



Девятая ежегодная конференция
Физика плазмы в Солнечной системе

10-14 февраля 2014, ИКИ РАН

Научные программы Президиума РАН №22 и ОФН РАН №15

**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

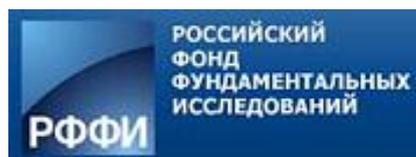
Девятая ежегодная конференция

**«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ»**

10–14 февраля 2014г., ИКИ РАН

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

При поддержке:



г. Москва, 2014г.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ*

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Секция «Солнце», устные доклады.....</i>	<i>3</i>
<i>Секция «Солнце», стендовые доклады.....</i>	<i>20</i>
<i>Секция «Ионосфера», устные доклады.....</i>	<i>48</i>
<i>Секция «Ионосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>61</i>
<i>Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи», устные доклады.....</i>	<i>77</i>
<i>Секция «Солнечный ветер, гелиосфера и солнечно-земные связи», стендовые доклады.....</i>	<i>86</i>
<i>Секция «Магнитосфера», устные доклады.....</i>	<i>102</i>
<i>Секция «Магнитосфера», стендовые доклады.....</i>	<i>114</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», устные доклады.....</i>	<i>130</i>
<i>Секция «Турбулентность и Хаос», стендовые доклады.....</i>	<i>132</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», устные доклады.....</i>	<i>134</i>
<i>Секция «Теория Физики Плазмы», стендовые доклады.....</i>	<i>141</i>
<i>Секция «Токовые Слои», устные доклады.....</i>	<i>148</i>
<i>Секция «Токовые Слои», стендовые доклады.....</i>	<i>153</i>
<i>Секция «Исследование молний из космоса», устные доклады.....</i>	<i>155</i>
<i>Секция «Исследование молний из космоса», стендовые доклады...</i>	<i>163</i>

*Тексты приводятся в редакции авторов

СЕКЦИЯ «СОЛНЦЕ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОБРАЩЕНИЯ МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ В СВЕТЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ И МОДЕЛЕЙ ДИНАМО

Д.Д. Соколов¹, В.В. Пипин², Д.Л. Мосс³

¹МГУ, г. Москва, Россия, sokoloff.dd@gmail.com,

²ИСЗФ, г. Иркутск, Россия,

³Университет Манчестера, г. Манчестер, Великобритания.

Наблюдательные данные говорят, что солнечный магнитный диполь как правило не обращается в нуль полностью во время инверсии магнитного поля Солнца в ходе солнечного цикла. Напротив, модели солнечного динамо, использующие аппарат динамо среднего поля, предсказывают, что в момент инверсии диполь должен обращаться в нуль. Недавно Мосс, Китчатинов и Соколов предположили, что это противоречие можно разрешить, предполагая, что не обращающаяся во время инверсий в нуль составляющая магнитного диполя имеет флуктуационную природу и в силу этого не описывается в рамках теории среднего магнитного поля. Здесь мы выясняем, насколько это предположение поддерживается наблюдательными данными (WSO).

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЯРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА В СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ 24

Е.Е. Беневоленская^{1,2}, Ю.Д. Понявин¹

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

²СПб ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.

Полярное магнитное поле, на протяжении последних солнечных циклов уменьшается. Согласно динамо теории солнечного цикла полярное поле представляет собой полоидальное магнитное поле (V_p - поле), которое, благодаря дифференциальному вращению, преобразуется в тороидальное (V_t - поле). Тороидальное магнитное поле проявляется на уровне фотосферы в виде биполярных комплексов солнечной активности. Наблюдаемое уменьшение магнитного поля, по мнению Свальгарда с коллегами (2005), должно привести к уменьшению солнечной активности и к относительно небольшому солнечному циклу № 24, что имеет место в реальности. В данной работе представлены результаты детального исследования эволюции полярного магнитного потока по данным Solar Dynamics Observatory (SDO) за период с мая 2010 по январь 2014 года. Для данного исследования были использованы магнитные данные Helioseismic & Magnetic Imager (HMI) в виде компоненты магнитного поля по-лучу-зрения (временное разрешение 720 секунд) и изображения в крайнем ультрафиолете (171Å, 193Å, 211Å, 304Å и 335Å (SDO/AIA)). Проанализированы магнитные потоки в области пятнообразования и в высоких широтах. Магнитные данные сопоставлены с эволюцией хромосферных и корональных структур в процессе смена знака полярных магнитных полей Солнца.

Svalgaard, L. Cliver, E.W., and Kamide, Y., *ASP Conf. Ser.*, 2005, vol. 346, p. 401.

ТРЕХКРАТНАЯ ПЕРЕПОЛЮСОВКА КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА В 24-М ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ И ПРОГНОЗ АМПЛИТУДЫ 25-ГО ЦИКЛА АКТИВНОСТИ

А.Г. Тлатов

ГАС ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, tlatov@mail.ru.

Рассмотрены особенности смены полярности крупномасштабного магнитного поля Солнца по данным наблюдений в линии Н-альфа в 24-м цикле активности. Первая смена знака магнитного поля произошла на северном полюсе в декабре 2012 года. Полярность магнитного поля на северном полюсе Солнца сменилась с отрицательной на положительную. Но в течение 2013 на севере произошла трехкратная переполюсовка. Северный полюс был повторно занят отрицательным магнитным полем в течение апреля-июня 2013 г. На южном полюсе на момент времени 01.01.2014 г. переполюсовка не завершена и линия раздела полярности остается на широтах 70-80°. Вероятный момент завершения переполюсовки в южном полушарии - середина 2014 года. Разработан метод прогноза амплитуды следующего цикла активности по данным момента переполюсовки крупномасштабного магнитного поля. Метод основан на вычислении кумулятивной суммы площади солнечных пятен от момента минимума до момента завершения переполюсовки крупномасштабного магнитного поля. На основе анализа циклов 12-23 установлено соотношения между кумулятивной суммой и амплитудой следующего цикла активности. На основе данных об активности и переполюсовке в 24-м цикле выполнен прогноз 25-го цикла активности, который составил $W_{25}=68(\pm 13)$.

О РЕГИСТРАЦИИ ХОЛОДНОГО ВЕЩЕСТВА В ОБЛАСТИ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН И ИСТЕЧЕНИЕ ПЛАЗМЫ В КОРОНУ

В.М.Богод¹, Н.Г.Петерова¹, Б.И.Рябов², Н.А.Топчило³

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

²*Вентспилская обсерватория, Латвия,*

³*Санкт-Петербургский ГУ, Россия.*

При наблюдении солнечных пятен в микроволновом диапазоне длин волн (2-10 см) обычно регистрируется источник излучения, яркость которого на много (1-2 порядка) превышает яркость спокойных участков Солнца. Однако если использовать наблюдения, анализируя характер поляризации излучения, то на коротких волнах в обыкновенной моде выявляется источник, яркость которого на (2-4) КК даже ниже температуры спокойного Солнца. Благодаря высокому спектральному разрешению наблюдений на РАТАН-600 установлено, что это явление наблюдается в ограниченном диапазоне (1.7 – 3) см, соответствующем области сильного магнитного поля солнечного пятна, напряженностью $\sim (2-3)$ КГс. Как показали модельные расчеты, помимо пониженной температуры эта область, названная нами как «DR – область» (depletion region), характеризуется еще пониженным значением плотности корональной плазмы. По своим параметрам DR-область (низкая температура и плотность) напоминает корональную дыру. В пользу такой аналогии свидетельствуют и снимки групп пятен в линии He I 10830E, указывающие на повышенное поглощение в этой линии, наблюдаемое в непосредственной близости к пятнам. Все это позволяет предполагать, что DR-область образуется в результате истечения плазмы и может участвовать в формировании потоков солнечного ветра. Приведены результаты радионаблюдений

конкретных пятен и сопоставление с наблюдениями в других диапазонах электромагнитного излучения, а также результаты моделирования DR-области.

SPIRAL STRUCTURE OF SUNSPOT OSCILLATIONS AS A TRACER OF SOLAR HELICITY

К. Kuzanyan, R. Sych, S. Yang, Y. Yan

*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, kuzanyan@izmiran.ru,
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия,
Key Laboratory of Solar Activity, NAOC, Beijing, China, Россия.*

The phenomenon of sunspot oscillations is known for many years. The sunspots show some rotating structures about the surrounding penumbra and the quiet Sun which may reflect twisted nature of solar magnetic fields as well as manifest the three-minute solar proper oscillations. The recent SDO/AIA/HMI multi-wavelength data with high cadence and spatial resolution allow us to study the oscillation sources in details. Using broad temperature-wavelength range enables to resolve not only horizontal structure of wave fronts but also to obtain height distribution of this phenomenon. In our study, the PWF (Pixelized Wavelet Filtration) method (Sych et al., 2008) enables us to extract the narrowband frequency structure of swirl-like waveguides inside sunspots atmosphere and trace its spiraling nature. By using the Local Correlation Tracking Technique (LCT) we can compute the phase velocities of waves at several levels above the photosphere and quantify its swirling dynamics. Superposing various multi-wavelength data enable us to analyse vertical structure of swirl above sunspots. Thus, we can try to see how helical structures expand from the level of solar photosphere into the chromosphere and up to corona. Magnetic helicity, the scalar product of the magnetic field and the magnetic potential vectors, is a very important quantity in magnetohydrodynamics as it is inviscid invariant, and can be used as an agent to provide feedback from the magnetic field generation by hydromagnetic dynamo mechanism to the motion of the highly conductive plasmas. Helical properties of solar magnetic fields have been studied by means of vector magnetograms of solar active regions and the proxy of magnetic helicity. The electric current helicity (projection of the magnetic field to the electric current) has been computed. The available data enable us to compute the injection of the relative helicity, as well. We use the vector magnetogram data from SDO/HMI to track the electric current helicity simultaneously with the wave structures. In the present study, we investigated active region NOAA 11131 on December 8, 2010. We have shown that the helical properties of phase velocities of MHD magneto-acoustic waves have close similarity with helicity of magnetic field in solar active regions. The future aim is to study the three-dimensional dynamics of sunspot swirling oscillations in detail, and shedding a light on the problem of helicity transfer from the solar interior to the heliosphere.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА КОЛЕБАНИЯ В СОЛНЕННЫХ ПЯТНАХ

Ю.Д. Жугжда, Р.А.Сыч

*ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, yzhugzhda@mail.ru,
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

В работе представлены результаты анализа наблюдений колебаний солнечных пятен. При анализе был использован спектральный анализ и преобразование аналитического сигнала. Высокое пространственное и временное разрешение наблюдений позволило получить ряд новых результатов. В результате был выявлен ряд ключевых свойств колебаний в пятнах,

которые накладывают серьезные ограничения на теорию этих колебаний. Оказалось, что спектр трехминутных колебаний состоит из множества узких спектральных линий, которые являются следствием существования множества независимых колебаний в диапазоне 5-10 мГц, а не одного колебания с периодом пять минут, как это предполагается в моделях колебаний. Причем колебаний на отдельных частотах концентрируются в небольших участках солнечного пятна т.е. колебания в пятне представляют совокупность колебаний в отдельных небольших участках пятна, а не некоторое глобальное колебание всего пятна. Спектры колебаний соседних элементов отличаются друг от друга по частоте и амплитуде. Установлено, что расположение пиков в спектре не является случайным. Определенная регулярность в частотах спектральных пиков указывает на существование низкочастотного резонатора, а наблюдаемые колебания в диапазоне 5-10 мГц это высокочастотные гармоники этого резонанса. Частота этого низкочастотного резонатора соответствует частоте низкочастотных колебаний, которые также наблюдаются в пятне. Наш анализ низкочастотных колебаний также показывает, что эти колебания являются локальными колебаниями, сосредоточенными в небольших участках пятна. Частоты и амплитуды колебаний различны в разных участках пятна, хотя и попадают в узкий интервал частот. Вследствии этого при плохом пространственном разрешении или сглаживании эти колебания могут выглядеть как глобальные колебания всего пятна. Установлена связь между трехминутными и долго периодными колебаниями в пятне. Таким образом, создается впечатление, что низкочастотные и трехминутные колебания возникают в одном и том же низкочастотном резонаторе. Ни одна из существующих теорий колебаний в солнечных пятнах не может объяснить все перечисленные свойства. Обсуждается возможность разработки новой теории колебаний в солнечных пятнах.

АРТЕФАКТЫ И ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Ю.А. Наговицын, А.Л. Рыбак

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

Показано, что учет движения пятна в картинной плоскости по пикселям MDI SOHO в вертикальном направлении приводит к обнаружению ложных периодов долгопериодических колебаний магнитного поля пятен (Y-артефакт) с периодами 700-1300 минут вблизи центрального меридиана. Наблюдаемая мода колебаний, которую другие авторы считают предельной низкочастотной модой пятна, – артефакт. Предложен способ контроля этого артефакта с помощью вейвлет-преобразования, позволяющий исследовать периоды колебаний в диапазоне $15 < T < 500$ минут. По наблюдениям 45 пятен построена экспериментальная картина зависимости частоты колебаний магнитного поля пятна от его напряженности. Картина имеет многомодовый характер и не противоречит предыдущим данным наземных исследований. Предложена интерпретация полученной картины, основанная на существовании четырех геометрических мод колебаний, обнаруженных ранее.

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF THE SOLAR AND SUNSPOT MAGNETIC FIELDS AND ITS IMPLICATIONS ON UNDERSTANDING AND PREDICTION OF THE SOLAR ACTIVITY

V.V. Zharkova¹, S.J. Shepherd², E. Popova³, and S.I. Zharkov⁴

¹*Department of Mathematics and Information Sciences, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, UK, valentina.zharkova@northumbria.ac.uk,*

²*School of Engineering, University of Bradford, Bradford, BD7 1DP, UK,*

³*Department of Physics, Moscow State University, Lebedev str. 1, Moscow, 119991, Russia,*

⁴*Department of Physics and Mathematics, University of Hull, Kingston-upon-Tyne, HU6 7RS, UK.*

PCA analysis reveals two main temporal PCs in SBMF of opposite polarities originating in the opposite hemispheres and running noticeably off-phase (with about a two and half year delay), with their maximums overlapping in the most active hemisphere for a given cycle. Their maximum magnitudes are reduced by factor 3 from cycle 21 to 23 overlapping in the Northern hemisphere for cycle 21, the Southern one in cycle 22 and in the Northern again in cycle 23. The reduction of magnitudes and slopes of the maximums of the SBMF waves from cycle 21 towards cycle 23 leads to lower magnitudes of the SBMF wave in cycle 24. Also PCA allowed us to detect 4 pairs of independent components (ICs) in the SBMF latitudinal distributions: the two main ones attributed to symmetric flows and the other three pairs of ICs assigned to asymmetric types of meridional flows. The results implicate dipole and quadruple or triple dipole magnetic structures in the SBMF, which seems to vary from cycle to cycle in the form of two waves travelling off phase, with a variable phase shift. The similar PCs and ICs were found in temporal and latitudinal distributions of the sunspot magnetic field for cycle 23. We discuss the first attempts of interpretation of these PCA results with the modified Parker's dynamo models and their possible implications for the prediction of the solar activity for the next few cycles.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТИЛТ-УГЛА БИПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ

Е.А. Илларионов, А.Г. Тлатов, Д.Д. Соколов, В.В. Пипин

МГУ, г. Москва, Россия, egor.mypost@gmail.com

В работе изучается широтно-временное распределение усредненного тилт-угла биполярных областей на Солнце. Для крупных биполей, представленных в основном солнечными пятнами, тилт-угол оказывается положительным в северном полушарии и отрицательным в южном с небольшими вариациями по ходу солнечного цикла. Тилт-угол может рассматриваться как трассер, характеризующий скорость генерации полоидального магнитного поля из тороидального – ключевого механизма солнечного динамо. Полученные нами значения тилт-углов соответствуют приблизительно 1/10 от среднеквадратичной скорости оборота ячеек в конвективной области Солнца. Результаты этой работы согласуются с параметрами закона Джоя, представленными в работе Стенфло и Косовичева, и в целом соответствуют представлениям современной теории солнечного динамо. Неожиданным оказался результат, связанный с поведением малых биполей, образованных преимущественно эфемерными областями. Тилт-угол для них имеет схожее абсолютное значение, однако противоположен по знаку по отношению к крупным биполям. Несмотря на то, что процесс определения мелких биполей гораздо менее однозначен, представленный результат остается устойчивым при различных модификациях процедуры обработки исходных данных.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ОДНОСЛОЙНОЙ И ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДАХ

Е.П. Попова, К.А. Потемина, Н.А. Юхина

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

Принято считать, что действие механизма динамо обеспечивает генерацию магнитного поля Солнца и других звезд. Он основан на учете совместного действия альфа - эффекта и дифференциального вращения. На основе такой схемы построены динамические системы для однослойной и двухслойной сред с учетом меридиональных потоков и толщины конвективной зоны звезды. Показано, как в таких моделях возможно воспроизведение двойного цикла (квазидвухлетнего на фоне 22-летнего), а также наличие режима, аналогичного одновременному присутствию квазидвухлетнего, 22-летнего и 100-летнего циклов. Были сделаны оценки влияния меридиональных потоков, турбулентной диффузии, толщины конвективной зоны, амплитуд альфа-эффекта и дифференциального вращения на режимы генерации магнитного поля (осцилляции, васцилляции, динамо-всплески, режимы, аналогичные двойному и тройному циклам) в рамках рассматриваемых моделей. Для различных режимов построены баттерфляй-диаграммы для тороидального и полоидального полей, а также для спиральности.

СТАЦИОНАРНЫЕ НЕОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ МАГНИТНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ С ТЕЧЕНИЯМИ ПЛАЗМЫ: МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН, КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР И ФЭНОВЫХ (FAN-SPINE) СТРУКТУР

А.А. Соловьев, У.А. Киричек

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

Обсуждается новое точное аналитическое решение стационарной задачи идеальной МГД для скорости течений плазмы и температурно-плотностных распределений в магнитной конфигурации с двумя компонентами магнитного поля – вертикальным и радиальным. Магнитное поле не предполагается осесимметричным. В применении к солнечному пятну угловая зависимость величин в данной модели впервые позволяет моделировать не только отклонения формы пятна от круговой, но и тонкую волокнистую структуру полутени солнечного пятна. Альвеновское число Маха, определяемое как отношение скорости течений плазмы к альвеновской скорости, равняется нулю в центре пятна и нарастает к периферии, что соответствует характеру течений Эвершеда в солнечном пятне. Полученное стационарное решение можно также использовать для описания фэновых корональных магнитных структур (fan-spine topology), а также корональных дыр неправильной геометрической формы

ТЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ПЕРЕХОДНОМ СЛОЕ МЕЖДУ КОРОНОЙ И ХРОМОСФЕРОЙ СОЛНЦА

О.В. Птицына, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, olga.ptitsyna@gmail.com, somov@sai.msu.ru

Для различных скоростей потока плазмы, задаваемых на нижней границе переходного слоя, получены зависимости плотности и давления плазмы, а также её скорости от температуры в магнитной трубке, один конец которой опущен в хромосферу, а другой находится в короне. Найдено стационарное распределение температуры вдоль магнитной трубки. В каждой точке распределения имеет место баланс между нагревом классическим тепловым потоком, потерями энергии на излучение оптически прозрачной плазмы и переносом энергии, связанным с потоком плазмы. Нагрев хромосферы осуществляется потоками энергии из конвективной зоны. Определены: диапазон скоростей плазмы на нижней границе переходного слоя, для которого распределения концентрации и давления плазмы в переходном слое не будут «чувствовать» наличие потока плазмы, и диапазон скоростей плазмы на нижней границе переходного слоя, для которого возможно возбуждение ударных волн в переходном слое.

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ФИЗИКЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Б.В. Сомов

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

Современные космические наблюдения солнца обладают высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Это позволяет наблюдать и исследовать эффект магнитного пересоединения в так называемой сверх-горячей (с электронной температурой больше 10 кэВ) замагниченной плазме в солнечных вспышках, в короне и солнечном ветре. Доступны самому всестороннему изучению вторичные эффекты, вызываемые вытекающими из пересоединяющего токового слоя потоками энергии в виде быстрых гидродинамических течений, мощных тепловых волн и ускоренных до высоких энергии заряженных частиц. Важно, что именно эти вторичные эффекты составляют наблюдаемую картину вспышки. Представлен краткий обзор специфических свойств крупномасштабного магнитного пересоединения в больших вспышках на солнце. Рассматривается вопрос об интерпретации современных численных экспериментов по пересоединению во вспышках, в частности, аналитических моделей пересоединения в токовых слоях типа токового слоя сыроватского, но с присоединенными мгд течениями, а также с разрывами токового слоя. Обсуждается проблема эволюционности полученных аналитических решений. Дан краткий обзор новых задач, связанных с наблюдаемыми проявлениями вспышечных потоков энергии в атмосфере солнца.

Somov B.V., *Physical Processes in Solar Flares*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1992.

Somov B.V., *Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares*, Springer Science+Business Media, LLC, New York, 2013.

ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ НА СОЛНЦЕ И ОСОБЕННОСТИ ВЫХОДА НОВЫХ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ В 2011-2013 гг.

А.А. Головки

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

Метод идентификации новых магнитных потоков на основе процедуры мультифрактального сегментирования карт продольного фотосферного магнитного поля по данным спектромагнитографа SOLIS, описанный в работе (Головки А.А., Салахутдинова И.И., *Астрономический журнал*, 2012, №6, С.458), использован для исследования закономерностей вспышечной активности. По ежедневным картам новых магнитных потоков отдельно для N- и S-полярности определены величины занимаемой ими площади и коэффициенты корреляции суммарных площадей той и другой полярности по интервалам, соответствующим кэррингтоновским оборотам. Обнаружено, что всплески повышенной вспышечной активности в оборотах №№ 2107, 2115-2116, 2121, 2136, 2124 соответствуют интервалам с аномальным поведением магнитного поля, когда площадь, занимаемая одной полярностью, увеличивается, в то время как площадь противоположной полярности сокращается. Эта же особенность отмечалась ранее в работах М.Р. Martres et al. (Meudon Observatory) и работах сотрудников Крымской астрофизической обсерватории (А.Б. Северный, С.И. Гопасюк) в отношении отдельных больших мультиполярных активных областей. Её проявление в масштабе значительной доли поверхности Солнца может быть связано с особенностями развития больших комплексов активности и крупномасштабного магнитного поля.

НАКОПЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В КОРОНАЛЬНОМ ТОКОВОМ СЛОЕ В ПРЕДВСПЫШЕЧНОМ СОСТОЯНИИ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА

И.М. Подгорный¹, А.И. Подгорный²

¹*ИНАСАН, г. Москва, Россия, podgorny@inasan.ru,*

²*ФИАН, г. Москва, Россия, podgorny@lebedev.ru.*

Последние годы появилось много публикаций, в которых предлагаются различные механизмы возникновения вспышек. В этих работах предполагается появление некоторой неустойчивой системы токов, которая при распаде обеспечивает нагревание и ускорение плазмы. Предполагается, что токи в короне генерируются на Солнце. Рассматривается два сценария: 1) токовая неустойчивость вызывает диссипацию магнитной энергии, запасенной в магнитном поле продольного тока, или 2) происходит быстрое возрастание тока в короне. В некоторых работах возрастание тока объясняется МГД неустойчивостью. При этом не делается никаких попыток объяснить, каким образом предлагаемая неустойчивая, а иногда даже неравновесная, токовая система могла бы образоваться над активной областью при наблюдаемой динамике фотосферного магнитного поля, или каким образом МГД неустойчивость может вызвать концентрацию магнитной энергии. Исключением является модель солнечной вспышки, основанная на образовании токового слоя в окрестности особой линии X-типа за счет возмущений, поступающих от фотосферы и концентрации магнитной энергии в магнитном поле коронального токового слоя в предвспышечном состоянии. При переходе токового слоя в неустойчивое состояние происходит взрывное ее выделение. Этот механизм вспышки не постулируется, а следует непосредственно из результатов численного МГД моделирования. Образование токового слоя не задается, а его формирование демонстрируется в численных экспериментах, когда начальные и граничные условия

соответствуют реальному предвспышечному состоянию. Независимым доказательством правильности модели вспышки, основанной на токовом слое, является поведение магнитного поля активной области перед и во время вспышки. Показано, что для возникновения вспышки необходимо сложное большое поле активной областью, которое создает в короне конфигурацию, содержащую особые линии магнитного поля. Обработанный нами большой массив данных, полученных на аппаратах SOHO и SDO, показал отсутствие изменений магнитного поля активных областей, вызываемых вспышкой, что является независимым доказательством модели вспышки, основанной на взрывном выделении энергии магнитного поля, запасенной в токовом слое над активной областью в предвспышечном состоянии.

