на нижней границе модели ГСМ ТИП на высоте 80 км. Показано, что задание глобального стационарного возмущения $s = 1$ на нижней границе термосферы позволяет воспроизвести отрицательные возмущения электронной концентрации в F -области ионосферы во время ВСП. Анализ результатов модельных расчетов и данных наблюдений спутника AURA показал, что возмущения температуры на высотах мезосферы и нижней термосферы над Иркутском воспроизводятся в данной постановке задачи. Для сравнения результатов модельных расчетов ионосферных возмущений с наблюдениями мы использовали данные ионозондов в Иркутске, Якутске, Норильске, Калининграде, Джикамарке, Пальмасе. На основании модельных расчетов сделан вывод, что основным источником уменьшения $foF2$ во время ВСП является уменьшение отношения $n(O)/n(N_2)$ в дневные часы и увеличение $n(N_2)$ ночью. Все эти изменения состава происходят за счет роста нейтральной температуры на высотах F -области ионосферы вследствие задания эффекта ВСП на нижней границе модели ГСМ ТИП. Обсуждается роль изменения термосферных ветров и электрических полей в формировании ионосферных возмущений во время ВСП. Сделан вывод, что для корректного воспроизведения электродинамики экваториальной ионосферы во время ВСП необходимо учитывать взаимодействие планетарных волн с термосферными приливами и нестационарность источника возмущений в нижней термосфере.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

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

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

Специфическим для околоземного космического пространства (ОКП) является диапазон от постоянных полей до первых десятков мегагерц, т.к. он связан с плазменными оболочками Земли - магнитосферой и ионосферой. Перестройка структуры плазменных оболочек, развитие динамических процессов в них приводят к появлению комплекса электромагнитных явлений, регистрируемых как в ОКП, так и на поверхности Земли. Ряд природных электромагнитных явлений, происходящих в атмосфере Земли, дает вклад в электромагнитные поля, регистрируемые в магнитосфере, как правило, сильно видоизмененные ионосферой. Классическим примером являются регистрируемые на спутниках излучения, названные свистящими атмосфериками, возникающие при грозовых разрядах. Индустриализация общества связана с потреблением значительного количества энергии, в том числе и электромагнитной. Так как коэффициент полезного действия энергетических установок не равен единице, то электромагнитное поле излучается в ОКП. Вопрос - каково воздействие этих излучений (диапазон от нескольких герц до нескольких килогерц) на окружающую среду, в том числе и на биосферу - до настоящего времени не привлёк должного внимания. Задача космического эксперимента (КЭ) «Обстановка 1-й этап», реализация которого на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) запланирована на середину 2012г., - организация долговременного глобального мониторинга электромагнитных излучений в диапазоне от постоянных полей до десятков мегагерц (более высокие частоты входят в область, используемую телекоммуникационными сетями, где налажена система контроля за уровнем излучений). Плазменно-волновые исследования, аналогичные этому КЭ, предполагается проводить на микроспутнике «Чибис-М», выводимом на орбиту также в инфраструктуре РС МКС в конце января 2012г. В настоящее время согласованы Технические задания на КЭ «Обстановка 2-й этап» и «Трабант», включённые в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС» реализуемую на РС МКС в период 2015 – 2020 гг. Исходя из этого, крайне необходима разработка методики пространственно-временных измерений плазменно-волновых параметров в ионосфере, реализуемых вышеуказанными КЭ. Данная работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 10-05-93107.

ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА НАД ГРОЗОВЫМИ РАЗРЯДАМИ

Л.В. Козак¹, А. Одзимек², И.С. Клоков¹

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

² *Отделение физики атмосферы института геофизики Польской академии наук*

Изучение электрической природы грозовых облаков было начато еще Б. Франклином, М. Ломоносовым и Г. Рихманом. За годы исследований накоплен огромный экспериментальный материал как о грозовых облаках, так и об атмосферном электричестве в целом, а также предложено несколько моделей образования грозовых облаков. Вместе с тем физические механизмы образования грозовых облаков и разрядов молний до сих пор окончательно не раскрыты. Наблюдения за грозовыми облаками проводятся во всех частотных диапазонах электромагнитных волн, начиная от рентгеновского и γ -излучения и заканчивая диапазоном ультранизких частот ($3 \div 30$ Гц). Для этого используется различная наземная аппаратура, а также бортовые приборы на летательных аппаратах, баллонах, ракетах и спутниках. Существует несколько методов регистрации грозовых разрядов. Среди них можно выделить: фотографические наблюдения, измерения электромагнитных полей и электрических токов, спектроскопические и акустические измерения. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. В данной работе с использованием собственных видеонаблюдений грозовых разрядов определены продолжительность и высота появления разрядов, а также проведены оценки энергии и мощности свечения атмосферы над молниями. За период наблюдений на горе "Кошка" Крымской астрофизической обсерватории (Украина, Крым, Симеиз) с 12.08.09 по 19.08.09 было получено 56 видео с грозовыми разрядами над Черным морем. Несмотря на то, что наблюдения проводились с одного пункта, положение грозы можно было определить с помощью спутниковых карт. Комплекс аппаратуры для наблюдений состоял 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 Lyra). 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, было численно промоделировано распределение потенциала электрического поля, созданного системой из 5-ти грозовых разрядов и оценена для них энергия.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ФОРМ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ: НОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Б.В. Козелов, Е.Е. Титова, В.Е. Юров, Л.П. Боровков

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

Данные нового наземного оптического комплекса анализировались для определения пространственно-временных характеристик пульсирующей авроры. Комплекс состоит из 5 авроральных камер с различным полем зрения, что позволяет регистрировать как крупномасштабные пульсирующие пятна (камерой всего неба), так и детали в мультиплетных пульсирующих дугах (узкоугольной камерой, направленной в магнитный зенит). Наблюдения из двух точек дают возможность определить высоту максимума интенсивности авроральной формы. Наряду с определением таких традиционных характеристик пульсирующих форм, как (квази-) периоды пульсаций, пространственные размеры, высота сияний, зависимости от широты и местного времени, уровня возмущенности, были проведены оценки параметров генерирующего их распределенного генератора: числа степеней свободы, когерентности, ведущих пространственных мод. Полученные характеристики сравниваются с результатами предыдущих экспериментальных исследований и существующими теоретическими представлениями.

АНОМАЛЬНЫЕ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ, НАБЛЮДАВШИЕСЯ С ИСЗ КОСМОС-1809 ПРИ РАБОТЕ СТЕНДА СУРА

**В.М. Костин¹, Г.П. Комраков², Г.Г. Беляев¹,
Е.П. Трушкина¹, О.Я. Овчаренко¹**

¹ *ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкина, РАН, kostin@maryno.net*

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

В докладе рассмотрены случаи наблюдения аномальных квазипериодических структур с масштабами в сотни км и падением плотности ~ 2 раза 18 и 21 февраля 1991 г. на 5 последовательных витках ИСЗ Космос-1809 в вечернем секторе после прохождения тропического циклона Cynthia в Индийском океане. В эти дни при высокой солнечной активности ($W(10,7)$ достигало 306) стенд Сура работал два раза по 40 мин. на частоте 5828 МГц, когда спутник был вблизи меридиана стенда. Ранее авторами было показано, что над тайфунами в верхней ионосфере в большинстве случаев наблюдается резкое возрастание плотности плазмы с квазисолитонными структурами с поперечными масштабами в десятки км. Эти структуры обычно заполнены электростатическими колебаниями вблизи циклотронной частоты гелия, канал 140 Гц ОНЧ комплекса Космос-1809. Такие же структуры обнаруживаются и с экваториальной стороны вблизи аврорального овала, где есть дополнительное энерговыделение в нижней ионосфере. Проанализированы данные ИСЗ Космос-1809 на частоте модуляции излучения стенда Сура 140 Гц 8 и 12 мая 1991 г, 17 декабря 1992 г, 19 и 20 мая 1993 г. Показано, что в аномальных структурах, отстоящих на ~ 1000 км от стенда, а также в магнитосопряженном районе, ОНЧ турбулентность на частоте модуляции исчезает после выключения стенда с точностью до частоты опроса в 2,56 с.

ПОЛОЖЕНИЕ ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЫ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА IMAGE

Р.Ю. Лукьянова^{1, 2}, А. Козловский³, М. Фриман⁴

¹ ААНИИ, г. С-Петербург, Россия, renata@iki.rssi.ru

² ИКИ РАН, Москва, renata@aari.nw.ru

³ Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Финляндия

⁴ Британская Антарктическая Служба, Великобритания

Представлены результаты статистического анализа положения границы аврорального овала в зависимости от параметров ММП и динамического давления солнечного ветра (P_d) в периоды стационарной конвекции и во время магнитной бури. Граница между областью открытых и закрытых силовых линий определена по изображениям аврорального свечения в дальнем УФ, сделанными спутником IMAGE в северном полушарии с мая 2000 по август 2002 г. Получены численные оценки величины смещения границ полярной шапки во всех секторах местного времени (MLT) при изменении направления и интенсивности ММП. Показано, что смещение границы на утреннюю или вечернюю сторону в зависимости от знака ВУ ММП может достигать $2-3^\circ$, при этом на вечерней стороне смещение больше, чем на утренней. Наличие такой утренне-вечерней асимметрии согласуется с данными радарных измерений (EISCAT) близи границы полярной шапки и предсказывается эмпирической моделью магнитосферы. При повороте ММП к северу полярная шапка сжимается. В большинстве секторов MLT величина смещения границы к полюсу под действием ВЗ в полтора раза больше, чем смещение вдоль утренне-вечернего меридиана под действием ВУ. Во время главной фазы магнитной бури граница шапки в целом находится ближе к экватору, но под действием импульсов P_d может резко сместиться на несколько градусов к полюсу. В восстановительную фазу бури, обычно при северном ММП, граница медленно (часы) смещается к полюсу.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИЗЕМНУЮ ПЛАЗМУ

М.М. Могилевский, О.В. Батанов, Д.В. Чугунин, В.Н. Назаров

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

Во второй половине прошлого века интенсивно развивались методы исследования магнитосферно-ионосферной плазмы с использованием т.н. «активных» экспериментов, в том числе: (i) эксперименты с использованием специализированных ВЧ нагревных стендов и (ii) эксперименты с использованием мощных наземных НЧ передатчиков. В настоящее время интерес к активным экспериментам получил «второе дыхание». Это связано с вводом на полную мощность стенда HAARP (включая богатейший диагностический комплекс, расположенный вокруг стенда) и существенный прогресс в измерительных возможностях на борту спутников. В нашем сообщении, на основе ранее проведенных измерений, также новых измерений на спутнике ДЕМЕТЕР, проводится сравнительный анализ эффективности воздействия ВЧ и НЧ радиоизлучения. Основной результат – интенсивность стимулированных явлений, вызванных НЧ излучением сравнима с аналогичными явлениями, вызванными ВЧ волной, а поскольку размеры области модифицированной ионосферы при НЧ воздействии значительно больше, то эффективность мощных наземных НЧ передатчиков превосходит эффективность нагревных стендов.

СВЯЗЬ АМПЛИТУДНЫХ И ФАЗОВЫХ ВАРИАЦИЙ РАДИОЗАТМЕННЫХ СИГНАЛОВ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ (2002 - 2008 гг.)

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

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

Анализ протяженной базы данных объемом около 500 тысяч сеансов радиопросвечивания, полученной с помощью спутника CHAMP в течение 2001-2008 годов позволил получить зависимость амплитудных и фазовых вариаций радиозатменных сигналов от времени. Индекс амплитудных и фазовых вариаций вычислялся для каждого радиозатменного сеанса в виде среднего от относительных изменений интенсивности и эйконала радиоволн на высотах перигея луча выше 40 км, где влияние ионосферы преобладает над влиянием атмосферы. В среднем за сутки получалось около 200 значений индекса для разных районов земного шара. Данные, полученные в сеансах измерений, усреднялись по временному интервалу 27 суток, и группировались по широтным зонам Земли. Необходимо отметить разную зависимость индекса для дневной и ночной ионосферы в течение 2001-2008 годов, что, по-видимому, связано с разными механизмами формирования дневной и ночной ионосферы. Общая особенность состоит в явно выраженной квазипериодической структуре вариаций индекса с периодом 5-7 месяцев. Анализ данных спутника CHAMP продемонстрировал важность амплитудного канала спутниковых радиоголограмм для классификации ионосферного влияния на сигналы радиопросвечивания. Анализ данных CHAMP указывает на возможность идентификации, определения местоположения и оценки распределения электронной концентрации и ее градиента в наклонных ионосферных слоях. Проведенные исследования показали необходимость изучения амплитудных и фазовых вариаций сигналов навигационных спутников GPS/CHAMP предложенным методом для исследования механизма взаимодействия между солнечной активностью и процессами в ионосфере.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ ИОНОСФЕРЫ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ

М.В. Стародубцев, В.В. Назаров, А.В. Костров

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

Излагаются результаты лабораторного исследования процессов формирования ряда спектральных компонент искусственного радиоизлучения ионосферы, связанных с возбуждением мелкомасштабных неоднородностей в нагретой области ионосферы. В лабораторном эксперименте мелкомасштабная неоднородность формировалась в результате теплового самоканалирования ленгмюровских волн в магнитоактивной плазме. Установлено, что процесс самоканалирования имеет пороговый характер; самоканалирование связано с захватом и последующим поглощением ленгмюровских волн внутри плазменной неоднородности. Поглощение волн и связанный с этим локальный нагрев неоднородности приводит к ее развитию вследствие термодиффузии. Обнаружено, что в процессе теплового самоканалирования спектр ленгмюровских волн обогащается, происходит формирование спектральных сателлитов. Продемонстрировано, что существует два механизма их генерации. Первый механизм - динамический - наблюдается в процессе формирования мелкомасштабной неоднородности, когда продольный размер неоднородности быстро увеличивается. При этом в спектре захваченной волны возбуждается один низкочастотный сателлит. Показано, что механизм формирования этого сателлита связан с адиабатическим параметрическим преобразованием частоты захваченной ленгмюровской волны в удлиняющемся плазменном канале. Второй механизм - стационарный - наблюдается в случае длинной развитой стационарной неоднородности, когда ее форма близка к цилиндрической. Спектр захваченной волны в этом режиме характеризуется двумя симметричными спектральными максимумами - высокочастотным и низкочастотным. Показано, что генерация этих спектральных сателлитов связана с рассеянием захваченных ленгмюровских волн на дрейфовых колебаниях неоднородности.

С Е К Ц И Я «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

МЯГКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ НОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ НА НИСХОДЯЩЕЙ ФАЗЕ 23-ГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

А. Гусев¹, I.M. Marttin², Г. Пугачева¹

¹ ИКИ РАН, Профсоюзная 84/32, Москва, Россия

² VInstituto Tecnológico de Aeronautica, Sao Jose dos Campos, SP, Brazil

Многолетние наблюдения с прибором РПС-1 на спутнике КОРОНАС-Ф (с июля 2001 по декабрь 2005 года) позволяют сделать оценки потоков мягкого 3.0-31.5 кэВ рентгеновского излучения верхней ночной атмосферы. Вся глобальная ночная атмосфера излучает мягкий рентген в диапазоне от 3 до 5 кэВ, особенно интенсивно в южном полушарии, над регионами Тихого и Индийского океанов. В северном полушарии наиболее яркая эмиссия из атмосферы наблюдается на высоких широтах в районах радиационных поясов Земли (РПЗ). На более низких широтах интенсивность излучения довольно слабая, особенно летом. На картах, показывающих распределение излучения с энергией 5-8 кэВ, есть области, где заметного излучения нет. При энергиях выше 8 кэВ, только в области над Южно-Атлантической магнитной аномалии и над РПЗ в высоких широтах отчетливо наблюдается излучение. Это тормозное излучение в рентгеновском диапазоне, возникающее при взаимодействии частиц РПЗ с веществом верхней атмосферы и веществом детектора. Карты ночного свечения земной атмосферы в 3 - 8 кэВ диапазоне энергий были получены для северного лета и зимы на нисходящей фазе солнечной активности 23 солнечного цикла. Важные закономерности в поведении этого излучения были обнаружены: максимальная энергия излучения не превышает 8 кэВ, излучение демонстрирует сезонные вариации, интенсивность свечения существенно зависит от уровня солнечной активности, наблюдается широтная и долготная зависимости. Ключевые слова: мягкий рентген, ночная атмосфера, солнечный цикл

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУКТУРАХ В ИОНОСФЕРЕ

Н.И. Ижовкина¹, Н.С. Ерохин², Л.А. Михайловская²

¹ ИЗМИРАН, г.Троицк, Россия, izhovn@izmiran.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Измерения мощности электромагнитного излучения, рассеянного в неоднородной плазменной структуре, позволяют исследовать динамику неоднородной плазмы. В ракетных экспериментах с электронными импульсами в ионосфере «АРАКС» и «Зарница 2» наблюдалось поглощение телеметрических радиоволновых сигналов на частотах 250 и 75 МГц соответственно, передаваемых с борта ракет. Сигналы регистрировались наземными приемниками. Поглощение радиоволн на частотах существенно выше плазменной и верхнегибридной может быть связано с рассеянием волн на плазменных неоднородностях. Показано, что плазменные неоднородности генерировались при затухании электростатических колебаний в областях пониженной плотности плазмы при сокращении собственного фазового объема колебаний в пространстве частота – волновой вектор с уменьшением плазменной плотности. При этом изменения мощности рассеянного сигнала позволяют отслеживать динамику неоднородной плазмы, в частности, время жизни плазменных неоднородностей. Наблюдавшееся поглощение радиоволн могло быть связано и с эффектом резонансного туннелирования электромагнитных волн в плазме с субволновыми структурами плотности большой амплитуды, обеспечивающим прохождение волн в слои плазменных резонансов, а также возникновением частот отсечки, определяемых градиентами плотности плазмы.

ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ В РАДИОЗАТМЕННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ДИФРАКЦИИ

Я.А. Илюшин¹, А.Л. Гаврик²

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

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

В докладе представлены результаты моделирования радиозатмного эксперимента, в котором наземная излучающая антенна, направленная на исследуемую планету, формирует радиополе диаметром ~ 1 млн. км, а бортовое оборудование спутников планеты принимает когерентные сигналы и осуществляет измерения их интенсивности и фазы. Такой принцип проведения эксперимента увеличивает потенциал радиолинии *Земля→спутник* и обеспечивает высокое пространственно-временное разрешение метода радиопросвечивания газовой оболочки планеты. Точность полученной информации зависит от соотношения между радиофизическими эффектами, обусловленными исследуемой средой и мешающими факторами. Для исследования тонкой структуры ионосферы планеты целесообразно применять радиоволны дециметрового диапазона, т.к. они обеспечивают большие вариации параметров сигналов, распространяющихся в плазменной оболочке планеты, и малые инструментальные флуктуации фазы сигналов, связанные с ограниченной стабильностью бортового опорного осциллятора. Но слишком сильная трансформация сигналов, зондирующих плазму, делает невозможным применение методов геометрической оптики, на которых основана интерпретация результатов радиозатмений. На основе прямого моделирования поля в ионосфере численным решением параболического уравнения дифракции [1,2] исследованы вариации интенсивности и фазы радиосигнала вдоль траектории спутника Венеры. Апробация модели проведена с использованием результатов радиозатмений спутников ВЕНЕРА-15,-16. Доказана линейная связь вариаций частоты с поверхностной плотностью энергии электромагнитного излучения, деформированного при распространении через сферически симметричную неплотную регулярную ионосферу. Результаты расчетов выявили критерии, позволяющие по радиозатмным данным определить границы применимости геометрической оптики, одним из критериев является нарушение линейной связи вариаций частоты с поверхностной плотностью энергии электромагнитного излучения. Основное внимание в работе уделено анализу радиофизических эффектов, обусловленных появлением дифракции радиоволн при незначительном изменении условий проведения радиозатмного эксперимента. Работа одного из авторов частично поддержана программой ОФН РАН № VI.15 "Плазменные процессы в Солнечной системе".

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

РАСЧЕТ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИНГЛЕТНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА И МЕТАСТАБИЛЬНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА С КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВОЗБУЖДЕННЫМИ МОЛЕКУЛАМИ

А.С. Кириллов

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

На основании имеющихся в научной литературе экспериментальных данных о значениях коэффициентов скоростей гашения $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1-3)$ молекулой кислорода при различных температурах [Bloemink *et al.*, 1998; Hwang *et al.*, 1999; Kalogerakis *et al.*, 2002] оценены параметры для аналитических формул, основанных на приближении Розена-Зинера и позволяющих рассчитывать константы гашения синглетного кислорода. Рассчитанные константы гашения $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1-15)$ и $O_2(a^1\Delta_g, v=1-20)$ невозбужденной молекулой кислорода для температур $T=300$ и 155 К показывают хорошее согласие с экспериментальными данными. Исследованы основные каналы гашения $O_2(a^1\Delta_g, v=0-20)$ и $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-15)$ колебательно-возбужденной молекулой кислорода $O_2(X^3\Sigma_g^-, v=1-4)$. Аналогичные расчеты проведены для столкновений $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=2-6) + N_2(X^1\Sigma_g^+, v\geq 0)$. Для получения параметров для аналитических формул использованы экспериментальные данные работы [Dreyer and Perner, 1973]. Рассчитанные коэффициенты могут быть использованы при моделировании свечения верхней атмосферы Земли и планет земной группы, активной среды кислородно-иодного лазера, нагрева смеси O_2 , N_2 и других газов во время лабораторного разряда.

- [1] Bloemink H.I., Copeland R.A., Slanger T.G. Collisional removal of $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1,2)$ by O_2 , N_2 , and CO_2 . // J. Chem. Phys., 1998, v.109, p.4237-4245.
- [2] Dreyer J.W., Perner D. Deactivation of $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=0-7)$ by ground state nitrogen, ethane, and ethylene measured by kinetic absorption spectroscopy. // J. Chem. Phys., 1973, v.58, p.1195-1201.
- [3] Hwang E.S., Bergman A., Copeland R.A., Slanger T.G. Temperature dependence of the collisional removal of $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1$ and $2)$ at 110–260 K, and atmospheric applications. // J. Chem. Phys., 1999, v.110, p.18-24.
- [4] Kalogerakis K.S., Copeland R.A., Slanger T.G. Collisional removal of $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=2,3)$. // J. Chem. Phys., 2002, v.116, p.4877-4885.

F3 СЛОЙ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ – ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ

**М.В. Клименко¹, В.В. Клименко¹, А.Т. Карпачев²,
К.Г. Ратовский³, А.М. Веснин³**

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

² *ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Москва, Россия*

³ *ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Ранее было показано, что в экваториальной ионосфере достаточно регулярно и в определенные часы местного времени формируется дополнительный максимум (*F3* слой) в вертикальном профиле электронной концентрации на высотах выше максимума *F2* слоя. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что *F3* слой формируется вертикальным ***E* × *B***-дрейфом ионосферной плазмы вблизи геомагнитного экватора. Отмечается важная роль меридиональной компоненты термосферного ветра в пространственном положении *F3* слоя. Четко сформулированный физический механизм формирования *F3* слоя существует только для утренних часов местного времени, хотя *F3* слой наблюдается и в другие часы местного времени. Наши последние исследования показали, что формирование *F3* слоя в любые часы местного времени можно объяснить действием неоднородного по высоте вертикального ***E* × *B***-дрейфа плазмы на геомагнитном экваторе. Данная работа посвящена детальному исследованию механизма формирования *F3* слоя в спокойных геомагнитных условиях и его вариаций во время различных возмущений, связанных с изменением геомагнитной активности и литосферно-атмосферно-ионосферных связей в периоды подготовки сильных землетрясений, а также во время внезапных стратосферных потеплений. Эти исследования основываются на результатах расчетов полученных с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосфера, Ионосфера и Протоносфера, а также данных наблюдений спутника Интеркосмос-19 (ИК-19) и цифровых ионозондов.

НОВЫЙ МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО ВЕКТОРА

В.Е. Корепанов, Ф.Л. Дудкин

*Львовский центр Института космических исследований НАНУ-ГКАУ,
Украина, vakor2004@yahoo.com,*

Определение дисперсионных соотношений для волны, распространяющейся в космической плазме, относится к важным задачам экспериментальных космических исследований. При этом основной проблемой является разделение пространственных и временных вариаций электромагнитного поля. В общем случае вычисление волнового вектора $\mathbf{k}$ требует измерений трех компонент вектора магнитного поля $\mathbf{B}$ и трех компонент вектора напряженности электрического поля $\mathbf{E}$. Если измерения магнитного поля с достаточно высокой точностью проблем не вызывает, то измерения напряженности электрического поля связано с необходимостью применения длинных штанг, что весьма затруднительно, учитывая современную тенденцию перехода к микро- и наноспутникам для проведения научных исследований в космосе. В докладе рассматривается возможность избежать измерения компонент вектора электрического поля $\mathbf{E}$ без потери надлежащей точности определения волнового вектора $\mathbf{k}$. Показано, что для решения этой задачи достаточно измерять вместо этого не менее двух компонент вектора плотности пространственного тока. Способ применим для пространственных конфигураций в космической плазме достаточной протяженности и с устойчивой структурой, т.е., время пересечения таких структур должно быть меньше, чем характерное время изменения такой структуры. Кроме того, продольные токи рассматриваются здесь как плоские токовые слои, что применимо к токам в области магнитопаузы или ударной волны. Приведены примеры успешного измерения плотности пространственного тока на борту космических аппаратов и обсуждается возможность экспериментальной проверки рассматриваемого способа определения волнового вектора $\mathbf{k}$ на борту ИСЗ ЧИБИС, начало работы которого предполагается в этом году.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ НАТЕКАНИЯ НА ПЛОСКИЕ ЗОНДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ИМПУЛЬС–1» НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МКС

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

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

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

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

В эксперименте "Импульс (1 этап)", проводившимся в период с 12.2008 по 01.2011 гг. на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС), составной частью бортовой научной аппаратуры был комплекс контроля электрофизических параметров (ККЭП), предназначенный для измерений в приповерхностной зоне КА. В перечне 13-ти измеряемых ККЭП параметров были токи натекания на плоские зонды двух комбинированных датчиков. Апертура поля зрения одного датчика в координатах строительных осей РС МКС имела направление на Землю (в надир), апертура другого – направление противоположное вектору скорости (направление спутного следа). Анализируются измерения токов натекания, выполненные: при пересечениях терминатора (вход в тень и выход из тени подспутниковой точки на поверхности Земли, вход в тень и выход из тени КА на орбите); при пересечениях характерных крупномасштабных структур ионосферы Земли, таких как субавроральная зона северного и южного полушарий, главный ионосферный провал (ГИП), экваториальная аномалия, средние широты. Предпринята попытка обнаружения отличия динамики измеряемых токов натекания, определяемых особенностями ионосферы, на участках орбит над океаном и сушей и при пересечениях береговой линии. При длительных мониторинговых измерениях на последовательных или недалеко отстоящих по номеру витках в спокойных геомагнитных условиях наблюдалась очевидная повторяемость динамики токов натекания при пересечении характерных крупномасштабных структур ионосферы. При общей схожести характера изменения токов натекания, измеряемых датчиком, направленным в надир, и датчиком, направленным в спутный след, наблюдаются различия в деталях. Токи натекания на поверхность КА в значительной мере определяются концентрацией тепловой компоненты окружающей плазмы и в наших измерениях на протяжении большей части витка всегда показывают отрицательные значения. Интерес к измерениям токов натекания вызван ещё и тем, что они контролируют локальный потенциал неэквипотенциальной поверхности КА. Наличие окружающей тепловой плазмы на низковысотных орбитах не позволяет потенциалу достигать больших значений. Наблюдаемая смена знака тока натекания сопровождается изменением знака локального потенциала поверхности КА. Показано, что крупномасштабная динамика параметров ионосферы, благодаря правильно выбранной чувствительности детекторов, отчетливо проявляется в токах натекания, измеряемых в приповерхностной зоне сверхбольшого КА, что свидетельствует о правомерности исследований ионосферы с борта МКС.

ВОЗМУЩЕНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИАПАЗОНЕ 1 - 20 Гц В ИОНОСФЕРЕ И НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ НА СПУТНИКЕ СНАМР И СТАНЦИИ КАРЫМШИНО

**Н.С. Носикова^{1,2}, В.А. Пилипенко^{1,3}, Н.В. Ягова¹, В.В. Сурков²,
А.Ю. Щекотов¹, Е.Н. Федоров¹**

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

² МИФИ, г. Москва, Россия

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Анализируются вариации геомагнитного поля в диапазоне первых единиц - десятков Гц в F-слое ионосферы по данным магнитометра низковысотного спутника СНАМР и индукционного магнитометра ст. Карымшино (Камчатка). Рассматриваются случаи одновременных наблюдений на Земле и в ионосфере пульсаций Pс1, ионосферного альвеновского резонатора (IAR) и первых двух гармоник шумановского резонанса. Проводятся сравнения поляризации, амплитуды и фазы наблюдаемых сигналов с модельными представлениями.

ПРИНЦИП ЛОКАЛЬНОСТИ И МЕТОД СПУТНИКОВОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ И ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР В ИОНОСФЕРЕ И АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.Г. Павельев¹, K. Zhang², J. Wickert³

¹ ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Московской обл., г. Фрязино, Россия, alxndr38@mail.ru

² SPACE Research Centre, RMIT University, GPO Box 2476V Melbourne Australia 3001

³ GeoForschungsZentrumPotsdam(GFZ-Potsdam),Telegrafenberg, 14473Potsdam,Germany

Предложен метод определения положения и параметров слоев в атмосфере и ионосфере, развитый на основе обобщения фундаментального принципа радиозатменного метода исследования атмосфер и ионосфер планет и Земли. Метод основан на связи между амплитудами и фазами аналитических функций, определенных по вариациям эйконала и интенсивности радиозатменного сигнала. Для анализа экспериментальных данных получено необходимое и достаточное условие, при выполнении которого тангенциальная точка, где градиент показателя преломления перпендикулярен лучевой траектории, совпадает с перигеем радиолуча. Метод дает качественную и количественную оценку величины пространственного смещения ионосферного или атмосферного слоя относительно перигея радиолуча, а также позволяет измерить высоту и наклон ионосферного слоя. Развитая методика необходима, в частности, при определении положения и наклона области ветрового сдвига, а также направления распространения внутренних волн в ионосфере и атмосфере. Разработанная технология проще и точнее радиоголографического метода обратного распространения, примененного ранее для определения положения неоднородностей в ионосфере.

МЕТОД СЕЛЕКЦИИ И РЕГИСТРАЦИИ РЕДКИХ ИОНОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ БОРТОВОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРИБОРА

Л.С. Рожков, В.В. Афонин

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, rls@skbkr.tarusa.ru

Предлагается описание программного комплекса разрабатываемого для прибора ДПК-ИПИИ (исследование параметров ионосферы), позволяющего эффективно использовать телеметрические ресурсы. Основными задачами прибора являются долговременный мониторинг всех основных параметров ионосферы (ионная концентрация и температура, вектора дрейфа ионов, температура и концентрация электронов) и в то же время детальное исследование отдельных, редко встречающихся ионосферных явлений. Для эффективного решения этих задач предлагается дополнить ПО прибора модулем, который должен обеспечивать селекцию наблюдаемых ионосферных явлений и управлять реакцией прибора на их обнаружение. Рассматривается структура данного модуля программного комплекса и алгоритмы работы основных его компонентов. Представлены методы обнаружения основных признаков ионосферных явлений (провалы, пики ионной концентрации и т.д.) в данных, получаемых прибором. Предложены варианты описания на основе этих признаков некоторых явлений, на обнаружение которых может быть настроен прибор. Представлены результаты моделирования системы в среде Simulink с использованием модельных данных и данных реальных спутниковых экспериментов (DEMETER). Дано краткое описание общего хода работы над прибором. Представленная в докладе система поиска редких ионосферных явлений позволяет осуществлять длительный мониторинг ионосферы с обеспечением приемлемого временного разрешения датчиков и детально исследовать определенный набор заданных явлений, не создавая значительную нагрузку на каналы телеметрии, что позволит использовать подобные ДПК-ИПИИ приборные комплексы на широком спектре КА. Возможность перенастройки системы в процессе эксплуатации (во время полета) сделает ее более гибкой, позволит использовать КА с таким прибором для проведения нескольких космических экспериментов, в том числе тех, которые изначально не планировались.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ, ЮПИТЕРА И САТУРНА

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

¹ *НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия*

² *ИКИ, г. Грац, Австрия*

Рассматриваются оценки, полученные в параболоидной модели для магнитосфер Земли, Юпитера и Сатурна. Анализируются масштабные соотношения для характерных размеров магнитосферы, для разности потенциалов МГД генератора, возникающей при обтекании магнитосферы солнечным ветром, для разности потенциалов униполярного генератора при уменьшении угловой скорости вращения магнитосферной плазмой относительно твердотельного вращения вместе с планетой, для силы продольных токов и размеров полярной шапки. Торможение плазмы начинается за Альвеновским радиусом, для которого так же получена зависимость от дипольного момента и темпа поступления ионов в магнитосферу. Эти и другие параметры магнитосферы позволяют оценить энерговыделение при магнитосферно-ионосферно-термосферном взаимодействии. Сопоставление энерговыделения в магнитосферах Земли, Юпитера, и Сатурна, дипольные моменты которых отличаются на пять порядков, позволяет сформулировать законы подобия для Джоулевого разогрева полярной ионосферы. Педерсеновскую проводимость авроральной зоны ионосферы Юпитера мы оцениваем в 0.4 Сименс. Полный продольный ток вытекающих на широте главного аврорального овала продольных токов достигает 75 МА, а разность потенциалов униполярного генератора равна 187 МВ при замедлении вращения в два раза. При этом мы получаем, что Джоулев разогрев авроральной ионосферы Юпитера может достигать 14 ПВт ($14 \cdot 10^{15}$ Вт). Обсуждаются возможный вклад подобных процессов в глобальную динамику атмосферы и применение полученных результатов к вековым вариациям магнитосферно-ионосферного-термосферного взаимодействия, связанным с изменениями дипольного поля Земли.