ПРИРОДА СУБ-СЕКУНДНЫХ ВЫСОКОДОБРОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

В.В. Зайцев¹, А.В. Степанов², П. Кауфман³

¹*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,*

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

³*Universidade Estadual de Campinas/CCS, Campinas, SP, Brazil.*

Предложен механизм суб-секундных пульсаций терагерцового излучения солнечных вспышек, основанный на представлении вспышечных арок в виде эквивалентного электрического (*RLC*) контура. Механизм объясняет период осцилляций, их высокую добротность, $Q \geq 10^3$, синфазность пульсаций на разных частотах и наблюдаемые зависимости (Kaufmann et al. *ApJ* **697**,420,2009) частоты осцилляций от потока ТГц-излучения. Методом Ван дер Поля решено нелинейное уравнение для осцилляций электрического тока и найдено установившееся значение амплитуды осцилляций. Предложенная модель пульсаций свидетельствует в пользу плазменного механизма терагерцового излучения (Зайцев и др. *ПАЗ* **39**,726,2013).

ОСОБЕННОСТИ СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

В.С. Махмутов, Г.А. Базилевская, Ю.И. Стожков, А.А. Квашнин

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

В докладе представлены особенности субтерагерцового излучения солнечных вспышек, установленные из данных наземных радионаблюдений в последние 15 лет. Обращено внимание на динамику спектра радиоизлучения в процессе развития солнечной вспышки. Обсуждаются перспективы исследования солнечных вспышечных событий в терагерцовом диапазоне электромагнитного излучения Солнца.

РЕЗОНАНСНОЕ ЗАТУХАНИЕ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОРОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПЕТЕЛЬ

М.С. Рудерман

*Шеффилдский университет, г. Шеффилд, Англия, m.s.ruderman@sheffield.ac.uk,
ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

Изгибные колебания корональных магнитных петель впервые наблюдались в 1998 году на борту космического аппарата TRACE. Эти колебания были интерпретированы как быстрые изгибные стоячие магнитогиродинамические волны в магнитных трубках. Характерной особенностью этих колебаний являлось быстрое затухание за время порядка нескольких периодов колебаний. Наиболее вероятным механизмом этого затухания является резонансное затухание. В первых теоретических работах резонансное затухание исследовалось на основе уравнений идеальной магнитной гидродинамики. При этом для определения декремента затухания использовался метод аналогичный методу используемому при исследовании затухания Ландау. Позже был предложен другой подход. Колебание рассматривалось как собственная волновая мода *диссипативной* магнитной гидродинамики. Механизм резонансного затухания необходим для объяснения быстрого затухания магнитогиродинамических волн и колебаний в слабо диссипативной плазме. В такой плазме диссипация важна только в тонких диссипативных слоях охватывающих резонансные поверхности, где частота коллективных колебаний совпадает с локальной Альфвеновской частотой. Поэтому собственные моды описывались идеальной МГД всюду кроме диссипативного слоя, где использовалась диссипативная МГД. Получаемый декремент совпадает с декрементом вычисленным на основе линеаризованных уравнений идеальной магнитной гидродинамики. С помощью решения начальной задачи было показано, что фундаментальная изгибная мода возникает из начального возмущения за время порядка одного периода колебаний. Однако движение приближённо описывается нормальной модой только вдали от резонансной поверхности. В диссипативном слое охватывающем резонансную поверхность движение приближённо описывается модой диссипативной МГД только по истечении времени порядка периода колебаний умноженного на $Re^{1/3}$, где Re - число Рейнольдса. Поскольку типичное значение числа Рейнольдса в короне варьируется от 10^{12} до 10^{14} , движение в диссипативном слое описывается собственной модой диссипативной МГД только по истечении времени порядка 10^4 периодов после начала колебаний. Как уже отмечалось выше, наблюдения показывают, что изгибные колебания корональных магнитных петель затухают за время порядка нескольких периодов колебаний. В связи с этим возникает вопрос: можно ли использовать декремент собственной моды диссипативной МГД для оценки времени затухания поперечных колебаний корональных петель? Для ответа на поставленный вопрос была решена начальная задача, описывающая поперечные колебания тонкой магнитной трубки, вызванные начальным возмущением. Было получено интегродифференциальное уравнение описывающее эволюцию возмущений в трубке в линейном приближении. Это уравнение было исследовано аналитически и численно. В результате было показано, что вначале эволюция амплитуды колебаний описывается гауссовой функцией, а не затухающей экспонентой как в собственной моде диссипативной МГД. Затем зависимость амплитуды меняется и постепенно переходит в затухающую экспоненту. В результате декремент собственной моды диссипативной МГД даёт заниженное значение времени затухания. Однако разница между временем затухания полученным в результате решения интегродифференциального уравнения и временем затухания собственной моды диссипативной МГД не велико и не превышает 30% для всех значений параметров корональных петель рассмотренных в работе.

НАБЛЮДЕНИЯ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СЛАБЫХ ВСПЫШЕК

И.Ю. Григорьева, М.А. Лившиц

*ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, irina.2014.irina@mail.ru,
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, maliv@mail.ru.*

Рассмотрен вопрос о возможности возникновения жесткого рентгеновского излучения во вспышках баллов В и С по классификации GOES. Некоторые из таких вспышек с излучением свыше 100 кэВ были зарегистрированы на спутнике Suzaku широкополосным монитором всего неба (WAM) с эффективной площадью $\sim 800 \text{ см}^2$ на 100 кэВ (Akira Endo, et. al., 2010, PASJ, 62, p. 134). Каталог представлен на сайте <http://adsabs.harvard.edu>. Изучена эволюция соответствующих активных областей (АО) по наблюдениям на микроволнах (РАТАН-600) и по данным вакуумного ультрафиолета. Рассмотрена возможность формирования источника с жестким рентгеновским излучением как на постэруптивной фазе больших вспышек, так и вне их в АО с различной площадью пятен. Проводится сравнение с данными спутника RHESSI для событий, зарегистрированных WAM/Suzaku в период 2006-2007 годов, и для слабой вспышки B9.5 (22:36 UT, 08.11.13) в АО NOAA 11890.

О ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ РАДИОИСТОЧНИКОВ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНЫХ РАДИОВСПЫШЕК

Г.П. Чернов¹, В.В. Фомичев¹, Р.А. Сыч², Yan Yihua³, Fu Qijun³, Д.А. Жданов²

¹*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия, gchernov@izmiran.ru,*

²*ИСЗФ, г. Иркутск, Россия,*

³*Key Laboratory of Solar activity, NAOC, Beijing, China.*

Измерения положений и размеров источников тонкой структуры являются определяющим фактором при выборе механизма радиоизлучения. Для объяснения самой интригующей зebra- структуры (ЗС) было предложено более десятка механизмов. В модели на двойном плазменном резонансе (ДПР) радиоисточник должен быть распределенным по высоте в короне, но квази-стационарным. В модели взаимодействия вистлеров с плазменными волнами источник тоже распределенный, но движущийся. Движение определяется величиной и направлением групповой скорости вистлеров, поэтому изменения пространственного дрейфа источников должны происходить синхронно с изменениями частотного дрейфа полос на динамическом спектре. В метровом диапазоне такая синхронность уже наблюдалась. В дециметровом диапазоне попытка определения смещения источника в течение одной полосы зевры в явлении 14.12.2006 с помощью системы FASR (Chen et al. Ap.J. 736, 64, 2011) не удалась из-за недостаточного временного разрешения, ~ 20 мс примерно на таком же временном интервале. В этой работе рассматривался механизм ДПР, а модель с вистлерами была отброшена из-за неточного определения групповой скорости вистлеров. С введением в строй нового Китайского солнечного радиогелиографа в дециметровом (CSRH I с угловым разрешением $10''$ на 2 ГГц) и микроволновом (CSRH II с разрешением до $1.4''$ на 15 ГГц) диапазонах появится новая возможность для наблюдений движений радиоисточников в каждой полосе ЗС. На примере нескольких событий показана важность позиционных наблюдений. В явлении 24.02.2011 впервые обнаружено, что появление ЗС совпало с моментом магнитного пересоединения в линии SDO/AIA 171 Å. 11.04.2013 ЗС наблюдалась в ходе разгорания вспышечной аркады петель в линии SDO/AIA 335 Å. Только позиционные наблюдения помогут понять процессы в источниках, когда

волокна (fiber bursts) появляются на фоне развитой ЗС с сильной сверхтонкой структурой в виде миллисекундных спайков, что наблюдалось 01.12.2004.

О ТОНКОЙ СТРУКТУРЕ СПЕКТРА СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЕКАМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

Е.Я. Злотник¹, В.В. Зайцев¹, В.Н. Мельник², А.А. Коноваленко², В.В. Доровский²

¹ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, zlotnik@inbox.ru,

²РИ НАНУ, г. Харьков, Украина.

Обсуждается специфическая тонкая структура на динамическом спектре радиоизлучения, обнаруженная спектрографом на телескопе УТР-2 (Харьков, Украина) в диапазоне частот 14-30 МГц. Структура наблюдается на фоне широкополосного всплеска IV типа и состоит из параллельно дрейфующих узких полос повышенного (по сравнению с фоном) излучения и поглощения. Наблюдаемая структура отличается от широко известной зебра-структуры на метровых и дециметровых волнах тем, что в фиксированный момент времени частотный дрейф в пределах одной и той же полосы может иметь разный знак. Показано, что особенности такой структуры можно объяснить в рамках плазменного механизма происхождения излучения на основании эффекта двойного плазменного резонанса в неоднородной магнитной ловушке в короне. Предложена модель источника, которая обеспечивает наблюдаемый специфический частотный дрейф зебра-полос.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА УСКОРЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

В.Г. Курт¹, Б.Ю. Юшков¹, К. Кудела²

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия,

²ИЭФ Словацкой АН, г. Кошице, Словения.

Появление в солнечной атмосфере протонов, ускоренных во время мощных вспышек до субрелятивистских энергий (свыше 300 МэВ), может быть надежно установлено по наблюдению высокоэнергичного гамма-излучения с характерным спектром, формирующимся при распаде пионов. Однако число событий с достоверными наблюдениями такого излучения во время импульсной фазы вспышки крайне ограничено. Мы проанализировали эти события и сопоставили временные профили высокоэнергичного гамма-излучения и других электромагнитных излучений и показали, что «пионное» гамма-излучение появляется тогда, когда энерговыделение вспышки превышает половину своего максимального значения. Интервал максимальной интенсивности «пионного» гамма-излучения наилучшим образом совпадает с интервалом максимума производной мягкого рентгеновского излучения, dI_{SXR}/dt . Эта производная обычно рассматривается как индикатор энерговыделения вспышки, поэтому ускорение протонов до субрелятивистских энергий начинается, как правило, во время максимального энерговыделения.

TRAPPED ENERGETIC ELECTRONS OF CORONAL LOOPS IN THE DECAY PHASE OF SOLAR FLARES

Yuriy Tsap, Jing Huang, Yihua Yan

*Crimean Astrophysical Observatory, Crimea, Ukraine,
Central Astronomical Observatory at Pulkovo, Saint-Petersburg, Russia, yur_crao@mail.ru.*

On the basis of the trap-plus-precipitation model, the peculiarities of non-thermal emissions in the decay phase of solar flares have been considered. The calculation formulas for the escape rate of trapped electrons into the loss cone in terms of time profiles of HXR and MW emissions have been obtained. It has been found that the evolution of the spectral indexes of non-thermal emissions depends on the regimes of the pitch angle diffusion of trapped particles into the loss cone. The properties of non-thermal electrons related to HXR and MW emissions of the solar flare on 3 November 2004 are studied with the NoRH, NoRP, RHESSI, and GOES observations. The spectral indexes of MW and HXR emissions were constant or decreased, while the MW escape rate as distinguished from the HXR one was increased. This can be associated with different diffusion regimes of trapped electrons into the loss cone. New arguments in favor of an important role of the strong diffusion for high energy electrons in flare coronal loops have been obtained.

ГИРОРЕЗОНАНСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С НЕМАКСВЕЛЛОВСКИМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

А.А. Кузнецов, Г.Д. Флейшман, В.П. Максимов, В.Э. Капустин

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

Гирорезонансное излучение генерируется тепловыми электронами на низких гармониках электронной циклотронной частоты; оно может быть использовано для диагностики параметров активных областей солнечной короны, включая структуру магнитного поля. Теория гирорезонансного излучения для классических максвелловских распределений электронов хорошо разработана. Однако существует ряд доказательств того, что равновесные распределения электронов в солнечной короне (в особенности, в активных областях) не являются максвелловскими и лучше описываются так называемыми каппа-распределениями или n -распределениями. В данном докладе мы представляем теорию гирорезонансного излучения для указанных немаксвелловских распределений, включая аналитические формулы и численные средства для вычисления параметров излучения. Излучение от немаксвелловских распределений имеет ряд характерных особенностей, главной из которых является отличная от нуля степень поляризации оптически толстого излучения (в Х-моду для каппа-распределения и в О-моду для n -распределения); данная особенность может быть использована для идентификации типа распределения по наблюдениям. Мы представляем результаты моделирования гирорезонансного излучения (с использованием различных распределений электронов) униполярных активных областей на Солнце и сравниваем эти результаты с наблюдениями Сибирского Солнечного Радиотелескопа и Радиогелиографа Нобеяма.

СТРУКТУРА СОЛНЕЧНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ: 165 ЛЕТ ДОСТОВЕРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ СА

В.Н. Ишков

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

Исследование достоверного ряда (1849 – 2013) относительных чисел солнечных пятен даёт новый сценарий развития солнечной цикличности, (СЦ) который предусматривает регулярную смену режимов солнечной пятнообразовательной при переходе от эпох «повышенной» СА (18 – 22 СЦ) к эпохам «пониженной» СА (12 – 16 и 24 и последующие 4 СЦ) и, наоборот, – от «пониженной» к «повышенной». Весь период долгопериодических изменений занимает примерно (150 ± 20) лет, который легко получается при исследовании периодичности **достоверного** ряда чисел Вольфа. Основные выводы доклада:

- статистики достоверных циклов (**9 – 24**) уже достаточно, чтобы делать первые выводы о тонкой структуре СЦ, а сюрпризы последних прошедших солнечных циклов позволяют начать обсуждение переходных периодов;
- солнечная цикличность состоит из эпох «пониженной» и «повышенной» СА примерно по 5 СЦ, разделённые периодом 1.5 – 2 СЦ, когда происходит перестройка режима генерации магнитных полей в пятнообразовательной области конвективной зоны Солнца к соответствующей эпохе;
- эпохи «пониженной» СА характеризуются большей долей небольших спокойных групп пятен и, соответственно, пониженной вспышечной активностью; в низких циклах значительно уменьшается количество мощных солнечных вспышечных событий и, как следствие, ведёт к небольшому количеству больших магнитных бурь, зато резко увеличивается число и длительность относительно спокойных геомагнитных периодов;
- в эпохи «повышенной» СА значительно увеличивается количество магнитных потоков с быстрой эволюцией, что ведёт к появлению больших вспышечно-активных групп пятен; наблюдается полный набор мощных событий на Солнце и в околоземном космическом пространстве;
- в эти эпохи наблюдательные правила развития циклов и их чередование строго работают;
- в переходные периоды могут возникать отклонения от наблюдательных правил и осуществляться, по-видимому, самые экстремальные вспышечные события (27.08–2.09. 1859 г. – 10 СЦ; 1 – 15.06.1991 г. – 22 СЦ; 28.10- 4.11.2003 г. – 23 СЦ);
- текущий солнечный цикл будет низким, похожим на СЦ 12, и знаменует собой наступление II эпохи пониженной СА со всеми вытекающими отсюда последствиями: наиболее мощные вспышечные события будут происходить на фазе спада текущего СЦ (2015 – 2016 г.);
- **25 СЦ** будет выше текущего с $W^* \sim 100 \pm 20$; СЦ **24 – 28** составят очередную эпоху «пониженной» СА с реализацией циклов низкой и средней величины.

АРИТМИЯ СОЛНЦА. В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

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

ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, cosmoprognoz@mail.ru

Изучение переходного режима к активной фазе солнечного цикла осуществляется на базе мониторинга космических лучей, когда мы, образно говоря, «держим руку на пульсе» солнечной активности, который (в параметре флуктуаций космических лучей) представляет собой - *переходный колебательный процесс* смены знака общего магнитного поля Солнца с *полугодовым* периодом (в циклах 21-23). По сравнению с предшествующими циклами, новый **24 цикл** отличается явно замедленным «пульсом»: на фазе роста и в максимуме текущего 11-летнего цикла доминирует *годовая вариация*. Подобная *аритмия* является, очевидно,

признаком *аномальности* 24 цикла. На больших масштабах, аритмия Солнца проявилась в сбое длительности 11-летней цикличности, обнаруженной нами в 2006г. по результатам вейвлет-анализа флуктуаций космических лучей. На языке «фазовых портретов» (на комплексной фазовой плоскости) такого рода сбой обнаруживается по заметному *увеличению площади*, заметаемой траекторией 23 цикла: <http://www.forshock.ru/predvlong.html>. На базе мониторинга космических лучей сделан вывод, что максимум текущего цикла пройден в 2012г. и, начиная с 2013г., началась геоэффективная фаза начала ветви *спада*. Впервые дан прогноз фазы роста и максимума 11-летнего цикла, с заблаговременностью ~1 оборот Солнца. (<http://www.forshock.ru/predlong.html>).

О РАВНОВЕСИИ И УСТОЙЧИВОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

Б.П. Филиппов

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

Электрические токи, протекающие в солнечной короне, играют важную роль в физике короны. Нарушения равновесия и неустойчивости токов являются причиной спорадических явлений солнечной активности: вспышек, эрупций протуберанцев, корональных выбросов. Нами проанализирован ряд магнитных конфигураций, часто используемых в моделировании вспышек и эруптивных явлений. Показано, что некоторые из них являются неустойчивыми и не могут служить в качестве исходных, в моделях, претендующих на адекватное описание активных солнечных процессов. Обсуждаются хромосферные проявления условий равновесия корональных токов.

КАК ВОЗНИКАЮТ И ДВИЖУТСЯ БЫСТРЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ КВМ, СВЯЗАННЫЕ С МОЩНЫМИ ВСПЫШКАМИ И НЕ СВЯЗАННЫЕ С ЭРУПТИВНЫМИ ВОЛОКНАМИ?

В.Г. Файнштейн¹, Ю.С. Загайнова²

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

²*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

По данным телескопов GOES-12/SXI и SDO/AIA были отобраны несколько быстрых (максимальная скорость которых $\max V > 1500$ км/с), импульсных корональных выбросов массы типа "гало" (ГКВМ), связанных со вспышками М- и X- рентгеновского класса, но не связанных с эрупцией солнечных волокон/протуберанцев. Исследованы их формирование и начальная стадия движения. По особенностям формирования рассмотренные ГКВМ можно разделить на три группы. i) Большая часть изученных ГКВМ возникла вследствие нарушения равновесия (предположительно, из-за всплытия нового магнитного потока) одиночных широких эмиссионных петлеобразных структур, отождествляемых с будущим выбросом, наблюдаемых за несколько часов в канале 195\AA SOHO/EIT до начала поступательного движения выброса массы и начала связанной вспышки. ii) Формирование двух ГКВМ начинается с движения вверх последовательно корональных петель, наблюдаемых сначала в «горячей» линии с $\lambda=131\text{\AA}$. Спустя несколько минут начинают двигаться петли, наблюдаемые на изображениях в более «холодной» линии с $\lambda=211\text{\AA}$, позже – в линии с $\lambda=193\text{\AA}$, и, наконец, - на изображениях с $\lambda=171\text{\AA}$. Воздействие движущихся петлеобразных структур на вышележащие области короны приводит к формированию фронтальной структуры ГКВМ, яркость которой увеличивается при переходе от самой «горячей» линии к

самой «холодной». Кроме этого, наблюдаются петли, движение которых направлено к Солнцу, к источнику выброса массы, что приводит к формированию области пониженной яркости за фронтальной структурой. iii) КВМ может формироваться из нескольких отдельных эмиссионных петлеобразных структур или, возможно, из аркады петель в процессе движения таких структур вверх (это впервые удалось обнаружить на примере одного события). Все исследуемые корональные выбросы массы начали свое поступательное движение до возникновения связанных солнечных вспышек. Исследована кинематика рассмотренных ГКВМ вдоль криволинейных, в общем случае, траекторий в плоскости неба. Сделан вывод о существовании двух типов корональных выбросов массы, различающихся временным профилем скорости, который определяется площадью и магнитной конфигурацией активной области, в которой был сформирован выброс массы. Показано, что гомологичные ГКВМ, т.е. возникшие в разное время в одной и той же активной области, имеют один и тот же тип профиля скорости.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОТЛИЧИЯ В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУХ ТИПОВ КРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

В.Г. Еселевич, М.В. Еселевич

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

Исследованы физические отличия в формировании “постепенных” и “импульсных” СМЕ на высотах $h_0 < 0.2R_0$ непосредственно перед и в течение начальной фазы их движения по данным ультрафиолетовых линий инструмента AIA/SDO (h_0 - высота относительно поверхности Солнца). Показано, что основой структуры “постепенного” СМЕ является магнитный жгут, расположенный в короне. В течение часа и более перед начальной фазой в магнитном жгуте происходят следующие процессы: усиливается яркость и увеличивается поперечный размер (толщина), сначала, низко лежащих внутренних структур жгута, а затем структур его внешней оболочки, наиболее удаленной от Солнца. При этом жгут остается неподвижным. Начальная фаза “постепенного” СМЕ начинается с движения внешней оболочки магнитного жгута, которая становится затем основой фронтальной структуры СМЕ. При этом внутренние низко лежащие структуры жгута остаются на этом этапе, практически, неподвижными. Начальная фаза “импульсного” СМЕ начинается с появлением вблизи фотосферы движущейся от Солнца полости, динамика которой, предположительно, отражает всплытие из-под фотосферы магнитной трубки с холодной плазмой. Встречая на своем пути арочные структуры, магнитная трубка сталкивается и увлекает их за собой. Эти структуры участвуют в формировании СМЕ, основу которого составляет сама магнитная трубка. Сравнение результатов расчета всплытия из конвективной зоны магнитной трубки, как результат развития неустойчивости Паркера, с экспериментом подтверждает вывод о том, что наблюдаемая динамика полости отражает движение магнитной трубки с холодной плазмой.

НАБЛЮДЕНИЯ КОРОНАЛЬНОГО ВЫБРОСА МАСС С ПОМОЩЬЮ ВУФ ТЕЛЕСКОПОВ ТЕСИС

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

ФИАН, г. Москва, Россия, reva.antoine@gmail.com

Мы исследуем корональный выброс масс, произошедший 13 мая 2009 года, с помощью данных ВУФ телескопов ТЕСИС и коронографов LASCO. Телескопы ТЕСИС строили изображения Солнца в длинах волн 171 и 304 Å. На изображениях ТЕСИС солнечная корона видна вплоть до двух радиусов Солнца. Коронографы LASCO строят изображения в видимом диапазоне и покрывают расстояния от 2 до 30 радиусов Солнца. Наблюдения рассматриваемого выброса уникальны: 1) наблюдается полная эволюция выброса от поверхности Солнца до границ поля зрения коронографов LASCO; 2) наблюдения выполнены в линиях 171 и 304 Å, поэтому можно исследовать, как протуберанец выброса взаимодействует с более горячей корональной плазмой; 3) наблюдения выполнены под удобным углом – он произошел на лимбе. На изображениях в линии 171 Å выброс выглядит как яркая U-образная структура. Яркие структуры на изображениях 171 Å подсвечивают магнитное поле солнечной короны. Согласно стандартной модели корональных выбросов масс протуберанец должен находиться в центре кольцевых магнитных линий, то есть в центре кривизны U-образной структуры, которую видно на изображениях в линии 171 Å. Мы сравнили изображения в линиях 171 и 304 Å и обнаружили, что протуберанец находится ниже его теоретического местоположения. Движение выброса нерадиально – он начинается на высоких широтах, затем, следуя искривленной траектории, достигает экваториальных широт. Выброс относительно медленный – ему требуется 14 часов, чтобы достичь поля зрения коронографа LASCO. Скорость (v) и ускорение (a) выброса увеличивается мере его удаления от Солнца: у поверхности Солнца $v \sim 20$ км/с и $a \sim 1$ м/с², в поле зрения коронографа LASCO C3 $v \sim 200$ км/с и $a \sim 5$ м/с².

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ХАРАКТЕРА СВЯЗИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ С СООТВЕТСТВУЮЩИМИ РЕНТГЕНОВСКИМИ ВСПЫШКАМИ В ТЕЧЕНИЕ 11-ЛЕТНЕГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Е.В. Иванов

ИЗМИРАН, МО, г. Троицк, Россия, ivstp@mail.ru

Исследован характер связи корональных выбросов массы и соответствующих рентгеновских вспышек в течение 11-летнего солнечного цикла. Возрастание скорости и соответственно энергии КВМ на фазе спада 11-летнего солнечного цикла по сравнению с меньшими значениями скорости и энергии КВМ на фазе роста для вспышек в среднем одного и того же рентгеновского балла интерпретируется с точки зрения изменения структуры крупномасштабного магнитного поля, определяющего различный вклад отдельных активных областей и комплексов активных областей в генерацию КВМ и вспышек на различных фазах солнечного цикла.

СЕКЦИЯ «СОЛНЦЕ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНОВОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЦА, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО ДАННЫМ SOHO/MDI И SDO/HMI

В.Н. Обридко, В.Е. Чертопруд

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

Анализ данных SOHO/MDI (ежедневный ряд карт напряженности солнечного магнитного поля B) в работах [1-4] выявил две особенности в поверхностном распределении фонового магнитного поля Солнца. Одна из них – разная зависимость интенсивности фонового поля от расстояния до центра солнечного диска (эффект центр – край) для более слабых и более сильных полей. У слабых фоновых полей, определяемых условием $|B| < B_0$ ($B_0 \sim 50$ Гс), наблюдался рост интенсивности от центра к периферии солнечного диска, а у более сильных полей, определяемых условием $|B| > B_0$, – спад. Другая особенность фонового магнитного поля – асимметрия север-юг, знак которой на низких широтах ($\leq 30^\circ$) совпадает со знаком асимметрии север-юг для чисел солнечных пятен, определенных в двух полушариях. На независимом материале – по данным SDO/HMI (“синоптические” карты HMI (1024*1024) [<http://jsoc.stanford.edu/data/hmi/fits/>]) проведен новый анализ особенностей поверхностного распределении фонового магнитного поля Солнца. Подтверждаются ранее выявленные особенности фонового магнитного поля Солнца (эффект центр – край и асимметрия север-юг). Авторы признательны коллективу сотрудников SOHO/MDI и SDO/HMI за предоставленные данные. Работа поддержана грантами РФФИ 11-02-00259-а и 13-02-01183-а.

- [1]. Иошпа Б.А., Обридко В.Н., Чертопруд В.Е. *Мелкомасштабное фоновое магнитное поле Солнца в 23 солнечном цикле.* // ПАЖ. 2009. Т.35. №6. С.472-480.
- [2]. Обридко В.Н., Чертопруд В.Е. *Динамика фотосферного магнитного поля вблизи экватора Солнца* // *Астрономический журнал.* 2012, т. 89, N2. Р. 173-179.
- [3]. Обридко В.Н., Чертопруд В.Е. *Асимметрия север-юг плотности распределения $f(B)$ напряженности B фонового магнитного поля Солнца.* Сборник тезисов 8-й конференции «ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ», 4-8 февраля 2013г, ИКИ РАН, с.50-51.
- [4]. V.N.Obridko, V.E.Chertoprud, K.M.Kuzanyan. North-south asymmetry in the density of distribution of the solar background magnetic field // *Sol. Phys.* (in press).

О ВЕРОЯТНОМ ПРОИСХОЖДЕНИИ СТАЦИОНАРНОГО СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

К.И. Никольская

ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова; г. Москва, г. Троицк, Россия, knikol@izmiran.ru

Обобщаются основные результаты анализа скоростей стационарного солнечного ветра (СВ) – регулярных истечений солнечной плазмы, не связанных с КВМ, – по данным измерений скоростей солнечных Ulysses - in situ - и IPS - дистанционных.

1. СВ формируется в фотосфере и поступают в околосолнечное пространство как высокоскоростные потоки плазмы с начальными скоростями 900-1000 км/с, которые названы первичными высокоскоростными потоками (ПВП). Приводятся наблюдения, подтверждающие фотосферное происхождение ПВП.

2. Проходя между поверхностью фотосферы и поверхностью источника ПВП либо тормозятся в замкнутых магнитных полях (ЗМП) Солнца, если таковые оказываются на их пути, и превращаются в медленный солнечный ветер ($V < 500 \text{ км/с}$), либо претерпевают захват с образованием короны ($T_e \approx 1 - 10 \text{ МК}$).
3. Если ЗМП на их пути отсутствуют, ПВП уходят в гелиосферу как быстрый СВ со скоростями $700-800 \text{ км/с}$, испытав только гравитационное замедление. Только эти потоки наблюдаются в эпохи минимумов на всех гелиоширотах вне пояса стримеров и на всех гелиоцентрических расстояниях, кроме $r \leq 13R_{\text{Sun}}$.
4. Приводятся аргументы, подтверждающие фотосферное происхождение ПВП.
5. С точки зрения классической термодинамики в «холодной» сплошной среде, какой до настоящего времени считалась фотосфера, спонтанное возникновение потоков плазмы со скоростями $\sim 1000 \text{ км/с}$ не возможно. Однако, все меняется, если рассмотреть эту проблему в рамках фрактальной топологии. Проблема из pure exterior превращается в проблему interiorexterior – воздействия внешней среды (вакуума) на процессы во внутренней фотосфере Солнца.

ИССЛЕДОВАНИЕ В ИК-ДИАПАЗОНЕ СВОЙСТВ ТЕНИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

Ю.С. Загайнова

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

В работе изучено поведение контраста пятен в ИК - диапазоне, температуры тени солнечных пятен и параметров линий триплета He I 10830, в том числе эквивалентной ширины основного и слабого компонентов триплета гелия с использованием новой методики исправления за рассеянный свет данных наблюдений, получаемых с наземных телескопов не оснащенных адаптивной оптикой. Исправление данных наблюдений за рассеянный свет является обязательным этапом их обработки, позволяющим существенно увеличить качество наблюдательного материала и провести достоверный анализ данных и интерпретацию полученных результатов. Известно, что рассеяние солнечного излучения происходит на оптических поверхностях телескопа и в спектрографе, а также в атмосфере Земли. Например, атмосферная дымка приводит к уменьшению контраста изображений и к уменьшению регистрируемой глубины спектральных линий. На практике приходится учитывать суммарный вклад всех этих факторов, которые в итоге определяют «постоянную составляющую рассеянного света» данных наблюдений. Турбулентные движения, всегда присутствующие в земной атмосфере, приводят к появлению «эффекта дрожания»: изображения и спектры выглядят «смазанными» или «замытыми», что уменьшает пространственное разрешение телескопа и, значит, ограничивает возможность исследования тонкой структуры солнечной атмосферы с Земли. В работе проведено исправление данных наземных наблюдений за рассеянный свет, в том числе исключение «постоянной составляющей рассеяния» и «эффекта дрожания», что позволило более качественно обработать данные. В разработанной методике исправления за рассеянный свет из спектров вначале исключается «постоянная составляющая рассеянного света»¹, определение которой осуществляется путем сравнения выборочных спектральных линий с атласом солнечного спектра для спокойных областей солнечной атмосферы, наблюдаемых вблизи центра диска Солнца. Затем исключается вклад «эффекта дрожания». При реализации методики исправления данных за рассеянный свет необходимо учитывать конечные размеры Солнца, поэтому использовать для исправления за «эффект дрожания» методы звездной астрономии, в которых изображение одиночной звезды не в насыщении принимают за функции рассеяния

точки, оказываются неприменимыми. В работе предложен метод определения функция рассеяния точки для Солнца, как объекта с конечными размерами из профиля контраста пор и малых солнечных пятен с вырожденной полутенью. С использованием этого метода, показано, что значения эквивалентной ширины триплета He I 10830 в тени солнечных пятен зависит от их площади, причем характер этой зависимости различается для головных и хвостовых пятен. Анализ данных показал, что использование нового метода исправления спектров за рассеянный свет позволяет более точно определить контраст пятен и оценить температуру в зависимости от площади тени солнечных пятен.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА СКЛ В ОБЛАСТИ <10 МЭВ

Л.Л. Лазутин, Ю.И. Логачев

НИИЯФ МГУ г. Москва, Россия, l.l.lazutin@gmail.com

Каталог НИИЯФ 1997 - 2008 гг. наряду с традиционным представлением потоков протонов с энергией выше 10 МэВ, впервые продолжен в область меньших энергий вплоть до 250 кэВ. Протоны малых энергий ускоряются во время солнечных вспышек и тем самым расширяют информацию о процессе ускорения частиц. Вместе с тем, существенное смягчение спектра свидетельствует и о проблеме выхода из области ускорения. Каталог 1997 - 2008гг. позволяет получить статистические данные о потоках и спектре СКЛ в этой области энергий. В докладе приводятся первые результаты анализа спектров протонов СКЛ за 1997 - 2001 гг.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЯДОВ ВОЛЬФА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛАНЕТ

В.Г. Соколов, Л.В. Корси

*ОАО НЦЛСК «Астрофизика», г. Москва, Россия, vsokolov@comtv.ru;
Larissa.Korsi@gmail.com.*

Проведено совместное статистическое исследование рядов Вольфа и расположения планет на тысячелетнем интервале наблюдений, и обнаружена тесная связь этих процессов. Циклы и осцилляции солнечной активности определяются расположениями планет. Солнечная активность определяется суммой и произведением тригонометрических функций разностей гелиоцентрических долгот планетных пар. Сформулированы статистические законы управления солнечной активностью планетами: закон планетных пар и закон их совместного каскадного действия. Законы справедливы как для планет гигантов, так и для планет земной группы. Циклы солнечной активности определяются периодами смены конфигураций отдельных планетных пар и комбинационными частотами, возникающими при каскадном действии нескольких пар планет. Уточнены средние продолжительности тысячелетнего, двухвекового, хэйловского цикла и полувековых осцилляций. Флуктуации продолжительности 11-летнего и векового циклов объясняются обилием биений с комбинационными частотами. Разработана гипотеза физического механизма планетной обусловленности солнечных циклов. Пары планет оказывают гравитационное воздействие на медленные заряженные частицы, исчерпавшие энергию на периферии солнечной системы, и формируют нисходящие потоки этих частиц. Планетные пары участвуют как самостоятельно (аддитивно), так и каскадно, передавая поток от одной пары к следующей, что приводит к нелинейным мультипликативным процессам. Интенсивность потоков обусловленных планетами невелика, но она регулярна. Существуют другие мощные спорадические потоки,

участвующие в формировании кольцевых токов Солнца. В эпохи минимума 11-летнего цикла регулярные и быстро флуктуирующие нерегулярные кольцевые токи создают магнитные поля, вмороженные в поверхностных слоях солнечной плазмы. Знакопеременные магнитные поля за один оборот Солнца взаимно компенсируются. Регулярная компонента сохраняется и образует глобальное дипольное магнитное поле напряженностью ~ 2 Гс. Дипольное магнитное поле, в соответствии с теорией Бэбкока, запускает новый 11-летний цикл. Происходит формирование биполярных магнитных групп и других проявлений солнечного цикла. Энергетику процесса обеспечивает дифференциальное вращение Солнца. На основе статистических законов построена математическая модель, устанавливающая однозначную связь гелиоцентрических долгот планет с солнечной активностью, рядом Вольфа. Модель позволяет рассчитывать динамику солнечной активности с высокой точностью на продолжительных временных интервалах. Аналитическая модель позволяет заглянуть в прошлое. Расчетные результаты сопоставлены с летописными данными о полярных сияниях и концентрацией радиоактивного углерода в кольцах деревьев. Получено удовлетворительное совпадение. Модель позволяет рассчитать будущие значения ряда Вольфа и дает новый метод долгосрочного прогноза среднегодовой и среднемесячной солнечной активности. В соответствии с теориями солнечно-земных связей этот прогноз может быть использован для предсказания космической погоды, эпидемий, социальных взрывов, климатических изменений, землетрясений и других явлений на нашей планете.

ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА ПРИ ЭРУПЦИИ ВОЛОКНА

В.Л. Мерзляков

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

Проведены модельные расчеты эрупции солнечного волокна в предположении, что она происходит вследствие движения “вмороженной” плазмы. Наблюдаемые особенности движения волокна, в таком случае, позволяют изучить конфигурацию магнитного поля области выброса и его временную эволюцию. Для типичной ситуации подъема волокна со скоростью ~ 10 км/с были получены следующие результаты: диапазон отношений величин магнитных гармоник октупольной (Q) к дипольной (M) составляет $Q/M \sim 0.001 - 0.01 R_{\text{Sun}}^2$, их относительные временные вариации $(\partial Q/Q\partial t) < (\partial M/M\partial t)$, величина $\partial M/M\partial t \sim +10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Расчеты общего магнитного потока активной области в течение наблюдаемого периода выброса $\sim 10^4$ сек (несколько часов) показали его практическое постоянство, максимально возможная вариация составляет 13%.

К МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ: НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА

В.А.Ковалев

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, vic.kov@yandex.ru

Предложена новая модель вспышки, начальная фаза которой представляет собой диссипацию энергии электрического тока или ударной волны, распространяющейся вверх от фотосферы через аркаду магнитных трубок. Особенностью этого сценария является формирование коллапсирующей магнитной ловушки, ограниченной перетяжками магнитной трубки, ускорение заряженных частиц (механизм Ферми) и нагрев плазмы в быстром режиме с обострением (по гиперболическому закону). Альтернативная газодинамика вспышечной

области определяется нелинейным источником - потоками тепла и ускоренных частиц, высыпаящихся из открытой магнитной ловушки в быстром режиме, достигающими оснований магнитной трубки и нагревающими плотную хромосферную плазму, вызывая ее «испарение». При возрастании давления до критического значения ловушка переходит в квазистационарный режим, в вершине магнитной арки формируется горячий источник. Уменьшение пробочного отношения приводит к возрастанию потока частиц в конус (гиперболоид) потерь и сбросу газового давления. В случае недостаточной эвакуации газа повышенное давление ускоренных частиц в ловушке приводит к МГД - неустойчивости и ее разрушению. Возможно формирование раздувающейся трубки или открытой магнитной конфигурации с нейтральным токовым слоем.

ДИПОЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ ИСТОЧНИКОВ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА

В.Л. Мерзляков, Л.И. Старкова

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

Проведена оценка дипольных магнитных моментов источников крупномасштабного магнитного поля Солнца на основе моделирования шлемовидной структуры короны. Это моделирование проводилось в предположении, что наблюдаемая форма шлемов отражает изгибы нейтральной поверхности (областей смены знака радиальной компоненты магнитного поля). В результате проведенных расчетов было установлено, что требуемые изгибы нейтральной поверхности вызывают 12 среднеширотных и 2 полярных источника. В период низкой солнечной активности среднеширотные источники регулярно расположены с 60° долготным интервалом. В эпоху минимума солнечной активности (фаза солнечного цикла < 0.10) их суммарный дипольный момент составляет около $\frac{1}{2}$ от дипольного момента полярных источников. Возможные вариации величин указанных моментов не проявляют явной долготной асимметрии, при этом случайный разброс отклонений может достигать 10 и более раз. В периоды спада солнечной активности выявлены моменты явно выраженной долготной асимметрии с повышением исследуемых величин вблизи одной («активной») долготы. Анализ таких моментов был проведен на примере короны 1952 г. (фаза цикла -0.33) как наиболее типичной. Моделирование короны 1952 г. показало, что долготная вариация моментов источников доходит до 4 раз, а их суммарный магнитный момент превышает момент полярных источников более чем в 2 раза. Для периодов роста солнечной активности (фаза цикла $< 1/3$) подобных моментов наличия долготной асимметрии не установлено, но тенденция увеличения относительного суммарного дипольного момента с ростом солнечной активности имеет место.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОНКИХ СТРУКТУР МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАТАН-600

Д.А. Жданов, С.Х. Тохчукова, С.В. Лесовой

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

Определение местоположения источника тонких структур микроволнового излучения во время солнечных вспышек является нетривиальной задачей. В работе показан метод локализации таких источников по наблюдениям на РАТАН-600. На основе каталога тонких структур наблюдавшихся на спектрополяриметре 4-8 ГГц в 2011–2013 гг. из 80 событий

только в четырех тонкая структура была обнаружена на РАТАН-600. Это следующие события: 2011-08-10 09:34 UT, 2012-06-29 09:13 UT, 2012-07-14 07:35 UT и 2013-03-22 08:39 UT. В событии 10 августа 2011 геометрия петель позволяет оценить местоположение источников сразу на нескольких частотах одновременно. В результате впервые были локализованы источники тонкой структур одновременно на нескольких частотах в диапазоне 5-6 ГГц.

ПРЕДПОСЫЛКИ ДИАГНОСТИКИ ОКОЛОЗЕМНЫХ ПРОТОННЫХ ВОЗРАСТАНИЙ ПО ДАННЫМ О СОЛНЕЧНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ВСПЛЕСКАХ

В.В. Гречнев¹, Н.С. Мешалкина¹, И.М. Черток², В.И. Киселёв¹

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

²*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

Исследования последних лет выявляют более тесную взаимосвязь между солнечными вспышками, корональными выбросами и ударными волнами, чем считалось ранее. Возможно, что и для давно замеченного соответствия мощных околоземных протонных возрастных и интенсивных микроволновых всплесков имеются более глубокие причины, чем «синдром большой вспышки». Исходя из этих предположений, проанализированы возможные соотношения между радиовсплесками, зарегистрированными на 35 ГГц Радиополяриметрами Нобеема, и околоземными возрастаниями потока протонов с энергиями выше 100 МэВ с 1990 по 2012 г. – всего около 100 событий. Большинство западных и умеренно восточных солнечных событий, сопровождавшихся интенсивными радиовсплесками на 35 ГГц, вызвало околоземные возрастания потока протонов с энергиями выше 100 МэВ, превышавшие 1 rfu (частиц/см²/с/стер). Наиболее мощные и жёсткие из них вызвали наземные возрастания уровня космических лучей. Выявлено общее, хотя и с большим разбросом, соответствие между пиковыми величинами протонных потоков, с одной стороны, и всплесков на 35 ГГц (I_{35}). Соответствие особенно выражено при $I_{35} > 10^4$ с.е.п. (1 с.е.п. = 10^{-22} Вт/м²/Гц) и частоте спектрального максимума радиовсплеска значительно выше 10 ГГц. Эти свойства указывают на излучение большого числа электронов высоких энергий в сильнейших магнитных полях и предполагают высокий темп энерговыделения в эруптивном процессе. Типичным для таких событий представляется развитие вспышки над тенью пятна. Независимо от ускорения солнечных частиц высоких энергий во вспышке или на фронте ударной волны, эти результаты демонстрируют высокий диагностический потенциал высокочастотных микроволновых всплесков и вспышек над тенями пятен для прогнозирования космической погоды. Появление мощного продолжительного всплеска на 35 ГГц – оперативный признак опасного повышения радиационного уровня. Установлена следующая эмпирическая зависимость. Если эруптивное событие произошло в западной полусфере Солнца и сопровождалось корональным выбросом и радиовсплеском II типа, то ожидаемый максимум возрастания околоземного потока протонов с энергиями выше 100 МэВ составляет $(I_{35}/3800)^2$ rfu с разбросом в два порядка величины. Четыре исключительных события с мощными протонными потоками и умеренными всплесками на 35 ГГц выпадают из общей закономерности и требуют специального исследования.

ВАРИАЦИИ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В РЕНТГЕНОВСКОМ (94Å) И ДЕЦИМЕТРОВОМ (10.7 СМ) ДИАПАЗОНАХ В 2010-2013ГГ.

Г.С. Иванов-Холодный, В.Е. Чертопруд

ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, vechert@list.ru

По данным SDO/AIA и индексу радиоизлучения $F_{10.7}$ анализируются *одновременные* вариации фонового излучения Солнца на длинах волн 94Å (J_{94}) и 10.7см в 2010 - 2013гг. Используются “синоптические” карты AIA [1] и величины $F_{10.7\text{Adj}}$ [2], взятые с шагом 1 сутки. Для выявления особенностей вариаций фонового рентгеновского излучения отдельно вычислены средние значения излучения J_{94} (J^1) от всего диска Солнца и от его частей, включая северную и южную части на широтах $|\varphi| > 30^\circ$, королевскую зону с $|\varphi| < 30^\circ$ и центральную область с широтами $\varphi \approx \pm 8^\circ$ и долготами $\lambda \approx \pm 8^\circ$, занимающую 2% от всей площади диска. Реализовано несколько вариантов таких оценок при разных ограничениях, накладываемых на минимальное и максимальное значения величин J_{94} , которые использовались при вычислении среднего по рассматриваемой области значения J^1 . Ограничение снизу уменьшает инструментальный и солнечный шум в оценках среднего J^1 , а ограничение сверху редуцирует вспышечный вклад. Полученные ряды ежедневных средних значений J^1 и ряд ежедневных значений $F_{10.7}$, а также ряды их 27-дневных скользящих средних (J^{27} и F^{27}) охватывают интервал более 1200 суток. Их анализ позволил выявить характерные особенности вариаций фонового излучения Солнца. В частности, установлено, что использование ограничений минимального и максимального значения J_{94} лишь слегка увеличивает корреляцию между вариациями фонового рентгеновского и радио излучений Солнца, т.е. влияние шумов и вспышечных эффектов на фоновые оценки незначительно. Наиболее тесная связь между вариациями J^{27} и F^{27} наблюдается при обработке излучения от всего диска Солнца (коэффициент корреляции $r = 0.96 \pm 0.01$). При переходе от всего диска Солнца к королевской зоне связь между вариациями J^{27} и F^{27} уменьшается ($r = 0.88 \pm 0.03$). Для излучения только от северной или от южной части солнечного диска на широтах $|\varphi| > 30^\circ$ связь между вариациями J^{27} и F^{27} еще слабее, но все же значима ($r \sim 0.4 \pm 0.1$). Такое же различие связей в разных областях солнечного диска наблюдается и при обработке не сглаженных индексов J^1 и $F_{10.7}$: для полного диска Солнца $r = 0.88$, для королевской зоны $r = 0.81$, вне королевской зоны $r \sim 0.4$. Связь между индексами J^1 и $F_{10.7}$ несколько слабее, чем между сглаженными индексами J^{27} и F^{27} , т.к. сглаживание ослабляет долготные неоднородности, которые, скорее всего, неодинаково проявляются в излучениях J_{94} и $F_{10.7}$. Эти и другие особенности вариаций, а также наблюдаемая корреляция ($r > 0.6$) в излучении J^{27} от всего диска Солнца и от его центральной области, занимающей всего 2% площади диска, наводят на мысль о единой пространственной структуре вариаций фонового излучения. Итак, вариации излучения от полного диска Солнца, сглаженные на скользящем 27-дневном интервале, тесно связаны ($r = 0.96$) на длинах волн, различающихся более, чем на 7 порядков (от 94Å до 10.7см). Этот факт интересен сам по себе и дополнительно свидетельствует как о единстве механизма исследуемых вариаций, так и о высоком уровне точности наблюдений в разных диапазонах излучения. Его можно использовать при построении индексов солнечной активности по данным SDO/AIA. Авторы признательны коллективу сотрудников SDO/AIA за предоставленные данные. Работа поддержана грантами РФФИ 11-02-00259-а и 13-02-01183-а.