ОКРУЖАЮЩЕЕ ЗЕМЛЮ ПЛАЗМЕННОЕ КОЛЬЦО И ЕГО РОЛЬ В МАГНИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССАХ

**Е.Е.Антонова^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}, В.В.Вовченко², М.В. Пулинец¹,
М.О. Рязанцева^{1,2}, М.В. Степанова³, И.Л. Овчинников¹,
К.Г. Орлова¹, С.С. Знаткова^{1,2}**

¹ *НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

³ *Университет Сантьяго де Чили, Чили, antonova@orearm.msk.ru*

Дан обзор результатов наблюдений, демонстрирующих существование вокруг Земли плазменного кольца на геоцентрических расстояниях от $\sim 7R_E$ до магнитопаузы в дневные часы и до $\sim 10-13R_E$ в ночные. Давление плазмы в данной области близко к азимутально симметричному, питч-угловые распределения частиц почти изотропны. Данная область является областью квазизахвата для энергичных частиц. Приведены аргументы в пользу предположения о существовании в данной области замкнутой структуры поперечного тока, являющегося высокоширотным продолжением кольцевого тока. Рассмотрена проблема вклада токов данной структуры в создание Dst вариации во время магнитной бури. Обсуждена роль турбулентного и регулярного переноса в формировании окружающего Землю плазменного кольца. Приведены радиальные зависимости коэффициентов вихревой диффузии в ночные часы во время магнитосферных суббурь, демонстрирующие существенное падение уровня флуктуаций с уменьшением геоцентрического расстояния. Сформулированы проблемы, решение которых может оказать существенное влияние на точность предсказания Космической погоды.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОЛОЖЕНИЕ МАГНИТОПАУЗЫ

**М.И. Веригин¹, М. Татральяи², Г. Эрдеш²,
Г.А. Котова¹, В.В. Безруких¹**

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

² KFKI-RMKI, г. Будапешт, Венгрия

Построена новая модель магнитопаузы, применяемая при больших значениях межпланетного магнитного поля. Показано, что наблюдения магнитопаузы спутниками серии Прогноз могут быть описаны следующей двухмерной моделью:

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

где X – геоцентрическое расстояние в направлении прихода аберрированного солнечного ветра, Y – в перпендикулярном этому направлению, $r_0 = 11.16R_e \cdot P^{-1/6}$ – расстояние до магнитопаузы в подсолнечной точке, $R_0 = 16.51R_e \cdot P^{-1/6}$ – радиус кривизны магнитопаузы в этой точке, $D = 98.06R_e \cdot P^{-1/6}$ – асимптотический диаметр геомагнитного хвоста, и P – суммарное тепловое и магнитное давление в магнитошите у магнитопаузы. Это давление может быть оценено с использованием динамического давления солнечного ветра ρV^2 как

$$P = k\rho V^2 \left(1 + \frac{4\sin^2 \vartheta_{bv}}{kM_a^2} + \frac{4\sin^2 \vartheta_{bv}}{kM_a^2} \sqrt{1 + \frac{kM_a^2}{2\sin^2 \vartheta_{bv}}} \right),$$

где $k \approx 0.88$, M_a – Альвеновское число Маха в солнечном ветре и ϑ_{bv} – угол между его направлением и вектором межпланетного магнитного поля. Такая модель также достаточно хорошо описывает наблюдавшееся геостационарными спутниками GOES 10 и GOES 12 перемещение магнитопаузы вплоть до $\sim 6,6R_e$. В качестве еще одной проверки модели можно рассматривать успешное воспроизведение недавно обнаруженной с помощью спутников THEMIS зависимости положения подсолнечной точки магнитопаузы от ϑ_{bv} . Работа выполнена при частичной поддержке программы П22 РАН.

ПРОДОЛЬНЫЙ ТОК БИРКЕЛАНДА КАК АТТРАКТОР КОГЕРЕНТНЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ СТРУКТУР: МЕХАНИЗМ УСИЛЕНИЯ ЯРКОСТИ И СТРУКТУРИРОВАНИЯ АВРОРЫ

И.В. Головчанская, О.В. Мингалёв, М.Н. Мельник, Б.В. Козелов

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

На входящих в авроральную область силовых линиях ближней магнитосферы как по данным измерений на спутниках, так и по оптическим наземным наблюдениям, в определенном диапазоне пространственных масштабов отмечается специфическая мелкомасштабная турбулентность в различных параметрах плазмы. Для моделирования ряда мелкомасштабных процессов в этой области разработана пространственно 2-мерная численная МГД модель коллективной динамики трубок (филаментов) продольного тока вдоль сильного фонового однородного магнитного поля $\mathbf{B}_0$, которые взаимодействуют между собой посредством силы Ампера и движутся в плоскости, ортогональной фоновому магнитному полю. Такие токовые трубки моделируют когерентные альфвеновские структуры, которые образуются при распространении инерционных альфвеновских волн конечной амплитуды в верхней ионосфере и ближней магнитосфере. Модель основана на методе крупных частиц, использует параллельные вычисления, и с математической точки зрения во многом является аналогом системы Власова-Пуассона. В работе сравниваются два случая эволюции системы со стартом от случайно распределенного начального продольного тока очень малой амплитуды:

- 1) фоновый стационарный продольный ток отсутствует;
- 2) задан достаточно малый фоновый стационарный продольный ток, синусоидально зависящий от одной координаты (например, от y) в плоскости (XY), ортогональной однородному фоновому магнитному полю $\mathbf{B}_0$, что приводит к появлению в этой плоскости малой фоновой компоненты магнитного поля вдоль другой координаты ($B_{0x}(y)$) с косинусоидальной зависимостью от одной первой координаты (y).

Показано, что случайно распределённые в начальный момент времени токовые филаменты под действием самосогласованной силы Ампера кластеризуются и в случае 2) мигрируют к внешнему току той же полярности. Когда внешний ток представляет собой вытянутый в зональном направлении слой, в нём формируются токовые структуры, характерные для дискретной авроры. Таким образом, установлено, что коллективное взаимодействие трубок с продольным током посредством силы Ампера является одним из возможных механизмов, приводящих к альфвеновской турбулентности в авроральной области, которая проявляется также и в динамике полярных сияний.

ГЕНЕРАЦИЯ ХОРОВЫХ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ В ПРИСУТСТВИИ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

А. Г. Демехов

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

Проанализировано формирование дискретных ОНЧ излучений при наличии квазистационарных пространственных осцилляций магнитного поля в области генерации. Найдено, что при глубине модуляции магнитного поля около 2% и характерном масштабе модуляции порядка продольного размера источника хоровых излучений (2000 км) в такой системе формируются дискретные (хоровые) излучения с понижающейся частотой. Это обусловлено формированием локальных максимумов магнитного поля, вблизи которых энергичные частицы движутся в сторону убывания поля и, соответственно, наиболее эффективно взаимодействуют на циклотронном резонансе с сигналами, частота которых уменьшается во времени. Таким образом, предложен еще один новый механизм генерации хоровых элементов с понижающейся частотой в магнитосфере.

ДИАГНОСТИКА КОЛЬЦЕВОГО ТОКА ПО ПОТОКАМ ПРОТОНОВ НА НИЗКИХ ОРБИТАХ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ

В.В. Калегаев, Н.А. Власова

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Для магнитных бурь 21-22.01.2005 и 14-15.12.2006 по данным с низковысотных полярных солнечно-синхронных ИСЗ серии NOAA (POES 15, 16, 17, 18) в трех пространственных областях (в приэкваториальной области (1), от $L \sim 2$ до границы изотропизации (2) и в области высоких широт (3)) исследовалась динамика потоков протонов в диапазоне энергий частиц кольцевого тока. Показано, что независимо от интенсивности и динамики геомагнитного возмущения, начало возрастания потоков протонов связано с приходом к Земле коронального выброса массы. Начало инжекции частиц как на низких высотах во всех исследуемых пространственных областях, так и на геостационарной орбите происходило в ночном секторе до начала главной фазы бурь, что может быть обусловлено суббуревой активностью. Изучена долготная асимметрия потоков трех популяций протонов в трех пространственных областях. Обнаружена постоянная асимметрия потоков высыпающихся частиц в области (3). Долготная асимметрия потоков квазизахваченных частиц в области (2) наблюдается от начала бури до поздней фазы восстановления. В области (1) захваченных частиц асимметрия потоков наблюдается только на главной фазе бури, как и для магнитного поля. Максимум усредненного по долготе потока высыпающихся частиц достигается в конце начальной фазы бури. Начиная с главной фазы бури 21-22.01.2005 и только на фазе восстановления бури 14-15.12.2006, происходило постепенное уменьшение как усредненного по долготе потока, так и величин потоков на всех местных временах.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ. СТАТИСТИКА THEMIS

И.П. Кирпичев¹, Е.Е. Антонова²

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

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Рассматривается характер изменения плазменного давления во внутренней магнитосфере Земли (расстояния от 5.5 до 12 Re) при различных условиях в солнечном ветре. В частности отслеживаются распределения соответствующие различным положениям магнитопаузы, предсказываемым по модели Shue 1997. Проведен анализ параметров аппроксимации меридианального сечения давления. Исследуются профили давления и модуля магнитного поля при северной и южной ориентации межпланетного магнитного поля.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОТОНОВ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

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

На основе экспериментальных данных, полученных в 1995-2000 г. на космическом аппарате Интербол-1 с помощью прибора АЛЬФА-3, строится трехмерная модель распределения температуры и плотности протонов в меридиональной плоскости и в плоскости геомагнитного экватора. Анализируется положение плазмопаузы в экваториальной плоскости в зависимости от местного времени и геомагнитных условий. Исследуется асимметрия плазмосферы между северным и южным полушариями. Работа выполнена при частичной поддержке программ РАН ОФН15 и П4.

НОВОЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРСКИХ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

ИЗМИРАН, г. Троицк, Московская обл., Россия, levitin@izmiran.ru

Геомагнитная активность определяется динамикой интенсивности магнитосферных токовых систем и проводимости ионосферы. Соответственно, контролируя на количественном уровне эту активность, мы контролируем электромагнитное состояние околоземной среды, а через него и энергетическое состояние магнитосферы. В течение более полувека геомагнитная активность характеризуется индексами (K , K_p , Dst , AE , PC и др.), которые имеют ряд серьезных недостатков, что неоднократно отмечалось исследователями. Последний минимум 11-летнего солнечного цикла был аномальным по своей продолжительности и по необычайно низкой солнечной и, соответственно, геомагнитной активности в период 2007-2009 годов. Это позволяет выполнить исследование, направленное на новое, более точное, чем указанные индексы, количественное представление геомагнитной активности. Очень спокойное состояние внешнего геомагнитного поля в эти три года дает возможность получить для любой обсерватории мировой сети геомагнитных измерений новый количественный уровень отсчета геомагнитной возмущенности в форме магнитных данных, зафиксированных приборами этой обсерватории в указанный трехгодовой период. Кроме того, используя разности амплитуд значений компонент вектора геомагнитного поля для этих трех лет, можно более точно, чем в предыдущие годы получить количественную оценку динамики величины векового хода магнитного поля Земли в этот период на обсерватории. На основе выделения такого уровня отсчета геомагнитного поля для среднечасовых амплитуд внутри суток каждого месяца года обсерватории, появляется возможность для каждого такого часа, за предыдущий период лет работы обсерватории до этого солнечного минимума, а также и после него, получить для обсерватории новую количественную шкалу «геомагнитной погоды». Сегодня такая шкала опирается на K индексы, введенные в 1939 году: десятибалльная шкала этих индексов основывается на соответствии $K = 9$ амплитуде наиболее сильного геомагнитного возмущения той поры, которое было зафиксировано в период магнитной бури 16 апреля 1938 года. Создание новой шкалы, отражающей амплитуду каждого среднечасового отклонения компонент вектора геомагнитного поля, регистрируемого обсерваторией от спокойного уровня указанных трех лет, позволит характеризовать геомагнитную активность в форме карты распределения этих отклонений на мировой сети магнитных измерений. Можно будет впервые наблюдать в реальном масштабе времени реальную пространственную структуру геомагнитного возмущения в периоды магнитосферных суббурь и магнитных бурь. Эта новая шкала позволит более корректно, чем сегодня, провести классификацию интенсивности геомагнитной погоды, а на ее основе классификацию энергетического состояния магнитосферы. Она даст возможность на количественном уровне распределить по ранжиру геомагнитную активность, которая была на планете за предыдущие годы (по крайней мере, за годы спутниковой эры), и выделить за этот период наиболее и наименее возмущенные часы, дни, недели, месяцы, сезоны внутри года. Такая шкала даст возможность классифицировать текущую геомагнитную активность на основе статистики этой активности за предыдущий период ее регистрации. В докладе представлено такое новое количественное описание геомагнитной активности, полученное по данным магнитных измерений обсерватории ИЗМИРАН (обсерватория Москва) и обсерватории Нимегк (Германия).

МГД – ВОЛНОВОД В ЛОБОВОЙ И ФЛАНГОВЫХ ОБЛАСТЯХ МАГНИТОСФЕРЫ И МЕХАНИЗМЫ ЕГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

В.А. Мазур, Д.А. Чуйко

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

Характер неоднородности плазмы и геомагнитного поля в лобовой и фланговых областях магнитосферы обеспечивает существование в них МГД – волновода для быстрых магнитозвуковых волн. Колебания запираются в направлении поперек волновода вследствие нарастания скорости Альфвена по направлению к Земле (как поперек магнитных оболочек, так и вдоль силовых линий), и скачка параметров среды на магнитопаузе. Вдоль волновода в азимутальном направлении колебания могут свободно распространяться, при этом сравнительно слабая азимутальная неоднородность приводит к их модификации в процессе такого распространения. В работе теоретически исследуются свойства волноводных мод колебаний в рамках двумерно – неоднородной модели, учитывающей неоднородность поперек магнитных оболочек и слабую азимутальную неоднородность. Важной особенностью таких мод является наличие для каждой из них в глубине магнитосферы магнитной оболочки (для каждой моды – своей), на которой имеет место альфвеновский резонанс – резкое усиление поля колебаний, обладающее свойствами альфвеновской волны и поэтому способное достигать вдоль силовых линий земной поверхности. В узкой поперек магнитных оболочек окрестности альфвеновского резонанса происходит диссипация энергии колебаний. Рассмотрены два основных механизма возбуждения колебаний в волноводе – проникновение гидромагнитных волн из солнечного ветра и неустойчивость Кельвина – Гельмгольца на магнитопаузе. Условия для проникновения волн более благоприятны в лобовой области, а роль неустойчивости (вследствие нарастания скорости солнечного ветра вдоль магнитопаузы) увеличивается в направлении флангов. По этим причинам моды волновода накачиваются внешними колебаниями в лобовой части, а затем, распространяясь к флангам, усиливаются неустойчивостью. В работе дан анализ эволюции поля колебаний при его распространении вдоль волновода, учитывающий проникновение волн из солнечного ветра, усиление неустойчивостью, затухание вследствие диссипации в альфвеновском резонансе и обратное переизлучение в солнечный ветер. В результате установлено, что амплитуда колебаний нарастает от лобовой точки, достигает максимумов в утреннем и вечернем секторах и убывает при дальнейшем движении в направлении хвоста магнитосферы. При этом максимум спектральной плотности колебаний смещается от частотной области Pc3 к Pc5.

КИНЕТИЧЕСКАЯ БАЛОННАЯ (ПЕРЕСТАНОВОЧНАЯ) НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В БЛИЖНЕМ ХВОСТЕ

Е.В. Панов, Р. Накамура, В. Баумйохан, М.Г. Кубышкина, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович, В.А. Сергеев, В. Ангелополус

ИКИ РАН, Австрийская академия наук, г. Грац, Австрия, evgeny.panov@oeaw.ac.at

В работе по данным зондов THEMIS и GOES идентифицирована кинетическая балонная (перестановочная) неустойчивость в ближнем хвосте на расстояниях от 6 до 16 Рз. Показано, что неустойчивость создает осцилляции сосисочного типа в магнитном поле и плотности. Осцилляции распространяются в направлении утро-вечер со скоростью порядка 100 км/с, имеют масштаб в несколько тысяч км и связаны с движением электронов со скоростями в несколько сот км/с в радиальном направлении. Показано, что сильный рост неустойчивости, который мог быть спровоцирован изгибом плазменного слоя, окончился пересоединением.

СВЕРХМАГНИТОЗВУКОВЫЕ ПОТОКИ В МАГНИТОСЛОЕ: СТАТИСТИКА ВРЕМЕН ОЖИДАНИЯ И РОЛЬ В ПЕРЕНОСЕ ПЛАЗМЫ.

С.П. Савин¹, В.П. Будаев^{1,2}, Э. Амата³, Л.М. Зеленый¹, Л.В. Козак⁴

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

² *РНИЦ Курчатовский институт, г. Москва, Россия*

³ *IFSI, Roma, Italy,*

⁴ *Киевский университет, Украина*

Анализ свойств флуктуаций в турбулентных погранслоях (ТПС) вблизи плазменных границ в магнитосфере и в плазме, удерживаемой в термоядерных установках, показал схожесть их основных статистических характеристик, в том числе, зависимости от масштабов (скейлинга) структурных функций и параметров мультифрактальности. Наблюдаются перемежаемый характер флуктуаций и аномальный перенос массы и импульса, осуществляемый за околосолнечной ударной волной за счет сверх- магнитозвуковых плазменных потоков (СПС). Процессы в ТПС удовлетворительно описываются каскадной моделью с квазиодномерными диссипативными структурами. Показано, что образование СПС может быть объяснено обтеканием солнечным ветром локальных препятствий вблизи околосолнечной головной ударной волны при локальном сохранении полного потока и ускорении плазмы в поле поляризации на боковой границе препятствий. Продemonстрировано прямое проникновение СПС сквозь периферийный магнитный барьер и показана возможность их основного вклада в поток плазмы, проникающий сквозь барьер. Для подсолнечного магнитного барьера характерно наличие вторичной ударной волны перед ним и деформация границы магнитосферы на глубину порядка расстояния между ударной волной и магнитопаузой. Предполагается, что именно вторичная ударная волна приводит к выходу магнитопаузы за положение равновесной головной ударной волны. СПС являются экстремальными событиями, статистика времен появления которых свидетельствует, что именно они обеспечивают «дальнодействие» — взаимосвязь глобальных и локальных масштабов в зоне взаимодействия потоков плазмы с магнитным барьером. Новые данные по многоточечной регистрации СПС (до 14 часов по данным DOUBLE STAR с одновременными прохождением магнитослоя спутниками CLUSTER и GEOTAIL) позволяют провести как статистический анализ закономерностей появления СПС, так и придать глобальный характер проводимому многоточечному анализу.

ПОЧЕМУ ПОЛНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ПОДСОЛНЕЧНОЙ МАГНИТОПАУЗЕ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ?

А. Самсонов¹, З. Немечек², Я. Шафранкова², К. Желинек²

¹ СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, samsonov@geo.phys.spbu.ru

² ММФ, Карлов Университет, Прага, Чехия

Согласно данным спутниковых наблюдений, подсолнечная магнитопауза находится дальше от Земли при радиальном направлении межпланетного магнитного поля (ММП), чем предсказывают существующие модели. В данной работе мы даем теоретическое обоснование этого явления. Существуют два процесса, которые приводят к изменению полного давления при движении через магнитослой. Давление уменьшается из-за растекания вдоль магнитопаузы и увеличивается из-за формирования магнитного барьера. Показано, что полное давление на магнитопаузе в подсолнечной точке может отличаться от динамического давления солнечного ветра более чем на 20 процентов. Промоделировано два случая с северным и радиальным направлениями ММП, причем остальные параметры в солнечном ветре полностью совпадали. Давление, оказываемое на магнитопаузу, в этих двух случаях значительно отличается. Численное решение было получено в изотропном и анизотропном МГД приближении, и оказалось, что использование анизотропной МГД приводит к большему изменению давления и, таким образом, лучше согласуется с данными наблюдений. Результаты статистического анализа данных спутника THEMIS подтверждают выводы, полученные с помощью численного моделирования.

ИНЖЕКЦИИ ПЛАЗМЫ НА ГЕОСТАЦИОНАРНУЮ ОРБИТУ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ И СОСТОЯНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ

В.А.Сергеев, С.И. Дубягин, И.А.Черняев

СПбГУ, С-Петербург, Россия, victor@geo.phys.spbu.ru

Предполагается, что инъекции энергичных частиц на геостационарную орбиту связаны с генерацией струйных течений (BBF) в плазменном слое магнитосферы, однако предшествовавшие наблюдения показали слабую связь между этими явлениями. В данной работе, механизм инъекций и контролирующие их факторы изучаются по данным одновременной регистрации струйных течений (на спутниках Geotail и THEMIS) на входе во внутреннюю магнитосферу ($r \sim 8-12$ Re) и наличия инъекций по данным регистрации спутниками LANL. Основным результатом состоит в том, что лишь небольшая часть плазменных струй приближающихся к внутренней магнитосфере реально достигает геостационарной орбиты ($\sim 1/3$ от струй на расстоянии ~ 10 Re), причем эффективность проникновения зависит как от свойств плазменной струи (от величины энтропии трубки), так и (в большей степени) от степени возмущения (вытянутости) магнитной конфигурации хвоста магнитосферы. Обсуждается механизм инъекций и возможности предсказания глубины их проникновения.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМА ЛАМПЫ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ В МАГНИТОСФЕРНОМ ЦИКЛОТРОННОМ МАЗЕРЕ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ НА СПУТНИКАХ CLUSTER

**Е.Е. Титова^{1,2}, Б.В. Козелов¹, А.Г. Демехов³, О. Сантолик⁴, Э. Мацушова⁴,
Ж.-Л. Рош⁵, Ж.-Г. Тротиньон⁵, Д. Гарнет⁶, Ж. Пикет⁶**

¹ ПГИ РАН, г. Апатиты, Россия,

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия, lena.titova@gmail.com,

³ ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,

⁴ Карлов Университет, г. Прага, Чешская республика,

⁵ LPCE/CNRS, г. Орлеан, Франция,

⁶ Университет Айова, Айова, США,

По данным спутников CLUSTER рассмотрены характеристики режима магнитосферного циклотронного мазера типа лампы обратной волны (ЛОВ), который был предложен В.Ю. Трахтенгерцем (1995, 1999) для генерации ОНЧ хоров. В модели ЛОВ одним из основных является безразмерный параметр q , пропорциональный высоте ступеньки на функции распределения электронов и характеризующий превышение потока энергичных электронов над порогом развития абсолютной неустойчивости, ответственной за генерацию дискретных сигналов. Используя комплексные волновые и плазменные измерения на спутниках CLUSTER для 7 пролетов, в которых было зарегистрировано около 8000 хоровых элементов, мы определили значения параметра q магнитосферной ЛОВ; средние значения q оказались равными $q \approx 7$ для нижней полосы хоров $f/f_H < 0,5$ и $q \approx 13$ для верхней полосы $f/f_H > 0,5$. Таким образом, генерация хоровых эмиссий в магнитосфере может происходить только при значительных превышениях порога генерации режима ЛОВ, что согласуется с результатами численных расчетов Демехова и Трахтенгерца (2008). Другая важная особенность параметра q , выявленная в эксперименте, - это значительный разброс значений q , который наблюдался во время каждого прохождения области генерации, что свидетельствует о не стационарности ступеньки. Свойства параметра q связаны со свойствами ступеньки на функции распределения энергичных электронов, которая в значительной степени определяет генерацию хоровых элементов. Используя найденные на спутниках CLUSTER величины параметра q , мы определили, что относительная высота ступеньки $\sim 10^{-1} - 10^{-2}$. Выявленный в эксперименте большой разброс значений q и непостоянство нижней частоты свидетельствуют, что как положение ступеньки на функции распределения, так и ее величина не постоянны во времени. Малые амплитуды и нестационарность ступеньки делают невозможным ее прямое измерение на спутниках современными приборами, что увеличивает значимость косвенных методов определения характеристик ступеньки.

- [1] Демехов А. Г., Трахтенгерц В. Ю. О динамике магнитосферного циклотронного КНЧ-ОНЧ мазера в режиме лампы обратной волны. II. Влияние неоднородности магнитного поля, Изв. вузов — Радиофизика, Т.51, №9. С.977-987, 2008.
- [2] Trakhtengerts V. Y., Magnetosphere cyclotron maser: Backward wave oscillator generation regime, J. Geophys. Res., V 100, P. 17205-17210, 1995.
- [3] Trakhtengerts V. Y., A generation mechanism for chorus emission, Ann. Geophys., V.17, P. 95-100, 1999.
- [4] Trakhtengerts, V. Y., Demekhov, A. G., Titova, E. E., Kozelov, B. V., Santolik, O., Gurnett, D., Parrot, M., Interpretation of Cluster data on chorus emissions using the backward wave oscillator model, Physics of Plasmas, V.11, P. 1345 – 1353, 2004.

МГД-ВОЗМУЩЕНИЯ МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ УНЧ-ДИАПАЗОНА

О.К. Черемных, А.С. Парновский

*Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, г. Киев,
Украина, parnowski@ikd.kiev.ua*

В данной работе представлены результаты теоретических исследований собственных МГД-возмущений УНЧ-диапазона плазмы во внутренней магнитосфере Земли. Указанные возмущения имеют характерный пространственный масштаб порядка 10-100 тыс. км. и периоды от 1 до 1000 с и служат своеобразными резервуарами энергии во внутренней магнитосфере Земли. Благодаря этому, именно они определяют общую устойчивость магнитосферной плазмы к внешним возмущениям. Кроме того, они искажают равновесные параметры среды для более быстрых процессов, в ряде случаев приводя к их каналированию. Также значительный интерес представляет взаимодействие МГД-возмущений УНЧ-диапазона с горячими частицами. Были получены аналитические и численные зависимости их устойчивости и спектра в зависимости от параметров, описывающих состояние магнитосферной и ионосферной плазмы. Кроме того, исследовались эффекты взаимодействия разных типов мод с перекачкой энергии, а также дано объяснение некоторым наблюдательным фактам. Эти результаты становятся еще более актуальными в свете подготовки международного космического проекта РЕЗОНАНС, посвященного исследованию в том числе и этих вопросов. Благодаря своей уникальной орбитальной конфигурации и приборному составу, проект РЕЗОНАНС идеально подходит для исследования подобных крупномасштабных структур в магнитосфере Земли.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОЛЯРНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ 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, ildars@ngs.ru

Впервые в эксперименте по обтеканию лазерной плазмой магнитного диполя измерена ом-амперная характеристика магнитосферного генератора. Интегральная проводимость искусственной ионосферы варьировалась шунтом между двумя металлическими сегментами, покрывающие западную и восточную сторону полярной области диполя. Полученные данные позволили оценить внутреннее сопротивление генератора и сделать сравнение с моделью.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН проект П.8.1.4., Российского фонда фундаментальных исследований проект 09-02-00492 и Программы ОФН РАН 15 Плазменные процессы в солнечной системе.

АНАЛИЗ ОБЛАСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В АНОМАЛИЯХ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА

А.Ю. Шестаков, О.Л. Вайсберг

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

В предыдущих работах были исследованы несколько аномалий горячего потока, образовавшиеся на фронте околоземной ударной волны. Аномалии горячего потока представляют собой области разогретой плазмы, формирующиеся при взаимодействии межпланетного контактного разрыва с околоземной ударной волной. По результатам исследований в каждой аномалии было выделено несколько характерных областей – две области, определяемые как ведущая и замыкающая области и небольшая область их разделяющая. Разделяющая область является, по ряду признаков, областью выделения основной энергии при взаимодействии отраженных от ударной волны ионов с потоком солнечного ветра. В этот доклад включены результаты более подробного исследования конкретно этой разделяющей области, включая анализ функции распределения частиц в пространстве скоростей.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ МОЛНИЕВЫМИ РАЗРЯДАМИ НА НИЗКИХ ШИРОТАХ: НАБЛЮДЕНИЯ НА СПУТНИКЕ DEMETER И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Д.Р. Шкляр, Ф. Иржичек, Ф. Немес, М. Парро, О. Сантолик,
Л.Р.О. Стори, Е.Е. Титова, Я. Хум

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

В обзорных спектрограммах спутника DEMETER, полученных на низких широтах, были обнаружены спектры электромагнитных излучений, верхняя частота обрезания которых следует за экваториальной гирочастотой протонов. В противоположность хорошо известным протонным свистам, наблюдаемым в том же диапазоне частот, что и рассматриваемое в работе излучение, длительность спектральных элементов последнего порядка десяти секунд, в то время как длительность отдельных протонных свистов обычно не превышает двух секунд. Предложено объяснение обнаруженных спектров, которое исходит из того, что данное излучение представляет собой ионно-циклотронные волны, возбуждаемые молниевыми разрядами в противоположном по отношению к наблюдению полушарии. Экспериментальное доказательство правильности такого объяснения основано на анализе направления вектора волновой нормали, определяемого из измерений шести компонент электромагнитного поля, доступных по данным спутника DEMETER в диапазоне частот ниже 1250 Гц. Значительная длительность спектральных элементов обсуждаемого излучения связана с накапливающимся эффектом дисперсии групповой скорости при распространении сигнала в противоположное полушарие. При этом, большие значения показателя преломления вблизи верхней частоты обрезания ведут к заметным доплеровским сдвигам, которые проявляются в различиях спектров, наблюдаемых на тех же широтах при движении спутника к экватору и к полюсу. Дополнительное подтверждение предложенной картины явления основано на исследовании распространения ионно-циклотронных волн в многокомпонентной плазме, а также на численном моделировании спектрограмм в рамках геометрической оптики.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАГНИТОСФЕРУ ПРОТОННЫХ СИЯНИЙ, НАБЛЮДАЮЩИХСЯ К ЭКВАТОРУ ОТ ОВАЛА

А.Г. Яхнин, Т.А. Яхнина

ПГИ КНЦ РАН, Апатиты

Овал протонных сияний проектируется в магнитосферу в область плазменного слоя, где потоки энергичных ($E > 10$ кэВ) протонов изотропны. К экватору от овала преобладают потоки захваченных частиц и наблюдаются только локализованные высыпания протонов. Сопоставление высыпаний с наблюдениями ионно-циклотронных волн и геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc1 показало, что эти высыпания связаны с развитием ионно-циклотронной (ИЦ) неустойчивости в экваториальной магнитосфере. Чтобы выяснить, к каким магнитосферным доменам приурочено развитие ИЦ неустойчивости в различных геофизических условиях, мы спроектировали в экваториальную магнитосферу различные формы протонных сияний, которые были зарегистрированы прибором FUV (Far UltraViolet imager) на спутнике IMAGE, и сопоставили результаты проектирования с положением плазмопаузы. Положение плазмопаузы определялось по модели V. Pierrard (<http://www.spaceweather.eu>). Рассмотрены проекции долгоживущих «пятен» протонного сияния, которые наблюдаются на восстановительной фазе магнитной бури и связаны с квазимонохроматическими геомагнитными пульсациями Pc1, и проекции всплесков протонного свечения на дневной стороне, которые наблюдаются во время сжатия магнитосферы резкими фронтами потоков солнечного ветра с повышенной плотностью и связаны с широкополосными всплесками Pc1. Показано, что источник пятен протонного сияния проектируется в окрестность плазмопаузы, т.е., в условиях восстановительной фазы бури ИЦ неустойчивость развивается в области резкого градиента холодной плазмы. Всплески протонного свечения проектируются в область за плазмопаузой (т.е., ИЦ неустойчивость развивается в области низкой плотности холодной плазмы и очевидно связана с резким ростом анизотропии энергичных протонов). При этом оказалось, что приземная граница области развития ИЦ неустойчивости приближается к Земле (и к плазмопаузе) с ростом фоновой геомагнитной активности, предшествовавшей сжатию магнитосферы. Это указывает на роль потоков энергичных протонов, которые в условиях повышенной геомагнитной активности располагаются ближе к Земле.