[1]. <http://jsoc.stanford.edu/data/aia/synoptic/>

[2]. <http://celestrak.com/SpaceData/SpaceWx-format.asp>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ ЧИСЛЕННЫМ МГД МОДЕЛИРОВАНИЕМ И СРАВНЕНИЕ С РЕНТГЕНОВСКИМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

А.И. Подгорный¹, И.М. Подгорный²

¹*ФИАН, г. Москва, Россия, podgorny@lebedev.ru*

²*ИНАСАН, г. Москва, Россия, podgorny@inasan.ru*

Впервые показано, что положение токового слоя над активной областью, определенного численным МГД моделированием, совпадает с положением источника теплового рентгеновского излучения вспышки. Условия МГД моделирования задавались непосредственно из результатов наблюдений предвспышечного состояния. Моделирование показало, что накопление энергии для вспышки происходит в магнитном поле токового слоя, созданного фокусировкой возмущений в окрестности особой линии X-типа. Этот результат показывает правильность электродинамической модели вспышки. Главной особенностью модели является утверждение о диссипации магнитной энергии в токовом слое, т.е. о нагревании плазмы в токовом слое. Рентгеновские измерения на космических аппаратах показали, образование над активной областью при вспышке источника теплового рентгеновского излучения. Для проверки правильности модели проведено численное МГД моделирование, в котором установлено положение токового слоя и выполнено сравнение положения обнаруженного токового слоя с положением источника теплового рентгеновского излучения по данным аппарата RHESSI. Сравнения с рентгеновскими наблюдениями, выполненными для вспышки 27 мая 2003 г. в 02:40 в активной области NOAA 10365, показали хорошее соответствие положений источника теплового рентгеновского излучения в картинной плоскости ($x=99''$, $y=64''$ на диске Солнца в геоцентрической системе координат) и токового слоя, полученного МГД моделированием ($x=96''$, $y=56''$). Небольшое различие может явиться следствием неточности определения времени вспышки при моделировании в сокращенном масштабе времени и аппроксимации при использовании численного метода решения. Положение токового слоя, полученного МГД моделированием, находилось по конфигурации магнитного поля при помощи графической системы поиска, разработанной авторами. Система использует свойство токового слоя, согласно которому, максимум абсолютной величины плотности тока располагается в центре токового слоя.

АСИММЕТРИЯ ФОТОСФЕРНОГО И ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

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

¹*СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург, Россия, helena@ev13934.spb.edu*

²*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия*

Исследуется дисбаланс положительных и отрицательных фотосферных магнитных потоков и его связь с асимметрией магнитного поля на поверхности источника и в гелиосфере. Для анализа используются синоптические карты фотосферного магнитного поля Обсерватории Китт Пик (1976 - 2003) и Обсерватории Джона Вилкокса в Стэнфорде (1976 - 2012). Проводится исследование сильных магнитных полей в диапазоне гелиоширот $\pm 40^\circ$. Потоки положительных и отрицательных магнитных полей для северного и южного полушарий Солнца были рассмотрены отдельно. Каждый из четырех магнитных потоков в соответствии с его полярностью можно интерпретировать как магнитный поток ведущих или ведомых пятен одного из полушарий Солнца. Дисбаланс магнитных потоков ведущих пятен северного и южного полушарий Солнца, так же как и дисбаланс потоков ведомых пятен, изменяются с 22-летним циклом, причем знак дисбаланса ведущих/ведомых пятен совпадает

со знаком полярного магнитного поля в северном/южном полушариях Солнца соответственно. Дисбаланс положительных и отрицательных потоков для всей приэкваториальной области ($\pm 40^\circ$ гелиошироты) определяется дисбалансом ведущих пятен. Знак дисбаланса не меняется в течение 11 лет от одной инверсии общего магнитного поля Солнца до другой и всегда совпадает со знаком полярного магнитного поля в северном полушарии. Дисбаланс положительных и отрицательных магнитных потоков характерен не только для сильных полей зоны пятнообразования. Среднее магнитное поле Солнца (Солнце как звезда), которое отражает дисбаланс фоновых полей, изменяется с той же закономерностью, что и дисбаланс сильных полей. Обнаруженные регулярные изменения дисбаланса фотосферных магнитных полей находят отражение в параметрах гелиосферы. Показана связь дисбаланса с квадрупольной компонентой фотосферного магнитного поля, дисбалансом полей на поверхности источника и с дисбалансом межпланетного магнитного поля (разностью между числами дней положительной и отрицательной полярности межпланетного магнитного поля у Земли).

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛИ С КИНК-ОСЦИЛЯЦИЯМИ

Л.В. Филатов¹, В.Ф. Мельников^{1,2}

¹ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия, filatovlv@yandex.ru

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

Квазипериодические пульсации микроволнового и рентгеновского излучения вспышечных петель с периодами $P \sim 10-40$ с можно интерпретировать модуляцией этих излучений МГД колебаниями магнитных петель. В настоящей работе мы проводим моделирование модуляции гиротронного излучения вертикальными поперечными (кинк) колебаниями изогнутой магнитной петли. Решение ищется на основе численного интегрирования нестационарного кинетического уравнения Фоккера-Планка в дрейфовом приближении, учитывающего: а) изменения длины силовых линий и напряженности неоднородного магнитного поля осциллирующей петли, б) бетатронное и Ферми ускорение электронов и их кулоновские столкновения с частицами фоновой плазмы, в) нестационарную и длительную инжекцию энергичных электронов в петлю. Полученные функции распределения электронов используются для расчета характеристик гиротронного микроволнового излучения в различных участках магнитной петли.

ТРЕХМЕРНАЯ ДИНАМИКА ИМПУЛЬСНОГО КОРОНАЛЬНОГО ВЫБРОСА МАССЫ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ

М.В. Еселевич, В.Г. Еселевич

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

По EUV изображениям в полосах 193А и 195А, полученным на инструментах AIA/SDO и EUVI/STEREO-A, исследовалась трехмерная динамика импульсного коронального выброса массы 5 января 2013 г. на стадии его формирования. Формирование данного СМЕ выглядит как результат выброса с поверхности Солнца области, имеющей на EUV изображениях пониженную яркость (полости). Полученная граница полости в трехмерном пространстве позволяет отождествить ее с движущимся магнитным жгутом. Теория тонкой магнитной трубки предсказывает возможность появления движущейся полости, как результата выброса из конвективной зоны плотного сгустка холодной замагниченной плазмы.

АНИЗОТРОПИЯ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВСПЫШЕЧНОЙ ПЕТЛЕ КАК ПРИЧИНА ИНВЕРСИИ ПОЛЯРИЗАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.С. Моргачев, В.Ф. Мельников

*ФГБНУ НИРФИ г. Нижний Новгород, Россия,
ГАО РАН г. Санкт-Петербург, Россия, a.s.morgachev@mail.ru.*

В данной работе было произведено восстановление физических параметров вспышечной петли 19 июля 2012 по данным радиогелиографа Нобеяма (NoRH) и спутника RHESSI. Для этого лимбового события обнаружена инверсия поляризации радиоизлучения от оснований к вершине вспышечной петли (Кузнецов и др. 2014). Нами был применен недавно разработанный метод решения обратной задачи с использованием генетического алгоритма. В ходе работы проводилось восстановление концентрации ускоренных электронов, показателя их энергетического спектра, напряженности магнитного поля и угла между направлением магнитного поля и лучом зрения для отдельных участков вспышечной области. Были использованы данные NoRH о потоках излучения на частотах 17 и 34 ГГц, о степени круговой поляризации на частоте 17 ГГц и о временном профиле плотности тепловой плазмы, полученном по данным RHESSI. В итоге удалось провести удачное восстановление параметров петли для источников излучения в основаниях в предположении как изотропного так и анизотропного пичч-угловых распределений энергичных электронов. Для вершины, где наблюдалась отмеченная выше смена знака круговой поляризации, восстановление параметров удалось выполнить только для анизотропного (квазипродольного) пичч-углового распределения электронов. Этот результат свидетельствует о существовании продольной анизотропии ускоренных электронов в верхней части вспышечной петли.

ИНВЕРСИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СОБЫТИИ 19 ИЮЛЯ 2012

С.А. Кузнецов, А.С.Моргачев, В.Ф. Мельников

*ФГБНУ НИРФИ г. Нижний Новгород, Россия,
ГАО РАН г. Санкт-Петербург, Россия, a.s.morgachev@mail.ru.*

В данной работе проведен детальный анализ спектральных, поляризационных и временных характеристик для лимбового события 19 июля 2012 с использованием данных радиогелиографа Нобеяма. В результате анализа пространственного распределения яркостной температуры ($I=R+L$) установлено присутствие двух вспышечных петель с максимумами яркости в основаниях. Наиболее интересным наблюдаемым фактом является характер поведения знака круговой поляризации вдоль обеих петель. Вблизи оснований знак поляризации отрицателен (преобладает левая поляризация: $R-L < 0$) и остается неизменным в течение всей вспышки. В вершине же поляризация изменяется со временем с левополяризованной на правополяризованную ($R-L > 0$) после максимума микроволнового всплеска. Обсуждаются физические причины обнаруженной пространственной и временной инверсии поляризации.

БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫЕ МГД-ВОЛНЫ И НАГРЕВ КОРОНЫ

В.Д. Кузнецов, Н.С. Джалилов

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

Приводятся свойства МГД волн в бесстолкновительной температурно-анизотропной плазме солнечной короны и рассматривается их роль в нагреве короны. Использование 16-ти моментного МГД приближения для описания бесстолкновительной плазмы короны позволяет изучить МГД волны при наличии тепловых потоков из короны в переходную область. Возникающие при этом неустойчивости волн могут играть роль источника нагрева короны. Проведено сопоставление результатов МГД и кинетического описания волн и неустойчивостей применительно к данным условиям.

НАПРАВЛЕННОСТЬ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК, ЛОКАЛИЗОВАННОГО В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЯХ МАГНИТНОЙ ПЕТЛИ

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

¹*ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН, г.Санкт-Петербург, Россия, Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru*

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

В модели нестационарной кинетики пучков релятивистских электронов, ускоренных в солнечных вспышках, рассчитывается направленность и степень поляризации жесткого рентгеновского излучения из различных частей петли магнитного поля для различных углов наблюдений. При этом рассмотрены модели изотропной и анизотропной в узком конусе углов вдоль направления поля инжекции в вершине петли. Получены функции распределения инжектируемых электронов вдоль петли для различных энергий и pitch- углов в различные моменты времени. Показано, что в результате изменения угловой зависимости ускоренных электронов диаграммы направленности рентгеновского излучения из различных частей петли существенно различаются. Рентгеновское излучение из основания петли в случае анизотропной инжекции может быть менее направленным, чем излучение из вершины петли, что может быть измерено в космических экспериментах. Особенно следует отметить смену знака поляризации рентгеновского излучения в вершине для рассматриваемых моделей инжекции. Величина степени поляризации максимальна в вершине петли и может достигать (15 – 20)% для модели изотропной инжекции, в то время как для анизотропной инжекции она достигает значений -(35 – 50)%. Измерения степени поляризации с пространственным разрешением могут обнаружить указанный эффект смены знака степени поляризации рентгеновского излучения и, тем самым, подтвердить положения данной модели.

МИНУТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

Е.Г. Куприянова, В.Ф. Мельников, К. Шибата К, Асаи А., Шибасаки К.

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

Исследуется квазипериодические пульсации (КПП) излучения вспышки 14 мая 2013 года. Анализируются данные радиогелиографа и радиополяриметров Нобеяма на частотах 17 ГГц и 34 ГГц. Используются методы корреляционного, Фурье и вейвлет анализа. Фурье анализ интегрального (пространственно неразрешённого) потока в течение всего интервала вспышки позволил выделить КПП с периодами порядка 50 с, 60 с, 80 с и 110 с. КПП с периодом 50 с обладают интересными особенностями. На фазе максимума всплеска видны две петли: компактная яркая и протяжённая более тёмная. Временные профили потоков излучения каждой из этих петель имеют характер затухающих синусоидальных осцилляций с характерным периодом 50 с. Более того, КПП в этих двух петлях происходят в противофазе. Найденные значения характерных периодов КПП согласуются с периодами медленных магнитозвуковых волн в наблюдаемых магнитных петлях. Обсуждаются другие возможные физические механизмы осцилляций микроволнового излучения.

МЕЖПЯТЕННЫЕ МИКРОВОЛНОВЫЕ ИСТОЧНИКИ

И.А. Бакунина, В.Ф. Мельников, А.А. Соловьев, В.Е. Абрамов-Максимов

НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия; rinbak@mail.ru

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

Представлены результаты исследования межпятенных источников (МПИ) микроволнового излучения активных областей (АО) 23-го цикла солнечной активности. МПИ, впервые обнаруженные по затменным наблюдениям в начале 70-х годов прошлого века, являются типичными компонентами микроволнового излучения АО. МПИ могут существовать до 2-5 дней, центры их яркости в интенсивности располагаются как над нейтральной линией магнитного поля, разделяющей головную и хвостовую части АО, так и над нейтральной линией внутри тени одного сложного пятна, различные части которого имеют различную полярность магнитного поля. В представляемой работе использованы радиокарты, полученные на радиогелиографах Нобеяма (на двух длинах волн – 0.8 и 1.76 см) и ССРТ (5.2 см). В некоторых случаях привлекались данные многоволновых спектрально-поляризационных наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600, которые позволяют получить детальную информацию о спектрах МПИ в диапазоне 1.6 – 6 см. Выявлен различный характер изменения параметров МПИ в АО с различным уровнем вспышечной активности, а именно, в тех АО, в которых происходили вспышки рентгеновских классов М и X, МПИ отличались более динамичным поведением в сравнении со “спокойными” АО. Предложена модель «трех потоков пятна», объясняющая природу и длительное существование МПИ в АО.

ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ МЕЖПЯТЕННОГО ИСТОЧНИКА В АО 09455

И.А. Бакунина, В.Ф. Мельников, А.А. Соловьев, В.В. Смирнова

НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия, rinbak@mail.ru

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

Исследованы долгопериодические колебания микроволнового излучения протяженного межпятенного источника, наблюдавшегося в интенсивности на частоте 17 ГГц (NoRH) в активной области 09455 (ЦМ: 13.05.2001). Обнаружено, что межпятенный источник колеблется как единое целое с периодом ~ 160 минут, и этот период совпадает с периодом колебаний напряженности магнитного поля головного пятна АО 09455. Предложена интерпретация обнаруженных колебаний в рамках модели собственных колебаний солнечного пятна.

КАКОВА НАИБОЛЕЕ ТИПИЧНАЯ ГЕОМЕТРИЯ ТРЕХМЕРНОГО МАГНИТНОГО ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ?

Ю.В. Думин^{1,2}, Б.В. Сомов¹

¹*ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com*

Настоящая работа является продолжением исследований, докладывавшихся на предыдущей конференции “Физика плазмы в Солнечной системе” в 2013г. В первой части доклада предполагается напомнить основные особенности методики, использовавшейся нами для анализа вероятности возникновения различных топологических конфигураций трехмерного магнитного пересоединения в случайном магнитном поле, и резюмировать полученные с ее помощью результаты. Наиболее важный из них – это вывод о том, что в приближении потенциального поля с подавляющей вероятностью должна реализоваться структура типа “шестишестки” (названная так нами ввиду наличия шести асимптотических направлений), все остальные же типы топологии реализуются с вероятностями, стремящимися к нулю. Во второй части доклада будут изложены и проиллюстрированы наши новые результаты, касающиеся структуры силовых линий магнитного поля в окрестности “шестишестки”. Они позволяют, в частности, получить наглядное представление о том, почему “шестишестки” возникают со значительно большей вероятностью, чем структуры “пропеллерного” типа, рассматривавшиеся во многих работах последнего времени. Кроме того, характерной особенностью силовых линий в окрестности “шестишестки” является то, что с увеличением расстояния они вырождаются в совокупность квази-двумерных структур со стандартной топологией X-типа. Это объясняет, почему на больших масштабах должны хорошо работать квази-двумерные модели магнитного пересоединения, в то время как специфически трехмерные структуры, по-видимому, важны лишь на достаточно малых расстояниях. В целом, полученные теоретические результаты позволяют понять, с чем были связаны серьезные проблемы при попытках идентификации “пропеллерных” структур в наблюдательных данных по трехмерному магнитному пересоединению, и какие топологические конфигурации следует искать в действительности. Работа поддержана грантом РФФИ № 14-02-01275.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО ОДНОВРЕМЕННЫМ МИКРОВОЛНОВЫМ И МАГНИТОГРАФИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

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

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

Представлены результаты исследования колебательных процессов с периодами в несколько десятков минут для ряда пятен по одновременным наблюдениям в оптическом и радио диапазонах. Были использованы радиокарты на волне 1.76 см, полученные с помощью наземного радиогелиографа Нобеяма, а также магнитограммы, полученные на космических обсерваториях *MDI/SOHO* и *HMI/SDO*. Кросс-вейвлет анализ показал наличие похожих цугов в радио и магнитографических данных с периодами 30–40, 60–70, 100–110 и 150–200 минут. Тот факт, что принципиально разные методы выявляют одинаковые периодичности, свидетельствует о солнечной природе явления. Одна из возможных интерпретаций заключается в том, что колебания радиоизлучения и магнитного поля являются проявлением собственных колебаний пятна как целостной магнитной структуры, предсказанных моделью мелкого пятна.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

А.Г. Тлатов, В.В. Васильева, К.А. Тлатова

ГАС ГАО РАН, г. Кисловодск, Россия, tlatov@mail.ru

Выполнена оцифровка магнитных полей солнечных пятен обсерватории Mount Wilson в период 1917-2013 гг. Создана база данных, которая включает координаты, площадь и величину магнитного поля ядер солнечных пятен и пор. Изучены долговременные вариации магнитных полей пятен. Показано, что долговременные тренды напряженности магнитных полей пятен зависят от их размера. Для малых пятен наблюдается локальный минимум в середине 20-го века и рост в 1960 - 1900 гг. Для больших пятен напротив заметна тенденция к уменьшению напряженности после 1960-х годов. Рассмотрен дисбаланс пятен ведущей и хвостовой полярности и также дисбаланс при северо-южной асимметрии. Наибольший дисбаланс наблюдался в середине 20-го века. Установлено, что зависимость напряженности магнитного поля от расстояния от центра диска различна для пятен малой и большой площади, что связано с различным направлением вектора магнитного поля. Рассмотрены свойства магнитных биполей солнечных пятен в период 1917-2013 гг. из изменения с вековым цикле активности.

ДИНАМИКА МИКРОВОЛНОВЫХ МЕЖПЯТЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ И МАГНИТОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЯТЕН КАК ФАКТОР ПРОГНОЗА БОЛЬШИХ ВСПЫШЕК

В.Е.Абрамов-Максимов, В.Н.Боровик, Л.В.Опейкина, А.Г.Тлатов

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

Представлены результаты исследования ряда активных областей (АО), наблюдавшихся в период 2002-2012 гг., в которых произошли вспышки класса X (NOAA 10300, 10365, 10720, 10930, 11158, 11166, 11263, 11283 и 11520). Основная цель работы – исследование процессов, происходящих в АО на предвспышечной стадии, для выявления признаков подготовки больших вспышек. Для сравнения были отобраны несколько АО, в которых не было больших вспышек. Используются данные регулярных многоволновых наблюдений Солнца на РАТАН-600, дающие детальную спектрально-поляризационную информацию в диапазоне 1.6-6 см, двумерные радиокарты, полученные на радиогелиографе Нобейма (NoRH), позволяющие выполнить более точную по сравнению с РАТАН-600 пространственную привязку отдельных радиокомпонент АО благодаря двумерному разрешению, а также изображения и магнитограммы Солнца, полученные на космических обсерваториях SOHO и SDO. Одновременное использование всех этих данных, сочетание спектрально-поляризационных возможностей РАТАН-600 и двумерного разрешения NoRH позволили произвести комплексный анализ выбранных АО. Во всех рассмотренных АО, в которых произошли большие вспышки, за один-два дня до вспышки развился и стал доминирующим микроволновый источник над нейтральной линией фотосферного магнитного поля (“пекулярный” источник). В тех АО, в которых не было больших вспышек, такой источник выявлен не был. Одновременно для тех же самых АО был проведен анализ магнитографических параметров солнечных пятен, который показал, что вспышки класса X происходят в АО с большими значениями магнитного потока ($\sim 10^{22}$ Мх) и быстрым ростом градиента магнитного потока (до $(20-60) \times 10^{20}$ Мх/deg), что отражает геометрическое сближение пятен противоположных полярностей и формирование физических условий возникновения пекулярного источника. Появление такого радиоисточника возможно рассматривать как фактор прогноза мощных вспышек.

11-ЛЕТНИЙ ПЛАНЕТНЫЙ ИНДЕКС СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.П. Охлопков

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, ovpetrovich@yandex.ru

В работах [1,2] мною введен параметр – средняя разность гелиоцентрических долгот планет (СРД), который был использован для сопоставления с солнечной активностью. Наилучшая связь солнечной активности (использованы числа Вольфа) получена для трех планет – Венеры, Земли и Юпитера. В [1,2] была выделена огибающая минимальных значений СРД, которая имеет главную периодичность 22 года и которая хорошо описывает знакопеременный ряд солнечной активности, который тоже имеет главную периодичность 22 года. Было показано, что экстремумы огибающей минимальных значений СРД планет Венеры, Земли и Юпитера хорошо согласованы с 11-летними циклами солнечной активности. В этих экстремумах наблюдаются линейные конфигурации планет Венеры, Земли и Юпитера как при их расположении по одну сторону от Солнца (соединения), так и при расположении по разные стороны от Солнца (три конфигурации). Данная работа является продолжением вышеназванных, и здесь по минимальным значениям СРД (планеты

находятся в соединении, одна конфигурация), а также по минимальным отклонениям планет от линии, проходящей через них и Солнце при расположении планет по разные стороны от Солнца (3 конфигурации), составлен планетный индекс (обозначим его для краткости как JEV, по первым буквам латинских названий планет), объединяющий все 4 конфигурации и однозначно описывающий 11-летний цикл солнечной активности. Планетный индекс JEV рассчитан с 1000 года по настоящее время, и проведено его сопоставление с солнечной активностью. Для периода с 1000 по 1699 гг использован ряд солнечной активности Шове и числа Вольфа (1700 – 2013 гг). Хотя данные по солнечной активности до 1700 года получены косвенным путем, наблюдается полное соответствие числа циклов как в индексе JEV, так и в солнечной активности. Основная по амплитуде периодичность в них совпадает и равна 11.07 лет. Совпадение средней длительности 11-летней периодичности за 1000-летний интервал с точностью до второго знака после запятой доказывает связь индекса JEV с 11-летним солнечным циклом.

[1]. Охлопков В.П., Циклы солнечной активности и конфигурации планет // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2012. № 4. С. 56-61 (Okhlopkov V.P. Cycles of Solar Activity and the Configurations of Planets // Moscow University Physics Bulletin, 2012, Vol. 67, No. 4, pp. 377–383.

<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3103/S0027134912040108>).

[2]. Охлопков В. П., О связи циклов солнечной активности с конфигурациями планет // Известия РАН. Сер. Физ., 2013, том 77, № 5, с. 667–669.

[3]. (Okhlopkov V.P., Relationship of Solar Activity Cycles to Planetary Configurations // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2013, Vol. 77, No. 5, pp. 599–601).

[4]. (Okhlopkov V.P., Cycles of solar activity and the configurations of the planets // 2013, IOPscience, J. Phys.: Conf. Ser. 409 012199), (<http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012199>).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВДОЛЬ МАГНИТНЫХ ПЕТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ RHESI И NOBUEYAMA

Ю.Е. Чариков^{1,2}, Н. Ratcliffe³, Е.Г. Куприянова², А.Н. Шабалин^{1,2}

¹ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН, г. Санкт–Петербург, Россия,

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

³Университет Уорвик (University of Warwick, UK), Yuri.Charikov@mail.ioffe.ru.

Рассмотрены спектральные, временные и пространственные характеристики источников жесткого рентгеновского и микроволнового излучения во время вспышек 24.02.2011г. и 05.06.2005г, полученные во время работы спутника RHESI и наблюдений на радиогелиографе Nobueyama. Первая вспышка интересна тем, что обнаруживает 3 источника ЖРИ с энергией выше 25 кэВ. Два из них локализованы в основаниях магнитной петли в хромосфере, а третий – в вершине петли, в короне. Энергетические спектры ЖРИ жестче в основаниях, чем спектры в вершине. Спектры ЖРИ в обоих основаниях идентичны. Во временных рядах на разных энергиях наблюдаются импульсы с длительностью порядка 30с. Вторая вспышка, 05.06.2005г., показывает соответствие тонкой временной структуры временных профилей микроволнового (34 ГГц) и жесткого рентгеновского (25-300 кэВ) излучений. Во временных профилях обнаружены квазипериодические пульсации с доминирующими периодами порядка 25 с и 50 с. Обращает на себя внимание перераспределение амплитуды глубины модуляции во времени. В течение импульсной фазы всплеска ее амплитуда достаточно высокая, более 50 %. На фазе спада всплеска она уменьшается до 10-20 %. При этом наблюдается перемещение источников как

микроволнового, так и жесткого рентгеновского излучения. Указанные особенности связываются с действием двух механизмов на разных фазах вспышки: модуляцией числа электронов в течение импульсной фазы вспышки и последующим преобладанием МГД осцилляций петли, заполняющейся тепловой плазмой, на заключительной фазе вспышки. Для объяснения указанных особенностей в ЖРИ и микроволновом излучении численно решается нестационарная задача распространения ускоренных электронов вдоль вспышечной петли с учетом кулоновских соударений, магнитного отражения и обратного тока. Анализируются модели изотропной инжекции электронов и анизотропной, в узком конусе углов. Магнитное поле полагается вспышечного переменным вдоль петли и во времени. Показано, что пространственное распределение источников вспышечного излучения и временной ход (пульсации) могут быть объяснены в указанной модели распространения электронов.