С Е К Ц И Я «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ВЫСОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ХОЛОДНОЙ ($E \leq 10$ эВ) ПЛАЗМЫ ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ ДО ВЫСОТ $3R_E$

В.В. Афонин

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

На спутнике «Интербол-2» при помощи сферического зонда Ленгмюра (прибор КМ-7) измерялись концентрация N_e и температура T_e электронов холодной (≤ 10 эВ) плазмы во внутренней магнитосфере северного полушария на высотах $2-3 R_E$. N_e и T_e определялись путем снятия вольт-амперных характеристик (ВАХ) зонда Ленгмюра. Результаты измерений были отсортированы в 300 высотных ячеек ($\Delta h \approx 40$ км) в диапазоне 5500 - 18000 км без деления по широте и MLT, солнечной и геомагнитной активности F10.7, Kp, DST. Впервые приводятся измеренные прямым методом статистически значимые высотные распределения N_e и температуры T_e электронов холодной ($E \leq 10$ эВ) плазмы. Результаты представлены в виде графиков, для построения которых использовались данные 545 пролетов КА «Интербол-2» над северной полярной областью, содержащие 828806 вольт-амперных характеристик. На высоте ~ 15500 км ($2.43 R_E$) обнаружен широкий максимум N_e , простирающийся от 14000 до 18500 км и сопровождающийся аналогичным, но «противофазным» минимумом в высотном ходе электронной температуры T_e . N_e быстро спадает от 100 см^{-3} на $h=8000$ до 50 см^{-3} на $h=13000$ км и начинает возрастать до локального максимума $N_e = 62 \text{ см}^{-3}$ на $h=15500$ км, после чего продолжатся спад. Температура электронов $T_e = 0.5$ эВ на $h=7500$ км, быстро нарастает до 3.2 эВ на $h=13500$ км и затем падает до 2.8 эВ в вышеуказанном локальном минимуме на $h=15500$ км, за которым продолжается рост T_e приблизительно с той же скоростью, как в нижней части высотного профиля. Обсуждаются высотный ход N_e и T_e и возможные причины возникновения локальных максимума N_e и минимума T_e .

ВОЗМУЩЕНИЕ МАГНИТНОЙ КОНФИГУРАЦИИ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ И ВЫДЕЛЕНИЕ ТОКОВОЙ СИСТЕМЫ, ВНОСЯЩЕЙ ОСНОВНОЙ ВКЛАД В Dst ВАРИАЦИЮ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

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

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

Выделение токовой системы, вносящей доминирующий вклад в создание Dst вариации, относится к основным задачам физики магнитной бури. На начальных этапах исследований преобладали представления, подтвержденные результатами спутниковых наблюдений о доминирующем вкладе симметричной части кольцевого тока в создании Dst. В результате ошибки при анализе данных во время гигантской магнитной бури февраля 1986 г. была развита гипотеза, согласно которой значительный вклад в Dst вносит токовая система хвоста магнитосферы. В соответствии с данной гипотезой токи, замыкающие токовую систему хвоста, текут в дневные часы по магнитопаузе в направлении обратном токам Чепмена-Ферраро. При этом не было учтено, что магнитостатически равновесная часть поперечных токов, поддерживаемых радиальным градиентом давления плазмы, сосредоточена в дневные часы вне экваториальной плоскости. Данный эффект связан со сжатием дневной части магнитосферы и смещением минимумов магнитного поля на высокие широты. В работе проведен анализ применимости приближения осесимметричного магнитного поля, создаваемого полем диполя и текущими в плазме токами, для описания величины Dst вариации во время магнитных бурь и зависимости положения максимума давления от величины Dst вариации. Показано, что экспериментально полученная зависимость положения максимума давления от Dst описывается в предположении о справедливости адиабатического закона изменения давления с изменением геоцентрического расстояния. Рассчитаны величины искажения магнитного поля и величина Dst вариации при экспериментально определенном радиальном профиле давления для магнитных бурь средней интенсивности (с Dst ~ -100 нТл). Показано, что с учетом нелинейных искажений магнитного поля текущими в плазме токами, аксиально-симметричная часть кольцевого тока вносит основной вклад в величину Dst вариации.

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА ИНТЕРВАЛОВ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОГРАНИЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРНОГО ХВОСТА ПО МОМЕНТАМ ИОННЫХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Е.Е. Григоренко¹, Р. Колева²

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, elenagrigorenko2003@yahoo.com

² ИКСИ БАН, г. София, Болгария

Вопрос идентификации интервалов пересечения интерфейсной области между высокоширотной долей хвоста и плазменным слоем – так называемого Пограничного Плазменного Слоя (ППС), часто встает перед исследователями при проведении статистического анализа большого объема спутниковых измерений, с целью исследования различных явлений, наблюдаемых в этой области. Наш опыт в исследовании ППС на основе детального анализа ионных и электронных функций распределения показал, что плазменные параметры, такие как плотность и направленная скорость ионов, плазменное бета и динамическое давление могут изменяться в широком диапазоне значений, в зависимости от динамики хвоста. Так, например, в ППС могут наблюдаться пучки ускоренных ионов, движущиеся вдоль силовых линий магнитного поля со скоростями более 1000 км/с, однако, в другие периоды времени, в этой области, пучки или потоки ускоренной плазмы могут полностью отсутствовать, по крайней мере, в точке наблюдения. В таких случаях, спутник, двигаясь из высокоширотной доли хвоста, сразу начинает регистрировать практически изотропную по скоростям функцию распределения ионов, т.е. ППС становится неотличим по своим ионным характеристикам от Плазменного Слоя (ПС). В данной работе мы попытались найти какие-либо плазменные параметры или их комбинации, позволяющие минимизировать ошибку при автоматическом поиске интервалов пересечения ППС, без визуального анализа функций распределения. С этой целью мы исследовали 100 пересечений высокоширотной доли хвоста – ППС – ПС спутниками Cluster, имевших место в различные периоды геомагнитной активности. В первую очередь с помощью детального анализа ионных функций распределения мы выделили интервалы пересечения ППС и прилежащих к нему высокоширотной области хвоста и ПС. Затем мы статистически исследовали параметры плазмы и магнитного поля в этих областях. В результате было установлено, что граница ППС с высокоширотной областью хвоста может быть достаточно надежно идентифицирована заданием минимального порогового значения плотности и направленной скорости ионов вдоль магнитного поля, вычисленных для высокоэнергичной части спектра (> 2 кэВ). Границу ППС и ПС невозможно идентифицировать по ионным моментам без анализа функций распределения. Мы также показали, что использование величины плазменного бета в качестве определяющего параметра для ППС и прилегающего к нему ПС, сопряжено с большой ошибкой в идентификации этих областей.

ЗАВИСИМОСТЬ ФАЗЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ ОТ ТИПА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, ГЕНЕРИРОВАВШЕГО БУРЮ

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

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

Исследуется временная вариация Dst индекса на фазе восстановления магнитных бурь, индуцированных разными типами солнечного ветра, т.е. зависимость Dst профиля от условий в межпланетной среде во время главной фазы (и частично фазы восстановления). Одна из трудностей анализа заключается в определении конца фазы восстановления. В данной работе в качестве критерия конца фазы восстановления используются 2 длительности: $\Delta t_{1/2}$ – когда Dst на фазе восстановления достигает 1/2 от уровня величины D_{stmin} , и $\Delta t_{1/3}$ – когда Dst на фазе восстановления достигает 1/3 от уровня D_{stmin} . Сравнение данных, соответствующих $\Delta t_{1/2}$ и $\Delta t_{1/3}$, позволяет делать заключения о динамике Dst индекса во время фазы восстановления. Кроме того, фаза восстановления магнитных бурь от разных типов солнечного ветра аппроксимировалась гиперболической функцией $Dst(t)=a/(1+t/th)$, с гиперболической временной константой th . На основе анализа фазы восстановления 572 магнитных бурь с разным типом драйвера в солнечном ветре были получены следующие результаты:

- (1) Все распределения длительностей фазы восстановления магнитных бурь показывают, что начальные части восстановления (распределения $\Delta t_{1/2}$) близки друг к другу для всех типов драйверов, а на дальнейшей части восстановления ($\Delta t_{1/3}$) распределения различаются и гистограммы шире (т.е. в среднем, восстановление более медленное) для областей сжатия Sheath и CIR, чем для обоих типов ICME.
- (2) Во время фазы восстановления Dst индекс хорошо аппроксимируется гиперболическими функциями $Dst(t)=a/(1+t/th)$ только для сильных бурь ($Dst < -100$ нТл). Этот результат согласуется с заключениями работы Aguado *et al.* [2010]. Аппроксимация показывает, что гиперболический индекс th имеет наибольшую величину для бурь от Sheath (самое медленное восстановление), промежуточное значение для бурь от CIR, и самую маленькую величину для бурь, индуцированных ICME.
- (3) В противоположность сильным бурям, Dst индекс во время фазы восстановления умеренных бурь ($-100 < Dst < -50$ нТл) плохо аппроксимируется гиперболическими функциями и гиперболический индекс th зависит от времени фазы восстановления. Аппроксимация во временных интервалах 0-11, 0-18, и 0-48 час показывает, что зависимость гиперболического индекса th от типа драйвера аналогична зависимости для сильных бурь.

ОТКЛИК МАГНИТОСФЕРЫ НА ИМПУЛЬС ПЛОТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПРИ ЮЖНОМ ММП В ДИНАМИКЕ СИЯНИЙ ОКОЛО ПЛАЗМОПАУЗЫ

И.Б. Иевенко

ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, ievenko@ikfia.ysn.ru

Хорошо известна тесная связь геомагнитной и авроральной активности с южным направлением B_z ММП и скоростью солнечного ветра (СВ). Электрическое поле $-V_x \times B_z$ СВ утро-вечер вызывает рост магнитосферной конвекции. Недавно Boudouridis et al. (2005, 2008) показали, что увеличение динамического давления вследствие резкого роста плотности СВ при южном B_z сразу усиливает электрическое поле конвекции внутри магнитосферы. В этой работе мы проводим анализ проявления импульсного увеличения плотности СВ при южном ММП в динамике сияний и SAR-дуги в эмиссиях 427.8 (N_2^+), 557.7 и 630.0 нм [OI] на меридиане Якутска (130°E) по данным сканирующего и зенитного фотометров для изолированного события 28.12.2010. Общепринято, что наблюдение диффузного сияния (ДС) и SAR-дуг является информативным методом исследования магнитосферных процессов в окрестности плазмопаузы. ДС вызывается высыпаниями низко энергичных электронов из плазменного слоя. SAR-дуги являются следствием взаимодействия внешней плазмосферы с энергичными ионами кольцевого тока. Во время суббурь происходит увеличение интенсивности ДС и его расширение по направлению к экватору до проекции плазмопаузы, которая отображается возникающей в это время SAR-дугой (Ievenko, 1999, 2008). *Главные моменты развития явлений 28.12.2010.* После резкого поворота B_z ММП к югу происходит плавное понижение магнитного поля Земли на низких широтах с отношением ASY-H / SYM-H = 3-4. Скорость спада H-компоненты возрастает по мере уменьшения B_z ММП до -10 нТл при низкой скорости СВ 300-330 км/с. С 12 UT усиление магнитосферной конвекции наблюдается в экваториальном расширении ДС на меридиане Якутска в вечернем секторе MLT. Большой скачок плотности СВ до $\sim 70 \text{ см}^{-3}$ с длительностью ~ 10 минут наблюдается в SI на низких широтах в 1340 UT и вызывает:

- (1) Импульсное усиление западной электроструи на авроральных широтах в полуночные часы MLT с длительностью SI и увеличение индекса ASY-H до ~ 100 нТл;
- (2) Резкое увеличение интенсивности авроральной дуги на геомагнитной широте $\sim 61-62^\circ\text{N}$ и ДС на более низких широтах;
- (3) Появление интенсивной SAR-дуги в экваториальной области ДС и ее движение к югу со скоростью ~ 70 м/с до 1630 UT. Последующие скачки плотности СВ до $\sim 30 \text{ см}^{-3}$ вызывают DCF вариации магнитного поля на низких широтах в полуденном и полуночном секторах MLT и хорошо проявляются в уярчении авроральной дуги, ДС и SAR-дуги в течение ~ 4 часов наблюдений. Магнитная и авроральная активности быстро затухают в 1730-1800 UT после резкого поворота B_z ММП к северу. Мы полагаем, что наблюдаемая динамика сияний и SAR-дуги в этом событии обусловлена резким усилением конвекции и асимметричного кольцевого тока в магнитосфере как следствия импульсного увеличения плотности СВ при южном ММП.

НАБЛЮДЕНИЕ НАЧАЛА РАСШИРЕНИЯ АВРОРАЛЬНОЙ СУББУРИ НА ГЕОМАГНИТНОЙ ШИРОТЕ 56° ВО ВРЕМЯ БОЛЬШОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ

И.Б. Иевенко, С.Г. Парников, В.Н. Алексеев

ИКФИА СО РАН, Якутск, Россия, ievenko@ikfia.ysn.ru

Известно, что первое начало расширения авроральной суббури связано с увеличением яркости и брейкапом самой экваториальной дуги. Последующие активизации суббури могут проявляться в интенсификации авроральных дуг на более высоких широтах. В результате происходит образование авроральной выпуклости и смещение максимума западной электроструи к полюсу. Развитие авроральной выпуклости отображает динамику высыпаний энергичных частиц во время магнитосферной суббури. В работе представлены результаты исследования авроральной суббури во время большой магнитной бури 20 марта 2001 ($Dst = -150$ nT). Сияния наблюдались на меридиане Якутска ($130^\circ E$, $200^\circ E$ геом.) сканирующим и зенитным фотометрами в эмиссиях 630.0, 557.7 [OI], 427.8 (N_2^+) и 486.1 нм (H beta). Динамика сияний сопоставлена с развитием западной электроструи вдоль меридиана, с измерениями высыпающихся потоков электронов и протонов на DMSP F15, суббуревыми инъекциями на геосинхронной орбите, вариациями в солнечном ветре (СВ) и ММП а также изображениями овала сияний со спутника IMAGE. *Главные моменты развития низкоширотной суббури 20.03.2001.* До начала суббури экваториальная дуга наблюдается на низких геомагнитных широтах $55-57^\circ N$. Максимумы интенсивности эмиссий 630.0 и 557.7 нм в дуге разделены по широте на $1-1.5^\circ$. Первый максимум совпадает с потоком низко энергичных электронов с $E = 0.13-2$ кэВ а второй с потоками энергичных протонов и электронов с $E = 3-20$ кэВ по измерениям F15 вблизи меридиана Якутска. Зенитный фотометр регистрирует интенсивную эмиссию H beta в дуге. Первая активизация суббури с брейкапом экваториальной дуги и расширением сияний к полюсу зарегистрирована в вечернем секторе MLT. Резкое увеличение интенсивности эмиссий 427.8, 557.7 и 630.0 нм в дуге сопровождается падением интенсивности H beta в ~ 5 раз. Во время интенсификации суббури происходит усиление западной электроструи с максимумом на широте $56-57^\circ N$. IMAGE фиксирует образование авроральной выпуклости в вечернем секторе с центром вблизи меридиана Якутска. Геосинхронный спутник 1994-084 на меридиане $104^\circ E$ регистрирует бездисперсионную инъекцию энергичных протонов и электронов на 40-60 с раньше начала резкого уярчения дуги. Через ~ 40 мин начинается вторая активизация суббури после короткой фазы роста, которая проявилась в плавном увеличении интенсивности эмиссий 427.8 нм и H beta в дуге сияния при ее движении до прежней широты. Взрывное увеличение интенсивности и смещение сияний к полюсу сопровождается усилением и расширением западной электроструи до широты ст. Тикси ($66^\circ N$, геом.). IMAGE регистрирует образование новой авроральной выпуклости в полуночном секторе MLT. Две активизации суббури с брейкапом экваториальной дуги на широте $\sim 56^\circ N$ хорошо проявились в магнитных H и D бухтах на низких широтах. Электрическое поле $-V_x \times B_z$ утро-вечер и плотность СВ до и во время суббури были постоянны. Результаты наземных и спутниковых наблюдений в работе рассмотрены с позиции изменения конфигурации магнитного поля и потоков энергичных частиц во внутренней магнитосфере в период низкоширотной суббури а так же проведено сравнение с более ранними исследованиями.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ И ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В НАЧАЛЬНУЮ ФАЗУ МАГНИТНОЙ БУРИ (12 АПРЕЛЯ 2011) КАК ИНДИКАТОР ДИНАМИКИ МАГНИТОСФЕРЫ

Н.Г. Клейменова^{1,2}, О.В. Козырева¹

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

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Начальная фаза магнитной бури 11-14 апреля 2011г. происходила при B_z ММП >0 , продолжалась 23 часа и характеризовалась очень большим динамическим давлением солнечного ветра (до 14 нПа), что привело к значительному поджатию магнитосферы (до ~ 7 Re). Анализ данных наземных наблюдений показал, что в конце начальной фазы бури (12 апреля в 04-06 UT), когда магнитосфера стала возвращаться к исходному состоянию, в спектрах возбуждающихся геомагнитных пульсаций преобладали колебания в полосе частот 8-12 мГц (диапазон Pc4). Эти колебания, исходя из широтного распределения их амплитуд и фаз, можно отнести к резонансным. До 05 UT в спектре колебаний выделялись два основных максимума: ~ 9 и ~ 12 мГц на геомагнитных широтах $\sim 64^\circ$ и $\sim 59^\circ$ соответственно. В 05.10 UT B_z компонента ММП скачком изменилась от +7 нТл до -6 нТл, после чего первый максимум пульсаций (9 мГц) переместился на широту $\sim 65^\circ$, а частота второго максимума (12 мГц) уменьшилась до 10.7 мГц, что может быть результатом перемещения областей резонанса к большим L-оболочкам. В этот же интервал времени (04-06 UT) на земной поверхности в авроральных широтах были зарегистрированы шумовые ОНЧ излучения (по-видимому, плазмосферные шипения), генерация которых резко прекратилась в ~ 06 UT с началом интенсивной суббури на ночной стороне Земли. Анализ наземных наблюдений показал, что левая поляризация ОНЧ излучений (удаленный источник) к ~ 05.30 UT сменилась на правую (близкий источник), что может быть проинтерпретировано как увеличение L-оболочки источника ОНЧ и приближение точки выхода волн из ионосферы к наземной точке наблюдения. При этом интенсивность ОНЧ излучений возросла, а их частотная полоса изменилась от 1.7-3.7 кГц до 1.4-2.7 кГц. Оценки показывают, что в обсуждаемый интервал времени магнитопауза сместилась с ~ 9 Re до ~ 10 Re. Такое «распухание» магнитосферы обычно сопровождается перемещением плазмопаузы (главной области канализации плазмосферных ОНЧ волн к Земле) на большие L-оболочки, чем можно и объяснить обнаруженные временные изменения параметров ОНЧ волн и геомагнитных пульсаций. Таким образом, временная динамика наземных характеристик ОНЧ излучений и геомагнитных пульсаций (в данном случае Pc4) может быть индикатором динамики магнитосферы и плазмопаузы.

ЭВОЛЮЦИЯ ИОННЫХ ДИСПЕРСИОННЫХ СТРУКТУР В ПОГРАНИЧНОМ ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ

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

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

² Институт астрофизических и планетных исследований (IRAP), Тулуза, Франция

Работа посвящена исследованию динамики ионных структур типа VDIS в энергетическом диапазоне от 1 до 30 кэВ с дисперсией энергия – инвариантная широта в низковысотном пограничном плазменном слое на геоцентрических расстояниях 4 – 7 радиусов Земли по данным многоточечных измерений с космических аппаратов CLUSTER. Анализ эволюции дисперсионной структуры, содержащей ускоренные ионные пучки – бимлеты, осуществлялся, используя задержки регистрации структуры последовательно пересекающими её тремя спутниками CLUSTER (SC-1, SC-3, SC-4). Выявлена пространственно-временная трансформация глобальной ионной структуры, а также динамика мозаики бимлетов в структуре. Обсуждаются механизмы прямой и обратной дисперсии энергия – широта бимлетов в структурах.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОПЕРЕЧНОГО ТОКА ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ СУББУРЕВЫХ ИНТЕНСИФИКАЦИЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ THEMIS

Т. В. Козелова, Б. В. Козелов

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

Пространственные вариации поперечного тока плазменного слоя магнитосферы ценивались по вариациям магнитного поля, измеренного на двух спутниках THEMIS во время нескольких суббуревых интенсификаций 6 января 2008 г. на расстояниях от Земли 4-13 Re. В рассмотренных случаях расстояние между спутниками было порядка 3 Re. По данным каждого спутника с использованием простой модели линейного тока были вычислены параметры эквивалентных дифференциальных токов dJ : удаление от Земли, интенсивность и направление. Во время подготовительной фазы суббури крупномасштабное вытягивание магнитных силовых линий в хвост наблюдалось на обоих спутниках. В это время ток dj_w западного направления располагался на $r \sim 6-10$ Re. Монотонность вытягивания нарушалась около моментов, соответствующих наземным проявлениям магнитной и авроральной активности в данном долготном секторе. В эти моменты усиление тока возмущения восточного направления dj_E происходило попеременно то на $r \sim 10$ Re, то на $r \sim 5$ Re. Внезапное усиление тока dj_E около внутреннего края плазменного слоя ($r \sim 5$ Re) привело к локальному быстрому вытягиванию на расстояниях $r > 5$ Re и к более резкому падению B_z компоненты магнитного поля на спутнике, расположенном ближе к току dj_E . За пять минут до начала суббури наблюдалась стадия развития токового слоя с низкочастотными пульсациями, когда усиление тока dj_w происходило на $r \sim 8.5 - 10.5$ Re. Первое краткое появление тока j_E в этой области может быть проявлением перехода к более нестабильному состоянию плазменного слоя вблизи начала суббури. Во время взрывной фазы суббури многочисленные транзиентные токи dj_E появлялись в области, в которой наблюдалась диполизация. Токи возмущения, наблюдаемые на разных спутниках, иногда имели противоположные направления на разных спутниках, как разные части одной и той же токовой вихревой структуры в экваториальной плоскости.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ ММЗ-КОЛЕБАНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ

Д.А. Козлов, А.С. Леонович, В.А. Пилипенко

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, kozlov-da@iszf.irk.ru

Исследована пространственно-временная структура медленных магнитозвуковых (ММЗ) волн, генерируемых в дипольной плазмосфере движущимся по ионосфере солнечным терминатором. Прохождение терминатора сопровождается нагревом (утренний терминатор) или охлаждением (вечерний терминатор) ионосферной плазмы, что приводит к генерации ММЗ-колебаний в широком диапазоне частот. Поперечно-мелкомасштабные ММЗ-колебания в неоднородной плазме распространяются преимущественно вдоль силовых линий магнитного поля. Достигая магнитосопряженной области ионосферы, они проявляются в виде колебаний полного электронного содержания (ПЭС). В приближении ВКБ по продольной (вдоль силовых линий магнитного поля) координате построены продольные распределения возмущенных компонент поля ММЗ-колебаний в модели магнитосферы с дипольным магнитным полем. Проведено сопоставление рассчитанных параметров возмущений ПЭС с данными наблюдений по плотным сетям GPS-станций в США и Японии. Показано, что результаты расчетов находятся в хорошем согласии с наблюдаемыми значениями.

Данная работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №09-02-00082, №10-05-00113 и №11-05-90703.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ Pc5 В НАЧАЛЬНУЮ ФАЗУ МАГНИТНОЙ БУРИ (05 АПРЕЛЯ 2010 г.)

О.В. Козырева

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kozyreva@ifz.ru

Анализ одновременных наблюдений вариаций магнитного поля на земной поверхности (по данным глобальной сети наземных магнетометров) и в магнитосфере (по данным магнетометров на геостационарных спутников GOES 11 и GOES 12) показал, что в начальную фазу умеренной ($Dst_{мин} \sim -75$ нТл) магнитной бури 05-07 апреля 2010 г. регистрировались всплески геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc5 (2-7 мГц). На картах пространственного распределения этих пульсаций на земной поверхности видно, что Pc5 пульсации занимали обширную область как по долготе (от ранних утренних до вечерних часов MLT), так и по широте (от полярных до экваториальных широт), т.е. Pc5 имели глобальный характер. Начальная фаза магнитной бури (05.04.2010) характеризовалась большим динамическим давлением (до 15 нПа) и большой скоростью солнечного ветра (> 800 км/с). Глобальные всплески Pc5 пульсаций наблюдались при положительных значениях B_z МПП и совпадали со скачками в плотности солнечного ветра. Спектральный анализ всплесков Pc5 пульсаций, одновременно наблюдавшихся в магнитосфере (GOES 11 и 12) и на земной поверхности показал совпадение частотных максимумов в спектрах пульсаций в магнитосфере и на земле, однако в спектрах компонент ММП подобных максимумов не наблюдалось. На основе анализа амплитудных и фазовых спектров наземных Pc5 пульсаций по данным меридиональных цепочек магнетометров сделан вывод об их резонансной природе, при этом резонанс силовых линий в утреннем секторе наблюдался на более высоких широтах (69°), чем в вечернем секторе (63°).

ULF-АКТИВНОСТЬ МАГНИТНЫХ БУРЬ В НАЧАЛЕ 24-ОГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

О.В. Козырева,

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, kozyreva@ifz.ru

Анализируются геомагнитные пульсации (ULF волны) в диапазоне частот 2-7 мГц во время магнитных бурь в начале нового 24-ого цикла солнечной активности. Показано, что в 2010 г. наряду с рекуррентными магнитными бурями (CIR-бури), вызванными подходом к магнитосфере Земли высокоскоростных потоков солнечного ветра, наблюдались магнитные бури (CME-бури), вызванные выбросами корональной массы на Солнце. Анализ ULF-активности проводился с использованием ULF-индекса. Обнаружено, что в начальную фазу CME-бурь отмечается высокий уровень ULF-активности как в межпланетном магнитном поле, так и в магнитосфере Земли на геостационарной орбите, а также на земной поверхности в высоких широтах. В главную фазу всех анализируемых CME и CIR бурь, даже при отсутствии значительных вариации в ММП, наблюдалась повышенная ULF-активность в магнитосфере Земли и на земной поверхности в авроральных широтах. В восстановительную фазу CME-бурь волновая активность в ММП и магнитосфере была незначительной, а на земной поверхности иногда отмечалось всплески пульсационной активности в авроральных широтах, тогда как восстановительная фаза CIR-бурь характеризовалась продолжительной ULF-активностью как в ММП и магнитосфере, так и на земной поверхности в авроральных широтах. Анализ пространственно-временных особенностей и спектральных характеристик дневных геомагнитных пульсаций диапазона Pc5 в исследуемых CME и CIR бурях показал, что появление этих пульсаций на земной поверхности связано преимущественно с резонансом силовых линий.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И КАЛИБРОВКА ПРИБОРА ДИ-АРИЕС ДЛЯ ПРОЕКТА ФОБОС-ГРУНТ

Г.В. Койнаш, Л.А. Аванов, О.Л. Вайсберг, В.Ю. Горетов, А.В. Козюра, А.В. Лейбов, В.В. Летуновский, П.П. Моисеев, С.Н. Подколзин, В.Н. Смирнов, А.К. Тоньшев, А.Ю. Шестаков.

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

Представляем результаты испытаний и калибровок КДИ и ШО приборов ДИ изготовленных для выполнения научной задачи в проекте Фобос-Грунт. Панорамный энерго-масс анализатор ДИ-АРИЕС является оригинальным Российским прибором с широким углом зрения 2π стерадиан, что позволяет производить одномоментные измерения 2-мерного сечения функции распределения ионов в полусфере в диапазоне энергий от 3 эВ до 3 КэВ. Времяпролетная схема с использованием электростатического затвора позволяет разделять ионы по соотношению массы к заряду. Электронно-оптическая схема прибора ДИ является прототипом приборов АРИЕС-Л и ЛИНА-Р для лунных проектов.

ПРОДОЛЬНАЯ СТРУКТУРА БАЛЛОННЫХ МГД МОД В ОКОЛОЗЕМНОЙ ПЛАЗМЕ

Н.Г. Мазур¹, Е.Н. Федоров¹, В.А. Пилипенко², Д.А. Козлов³

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

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

³ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, kozlov-da@iszf.irk.ru

Низкочастотные колебания диапазона Pc5 (периоды порядка 3-10 мин) - т.н. "буревые Pc5 колебания", являются неотъемлемым элементом магнитной бури. Практически все наблюдения плазменных поцессов в околоземном пространстве проводились либо в приэкваториальной области магнитосферы, либо на низковысотных околоземных орбитах. Поэтому продольная структура вдоль силовой линии УНЧ процессов остается практически неизвестной и является областью теоретических догадок. Уникальное совпадение положений нескольких аппаратов при наблюдениях "буревых Pc5" неожиданно указало на малый продольный масштаб таких колебаний и их локализацию в приэкваториальной плоскости магнитосферы [Takahashi *et al.*, 1985], что заведомо исключает из рассмотрения альвеновские волны. Возможное разрешение проблемы "альвеновской катастрофы" может быть связано с развитием баллонных возмущений, которые представляют собой возмущение силовой трубки, локализованное в той ее части, где резко возрастает отношение теплового и магнитного давлений β , и кривизна силовых линий. Именно такая ситуация возникает на внешней кромке кольцевого тока во время магнитных бурь. Баллонные возмущения в плазме конечного давления, находящейся в криволинейном магнитном поле, описываются системой зацепленных уравнений для альфвеновской и медленной магнитозвуковой (ММЗ) мод. Равновесная плазменная конфигурация, моделирующая неоднородную магнитосферную плазму конечного давления в криволинейном магнитном поле, описывается моделью Voigt. Для этой модели рассчитаны спектральные характеристики и пространственная структура собственных мод связанных альвеновской и ММЗ мод. Модельные расчеты действительно показывают возможность образования очень малого продольного масштаба колебаний вблизи вершины силовой линии. По результатам теоретического моделирования сформулированы требования к проведению измерений электромагнитного поля в УНЧ диапазоне для космического проекта "Резонанс". Целью этого много-спутникового эксперимента явится проверка теоретически предсказанных особенностей коллективной динамики плазмы, энергичных частиц, и УНЧ волн в околоземном пространстве.

БАРСТЕРНАЯ СТРУКТУРА АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (АКР)

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

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

Авроральное километровое излучение (АКР) состоит из очень интенсивных спорадических всплесков электромагнитного излучения с пиком интенсивности в диапазоне частот от 100 до 300 кГц. АКР генерируется в результате циклотронной мазерной неустойчивости, развивающейся в областях с пониженной плотностью плазмы (где плазменная частота f_{pe} ниже гирочастоты электронов f_{ce}) на высотах между 2000 и 10000 км в основном в вечернее и ночное время авроральной зоны. На основе измерений АКР в эксперименте ПОЛЬРАД на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 обнаружена барстерная структура излучения, представляющая собой последовательность широкополосных квазипериодических всплесков АКР с характерными временами ~ 360 -600 секунд. Сама структура имеет длительность нескольких десятков минут (~ 30 -50 минут). Характерной особенностью барстеров является резкое возрастание интенсивности в широком диапазоне частот за короткий промежуток времени. За время работы спутника, а именно с декабря 1996 по сентябрь 1998 года, было зарегистрировано ~ 80 барстерных структур излучения, что составляет $\sim 7\%$ от всех наблюдений АКР за данный период времени. Исследуемая структура наблюдалась в вечернем (~ 16 -20 MLT) и ночном (~ 0 -4 MLT) секторах магнитосферы на инвариантных широтах 65^0 - 75^0 . На основе 47 событий мы проводим сравнительный анализ барстерных структур и рассматриваем возможный механизм их формирования.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЭНЕРГИЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ

Н.Н. Павлов

НИИЯФ им. Д.В. Скобелыцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, npr@mail.ru

В докладе сообщается о развитии подхода, представленного на 6-ой конференции «Физика плазмы в солнечной системе» (2011г.). Проникновение в магнитосферу Земли солнечно-вспышечных протонов (солнечных космических лучей – СКЛ) рассматривается как процесс, контролируемый параметрами влёта частиц – направлением подводящего межпланетного магнитного поля (ММП), местом и локальным углом падения на магнитопаузу (МП), формой МП и её удалённостью от Земли. Предложена простая кинетическая модель, в которой поле магнитосферы полагается дипольным, ограниченным магнитопаузой, квази-статическим (как и ММП), а воздействие магнитослоя – мало меняющим угловое распределение влетающих энергичных частиц. На основе модельных иллюстраций обсуждаются наиболее важные для глубокого проникновения условия, включая роль Штёрмеровской длины как порогового параметра; даются оценки максимальных глубин проникновения. Демонстрируются средства для построения подробных карт двумерного распространения СКЛ в экваториальном плане магнитосферы: для каждого участка карты набирается угловое распределение частиц, пролетевших через данный участок за указанный период времени через указанное время после однократной моментальной инъекции с МП. Карты строятся для последовательных периодов, для частиц разных энергий, для разных направлений потока СКЛ (например, для всенаправленного или направленного вдоль заданного вектора ММП), для разных конфигураций МП. Демонстрируются зависимости характеристик проникновения от перечисленных переменных. Показано, что детектор СКЛ с ненулевым приёмным конусом, помещённый внутрь магнитосферы, может обнаружить как снижение, так и превышение потока по сравнению с потоком в межпланетном пространстве; эффект зависит от ряда параметров, включая положение и ориентацию детектора, и связан с “фокусировкой” орбит частиц СКЛ. Обсуждается перспектива извлечения информации о примерной форме МП из временных, энергетических и угловых характеристик СКЛ, измеренных на спутнике внутри магнитосферы (с желательным привлечением аналогичных внемагнитосферных данных). Также обсуждается сравнение модели с экспериментом и варианты учёта особенностей реального поля магнитосферы. Дополнительно рассмотрена специфика (квази) захвата СКЛ, падающих на трёхмерную МП неперпендикулярно, с неравными нулю питч-углами в ММП; привлечены модели Tsyanenko’96 (+GeoPack-2008) и Shue’98; получены асимметричные области блокировки глубокого проникновения, связанные с геометрией падения частиц; показана зависимость эффекта от энергии СКЛ и направления ММП.

ОСОБЕННОСТИ ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ДИАПАЗОНА Pc1, ИНИЦИИРОВАННЫХ СКАЧКОМ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

**В.А. Пархомов, В.В. Сафаргалеев, А.Е. Козловский,
А.Ю. Пашинин, Г.Н. Застенкер**

Байкальский государственный университет экономики и права, г. Иркутск

По данным меридиональной цепочки индукционных магнитометров Нурмиярви (юг Финляндии) - Баренцбург (архипелаг Шпицберген) и обсерватории Узур (Иркутск) исследованы особенности динамики геомагнитных пульсаций диапазона Pc1, генерируемых при резком сжатии магнитосферы 09 сентября 2011 г. Скачек давления солнечного ветра был зарегистрирован прибором BMSW на российском спутнике Спектр – Р, находящемся недалеко от околоземной ударной волны в солнечном ветре, что позволило отождествить стадии волновой активности на поверхности земли со структурой неоднородности в солнечном ветре. Пульсации инициируются взаимодействием переднего фронта неоднородности с магнитопаузой и прекращаются при прохождении через магнитопаузу заднего фронта. Распространение волны сжатия через магнитосферу и последующее смещение магнитопаузы сопровождается нарастанием частоты Pc1. Скорость нарастания частоты демонстрирует широтную зависимость, увеличиваясь по направлению к полюсу. Дается интерпретация наблюдаемых особенностей.

ОСОБЕННОСТИ ДРЕЙФА ИСТОЧНИКОВ ВСПЛЕСКОВ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В ДИАПАЗОНЕ РС1 ПО ОДНОВРЕМЕННЫМ НАЗЕМНЫМ И ГЕОСИНХРОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

В.А. Пархомов, Б. Цэгмэд, И.П. Харченко

*Байкальский государственный университет экономики и права,
Россия, parhomov@irk.ru*

Рассмотрены особенности дрейфа источников всплесков геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне РС1 (0.2 – 0.5 Гц), стимулированных внезапным началом магнитной бури 19.11.2007 года. Исследование выполнено по наземным наблюдениям геомагнитных пульсаций на сети магнитометров CANOPUS и одновременным наблюдениям таких же пульсаций на трёх геостационарных спутниках GOES-10_L2, GOES-11_L2, GOES-12_L2. Обнаружено запаздывание начал возбуждения пульсаций к утренним часам на геостационарной орбите и на восточных обсерваториях по отношению к началу пульсаций на западной обсерватории. Обсуждаются возможные механизмы восточного дрейфа источников всплесков геомагнитных пульсаций.

КОРРЕЛЯЦИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ И ВЫСЫПАНИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DEMETER

Д.Л. Пасманик, М. Гайош, А.Г. Демехов, О. Сантолик, М. Парро

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

Представлены результаты спутниковых наблюдений прямой корреляции между квазипериодическими КНЧ/ОНЧ излучениями и модулированными потоками высыпающихся энергичных частиц. Эти результаты получены по данным низкоорбитального спутника DEMETER (высота ~700 км), на котором измерялись электромагнитные волны в КНЧ/ОНЧ диапазоне и потоки энергичных электронов с энергиями больше 70 кэВ. Были найдены 4 случая, когда наблюдается ясная корреляция между всплесками КНЧ/ОНЧ излучений и всплесками потоков энергичных электронов. Все отобранные события наблюдались в достаточно спокойной геомагнитной обстановке. Регулярный частотный дрейф и относительно небольшой (~20 сек) период всплесков волн указывает на то, что эти события относятся к классу QP2, когда модуляция интенсивности не связана с геомагнитными пульсациями. Многокомпонентный анализ электромагнитного поля показал, что наблюдаемые волны распространяются под малым углом к геомагнитному полю. В дополнение к данным со спутника DEMETER использованы данные по потокам захваченных и высыпающихся энергичных электронов со спутника NOAA-17, который находился в той же области магнитосферы в пределах 30 минут. Эти данные подтверждают, что в период регистрации QP излучений спутник DEMETER пересекал область изотропизации функции распределения энергичных электронов. Это указывает на существование области эффективного циклотронного взаимодействия в экваториальной области данной геомагнитной силовой трубки. На основе анализа данных по корреляции всплесков волн и частиц можно оценить положение и размер источника высыпаний, связанных с генерацией квазипериодических КНЧ/ОНЧ излучений.

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ МАГНИТОСЛОЯ ВБЛИЗИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ТОЧКИ И БАЛАНС ДАВЛЕНИЙ НА МАГНИТОПАУЗЕ

**М.В. Пулинец¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, С.С. Знаткова¹,
М.О. Рязанцева^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}**

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

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

При прохождении солнечного ветра через околоземную ударную волну существенно нарастает уровень флуктуаций магнитного поля и параметров плазмы, формируется магнитослой. Несмотря на длительную историю изучения взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, характеристики турбулентности магнитослоя сравнительно плохо изучены. Не решен вопрос о балансе давлений на магнитопаузе в областях, где наблюдаются турбулентные флуктуации магнитного поля. Представлены результаты изучения флуктуаций магнитного поля в магнитослое и баланса давлений на магнитопаузе вблизи подсолнечной точки магнитосферы по данным эксперимента THEMIS. Результаты сравнения параметров магнитного поля непосредственно за ударной волной и у магнитопаузы показали, что могут наблюдаться значительные отклонения от теорий, основанных на предположениях о ламинарном течении плазмы магнитослоя с замороженным магнитным полем. Проведен анализ соблюдения условия баланса давлений на магнитопаузе для ряда событий, при которых наблюдается как совпадение ориентации магнитного поля у магнитопаузы с ориентацией магнитного поля в солнечном ветре, так и существенные различия вплоть до измерения знака. Рассматривались события, при которых один из спутников находился внутри магнитосферы, а другой за магнитопаузой. Показано, что баланс давлений соблюдается с относительно высокой точностью. Обсуждена применимость полученных результатов для объяснения сравнительно невысоких коэффициентов корреляции геомагнитных параметров с параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля.

МАГНИТОСФЕРНЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ МЕЖПЛАНЕТНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

А. Самсонов, Д. Сайбек

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, samsonov@geo.phys.spbu.ru

В работе детально рассмотрено и численно промоделировано одно событие 29 июля 2002 года, во время которого магнитосферный внезапный импульс, вызванный приходом межпланетной ударной волны, наблюдался на нескольких спутниках в магнитосфере вблизи экваториальной плоскости. Данные наблюдений и результаты численного моделирования согласуются со следующим сценарием. На дневной стороне возникают осцилляции волн сжатия с периодом 2-3 минуты между внутренней и внешней границами, предположительно ионосферой и магнитопаузой, затухающие в течение нескольких периодов. Часть энергии волн сжатия переходит в энергию стоячих альвеновских волн на замкнутых силовых линиях с соответствующей резонансной частотой. В то же время во внешней магнитосфере около 3 MLT спутник Polar наблюдает осцилляции скорости с периодом около 5 минут. Как показывают результаты моделирования, эти осцилляции вызваны появлением вихря скорости, распространяющегося от фланговой магнитопаузы в хвост магнитосферы.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПРИБОРА БМСВ, ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ КНА «СПЕКТР-Р». СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

**Н.П. Семена¹, Г.Н. Застенкер¹, В.В. Храпченков¹,
Ю.Н. Агафонов¹, Л. Прех²**

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

² Карлов Университет, г. Прага, Чешская Республика

Обеспечение теплового режима прибора БМСВ при функционировании в составе КА «Спектр-Р» было связано с решением ряда проблем. Основными проблемами являлись отсутствие теплового интерфейса с КА и экранировка значительной части внешнего пространства антенной, достоверные данные по тепловому режиму которой отсутствовали. Сочетание этих двух факторов приводило к тому, что требования к системе термостабилизации прибора были достаточно противоречивыми. С одной стороны, прибор должен иметь радиационно-излучающую поверхность для удаления тепла, с другой - не было достоверных данных по окружающей тепловой обстановке для определения эффективности излучения с внешней открытой поверхности прибора. Все это потребовало формирования специальной тепловой модели прибора и окружающих условий, которые бы учитывали возможные граничные состояния окружающего прибор пространства, и принятия специальных мер по обеспечению необходимого теплового режима прибора в полете. В настоящее время имеются данные по математическому моделированию теплового режима прибора, по экспериментальному моделированию его теплового режима в наземной термо-вакуумной установке и результаты измерения его температур при проведении космического эксперимента. Принятые на основе моделирования меры оказались вполне успешными и обеспечили нормальную работу прибора в условиях космоса. Сравнение результатов расчета и экспериментов представляет интерес с точки зрения оценки корректности предложенной тепловой модели и методики проведения наземных испытаний прибора.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭМИССИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ПОЛОЖЕНИЯ ОРБИТЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СО СПУТНИКОВ БОЛГАРИЯ-1300 И ИНТЕРБОЛ-2

Н.Ф. Смирнова, Г. Станев, Л. Тодориева, Х. Лукарски

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

На спутниках «Болгария-1300» (апогей 900 км, перигей 825 км) и «Интербол-2» (апогей 19211 км, перигей 769 км) проводились измерения электрического поля методом двойного зонда (приборы ИЭСП-1 и ИЭСП-2, соответственно), причем в обоих экспериментах применялись совершенно идентичные зонды, сделанные из стеклеуглерода. Так как разность потенциалов между плавающим потенциалом спутника «Интербол-2» и плавающим потенциалом зонда прибора ИЭСП-2 (к зонду не применяется ток смещения) отличалась на доли вольта, то фотоэмиссионные свойства зонда и спутника можно считать одинаковыми. Таким образом, появляется уникальная возможность сопоставить фотоэмиссионные свойства двух спутников, если определить плотность фотоэлектронного тока этих зондов. Миссия спутника «Болгария-1300» началась 7 августа 1981 г. в период максимума солнечной активности 21-го цикла, а «Интербол-2» стартовал через три месяца после начала 23-го цикла в период низкой солнечной активности. На орбите «Болгария-1300» есть участки, на которых проводились измерения электрического поля прибором ИЭСП-1, когда один из зондов затенен. Показано, что для этих участков орбиты можно определить величину фототока стеклеуглеродного зонда через величину изменения потенциальной разности ΔV , а также и через параметры плазмы, измеряемые другими приборами. Полученные оценки составляют $\sim 3.8 \text{ пАсм}^{-2}$ для измерений, проведенных в сентябре 1981г., когда наблюдалась высокая солнечная активность. Плотность фотоэлектронного тока на спутнике «Интербол-2» определялась на основе сопоставления одновременных измерений потенциала спутника относительно плазмы приборами ИЭСП-2 и методически идентичным КМ-7, датчиком электронной температуры. Так как зонд прибора КМ-7 был защищен экраном от УФ-эмиссии, то на основе такого сопоставления можно определить плотность фотоэлектронного тока на спутнике «Интербол-2» по предложенной ранее методике. Фотоэлектронная плотность тока на спутнике «Интербол-2» в Авроральной зоне магнитосферы находится, как правило, в диапазоне $1.8 \div 3.6 \text{ пАсм}^{-2}$, т.е. имеет значения, определенные для ионосферных спутников, но фототок быстро возрастает со временем функционирования аппарата в космосе, что характерно для магнитосферных спутников. В феврале-марте 1998 года фотоэлектронная плотность тока на спутнике «Интербол-2» достигает пределов $3.6 \div 4.0 \text{ пАсм}^{-2}$, а такие величины регистрируются на ионосферных спутниках только в максимуме солнечной активности.

В работе приводятся конкретные результаты, которые обсуждаются и сравниваются с опубликованными данными по другим спутникам.

НИЗКОШИРОТНЫЕ РСЗ ПУЛЬСАЦИИ НА ЗЕМЛЕ И В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ СЕТИ 210ММ И СПУТНИКА СНАМР

**С.В. Сюсюкалов¹, Н.В. Ягова¹, В.А. Пилипенко^{1,2},
Б. Хейлиг³, К. Юмото⁴**

¹ ИФЗ РАН, Россия, zergmephi@yandex.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ Обсерватория Тихани, Венгрия

⁴ Университет Кюсю, Япония

Исследуется эффект экваториального усиления геомагнитных пульсаций диапазона РСЗ на Земле и в верхней ионосфере. Квазирегулярные пульсации диапазона РСЗ с преобладающим периодом 25-40 с периодически наблюдаются на приэкваториальных станциях сети 210 ММ. Пульсации этого же диапазона вне экваториальной зоны на низких широтах не наблюдаются или наблюдаются со значительно меньшей амплитудой. На средних широтах, где частота РСЗ волн близка к частоте альвеновского резонанса, в ряде случаев наблюдаются высокоамплитудные пульсации, когерентные с экваториальными колебаниями. Для других событий амплитуда экваториальных пульсаций выше, чем на средних широтах. По данным магнитометра спутника СНАМР отмечается усиление волновой активности диапазонов РСЗ-4 в F-слое ионосферы (высота ~ 400 км) на приэкваториальных широтах. Для случаев одновременного наблюдения пульсаций на Земле и в ионосфере оценен пространственный масштаб и поляризация пульсаций, и амплитудно-фазовые соотношения между сигналом в верхней ионосфере и его наземным откликом. Эти соотношения сопоставляются с модельными расчетами прохождения быстрой магнитозвуковой волны через экваториальную ионосферу. Таким образом, наблюдаемые экваториальные пульсации могут быть вызваны двумя механизмами:

- экваториальным усилением среднеширотных РСЗ;
- прямым проникновением магнитозвуковой волны из внешней магнитосферы к Земле на геомагнитном экваторе.

КАКОВЫ КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА ВНЕ ПЛАЗМОПАУЗЫ?

В.В. Тёмный

*Институт истории естествознания и техники РАН
им. С.И.Вавилова, vladtemnyi@gmail.com*

На протяжении десятилетий считалось, что плазмосфера с «горячей» плазмой температурой $T > 1$ эВ и плотностью плазмы $n \sim 1$ см⁻³ может простирается до оболочки L-8 [Грингауз, Безруких, Lemaire]. Однако, ещё в 1963-1964 гг. стало известно, что на $L > 3$ постоянно присутствуют протоны «кольцевого тока» со средней энергией $E \sim 100$ кэВ и концентрацией $n_p \sim 1$ см⁻³ [Davis, Williamson, 1963, Болюнова и др. 1965]. Ковтюх и Панасюк, 2008, относят захваченные геомагнитным полем протоны с $E_p > 1$ МэВ к «протонному радиационному поясу» и, следовательно, не относящиеся к магнитосферной плазме. Присоединив к ним и менее энергичные протоны с $E > 0,1$ МэВ, они тем самым исключили их из её состава. До начала проекта AMPTE с ИСЗ CSE 1984 года была создана прогностическая модель экваториального распределения плотности энергии захваченных протонов с $E_p > 100$ кэВ [Тёмный, 1984] с минимальной и максимальной возможной плотностью энергии $\epsilon_p = n E_p$ (30-200 кэВ см⁻³). Результаты ИСЗ CSE показали постоянное присутствие в области кольцевого тока протонов с плотностью энергии $\epsilon = n_p E \sim (40-400)$ кэВ см⁻³. По приведенным 3D спектрам (j см⁻²с⁻¹ср⁻¹, E кэВ, t с) [Lui et al., 1987] были определены их двухкомпонентные функции распределения f см⁻⁶с³ср⁻¹ [Тёмный, 1987]. Их интегрирование для периода 3-5.09.1984 г. свидетельствует о преобладании протонов с температурой $T_{\text{кп}} \sim 50$ кэВ и плотностью энергии $\epsilon = n T \sim 50$ кэВ см⁻³ и в спокойный период 3.09, и во время магнитной бури 5-6.09. 1984 г. Могут ли в магнитоспокойный период вне плазмопаузы сосуществовать две компоненты плазмы со столь различными температурами ($T_p > 1$ эВ и $T_{\text{кп}} \sim 50$ кэВ) или плазмосферные протоны проникают в высокотемпературный кольцевой ток только во время магнитных бурь? Ответ на этот вопрос даст возможность создать взаимоприемлемые модели плазмы кольцевого тока и плазмосферы.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ P12 ПУЛЬСАЦИЙ СО СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРОЙ. МОДЕЛЬ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е. Н. Федоров¹, В. А. Пилипенко^{1,2}, Б. Хэйлиг³, П. Сатклиф⁴, Х. Л. Люр⁵

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, enfedorov1@yandex.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ Геофизический Институт им. Лорана, г. Будапешт, Венгрия

⁴ Магнитная обсерватория Германус, Германус, ЮАР

⁵ Национальный Научный центр наук о Земле, г. Потсдам, Германия

Рассмотрена простая модель взаимодействия альфвеновских и БМЗ волн со среднеширотной ионосферой с учетом сферичности Земли. Модель применима в диапазоне частот $f > 20$ мГц. На основе этой модели интерпретируются одновременные наблюдения P12 пульсации на низкоапогейном спутнике СНАМР и на двух наземных сопряженных станциях. Дана оценка амплитуд парциальных альфвеновской и БМЗ мод.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВРОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

А. А. Чернышов, М. М. Могилевский

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

Многие процессы, происходящие в авроральной зоне магнитосферы Земли, отражаются в разнообразных динамичных формах полярных сияний. Для исследования этих процессов необходимо рассматривать как временные, так и пространственные изменения характеристик авроральной зоны. Большинство традиционных методов классической физики применимы в основном для стационарных или квази-стационарных явлений, а динамические режимы, переходные процессы, флуктуации, самоподобный скейлинг могут быть рассмотрены с помощью методов нелинейной динамики. Поэтому разработка методов исследования характеристик нелинейных процессов в открытых диссипативных системах в настоящее время является актуальной задачей, в частности, для изучения авроральной зоны магнитосферы Земли. Особый интерес представляет развитие методов описания пространственной структуры и временной динамики авроральной зоны на основе представлений теории перколяции и фрактальной геометрии. Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК 1349.2011.2).

ЭКСПЕРИМЕНТ «ПЛАЗМА-Ф» НА БОРТУ СПУТНИКА СПЕКТР-Р

**Л.С. Чесалин, Г.Н. Застенкер, Л.М. Зеленый, В.Н. Назаров,
А.А. Петрукович, А.А. Скальский**

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

В июле 2011 года был запущен астрофизический спутник «Спектр-Р», сильно вытянутая эллиптическая орбита которого весьма удобна для оценки параметров солнечного ветра вблизи Земли и параметров внешней магнитосферы Земли. Поэтому на этом спутнике были установлены приборы эксперимента «Плазма-Ф», обеспечивающие рекордное временное разрешение (до 32 измерений в секунду), что позволяет исследовать тонкие структуры и быстрые процессы в околоземном пространстве.

Эксперимент «Плазма-Ф» включает в себя следующие приборы:

- монитор энергичных частиц МЭП-2;
- ориентированный в сторону Солнца энергоспектрометр плазмы – Быстрый Монитор Солнечного Ветра - БМСВ, размещенный на панели солнечной батареи;
- отдельный датчик направления на Солнце (ДСС), который обеспечивает для прибора БМСВ определение углов направления на Солнце с точностью около 0.2 град в пределах ± 40 град. от своей оси;
- магнитометр ММФФ;
- Система Сбора и обработки Научной Информации ССНИ-2.

В докладе рассматриваются основные научные задачи эксперимента, прежде всего:

- систематическое измерение параметров межпланетной среды в интересах развития методики и осуществления оперативного краткосрочного предсказания "космической погоды",
- исследование турбулентности параметров межпланетной среды и магнитослоя Земли в мало изученной области частот 0.1–30 Гц,
- исследование процессов ускорения энергичных частиц.

Приборы эксперимента «Плазма-Ф» были включены в конце июля, начале августа 2011 г. и с тех пор работают практически непрерывно (за исключением прибора ММФФ). Использование интерактивной системы выбора сбрасываемых на Землю данных позволяет получить уникальные экспериментальные результаты, несмотря на существенные ограничения возможностей связи со спутником. В качестве примера в докладе приводятся первые результаты эксперимента, в частности, с помощью прибора БМСВ были:

- выделены весьма большие (в несколько раз по отношению к средним значениям) возрастания плотности ионов солнечного ветра (за четыре месяца работы наблюдалось до 20 таких событий),
- обнаружены быстрые (за доли секунды) и довольно большие (на несколько градусов) вариации углов прихода потока солнечного ветра,
- зарегистрированы почти гармонические быстрые изменения потока и/или углов прихода ионов вблизи фронта ударной волны, не наблюдавшиеся ранее.

Прибор МЭП-2 позволил наблюдать периодическую структуру возрастания потока ионов с энергией около 200 кэВ с периодом, близким к периоду циклотронного вращения протонов в магнитном поле солнечного ветра. В докладе рассматриваются основные технические принципы работы приборов эксперимента, общие технические проблемы подготовки, реализации и проведения эксперимента, в том числе проблемы организации и управления, а также проведения наземных испытаний.

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ССНИ-2 ЭКСПЕРИМЕНТА ПЛАЗМА-Ф НА СПУТНИКЕ СПЕКТР-Р

**Л.С. Чесалин, Е.В. Круковская, Е.В. Лакутина,
Л.К. Минская, Д.Ф. Межевич Д.Ф.**

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

В докладе описывается функционирующая в составе космической астрофизической лаборатории система сбора научной и технической информации от приборов эксперимента ПЛАЗМА-Ф.

Прибор ССНИ-2:

- обеспечивает сбор данных от научных приборов эксперимента ПЛАЗМА-Ф и прибора регистрации метеоритов - МДДЗ,
- передает собранные данные в телеметрическую систему спутника тогда, когда эти данные могут быть приняты,
- получает от спутника и передает приборам бортовое время и команды с Земли,
- передает в телеметрическую систему служебную информацию о состоянии приборов,
- получает от научных приборов до 150 МБ данных в сутки,
- имеет перезаписываемую память для хранения всех данных эксперимента в течение года и обеспечивает их хранение с резервированием для повышения надежности,
- выполняет сжатие данных для прибора МЭП-2 с заданным коэффициентом усреднения для передачи оценочной информации,
- выполняет подготовительную обработку для выбора данных, подлежащих передаче в первую очередь, обеспечивает подготовку и передачу определяющих ситуацию и осредненных данных, позволяющих экспериментаторам задать очередность воспроизведения полной информации,
- ССНИ-2 обеспечивает передачу информации в порядке и в объеме, задаваемой командами с Земли, с возможностью повторного воспроизведения непринятых по тем или иным причинам данных,
- предполагалось, что суточный объем данных приборов эксперимента ПЛАЗМА-Ф будет передаваться в составе телеметрии основного эксперимента КРТ за 10-12 часов, однако, в настоящее время для передачи используется лишь штатная телеметрическая система (в среднем примерно один час в день),
- несмотря на непредусмотренное ограничение связи, использование развитой логики обработки данных позволяет получать оценочную информацию от всех приборов и полную информацию по интересующим экспериментаторов участкам полета от всех приборов эксперимента ПЛАЗМА-Ф.

НАГРЕВ ИОНОВ НА ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

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

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

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

УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ИЗ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ СПУТНИКА ЮПИТЕРА ИО

В. Е. Шапошников, В. В. Зайцев, Х. О. Рукер, Г. В. Литвиненко

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, sh130@appl.sci-nnov.ru

Спутник Юпитера Ио играет важную роль во многих процессах, происходящих в магнитосфере планеты. Ио окружен атмосферой, и знание ее состава и свойств является важным звеном для понимания этих процессов. Информация об атмосфере в основном идет от спутниковых и наземных наблюдений излучения в различных диапазонах частот. В последние годы после установки на космическом телескопе Хаббл (Hubble) новой аппаратуры (STIS - Space Telescope Imaging Spectrograph), позволившей строить изображения в ультрафиолете с высоким пространственным разрешением, были получены новые интересные результаты. В частности, были обнаружены два очень ярких источника ультрафиолетового излучения (экваториальные споты), которые располагались на лимбе Ио вблизи его экватора. Яркость этих источников, например, может достигать 2500 Рл в ультрафиолетовой линии излучения 1356 Å нейтрального атома кислорода. В работе Sauer et al. (Geophys. Res. Lett., v. 27, p. 2893, 2000) было предположено, что наблюдаемое ультрафиолетовое излучение возникает благодаря электронам плазменного тора Ио, которые проникают в атмосферу спутника и в результате неупругих столкновений возбуждают атомы кислорода. Однако их оценки показали, что электронов тора недостаточно, чтобы обеспечить наблюдаемый уровень ультрафиолетового излучения. В работе предложен механизм, обеспечивающий экваториальные споты энергией, достаточной чтобы объяснить их высокую яркость в ультрафиолетовом диапазоне волн. Мы считаем, что за возбуждение нейтрального кислорода в наиболее ярких областях экваториальных спотов ответственны электроны, образовавшиеся в результате дополнительной ионизации атмосферы в лобовой части спутника. Вследствие движения частично ионизованной плазмы ионосферы Ио в магнитном поле планеты в ионосфере возникает электрическое поле разделения зарядов и вызванные им бунемановская неустойчивость и нагрев ионосферных электронов. Столкновения нагретых электронов ионосферы Ио с нейтральным газом атмосферы Ио приводит к дополнительной ионизации в области нагрева. Поскольку вторичные электроны являются замагниченными, то они увлекаются магнитным полем Юпитера и в результате конвекции смещаются вниз по потоку, обтекая спутник. На флангах атмосферы Ио (с точки зрения наблюдателя) число столкновений электронов с нейтральным кислородом максимально, поэтому здесь мы наблюдаем наиболее яркое ультрафиолетовое излучение, величина которого согласно нашим оценкам может достигать 3000 Рл.

КОНФИГУРАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДАЛЬНОМ ХВОСТЕ ВЕНЕРЫ – СРАВНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СО СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЮ И АККРЕЦИОННОЙ МОДЕЛЮ

Т.А. Шахвердян и О.Л. Вайсберг

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

Спутник Венеры Pioneer Venus Orbiter (PVO) проводил измерения плазменно-магнитной оболочки Венеры на протяжении примерно десятилетия. Эти измерения в дальнем хвосте Венеры (от 8 до 12 радиусов планеты) являются уникальными. На основе этих данных была построена две статистических модели: Saunders M.A., Russell C.T., 1986 и модель McComas et al., 1986. В данной работе мы приводим некоторые результаты анализ индивидуальных измерений магнитного поля в дальнем хвосте магнитосферы Венеры на спутнике PVO. Эти результаты сопоставляются с моделями Saunders M.A., Russell C.T., 1986 и McComas et al., 1986, а также с полуколичественной моделью аккреционной магнитосферы Vaisberg O., Zeleny L., 1984, основанной на концепции Альфвена, 1957.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ ДИАПАЗОНА РС2-3 НА ЗЕМЛЕ И В ИОНОСФЕРЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НА СПУТНИКЕ СНАМР И НА НАЗЕМНОЙ СЕТИ МАГНИТОМЕТРОВ ММ100

Н. В. Ягова¹, Б. Хэйлиг², Е. Н. Федоров¹, П. Ковач³

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

² *Геофизическая обсерватория Тихани, п. Тихани, Венгрия*

³ *Геофизический институт им. Лорана, г. Будапешт, Венгрия*

Исследуются морфологические свойства пульсаций диапазона Pc2-3 (80-250 mHz) в F-слое ионосферы (по данным СНАМР) и на земной поверхности по данным сети магнитометров ММ100. Доля высокочастотного сигнала ($f > 80$ mHz) заметно выше в ионосфере, чем на Земле. В случаях, когда сигнал наблюдается одновременно на Земле и в ионосфере, амплитуда сигнала на поверхности Земли в среднем на порядок ниже измеренного в ионосфере, а частота несколько выше, что приводит к оценке пространственного масштаба в несколько десятков километров. Широтное распределение вероятности появления Pc2-3 в ионосфере содержит два максимума при $L > 6.5$ и $L \sim 3-4$ с разными морфологическими особенностями. Поляризация пульсаций говорит об их альвеновской природе. Анализируется зависимость частоты появления и параметров пульсаций от факторов космической погоды. Выявленные морфологические и физические особенности ионосферных Pc2-3 существенно отличаются от свойств классических среднеширотных Pc3 пульсаций.

СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ В 1932-2009

О.С. Яковчук¹, К. Mursula², L. Holappa², И. С. Веселовский^{1,3}, А. Karinen²

¹ *НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, olesya@dec1.sinp.msu.ru*

² *Department of Physics University of Oulu, Finland*

³ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

В работе исследуются среднестатистические свойства геомагнитных бурь на основе использования локальных индексов Dxt по четырём низкоширотным Dst станциям за период 1932-2009 гг. С учётом критерия о наличии данных на всех станциях во время бури, база данных включает в себя 1268/362/134/59 событий с Dxt, меньшим порогового значения -50/-100/-150/-200 нТл, соответственно. Эта уникальная база данных о локальных индексах Dxt была использована для изучения пространственного и временного развития бури. Средние пиковые значения Dxt при таком разделении получились равными -94/-156/-216/-275 нТл, в то время как самый большой отклик локальной станции в течение бури составил в среднем -137/-214/-285/-350 нТл. Это означает, что локальные Dxt минимумы, как правило, на 25-30% мощнее, чем глобальные Dxt минимумы. Подтверждаются представления о дрейфе самых больших возмущений в западном направлении. Распределение по времени самых больших откликов станции во время бури имеет пиковое значение в 18 часов по местному времени. Мощные бури являются относительно более симметричными по долготе, чем слабые бури. Асимметрия может быть более 200 нТл. Скорость развития асимметрии оказывается примерно в два раза больше для мощных бурь, чем для слабых.

ПРОТОННЫЕ СИЯНИЯ К ЭКВАТОРУ ОТ ОВАЛА: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПЛАЗМОПАУЗЫ

Т.А. Яхнина¹, А.Г. Яхнин¹, Ф. Сораас²

¹ *Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Россия*

² *Университет г. Берген, Норвегия*

Протонные сияния, наблюдающиеся к экватору от овала сияний, вызываются энергичными протонами плазменного слоя и кольцевого тока, рассеянными в конус потерь при взаимодействии с ионно-циклотронными волнами, и отображают на уровне ионосферы ту область в магнитосфере, где это взаимодействие происходит. Около 01 UT 10 ноября 2000 г спутник IMAGE зарегистрировал необычную структуру протонного сияния. Узкая (около 1 градуса по широте) дуга протонного свечения располагалась на широте ~50 CGLat (примерно в 5-7 градусах к экватору от овала) простираясь от 2330 до 0430 MLT. Наличие протонных высыпаний над дугой протонного свечения подтверждается данными низкоорбитальных спутников NOAA. Событие произошло на фоне большой и продолжительной геомагнитной активности ($Dst < -100$, $Kp > 6$ в течение предшествующих суток). Мы сопоставили проекцию протонной дуги в магнитосферу с положением плазмопаузы, определенным по модели, зависящей от вариации Kp-индекса в течение предшествующих суток (модель V. Pierrard). Сопоставление показало хорошее совпадение этих структур. Таким образом, наблюдавшаяся дуга протонного свечения является отображением плазмопаузы на уровне ионосферы. Это согласуется с представлениями о том, что в области градиента холодной плазмы инкремент ионно-циклотронной неустойчивости должен достигать максимальных значений, что приводит к более интенсивному рассеянию протонов конус потерь.

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

СТАТИСТИКА ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ, НЕ СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕМ, ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DOUBLE STAR

Э. Амата¹, С. Савин², Д. Амбросино¹, Л. Тренки¹, М.Ф. Маркучи¹

¹ *Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, INAF, Roma, Italia*

² *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

Плазменные данные с прибора HIA на спутнике DOUBLE STAR в 2004-2007 гг. были использованы для нахождения сверхмагнитозвуковых плазменных струй в магнитослое Земли. Мы исследовали те участки орбит, которые находились в магнитослое в пределах 20° от направления на Солнце. Было идентифицировано более 500 подобных струй. Мы демонстрируем, что:

- 1) струи наблюдаются на всех расстояниях от головной ударной волны до магнитопаузы;
- 2) их происхождение не связано с пересоединением магнитных силовых линий;
- 3) около 1/3 струй не связаны с возмущениями в солнечном ветре.

Наши результаты сравниваются с предыдущими данными, полученными на других спутниках.

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И ПАРАМЕТРЫ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ ВБЛИЗИ МИНИМУМОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Г.А. Базилевская, А.К. Свиржевская, Н.С. Свиржевский

ФИАН, г. Москва, Россия, gbaz@rambler.ru

Минимум между 23 и 24 циклами солнечной активности был необычно длительным и глубоким. Это нашло отражение в поведении наблюдаемой интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ). Потоки ГКЛ возросли до рекордных значений за всю историю наблюдений. Кроме того, энергетический спектр модуляции в 2009 г. был значительно мягче, чем в аналогичные периоды предыдущих циклов. Мы пытаемся найти соответствие в параметрах солнечной активности межпланетной среды наблюдаемым характеристикам ГКЛ.

МОЖЕТ ЛИ СОЛНЕЧНЫЙ МГД ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ РАЗРЫВ СОЗДАТЬ ДИССИПАЦИЮ ЭНЕРГИИ В ПЛАЗМЕ КОРОНЫ СОЛНЦА И В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ?