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ В ШЕСТИ ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, Россия ishkov@izmiran.ru

По материалам Каталогов солнечных протонных событий (СПС) за 1956 – 2010 гг. и списка СПС за текущий 24 солнечный цикл (СЦ) рассмотрены солнечные протонные события с потоком протонов энергии $E > 10$ МэВ в окрестности Земли, превышающем 1 протон $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{sr}^{-1}$ (pfu) на энергиях $E \geq 10$ МэВ. Исторически так сложилось, что измерения потоков протонов начались в эпоху «повышенной» солнечной активности (СЦ 18–22), и охватили переходный период от повышенной к эпохе «пониженной» СА (22–23 СЦ). В текущем 24 СЦ – первом СЦ начинающейся эпохи «пониженной» СА – СПС реализуются в новых условиях, до того ранее не наблюдаемых. Статистика СПС охватывает пять СЦ, один из которых суперцикл (19) – самый большой по числу Вольфа цикл СА за всё время достоверных наблюдений, два высоких (21 и 22) и два СЦ средней величины (20 и 23), принадлежащих к разным эпохам эволюционного развития солнечной цикличности. Из статистики по пяти солнечным циклам с достоверными измерениями потоков протонов (1964–2013) следует, что количество СПС до начала 24 СЦ оставалось примерно постоянным, независимо от высоты солнечного цикла. Только в 22 цикле – цикле начала перестройки солнечных магнитных полей – для протонных событий с 1 pfu их количество заметно уменьшилось, хотя количество протонных событий с потоком 10 pfu показывает рост по сравнению с предыдущими солнечными циклами и достигают максимума в 23 СЦ, т.е. количество слабых событий постоянно убывало. В текущем СЦ картина несколько иная: заметен значимый рост малых СПС. GLE-события занимают $< 20\%$ всех СПС в каждом цикле и осуществляются в небольшом количестве АО, причём наблюдается большая доля серийных GLE-событий (из одной АО). Исследование проводится при частичной поддержке грант РФФИ 13-02-00612.

ЯРКОСТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛЯРНОЙ КОРОНАЛЬНОЙ ДЫРЫ СОЛНЦА В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН НА РАССТОЯНИЯХ ОТ ОДНОГО ДО ДВУХ РАДИУСОВ СОЛНЦА

О.А. Голубчина, А.Н. Коржавин

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

Впервые по наблюдениям солнечного затмения 29.03.2006 г. на Северо-восточном секторе РАТАН-600 определены яркостные температуры и электронные концентрации над северной полярной областью Солнца на расстояниях от 1.005 до 2 радиусов Солнца (R_s) в широком сантиметровом диапазоне длин волн (1.03, 1.38, 2.7, 6.2, 13, 30.7 см). Специально разработанная методика обработки и моделирования полученных наблюдений позволила сделать следующие выводы:

1. Впервые получены распределения яркостных температур в полярной области Солнца на расстояниях от лимба до $2 R_s$:
2. Выявлено резкое падение яркостной температуры на интервале расстояний (1.005 -1.03) R_s на волне 13 см, что, возможно, свидетельствует о нижней границе области формирования солнечного ветра в корональной дыре.
3. На коротких волнах (1.03 – 2.7) см такого уменьшения яркостной температуры не выявлено.
4. Отмечено хорошее совпадение яркостных температур полярной области вблизи лимба Солнца, и средних температурных характеристик корональных дыр, наблюдавшихся ранее на РАТАН-600 вне полярной области, что указывает на их идентичную природу.
5. На волнах 1.03 см и 1.38 см получено распределение электронной концентрации на расстоянии от лимба Солнца до $2R_s$, которое оказалось близким к данным в белом свете для полярной области Солнца в период минимальной солнечной активности.

МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ГАММА-ВСПЛЕСКА ОТ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 14 ИЮЛЯ 2000 г.

Г.Н. Кичигин, Л.И. Мирошниченко, В.И. Сидоров, С.А. Язев

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

В работе на основе комплексного анализа многоволновых данных (рентгеновское и гамма-излучение, оптические наблюдения, данные об энергичных солнечных протонах) предложена новая модель источника ускоренных частиц (типа «пробкотрона»), обеспечивших импульсный гамма-всплеск во вспышке 14 июля 2000г. [1]. Используются результаты моделирования движения ионов, ускоренных до энергий $\sim 10 \div 100$ МэВ/нуклон в электрическом поле $\sim 0.01 \div 0.1$ В/см, имеющем ненулевую составляющую вдоль магнитного поля корональных арок с характерным размером ~ 100 тыс. км [2]. Согласно предложенной модели, гамма-источник в линиях возбуждения ($\sim 4.1 \div 6.7$ МэВ), а также источник в линии захвата нейтронов (2.223 МэВ), совпадали с областью высыпания ускоренных ионов в плотные слои солнечной атмосферы над пятном, где во время гамма-импульса 14 июля 2000г. наблюдались фотосферные магнитные транзиенты [3]. Показано, что суммарный диамагнитный момент ускоренных ионов, задерживающихся в магнитной пробке над пятном, может обеспечить локальное уменьшение магнитного поля пятна на величину до ~ 100 Гс в пределах интервала длительности импульсного гамма-всплеска (около 4 минут).

[1]. Share G.H., Murphy R.J., Tylka A.J., et al. // Solar Physics. 2001. V. 204. P. 41.

- [2]. Кичигин Г.Н., Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Язев С.А. // Физика плазмы. 2014. №3 (в печати).
- [3]. Kosovichev A.G. and Zharkova V.V. // Astrophysical Journal. 2001. V. 550. L105.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОНАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

П.А. Грицык, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, pgritsyk@gmail.com

Согласно современным представлениям энергия солнечных вспышек накапливается в виде магнитных полей в короне и выделяется в пересоединяющем высокотемпературном токовом слое. Одним из каналов выделения энергии является ускорение заряженных частиц до высоких энергий. В настоящей работе, в рамках модели толстой мишени с обратным током, рассмотрена задача о распространении в короне и хромосфере Солнца ускоренных в токовом слое электронов. Показано, что под действием электрического поля значительное количество ускоренных частиц практически без потерь энергии возвращается обратно в источник. На основе функции распределения, описывающей распространение частиц пучка в прямом и обратном направлении от их источника, рассчитаны спектры тормозного жесткого рентгеновского излучения и giro-циклотронного радиоизлучения. Проведено сравнение результатов моделирования с данными космических наблюдений.

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ФОРМЫ МАГНИТОСФЕРЫ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ

С.И. Безродных^{1,2}, Б.В. Сомов¹

¹*ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия,*

²*ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, г. Москва, Россия.*

Рассмотрена модель магнитного пересоединения в магнитосфере нейтронной звезды или другого компактного релятивистского объекта. Магнитосфера сформирована взаимодействием ударной волны большой амплитуды и магнитного поля звезды. В данной (двумерной) модели поле звезды приближается точечным магнитным диполем. Предполагается, что вне его существует протяженная область G , внутри которой поле является потенциальным. Область G , расположенная на комплексной плоскости z , ограничена двумя кривыми: заранее неизвестной кривой S , определяющей форму магнитосферы, и разрезом T , который является сечением токового слоя, перпендикулярного плоскости z . На кривой S выполняется условие равенства внутреннего магнитного и внешнего газового давлений. Рассматриваемая модель сведена к задаче Римана – Гильберта для аналитических функций, решение которой было построено в явном виде. Найдена форма границы магнитосферы и вычислены величины прямых и обратных токов в пересоединяющемся токовом слое. Определена величина нескомпенсированной магнитной силы, действующей на обратный ток. Оценены характерные параметры неравновесной магнитосферы компактных звездных объектов. Показано, что избыточная магнитная энергия магнитосферы сопоставима с механической энергией, вносимой в нее ударной волной в момент удара. Обсуждается возможность ускорения частиц. Somov B.V., Plasma Astrophysics, Part II, Reconnection and Flares. Springer SBM, New York, 2013.

РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПРОЦЕССОВ РЕКОМБИНАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА

А.В. Костров

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

На основании результатов лабораторных экспериментов, в которых обнаружена нелокальная связь процессов ионизации и рекомбинации в нестационарной плазме, предлагается механизм переноса энергии в короне Солнца. Перенос энергии осуществляется ионами, движущимися против силы тяжести под действием электрического поля, создаваемого надтепловыми электронами. Потенциальная энергия ионов, образовавшихся внутри Солнца, в результате рекомбинации выделяется в хромосфере и короне в виде кинетической энергии электронов, электромагнитного излучения со сплошным и линейчатым спектром. Величина электрического поля определяет высоту, на которую могут подняться многозарядные ионы и их изотопы. Электрически легкие ионы с малым отношением $\frac{M}{Z}$, (где M и Z - масса и заряд иона соответственно) покидают атмосферу Солнца и образуют солнечный ветер, электрически тяжелые ионы могут остановиться в хромосфере или короне и определить структуру и спектр излучения вспышки. При рекомбинации кинетическая энергия электрона (температура электронов в короне Солнца) значительно меньше энергии ионизации иона, тогда как энергия уносимая фотоном примерно равна ей. Обсуждаются изображения Солнца, получение в спектральных линиях ионов различных химических элементов. Резкая граница солнечного диска в белом свете свидетельствует о существовании глобального электрического поля вокруг Солнца, которое создается тепловыми электронами фотосферы.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ИНВЕРСИИ ЗНАКА ПОЛЯРИЗАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ 11734

Т. И. Кальтман¹, А. А. Кочанов², И. И. Мышьяков²

¹*СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, arles@mail.ru,*

²*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Проведены совместные наблюдения активной области 11734 с помощью радиотелескопов РАТАН-600 (в полосе частот 3-18 ГГц) и ССРТ (на частоте 5.7 ГГц) с 29 апреля по 11 мая 2013 г. Активная область состояла из головного пятна северной полярности, хвостового пятна южной полярности и ряда мелких пятен. Обнаружено, что микроволновой источник над хвостовым пятном в период прохождения по диску Солнца сохранял аномальную (правую) круговую поляризацию во всей полосе частот, тогда как соответствующее пятну фотосферное магнитное поле имело южную полярность. Для объяснения наблюдательных данных проведена реконструкция коронального магнитного поля активной области в приближении нелинейного бессилового поля. На основе численного анализа сделан вывод о наличии на высотах ~ 50 тыс. км. над хвостовым пятном области квазипоперечного распространения мод радиоизлучения (QTP), что связано с замыканием поля северной полярности головного пятна на флоккульные поля, тесно примыкающие к хвостовому пятну с востока. Проведено моделирование радиоизлучения в предположении о линейном взаимодействии волн в области квазипоперечного магнитного поля как возможной причине инверсии знака поляризации. Расчет радиоизлучения с учетом теплового циклотронного и теплового тормозного механизмов на основе реконструкции магнитного поля и данных

радионаблюдений позволил диагностировать трехмерное распределение физических параметров плазмы в магнитосфере активной области.

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ПЕРИОДЫ МИНИМУМОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.Г. Костюченко¹, Е.Е. Беневоленская^{2,3}

¹НИФХИ им. Л.Я.Карпова, г. Москва, Россия, irkost@itep.ru,

²ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, benevolenskayae@mail.ru,

³Санкт-Петербургский ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.

Исследование поведения магнитных потоков солнечных флоккул и пятен в минимумах солнечной активности (СА) оказывается важным для понимания процесса формирования глобального магнитного поля Солнца. Кроме того, наличие на Солнце единичных комплексов активности позволяет сопоставить с ними вариации полного потока солнечного излучения и его спектральные составляющие, регистрируемые со всего солнечного диска. В работе проанализированы закономерности появления и эволюции на солнечной поверхности среднеширотных магнитных потоков флоккул и пятен, а также площадей солнечных пятен как «старого» так и «нового» циклов в периоды минимумов солнечной активности. Для исследования последних трех минимумов использованы синоптические карты магнитных полей Солнца обсерватории Вилкокса в Стенфорде, для более ранних - данные о площадях и координатах солнечных пятен обсерватории Гринвич. Особое внимание уделено формированию долгоживущих комплексов СА (активных долгот). Детально проследить эволюцию магнитных потоков пятен или их площадей, флоккул и других магнитных структур на протяжении каждого из рассматриваемых минимумов позволяют двумерные диаграммы, на которых данные об активных областях представлены как функции Кэррингтоновского оборота и Кэррингтоновской долготы. Оказалось, что в большинстве рассмотренных случаев появление пятен как «старого», так и «нового» циклов в обоих полушариях происходит преимущественно в одной и той же выделенной полосе кэррингтоновских долгот, которая последовательно смещается с востока на запад. Кроме того, пятна имеют тенденцию к неоднократно повторяющемуся появлению в одной и той же долгоживущей флоккуле. Такое поведение можно объяснить существованием долгоживущего подфотосферного источника всплывающих магнитных потоков, действие которого распространяется на оба полушария, условия его существования не зависят от смены цикла, а скорость вращения несколько превышает кэррингтоновскую. Наличие подобного источника указывает на устойчивые условия генерации на фазе минимума СА неосесимметричного магнитного поля благодаря динамо механизму. Вариации солнечного магнитного поля сопоставлялись с вариациями полного потока солнечного излучения и излучения в УФ-диапазоне. Показано, что магнитные поля пятен и флоккул, несмотря на их невысокие величины, оказывают заметное влияние на все слои солнечной атмосферы, что приводит к периодическим вариациям полного потока солнечного излучения и его спектральных составляющих.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА В ПЕРИОД МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович

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

В статье анализируется ряд факторов, определяющих поглощенную дозу на поверхности Марса в период близкий к минимуму солнечной активности. Рассматривается формирование поглощенной дозы радиации от потоков частиц галактических космических лучей (ГКЛ) и частиц солнечных космических лучей (СКЛ). Расчеты проведены с учетом эффектов генерации заряженных и нейтральных частиц в атмосфере и в грунте Марса потоками первичных частиц ГКЛ и СКЛ. В статье приведены суммарные дифференциальные энергетические спектры для нейтральной и заряженной компонент ионизирующего излучения на поверхности планеты. Суммарная поглощенная доза радиации на поверхности Марса равна ≈ 5 рад/год, при этом вклад потоков нейтронов в поглощенную дозу составляет ≈ 1 рад/год, а доза от воздействия тяжелых ионов и протонов равна ≈ 4 рад/год. Следует отметить, что надежность функционирования электронных систем зависит не только от полной поглощенной дозы радиации, но и от состава ионизирующего излучения. Воздействие одиночных тяжелых ионов и лавин вторичных частиц, образованных в ядерных процессах, могут вызывать сбои и отказы в функционировании электронных систем.

НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В XVII-XIX ВЕКАХ. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Н.В. Золотова, Д.И. Понявин

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

Солнечные пятна являются наиболее известным и характерным проявлением солнечной активности. Задача объяснения и предсказания явлений активного Солнца в первую очередь требует детальных данных наблюдений. В данной работе представлена историческая хронология первых телескопических наблюдений и зарисовок солнечных пятен, рассказывается о наиболее известных наблюдателях с начала XVII века и в эпоху так называемого минимума Маундера. Особое внимание уделено широтно-временной эволюции пятен в преддверии минимума Дальтона по зарисовкам Йохана Каспара Штаудаха, рассказывается о гипотезах потеряннного цикла и нарушении закона Шпёрера. Проводится качественное сравнение зарисовок пятен сделанных в прошлых столетиях и снимков, полученных со спутников и современных наземных обсерваторий. Рассказывается о рукописных описаниях и зарисовках солнечных пятен XVII-XVIII веков, зарисовках прохождения Меркурия по диску Солнца, зарисовках авроральных явлений, об отличии черновых зарисовок от печатных изданий, посвященных затмению Солнца 1769 года и прохождению Венеры по диску Солнца. В настоящее время ведется работа по поиску, обработке и сведению в единый архив данных всех исторических наблюдений за солнечными пятнами.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 20 ЯНВАРЯ 2005г. ПО ДАННЫМ О ЕЁ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИИ

Е.В. Троицкая, И.В. Архангельская, А.И. Архангельский

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

Представлены результаты исследования мощной солнечной вспышки 20 января 2005 г. Анализ данных был проведен по γ -излучению, зарегистрированному аппаратурой АВС-Ф с детектора СОНГ-Д на борту спутника КОРОНАС-Ф. Промоделировав физические процессы, приводящие к гамма-излучению нейтронной линии, мы изучили временной ход узкой γ -линии 2.223 МэВ от захвата вспышечных нейтронов водородом солнечной атмосферы, используя также данные по узким ядерным линиям 4.44 МэВ и 6.13 МэВ. Получены важные выводы о преимущественном ускорении изотопа ^3He в процессе вспышки, сделаны выводы о динамике спектра энергии ускоренных протонов в диапазоне от 1 до 100 МэВ и об эволюции модели плотности подвспышечной области за период вспышки, проанализировано возможное влияние свойств вспышечной петли на результирующее γ -излучение в нейтронной линии. Была предложена интерпретация зарегистрированного слабого пика γ -излучения в диапазоне 15-21 МэВ как суммы ядерного излучения ядра ^{12}C в линии 15.11 МэВ и слабой широкой линии 20.58 МэВ радиационного захвата нейтронов ядрами нуклида ^3He . В диапазоне энергий от 300 кэВ до 100 МэВ исследовано γ -излучение, связанное с рождением пионов во взаимодействиях энергичных нуклонов в процессе вспышки. Рассчитана величина спектрального индекса ускоренных частиц с энергией, превышающей 300 МэВ/нуклон: $s=2.5\pm 0.1$. Анализируется ряд других наблюдательных данных вспышки.

ХРОМОСФЕРНОЕ ИСПАРЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ НЕТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СЕРИИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В АО 0069

Ю.Т. Цап, Л.К. Кашапова, И.Н. Мягкова, А.В. Богомолов, Ю.Г. Копылова

*НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», г. Научный, Украина,
ГАО, г. Санкт-Петербург, Россия, yur_crao@mail.ru.*

Проведен анализ серии солнечных вспышек, наблюдавшихся в рентгеновском и микроволновом диапазоне с 14-го по 24 августа 2002 года, в активной области 0069 с помощью орбитальных станций КОРОНАС-Ф и GOES, а также наземной службы Солнца RSTN. Установлено, что обнаруженные временные задержки между пиками жесткого рентгеновского и микроволнового излучения (Богомолов и др. АЖ, 2014, в печати) варьируются в широких пределах. На основе спектральных характеристик нетеплового излучения исследованы возможные механизмы, ответственные за их происхождение. На примере нескольких событий рассмотрена возможная роль хромосферного испарения в различных сценариях эволюции вспышек.

РЕЗИСТИВНОЕ СЖАТИЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ТРУБОК С ОБРАЩЕНИЕМ ПОЛЯ В ХРОМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

А.А. Круглов

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

В работах Reid & Laing (1979), а также Low (1973) было показано, что в условиях резистивной бессиловой эволюции магнитного поля плоскостойкие или цилиндрические конфигурации поля с обращением поля могут автомодельно сжиматься с течением времени. При этом, в рамках указанных приближений, они сжимаются до точечных размеров за конечное время, сохраняя при этом амплитуду изменений поля. Время сжатия при этом соответствует магнитодиффузионному времени для проводимости плазмы вдоль поля. Также Reid & Laing (1979) было показано, что к тому же эффекту приводит низкая проводимость плазмы поперёк магнитного поля по сравнению с продольной в условиях неподвижной плазмы. В данной работе рассматривается возможность реализации указанного эффекта в нижней хромосфере в окрестности интервала высот с минимальной продольной проводимостью плазмы (100...650 км) и выше. Проводится оценка механизмов, поддерживающих бессиловое в среднем состояние поля, устанавливаются ограничения на поперечный размер магнитной трубки, при котором указанный эффект может обеспечивать сжатие, рассматриваются механизмы выделения энергии магнитного поля, включающиеся на финальной стадии сжатия.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ И НОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭРУПТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Л.М. Якушин

РГУ нефти и газа им. Губкина, г. Москва, Россия, lmyakushin3709@mail.ru

В коллективной работе «Плазменная гелиогеофизика» вспышки и КВМ рассматриваются, как проявления взрывного высвобождения энергии в короне Солнца, сопровождающиеся целой серией явлений, происходящих на всем пути их следования от хромосферы к короне и в гелиосфере. Эти явления проявляются в движениях плазмы, волнах и электромагнитном излучении. Несмотря на различия, эти явления представляют собой следствие одного и того же комплексного процесса, который в рамках единого подхода объединены термином «эруптивные процессы» (ЭП). Таким образом, ЭП представляют собой следствие комплексного взрывного процесса трансформации накопленной энергии магнитного поля в другие ее виды – жесткое излучение, энергию движения плазмы и ускорение потоков электронов и протонов. Но при этом возникают вопросы: за счет чего формируются и накапливаются сами магнитные поля и в них ли основная причина ЭП, как взаимодействуют различные формы материи при своем движении, как формируется существующее распределение температурного поля в атмосфере? Указанные выше явления можно рассматривать как сложные формы движения материи в виде конвективного процесса в атмосфере Солнца. В какой-то мере они являются продолжением конвективных процессов в конвективной зоне его недр. В докладе вначале рассматриваются конвективные процессы в атмосфере Земли, в результате которых в ней формируются циклоны и антициклоны. Они представляют собой типичные примеры динамических структур (ДС). ДС характеризуются трехмерным винтовым характером движения молекул воздуха, при наличии сходяще-расходящейся структуры потоков, относительно оси вращения и максимальными скоростями потока в осевой части и в центре структуры. В соответствии с работой автора они

формируются не только в атмосфере Земли, но имеют широкое распространение, как формы самоорганизации материи из хаотически движущихся элементов среды. В работе Богачева С.А. «Солнечные нановспышки», указывается, что с одной стороны в фотосфере имеется температурный минимум (около 5800 К), с другой стороны солнечная корона раскалена до 2 млн. градусов, хотя термодинамика говорит нам, что тепло не может передаваться от холодного тела к горячему. Автор приходит к выводу, что нагрев короны до такого уровня (без остывания за счет излучения) в основном, осуществляется за счет солнечных вспышек, причем взрываются на Солнце электрические токи. При этом в нагреве короны участвуют не только крупные вспышки, но и «солнечные нановспышки», которые нельзя зарегистрировать современными инструментами, но обладающих огромной суммарной энергией. Мы солидарны с указанной позицией, но при этом, возникают ряд вопросов, относительно условий осуществимости, предложенных физических моделей нагрева атмосферы Солнца, которые включают в себя:

1. Каким образом в плазме происходит концентрация и накопление свободных электронов для формирования электрических токов?
2. Какие процессы обеспечивают формирование температурного минимума на границе фотосферы и хромосферы, его устойчивое существование?
3. Какой процесс происходит при вспышках и увеличении температуры атмосферы, ее распределение по вертикали?

В докладе мы попытались ответить на эти и выше поставленные вопросы, которые основываются на новых, отличных от существующих моделей, и исходных представлений на источники энергии, обуславливающих и поддерживающих указанные процессы. Такое отличие в физических моделях проявляется, прежде всего, в анизотропных свойствах пространства в пределах ДС различного иерархического уровня.

О СУЩЕСТВОВАНИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ В КОНВЕКТИВНОЙ ЗОНЕ СОЛНЦА И МЕХАНИЗМЕ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

П.Г. Плеханов, К.В. Самохин

ГБОУ СПО СМК, АЛ «Космос», г. Самара, Россия, skb.smk@yandex.ru

В авторской работе [2] изложена раздельная динамо – модель солнечной активности, в которой обосновываются механизм генерации слабого магнитного поля в недрах Солнца, его усиления в конвективной зоне, смены 11-и, 22-х летних циклов и диполя. В данном докладе обосновывается предполагаемый механизм усиления слабого магнитного поля в конвективной зоне. Механизм основан на периодическом формировании в конвективной зоне северного и южного полушарий Солнца двух глобальных потоков плазмы в замороженной в магнитные силовые линии противоположной полярности. Период эволюции глобальных потоков плазмы определяет 11-и летний цикл солнечной активности и ее максимум и минимум. Показан способ формирования вокруг северного и южного полюсов Солнца малых потоков плазмы в замороженной в магнитно-силовые линии одной противоположной полярности. Получена взаимосвязь усиления с малых до глобальных потоков плазмы в конвективной зоне с усилением магнитного поля и смещением глобальных потоков плазмы от полюсов Солнца к его экватору. Потоки плазмы при достижении глобальных размеров определяют максимум солнечной активности, которое сопровождается образованием солнечных пятен, вспышек и др. наблюдаемых явлений. Около экватора потоки плазмы ослабевают и наступает период минимума солнечной активности, а силовые магнитные линии потоков плазмы противоположной полярности нейтрализуются. В период минимума вокруг северного и южного полюсов Солнца формируются новые малые потоки плазмы следующего цикла солнечной активности, а плазма уже заморожена в слабые магнитные

силовые линии противоположной полярности (смену полярности определяет механизм генерации слабого магнитного поля в недрах Солнца [2]). В докладе выдвигается предполагаемая модель нового представления о строении конвективной зоны Солнца. Существование механизма формирования глобальных потоков плазмы в конвективной зоне объясняет наблюдаемые явления солнечной активности и физику законов: Швабе-Вольфа, Шперера и Дж. Хейла [1]. Открытие гигантских струйных течений на раскаленной поверхности Солнца является подтверждением существования глобальных потоков плазмы в конвективной зоне [3].

[1]. Витинский Ю.И. *Солнечная активность*. М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1983.-192с.

[2]. Плеханов П.Г. *Солнечная активность (раздельная динамо-модель смены 11 и 22-х летних циклов)*. Монография, Издательство Инкома-пресс, г. Самара, 2011-52с.

[3]. Сообщение геофизики Интернет от 18. 12. 2013г.

СВЯЗЬ ХАРАКТЕРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА С ИХ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

В.М. Садыков, И.В. Зимовец

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, viacheslav.sadykov@gmail.com

Рассмотрено 95 активных областей в некоторый момент их нахождения на диске Солнца. 28 из 95 активных областей наблюдались инструментами MDI/SOHO и TRACE, остальные 67 – HMI/SDO и AIA/SDO. По фотосферным магнитограммам восстанавливались силовые линии магнитного поля в потенциальном приближении в каждой области. Восстановленные линии сравнивались с магнитоплазменными структурами (магнитными петлями), наблюдаемыми в диапазоне экстремального ультрафиолета. На основании мнения группы экспертов сделан вывод о характере поля в области (потенциальное, непотенциальное, промежуточный случай). Информация о характере поля дополнена историей вспышечной активности области. Обсуждаются взаимосвязи характера магнитного поля области и происходящих в ней вспышечных процессов. Из рассмотренных 95 активных областей отобраны те, что зарождались в восточной части видимого солнечного диска. Для этих областей прослежена динамика характера магнитного поля вплоть до момента ухода их за западный лимб Солнца. Обсуждаются общие закономерности и особенности динамики характера поля в этих областях.

НАБЛЮДЕНИЕ АНИЗОТРОПНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

И.В. Зимовец, В.М. Садыков

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

По данным наблюдений радиогелиографа Нансе (151-327 МГц) исследована динамика источников коронального радиовсплеска II типа, сопровождавшего солнечную вспышку рентгеновского класса M1.6 16 февраля 2011г. Обнаружено, что источники радиовсплеска распространялись в узком конусе практически в противоположном направлении относительно выброса плазмы из вспышечной области. Конус распространения источников радиовсплеска совпал с граничной областью, расположенной между двумя системами магнитных петель. Обсуждается возможность интерпретации наблюдений в рамках механизма рефракции и усиления взрывной ударной волны в области пониженных альфвеновских скоростей.

ВЫБОР ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЯДА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ

И.Г. Шибает

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

Определение стандартных (табличных) параметров циклов опирается на ряд W^* , который получают из ряда ежемесячных чисел Вольфа W скользящим усреднением по 13 месяцам ($W \Rightarrow W^*$). Далее, исходя из простых правил, разбивают усредненный ряд на временные интервалы (циклы), которым сопоставляют его длительность T_c , максимальное значение на интервале числа Вольфа W_m и, соответствующий этому максимуму, момент времени T_m ($T_m < T_c$). При таком подходе большинству циклов присуще несколько локальных максимумов и минимумов, а ветви роста и спада имеют различную гладкость, что усложняет определение характеристик необходимых для задач прогнозирования и реконструкции. В работе предлагается вместо усредненного ряда W^* использовать «преобразованный» ряд $P13$, полученный из ряда ежемесячных чисел Вольфа исключением квазидвухлеток и более высокочастотных компонент ($W \Rightarrow P13$) [1,2]. Исходя из этого, ранее была выделена 150-летняя компонента чисел Вольфа и предложена процедура реконструкции амплитуды циклов, при этом использовался усредненный «шаблон» цикла с фиксированной длительностью. Данная работа рассматривает возможность двумерной реконструкции циклов в координатах амплитуда–длительность.

[1]. Ишков В.Н., Шибает И.Г. Циклы солнечной активности: общие характеристики и современные границы прогнозирования // Известия РАН, серия физическая. 2006. Т. 70, №10. С. 1439–1442.

[2]. Шибает И.Г. Оценка восстановленной части ряда чисел Вольфа и возможность её коррекции // Астрономический вестник, т.42, № 1, 2008, с. 66 – 74.

БЕЛЫЕ ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ ПО НАЗЕМНЫМ И КОСМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Г.А. Порфирьева, Г.В. Якунина

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия

Представлен краткий обзор результатов наблюдений белых вспышек (WL) и их связи с HXR-излучением. Используются данные, полученные за последние десятилетия с борта станций SDO, TRACE, Hinode, RHESSI и SOHO. Рассматривается морфология и локализация вспышечных лент и узлов, усиление излучения вспышек в континууме по сравнению с излучением спокойного Солнца в EUV, UV, видимой и инфракрасной областях спектра. Для WL вспышек наблюдается хорошая корреляция эмиссии в континууме и HXR – по времени, интенсивности и локализации на диске Солнца. Обсуждается вопрос о возможных механизмах, ответственных за образование непрерывной эмиссии в WL вспышках и высотах зарождения континуума, и сравнение наблюдений с модельными построениями. Используются данные из Интернета и публикаций в научных журналах.

СЕКЦИЯ «ИОНОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ИСКУССТВЕННОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ И ПЛАЗМЕННАЯ ЛИНИЯ ВО ВРЕМЯ СВИПИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВОЛНЫ НАКАЧКИ ОКОЛО 4-Й ЭЛЕКТРОННОЙ ГИРОГАРМОНИКИ НА СТЕНДЕ НААРР

С.М. Грач^{1,2}, Е.Н. Сергеев^{1,2}, А.В. Шиндин^{1,2}, Е.В. Мишин³, Б. Воткинс⁴

¹ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия, sgrach@rf.unn.ru,

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

³Научно-исследовательская лаборатория ВВС, Киртланд, Нью-Мексико, США,

⁴Университет Аляски, Геофизический институт, Фэйрбэнкс, Аляска, США.

Представлены результаты одновременных измерений искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) и сигналов радара MUIR, рассеянных на плазменных (ленгмюровских) волнах (плазменная линия, ПЛ), во время воздействия на ионосферу радиоизлучения стенда НААРР (Аляска, США, $62,4^\circ$ с.ш., $145,15^\circ$ в.д., магнитное наклонение $\alpha = 75,8^\circ$) при пошаговом изменении (свиписировании) частоты волны накачки (ВН) f_0 в диапазоне $5730 \rightarrow 5930 \rightarrow 5730$ кГц (вблизи 4-й гармоники гирочастоты электронов f_c). Эксперимент выполнялся 28.11.2011 в 16:09-16:18 LT, LT = GMT – 8 ч. Свиписирование осуществлялось с шагом 1 кГц один раз в 0,2 с, т.е. со скоростью $r_{f_0} = 5$ кГц/с, ВН излучалась в направлении геомагнитного поля \mathbf{B} . В начале эксперимента волна излучалась непрерывно в течение 2 мин. на частоте $f_0 = 5730$ кГц $< 4f_c$ для создания «начального уровня» мелкомасштабных неоднородностей, вытянутых вдоль \mathbf{B} , после чего было выполнено 5 циклов свиписирования. В результате эксперимента установлено следующее. Спектр ИРИ при непрерывном нагреве типичен для $f_0 < 4f_c$ при больших мощностях: наблюдаются компоненты downshifted maximum (DM) на отстройке $\Delta f_{DM} = -9$ кГц, 2DM, upshifted maximum (UM) и 2UM [1]. Сигнал ПЛ в первые 2-3 с наблюдался с дальности $d \sim 220$ км, соответствующей высоте отражения ВН, а затем, через ≈ 5 с, с $d \sim 210-212$ км, что соответствует высоте $h = d/(\sin \alpha)$ на \approx на 7 км ниже уровня, где $f_0 = 4f_c$. Во время свиписирования при $f_0 > 4f_c$ в спектре ИРИ наряду с компонентой BUM_S (stationary broad upshifted maximum) с отстройкой пика $\Delta f_{BUM_S} \approx f_0 - nf_{ce}(d) + 15-20$ кГц, традиционно существующей в этой области частот [1], при $f_0 > f^* \sim 5800$ кГц на меньших Δf генерировался динамический BUM_D. Последнее соответствует появлению слоя дополнительной ионизации на 8-10 км ниже основного слоя [2,3]. Соотношение f_0 и $4f_c$, точнее, значение $4f_c$ при попадании f_0 в двойной резонанс $f_0 \approx f_d \approx 4f_c(h_d) \approx 4f_{uh}(h_d)$ (f_{uh} – верхнегибридная частота, h_d – высота двойного резонанса) определялось по значению частоты DM при прохождении минимума интенсивности в динамическом спектре ИРИ во время свиписирования [1] и составляло 5759-5764 кГц. Сигнал ПЛ наблюдался на дальностях d (высотах h), где $f_0 < 4f_c$, причем h уменьшалась с увеличением f_0 в соответствии с высотной зависимостью $4f_c(h)$: разница $\Delta f_{gd} = f_0 - 4f_c$ при изменении f_0 во времени практически не изменялась и составляла $\Delta f_{gd} \approx -(18-22)$ кГц при свипе вниз и $\Delta f_{gu} \approx -(4-8)$ кГц при свипе вверх по частоте. Эти значения соответствуют разнице высоты, где $f_0 = 4f_c$, и высоты генерации ПЛ соответственно $\Delta h \approx 7-8$ км и 1,5-3 км. При свипе вниз по частоте ПЛ наблюдалась только при 5730 кГц $< f_0 < f_d + 10$ кГц, причем при $f_0 \approx f_d$ ПЛ падала до уровня шумов. При свипе вверх верхняя граница генерации ПЛ (по f_0) несколько расширялась и провал интенсивности ПЛ при $f_0 \approx f_d$ наблюдался не во всех сеансах. Кроме того, при свипе вверх наблюдался сигнал ПЛ из области высот, где $f_0 > 4f_c$, (но никогда при $f_0 > f^*$), причем величина $\Delta f_{gu} \sim 8-13$ кГц также оставалась практически неизменной в течение сеанса и соответствовала $\Delta h \sim -4$ км. Обсуждаются возможные причины наблюдаемого поведения ПЛ и ИРИ.

- [1]. Sergeev et al. //Adv. Space Res., 38 (2006) 2518–2526,
 [2]. Sergeev E., Grach S., et al. //Phys. Rev. Lett., 110 (2013), 065002.
 [3]. Грач С. М., Сергеев Е. Н. и др. //Доклады РАН, Серия: Физика, 2014, Т.454, № 5.

ОПТИЧЕСКОЕ СВЕЧЕНИЕ НА ДЛИНАХ ВОЛН 630 И 557,7 НМ ПРИ КВ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ИОНОСФЕРУ ИЗЛУЧЕНИЕМ СТЕНДА «СУРА» В ОБЛАСТИ 4-Й ГАРМОНИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ГИРОРЕЗОНАНСА В СЕНТЯБРЕ 2012 г.

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

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

²НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия,

³ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,

⁴Казанский (Приволжский) ФУ г. Казань, Россия,

⁵ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

В докладе представлены результаты наблюдений искусственного оптического свечения ионосферы в красной и зеленой линиях атомарного кислорода (630 и 557,7 нм соответственно) при мощном вертикальном КВ воздействии на ионосферу передатчиками стенда «Сура» (р.п. Васильсурск, Нижегородская обл.) на частотах в диапазоне от 4,74 МГц до 5,64 МГц волной О-поляризации в сентябре 2012 г. Впервые представлены достоверные результаты прохода частоты волны накачки f_0 через 4-ю гармонику электронного гирорезонанса $4f_{ce}$ в эксперименте 14 сентября 2012 г. Регистрация свечения в линии 630 нм производилась с помощью ПЗС-камер S1C3, КЕО Sentinel и фотометра ФЭУ-79, а в линии 557,7 нм – с помощью фотометров ФЭУ-79 и ФЭУ-100. В ходе экспериментов производилась также регистрация спектров искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), которые позволяли оценивать соотношение f_0 и $4f_{ce}$. Для оперативного отслеживания ионосферной обстановки использовались данные цифровых ионозондов CAD1 (стенд «Сура») и DPS-4D (ИЗМИРАН). Постановка экспериментов такого рода и методика обработки экспериментальных данных подробно изложена в [1]. В ходе экспериментов 11, 13 и 14 сентября 2012 г. получены следующие результаты: (а) Максимальная относительная интенсивность искусственного свечения ионосферы в линиях 630 и 557,7 нм достигала 10% и 2% от фоновых значений, соответственно. (б) Впервые на стенде «Сура» искусственное оптическое свечение в линии 557,7 нм наблюдалось не в одиночных сеансах нагрева, а в нескольких сеансах подряд в каждом эксперименте. (в) В эксперименте 14 сентября 2012 г. при проходе f_0 через $4f_{ce}$ наиболее интенсивное свечение в линии 630 нм наблюдается, когда $f_0 < 4f_{ce}$, но находится в непосредственной близости от нее. Наиболее интенсивное свечение в линии 557,7 нм наблюдалось при $f_0 \sim 4f_{ce}$. В экспериментах на стенде EISCAT (Тромсе, Норвегия) в 2002 и 2004 гг. интенсивность свечения при $f_0 > nf_{ce}$ была выше, чем при $f_0 < nf_{ce}$ ($n = 2,3$) [2]. (г) Зависимость между размерами и формой пятна искусственного свечения от частотной отстройки ($f_0 - 4f_{ce}$) не выявлена. (д) При сближении f_0 и критической частоты $F2$ -слоя ионосферы f_{OF2} на величину менее 500 кГц эффект появления пятна искусственного свечения в линии 630 нм сменяется на противоположный эффект потемнения фона. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-02-00513-а, 13-02-00957-а, 13-02-12074-офи_м, 13-02-97072-р_поволжье_а.

- [1]. Грач С.М., Клименко В.В., Насыров И.А. и др. // Изв. Вузов. Радиофизика, 2012. Т. 55, № 1-2. С. 36-56.
 [2]. V. Gustavsson, T.B. Leyser, M. Kosch & al. // Physical Review Letters, 97, 195002 (2006), doi: 10.1103/PhysRevLett.97.195002.

ВОЗМУЩЕНИЯ В КНЧ/ОНЧ СИГНАЛАХ, ВЫЗВАННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ИОНОСФЕРУ КВ ПЕРЕДАТЧИКА НААРР И РЕГИСТРИРУЕМЫЕ НА СПУТНИКЕ DEMETER

Е.Е. Титова, А.Г. Демехов, А. Мочалов, А.Б. Пашин, М.М. Могилевский, М. Парро

ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, lena.titova@gmail.com,

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,

ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

По данным спутника DEMETER нами впервые обнаружены возмущения в КНЧ (<1200 Гц) и ОНЧ (< 20 кГц) частотных диапазонах, обусловленные воздействием на ионосферу мощного КВ передатчика НААРР (62.39°N, 145.15°W, L = 4.9). КНЧ/ОНЧ сигналы были зарегистрированы на электрических антеннах в дневные часы (LT=11-12) при максимальной мощности передатчика (3.6 МВт), излучавшего на частотах 4.5-5 МГц близких к критической частоте (foF2) ионосферного слоя F, время нагрева до пролета ИСЗ составляло 10-15 минут. На высоте спутника DEMETER около 700 км пространственный размер области возмущений в КНЧ/ОНЧ сигналах, вызванных работой нагревного стенда, имеет размеры ~10² км. Амплитуда КНЧ шумов увеличивалась над областью нагрева в 2-8 раз по сравнению с фоновым уровнем. Проанализированы амплитуды, спектры и поляризация возмущенных КНЧ шумов, проведено сравнение с характеристиками естественных КНЧ шумов над передатчиком НААРР. В ОНЧ диапазоне сигналы, связанные с работой передатчика НААРР, регистрировались на частотах выше характерных частот нижнего гибридного резонанса > 6-7 кГц для дневных пролетов спутника DEMETER. При работе передатчика НААРР в режиме импульсной модуляции с периодом 1.4с модуляция сигналов с периодом нагревного ВЧ передатчика регистрировалась только в ОНЧ диапазоне на частотах 14-19 кГц, при этом в возмущенных КНЧ электростатических шумах, регистрировавшихся в зоне над передатчиком, модуляция не наблюдалась. Обсуждаются возможные механизмы возбуждения КНЧ/ОНЧ сигналов над нагревным стендом НААРР на высотах спутника DEMETER.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРНОЙ БУРИ В F ОБЛАСТИ И ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЕ – ПОДХОДЫ, ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.В. Клименко¹, В.В. Клименко¹, Д.С. Котова², И.А. Носиков², К.Г. Ратовский³

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

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

³*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.*

Ионосферная буря связана с цепочкой событий и явлений в космическом пространстве, связанных с процессами, происходящими на Солнце (солнечные вспышки, выбросы корональной массы, изменение межпланетного магнитного поля и параметров солнечного ветра), передаваемых через магнитосферу (усиление электрического поля магнитосферной конвекции, изменение потоков и энергий высыпающихся частиц) вплоть до термосферы (Джоулев нагрев нижней термосферы, глобальная перестройка термосферной циркуляции, изменение состава нейтральной атмосферы). По знаку возмущений электронной концентрации в F области ионосферы разделяют положительную и отрицательную фазы ионосферных бурь. Знак ионосферных возмущений зависит в частности от рассматриваемой широты. Так, в высокоширотной области ионосферы практически всегда формируется

отрицательная фаза, а на средних широтах и при приближении к низким широтам возрастает вероятность появления положительной фазы. На данный момент накоплен огромный материал, который помог объяснить механизмы формирования обеих фаз бурь на различных широтах. Однако, существуют и некоторые важные нерешенные вопросы и разногласия, которые, по нашему мнению, могут быть разрешены с помощью самосогласованных моделей термосферы-ионосферы с учетом электродинамических процессов. Ранее нами с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП) были получены следующие результаты: (1) дано описание возможного механизма формирования дополнительных слоев в приэкваториальной F области ионосферы, (2) корректно выделены ионосферные эффекты возмущенного динамо электрического поля, прямого проникновения поля магнитосферной коньекции к средним и низким широтам и эффекты сверхэкранирования; (3) сделана оценка вклада вариаций термосферных параметров в общую картину изменчивости низкоширотной ионосферы на различных фазах геомагнитной бури; (4) дана оценка различных механизмов формирования положительной и отрицательной фаз ионосферных бурь. Кроме того, нами были представлены результаты модельных исследований распространения радиоволн КВ диапазона от гипотетических передающих станций на различных фазах геомагнитных бурь. При этом параметры среды распространения радиоволн рассчитывались с использованием модели ГСМ ТИП. В данном докладе будут рассмотрены: (1) преимущества использования таких моделей, как ГСМ ТИП для исследования ионосферных эффектов геомагнитных бурь по сравнению с моделями, описывающими только ионосферу; (2) важные выводы для объяснения механизмов формирования ионосферных бурь, полученные с помощью численных моделей; (3) до сих пор нерешенные вопросы, которые могут быть решены при помощи модели, разработанной в ЗО ИЗМИРАН. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-31217 и Программы 22 РАН.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ К ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Б.В. Козелов

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

Прикладные методы математической морфологии (ММ) в последние годы активно развивались в связи с необходимостью решения задач автоматического распознавания объектов на ТВ изображении, в картографии и машинном зрении. Наземные оптические наблюдения полярных сияний имеют ряд особенностей (сильные аспектные искажения, малая контрастность, отсутствие четкой формы, объемность свечения), которые необходимо учитывать при использовании ММ для анализа пространственно-временной структуры аврорального свечения. В докладе обсуждаются примеры использования методов ММ для получения пространственно-временных характеристик пульсирующих полярных сияний и мультиплетных авроральных дуг, а также при триангуляции. Использовались данные комплекса MAIN из 5 авроральных камер с различным полем зрения, установленных в Апатитах. Комплекс позволяет регистрировать как крупномасштабное распределение аврорального свечения в окрестности с радиусом ~400 км, так и мелкие ~100 м детали вблизи магнитного зенита. Наблюдения из двух точек вблизи магнитного зенита дают возможность оценить высоту области свечения.

DEPENDING ON MAGNETIC ACTIVITY GLOBAL DISTRIBUTION OF PRECIPITATING IONS: DMSP F6 AND F7 SPACECRAFT OBSERVATIONS

V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, Yu.V. Katkalov

ПГИ РАН, Россия, (PGI, Kola Scientific Center, RAS), Yagodkina@pgia.ru

Observations of precipitating particles with energies from about 0.3 to 30 keV from DMSP F6 and F7 spacecraft are used to examine precipitation ion characteristics in different MLT sectors under different magnetic activity levels. It is shown that in the dusk sector the positions of electron and ion precipitation boundaries are nearly coincident for all levels of magnetic activity. However, the latitudinal distribution of energy fluxes indicates that the positions of electron and ion precipitation maxima are spatially separated. Maximum energy fluxes of ions is observed at the equatorial precipitation boundary, while those of electrons at the poleward one. In the dawn sector, the electron precipitation region is 3° -4° wider than that of ions. The isotropy boundary in the dusk sector is located in the region of diffuse precipitation (DAZ) near its poleward boundary for all levels of magnetic activity, while in the dawn sector it falls in the region of structured precipitations (AOP). Electron precipitations are dominating in all MLTs with the exception of the evening sector from 1500 to 2100 MLT. Here in the region of diffuse precipitation (DAZ) the ion energy fluxes are significant. The ratio of ion to electron energy fluxes increases from ~0.7 to ~ 3.0 with AL magnetic activity index changing from -100 nT to -1000 nT. The magnetic activity depending global ion precipitation model is developed on the base of statistical treatment of spacecraft observations. This model (APMI - auroral precipitation model, ions) at a specified level of magnetic activity (AL and Dst indices) has allowed one to receive a global distribution of both average ion energy and ion energy flux in coordinates of corrected geomagnetic latitude - MLT. Comparison of APMI with the model of electron precipitation (APME) show that one hemisphere power of ion precipitation makes only about 14% as compared to the electron power during a low magnetic activity level and decreases up to ~4% during $|AL| > 1000$ нТл.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

Р. Ю. Лукьянова^{1,2}, А. Козловский³

¹ГЦ РАН, г. Москва, Россия *renata@aari.nw.ru*,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Финляндия.

Вертикальное зондирование ионосферы с 1-минутным разрешением в обс. Соданкюля проводится непрерывно с 2007 г. Суперпозиция ионограмм позволяет выделить квазипериодические осцилляции высоты F-слоя с периодом от нескольких минут до часов (акустико-гравитационные и гравитационные волны) и определить их амплитуду. Статистический анализ показывает долгопериодные вариации амплитуд, связанные с сезоном года и солнечной активностью, зависимость от геомагнитной активности и сдвигов нейтрального ветра в нижней ионосфере. Обсуждаются источники волн в нижней атмосфере и в области авроральных электроджетов и высыпаний частиц. Для анализа привлекаются данные метеорологического радара в обс. Соданкюля, ионосферных радаров SuperDARN, глобальные и локальные геомагнитные индексы.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ПРИЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЕ

О.М. Бархатова^{1,2}, Н.А. Бархатов², Г.И. Григорьев³

¹ФГБОУ ВПО ННГАСУ, Россия, o.barkhatova@inbox.ru,

²ФГБОУ ВПО НГПУ, Россия,

³ФГБОУ ННИРИ, Россия.