С.А. Гриб

ГАО РАН, sagrib@gmail.com

В рамках магнитогидродинамической модели рассматривается взаимодействие сильного вращательного разрыва с контактным разрывом в переходной от хромосферы к короне Солнца области. На основании результатов МГД исследования, полученных в 1990 году Барминым и Пушкарём, делается физический вывод о реальной возможности преломления солнечного вращательного разрыва при переходе через контактный разрыв в виде комбинации волн и разрывов, включающей в себя диссипативную МГД ударную волну и утверждается возникновение как быстрых, так и медленных ударных волн. Указывается на возможность возникновения вращательного разрыва из часто наблюдаемой в солнечной плазме волны Альфвена при наличии сдвига скорости плазмы. Выделяется происходящий в короне незначительный нагрев из-за диссипации энергии внутри МГД ударной волны и существенный по величине нагрев плазмы в верхней короне и в потоке солнечного ветра вследствие затухания Ландау. Таким образом, предлагается новый МГД механизм частичного нагрева короны Солнца. Полученные результаты расчёта согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Работа осуществлялась в рамках программы ОФН-15 и при частичной поддержке грантом РФФИ 11-01-00235.

ТИПЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА: ЧАСТОТА ИХ ПОЯВЛЕНИЯ, ВЕРОЯТНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ИМИ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

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

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

Исследуются частота появления разных типов течений солнечного ветра на орбите Земли и их относительная роль в генерации магнитных бурь. На основе данных межпланетных измерений базы OMNI за период 1976 - 2000 годов анализируются 798 магнитных бурь с $Dst < -50$ нТл и их межпланетные источники: коротирующие области взаимодействия (CIR), межпланетные CME (ICME), включающие магнитные облака (MC), поршни (Ejecta) и области сжатия перед ними (Sheath). Для разных типов солнечного ветра исследуются следующие относительные характеристики: (1) частота появления; (2) потоки массы, импульса, энергии и магнитный поток; (3) вероятность генерации магнитной бури (геоэффективность) и (4) эффективность процесса генерации бури (отношение Dst индекса, как «выхода» процесса, к интегральной величине электрического поля, как «входу» процесса). Полученные результаты показывают, что несмотря на то, что магнитные облака имеют более низкую частоту появления и более низкую эффективность, чем CIR и Sheath, они играют существенную роль в генерации магнитных бурь, благодаря более высокой геоэффективности генерации магнитной бури (т.е. более высокой вероятности содержать большую и продолжительную южную компоненту $B_z < 0$ ММП).

ФЛУКТУАЦИИ ЧАСТОТЫ РАДИОВОЛН В ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ ДВУКРАТНОМ ПРОХОЖДЕНИИ РАДИОТРАССЫ

**А.И. Ефимов¹, Л.А. Луканина¹, Л.Н. Самознаев¹,
В.К. Рудаш¹, И.В. Чашей², М.К. Берд³, М. Петцольд⁴,
Радиофизическая группа проектов MEX, VEX, ROS**

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

² Филиал Пуццинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН Учреждения Российской академии наук Физического Института им. П.Н.Лебедева РАН

³ Астрономический институт им. Аргеландера Боннского университета

⁴ Институт окружающей среды Кёльнского университета

В период с 2004 г. по 2009 г. было выполнено несколько крупномасштабных циклов радиозондирования околосолнечной плазмы сигналами европейских космических аппаратов MARS-EXPRESS (спутник Марса), VENUS-EXPRESS (спутник Венеры) и ROSETTA (аппарат для изучения комет и астероидов). Полученные в ходе экспериментов радиоданные характеризуют флуктуации амплитуды и вариации частоты радиосигналов дециметрового (S-диапазон, длина волны 13 см), сантиметрового (X-диапазон, длина волны 3.6 см) и приведенной разности частот этих когерентных между собой сигналов, зарегистрированные с периодичностью 1с. Спектральный анализ флуктуаций частоты показал, что среднеквадратичные значения флуктуаций частоты каждого диапазона могут быть описаны радиальными зависимостями степенного типа, показатели степени m_s , m_x имеют одинаковые значения для каждого цикла радиозондирования, но изменяются от года к году. Отношение коэффициентов A_s и A_x не равно теоретическому значению $A_s/A_x = f_s/f_x$. Это объясняется тем, что флуктуации частоты сантиметрового диапазона накапливаются при распространении сигналов по двум трассам – от наземного пункта к космическому аппарату (uplink) и после ретрансляции от космического аппарата к наземному пункту (downlink), в то время как флуктуации дециметровых радиоволн создаются на одной трассе (downlink). Показано, что интенсивность флуктуаций частоты зависит также от расстояния между источником зондирующих радиосигналов (космическим аппаратом) и рассеивающим слоем неоднородностей, расположенным на минимальном расстоянии от Солнца. В случае, если это расстояние невелико, распространение радиоволн от рассеивающего слоя до космического аппарата и от космического аппарата до рассеивающего слоя происходит через одни и те же неоднородности и флуктуации частоты складываются не в квадратуре, а пропорциональны суммарной длине трассы. Возможность усиления флуктуаций реализуется в том случае, когда время распространения от рассеивающего слоя неоднородностей до радиоисточника и обратно меньше времени смены неоднородностей, которое определяется отношением внешнего масштаба неоднородностей к скорости их движения. Усиление флуктуаций радиоволн наблюдалось при зондировании околосолнечной плазмы сигналами спутника Венеры VENUS-EXPRESS, который удален от рассеивающего слоя на расстояние менее 0.7 астрономической единицы. При сопоставлении полученных значений коэффициента усиления флуктуаций частоты со значениями скорости движения неоднородностей установлено, что обеспечивающий корреляцию флуктуаций частоты масштаб неоднородностей околосолнечной плазмы составляет около 0.4 радиуса Солнца R_S на гелиоцентрических расстояниях (7-10) R_S .

БЫСТРЫЙ МОНИТОР СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА: ПРИБОР БМСВ НА СПУТНИКЕ «СПЕКТР-Р»

**Г.Н. Застенкер¹, З. Немечек², Я. Шафранкова², Л. Прех², И. Чермак², Я. Войта³,
Л.С. Чесалин¹, М.О. Рязанцева¹, В.В. Храпченков¹, Ю.Н. Агафонов¹, Н.Н. Шевырев¹,
Н.П. Семена¹, Е.А. Гаврилова¹, А.В. Дьячков¹, И.В. Колоскова¹, Т.И. Гагуа¹, И.Т. Гагуа¹,
П.А. Далин¹, Я.И. Марков¹, Е.А. Рязанова¹, А.В. Лейбов¹, Н.Л. Бородкова¹, А.С. Юрасов**

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

² МФФ Карлова Университета, Прага, Чешская Республика,

³ ИФА ЧАН, Прага, Чешская Республика

В докладе описывается новый инструмент – плазменный спектрометр БМСВ, предназначенный для исследования потоков плазмы в солнечном ветре и в магнитослое Земли. Этот прибор установлен и успешно работает на запущенном в июле с.г. российском высокоапогейном спутнике «Спектр-Р». В число измеряемых прибором БМСВ параметров входят – энергетический спектр ионов в диапазоне 0.2-3.7 кэВ/заряд, вектор полного потока ионов (величина и направление), переносная скорость, ионная температура и концентрация. Основным достоинством прибора БМСВ является чрезвычайно высокое (рекордное) временное разрешение – вектор полного потока измеряется за 30 мсек., а энергетический спектр и определяемые из него другие параметры – за 1-3 сек. Принцип действия прибора БМСВ – использование набора из 6 датчиков – цилиндров Фарадея с разными направлениями осей и разными управляющими напряжениями. При этом энергетический спектр потока ионов измеряется с помощью подачи на управляющие сетки трех коллинеарных датчиков высоковольтного пилообразного запирающего ионы напряжения, а вектор полного потока – путем сравнения одновременных показаний трех разнонаправленных датчиков. Первые измерения с прибором БМСВ показали его высокие возможности в части: - почти непрерывного мониторингирования основных параметров солнечного ветра и плазмы магнитослоя с надежным определением их абсолютной величины; - изучения турбулентности солнечного ветра в области весьма высоких частот (до 30 Гц); - регистрации тонкой структуры резких границ областей солнечного ветра (включая межпланетные ударные волны); - изучения быстрых (в диапазоне до долей секунды) вариаций направления потока солнечного ветра, что было недоступно в прежних экспериментах; - систематического изучения пространственно-временной неоднородности вариаций плазмы в магнитослое.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ В СУПРАТЕРМАЛЬНЫХ ПОТОКАХ ЧАСТИЦ НА 1 А.Е.

М.А. Зельдович, Ю.И. Логачёв

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, mariya@srd.sinp.msu.ru

По данным приборов ULEIS (к.а. ACE) и STEP (к.а. Wind) в 1998-2011 гг. для определения возможных источников потоков частиц с энергиями 0.03-2 МэВ/нуклон в спокойные периоды солнечной активности изучались энергетические спектры и относительное содержание ионов C, O, CNO, Ne-S и Fe. Число спокойных периодов, выбранных по критериям, обеспечивающим отсутствие вклада в эти периоды остаточных потоков частиц от предшествовавших крупных солнечных вспышек, составило 56. В результате сравнения величин относительного содержания ионов Fe/O с энергиями 40-320 кэВ/нуклон в спокойных периодах с величиной Fe/O в различных проявлениях солнечной активности было получено, что потоки супратермальных частиц разделяются на 3 группы. В фазах роста, максимума и спада цикла солнечной активности величины Fe/O были близки к средним значениям Fe/O в импульсных вспышках солнечных космических лучей – группа I и в короне Солнца – группа II. В минимуме цикла Fe/O соответствовало содержанию ионов в солнечном ветре – группа III. Гистограммы распределений величин относительного содержания ионов Fe/O, Fe/C, Fe/CNO и Fe/Ne-S имели по 3 максимума, а распределения Ne-S/O и C/O – один максимум, что можно объяснить различием величины первого ионизационного потенциала (first ionization potential, FIP) ионов. Первые 4 отношения потоков Fe с малым FIP и ионов C, O, CNO и Ne-S с большим FIP отличаются большей изменчивостью, чем отношения ионов с одинаково большим FIP. Показано, что потоки супратермальных ионов в разных группах различаются по форме энергетических спектров ионов. Наиболее крутые спектры наблюдались для периодов группы III, при этом в степенном представлении показатели спектров групп I и III отличались на 1.5-2 единицы. Зависимости величины относительного содержания ионов от энергии в области энергий 0.04 - 1 МэВ/нуклон в разных группах оказались различными для ионов с разными величинами FIP. Полученные результаты указывают на разные популяции частиц, ускоренных до супратермальных энергий, и разные механизмы их ускорения в изучаемых 3 группах ионов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯННОГО СОЛНЕЧНОГО ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ, СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ SOHO/SWAN

О.А. Катушкина, В.В. Измоденов, Д.Б. Алексашов

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

В работе были проанализированы данные по рассеянному солнечному Лайман-альфа излучению, полученные на космическом аппарате SOHO/SWAN. А именно, изучались карты интенсивности излучения и карты первого момента спектра или величины доплеровского сдвига относительно центра линии. Проводилось сравнение экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов, выполненных на основании разработанной нами кинетической модели распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере. Задача нахождения функции распределения атомов по скоростям в гелиосфере решалась в наиболее реалистичной трехмерной и нестационарной постановке. При этом учитывалась гелиоширотная анизотропия параметров солнечного ветра, влияние 11-летнего цикла солнечной активности, а также влияние межзвездного магнитного поля. Сравнение карт интенсивности показало, что в период минимума солнечной активности наблюдается хорошее совпадение между теорией и экспериментом; в период максимума активности возникают различия в хвостовой части гелиосферы. Также исследовалось отклонение движения межзвездных атомов водорода по сравнению с атомами гелия. Этот эффект был зафиксирован экспериментально на КА SOHO/SWAN (см. Lallement et al. 2005, 2010), и объясняется влиянием межзвездного магнитного поля. Величина отклонения, полученная экспериментально, составляет примерно 4 градуса, а наши теоретически расчеты приводят к отклонению в 3 градуса. Данное исследование позволяет оценить величину и направление межзвездного магнитного поля.

О ТЕКУЩЕЙ ФАЗЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА 24 И ОЖИДАЕМЫХ ЭФФЕКТАХ В ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ В ЭПОХУ МАКСИМУМА ЭТОГО ЦИКЛА

М.Б. Крайнев, Г.А. Базилевская, М.С. Калинин

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

Прошло уже три года солнечного цикла (СЦ) 24, и приближается фаза максимума этого цикла, вероятно, с присущими ей эффектами, в частности, в интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ). В работе, во-первых, рассматриваются связи между значениями характеристик солнечной активности и интенсивности ГКЛ в максимумах и точках перегиба на фазе роста ранее прошедших солнечных циклов. Делаются выводы, что а) между значениями исследованных индексов (суммарная площадь солнечных пятен S_{SS} и модуляция интенсивности ГКЛ J_{GCR} по данным стратосферных наблюдений и нейтронных мониторов) в точках перегиба и в максимумах прошедших циклов существует хорошая корреляция (с коэффициентом $\rho \approx 0.9$), однако корреляция между временами перегиба и максимума (от начала цикла) – значительно хуже ($\rho \approx 0.25$) и б) точки перегиба в текущем СЦ 24, ещё, по-видимому, не пройдены и можно лишь оценить нижний предел S_{SS} и верхний предел J_{GCR} в максимуме СЦ 24. Во-вторых, в работе обсуждается, как могут проявиться в СЦ 24 явления в интенсивности ГКЛ, специфические для фазы максимума солнечного цикла: 1) двухпиковая структура в модуляции интенсивности ГКЛ с провалом между пиками (т. н. провал Гневышева) и 2) энергетический гистерезис, т. е., существенное расхождение в поведении высоко- и низкоэнергичных частиц в эти периоды.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА МЭП ПРОЕКТА СПЕКТР-Р

**А.А. Петрукович¹, В.А. Гладышев¹, К.Кудела², Я.Балаж²,
М. Сливка², И. Стржарский²**

¹ ИКИ РАН, Москва, Россия

² ИЭФ, г. Кошице, Словакия

Детектор энергичных частиц МЭП разработан для наблюдений энергичных ионов и электронов магнитосферного происхождения, низкоэнергичной компоненты солнечных космических лучей и частиц, ускоренных на ударной волне, с высоким разрешением по времени (до 32 мсек) в диапазоне энергий 40–1000 килоэлектрон-вольт. Измерения проводятся с конца июля 2011 года. В течение августа-сентября орбита КА СПЕКТР-Р позволяла наблюдать солнечный ветер и околоземную ударную волну. В данном докладе приведены первые результаты наблюдений ионов, ускоренных на ударной волне. В частности, впервые обнаружены тонкая временная структура потоков ионов с фронтами длительностью менее одной секунды, периодические колебания потоков и пр.

ТЕЧЕНИЕ В ГЕЛИОСФЕРНОМ УДАРНОМ СЛОЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПАРЫ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

Е.А. Проворникова, В.В. Измоленов

ИКИ РАН; МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия; izmod@iki.rssi.ru

После пересечения гелиосферной ударной волны в августе 2007 года космический аппарат Вояджер 2 приступил к исследованию гелиосферного ударного слоя (гелиошиса) – области дозвукового солнечного ветра. Измерения плазмы солнечного ветра в этой области показывают, что течение является сильно нестационарным: плотность, скорость, температура солнечного ветра и магнитное поле испытывают существенные флуктуации. Одной из причин такого течения может быть влияние нестационарных явлений, возникающих в сверхзвуковом солнечном ветре и распространяющихся к границам гелиосферы. В гелиошисе Вояджер 2 наблюдает плазму солнечного ветра в условиях солнечного минимума. В период снижения солнечной активности при взаимодействии быстрого и медленного солнечного ветра образуются крупномасштабные структуры – коротационные области взаимодействия – области сжатой горячей плазмы, ограниченные парой ударных волн. Целью данной работы является исследование влияния этих структур на течение солнечного ветра в гелиошисе. В рамках трехмерной МГД модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой исследуется распространение пары ударных волн в гелиошисе. Модель учитывает влияние межзвездных атомов водорода, солнечное и межзвездное магнитные поля. Исследуется распространение пары ударных волн в сверхзвуковом солнечном ветре, их прохождение через гелиосферную ударную волну и последующее течение в гелиошисе. Показано, что при прохождении пары ударных волн через гелиосферную ударную волну в гелиошисе возникает сильно возмущенное течение с образованием новых ударных волн и тангенциальных разрывов. При распространении в гелиошисе характеристики ударных волн обладают гелиоширотной зависимостью. Также в работе исследуется взаимодействие ударной волны с гелиопаузой – тангенциальной поверхностью, ограничивающей гелиошис извне; показано образование отраженных магнитозвуковых волн, распространяющихся обратно в гелиошис, и их взаимодействие с гелиосферной ударной волной.

СВЯЗЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР И ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Д.В. Просовецкий¹, И.Н. Мягкова²

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

² НИИЯФ им. Д.В. Скобелевича МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, irina@srd.sinp.msu.ru

Показано, что в период с 1 июля по 30 ноября 2006 года вариации магнитного поля Солнца на уровне хромосферы в области открытых силовых линий, имеющих южную полярность, полученные при помощи экстраполяции фотосферного магнитного поля в потенциальном приближении и процедуры выделения открытой части магнитного потока, коррелируют с вариациями параметра магнитной активности Акасофу, характеризующим энергетическую составляющую солнечного ветра и эффективность его взаимодействия с магнитосферой Земли и Кр-индексом. Полученный результат мы объясняем тем, что магнитное поле Солнца, вмороженное в поток солнечного ветра, влияет на формирование Vz-компоненты межпланетного магнитного поля, и в случаях, когда оно становится отрицательным, создаются условия, необходимые, как известно, для развития геомагнитных возмущений в магнитосфере Земли. Кроме того, высокие скорости солнечного ветра из корональных дыр в разы повышают количество энергии, поступающей в магнитосферу. Существование временной задержки в вариациях параметров солнечного ветра относительно резких возрастаний магнитного потока в областях открытых силовых линий южной полярности на Солнце может быть в перспективе использовано для разработки системы среднесрочного прогноза (2-5 суток) геомагнитных возмущений.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КОРОНАЛЬНОЙ ДЫРЫ В ГЕЛИОСФЕРЕ: ЗАКОН ОБРАТНЫХ КВАДРАТОВ

А.А. Соловьев¹, С.А. Гусева², А.Д. Шрамко²

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

² ГАС ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, a_shramko@inbox.ru

Показано, что внутри магнитной силовой трубки корональной дыры (КД) магнитное поле падает с расстоянием от Солнца по закону обратных квадратов. Для исследования выбирались такие периоды времени (2006-2009 гг., фаза минимума 23-го цикла), когда на диске отсутствовали любые активные образования, кроме КД. Закон обратных квадратов получен путем сравнения длительности прохождения КД через центральный меридиан с длительностью периода увеличения скорости солнечного ветра, вызванного этими КД вблизи орбиты Земли. Отношение указанных временных интервалов оказывается очень близким к единице. Используются данные космических аппаратов SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), GGS WIND (Global Geospace Science Program WIND) и ACE (Advanced Composition Explorer). Для оцифровки координат КД на ежедневных снимках EIT в линии $\lambda 195\text{\AA}$ (SOHO) и расчета площадей КД в секторе, влияющем на параметры СВ (эллипс $0.6R_o$ на $0.3R_o$), применялась специальная компьютерная программа. На основании закона обратных квадратов по параметрам солнечного ветра вблизи орбиты Земли рассчитаны магнитные поля (около 2 Гаусс) и плотность потока частиц (около 1.5×10^{13} частиц/с·см²) на поверхности Солнца, в основании исследованных КД.

СПОРАДИЧЕСКОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА И СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Ю.Т. Цап, Е.А. Исаева

НИИ КраО, Крым, Украина, yur@crao.crimea.ua

Используя наблюдательные данные за период с 1989 по 2005 гг., полученные на спутниках GOES и Wind, а также наземной службой Солнца RSTN, рассмотрена связь между интенсивностью потока протонов I_p с энергиями $E > 1-100$ МэВ и параметрами радиовсплесков для 107 протонных событий. Установлено, что 73% и 77% событий сопровождались радиовсплесками II типа соответственно в метровом (m II, 25-299 МГц) и декаметровом--гектометровом (DH II, 20 кГц-14 МГц) диапазонах длин волн. Коэффициент корреляции между I_p и скоростью частотного дрейфа всплесков II типа V_{II} не превысил 0.40. Для всплесков m II с ростом V_{II} интенсивность I_p увеличивалась, тогда как для DH II - уменьшалась. В первом случае на графиках зависимости $I_p(V_{II})$ можно выделить две ветви, соответствующие пониженным и повышенным значениям интенсивности потоков энергичных частиц. Корональные ударные волны ускоряют протоны эффективнее межпланетных, и с увеличением энергии частиц E их вклад возрастает. Ускорение солнечных космических лучей в области вспышечного энерговыделения является определяющим, что хорошо согласуется с данными рентгеновских наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ В ПЕРИОД ВБЛИЗИ МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

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

Пуццинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Россия

Начиная с 2006 г. наблюдения межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц проводятся в режиме мониторинга. Все источники, несколько сотен ежедневно, с мерцающим потоком более 0,2 ян записываются в течение 24 часов в 16 лучах лучах диаграммы радиотелескопа, охватывающей полосу шириной 8° по склонению. Представлены результаты наблюдений межпланетных мерцаний статистического ансамбля мерцающих радиоисточников, относящиеся к последнему периоду низкой солнечной активности. Зависимости средних по ансамблю индексов мерцаний оказываются существенно слабее, чем ожидается в случае сферически симметричной геометрии солнечного ветра, что наиболее сильно выражено в период глубокого солнечного минимума 2008г. Эти особенности объясняются влиянием гелиосферного токового слоя, проявляющегося в сильной концентрации турбулентной плазмы солнечного ветра к экваториально плоскости. Кратко обсуждаются ближайшие перспективы наблюдений межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН.

IMPORTANCE OF FAST MEASUREMENTS OF SOLAR WIND PARAMETERS AT THE IP SHOCK FRONT

**Z. Nemecek¹, J. Safrankova¹, L. Prech¹, G. N. Zastenker²,
O. Goncharov¹, A. Komarek¹**

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

² *IKI RAN, Moscow, Russia*

The paper presents first measurements of interplanetary (IP) shocks and further strong solar wind discontinuities observed by the BMSW instrument onboard the Spektr-R project. The main advantage of these measurements is their speed that can reach 32 Hz and this speed is two orders of magnitude higher than the time resolution achieved so far. Since the basic principles of the instrument and methods of data processing are presented in other contribution, we concentrate our attention on the multi spacecraft observations of the IP shock and further disturbance fronts and analyze the fluctuations of solar wind parameters connected with these fronts. The fast measurements reveal the presence of wave trains connected with the IP shock as well as a fine structure of the shock front itself that could not be observed until present. On the other hand, multi-spacecraft approach shows the evolution of IP shocks and another discontinuities over longer time scales and can partly compensate the lack of corresponding magnetic field measurements.

ADVANCED FORECAST FOR ENSURING COMMUNICATIONS THROUGH SPACE (AFFECTS) — PROJECT OVERVIEW

**V. Bothmer¹, R. Van der Linden², C. Verbeeck², A. Parnowski³,
R. Brunner⁴, C. Hall⁵, N. Jakowski⁶, C. Borries⁶, W. Pfeffer⁷,
R. Viereck⁸, T. Kraupe⁹ and the AFFECTS team**

¹ *University of Göttingen, Göttingen, Germany*

² *Royal Observatory of Belgium, Brussels, Belgium*

³ *Space Research Institute NASU & NSAU, Kyiv, Ukraine, parnowski@ikd.kiev.ua*

⁴ *Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques, Freiburg im Breisgau, Germany*

⁵ *Tromsø Geophysical Observatory, Tromsø, Norway*

⁶ *Institute of Communications and Navigation, Neustrelitz, Germany*

⁷ *Astrium GmbH, Immenstaad, Germany*

⁸ *NOAA Space Weather Prediction Center, Boulder, CO, USA*

⁹ *Planetarium Hamburg, Hamburg, Germany*

Solar activity affects the entire Earth environment from the magnetosphere down to the ionosphere and even to the lower atmosphere climate system. The natural hazards of space weather do not only modify the atmosphere but also can catastrophically disrupt the operations of many technological systems, thus causing disruption to people's lives and jobs. The AFFECTS collaborative project uniquely addresses these key topics through state of the art analysis and modelling of the Sun-Earth Chain of Effects on the Earth's ionosphere and their subsequent impacts on communication systems. Multipoint space observations enable world-leading experts at the highest level of interdisciplinary excellence to forecast the relevant space weather effects on the ionosphere quantitatively. The unique set of measurements from satellites in different orbits is complemented by dedicated ground-based monitoring of auroral electrojet and ionospheric activity. The AFFECTS team consists of key European space weather research teams and the US Space Weather Prediction Center of NOAA. To date no dedicated space weather forecast system for ionospheric applications exists in an operational manner, and thus this project would lead to an entirely new capability in Europe that is not only important for society but also does not exist elsewhere. AFFECTS is an unprecedented project which in time of the expected next solar maximum will provide advanced prediction, assessment and early warning capabilities of disruptive space weather events that are expected to be particularly poignant to society and thereby meets the needs of Europe's community of users. AFFECTS will provide Europe with the first advanced early warning and space weather forecast system to help European citizens mitigating the impact on its communication systems. AFFECTS is a collaborative project supported by the 2010 EU FP7 Space Call, EC-GA No. 263506.

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

ИНТЕРВАЛ ВРЕМЕНИ НАКОПЛЕНИЯ ЛУННОГО ГРУНТА В КОЛОНКЕ, ДОСТАВЛЕННОЙ «ЛУНОЙ-16»; ВАРИАЦИИ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ГЕЛИЯ. СОПОСТАВЛЕНИЕ С АНАЛОГИЧНЫМИ ДАННЫМИ КОЛОНКИ «ЛУНА-24»

Г.С.Ануфриев

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

Исследования посвящены изучению вариаций солнечны инертных газов в образцах лунной колонки ($L \approx 35$ см, вес ≈ 100 г), доставленной автоматическим аппаратом Луна-16 в 1972 г из лунного региона Моря Изобилия. Грунт после его доставки подвергся тщательному исследованию в химическом, петрологическом и геологическом направлениях. Значительно меньше грунт исследовался с позиции изучения солнечной компоненты, внедренной в грунт в результате солнечного излучения. Для специалистов это был первый опыт «встречи» с лунным веществом. Подход к исследованию этого материала частично вырабатывался в ходе исследований, поэтому не всегда был оптимальным. Колонка грунта была разделена на крупные зоны, в некоторых из которых изучался в основном изотопный состав гелия, неона, аргона. Задача проведенного нами исследования состояла в определении возраста накопления (аккумулирования) лунного грунта в естественных условиях; установлении вариаций солнечного гелия; сравнение полученных результатов с ранее полученными результатами при исследовании колонки грунта «Луна-24». Получено, что возраст колонки Луны-16 составляет ~ 20 млн. лет. Имеется высокая концентрация гелия, что, вероятно вызвано всплеском потока гелия. Таким образом, полученные данные по колонке Луна-16 подтверждают существование пика в потоке гелия в области ~ 150 лет считавшимся ранее гипотетическим. Реально впервые его влияние было обнаружено в окаменелых деревьях с возрастом в миллионы лет. Возраст деревьев часто определялся по радиоуглероду. Влияние сопутствующего всплеска в потоке гелия пока не находит полного объяснения с позиции солнечно-земных связей.

СМЕЩЕНИЕ ГРУППОВОЙ ЗАДЕРЖКИ РАЗНЕСЕННЫХ ПО ЧАСТОТЕ СИГНАЛОВ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ КАК ИНДИКАТОР ПЛОТНОСТИ ФРОНТА СМЕ

Н.Т. Афанасьев¹, А.Н. Афанасьев^{2,3}

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

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

³ *Department of Physics, University of Helsinki, Helsinki, Finland*

Как известно, информацию об эволюции СМЕ при его движении от высот нижней короны до орбиты Земли можно получить на основе данных радиопросвечивания. Для диагностики параметров СМЕ используют измеряемые характеристики радиосигнала, такие как уширение спектральной линии, фарадеевские вариации плоскости поляризации, изменения интенсивности мерцаний, флуктуации частоты и др. Для этих характеристик получены аналитические формулы, позволяющие восстановить ряд параметров СМЕ и его тонкой турбулентной структуры. Однако полученные формулы обычно представляют собой интегралы по траекториям сигнала в невозмущенной околосолнечной плазме. Между тем сильный регулярный градиент фронта СМЕ может привести к большому отличию траекторий сигнала в невозмущенной и возмущенной среде. В работе решена краевая траекторная задача двухчастотного радиопросвечивания трехмерно-неоднородной околосолнечной плазмы в присутствии СМЕ. Получены функциональные соотношения, связывающие характеристики траекторий и групповые задержки сигналов просвечивания с параметрами трехмерной структуры СМЕ. Показана возможность определения плотности фронтальной части СМЕ по данным измерений групповых задержек разнесенных по частоте сигналов. Полученное решение может быть использовано для интерпретации данных измерений в существующих вариантах радиопросвечивания СМЕ с космических аппаратов. Решение можно также использовать в задачах просвечивания возмущенной околосолнечной плазмы сигналами планетарных радаров и дискретных космических источников.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В КОРОНАЛЬНЫХ ДЫРАХ

И.А. Биленко

ГАИШ, г. Москва, Россия, bilenko@sai.msu.ru

Проблема формирования и ускорения солнечного ветра является одной из важнейших проблем физики Солнца. Полученный с помощью современных космических обсерваторий SOHO, SDO, Yohkoh, ACE, STEREO беспрецедентный объем данных позволяет значительно расширить наши представления о процессах на Солнце и в Гелиосфере. Особый интерес представляет изучение закономерностей формирования геоэффективных высокоскоростных потоков солнечного ветра. Считается, что высокоскоростные потоки зарождаются в областях с открытой конфигурацией солнечных магнитных полей, связанных с корональными дырами, являющимися источниками квазистационарных высокоскоростных потоков солнечного ветра превышающих 500 км/сек на орбите Земли. В работе показано, что распределение корональных дыр по диску Солнца является не случайным. Они формируют пространственно-временную кластерную структуру, выявляющую ряд закономерностей в зависимости от фазы солнечного цикла. Исследуется эволюция магнитных полей различного масштаба и характеристики плазмы в корональных дырах. Рассматривается процесс образования областей корональных дыр ответственных за формирование высокоскоростных потоков солнечного ветра. Обсуждается механизм ускорения солнечного ветра в этих областях.

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

Н.Л. Бородкова, Г.Н. Застенкер

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

Быстрый монитор солнечного ветра БМСВ был разработан для измерения основных параметров плазмы солнечного ветра и переходной области – вектора скорости, температуры и концентрации протонов с высоким временным разрешением ~ 1.5 с на борту КА СПЕКТР-Р. За время проведения измерений с начала августа 2011г. накоплен большой экспериментальный материал, позволяющий исследовать, в частности, большие и резкие скачки давления солнечного ветра, кратковременные и периодические флуктуации потока солнечного ветра. В докладе приведены первые результаты наблюдений нескольких быстропеременных кратковременных событий в солнечном ветре, связанных как с пересечением фронта головной ударной волны, так и с пересечением резких границ импульсов давления солнечного ветра. Проведено сопоставление с наблюдениями на других КА.

МАКЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ ПО РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

В.И. Власов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия, vlasov@prao.ru

На основе многолетнего опыта наблюдений мерцаний большого числа космических радиоисточников (порядка 150 источников ежедневно), было установлено, что радиоастрономический метод картографирования межпланетной плазмы может быть использован для прогнозирования «космической погоды» [1-4]. Ключевыми для такого прогнозирования являются параметры крупномасштабных возмущений, выявляемые на двумерных картах индексов мерцаний: направление распространения, угловые размеры, скорость фронта и транспортное время прихода межпланетных возмущений к Земле. Прогнозирование также возможно по наблюдениям вариаций (более медленных, чем мерцания, флуктуаций) интенсивности излучения космических радиоисточников, просвечивающих ближние к Солнцу области, аналогично прогнозированию по наблюдениям межпланетных мерцаний. Для этого желательно ежедневно наблюдать в околополуденное время (от 10 до 14 ч) вариации ~ 30 - 50 радиоисточников. Но если радиоастрономические методы прогнозирования космической погоды окажутся высокоэффективными и будут востребованы, для этого потребуется несколько («мировая сеть») радиотелескопов. Поэтому сейчас важно практически, на основе реальных макетных испытаний изучить и показать возможности такого прогнозирования, равно как и возможности исследования крупномасштабных неоднородностей солнечного ветра по наблюдениям вариаций интенсивности космических радиоисточников. Обсуждаются результаты пробных непрерывных наблюдений вариаций интенсивности космических радиоисточников в широкой (от -5 до +65 градусов по склонению) области неба и результаты пробного прогнозирования по этим наблюдениям. Используется 1/16 часть (полотно) антенны радиотелескопа БСА ФИАН, а также вся антенна с 8 лучами в узкой (~ 4 градусов) полоске неба.

- [1]. Власов В.И. Радиоизображения межпланетной турбулентной плазмы // Астрон. Журн. Т. 56. № 1. С. 96-105. 1979.
- [2]. Власов В.И. О возможности прогнозирования геофизической активности по межпланетным мерцаниям радиоисточников// геомагнетизм и аэрономия. Т. 21. № 3. С. 441-444. 1981.
- [3]. Власов В.И., Шишов В.И., Шишова Т.Д. Связь между вариациями индекса геомагнитной активности и параметров межпланетных мерцаний // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 25. № 2. С. 254-258. 1985.
- [4]. Hewish A., Duffett-Smith P.J. A new method of forecasting geomagnetic activity and proton showers // Planet. Space Sci. V. 35. P. 487 - 491. 1987.

АНАЛИЗ СИТУАЦИЙ, СООТНОСИМЫХ С ФЕНОМЕНОМ ИНЖЕКЦИЙ СГУТКОВ КОМПОНЕНТ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ПРИПОВЕРХНОСТНУЮ ОБЛАСТЬ ЗЕМЛИ

Д.Г. Гонсировский

г. Москва, Россия

Новые исследования указывают на весомость гипотезы прямого участия в динамике некоторых геодинамических и атмосферных процессов энергии всплесков солнечной активности (СА), передаваемой корпускулярным излучением. Основы методики проводимых работ изложены в публикациях: Гонсировский Д. Г. Выявление прорывных проникающих инъекций сгустков компонент солнечного ветра в приповерхностную область Земли: Стендовый доклад // [Шестая] конференция «Физика плазмы в солнечной системе»: Сб. тез. докл. (14–18 февраля 2011г., Москва, Ин-т космич. исслед. РАН). М.: Интернет-ресурс <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>, (02.02.2011). С. 80; Гонсировский Д. Г. Изучение возможных дополнительных импульсных факторов развития катастрофического многофазного селепроявления 18–25 июля 2000 г. в районе г. Тырнауза [Электронный ресурс] // Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений: Материалы VII Междунар. науч. конф. (14–16 сент. 2010 г., Владикавказ, СКГМИ (ГТУ)) [Текст на 32 с., электронный ресурс]. Владикавказ, Изд-во «Терек», 2010. 1 электрон. опт. диск. 9 с. Ключевой момент при этом - множественная графическая корреляция временных рядов параметров солнечного ветра (СВ) и показателей динамики земных процессов. Привлечены данные измерений КА ACE и SOHO, а также спутников POES по авроральной активности (АА). В сопоставительную обработку для подтверждения гипотезы о наличии СВ-фактора включены сведения по ряду ураганов и тайфунов в 2005 г., пролётам «болидов», падениям самолётов, землетрясениям и т.п. Придание основополагающего значения для выводов количественным графическим построениям привело к получению интересных результатов. Аналитические звенья цепочки рассуждений на этой основе позволили сделать ретроспективные выводы. Примеры. Триада однопричинных явлений: 1) пролёт «Иркутского болида» 01.03.2011 г., увязываемый с солнечной вспышкой M3.5 24.02.2011 г. и выбросом СВ из корональной дыры на Солнце; 2) пролёт «Витимского болида» 24.09.2002 г., как вполне возможное закономерное следствие мощной СА лета 2002 г. (параметры «болида», по данным В. А. Черноброва, по характеру очень схожи с таковыми для «Тунгусского метеорита»); 3) инъекция мегасгустка компонент СВ «Тунгусский метеорит» 30.06.1908 г. (загадку которого полностью бы разгадали ещё тогда Ф. де Руа и В. И. Вернадский, если бы в своих гипотезах заменили «космическую пыль» на «корпускулы СВ»). Описание феномена «Тунгусский метеорит» весьма схожи со сведениями в документальном фильме С. Медведева «Ликвидатор» (2006г.), поэтому и взрыв Чернобыльской АЭС можно соотнести с ударом по ней сгустка компонент СВ. Мощная АА проявлялась целых полмесяца перед Спитакским землетрясением 07.12.1988 г. Вырисовавшиеся на графиках картины всплесков АА и событий сходов селя и ледника Колка и такой же угрозы для ледника Башкара в 2000, 2002 и 2008 гг. с высокой степенью вероятности свидетельствуют, что породившее эти катастрофы таяние ледников произошло с участием инъекций сгустков компонент СВ. Факт существования в Атлантике урагана Epsilon 04.12 – 07.12.2005 г. при АА со значениями энергетического параметра до 110 – 170 GW и другие признаки позволяют считать, что 05.12.1945 г. самолёты ВМС США на самом деле сначала влетели в вызванный инъекцией сгустков компонент СВ ураган с «hot towers» у «глаза урагана» над «Бермудским треугольником», потом в метано-воздушное облако и взорвались.

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ НУТАЦИИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Г.С. Иванов-Холодный

ИЗМИРАН, Россия, Antipova.Irina@mail.ru

Явление нутации оси вращения Земли было открыто Джеймсом Бадлеем в 1755 году. В 18-ом столетии были проведены регулярные наблюдения на ряде обсерваторий и установлено, что ось вращения меняет свое положение. На основе обработки 33000 наблюдений С. Чандлер пришел к выводу, что изменения широты оси вращения характеризуются наложением двух периодических вариаций, одна из которых имеет период в 427 суток и амплитуду 0.12 угловых сек, а вторая – годовая с амплитудой 0.04-0.2 угловых сек. С тех пор период нутации оси вращения Земли называют чандлеровским. По поводу источника обнаруженной нутации высказан ряд предположений, основанных на сходстве ее временных вариаций с межгодовыми колебаниями в системе Земля-океан-атмосфера с периодами 1 год, 7 лет, 35 лет и др. В большей части опубликованных на эту тему работ авторы (геофизики и метеорологи, специалисты по исследованию атмосферы, океана, внутреннего строения Земли) на основе сопоставления временных рядов измеренных геофизических параметров с астрономическими данными о вариациях вращения Земли ищут и находят сходные или подобные характеристики временного хода. Необходимо отметить, что полученные при таких исследованиях связи и определенные зависимости, часто не основываются на разработанном физическом механизме взаимодействия исследованных процессов, и поэтому могут служить основанием для построения лишь чисто морфологических связей. По этой причине их невозможно использовать для составления надежных прогнозов. Не всегда удается установить не только механизм взаимодействия, но даже определить какой из рассматриваемых процессов является источником, а какой следствием открытого взаимодействия. Для объяснения механизма нутации оси Земли в первую очередь следует исходить из представления о том, что планета Земля – это гироскоп, причем центр тяжести этого гироскопа смещен относительно точки опоры. В системе Земля-Луна точкой опоры является барицентр, на который и действуют механические (гравитационные) силы. Основываясь на полученной теоретической механикой формуле для расчетов периода нутации гироскопов и используя значения необходимых параметров системы Земля-Луна, а именно: периода вращения Земли, момента инерции, радиуса Земли и расстояния от центра Земли до барицентра, можно рассчитать период нутации, который оказывается равным 420 суткам, что очень близко к чандлеровскому периоду. Приведенный результат расчета по указанной формуле позволяет легко объяснить отмеченные выше особенности временных вариаций T нутации, поскольку они просто соответствуют периодам вариации барицентра. В заключение следует сказать, что представленное использование физического механизма процесса нутации оси Земли для успешного объяснения наблюдаемых эффектов, дает надежду на подобный же успех при использовании соответствующего физического механизма для описания наблюдаемых годовых и полугодовых гармоник в вариациях периода вращения Земли. Такая работа начата в нашей совместной деятельности с сотрудником ИЗМИРАНа доктором физико-математических наук В.Е. Чертопрудом.

О ФОРМЕ ГЕЛИОСФЕРНОГО ТОКОВОГО СЛОЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

М.С. Калинин, М.Б. Крайнев

ФИ РАН, г. Москва, Россия, mkalinin@fian.fiandns.mipt.ru

Рассматриваются различные модельные представления гелиосферного токового слоя, используемые в настоящее время как необходимый составляющий элемент моделей гелиосферы. Анализируется количественное различие между разными аналитическими представлениями формы поверхности токового слоя, полученных в кинематическом приближении. Показано, что все аналитические представления простейшей поверхности гелиосферного токового слоя, встречающиеся в литературе, в общем случае сводятся к виду, ранее полученному авторами. Единственным источником информации о гелиосферном токовом слое является форма нейтральной линии на поверхности источника межпланетного магнитного поля, вычисляемая в рамках моделей обс. Вилкокса Стенфордского университета (США). Мы сопоставляем результаты этих расчётов как с модельными представлениями о форме гелиосферного токового слоя, так и с наблюдаемой полярностью межпланетного магнитного поля в гелиосфере. Рассмотрена связь коэффициентов транспортного уравнения для галактических космических лучей с геометрическими характеристиками формы гелиосферного токового слоя. Приводится зависимость средних значений дрейфовых коэффициентов транспортного уравнения от формы поверхности. На основе численного решения двумерного транспортного уравнения для ГКЛ показано влияние различных аналитических представлений для средней скорости дрейфа на интенсивность ГКЛ. Полученные результаты могут быть использованы при рассмотрении широкого круга физических задач, использующих модельные представления о гелиосфере.

ПРОГРАММА СКООРДИНИРОВАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АТМОСФЕРНЫХ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ НА БАЗЕ МИКРОСПУТНИКОВ «ЧИБИС-М» И TARANIS

**С.И. Климов¹, В.А. Пилипенко¹, Л.Д. Белякова¹,
J.-L. Pincon², J.-A. Sauvaud³**

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

² Laboratory for Physics and Chemistry in space and Earth Environment,
Orleans, France;

³ Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, CNRS, Toulouse, France

Научные программы исследований на микроспутниках «Чибис-М» (ИКИ РАН) и TARANIS (CNRS) ориентированы на детальные исследования одного из самых загадочных, несмотря на их высокую частоту проявления и наблюдений, природных явлений – атмосферные гроззовые разряды. Последние десятилетия принесли серьёзные изменения в наше понимание природы гроззовых разрядов, что было также связано и с космическими исследованиями. Для ответа на неразрешенные вопросы о механизмах формирования оптических объектов и гамма-вспышек каждый из микроспутников ориентирован на независимые, но взаимодополняющие, наблюдения с помощью скоростных ТВ камер и фотометров (TARANIS), рентгеновских и гамма-детекторов (Чибис-М, TARANIS), датчиков энергичных и релятивистских электронов с высоким временным разрешением (TARANIS), приемников электромагнитного излучения в широком диапазоне частот (Чибис-М, TARANIS). Уникальной особенностью этих миссий будет беспрецедентно высокое (лучше единиц микросекунд) временное разрешение синхронных измерений в радио, оптическом, и гамма диапазонах, недостижимое в прежних космических экспериментах. Фундаментальные задачи обеих миссий и методы исследования основных параметров гроззовых разрядов были одобрены ведущими мировыми специалистами в этой области из Англии, США, Франции, Чехии и России (ИКИ РАН) во время совещаний рабочей группы «ISSI International Team 150» Международного института космических наук (ISSI, Берн, Швейцария) по теме CARNES (Coupling of Atmosphere Regions with Near-Earth Space). В процессе подготовки обеих миссий, начавшейся в 2007г., образовался сдвиг в их реализации. Микроспутник TARANIS должен быть выведен на орбиту в 2014г. Микроспутник «Чибис-М» 02 ноября 2011 доставлен с помощью транспортно-грузового корабля (ТГК) «Прогресс М-13М» на Российский сегмент Международной космической станции (РС МКС). После выполнения своих основных задач и отделения от МКС (конец января 2012г), ТГК выйдет на круговую орбиту ~480 км и «Чибис-М», выйдя из своего транспортно-пускового контейнера (находящегося на ТГК), начнёт выполнение своих научных задач. Учитывая срок 2-3 года активной работы «Чибис-М» на орбите, разрабатываемая в настоящее время программа совместной работы обеих миссий планируется на 2014-2015 г.г.

Данная работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 10-05-93107.

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ 11-ЛЕТНЕГО И 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛОВ В ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ В ГЕЛИОСФЕРЕ

М.Б. Крайнев, М.С. Калинин

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

Рассматривается описание 11-летнего и 22-летнего (или магнитного) циклов в интенсивности галактических лучей (ГКЛ) в гелиосфере на основе решения краевой задачи с транспортным уравнением переноса частиц, включающим эффекты конвекции и адиабатического замедления частиц расширяющимся солнечным ветром, а также их диффузии и дрейфа в неоднородных гелиосферных магнитных полях (ГМП). После выбора коэффициентов уравнения, при которых результаты расчётов – пространственное и энергетическое распределение интенсивности ГКЛ – в основном, соответствуют наблюдениям, мы сосредотачиваемся на вопросах формирования этого распределения: под действием каких основных механизмов, в каких областях гелиосферы и при каких энергиях оно складывается при обеих полярностях ГМП, а также при «отключении» механизмов, зависящих от полярности ГМП. Обсуждаются вопросы определения и разделения 11-летнего и 22-летнего циклов в интенсивности ГКЛ как в наблюдениях, так и в теории.

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА РЕГУЛЯРНЫХ КОМПОНЕНТ ПО ДАННЫМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Ю.И. Кукса¹, И.Г. Шибает²

¹ ЦГЭМИ ИФЗ РАН, г. Троицк, Россия

² ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, ishib@izmiran.ru

Эта работа является естественным продолжением исследований, проводимых в рамках проекта «Шуман» [1], и опирается на данные магнитометрической станции (V_x, y, z / E_x, y / огибающая акустического канала / $f \leq 2$ Hz) работающей в Троицке. Анализируется динамика фоновых (регулярных) состояний на длительных временных интервалах. Подробно рассмотрены суточная, 12-часовая и 8-часовая гармоники магнитных компонент и акустического канала, проведено их сопоставление. Применение преобразования Гильберта к соответствующим спектральным компонентам позволяет найти зависимость их амплитуд и частот от времени.

[1] Ишков В.Н., Кукса Ю.И., Теодосиев Д., Шибает И.Г. Непосредственный отклик на солнечные вспышки по данным магнитометрического комплекса: проект «Шуман». / Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: Солнечная и солнечно - земная физика 2010, Санкт-Петербург, 2011 г., с. 179-182.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ИСТОЧНИКА, НАКЛОННЫМ ТОКОВЫМ СЛОЕМ И ПОВЕРХНОСТЬЮ ВЫРАВНИВАНИЯ ВО ВНУТРЕННЕЙ ГЕЛИОСФЕРЕ

А.Т. Лукашенко, И.С. Веселовский

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, a_lu@mail.ru

На основании полученных на КА Ulysses экспериментальных результатов предложена методика расчёта магнитного поля в короне и внутренней гелиосфере в потенциальном приближении в модифицированной модели потенциального поля-поверхности источника. В модели имеются три разграничивающие пространство концентрические поверхности: фотосферная поверхность, поверхность источника и поверхность выравнивания. Последняя подразделяется проходящим при некотором заданном угле сферической системы координат сечением на два сегмента, на каждом из которых поле направлено радиально и равно по модулю постоянной (своей для каждого из сегментов) величине.

НАСЫЩЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОЛЯРНОЙ ШАПКИ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ С РАЗНЫМ ТИПОМ ТЕЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

ИКИ РАН, Москва, Россия, nnikolae@iki.rssi.ru

В обычных условиях величина падения потенциала поперек полярной шапки пропорциональна электрическому полю солнечного ветра, но во время магнитных бурь при высоких значениях электрического поля потенциал полярной шапки выходит на насыщение и перестает расти с увеличением поля. Borovsky and Denton (J.G.R., 111, 2006) предложили численный критерий для оценки насыщения потенциала полярной шапки. В данной работе оценивается критерий насыщения потенциала полярной шапки во время главной фазы 257 магнитных бурь с $Dst \leq -50$ нТ, источником которых являются следующие типы/подтипы течений солнечного ветра: коротящие области взаимодействия CIR, магнитные облака MC и поршни Ejecta, области сжатия Sheath перед поршнем Ejecta, и перед магнитным облаком MC, а также события неопределенного типа IND. Исходными данными является каталог явлений солнечного ветра за период с 1976 по 2000 г, созданный на основе базы данных OMNI. Анализ показал, что условию насыщения потенциала полярной шапки удовлетворяют только 4.2% магнитных бурь, вызванных межпланетными корональными выбросами ICME ($MC + Ejecta + Sh_{MC} + Sh_E$), причем преимущественно магнитными облаками MC (12.5%) и областями сжатия Sheath перед магнитными облаками и поршнями, $Sh_{MC} + Sh_E$ (5.9%). В то время как для 3-х типов магнитных бурь, вызванных IND, CIR, Ejecta, насыщение потенциала полярной шапки отсутствует. Полученные нами результаты подтверждают одно из различий между магнитными бурями, вызванными разными типами солнечного ветра CIR и ICME, проявляющееся в насыщении потенциала полярной шапки для некоторых бурь от MC и Sheath.

НОВЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.В. Новаковский, Ю.В. Солдатов, С.В. Огородов

ТПУ, Каф. «Кибернетика», dokin@yandex.ru

В настоящий момент большую роль играет экологически чистый источник электроэнергии или нет. В качестве оригинального источника представляется электростанция выведенная на орбиту сформированная из блоков кремниевых элементов соединённых по схеме 2-10-5-22-5-10-2. Соединённые по такой схеме элементы наиболее оптимально выполняют роль «Генераторов» электроэнергии и в тоже время, вовремя отсутствия потребителя, «Аккумулятора». Накопление электроэнергии происходит до порогового значения $P = 112.85 \text{ A} \cdot \text{ch} \times 100 \text{ м.кв.}$ полезной площади без учёта полос и площадок перехода. После подхода к пороговому значению, плоскость электростанции ориентируется ортогонально относительно вектора потока солнечной ПЛАЗМЫ. В таком состоянии панели находятся до получения команды: «Разрядка пошла». Срок службы оценивается как $N = 85 \text{ Gch} \times T_{is} + \text{Obz}$, где Obz- остаток ремонтно-пригодных панелей со сроком службы > 150 лет.

СРАВНЕНИЕ ОДНОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ БОЛЬШИХ И РЕЗКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА СПУТНИКЕ СПЕКТР-Р И ДРУГИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Л.С. Рахманова¹, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер¹

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия,*

² *НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, amica1106@rambler.ru*

Межпланетные ударные волны и другие большие возмущения плотности солнечного ветра являются явлением, весьма эффективно воздействующим на магнитосферу Земли. Однако все предыдущие исследования опирались на измерения плазменных параметров солнечного ветра с относительно низким временным разрешением. Новый спектрометр плазмы БМСВ, установленный на борту спутника СПЕКТР-Р, запущенного в июле 2011 г., позволяет проводить измерения параметров солнечного ветра с рекордным временным разрешением вплоть до 0.03 с. В данной работе проводится исследование трех больших возмущений плотности солнечного ветра (09.09, 26.09 и 24.10.2011 г.) по данным, полученным одновременно на несколько аппаратах - СПЕКТР-Р, WIND, двух спутниках Луны ARTEMIS и др. С помощью многоточечных измерений проведены оценки наклона и формы фронта рассматриваемых возмущений, в том числе и межпланетной ударной волны. Проведено сравнение временного хода и амплитуды изменений основных параметров солнечного ветра по данным нескольких космических аппаратов. Показано, что в целом, ход параметров, измеренных на спутнике СПЕКТР-Р, хорошо соответствует измерениям на других аппаратах, однако данные СПЕКТР-Р позволяют видеть тонкую структуру и вариации параметров в окрестности фронта, что невозможно сделать по данным других аппаратов в силу их низкого временного разрешения.

СВЯЗЬ ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТИ УНЧ-ДИАПАЗОНА С ВАРИАЦИЯМИ ПОТОКОВ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Н.В. Романова¹, И.Н. Мягкова², В.А. Пилипенко¹

¹ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, runatka@mail.ru

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Исследованы особенности вариаций потоков релятивистских электронов внешнего радиационного пояса Земли, измеренных на разных L-оболочках, в зависимости от условий, сложившихся в системе Солнце-солнечный ветер-магнитосфера. В работе использовались данные полярного низковысотного ИСЗ CORONAS-F о вариациях потоков релятивистских электронов (1.5-3 МэВ) и геостационарных ИСЗ серии LANL (1.1.-1.5 МэВ). Выполнено сравнение вариаций потоков электронов после магнитных возмущений, вызванных высокоскоростными потоками солнечного ветра и после магнитных бурь, связанных с приходом к орбите Земли выбросов корональных масс. Показано, что возрастания потоков электронов наблюдаемые после прихода к Земле ударной волны от корональных выбросов, происходят практически одновременно на всех L. После событий, вызванных взаимодействием магнитосферы с высокоскоростными потоками солнечного ветра, потоки электронов возрастают от больших L к меньшим, что свидетельствует о радиальной диффузии электронов. Проведена статистическая оценка отклика потоков электронов на вариации волновой активности магнитосферы в УНЧ-диапазоне (1-10 мГц). Показано, что вклад УНЧ-активности в процесс ускорения электронов для бурь, связанных с высокоскоростными потоками солнечного ветра, в среднем выше, чем для бурь, связанных с корональными выбросами. Для обоих типов бурь корреляция потоков электронов с волновой активностью линейно уменьшается с уменьшением L. Предполагается, что для магнитных возмущений, связанных с высокоскоростными потоками солнечного ветра, в магнитосфере происходит с радиальная диффузия при взаимодействии электронов с УНЧ-волнами, причем основной вклад в ускорение электронов УНЧ-активность вносит

НАБЛЮДЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО БОЛЬШИХ И РЕЗКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА БМСВ НА СПУТНИКЕ «СПЕКТР-Р»

**М.О. Рязанцева^{1,3}, Г.Н. Застенкер¹, З. Немечек², Я. Шафранкова²,
Л. Прех², В.В. Храпченков¹, Е.А Гаврилова¹, А.В. Дьячков¹,
И.В. Колоскова¹, Т.И. Гагуа¹, И.Т. Гагуа¹, А.С. Юрасов³**

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, oream@gmail.com

² МФФ Карлова Университета, г. Прага, Чешская Республика,

³ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

Одними из наиболее геоэффективных воздействий солнечного ветра на магнитосферу Земли являются быстрые и большие по амплитуде изменения динамического давления плазмы солнечного ветра. Новый эксперимент с прибором БМСВ, установленным на борту спутника СПЕКТР-Р, запущенного в июле 2011 г., позволяет на качественно более высоком уровне исследовать быстрые (с разрешением вплоть до 30 мс) вариации вектора потока солнечного ветра и (с разрешением 1.5-3 сек.) вариации других его параметров. С помощью этих измерений в сентябре – октябре 2011 г. удалось зарегистрировать несколько уникальных событий (в том числе – межпланетных ударных волн) с возрастанием плотности более чем на 30 см^{-3} за доли секунды. Для этих событий исследована тонкая структура наблюдаемых фронтов, в частности, показано существование в ближней окрестности фронта интенсивных колебаний (в ряде случаев квази-гармонических) величины и/или направления прихода потока с периодом менее 1 сек. Проведено качественное сравнение развития возмущений в рассмотренных примерах.

ПРИМЕНЕНИЕ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОГНОЗЕ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

А.С. Смирнова, С.Д. Снегирев, О.А. Шейнер

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

В работе проведен анализ вариаций геомагнитной активности с целью создания основ метода прогноза солнечной вспышечной деятельности по наземным наблюдениям. Показан рост мощности долгопериодных колебаний рентгеновского излучения и горизонтальной компоненты геомагнитного поля по мере приближения вспышки. Рассмотрены отличия в поведении мощности долгопериодных колебаний магнитного поля Земли для станций различных широт. Проведено сравнение качества выделения прогностического пика при использовании среднесуточных значений мощности и значений за дневной интервал по местному времени. Предложен алгоритм прогноза геоэффективных солнечных вспышек. Проведена проверка работы алгоритма на основе реальных геомагнитных данных.

ХАРАКТЕР МИКРОВОЛНОВОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, НАБЛЮДАЕМОГО НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ И НАЧАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

О.А. Шейнер, В.М. Фридман

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

В работе проведено рассмотрение спорадического радиоизлучения, предшествующего регистрации геоэффективных корональных выбросов массы, по данным широкодиапазонных патрульных наблюдений Солнца, охватывающих сантиметровый, дециметровый и метровый диапазоны длин, в отдельные периоды XXI-XXIII циклов солнечной активности. На основе статистического анализа получены закономерности характеристик спорадического микроволнового излучения на 2-х часовом интервале до регистрации на коронографах геоэффективных корональных выбросов массы, определяемых как радиопредвестники таких корональных выбросов массы. Установленные закономерности в характеристиках радиопредвестников геоэффективных корональных выбросов массы заключаются в наличии широкополосного сантиметрового-дециметрового излучения с длительностью более 10 минут на стадии, предшествующей регистрации корональных выбросов на коронографах. Показано, что такие радиопредвестники предшествуют корональным выбросам классов петля, гало и частичное гало, обладающим наибольшей потенциальной геоэффективностью. Проанализированы особенности спорадического радиоизлучения, не удовлетворяющие установленным закономерностям.

ОТКЛИК ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА КОРОНАЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ МАССЫ

**О.А. Шейнер, В.М. Фридман, А.В. Рахлин,
И.А. Додонова**

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

Влияние солнечного излучения на состояние ионизационных процессов в ионосфере и её параметры является предметом серьезного изучения. Известно, что индикатором уровня ионизованных частиц является критическая частота отражения радиосигнала при зондировании ионосферы f_0F2 . Предложенное исследование основано на регулярных данных наблюдений критической частоты, полученных на станции Томск (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/time.do?source=home>) в течение цикла солнечной активности (1975-1986). Данные обрабатывались по специальной методике, позволяющей исключить суточный и сезонный ходы критической частоты и получить её девиацию (Δf_0F2), как наиболее чувствительный параметр, характеризующий состояние ионосферы. Получены примеры корреляции во времени периодов существования корональных выбросов массы и отрицательных “выбросов” в значениях Δf_0F2 . Причем, такая реакция ионосферы наблюдается уже через несколько часов после регистрации CMEs на коронографах, длительность “выбросов” составляет до 1–3 суток. Наиболее четко и часто такая связь прослеживается для более мощных событий CMEs.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ИОНОВ ГЕЛИЯ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА БМСВ НА СПУТНИКЕ СПЕКТР-Р

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

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

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Спектрометр плазмы БМСВ, установленный на спутнике СПЕКТР-Р (запущенном в июле 2011 г.) предназначен для определения параметров солнечного ветра с очень высоким временным разрешением. Прибор включает в себя набор из 6-ти цилиндров Фарадея и позволяет с их помощью измерять вектор потока ионов солнечного ветра (с разрешением до 0.03 с), а также измерять энергетический спектр ионов солнечного ветра (по энергии на единицу заряда) с разрешением 3 или 1.5 сек. В данной работе рассматривается возможность определения параметров дважды ионизированного гелия (альфа-частиц) солнечного ветра с помощью этого прибора. Описывается процедура определения параметров солнечного ветра с помощью метода «библиотек» (т.е. сравнения измерений с заранее вычисленными наборами расчетных спектров), и определения вклада компоненты гелия в энергетический спектр потока ионов, измеряемый на спутнике. Проводятся модельные расчеты этого вклада. Показано сравнение модельных расчетов для отдельных примеров с результатами летного эксперимента. Определены условия в солнечном ветре, благоприятные для определения параметров гелия с помощью данного прибора. Предполагается, что при выполнении этих условий можно будет определять параметры потоков гелия с хорошим временным разрешением.

С Е К Ц И Я «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

СВЯЗНОСТЬ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ПАТТЕРНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА ПО МАГНИТОГРАММАМ SOHO И SDO.

И.С. Князева, Н.Г. Макаренко

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, iknyazeva@gmail.com

Статистические характеристики случайной геометрии наблюдаемой компоненты солнечного магнитного поля является ключевым в проблеме выбора механизма генерации магнитных полей Солнца. Однако, до сих пор нет согласия даже в вопросе выбора типа функции распределения для поля спокойного Солнца. Прямой анализ гистограмм, полученных по значениям поля из магнитограмм обнаружил свойства статистической масштабной инвариантности. Они согласуются с моделями перемежаемого поля логнормального типа, на которые указывают оценки Эйлеровой характеристики множества выбросов поля по MDI магнитограммам SOHO. В предлагаемой работе мы применяем методы геометрии случайных полей к магнитограммам SDO. Кроме того, мы используем гистограмму значений поля для генерации матрицы переходов Марковской модели. Эта матрица допускает визуализацию в форме сети, которая более удобна для исследований. Мы приводим результаты, полученные для различных фрагментов SOHO/MDI и SDO магнитограмм в сравнении с моделями шумов и систем со свойствами динамического хаоса.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТОСЛОЕ ЗЕМЛИ ЗА ИЗМЕРЕНИЯМИ МИССИИ КЛАСТЕР

Л.В. Козак¹, С.П. Савин², В.П. Будаев³, А.Т. Луи⁴, А.А. Цупко¹

¹ Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко,
г. Киев, Украина, kozak@univ.kiev.ua

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ РНЦ Курчатовский институт, г. Москва, Россия

⁴ Джон Хопкинс Университет, Лаборатория прикладной физики,
Лаурел, Мериленд, США

Турбулентные области представляют собой нелинейную систему с громадным числом степеней свободы. Точное определение математической зависимости от времени полей скорости, температуры, давления и т.д. не представляется возможным. Анализ такой системы доступен только статистическими методами, описывающими статистические свойства ансамблей течений. Кроме того, при рассмотрении очень важным является исследование свойств турбулентности в зависимости от масштаба. Именно исследованию статистических особенностей флуктуаций магнитного поля в пограничных областях магнитосферы Земли на разных временных масштабах и посвящена данная работа. Для анализа были использованы измерения спутника Кластер за 2004-2009 гг. При этом было проведено изучение изменения формы и параметров функции плотности вероятности для периодов нахождения спутника в магнитослое. В качестве характеристики турбулентных процессов был проведен анализ флуктуаций магнитного поля: рассмотрена, на разных временных шкалах, эволюция изменения высоты максимума функции плотности вероятности, значение эксцесса и исследованы структурные функции разных порядков. Было найдено два асимптотических режима изменения высоты максимума функции плотности вероятности, которые описываются разными степенными законами. Исследование структурных функций высоких порядков (до 9-го) позволило определить характер турбулентных процессов и изучить диффузию в рассмотренных областях. Получено существенное отличие типа турбулентных процессов в плазме солнечного ветра и в магнитослое, а также наличие супердиффузии в переходных областях магнитосферы Земли. Работа выполнена при частичной поддержке проекта № Ф40.2/053.

ПРИЗНАКИ ОБРАТНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО КАСКАДА В ВО ВРЕМЯ АКТИВИЗАЦИЙ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Б.В. Козелов, И.В. Головчанская

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

По данным наземных и спутниковых оптических наблюдений анализировались спектры пространственных флуктуаций аврорального свечения. Спектры рассчитывались методом логарифмических диаграмм с использованием дискретного вейвлет-разложения по вейвлетам Добеши 3-5 порядков, что позволило исключить влияние локальных трендов на каждом пространственном масштабе. Оказалось, что для активных форм сияний эти спектры близки к степенному виду, причем показатель степени растет от значений менее 1 до более 1.5 по мере развития активности. Подобное поведение спектров флуктуаций интерпретируется как проявление нелинейного взаимодействия когерентных альфвеновских структур в магнитосферно-ионосферной плазме, при котором происходит передача энергии от малых к большим масштабам, т.е. обратный турбулентный каскад.

О ПРИРОДЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО СКЕЙЛИНГА ФОТОСФЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЦА.

Н.Г. Макаренко

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

Интерес к исследованию свойств статистической масштабной инвариантности солнечных MDI/HMI магнитограмм обусловлен, по меньшей мере двумя причинами. Первая состоит в доказательстве существования полностью развитой турбулентности в поле наблюдаемой компоненты поля. Такой сценарий следует из больших теоретических значений магнитного числа Рейнольдса. Вторая причина прогностическая и обусловлена поиском новых предвестников больших солнечных вспышек. В ряде недавних работ, в качестве таких предвестников рассматриваются вариации мультифрактальных характеристик магнитограмм содержащих Активные области. Математическим аппаратом для диагностики скейлинга наблюдаемой по лучу зрения компоненты магнитного поля служат либо оценки мультифрактальных спектров, либо Гельдеровские показатели сингулярности выбранной меры. Они получаются в рамках канонического либо микроканонического вариантов мультифрактального формализма. В докладе приводится краткий обзор современной техники. Обсуждаются различные типы используемых мер и трудности адаптации гладких методов для цифровых изображений, вызванные дискретным характером носителя меры и большой вариабельностью фотометрической меры. Показано, что использование формализма, основанного на емкостях Шоке, позволяет получить мультифрактальные спектры удовлетворительного качества. Мультифрактальный скейлинг принято связывать с степенными статистиками исходных данных, имеющих алгебраически разрушающиеся, «тяжелые» хвосты. Этому эффекту сопутствует острый центральный пик распределений. Он описывается «куртозисом», характеристикой которая выражается с помощью четвертого статистического момента. Оказывается, однако, что высококонтрастные изображения земных ландшафтов также имеют аналогичную статистику и мультифрактальные спектры классической формы. Эвристически, они обусловлены существованием на изображении множества статистически подобных элементов, с хорошо выраженными «ребрами» - границами «сингулярных многообразий». Очевидно, природа этого скейлинга не связана с турбулентностью в магнитных полях. Следовательно, возникает альтернативное объяснение мультифрактальных спектров полученных для магнитограмм. В докладе обсуждаются возможные подходы к выбору корректного варианта для объяснения скейлинга.