В качестве основных источников генерации крупномасштабных возмущений в ионосфере часто рассматриваются авроральные электроджеты, землетрясения и цунами, а также высокоэнергичные события искусственного происхождения – наземные и высотные взрывы и искусственный нагрев ионосферы. При этом рядом исследователей [Liu et al., 2011] обнаружены повышенные по сравнению с классическими акустико-гравитационными волнами скорости переноса возмущений до 2.3-3.3 км/с. Однако, согласно [Сорокин и Федорович, 1982], для распространения АГВ больших пространственных масштабов со скоростями более 1300 м/с температура ионосферы недостаточно высока. Анализ переноса ионосферных возмущений магнитогравитационными волнами (МГВ) [Бархатов и др., 2012], дает характерные скорости до 4000 м/с. В данной работе в рамках МГД приближения при учете гравитационного и геомагнитного полей в приэкваториальной области ионосферы получены дисперсионные соотношения для трех распространяющихся мод МГВ. Найдены их характерные скорости и установлена зависимость спектральных компонент смещений среды от пространственных и частотных характеристик модельного гауссового источника вещества заданного длинным шнуром, лежащим в горизонтальной плоскости и ориентированным перпендикулярно геомагнитному полю. По результатам выполненного анализа обнаружено, что в приэкваториальной области ионосферы для эффективной генерации МГВ при обычном для таких волн значении частоты порядка 0.07 Гц лучше подходят источники, более протяженные в вертикальной плоскости. Отметим, что в диапазоне рассмотренных частот возможно существование трех распространяющихся мод МГВ. Установлено, что все компоненты смещений принимают максимальное значение при вертикальном масштабе длин волн порядка 40 км и горизонтальном масштабе длин волн порядка 20 км. На основе уравнений МГД получены также аналитические выражения для поляризационных соотношений в МГВ и определены значения спектральных компонент возмущений давления, плотности и магнитного поля.

[Бархатов Н.А., Бархатова О.М., Григорьев Г.И.] Магнитогравитационные волны в ионосфере в условиях конечной проводимости // Изв. ВУЗов Радиофизика. Т.55. № 6. С. 421-430, 2012.

[Сорокин В.М., Федорович Г.В.] Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. Энергоиздат, М. 1982, с.136.

[Liu J.Y., Chen C.H., Lin C.H., Tsai H.F.] Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake // Journal of Geophysical Research, V. 116, A06319, 2011.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ В ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И СПЕЦИФИКА ИХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ РОССИЙСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

А.К. Кузьмин, А.М. Мерзлый, Д.Г. Шадрин

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

Поперечные проводимости - важнейшие параметры, отображающие электродинамическое состояния ионосферы Земли. Дистанционная диагностика состояния полярной ионосферы базируется на решении обратной задачи, т.е. на восстановлении распределений энергетических характеристик высыпающихся заряженных частиц из интенсивности конкретных эмиссий верхней атмосферы. Получение этих распределений из орбитальных изображений в каждом из диапазонов спектра имеет свою методическую специфику. Например для изображений распределений интенсивности авроральных эмиссий видимого диапазона спектра (имаджер Авровизор-ВИС/МП на орбите перспективного КА Метеор-МП) и (имаджер Летиция на орбите перспективного КА Зонд в проекте Ионозонд) требуется коррекция на альbedo эффект от подстилающей поверхности, которая позволяет существенно уточнить границы мелкомасштабных форм, а следовательно и распределений энергетических характеристик. В отличие от эмиссий видимого спектра, наблюдаемых на ночной стороне, как с Земли, так и с орбиты, эмиссии молекул азота и атомов кислорода и водорода, излучаемые в диапазоне длин волн 120-180 нм «видны» только с орбиты как на ночной, так и на освещенной стороне благодаря нижележащему слою молекулярного кислорода, который частично поглощает фон dayglow, создаваемый солнечным ультрафиолетом. При этом необходима дополнительная коррекция освещенной части ВУФ-изображений и выделение свечения, возбужденного высыпающимися заряженными частицами, над фоном. С высокоапогейной орбиты (типа Молния) авроральный овал может наблюдаться целиком практически непрерывно. Серия последовательных ВУФ-изображений позволит наблюдать за глобальной динамикой развития магнитных бурь и суббурь. За время экспозиции изображений (десятки секунд) полосовые изображающие камеры Авровизор-ВУФ позволят получать глобальное распределение потока энергии высыпающихся электронов и их средней энергии и отобразят границы и крупномасштабную структуру аврорального овала по электронам. Изображающий спектрограф обеспечит получение распределения средней энергии высыпающихся протонов благодаря селекции авроральной эмиссии Ly- α от геокорональной. Конечным продуктом орбитальной дистанционной диагностики характеристик полярной ионосферы являются глобальные и локальные распределения поперечных ионосферных проводимостей интегрированных по высоте с учетом вклада как электронов, так и протонов. Одновременные измерения характеристик плазмы в окрестности спутников с помощью комплекса плазменных приборов создадут возможность мгновенного контроля характеристик источника, т.е. распределения заряженных частиц, продольных токов и градиентов магнитного и электрического поля, а также волн в различных диапазонах, при этом проекция магнитной силовой трубки в ионосферу, которую пересекает спутник, всегда будет в поле зрения изображающих каналов приборов Авровизор-ВИС/МП и Авровизор-ВУФ. Данные орбитальных дистанционных измерений проводимостей вместе с их локальными координированными измерениями с помощью приборов наземного комплекса (магнитометрия, фотометрия, радиостенды) обеспечат условия для научных исследований и контроля состояния полярной ионосферы в интересах решения прикладных задач.

ИНДЕКСЫ ГЛОБАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ИОНОСФЕРЫ ПО РАДИОЗАТМЕННЫМ ДАННЫМ

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

ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва, Россия, alxndr38@mail.ru

Дистанционное зондирование ионосферы на трассе спутник-спутник является одной из разновидностей бистатической радиолокации, в которой передатчик и приемник существенно разнесены. В докладе исследуется воздействие солнечной активности на ионосферу с помощью высокостабильных сигналов навигационных систем, изучаются слоистые структуры и неоднородности в ионосферной плазме, а также эффекты распространения радиоволн и условия радиосвязи в околоземном пространстве. Установлена закономерная связь между вариациями интенсивности и ускорения фазового пути при прохождении радиоволн через ионосферу. Эта связь позволяет ввести новый индекс глобальной активности ионосферы, определяемый по интенсивности фазовых вариаций сигналов на трансionoсферных трассах. Из анализа экспериментальных данных радиозатменных миссий CHAMP и FORMOSAT-3, полученных при зондировании ионосферы на трассах спутник-спутник, показано, что вновь введенный параметр хорошо коррелирует с индексом вариаций интенсивности радиоволн S4, ранее применявшимся для оценки активности ионосферы на трассах спутник-Земля. По степени корреляции указанных параметров можно разделить относительный вклад слоистых и неоднородных плазменных структур в вариации зондирующего ионосферу радиосигнала. Поэтому существует возможность раздельного зондирования слоистых и турбулентных ионосферных структур по измерениям на одной частоте, в том числе, при радиозондировании на трассе спутник Земля. Анализируется глобальная зависимость введенного индекса от солнечной активности в период 2002-2012 годов. Введенный индекс может использоваться при анализе результатов радиозондирования ионосфер планет. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 13-02-00526-а и Программы 22 РАН.

КАКОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ СООТВЕТСТВУЕТ МЕДИАНА КОНЦЕНТРАЦИИ МАКСИМУМА F2-СЛОЯ?

М.Г. Деминов

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

Считают, что медиана NmF2 за месяц является оптимальной характеристикой концентрации максимума F2-слоя в долгосрочном прогнозе ионосферы, когда величина геомагнитной активности заранее не известна. Тем не менее, медиана NmF2 зависит от геомагнитной активности и эту зависимость учитывают с помощью скользящих средних за 12 месяцев значений Ap-индекса. Такой способ учета зависимости медианы NmF2 от геомагнитной активности является недостаточно эффективным и используется редко. Нами предложен другой способ решения этой задачи. Он связан с последовательным определением даты (или двух дат), в которую (или которые) значение NmF2 соответствует медиане, индексов солнечной и геомагнитной активности для этой даты и, тем самым, соответствия конкретной медианы NmF2 конкретным уровням солнечной и геомагнитной активности. Статистический анализ таких результатов позволяет получить новые знания о свойствах медианы NmF2. Получено, в частности, что в среднем уровень геомагнитной активности, который соответствует медиане NmF2: - максимален в равноденствия и минимален в зимнее солнцестояние; - меньше среднего за месяц значения этой активности и эта разница не

сильно зависит от сезона. Представлен сравнительный анализ эффективности использования различных вариантов медианы NmF2 для вычисления изменений NmF2 в период бури. Получено, что для варианта, когда зависимость медианы NmF2 от геомагнитной активности не учитывается, использование эмпирической модели медианы NmF2 может приводить к меньшим ошибкам в вычислениях бури в ионосфере над конкретным пунктом, чем использование реально наблюдаемой медианы NmF2 над этим пунктом. Работа частично поддержана Программой Президиума РАН № 22.

СТРУКТУРА ДОЛГОТНЫХ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ И ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ В СПОКОЙНЫХ УСЛОВИЯХ

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

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

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

³ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

Одним из наиболее важных свойств ионосферы является ее долготная изменчивость, исследованию которой уделялось пристальное внимание в течение последних 20 лет. Это связано с тем, что долготные вариации сопоставимы по величине с суточными вариациями и, следовательно, важны для прогноза условий распространения радиоволн как в спокойных геомагнитных условиях, так и при изменении параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Спутниковые данные в принципе позволяют проводить исследования долготных вариаций ионосферы. Однако, единственным спутником, который проводил зондирование ионосферы практически на всех долготах и широтах, был и остается Интеркосмос-19 (ИК-19). Следует отметить, что совместное использование данных низкоорбитальных спутников и спутников навигационных систем позволяет оценить долготные вариации полного, ионосферного и, следовательно, плазмосферного электронного содержания, что было невозможно ранее. В нашей работе мы используем Глобальную Самосогласованную Модель Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП) для исследования долготных вариаций параметров системы ионосфера-плазмосфера. Отметим, что в модели ГСМ ТИП учитывается несовпадение географической и геомагнитной осей, а также зональный и меридиональный электромагнитный дрейф ионосферной плазмы, которые являются важными элементами для модельного описания долготных вариаций в ионосфере и плазмосфере Земли. Особую ценность и новизну представляют исследования долготных вариаций высоты перехода O^+/H^+ и плазмосферного электронного содержания. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-31217 и Программы 22 РАН.

ДОЛГОТНАЯ СТАТИСТИКА ПЛАЗМЕННЫХ «ПУЗЫРЕЙ»: ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРИЛИВОВ

Л.Н. Сидорова, С.В. Филиппов

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

При исследовании долготного распределения плазменных «пузырей», видимых на высотах верхней ионосферы в концентрации He^+ , выявлено, что графики их статистики имеют четко выраженную «волновую структуру» с волновым числом 4 (Sidorova and Filippov, J. Atm. Solar-Terr. Phys., 2012). Четыре максимума вероятности наиболее хорошо видны зимой и

весной в северном полушарии, летом и весной в южном полушарии. (Данные этих сезонов наиболее полно представлены). В последние годы появилось множество сообщений на тему о подобных «волновых долготных структурах». Они обнаруживаются по измерениям плазменной и электронной концентрации в районе экваториальных и низких широт F-области (Lühr et al., Geophys. Res. Lett., 2007; Jin et al., J. Geophys. Res., 2008; Fang et al., J. Geophys. Res., 2009). Наиболее ранние сообщения о таких структурах появились в отечественной литературе при исследовании долготных вариаций foF2 ночной экваториальной аномалии (Деминова, Геомагнетизм и аэрномия, 1995). Считается, что такие долготные вариации плазмы возникают под влиянием модулированного вертикального $E \times B$ дрейфа F-области. Модуляция вертикального $E \times B$ дрейфа наводится (по цепи электродинамических процессов) источником, берущим начало в тропосфере. Полагают, что этим источником являются солнечные (суточные) приливные волны (DE3), создающие зональные возмущенные электрические поля. Они, накладываясь на фоновое динамо-поле, оказывают модулирующее воздействие на ионосферный фонтан-эффект. Если находиться в рамках гипотезы об экваториальном происхождении субпровалов в концентрации He^+ (плазменных «пузырей») (Sidorova, Adv. Space Res., 2004, 2007; Сидорова, Геомагнетизм и аэрномия, 2008), то можно предположить, что «волнообразная структура» «наводится» и на их долготное распределение. По всей видимости, «волновая» структурированность плазмы через модулированный $E \times B$ дрейф может «транслироваться» на всю F-область низкоширотной ионосферы, «добираться» до высот верхней ионосферы, все более «расплываясь» по широте благодаря фонтан-эффекту. Это может приводить к появлению характерных вариаций долготного распределения плазменных «пузырей». В работе проводится сравнительный анализ явлений, имеющих «волновую» долготную структурированность, и исследуемых вариаций вероятности плазменных «пузырей». Возможно, что приводимая идея окажется полезной для объяснения полученных результатов.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В ИОНОСФЕРЕ И ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В 10-24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Т.Л. Гуляева¹, И.С. Веселовский^{2,3}

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

²МГУ, НИИЯФ, г. Москва, Россия,

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Глобальное содержание электронов, ГЭС, представляет собой полное число электронов в сферическом слое над Землей до орбиты спутников глобальной навигационной системы GPS (20 200 км). Реконструкция ГЭС произведена по глобальным картам GIM-TEC полного электронного содержания, преобразованного в высотные профили электронной плотности с учетом изменения объема каждой ячейки карты с высотой с помощью международной модели ионосферы и плазмосферы, ИРИ-Плаз. Разработана климатическая модель ГЭС по картам GIM-TEC за период 1999-2012 гг в зависимости от солнечной активности, годовых и полугодовых вариаций ГЭС. В качестве индекса солнечной активности использован ряд ежедневных значений солнечных пятен R_i , преобразованный в ряд R_{zp} по сумме скользящего среднего за 3 дня, среднего за предыдущие 7 дней и среднего за предыдущие 81 дней (3 солнечных оборота), и масштабированного до размеров изменения от 1 до 40 единиц R_{zp} . Средне-квадратичная погрешность климатической модели ГЭС составляет от 8 до 13%. Долговременный ряд ежедневных измерений солнечных пятен с середины 19го века использован для реконструкции ГЭС с помощью климатической модели за период свыше

160 лет с 1850 г. по 1998 г. (Gulyaeva and Veselovsky, Adv. Space Res., 2013). Сглаженное среднее месячное значение солнечных пятен и его прогноз использованы для расчета и прогноза сглаженного индекса ГЭС на период 1958-2015 гг. Его применение в качестве управляющего параметра в модели ИРИ-Плаз приводит к значительному улучшению прогноза ионосферных параметров по сравнению с ранее использованным ионосферным глобальным индексом, IG, солнечной активности. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №13-02-91370-СТ_a) и СНТИТ (проект TUBITAK 112E568).

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН, ВОЗБУЖДАЕМЫХ МОЛНИЕВЫМИ РАЗРЯДАМИ (ДИАПАЗОН КНЧ): СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ СПЕКТРОГРАММ.

Д.И. Вавилов, Д.Р. Шкляр

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vavilov86@yandex.ru

Молниевые разряды служат естественным источником электромагнитных волн в широком частотном диапазоне (от единиц герц до сотен мегагерц). Волны диапазона УНЧ/КНЧ/ОНЧ отражаются от D-слоя ионосферы и распространяются в волноводе "Земля-ионосфера". Волны, просочившиеся сквозь стенки этого волновода, выходят из него практически вертикально, распространяясь далее в ионосфере и магнитосфере. Один молниевый разряд засвечивает целую область ионосферы, каждая точка которой служит источником э/м волны. Магнитное поле Земли существенно влияет на распространения таких волн. При этом волна, выйдя из одного полушария, может достигнуть противоположного и, отразившись там, вернуться обратно. Распространение волн описывается уравнениями геометрической оптики, которые задаются дисперсионным уравнением, так что характер распространения волн определяется волновой модой. Данная работа посвящена: 1) моделированию распространения таких волн, выявлению особенностей их магнитосферных траекторий и поляризационных характеристик; 2) построению модельных спектрограмм, а также поляризации излучения, наблюдаемых в заданной точке (моделирование спутниковых измерений); 3) построению аналогичных характеристик, получаемых в эксперименте. Сравнительный анализ модельных и экспериментальных спектрограмм позволяет установить природу некоторых волновых явлений, наблюдаемых на спутниках в данном частотном диапазоне, давая информацию о положении источника волн, времени их распространения, траекториях волн и некоторых характеристиках плазмы на пути их распространения.

ОБРАЗОВАНИЕ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА $O_2(b^1\Sigma_g^+)$ НА ВЫСОТАХ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ

А.С. Кириллов

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

Проведен расчет относительных констант скоростей образования $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1-4)$ при неупругом взаимодействии электронно-возбужденных атомов $N(^2D)$ с молекулами кислорода $O_2(X^3\Sigma_g^-, v=0)$. Показано, что увеличение равновесных расстояний между атомами кислорода в образуемой при взаимодействии квазимолекуле NO_2 существенным образом сказывается на росте рассчитываемых относительных скоростей образования $O_2(b^1\Sigma_g^+, v>1)$. Полученные коэффициенты используются при расчете относительных населенностей $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1-4)$ на

высотах 110 км ($T=250$ К) и 150 км ($T=500$ К) полярной ионосферы. Проведено сравнение рассчитанных населенностей с результатами спектрометрических измерений интенсивностей полос Атмосферной системы на ракетном комплексе Форт-Черчилль в Канаде [Gattinger and Vallance Jones, 1974, 1976; Vallance Jones and Gattinger, 1974] и на архипелаге Шпицберген [Henriksen et al., 1985; Henriksen and Sivjee, 1990] и получено удовлетворительное согласие для нижних высот ионосферы.

[Gattinger R.L. and Vallance Jones A.] Quantitative spectroscopy of the aurora. II. The spectrum of medium intensity aurora between 4500 and 8900 Å. // Can. J. Phys., 1974, v.52, p.2343-2356.

[Gattinger R.L. and Vallance Jones A.] The vibrational development of the $O_2(b^1\Sigma_g^+ - X^3\Sigma_g^-)$ system in auroras. // J. Geophys. Res., 1976, v.81, p.4789-4792.

[Henriksen K. and Sivjee G.G.] Auroral vibrational population of the $O_2(b^1\Sigma_g^+, v')$ levels. // Planet. Space Sci., 1990, v.38, p.835-840.

[Henriksen K. et al.] Ground-based observations of $O_2(b^1\Sigma_g^+ - X^3\Sigma_g^-)$ atmospheric bands in high latitude auroras. // Planet. Space Sci., 1985, v.33, p.119-125.

[Vallance Jones A. and Gattinger R.L.] The $O_2(b^1\Sigma_g^+) - O_2(X^3\Sigma_g^-)$ system in aurora. // J. Geophys. Res., 1974, v.79, p.4821-4822.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ GPS- ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

В.И. Захаров, В.Е. Куницын

Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова г. Москва, Россия, zvi_555@list.ru

Известно, что модуляция электронной концентрации плазмы волнами различной природы может регистрироваться надежными радиофизическими методами. Поэтому ионосфера Земли может служить индикатором различных естественных процессов, проявляющихся в системе геосфер [1]. В работе рассмотрены некоторые аспекты выделения методом GPS-интерферометрии волновых структур в ионосфере над различными регионами в периоды сейсмической активности. Обсуждаются результаты применения региональных GPS-наблюдений для выделения отклика верхней атмосферы на примере ряда крупных тектонических событий 2006 - 2012гг. [2,3]. В ходе выполненного регионального анализа получено, что методы GPS-интерферометрии, вместе с дополнительной обработкой получаемых в ходе мониторинга данных [2], позволяют надежно выделять волноподобные структуры, по характеристикам соответствующие акустико-гравитационным колебаниям с характерными периодами Брендта-Вяйсяля. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что сейсмически активные районы могут быть источниками акустических колебаний не только во время, но также до и после активной фазы землетрясения. Иными словами, источником волновых структур, проявляющихся в ионосфере, 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 весьма сложно – не удастся отделить естественную волновую активность ионосферы, включая и «орографическую» генерацию волн при обтекании воздушными массами различных особенностей рельефа поверхности земли, от волн, обусловленных собственно литосферным воздействием. Все сказанное требует разработки методов описания и учета процессов волновой передачи энергии из различных геосферных источников в ионосферу для модернизации существующих модельных представлений о взаимодействиях в системе геосфер.

[1]. Zakharov V.I., Kunitsyn V.E. Regional Features of Atmospheric Manifestations of Tropical Cyclones according to Ground-Based GPS Network Data // Geomagnetism and Aeronomy, 2012, Vol. 52, No. 4, pp. 533–545. DOI: 10.1134/S0016793212040160

- [2]. Zakharov V.I., Budnikov P.A The Application of Cluster Analysis to the Processing of GPS Interferometry Data // Moscow University Physics Bull. 2012, Vol. 67, No. 1, pp. 26–33. ISSN 0027 1349. Doi: 10.3103/S0027134912010262
- [3]. Zakharov V.I., Kunitsyn V.E., Titova M.A. Using GNSS- signals and Radio-interpherometry Technique for Study Wave Disturbances in the Ionosphere // Book Abstracts PIERS-2012, 20-24 aug. Moscow. Sess. 3P3. Electromagnetic Probing of Atmosphere and Ionosphere.

СЕКЦИЯ «ИОНОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В НЕЙТРАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ И ИОНОСФЕРЕ

Н.И. Ижовкина

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

На образование и усиление вихревых структур в нейтральной атмосфере и ионосфере влияют нагрев и градиенты давления, гравитация, гиротропия среды, вязкость. Градиенты давления связаны с неоднородным нагревом различных областей атмосферы и ионосферы. В работе показано, что антропогенный смог, парниковые газы и искусственные аэрозоли, влияют на формирование вихревых структур в атмосфере. Плазменные вихри в атмосфере генерируются на ионизованных компонентах атмосферы, в частности, антропогенного смога. Усиление блокирующих антициклонов над центрально - европейским регионом России вызвано влиянием деятельности человека на окружающую среду. Мощные глубокие циклоны переносят частицы смога, пыль и даже песок, на большие высоты до стратосферы. В Приморье, и на Дальнем Востоке России наблюдаются осадки с частицами пыли и песка, принесенными из пустыней Монголии и Казахстана. Антропогенный смог также может распространяться в атмосфере на значительные расстояния от источников на вертикальных и горизонтальных градиентах давления. Ионизация частиц смога солнечным и космическим излучением способствует образованию вихревых структур плазменного типа, похожих на вихревые структуры в ионосфере.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЗКОГО ПУЧКА РАДИОВОЛН В РАССЕЙВАЮЩЕЙ СРЕДЕ С РЕФРАКЦИЕЙ

Я.А. Илюшин

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

Работы по исследованию распространения узких направленных пучков излучения в рассеивающих средах с рефракцией в настоящее время немногочисленны. В то же время, исследование рефрагирующих сред также представляет значительный интерес. Сочетание рассеяния на случайных неоднородностях и регулярного градиента рефракции имеет место, например, в ионосферной и солнечной плазме, для диагностики которых используются источники направленного излучения различных диапазонов длин волн. Так, в настоящее время созданы и эксплуатируются с различными целями источники мощного радиоизлучения, оснащенные высоконаправленными антенными системами. Многие из них расположены вблизи зоны аврорального овала, где во время мощных солнечных событий наблюдаются весьма высокие уровни случайных флуктуаций плотности плазмы, обуславливающие интенсивное рассеяние излучения. При этом, некоторые из них работают на достаточно низких частотах, в том числе ниже критической частоты ионосферы. При анализе распространения радиоволн в этом случае учет рефракции безусловно необходим. Кроме того, как было впервые замечено около двадцати лет назад, при однопозиционной радиолокации диффузных целей существен эффект когерентного усиления обратного рассеяния, расчет которого может быть сведен к задаче о поле ТМ источника в среде. При наличии в зондируемой среде (например, ледяные и снежные покровы Земли и небесных тел) регулярных градиентов рефракции их учет также может оказаться необходимым. По

перечисленным причинам, представляет интерес решение задачи о распространении узких пучков излучения в среде с рассеянием и рефракцией. Решение указанной задачи и оценка степени влияния регулярного градиента коэффициента преломления и составляет мотивацию данной работы. В настоящей работе рассмотрена задача распространения излучения точечного мононаправленного (ТМ) источника в рассеивающей среде с градиентом коэффициента преломления. Предложена схема численного решения уравнения переноса излучения с выделением особенностей прямого и обратного потоков излучения. Показана возможность аналитического решения задачи в малоугловом приближении. Проведены численные расчеты углового распределения интенсивности в малоугловом приближении с учетом дисперсии длин путей распространения рассеянного излучения. Исследование выполнено при частичной поддержке гранта РФФИ 13-02-12065 офи-м "Фундаментальные задачи микроволнового дистанционного зондирования Земли из космоса". Автор благодарит администрацию НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова за предоставленный доступ к вычислительным ресурсам высокопроизводительных параллельных суперкомпьютерных комплексов СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов".