ТРЕХМЕРНАЯ ДИНАМИКА ПЛАЗМЕННЫХ ВИХРЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ВЫСОТНОГО КАСПА ЗЕМЛИ

С. А. Романов

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

Исследуется магнитная турбулентность бесстолкновительной плазмы в области высотного магнитосферного каспа с использованием результатов измерений четырех спутников эксперимента Кластер. При помощи усовершенствованной методики продленных разностей фаз построена динамическая картина трехмерных энергетических спектров в пространстве волновых векторов в диапазоне волновых чисел от 0.002 до 0.6 рад/км или длин волн от ~3000 до ~10 км. Спектры находились с использованием 90-секундного скользящего гауссова окна данных с шагом по времени 0,2 с, что позволило подробно проследить динамику событий в плазме, текущей в магнитослое, внутри каспа и на границе плазменной мантии. Найденные распределения анизотропны и, за редким исключением, обладают центральной симметрией. Характер и степень анизотропии спектров зависят от области наблюдения, величины фонового магнитного поля B_0 , от плазменного параметра β , а также от угла между средним полем и средним вектором скорости V_0 . В большинстве случаев характер анизотропии неоднороден по спектру: ее свойства могут резко изменяться при переходе волнового числа через резонансные значения, соответствующие протонной инерционной длине, гирорадиусам протонов, альфа-частиц и ионов кислорода. Над магнитопаузой преобладают спектры, у которых $k_{\perp} \gg k_{\parallel}$ по всему спектру. В других областях преимущественно наблюдаются спектры смешанного типа. Построенная впервые динамическая картина k – спектров позволила впервые обнаружить в области магнитослоя и каспа реальные вихревые структуры, характеризующиеся вращением волновых векторов. Над магнитопаузой это вращение происходит в плоскости, перпендикулярной фоновому магнитному полю, внутри каспа – в плоскости, параллельной вектору поля. В первом случае волновой вихрь вращается вокруг вектора B_0 в направлении, совпадающем с направлением вращения положительных ионов. Во втором - преимущественного направления вращения относительно какой-либо оси не выявлено. Положение вихревой оси в этом случае определяется, по-видимому, поперечным градиентом скорости, поскольку ось вращения перпендикулярна также вектору V_0 .

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОСОБЕННОСТИ ТОПОЛОГИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА НА ПРИМЕРЕ МОЩНЫХ ВСПЫШЕК В ИЮЛЕ 2002г. И ФЕВРАЛЕ 2011г.

И.Ю. Григорьева¹, Н.Г. Макаренко¹, И.С. Князева¹, Л.М. Каримова²

¹ ГАО РАН, г. С.-Петербург, Россия, irina19752004@mail.ru

² Институт Математики, г. Алма-Ата, Казахстан

В работе исследуется эволюция активных областей NOAA 11158 (февраль 2011) и NOAA 10030 (июль 2002), охватывающая различные фазы их вспышечной активности за время прохождения по диску Солнца. В работе использованы магнитограммы (SDO/HMI и SOHO/MDI) и синхронные микроволновые спектрально-поляризационные наблюдения (РАТАН-600). Основной целью было выделение возможных долгосрочных вспышечных прекурсоров на двух уровнях солнечной атмосферы: фотосферы и нижней короны. Обнаружены значимые изменения характеристики Эйлера для магнитограмм за три дня до вспышечной фазы. Индекс несвязности, равный числу пикселей, различимых с точностью до заданного порога также возрастал за 2-3 дня до вспышечной фазы. В радионаблюдениях отмечено появление «пекулярного» источника, связанного с образованием δ -конфигурации в магнитной структуре активных областей, за сутки до мощных рентгеновских вспышек X2.2 15 февраля 2011 года и X3.015 июля 2002 года.

ВЛИЯНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА НЕАДИАБАТИЧЕСКОЕ УСКОРЕНИЕ ИОНОВ В ГЕОМАГНИТНОМ ХВОСТЕ ЗЕМЛИ

М.С. Долгоносов, Л.М. Зеленый, Г. Зимбардо, С. Перри

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

Важным вопросом при исследовании резонансного взаимодействия частицы с геомагнитным полем Земли является вопрос взаимодействия флуктуаций магнитного поля на резонансные механизмы ускорения в токовом слое. Как было показано нами неоднократно, процесс ускорения частиц в токовом слое можно описать как неадиабатическое взаимодействие с токовым слоем, которое в общем случае приводит к хаотической динамике ансамбля частиц. Однако за счет пространственной вариации амплитуды магнитного поля возможно существование областей «регулярного» ускорения. Такие области являются источниками генерации коллимированных ионных пучков (бимлетов). Довольно естественным образом возникает вопрос об устойчивости данных областей к различного рода возмущениям, постоянно присутствующим в токовом слое. Показано, что турбулентность может приводить к разрушению указанных областей, что сопровождается прекращением генерации бимлетов. Найден предельный уровень турбулентности, выше которого невозможно наблюдать генерацию бимлетов. Также даны оценки влияния флуктуаций на скейлинг энергии бимлетов. Проведено сравнение аналитических оценок с экспериментальными данными спутника CLUSTER.

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

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ТОКИ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ МОЩНЫМИ РАДИОИМПУЛЬСАМИ

**Н.А. Айдакина, М.Е. Гущин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков,
А.В. Костров, А.В. Стриковский**

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

Эффекты генерации квазистационарных токов и магнитных полей при взаимодействии интенсивного электромагнитного излучения с плазмой представляют значительный фундаментальный интерес и важны для многих приложений. В физике ионосферы и магнитосферы интерес к данному кругу нелинейных явлений обусловлен экспериментами по активному радиочастотному воздействию на околоземную плазму, а также обнаружением естественных электромагнитных излучений аномально большой амплитуды. Квазистационарные магнитные поля (КМП) и токи, возбуждаемые в ближней зоне мощных антенных систем космического базирования и плазменных областях, занятых интенсивными волнами, могут приводить к специфическим эффектам «магнитной» нелинейности, а также использоваться для генерации в околоземной плазме низкочастотных волн, прямое возбуждение которых с борта КА или с поверхности Земли малоэффективно. В работе представлены результаты экспериментов, выполненных в 2009-2011 гг. на крупномасштабном плазменном стенде «Крот», в ходе которых исследовались нелинейные эффекты при взаимодействии интенсивных высокочастотных (ВЧ) полей с замагниченной плазмой, сопровождаемые генерацией КМП. Исследовалось взаимодействие ВЧ полей с плазмой в условиях ЭЦР (при совпадении частоты излучения с электронной циклотронной частотой и ее гармониками), а также нерезонансное взаимодействие в свистовом диапазоне частот (на частотах меньших электронной циклотронной частоты). Обнаружено несколько механизмов генерации КМП в слабостолкновительной замагниченной плазме. Так, при резонансном взаимодействии ВЧ накачки с плазмой наблюдается диамагнитный эффект, обусловленный ускорением электронов в области, занятой ВЧ полем, и проявляющийся в ослаблении внешнего магнитного поля в силовой трубке, заполняемой ускоренными частицами. Напротив, при воздействии на плазму ВЧ накачки свистового диапазона частот (в нерезонансном режиме) обнаружен парамагнитный эффект: усиление внешнего магнитного поля в области плазмы, занятой ВЧ полем. В данном случае основным источником возмущений магнитного поля является усредненная пондеромоторная сила, приводящая к перераспределению плазмы в неоднородном ВЧ поле, а также к генерации дрейфовых токов, протекающих по плазме без изменения ее плотности. Регистрируемые возмущения магнитного поля обусловлены как дрейфовыми токами, так и модуляцией давления замагниченной плазмы (токами намагничивания). Исследованы параметрические методы генерации низкочастотных (НЧ) волн при взаимодействии с замагниченной плазмой мощных амплитудно-модулированных ВЧ сигналов, а также ВЧ волновых пучков с близкими частотами. Модуляция интенсивности накачки приводит к изменению наводимых в плазме КМП с соответствующим периодом; модифицированная ВЧ накачкой область плазмы с изменяющимся во времени магнитным полем выступает в роли параметрической антенны, которая, как показывают лабораторные эксперименты, позволяет возбуждать НЧ волны с большей эффективностью, чем обычные антенны, на которые подан НЧ сигнал той же частоты. На основании результатов модельных лабораторных экспериментов сформулированы предложения по параметрической генерации НЧ волн в ионосфере Земли.

О ПОТОКЕ ТЕПЛА В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ С АНОМАЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

П.А. Беспалов¹, О.Н. Савина²

¹ *Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

² *Нижегородский государственный технический университет*

Показана возможность реализации неустойчивости ионно-звуковых колебаний в плазме без тока, но с анизотропной функцией распределения, отвечающей потоку тепла. Модельная функция распределения выбрана с учетом условий, накладываемых на потоки вещества и тепла. Инкремент нарастания ионно-звуковых колебаний исследован относительно изменения параметров функции распределения. Определен критический поток тепла, отвечающий порогу ионно-звуковой неустойчивости. Отмечено, что в первую очередь происходит возбуждение ионно-звуковых колебаний с волновыми векторами, направленными против потока тепла. Проведенные оценки показали, что в активных областях с не самыми сильными магнитными полями ионно-звуковая турбулентность может быть ответственна за формирование резких температурных перепадов в космической плазме. Определена структура температурного перепада в условиях развитой ионно-звуковой неустойчивости. Полученные результаты важны, например, для понимания процессов в переходной области солнечной атмосферы и при значительных потоках тепла в магнитосферной плазме.

ГЕНЕРАЦИЯ И ВЫХОД АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ НЕСТАЦИОНАРНОЙ КАВЕРНЫ

Т.М. Буринская

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

Представлены результаты исследования волноводной модели генерации Аврорального Километрового Излучения (АКР), вследствие развития электронной циклотронной мазерной неустойчивости в узких областях плазмы с пониженной плотностью. Показано, что при стационарной форме волновода выход излучения из области генерации в виде необыкновенных электромагнитных волн с показателем преломления меньше единицы характерном для наблюдений АКР, практически, невозможен. Предложена нестационарная модель, связанная с низкочастотными колебаниями стенок волновода, позволяющая объяснить излучение АКР из области источника.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА ДЛЯ ПОТОКА ПЛАЗМЫ, ОГРАНИЧЕННОГО В ПРОСТРАНСТВЕ

Т.М. Буринская, М.М. Шевелёв

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

Подробно исследована линейная стадия развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (К-Г) для ограниченного в пространстве потока плазмы с произвольной температурой в рамках двух моделей: плоскопараллельного и цилиндрического потоков. Для обеих моделей в приближении несжимаемой плазмы аналитически получены области параметров, при которых возможно развитие неустойчивости. Как показали численные решения дисперсионного уравнения, области неустойчивых параметров сохраняются и для случая плазмы с конечной сжимаемостью, причём для волн с длиной порядка или больше ширины потока возможно развитие неустойчивости К-Г даже при нулевой температуре. Однако величины инкрементов для всех мод уменьшаются с понижением скорости звука. Следует отметить, что при низких температурах, $C_s/U_0 < 0.1$ (C_s – скорость ионного звука, U_0 – скорость потока), инкременты перетяжных мод имеют наименьшие значения среди всех типов возбуждаемых колебаний для обеих моделей. Построены структуры собственных мод, которые для несжимаемой плазмы монотонно затухают при удалении от потока, а в плазме с конечной температурой затухание носит осцилляторный характер, при этом, чем ниже температура плазмы, тем большая область внешней плазмы оказывается возмущенной. Проведено численное исследование нелинейной стадии неустойчивости К-Г для плоскопараллельного потока с учётом конечной ширины переходной области между потоком и окружающей плазмой. Обсуждается сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, полученными при прохождении высокоскоростных потоков плазмы в пограничной области плазменного слоя хвоста магнитосферы Земли.

РЕЗОНАНСНОЕ УСКОРЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ НАКЛОННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНОЙ

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

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОТРОННЫХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ПЛАЗМЫ ЭЦР РАЗРЯДА

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

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

Рассмотрена возможность использования электронного циклотронного резонансного (ЭЦР) разряда в прямой магнитной ловушке для исследования циклотронных неустойчивостей плотной и разреженной плазмы. Использование гиротрона в качестве источника мощного миллиметрового излучения для создания и поддержания плазмы в условиях ЭЦР позволяет получать двухтемпературную плазму и регулировать степень анизотропии горячей компоненты, что дает возможность исследовать широкий класс явлений, наблюдаемых как в лабораторной, так и в космической плазме. В работе исследуются временные и частотные характеристики электромагнитного излучения плазмы, генерируемого в результате резонансного взаимодействия волн с энергичными электронами. Для анализа СВЧ излучения плазмы использовались фильтры низких частот и полосовые фильтры с различными размерами волноводного сечения, а для определения энергетических характеристик импульсных выбросов плазмы использовались измерения диамагнетизма. Выяснено, что в плотной плазме, поддерживаемой излучением гиротрона, развивается циклотронная неустойчивость свистовых волн, распространяющихся вдоль оси магнитной системы, а в разреженной плазме развивается циклотронная неустойчивость быстрой необыкновенной волны, распространяющейся в квазипоперечном направлении относительно оси магнитной системы. Проведены аналитические и численные оценки инкрементов неустойчивых мод для различных функций распределения энергичных частиц по скоростям на основе кинетического уравнения в слаборелятивистском пределе.

К КИНЕТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ СТРУКТУРЫ «ДИФФУЗНОЙ» ОБЛАСТИ В НУЛЕВОЙ ТОЧКЕ, СФОРМИРОВАННОЙ ПОТОКОМ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ

В.М. Губченко

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, ua3thw@appl.sci-nnov.ru

Описание трехмерных областей со стационарным «нулевым» магнитным полем, известных как «диффузные» области магнитного пересоединения магнитного хвоста и солнечного стримера, формируемых потоками, фундаментальная проблема физики космической плазмы, плазменной аэродинамики и физики высоких плотностей энергии. Формирование «нулевых/нейтральных точек» строится на изучении электромагнитных (э.м.) возмущений на фоне одномерных моделей токовых слоев, в которых структура поля уже задана и тем самым задает точки как «нейтральные» линии. В иных постановках изначально, без плазмы задается нулевая точка, в которой далее изучается электродинамика плазмы. Однако трехмерные «нулевые» области магнитного поля и их появление связаны с возбуждением поперечных плазменных токов различной природы на фоне трехмерных источников внешних полей общего вида. Появление «точек» с «диффузной» структурой должно быть самосогласованно с движениями плазмы их создающими. Практически важными здесь являются э.м. процессы в горячих разлетающихся бесстолкновительных плазмах, характеризующихся анизотропными кинетическими функциями распределения частиц (ФРЧ), форма которых отражает формирование в точке токов ускоренных частиц, диамагнитных токов и э.м. излучения, что не описывается в рамках МГД. Диффузные области являются областями слабой замагниченности, в которых масштаб замагниченного движения электронов и ионов, превышает масштабы исследуемых э.м. структур «нулевой» точки при этом скорости потоков остаются малыми по отношению к тепловым скоростям электронов. В этом «горячем» режиме при взаимодействии с э.м. полями появляются токи «резонансных» и «нерезонансных» групп частиц, что учитывается видом поперечной компоненты тензора диэлектрической проницаемости плазмы. На этой основе дано представление когерентной структуры ламинарного э.м. поля в «диффузной» области посредством интегральной функции MG , выраженной через кинетические характеристики внешнего потока плазмы и внешнего источника намагниченности. Функция раскладывается в ряды по цилиндрическим и сферическим гармоникам. Плазма характеризуется индуцированным потоком аномальным «резистивным» и диамагнитным скиновыми масштабами пространственной дисперсии, лежащими в основе крупномасштабной кинетики плазмы и выражаемыми через анизотропию ФРЧ по импульсу и по энергии. Их отношение определяет линейный безразмерный параметр электромагнитной «добротности» потока GV , не зависящий от полей намагниченности; параметр не имеет аналога в МГД. Добротность управляет топологией э.м. полей, она аналог числа Маха M , вводимого для характеристики акустической сжимаемости потока. Нулевая точка, в зависимости от добротности, может быть резистивной или диамагнитной. Координата нулевой точки и сама возможность ее появления определяются из условия равенства нулю нормальной компоненты магнитного поля на оси «хвоста» по виду MG . Вид силовых линий вблизи нейтральной точки определяется на основе разложений MG в окрестности нейтральной точки. Диффузионная область может быть ограничена магнитными полями, замагничивающими частицы. Для диамагнитной и резистивной точки введены нелинейные безразмерные э.м. параметры потока, зависящие от полей источников намагниченности и определяющие границы плазменного бета в диффузной области; это диамагнитное кинетическое число Альвена MA , известное также в МГД, и «резистивное» нелинейное число GB , не имеющее пока аналога в МГД. (V.M. Gubchenko, AIAA 2011-3742).

МАГНИТО-СТИМУЛИРОВАННАЯ ДИФфуЗИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ И ЛАБОРАТОРНОЙ ПЛАЗМЕ

Ю.В. Думин

ИЗМИРАН, г. Троицк Московской обл., Россия, dumin@yahoo.com

Данная работа посвящена обсуждению одного специфического типа диффузии, который следует ожидать в достаточно холодной плазме (например, создаваемой в экспериментах с магнито-оптическими ловушками, а также, возможно, существующей в некоторых типах астрофизических объектов). Если в абсолютном большинстве известных случаев наложение внешнего магнитного поля существенно подавляет процессы переноса, в том числе, и диффузию, в поперечном к полю направлении, то в ультрахолодных газо-плазменных системах может возникнуть прямо противоположное явление – усиление диффузии за счет внешнего магнитного поля. В докладе предполагается представить подробный теоретический анализ вышеупомянутого эффекта для двух предельных случаев. Во-первых, это – случай квази-связанных электрон-ионных пар (т.е., фактически, сильно-возбужденных ридберговских состояний). При этом, если сила Лоренца, действующая на электрон, не слишком мала по сравнению с силой его кулоновского притяжения к близлежащему иону, то такой электрон после каждого своего оборота будет оказываться сдвинутым в случайном направлении относительно того положения, которое он занимал бы на невозмущенной орбите (т.е. в отсутствие магнитного поля). Соответственно, ион, в результате вращения вокруг него возмущенного электрона, будет испытывать толчки в различных направлениях, приводящие в конечном счете к неограниченному в пространстве случайному блужданию диффузионного типа. В другом предельном случае – кулоновски-несвязанных электрон-ионных пар, электрон будет испытывать дрейфовое движение вокруг близлежащего иона, промодулированное возмущением локального кулоновского поля за счет гировращения иона. В результате наложения двух движений с несоизмеримыми периодами, также как и в первом случае, должен возникать эффект случайного блуждания, приводящий к диффузионному поведению всей системы. Наблюдение магнито-стимулированной диффузии первого типа можно ожидать, прежде всего, в лабораторных магнито-оптических ловушках. Второй тип диффузии мог бы, вероятнее всего, проявляться в астрофизических ситуациях.

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО УСКОРЕНИЯ СЛАБОРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ СЕРФИНГЕ НА ПАКЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Серфинг заряженных частиц на электромагнитных волнах является одним из главных механизмов генерации потоков ультрарелятивистских частиц в космической плазме. При этом для корректных оценок параметров ускоренных частиц необходим детальный анализ условий захвата заряженных частиц в режим ускорения и эффективности этого ускорения при взаимодействии с пространственно локализованными пакетами электромагнитных волн. В настоящем докладе серфинг рассмотрен на основе численных расчетов захвата и последующего ультрарелятивистского ускорения зарядов в магнитоактивной космической плазме при воздействии волнового пакета с плавной огибающей его амплитуды. Начальная энергия частиц полагается слабoreлятивистской. С учетом интегралов движения задача сведена к анализу нестационарного, нелинейного уравнения второго порядка диссипативного типа для несущей фазы пакета на траектории заряженной частицы при распространении волнового пакета поперек достаточно слабого внешнего магнитного поля. В центральной части волнового пакета амплитуда электрического поля была выше порогового значения, что обеспечивало возможность захвата частиц в режим серфинга. Численными расчетами показано, что для слабoreлятивистских заряженных даже в диапазоне неблагоприятных начальных фаз и при невыполнении в начальный момент времени черенковского резонанса на сравнительно малых временах имеют место захват зарядов и последующее их ультрарелятивистское ускорение. Характерные времена захвата частиц в режим серфинга относительно невелики по сравнению с оптимальным вариантом реализации серфинга (набор энергии частицами различается на величину порядка 10 %). В неоптимальном случае для частиц вначале имеет место циклотронное вращение с последующим захватом в режим серфинга. Следовательно, по начальным параметрам слабoreлятивистских частиц область захвата их в режим ультрарелятивистского серфотронного ускорения оказывается достаточно большой (в отличие от ранее изученных вариантов). Рассмотрена временная динамика компонент импульса и скорости ускоряемых частиц, характерные особенности их траектории с учетом гировращения на начальном этапе, типичная структура фазовой плоскости для исследуемого нелинейного уравнения.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ МИЛЛИСЕКУНДНЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ ЮПИТЕРА

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

ИПФ РАН, г. Н.Новгород, Россия, kstr@appl.sci-nnov.ru

Развита теория формирования тонкой временной структуры декаметрового радиоизлучения Юпитера, в частности, формирования NB-излучения (NB - narrow band) и квазипериодических последовательностей S-всплесков, основанная на нерезонансных параметрических эффектах, возникающих из-за нестационарных возмущений параметров среды, в которой распространяется излучение. Обращается внимание на определяющую роль в процессе формирования тонкой структуры нестационарных возмущений планетарного магнитного поля и сильной частотной дисперсии излучаемых электромагнитных волн в ионосфере Юпитера. В результате численных экспериментов было показано, что в зависимости от характера возмущения магнитного поля в ионосфере Юпитера амплитудно-частотные характеристики первоначально непрерывного сигнала, могут существенно измениться. На динамическом спектре могут возникнуть структуры, аналогичные наблюдаемым: от NB-излучения и квазипериодических последовательностей S-всплесков, до более сложных структур. Предложено объяснение формирования полос Фарадея на спектрограммах излучения Юпитера.

РАССЕЯНИЕ СВИСТОВЫХ ВОЛН НА НЕОДНОРОДНОСТЯХ ПЛОТНОСТИ В ИОНОСФЕРЕ И ВЫХОД ВОЛНЫ НА ЗЕМЛЮ

И.В. Кузичев

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

Одним из важных вопросов, касающихся 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. Одним из возможных механизмов является рассеяние волны на мелкомасштабных неоднородностях плотности в магнитосфере и ионосфере. В работе предлагается новый подход к решению задачи о рассеянии свистовой волны на неоднородностях плотности, занимающих конечную область пространства, основанный на методе последовательных приближений. Для этого система уравнений Максвелла с помощью метода функции Грина сводится к системе интегральных уравнений, из которых получаются выражения для коэффициентов прохождения и отражения во всех порядках метода последовательных приближений. В первом, борновском, приближении вычислена плотность потока энергии волн, выходящих на Землю за счёт рассеяния на неоднородностях, для различных статистических спектральных плотностей неоднородностей и различных масштабов неоднородностей. Полученные результаты применимы, например, к исследованию распространения и выхода на Землю аврорального хисса, играющего важную роль в динамике плазмы в авроральной зоне.

ВЛИЯНИЕ ПУЧКА ЗАХВАЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ КОНЕЧНОЙ ПЛОТНОСТИ НА ДИСПЕРСИЮ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ

А.И. Матвеев

*Южный федеральный университет, технологический институт,
г. Таганрог, ya.matveev.alexandr@yandex.ru*

Известно, что нелинейная поправка в дисперсионном уравнении, обусловленная захваченными электронами пучка, пропорциональна его плотности и обратно пропорциональна амплитуде волны [1]. Она имеет смысл только в случае, когда амплитуда волны конечна, а плотность пучка очень мала. Несмотря на большое число работ, посвященных резонансному взаимодействию электронов пучка с электростатическими волнами, в них не было ответа на важный для практических применений вопрос: что будет с волной, если в процессе ее возбуждения в потенциальные ямы волны захватывается пучок электронов конечной плотности? В этом случае условие малости для нелинейной поправки нарушается. В докладе рассмотрена одномерная квазистационарная задача эволюции продольной волны с потенциалом $\varphi = \varphi(t, \psi)$, ψ – фаза волны в однородной бесстолкновительной плазме, которую в направлении распространения волны пронизывает пучок электронов. Под действием слабого поля внешних источников амплитуда волны, нагруженной электронами пучка, очень медленно увеличивается от нуля при $t \rightarrow -\infty$ до некоторого произвольного значения. Фазовая скорость волны на начальном этапе ее возбуждения отличается от средней скорости пучка незначительно, поэтому захват электронов пучка происходит с самого начала возбуждения. Анализ квазистационарной эволюции продольной волны, в потенциальных ямах которой находятся захваченные электроны пучка, удобно проводить на основе адиабатического подхода. С помощью адиабатического инварианта захваченных электронов пучка можно показать, что с увеличением амплитуды волны отношение полной энергии электронов пучка к его максимальной потенциальной энергии в поле волны $W_b / e\varphi_m$ уменьшается, вместе с ним уменьшается и их интервал фазовых колебаний. Ограничение интервала колебаний захваченных электронов стенками потенциальной ямы оказывает сильное влияние на профиль волны. Дело в том, что искажение ее потенциала, вносимое электронами пучка, появляется только в интервалах $-\varphi^{-1}(W_b) < \psi < \varphi^{-1}(W_b)$, где электроны пучка совершают колебания. Вне этих интервалов потенциал волны остается невозмущенным. С ростом амплитуды волны увеличивается электростатическая составляющая φ_0 невозмущенных фрагментов волны, энергия же электронов пучка растет в меньшей мере. Если амплитуда волны увеличится настолько, что полная энергия электронов пучка становится меньше потенциальной энергии, при которой у невозмущенного эффективного потенциала минимум, $W_b < e\varphi_0$, то у этого потенциала появляется вторая яма. С ростом амплитуды волны размеры ям вместе с высотой барьера, разделяющего их, увеличиваются. Принимая во внимание отличие профилей ям эффективного потенциала в областях $e\varphi < W_b$ и $e\varphi > W_b$, потенциал волны внутри фазовых интервалов $-\varphi^{-1}(W_b) < \psi < \varphi^{-1}(W_b)$ и вне их удобно представить в виде фрагментов двух волн с разными амплитудами и пространственными периодами. Фрагменты этих волн, чередуясь, следуют друг за другом. Трансформация синусоидальной волны в гибрид из двух волн сопровождается аномально большим сдвигом частоты волны. После длительного возбуждения волны, когда размеры фрагментов двух волн становятся близкими к их пространственным периодам, частота волны уменьшается практически вдвое. [1]. Р.И. Ковтун, А.А. Рухадзе, ЖЭТФ, **58**, 1709 (1970).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-ЧАСТИЦ В ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ (ВЗГЛЯД С ПОЗИЦИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ)

В.Ф. Туганов

ИКИ РАН, ГНЦ РФ ТРИНИТИ, г. Москва, Россия, prince@rambler.ru

Предполагая тормозной механизм гамма-всплесков, выявлена форма (вид) функции распределения электронов, приводящая к наблюдаемым степенным спектрам излучения: с показателями Парето $\beta \sim 3$ для частот $\omega > 10$ Мэв и с $\beta = 1$ при $\omega < 10$ Мэв. Используя регулярный метод нахождения интегралов столкновений и методы физической кинетики сложных систем, удалось не только «угадать» определяющий эту форму закон движения точки в фазовом пространстве, но и перейти от формы распределения к его полной (теоретической) конкретизации. Для степенных гамма-спектров, определив задающие их и распределения электронов коэффициенты, вычислены показатели Парето $\beta(d) = 3 + 1/d \geq 3$ - как функции коэффициента вариации энергии электронов d (<http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>, стр. 120). Интерпретация же степенных гамма-спектров с показателями Парето $\beta < 3$ потребовала усложнить механизм формирования функции распределения электронов. Введя при этом фактор b , «облагающий» прогрессивным «налогом» высокоэнергетическую часть электронов, удалось получить показатели Парето, как функции коэффициента вариации энергии d и фактора b : $\beta(d,b) = 3 + [1 - b(\beta - 2)]/d < 3$ при $1 > b > 1/1 + d \sim 1/d$, где $d \gg 1$, поскольку $\beta = 3 + 1/d \sim 3$. Тормозной механизм излучения γ -квантов позволяет тогда не только объяснить весь наблюдаемый спектр γ -вспышек при грозových разрядах, но и весь наблюдаемый диапазон соответствующих значений показателя ($\beta \sim 2.6 \div 4.1$) при частотах $\omega > 10$ Мэв (для $\omega < 10$ Мэв спектр, отражая свойство тормозного излучения, - универсален). И поскольку показатель $\beta(d,b)$ обнаруживает гиперболическую зависимость от коэффициента вариации d энергии электронов, то исследовав временную эволюцию d , можно спрогнозировать и эволюцию гамма-спектров: рост (снижение) показателя Парето $\beta(d,b)$ при снижении (росте) d .

НЕСТАЦИОНАРНОЕ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ В РЕЗОНАНСНОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

Ю.В. Чугунов, Е.А. Широков

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, evshirok@gmail.com

В докладе анализируется пространственно-временная структура медленных квазиэлектростатических волн, возбуждаемых в резонансной полосе частот импульсным дипольным источником (антенной), размеры которого много меньше длины электромагнитной волны. Это означает, что рассматриваются направления излучения волн в магнитоактивной плазме в окрестности резонансного конуса, который в пространстве волновых векторов определяется асимптотой волновой поверхности $\omega(\mathbf{k}) = \text{const}$. Акцент в докладе делается на анализ поля излучения при импульсном излучении гармонического сигнала, когда эффекты временной и пространственной дисперсии оказывают существенное влияние на задержку и расплывание квазигармонического импульса. Значительное внимание также уделяется влиянию электромагнитной, дисперсионной и столкновительной поправок в дисперсионном уравнении на вид поля. Подробно проанализирована структура поля вблизи резонансного конуса: в частности, рассмотрены эффекты группового запаздывания и аномального расплывания сигнала. Также исследованы некоторые аспекты обратной задачи электродинамики: показана роль гладкости распределения заряда на антенне в формировании поля, а также найден класс гладких распределений заряда на антенне, создающих заданную структуру поля. Анализ полей излучения антенн, находящихся в плазме, имеет большое значение для использования в различных волновых экспериментах в космических и лабораторных исследованиях: диагностике параметров среды, регистрации шумовых излучений в ионосфере и магнитосфере, генерации электромагнитного излучения. В частности, построенная теория объясняет результаты двухточечного ракетного эксперимента «OEDIPUS-C».

EXCITATION, PROPAGATION AND RECEPTION OF WAVE PULSES IN THE VICINITY OF THE LOWER OBLIQUE RESONANCE. APPLICATION TO THE OEDIPUS-C IONOSPHERIC EXPERIMENT

Yu. V. Chugunov¹, V. Fiala², M. Hayosh², and H. G. James³

¹ *Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia, chugun@appl.sci-nnov.ru*

² *Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic*

³ *Communications Research Centre, Ottawa, Canada*

A radio transmitter was operated at one end of the tethered sounding rocket double payload OEDIPUS C, and a synchronized receiver at the other end. Both the transmitter and the receiver were connected to "double-V" dipoles. On the flight down leg after the tether had been cut, direct bistatic propagation experiments were carried out successfully with the transmitter-receiver pair. This paper addresses the transmission of 300- μ s pulses at a carrier frequency of 100 kHz between the dipoles over distances of about 1200 m. The waves of interest propagate in the whistler-mode close to its resonance cone, where the transmitter is situated in the cone apex. The radiated field under these conditions is computed as well as the resonance response of the receiving antenna, i.e., its effective length. In the whistler mode, the influence of the plasma is important and it results in qualitative changes in the structure of the radiated field and in the value of the receiving antenna effective length as compared to the free space case. Our main concern is the excitation, propagation and reception of a pulsed harmonic signal when the time and space dispersion plays an important role in both the delay and spreading of such a signal.

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

К ВОПРОСУ О СВЕРХСВЕТОВОЙ СКОРОСТИ НЕЙТРИНО

Е.А. Гаврюсева

г. Москва, Россия

В связи с остро поставленным вопросом о возможно сверхсветовой скорости распространения нейтрино в недрах Земли при движении из ЦЕРНа в Гран Сассо была проведена простейшая оценка с учетом и нейтрино оказалось движущимся, как и ожидалось со скоростью света C .

РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ГРАДИЕНТНЫЕ ВОЛНОВЫЕ БАРЬЕРЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Н.С. Ерохин¹, Е.С. Меркулов², М.В. Поверенный²¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² *Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина*

На основе точных решений уравнения Гельмгольца, рассмотрено безотражательное прохождение электромагнитной волны через широкий неоднородный слой космической плазмы, содержащий мелкомасштабные (субволновые) структуры ее плотности с большими вариациями их амплитуды (градиентные волновые барьеры). Численными расчетами показано, что плазменный слой может включать достаточно широкие области непрозрачности, а также субслои, в которых возникают всплески волнового поля большой амплитуды (усиление поля на порядок и более). Установлено, что изменением параметров модели 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. Существенно, что в сильнонеоднородной плазме для волн возможны частоты отсечки, определяемые (в отличие от ранее рассмотренных классических задач) величиной градиента плотности плазмы. 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. Следует отметить, что при наличии мелкомасштабных неоднородностей большой амплитуды приближенные методы анализа взаимодействия волн с плазмой непригодны и необходим поиск точно решаемых моделей. Необходимо иметь в виду, что точно решаемые модели представляют интерес для исследования особенностей взаимодействия электромагнитных волн с неоднородными средами, в частности, возможностей их безотражательного прохождения через градиентные волновые барьеры. Это важно как для теоретического анализа возможностей туннелирования волн через протяженные, сильно неоднородные слои, так и для практических приложений, в частности, в задачах нагрева плотной плазмы мощным электромагнитным излучением, для просветления волновых барьеров в космической плазме, для понимания механизмов выхода излучения от источников, находящихся в плотной плазме в астрофизике. В настоящее время эти модели используются для исследований повышения эффективности просветляющих и поглощающих покрытий в радиодиапазоне и разработки тонких радиопрозрачных обтекателей для антенн. Используемая методика анализа представляет большой 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 субволновых диэлектрических структурах.

СВЕРХНЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ

Д.Ю.Колотков¹, А.Е.Дубинов, М.А.Сазонкин

¹ *Саровский физико-технический институт – филиал Национального Исследовательского Ядерного Университета, Московский инженерно-физический институт,
г. Саров, Нижегородская обл., molotok300@gmail.com*

Выявлен новый класс нелинейных волн в плазме – сверхнелинейные волны (SNW), характеризующиеся нетривиальной топологией своих фазовых портретов. Дана топологическая классификация таких волн и предложено их удобное обозначение. Несколько простыми примерами продемонстрировано, что SNW могут существовать в виде плазменных волн различной физической природы, например, в виде электростатических волн (например, ионно-звуковых) и МГД-волн (например, альфвеновских). Показано, что одним из необходимых условий для существования SNW является наличие не менее трех различных заряженных компонент плазмы (электроны, позитроны, ионы, пылинки и др.), причем увеличение количества компонент плазмы приводит к усложнению топологии фазового портрета SNW. Даны характерные признаки SNW, позволяющие легко обнаруживать их в экспериментальных условиях.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА С МОНОПОЛЯМИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕОРИИ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

В.М. Корюкин

*Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола,
Россия, kvn@marsu.ru*

Как известно, одним из достижений Дирака [1] является его гипотеза о существовании единичного магнитного заряда, а также создание теории монополя, которая до настоящего времени экспериментально так и не нашла подтверждение. Открытие монополя, главной характерной особенностью которого является наличие у него сингулярной нити, позволило бы объяснить факт квантования электрического заряда вследствие неоднозначности волновых функций, описывающих электрон в неодносвязных пространствах. Для объяснения ненаблюдаемости монополя мы предлагаем обобщить классическую теорию заряда, считая, что радиус любого взаимодействия не может быть бесконечным, тем самым косвенно используя гипотезу Н.А. Черникова [2] в которой он предположил радиус гравитационного взаимодействия конечным. При этом мы можем опираться на известный закон электрического взаимодействия в плазме, записанный в виде потенциала Юкавы (потенциал Кулона можно получить, устремляя радиус экранирования к бесконечности). Используя формализм Фейнмана [3], объяснения электромагнитного взаимодействия, в котором главную роль играют виртуальные частицы, интерпретируемые как «продольные» и «скалярные» фотоны и которые подчиняются статистике Бозе, нетрудно получить требуемую зависимость в потенциале от расстояния между взаимодействующими частицами. Для ненаблюдаемости монополей необходимо было рассмотреть противоположный случай [4], с достаточно малым радиусом взаимодействия и дать подходящее объяснение полученного результата. Трудности в интерпретации источников экспериментально наблюдаемых значений магнитных полей космических объектов в рамках стандартной электродинамики без монополей является стимулирующим фактором для продолжения работ, обобщающих теорию Дирака [1]. В свою очередь это стимулировало бы будущие эксперименты по поиску макроскопических эффектов, подтверждающих электродинамику с монополями, как на Земле, так и в космосе.

- [1] Дирак П.А.М. Квантованные сингулярности в электромагнитном поле // В кн.: Монополю Дирака. Сборник статей. – М.: Мир, 1970. – 332 с. – С. 40-57.
- [2] Черников Н.А. Четыре варианта теории тяготения с двумя аффинными связностями // В кн.: Труды V Семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 16-18 мая 1992. – Дубна: ОИЯИ, ЛТФ, 1993. – С. 250-253.
- [3] Фейнман Р. Теория фундаментальных процессов. – М.: Наука, 1978. – 200 с. С. 109-111.
- [4] Koryukin V.M. To the question on the theory of magnetic charges and quantum chromodynamics at large distances. // In the book of abstracts of the XX International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems (Dubna, Russia, October 4-9, 2010). – Dubna: JINR, 2010. 112 p. – P. 50-51.

ОБ УСЛОВИИ ПРИМЕНИМОСТИ ЛИНЕАРИЗАЦИИ УРАВНЕНИЯ ВЛАСОВА И ОТСУТСТВИИ ЗАТУХАНИЯ ВОЛН В РАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ БЕЗ СТОЛКНОВЕНИЙ

А.И. Лаптухов

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

Показано, что в области **резонансных частиц** линеаризация уравнения Власова может быть справедлива (оправдана) при любой малой величине электрического поля волны $E_0 > 0$ **только на конечном** интервале времени $0 \leq t < t^*$, вне которого необходим нелинейный анализ. Предложен новый метод построения теории волн в бесстолкновительной плазме, в рамках которого на конечном интервале времени $0 \leq t < t^*$ для однородной изотропной плазмы получено точное (в виде интеграла) решение линеаризованного уравнения Власова в переменных времени t , координат $\mathbf{R}$ и скоростей $\mathbf{V}$. **Это решение не содержит сингулярности в подынтегральных выражениях, что очень важно!** Затем на основе этого решения с учётом уравнений Максвелла рассмотрены монохроматические волны в плазме и показано, что дисперсионное уравнение для волн совпадает с полученным Власовым и, значит, затухания Ландау для волн в плазме без столкновений не существует. Линеаризация уравнения Власова для волны с амплитудой поля E_0 и волновым вектором $\mathbf{k}$ справедлива в области резонансных частиц только для конечных интервалов времени: $0 \leq t < t^* = (3m/(eE_0k))^{1/2}$ (где m и e масса и абсолютная величина электрического заряда электрона). Так как в используемом Ландау операционном методе интегрирование ведётся на неограниченном интервале времени, в том числе и вне допустимых пределов $0 \leq t < t^*$, то этот метод не может быть удовлетворительным при решении линеаризованного уравнения Власова, которое для резонансных частиц справедливо только на конечном интервале времени $0 \leq t < t^*$. Именно в этом причина ошибочного вывода знаменитого и талантливого теоретика о существовании бесстолкновительного затухания волн в **детерминированной** плазме.

СВЕДЕНИЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ВЛАСОВА-МАКСВЕЛЛА К СИСТЕМЕ ТОЛЬКО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ЕЕ ИСПОЗОВАНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БЕСТОЛКНОВТЕЛЬНОГО ЗАТУХАНИЯ ВОЛН В ПЛАЗМЕ

А.И. Лаптухов

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

Исходя из уравнения Власова для функции распределения $f_s(t, \mathbf{R}, \mathbf{V})$ частиц сорта s получено[1] дифференциальное уравнение для функций $F_s(t, \mathbf{R}, \mathbf{q}) = \langle f_s(t, \mathbf{R}, \mathbf{V}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{V}) \rangle$, где угловые скобки обозначают интегрирование по всему пространству скоростей $\mathbf{V}$. $F_s(t, \mathbf{R}, \mathbf{q})$ – это преобразования Фурье функций $f_s(t, \mathbf{R}, \mathbf{V})$. Условия применимости такого преобразования для реальных функций $f_s(t, \mathbf{R}, \mathbf{V})$ всегда хорошо выполняются. При этом исходная система интегро-дифференциальных уравнений Власова-Максвелла стала системой только дифференциальных уравнений для функций F_s и полей $\mathbf{E}$ и $\mathbf{B}$. На основе этой системы уравнений в линейном по полю приближении рассмотрена задача распространения волн в однородной бесстолкновительной плазме (как и в [2,3]). **В полученном точном решении линеаризованной системы уравнений Власова-Максвелла не содержится никаких особых точек, никаких особенностей, что очень важно.** В результате стандартных математических вычислений найдено дисперсионное уравнение для потенциальных волн в плазме. Оно полностью совпало с полученным Власовым[2] и отличается от Ландау [3] отсутствием мнимого члена. Аналогичный вывод можно получить и другим независимым способом.

- [1]. Лаптухов А.И. Тензорная магнитогазодинамика – квазикинетический способ описания разреженной плазмы. Физика плазмы. 2009. Т. 35. №5. с.453-464.
- [2]. Власов А.А. О вибрационных свойствах электронного газа ЖЭТФ 1938. Т. 8. В.3. С. 291; или УФН. 1967. Т. 93. В.3. с. 444.
- [3]. Ландау Л.Д. О колебаниях электронной плазмы. ЖЭТФ. 1946. Т.16 С. 574; или УФН. 1967. Т.93. В. 3. с 527.

СЕКЦИЯ «ТОКОВЫЕ СЛОИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ С РАСПАДАЮЩИМСЯ ТОКОВЫМ СЛОЕМ И ПРИСОЕДИНЕННЫМИ К НЕМУ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

С.И. Безродных^{1,2}, В.И. Власов², Б.В. Сомов¹

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

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

Рассмотрена двумерная модель магнитного пересоединения с распадающимся токовым слоем и присоединенными к его концам магнитогидродинамическими ударными волнами конечной длины. Построено аналитическое решение рассматриваемой задачи в приближении сильного магнитного поля. Такой вид решения позволил провести эффективную численную реализацию и исследовать зависимость картины поля от параметров модели, которыми являются длина половины токового слоя и величина его разрыва, длина ударных волн, а также интенсивность магнитного поля на бесконечности и на фронтах волн. Установлено соотношение между указанными параметрами, при котором в токовом слое возникают обратные токи. Показано, что при наличии обратных токов вблизи концов токового слоя присоединенные волны являются трансальфвеновскими. Показана возможность двух типов переходов от этих неэволюционных ударных волн к эволюционным вдоль разрывных течений в зависимости от параметров модели.

ЭФФЕКТЫ МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В ТОКОВОМ СЛОЕ БЛИЖНЕГО ХВОСТА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ СПУТНИКОВ CLUSTER И DOUBLE STAR

Е.Е. Григоренко¹, Л.М. Зеленый¹, Р. Колева², Ж.-А. Сово³

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия, elenagrigorenko2003@yahoo.com

² ИКСИ БАН, г. София, Болгария

³ IRAP, г. Тулуза, Франция

Удачное расположение спутников Cluster и Double Star (DSP-1) в центральном плазменном слое геомагнитного хвоста, при котором квартет Cluster находился на расстоянии от Земли $X = -17 R_E$, а DSP-1 - на расстоянии $-10 R_E$, при этом спутники находились в южной полусфере и имели близкие Y координаты ($|\Delta Y_{\text{Cluster-DSP}}| < 0.5 R_E$), позволило наблюдать транзиентные потоки ускоренной плазмы, движущиеся в окрестности Нейтрального Слоя (НС) перпендикулярно локальному магнитному полю, а в Центральном Плазменном Слое (ЦПС) – параллельно магнитному полю, в направлении соответственно к Земле (данные DSP-1) и от Земли (данные Cluster). Вариации магнитного поля, наблюдаемые спутником DSP-1, указывают на наличие двух фронтов диполизации, наблюдение которых совпадает с наблюдением быстрых конвективных потоков, движущихся к Земле. Практически одновременно, спутники Cluster наблюдали два увеличения отрицательного B_z компонента магнитного поля, сопровождаемого движущимися в хвост конвективными потоками. Наблюдаемое утоньшение TC ($< 0.17 R_E$), а также вариации магнитного поля, регистрируемые спутниками Cluster и DSP-1, указывают на то, что источником ускоренных потоков, по всей видимости, было импульсное магнитное пересоединение имевшее место практически посередине между спутниками Cluster и DSP-1, на расстоянии от Земли $\sim -13.8 R_E$. Длительность события составила ~ 7 мин. Вариации B_z компонента, регистрируемые спутниками Cluster указывают на малую толщину плазмоида. Это может быть связано с тем, что пересоединение происходило на линиях ЦПС, не затрагивая более высокие магнитные широты. После события все спутники по-прежнему оставались внутри ПС. В течение последующих 8 мин никаких признаков активности не наблюдалось. Спустя 8 мин спутники Cluster начали регистрировать поток ускоренных ионов, движущийся к Земле вдоль силовых линий магнитного поля. Источником этого потока может быть магнитное пересоединение, возникшее в более удаленной области хвоста. Таким образом, в рассматриваемом событии не наблюдалось признаков непрерывной генерации ускоренной плазмы по мере движения магнитной X -линии от Земли в хвост. Данные наблюдений указывают на возникновение и прекращение ускорительного процесса вблизи Земли и последующего возобновления ускорения в более удаленном от Земли источнике. Данное событие имело место при очень низком уровне геомагнитной активности: $|AL| < 20$ нТ. Заметных вариаций в геомагнитном поле, измеренном наземными станциями, наиболее близко расположенными к точке проекции спутника DSP-1 на ионосферу, также не наблюдалось. Возможной причиной отсутствия каких-либо заметных проявлений данного события в геомагнитной активности может быть пространственная локализация области пересоединения в ближнем хвосте.

АДИАБАТИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ

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

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

В этой работе мы рассматриваем электронную компоненту токового слоя хвоста земной магнитосферы. Мы используем статистику из 70 пересечений тонкого токового слоя (длительность пересечения меньше 20 минут) и 12 пересечений токовых слоёв с большими пространственными масштабами (длительность каждого пересечения больше часа) спутниковой миссией Cluster. Показано, что для обеих статистик температура электронов падает с ростом магнитного поля как $T_e = T_{e\max}(1 - \alpha(B_x/B_{ext})^2)$, где $T_{e\max}$ и B_{ext} - максимальные значения температуры электронов и амплитуда магнитного поля. Для тонких токовых слоёв получено среднее значение $\langle\alpha\rangle \approx 1$ и для токовых слоёв с большими пространственными масштабами $\langle\alpha\rangle$ больше единицы. При этом вертикальные профили параллельной и перпендикулярной компонент температуры электронов совпадают. Таким образом, отношение $T_{e\parallel}/T_{e\perp}$ постоянно на всём пересечении токового слоя. Среднее значение $\langle T_{e\parallel}/T_{e\perp} \rangle \approx 1.2$. Наблюдаемые зависимости $T_e(B_x)$ объяснены в рамках теории адиабатического нагрева электронов при конвекции к Земле. При этом, для описания конвекции электронов, мы используем две модели токовых слоёв: модель тонкого токового слоя с $B_z = B_z(x)$ и модель двухмерного токового слоя с $B_z = B_z(x, z)$. Показано, что вся наблюдаемая анизотропия температуры электронов связана с популяцией частиц в энергетическом диапазоне от 100 до 3000 эВ. Холодное ядро функции распределения (энергии меньше 100 эВ) и горячий «хвост» (энергии больше 5 кэВ) изотропны.

МОДЕЛЬ МАГНИТОДИСКА ЮПИТЕРА

Р.А. Кислов, Х.В. Малова, Л.М. Зеленый

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru

Юпитер - самая крупная планета солнечной системы с периодом вращения 9,9 часа. Быстрое вращение планеты приводит к генерации электрического поля коротации и формированию магнитодиска с сильно вытянутыми в радиальном направлении магнитными силовыми линиями. В работе построена равновесная модель магнитодиска Юпитера, исследованы механизмы его формирования в рамках МГД – приближения и в предположении об изотропии плазменного давления. Задача о магнитном диске рассмотрена в цилиндрической системе координат, вращающейся с угловой скоростью планеты. Учтена неоднородность вращения плазмы в магнитодиске. Найдены самосогласованные аналитические решения двухмерной задачи, построены распределения радиальной и поперечной компонент магнитного поля, азимутального и широтного токов и плотности плазмы. Найдена форма магнитных силовых линий и зависимость толщины магнитодиска от радиуса. Показано, что полученные распределения магнитного поля и концентрации частиц достаточно хорошо качественно и количественно согласуются с экспериментальными наблюдениями.

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

В.В. Ляхов, В.М. Нещадин

ДТОО «Институт ионосферы», v_lyahov@rambler.ru

Предложена методика исследования устойчивости токового слоя с учетом эффекта поляризации плазмы. Решено кинетическое уравнение с самосогласованным электромагнитным полем для возмущения функции распределения. На основе этого решения вычислен тензор диэлектрической проницаемости плазмы резконеоднородного неэлектронейтрального токового слоя и получено дисперсионное уравнение для исследования возможных мод неустойчивости этого слоя. Исследованы неустойчивость токового слоя хвоста магнитосферы относительно тиринг-возмущений и влияние эффекта поляризации плазмы на развитие тиринг-неустойчивости.

ТОНКИЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ: ДВУХМЕРНАЯ СТРУКТУРА

**Х.В. Малова, Л. М. Зеленый, В.Ю. Попов, А.В. Артемьев,
А.А. Петрукович**

ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

Тонкие токовые слои с толщиной порядка гирорадиуса иона в магнитосфере Земли могут играть роль резервуаров энергии, которая может запасаться, а потом высвобождаться в ходе глобальных магнитосферных возмущений - суббурь. В рамках самосогласованной двумерной модели многомасштабных токовых слоев исследованы особенности их структуры. Показано, что токовый слой представляет собой многомасштабную плазменную структуру, где ионный и электронный токовые слои вложены в окружающий их плазменный слой. Ионы на пролетных орбитах поддерживают одномерный ток в слое, в то же время квазизахваченные частицы перераспределяют основной ток таким образом, что его плотность в центре растет в направлении от Земли; в направлении же к Земле токовый слой расщепляется, и его толщина растет; концентрация квазизахваченных ионов в этой области максимальна. Электронные токи малы в области с большей поперечной магнитной компонентой, а в направлении от Земли, где поперечная компонента B_z мала, плотность электронных токов растет. Таким образом, двухмерная структура тонкого токового слоя определяется влиянием двух плазменных популяций: квазизахваченных ионов и электронов, в то время как роль пролетных ионов сводится к поддержанию одномерной конфигурации.

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЛЕТНЫХ ИОНОВ В ТОНКОМ ТОКОВОМ СЛОЕ С ДВУМЯ САМОСОГЛАСОВАННЫМИ И ПОСТОЯННОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТАМИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

О.В. Мингалев¹, И.В. Мингалев¹, Х.В. Малова^{2,3}, А.В. Артемьев²,
Л.М. Зеленый², М.Н. Мельник¹

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, mingalev_o@pgia.ru

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия

³ НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ, г. Москва, Россия

Создан вариант основанной на методе крупных частиц численной модели тонкого токового слоя (ТТС) в хвосте магнитосферы, в котором самосогласованными являются две компоненты магнитного поля (тангенциальная B_x и сдвиговая или шировая B_y) и тока (j_x и j_y , соответственно), а нормальная компонента магнитного поля (B_z) считается постоянной. При этом силовые линии магнитного поля деформированы, и не лежат в одной плоскости. Результаты расчетов показали, что для одних и тех же входных данных могут существовать две различные равновесные конфигурации ТТС. В первой из них профиль сдвиговой компоненты магнитного поля $B_y(z)$ близок к антисимметричному, и магнитные силовые линии закручены внутри слоя. При этом, однако, профили плотности плазмы, компоненты плотности тока $j_y(z)$ и компоненты магнитного поля $B_x(z)$ практически мало отличаются от случая с магнитным полем без сдвига ($B_y \equiv 0$). Такие конфигурации ТТС наблюдаются в хвосте вблизи X -линий магнитного поля (так называемый квадрупольный вид магнитного поля). Во второй конфигурации профиль сдвиговой компоненты магнитного поля $B_y(z)$ имеет «колоколообразную» форму, а полная величина магнитного поля и плотность плазмы в слое мало изменяются. При этом магнитные силовые линии лежат на изогнутой поверхности, а толщина токового слоя становится примерно вдвое больше. Такие конфигурации ТТС также часто встречаются в данных спутников CLUSTER. Для обеих полученных конфигураций ТТС исследуется структура функции распределения поддерживающих токовый слой пролетных ионов, причем используется достаточно детальное воспроизведение функции распределения в образующих слой источниках плазмы в долях хвоста магнитосферы.

ЭФФЕКТИВНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ

В.С. Семенов, А.В. Дивин

*С. Петербургский университет, Католический университет
г. Левен, Бельгия*

Взрывные процессы в околоземной космической плазме (в т.ч. солнечные вспышки и магнитосферные суббури) связаны с накоплением магнитной энергии при усилении тонких токовых слоев и взрывообразном распадом последних при развитии процесса магнитного пересоединения. В этом процессе ключевой является малая по размерам электронная диффузионная область, которая и определяет глобальные характеристики пересоединения в целом. Для получения скейлинга электронной диффузионной области был проведен анализ Свита-Паркера (основанный на законах сохранения), дополненный специально разработанной аппроксимацией недиагональных членов тензора электронного давления, а также результатами теории движения заряженных частиц вблизи X-линии магнитного поля. В результате удалось получить замкнутую систему уравнений на основные характеристики пересоединения, решение которой показало, что: электроны ускоряются до электронно-альфвеновской скорости и вдоль X-линии, и в зоне струи; размер диффузионной области поперек токового слоя порядка инерционной длины электрона; эффективная проводимость плазмы в окрестности X-линии равна боровской проводимости, рассчитанной по величине пересоединившегося магнитного поля; скорость пересоединения составляет 0.2-0.3 в зависимости от геометрии задачи. Скейлинг был проверен в PIC (частицы в ячейке) моделировании, которое показало согласие теории с расчетами.

ГЕНЕРАЦИЯ СВЕРХАЛЬФВЕНОВСКИХ СВЕРХТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ

А.Г. Франк*, Н.П. Кирий, С.Н. Сатунин

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН * annfrank@fpl.gpi.ru*

Магнитная энергия, которая высвобождается в процессе солнечных вспышек, преобразуется в тепловую и кинетическую энергию плазмы, в потоки ускоренных частиц и излучений, причем наибольшая часть энергии трансформируется в энергию плазменных потоков. В ряде лабораторных экспериментов по изучению динамики токовых слоев и магнитного пересоединения наблюдались движения плазмы со сверхальфвеновскими, сверхтепловыми скоростями. Такие движения можно рассматривать как аналог потоков плазмы, возникающих в активных областях Солнца и в магнитосфере Земли. Исследование процессов ускорения и нагрева плазмы в токовых слоях, в сочетании с определением структуры магнитных полей, токов плазмы и сил Ампера, проводятся с помощью установки ТС-3D (ИОФ РАН) в магнитных конфигурациях с особыми линиями X-типа. Обнаружена генерация потоков плазмы, которые ускоряются вдоль поверхности токового слоя и приобретают энергии вплоть до 400-1300 эВ, что значительно превышает тепловую энергию ионов (50-100 эВ) [1]. Появление сверхтепловых потоков плазмы сопровождается быстрым ростом концентрации электронов у боковых краев слоя, которая значительно превосходит концентрацию в центральной области слоя. Поскольку градиент давления вдоль поверхности токового слоя обычно пренебрежимо мал, ускорение плазмы естественно связать с силами Ампера, которые направлены от середины слоя к его обоим боковым краям [2]. Однако и этих сил оказывается недостаточно, чтобы ускорить плотную плазму, локализованную в средней плоскости слоя, до энергий свыше 100 эВ. Из анализа распределений концентрации электронов и сил Ампера в направлении нормали к поверхности токового слоя можно сделать вывод, что ускорение плазмы вдоль поверхности слоя становится пространственно неоднородным [3]. Наиболее эффективно плазма ускоряется, по-видимому, на некотором расстоянии от средней плоскости слоя, где силы Ампера ещё велики, а концентрация плазмы достаточно мала, тогда как более плотная плазма, сосредоточенная в окрестности средней плоскости слоя, приобретает меньшую энергию. В результате возникают неоднородные движения плазмы, имеющие характер сдвиговых течений. Работа выполнена при частичной поддержке Программы ОФН-15 и РФФИ, проект № 09-02-00971.

[1] A.G. Frank, N.P. Kyrie, S.N. Satunin, Phys. Plasmas **18**, 111209(1-9) (2011).

[2] А.Г. Франк, С.Н. Сатунин, Физика плазмы **37**, 889-908. (2011).

[3] Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк, Письма в ЖЭТФ, **95**(1), 17-22 (2012).

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ И ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ СЕКТОРНЫХ ГРАНИЦ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И МОДЕЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГИПОТЕЗЫ КВАЗИ-НЕПРЕРЫВНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В ГЕЛИОСФЕРНОМ ТОКОВОМ СЛОЕ НА 1 А.Е.

О.В. Хабарова¹, В.В. Жаркова²

¹ ИЗМИРАН, Троицк, Россия, habarova@izmiran.ru

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

Экспериментальное изучение структуры гелиосферного токового слоя (ГТС) на 1 а.е. по сей день сталкивается с проблемой интерпретации некоторых фактов. Прежде всего, это довольно часто наблюдающееся различие в идентификации пересечения секторных границ чисто магнитным методом (по поведению компонент и азимутального угла межпланетного магнитного поля - ММП) и методом изучения спектрограмм питч-углов тепловых и сверхтепловых электронов (с энергиями >80 эВ). Задержка между резким разворотом потоков электронов и пересечением нулевой линии ММП может составлять часы и даже сутки (Crooker *et al.*, 2006), что вызывает дебаты об истинном моменте пересечения секторной границы между сторонниками того или иного метода детектирования ГТС. Затем, привлекает внимание стабильно наблюдаемая асимметричность профиля скорости солнечного ветра в окрестности ± 4 дня относительно пересечения секторной границы (Svalgaard, 1976; Khabarova, Zastenker, 2011). Также, не объяснён обнаруженный недавно (Khabarova, Zastenker, 2011) эффект существования вторичных пиков плотности солнечного ветра вокруг основного скачка плотности на секторной границе (иногда эти скачки даже интенсивнее основного). И, наконец, до сих пор дискутируется природа постоянно существующего гелиосферного фона радиоизлучения на частоте 2-3кГц, появление которого далеко не всегда ассоциируется с магнитными облаками и межпланетными ударными волнами (Kurth *et al.*, 1984; Zank *et al.* 2001). В докладе показано, что все вышеназванные особенности динамики плазмы в области пересечения секторных границ могут быть описаны и объяснены результатами PIC (particle-in-cell)-моделирования одновременного ускорения электронов и протонов в предположении пересоединяющегося токового слоя (Siversky, Zharkova, 2009). Основным результатом моделирования является обнаружение разделения противоположных зарядов (электронов и ионов) по разные стороны от секторной границы, что вызывает появление поляризационного холловского электрического поля частиц, объясняющего наблюдаемую асимметрию скорости солнечного ветра относительно ГТС. При ускорении частиц в пересоединяющемся токовом слое для каждого типа частиц (электронов и протонов) формируются две популяции частиц одного заряда - отраженные и транзитные. Отраженные и транзитные протоны формируют несколько пиков плотности вокруг секторных границ. В то же время отраженные электроны, не способные достигнуть секторной границы для величин магнитного поля и плотности плазмы, свойственных ГТС, создают электронное облако в форме подковы или медальона на некоем расстоянии от секторной границы. Это расстояние зависит от соотношения компонент магнитного поля в ближайшей окрестности токового слоя и может быть легко оценено по данным космических аппаратов в каждом конкретном случае, а также вычислено на базе модели для данной магнитной топологии. Радиоизлучение на частотах 2-3кГц, по-видимому, может быть обусловлено двухпотоковой неустойчивостью отраженных и транзитных электронов и генерацией ленгмюровских волн на плазменной частоте отраженных электронов. Таким образом, мы предлагаем убедительные аргументы в пользу того, что физические процессы, наблюдаемые на 1 а.е., могут быть в совокупности объяснены в рамках одной модели только при условии признания существования длительно идущего магнитного пересоединения на больших участках гелиосферного токового слоя.

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

ГЕЛИОСФЕРНЫЙ ТОКОВЫЙ СЛОЙ И ДИСКИ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ ЮПИТЕРА И САТУРНА

Е.С. Беленькая, М.Л. Ходаченко

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия

Обращается внимание на одно общее свойство астрофизических дисков в присутствии магнитного поля. Аккрецирующий газ вокруг быстро вращающейся нейтронной звезды или белого карлика создает диск. Альфвеновый радиус, R_A , на котором плотность магнитной энергии равна плотности кинетической энергии, совпадает с внутренней границей диска, на которой плазма покидает аккреционный диск и движется к центральному телу. Аккреционный диск в бинарных системах и вокруг быстро вращающихся черных дыр разрушается на R_A . Внутренний край гелиосферного токового слоя так же начинается при переходе от суб-альфвеновских к супер-альфвеновским скоростям. То же самое относится к дискам в магнитосферах планет-гигантов солнечной системы: Юпитеру и Сатурну. Их диски начинаются на альфвеновском радиусе, определяемом по азимутальной скорости вращения плазмы. Таким образом, в присутствии сильного магнитного поля, созданного центральным телом и/или токами плазмы диска, существует большой класс астрофизических дисков, внутренний край которых расположен на альфвеновском радиусе независимо от природы их образования, от вещества в диске и от направления движения в диске, что подтверждает, что такие диски хорошо описываются МГД теорией.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В ХВОСТЕ ЗЕМНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ

И.Ю. Васько^{1,2}, А.В. Артемьев¹, А.А. Петрукович¹

¹ ИКИ РАН, г. Москва, Россия

² Физический факультет МГУ, vaskoiy@yandex.ru

В этой работе мы исследуем структуру тонких токовых слоёв хвоста земной магнитосферы на основе данных измерений четырёхспутниковой миссии Cluster за 2001, 2002 и 2004 года. Одновременные измерения магнитного поля в четырёх точках пространства позволяют восстанавливать плотности тока и установить пространственную ориентацию токового слоя в предположении его одномерности. Основным объектом наших исследований являются вертикальные токовые слои, в которых ток течет вдоль оси юг-север, тогда как в обычном горизонтальном токовом слое ток течет в направлении утро-вечер. В настоящей работе мы, основываясь на статистике из 38 пересечений вертикальных токовых слоёв, исследовали их свойства и провели сопоставления с горизонтальными токовыми слоями. Статистические распределения показывают, что для вертикальных токовых слоёв характерна большая (в сравнении с горизонтальными слоями) величина компоненты магнитного поля, направленной вдоль направления тока. Кроме того, особенная ориентация горизонтальных токовых слоёв в пространстве позволяет измерить электрическое поле, направленное вдоль нормали нормальное к плоскости токового слоя. В более чем 20-ти случаях мы обнаружили биполярную структуру электрического поля E_y и восстановили профили скалярного потенциала через слой. Количественная оценка перепада потенциала через слой, полученная в рамках теории о разделении движения замагниченных электронов и размагниченных ионов, хорошо согласуется со значениями, полученными экспериментально.

ДИНАМИКА УСКОРЕНИЯ И НАГРЕВА НЕЙТРАЛЬНЫХ И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПЛАЗМЫ В ТОКОВОМ СЛОЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ИОНИЗАЦИИ

Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк

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

В данной работе впервые исследовалась эволюция во времени процессов ускорения и нагрева атомов и ионов разной степени ионизации в плазме токового слоя. Плазма создавалась в неоне при начальном давлении (24–36) мТорр, градиент поперечного магнитного поля составлял $h = 500$ Гс/см, амплитуда электрического тока, протекающего по плазме – 70 кА. [1]. Настоящая работа выполнена спектральными методами, подробнее см. [2]. Были проведены предварительные эксперименты, направленные на изучение спектральных характеристик начальной плазмы, создаваемой с помощью тета-разряда с сильной предварительной ионизацией, и плазмы сформированных токовых слоев. Показано, что в максимуме тока, при $t \approx 3$ мкс, температура атомов неона составляет $T_a \sim 15$ эВ, температура однократно ионизованных ионов Ne II ~ 40 эВ, а двукратно ионизованных ионов Ne III ~ 90 эВ. Поскольку плазма токового слоя является сильно столкновительной ($\tau_{ij} \approx 0.1$ мкс, при том, что время жизни слоя в среднем ~ 5 мкс), это означает, что атомы и ионы разной степени ионизации локализованы в различных областях плазменного слоя. Обнаружены направленные потоки атомов и ионов неона, которые движутся вдоль поверхности токового слоя (вдоль ширины слоя) со сверхтепловыми скоростями. Энергия направленного движения ионов неона увеличивается с ростом степени ионизации, достигая ~ 200 эВ (для ионов Ne III). В то же время атомы Ne I и ионы Ne II имеют одинаковую кинетическую энергию, равную ~ 45 эВ, что связано, по всей видимости, с эффективной перезарядкой ускоренных ионов Ne II на атомах неона, Ne I. Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 09-02-00971a, и Программой фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН ОФН-15 «Физика плазмы в солнечной системе».

[1]. Франк А.Г., Гавриленко В.П., Кирий Н.П., Островская Г.В. в кн.: Оптика низкотемпературной плазмы, под ред. В.Н. Очкина. Серия Энциклопедия низкотемпературной плазмы, изд. «Янус», 2008 г.

[2]. Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк, Физика плазмы **36**, 387, 2010.