[1]. Илюшин Я.А. Распространение коллимированного пучка в рассеивающей среде с рефракцией. Известия ВУЗов. Радиофизика. 2012. Т.55, N.10–11. С.720–726.

DISTRIBUTION OF PLASMA NEAR AND BELOW THE MAIN PEAK OF THE ELECTRON DENSITY IN THE IONOSPHERE OF MARS AND RADIO SCIENCE EXPERIMENTS

D.I. Bojkov, A.P. Kireev and A.M. Krymskii

Institute for Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, amkrym@list.ru

Radio science experiments allow long term monitoring of extended parts of Martian ionosphere and atmosphere near and below the main peak of the electron density. In the case of top side sounder total electron content (TEC) and signal attenuation can be derived from frequency dependence of echo delay and power of radio waves reflected from planetary surface. Absorption of radio waves caused by electron-neutral collisions is expected to be the strongest when there is a sporadic local enhancement of electron density. TEC can be obtained with appropriate accuracy but details of vertical distribution of electron density below the main electron density peak cannot be reliably specified. Statistical models and numerical simulations of the electron density distribution around Mars are not effective because it is impossible to reliably specify whether or not sporadic "layers" existed in the periods when MARSIS AIS onboard Mars Express did not detect radio waves reflected by the surface or subsurface structures. One can only hypothesize appearance of enhancements of electron density below the main peak when there is no sounding signal reflected by the planetary surface or subsurface structures. The scattering of radio waves by electron density irregularities is expected to occur primarily near the main peak of electron density in the Martian ionosphere that is above the sporadic "layers" responsible for strong absorption of radio waves. As a result, the scattering and absorption simultaneously contribute to MARSIS AIS signal attenuation, and the effects of aforementioned processes are inseparable. In the case of radio occultation experiment the sounding signal propagates primarily horizontal, and signal attenuation can be characterized by minimal planetocentric distance of ray path. That allows, in principle, separation of the scattering in the ionosphere/atmosphere and absorption in the lower altitude sporadic "layers". If significant fluxes of energetic electrons penetrate in depth of the Martian atmosphere and generate sporadic plasma layers with rather high density of low energy electrons there the radio signal absorption is controlled by space weather. Next, the energetic electrons propagate primarily along magnetic field lines so that rate of electron impact ionization and consequently radio waves absorption can be sensitive to the magnetic fields in the Martian ionosphere/atmosphere. Ionization

instabilities can also result in sporadic plasma layering and, consequently, in significant signal absorption.

ИОНОСФЕРНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ УСИЛЕНИЯ УЕДИНЕННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-1809

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

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

Предложен ряд последовательных стадий интенсификации уединенных тропических циклонов (ТС), вызывающих изменения параметров ионосферы, зарегистрированных аппаратурой спутника КОСМОС-1809 над несколькими десятками ТС. Качественные модельные представления исходят из предположения, что усиление ТС должно сопровождаться дополнительным оттоком энергии в ионосферу. Первая стадия – резкое усиление высотной грозовой активности, вызванной как тропическим возмущением, так и тропической депрессией приводит к локальному разогреву атмосферы. Над ТС формируется стратосферный антициклон, а ожидаемое локальное увеличение содержания молекул N_2 и O_2 в ионосфере должно усиливать рекомбинацию электронов. Соответственно, за сутки до формирования тропического шторма или даже урагана I категории, ночью в верхней ионосфере наблюдаются каверны плотности плазмы размером в несколько сотен км. Вторая стадия, характерная для ТС достигающих интенсивности I-II категории, – восходящая затопленная струя над центром стратосферного антициклона приводит к дополнительной ионизации ниже F-слоя. В верхней ионосфере наблюдается смещение широкого максимума плотности плазмы с геомагнитного экватора в область, центр которой проецируется по магнитному полю до высот 200-230 км на широте ТС. Третья стадия, характерная для ТС III-V категорий, - затопленная струя вырывается выше F-слоя и по баллистической траектории возвращается в атмосферу. Около зенита ТС наблюдается дополнительный, узкий, шириной 200-300 км пик Ne с прилегающими возмущениями ΔNe , электростатическими колебаниями, охватывающими циклотронные частоты H^+ , He^+ и Ω_{ng} , а также электрическими полями, проецирующимися в магнитосопряженную область. Подробно рассмотрен случай, когда Harry (ТС IV категории) пересекал остров Новая Каледония. Приводятся данные, полученные со спутника КОСМОС-1809 на витках, когда Harry был перед вечерним терминатором, в полуночном секторе и за утренним терминатором. В данном случае, как предполагается, произошло меридиональное отклонение струи, и указанные выше эффекты проявились наиболее рельефно.

О ТОКАХ НАТЕКАНИЯ, ПРИПОВЕРХНОСТНОМ КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ И ПОТЕНЦИАЛЕ КА В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ

Ю.В. Лисаков

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

На Российском сегменте МКС в КЭ "Импульс 1" прибором ККЭП (Комплекс контроля электрических параметров) проводились измерения токов натекания на плоские зонды и измерения квазистационарного электрического поля датчиками вибрационного типа. Анализировались измерения, выполненные двумя комбинированными датчиками, размещенными в приповерхностной зоне КА. Апертура 1-го датчика была направлена на

Землю (в надир), апертура 2-го датчика была направлена приблизительно против вектора скорости (в "след"). При движении КА в среднеширотной ионосферной (слабоионизованной) плазме происходит его заряджение (электризация), которое проявляется как установление положительного или отрицательного потенциала (электрического поля) на элементах конструкции. Соотношение убегающих с поверхности и приходящих на поверхность из окружающей среды электронов (ионов существенно меньше) определяет знак и величину текущего локального потенциала. Вследствие существования электронного тока между поверхностью КА и окружающей средой устанавливается динамическое электромагнитное взаимодействие, которое проявляется в динамике измеряемых токов и квазистационарных электрических полей. Диапазон измеряемых прибором ККЭП токов $\pm 1 \div \pm 12$ нА (площадь зонда 6.25 см^2 , плотность тока $\pm 0.16 \div \pm 2.08 \text{ нА/см}^2$). Интерес представляют три реперных значения измеряемых токов. Нулевое (на уровне порога чувствительности датчика) значение суммарного электрического тока на плоский зонд определяет установившееся значение потенциала зонда (плавающий потенциал – отрицательное значение $\sim kT/e$) относительно текущего пространственного потенциала невозмущенной среднеширотной ионосферной плазмы. Переход тока натекания от нулевого значения в область малых отрицательных значений ниже плавающего потенциала, соответствует небольшому отрицательному заряду (потенциал ниже равновесного). Переход токов натекания из области отрицательных значений (по абсолютной величине больших значений плавающего потенциала) в область малых положительных значений соответствует небольшому локальному положительному заряду (потенциалу) приповерхностной области. Общие, постоянно наблюдавшиеся особенности поведения измеряемых токов при движении КА по орбите состоят в следующем. На освещенных участках орбит ток имеет существенные положительные значения, приводящие даже к положительному потенциалу. Значительные изменения тока происходит при наступлении тени на орбите – ток принимает значения, близкие к нулевым, иногда переходящие в область существенных отрицательных значений. При пересечении терминатора в измеряемых токах в зависимости от высоты тени прослеживается эффект исчезновения атмосферных фотоэлектронов. При выходе КА из орбитальной тени ток изменяется более резко, чем при входе в тень. Измеряемые электрические поля по величине и знаку коррелируют с измеряемыми токами. Вслед за другими специалистами, занимающимися исследованием заряджения КА в космической среде, отметим, что потенциал КА является не техническим, а физическим параметром.

О РЕЗУЛЬТАТАХ РАБОТЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

В.М. Смирнов^{1,2}, Е.В. Смирнова¹, С.И.Тынянкин², В.Н.Скобелкин², А.П. Мальковский²

¹*ФирЭ им. В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино, Россия, vsmirnov@ire.rssi.ru*

²*ИИТЦ, г. Москва, Россия*

В силу значительной изменчивости ионосферы во времени и в пространстве долгосрочное прогнозирование максимально применимой частоты, основанное на использовании глобальных моделей ионосферы, имеет достаточно низкую достоверность. Единственным путём точного определения её значения является оперативный (в реальном масштабе времени) контроль ионосферы. Оперативный контроль ионосферы может осуществляться различными методами и соответствующими этим методам техническими средствами: с помощью вертикального, возвратно-наклонного и трассового зондирования, с помощью передачи контрольно-маркерных сигналов и т.д. Однако существующие в настоящее время технические средства ионосферного контроля являются активными (т.е. излучающими радиосигналы) средствами. Они имеют ограниченные по пространству зоны контроля

ионосферы и обладают значительными массогабаритными характеристиками (обусловленными, прежде всего, габаритами антенно-фидерных устройств, используемых в КВ диапазоне). Поэтому разработка технических средств, позволяющих оперативно и с достаточной, для решения практических задач организации радиосвязи, точностью определять максимально-применимые частоты декаметровых радиолиний пассивными методами, представляется актуальной. Перспективный подход к контролю ионосферы базируется на использовании метода радиопросвечивания и заключается в определении основных ионосферных параметров (полного электронного содержания, критической частоты и высоты ионосферного слоя F2) по результатам приёма и обработки радиосигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Предварительный анализ данных непрерывных наблюдений, осуществляемых с помощью аппаратно-программного комплекса, показал, что ионосфера представляет собой среду с ярко выраженными областями пониженной и повышенной электронной концентрацией, которые не регистрируются ионозондами вертикального зондирования. Результаты обработки показывают, что критическая частота ионосферы может отличаться в близких областях более чем на 1 МГц. К настоящему времени обработан трехмесячный массив данных навигационных спутниковых измерений и проведен сравнительный анализ результатов измерений ионозонда вертикального зондирования и аппаратно-программного комплекса. Показано, что АПК обеспечивается оперативное (в реальном масштабе времени) определение параметров критической частоты ионосферного слоя F2 с усредненной относительной погрешностью (СКО) – 8,53 %, в том числе: в дневное время суток – 7,4 %; в ночное время суток – 9,08 %. Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН №14 «Фундаментальные проблемы воздействия мощными радиоволнами на ионосферу и плазмосферу Земли».

О ВОЗМОЖНОСТЯХ РАДАРА МАРСИС В РЕЖИМЕ SS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ МАРСА

О.В. Юшкова, В.М. Смирнов

ФирЭ РАН, г. Фрязино, Россия, o.v.y@mail.ru

С декабря 2003г. на орбите Марса находится КА «Mars-Express», на борту которого расположен радар MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding). Радар может работать в режиме SS (Subsurface Sounder) как радар подповерхностного зондирования и в режиме AIS (Active Ionospheric Sounder), как ионозонд надирного зондирования. В режиме AIS радар излучает моноимпульсный сигнал, рабочая частота которого ступенчато меняется от 0,1 до 5,4 МГц с шагом 10,937 кГц, и позволяет определять параметры только верхней ионосферы до высоты максимума электронной концентрации. Нижняя часть ионосферы, в силу специфики работы ионозонда, недоступна для зондирования. В режиме SS прибор излучает ЛЧМ сигналы (сигнал имеет постоянную амплитуду при линейно меняющейся частоте). Девиация каждого сигнала 1 МГц, длительность 250 мкс. Во время эксперимента попеременно излучаются два сигнала с центральными частотами 1,8 и 4,0 МГц или 3,0 и 5,0 МГц. Радар MARSIS способен проводить локальные измерения практически для всех зенитных углов Солнца с высоты от 270 до 1200 км. При стандартной циклограмме в режим SS радар включается при зенитных углах Солнца выше 80 градусов. Согласно данным радиозатменных методов и результатам исследования ионосферы Марса в режиме AIS критическая частота ионосферы меняется от 2,3 МГц при 80 градусах до 0,7 МГц при 120 градусах. При наличии слоистых образований в ионосфере излучаемые сигналы радара могут испытывать частичные отражения от слоев и неоднородностей ионосферной плазмы, находящихся как выше, так и ниже высоты

максимума электронной концентрации. При работе радара в низкочастотном диапазоне возможно наличие в отраженном сигнале информации, как об ионосфере, так и грунте. При этом, используя отраженный от поверхности планеты сигнал, можно определять и полное электронное содержание вдоль трассы полета космического аппарата. В работе представлена методика определения критической частоты ионосферы и действующей высоты слоистых образований в районе вечернего терминатора, основанная на результатах численного моделирования процесса зондирования. Методика апробирована на реальных данных радара MARSIS. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы №22 фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИРОДА ЭЛЕКТРО-ТЕРМАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЗАПЫЛЁННОГО ДИНАМО СЛОЯ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Е.Е. Тимофеев¹, С.Л. Шалимов^{2,3}, О.Г. Чхетиани^{2,3}, М.К. Валлинкоски⁵, Й. Кангас⁵

¹ ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, СПб, Россия,

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

³ ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

⁴ ИФА РАН им. А.М. Обухова, г. Москва, Россия,

⁵ Отдел космофизики университета г. Оулу, Финляндия.

По данным измерений параметров ионосферы радаром EISCAT в событиях 10 апреля и 23 марта 1988 в зените авроральной обсерватории Тромсё в настоящей работе выполнен анализ характеристик пространственной решётки, состоящей из серии от 12 до 15-ти электро-термальных структур (ЭТС). При этом вариации всех параметров, измеряемых системой радаров EISCAT на высотах нижней кромки динамо слоя (~105 км): ионной (Ti) и электронной (Te) температур, а также величины электронной плотности (Ne) и компонент вектора ионосферного электрического поля (E-поля) сглаживаются методом скользящего среднего с выбором оптимальной ширины корреляционного окна. Аномальная с точки зрения традиционной модели термодинамики динамо слоя ионосферы, положительная величина разности температур (Ti - Te) в такие ЭТС структурах формируется за счёт описанного в работе (Тимофеев и др. 2013) эффекта охлаждения электронов и нагрева ионов на частицах метеорной пыли в условиях малых (ниже порога ФБ-неустойчивости) электрических полей. В итоге положительная полуволна Ti и отрицательная полуволна Te и образуют каждую из ЭТС. Показано, что: 1) Когерентные пространственные решётки (кластеры) из серий ЭТС наблюдаются при величинах фонового E-поля < ~10 мВ/м и при среднем уровне плотности ионизации (Ne) ~ (5-10)*10⁴ /см³. 2) При этом огибающая линия каждой из таких термальных структур обладает, т.н. зеркальной симметрией: каждый изгиб огибающей растущей по величине Ti зеркально повторяет изгиб уменьшающейся Te. 3) Однако такая симметрия нарушается, как только величина E-поля превысит порог ФБ-неустойчивости (~15 мВ/м). 4) Типичная величина термо-аномалии (Ti - Te) в максимумах температурных полуволен составляла от 60 до 120 К. 5) Наблюдаемый спектр поперечных масштабов таких полуволен простирается от ~3 до ~80 км, минимальный масштаб спектра, определяется разрешающей способностью радара. 6) Иерархия масштабов спектра обладает самоподобием. т.е. полуволны более мелких масштабов являются структурой полуволен более крупных масштабов. 7) Проход очередной полуволены через поперечное сечение антенны радара сопровождался вариацией напряжённости E-поля с амплитудами от ~4 до ~7 мВ/м. 8) Дрейф структур крупных масштабов, а иногда и диад, образованных двумя соседними полуволнами сопровождался вращением вектора E-поля, например, в пределах

северного полушария. При этом при дрейфе следующей полуволны или диады вращение продолжалось уже в пределах южного полушария. В итоге вектор E-поля, выполнив полный или почти полный оборот, возвращался к исходному азимуту. Описанные выше особенности электро-термальных структур интерпретируются в рамках нелинейной эволюции иерархии структур, возникающих в результате неустойчивости Экмановского типа.

ЭФФЕКТЫ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

М.В. Клименко, В.В. Клименко, Ф.С. Бессараб, Ю.Н. Кореньков

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

Стратосферным потеплением называется сильное и внезапное повышение температуры «взрывного характера» иногда на 50°C и более в течение нескольких суток, в полярной и субполярной стратосфере зимой. Влияние стратосферных потеплений на распределение метеопараметров в тропосфере, приземном атмосферном слое и, следовательно, на погоду имеет достаточно обширное экспериментальное и теоретическое обоснование, хотя и здесь остаются некоторые вопросы, носящие достаточно узкую направленность. Исследования эффектов в более высоких слоях атмосферы, таких как мезосфера, термосфера и ионосфера во время потеплений, необходимо выполнять в более широком масштабе. В настоящей работе мы показываем состояние экспериментальных и теоретических исследований, выполняемых с целью обнаружения эффектов потеплений в параметрах ионосферной плазмы в области высот от 80 км до нескольких тысяч км над поверхностью Земли и идентификации механизмов взаимосвязи между нижней и верхней атмосферой Земли во время внезапных стратосферных потеплений. Также будут представлены результаты исследований отклика системы термосфера-ионосфера на внезапное стратосферное потепление с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосфера, Ионосфера, Протоносфера (ГСМ ТИП) Внезапное стратосферное потепление моделировалось заданием на нижней границе модели ГСМ ТИП на высоте 80 км (1) глобального стационарного возмущения $s = 1$ температуры и плотности; (2) значений параметров нейтральной атмосферы, рассчитанных в моделях TIME-GCM и CCM SOCOL для условий внезапного стратосферного потепления 2009 года. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №12-05-31217 и Программы 22 РАН.

ПЛАЗМЕННАЯ ОБОЛОЧКА ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ

А.Л. Гаврик, Т.Ф. Копнина, Е.А. Кулешов, А.А. Смыслов, М.И. Бондаренко

ФирЭ РАН, г. Фрязино, Россия, alg248@ire216.msk.su

В докладе представлены результаты анализа радиозатменных данных, полученных в миссиях MARINER-5,-10, ВЕНЕРА-9,-10, PIONEER-VENUS, ВЕНЕРА-15,-16, MAGELLAN, VENUS-EXPRESS. Обсуждается эволюция параметров вертикальных профилей электронной концентрации в ионосфере Венеры при изменении условий освещенности Солнцем. Основное внимание уделяется выявлению спорадических аномалий в пространственной структуре ионосферы. Имитационным моделированием, решая прямую и обратную задачи радиопросвечивания, исследовано влияние шума на определение по данным радиозатмений параметров распределения электронной концентрации. Численное моделирование эксперимента позволило выявить характер влияния различных искажающих факторов на достоверность обнаружения многослойных плазменных структур в ионосфере Венеры.

Данные радиопросвечивания свидетельствуют о существовании вблизи нижней границы дневной ионосферы периодических возмущений плотности среды, уровень которых превышает случайные вариации. Периодические колебания электронной концентрации с характерным масштабом 5-10 км по вертикали наблюдались в интервале высот 90...115 км на освещенной стороне Венеры. Показано, что высокое соотношение между регистрируемыми в эксперименте радиофизическими эффектами и инструментальными шумами для сигнала L диапазона позволяет выделить на фоне шума вариации мощности и частоты радиосигнала, обусловленные влиянием плазмы и атмосферы, а усовершенствованная методика интерпретации этих данных предоставляет возможность исследования распространения возмущений из верхней атмосферы в ионосферу Венеры. Работа выполнена при частичной поддержке программы № 22 Президиума РАН "Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы".

ПАРАМЕТРЫ СРЕДНЕ-И НИЗКОШИРОТНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ И ШУМОВ РСЗ ДИАПАЗОНА В НОЧНЫЕ ЧАСЫ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.В. Ягова¹, А.Ю. Щекотов¹, Н. Носикова^{1,2}, В.А. Гладышев¹

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

²*НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия.*

Задача о параметрах фоновой возмущенности в пульсационном диапазоне является ключевой для выделения сигналов немагнитосферного происхождения, включая сейсмoeлектромагнитные возмущения и ионосферные проявления атмосферных процессов. Рутинные методы подавления магнитосферного сигнала сводятся к анализу сигналов в ночные часы и выбору магнитоспокойных интервалов. Для диапазона РСЗ такой отбор может оказаться недостаточным из-за наблюдаемых и при низкой геомагнитной возмущенности низкоширотных ночных РСЗ пульсаций и широкополосных сигналов того же диапазона в средних и низких широтах, количественное описание которых до сих пор отсутствует. В настоящей работе исследуются параметры ночных РСЗ пульсаций и шумов РСЗ диапазона на средних и низких широтах на Земле и в F-слое ионосферы по данным сетей наземных магнитометров ММ210, ММ100 и спутника CHAMP и анализируются их зависимость от параметров космической погоды по данным многоспутниковых наблюдений и плотности тепловой плазмы F-слоя ионосферы по данным спутника DEMETER. Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-05-12091), авторы благодарят Б. Хэйлига, К. Юмото и М. Парро за предоставленные данные наземных и спутниковых наблюдений.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР ИОНОСФЕРНОГО АЛЬФВЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА. ОДНОКРАТНОЕ ОТРАЖЕНИЕ ИЛИ ВОЗБУЖДЕНИЕ ИАР?

Е.Н. Федоров¹, А.Ю. Щекотов¹, Я. Хобара^{2,3}, М. Хаякава³

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

²*University of Electro-Communications, Chofugaoka, Chofu Tokyo, Japan,*

³*UEC, Research Station on Seismo-Electromagnetics, Chofu Tokyo, Japan.*

Согласно общепринятым представлениям, спектральные максимумы наблюдаемых спектральных резонансных структур ионосферного альфвеновского резонатора (СРС ИАР)

на частотах ниже 5 Гц являются проявлением резонансных частот ИАР. В настоящей работе показано, что наблюдаемые СРС ИАР в большинстве случаев являются гребенчатыми спектрами от 2-3 импульсов. Первый импульс распространяется с околосветовой скоростью в атмосферном волноводе, а каждый из последующих импульсов является результатом отражения от верхней границы ИАР. Период следования импульсов определяется временем распространения альфвеновского импульса до верхней границы ИАР и обратно. Анализ волновых форм сигнала во временной области для интервалов времени, когда наблюдались СРС ИАР, показал, что двухимпульсные и многоимпульсные последовательности дают спектры, практически неразличимые при реальном экспериментальном разрешении. При этом только третий и последующие импульсы являются результатом отражений от верхней и нижней границ ИАР, а второй отражается только от верхней границы ИАР, и в этом случае говорить о возбуждении ИАР некорректно. Расчет волновых форм и спектров магнитного поля от вертикального импульсного источника качественно согласуется с результатами наблюдений. При расчетах использовалась модель ИРИ. Таким образом, анализ волновых форм сигнала необходим для выяснения физической природы наблюдаемых спектральных структур. Работа выполнена в рамках программы № 22 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы» и поддержана РФФИ (грант № 13-05-12091).

КИНЕТИКА СОСТОЯНИЙ ГЕРЦБЕРГА МОЛЕКУЛЯРНОГО КИСЛОРОДА В СМЕСИ ГАЗОВ CO₂, CO, N₂, O₂

А.С. Кириллов

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

Согласно аналитическим выражениям, основанным на квантово-химических приближениях, проведен расчет коэффициентов скоростей гашения состояний Герцберга молекулярного кислорода O₂(c¹Σ_u⁻, v=0–16), O₂(A³Δ_u, v=0–11), O₂(A³Σ_u⁺, v=0–10) в столкновениях с невозбужденными молекулами CO₂, CO, N₂, O₂. Рассчитанные константы гашения состояний c¹Σ_u⁻, A³Δ_u, A³Σ_u⁺ использованы при моделировании колебательных населенностей состояний Герцберга в лабораторной смеси молекул CO₂, CO, N₂, O₂ и на высотах ночного свечения в верхних атмосферах Земли, Венеры и Марса. Проводится сравнение результатов расчетов со спектральными наблюдениями на Земле полос Герцберга I и Чемберлена согласно [Stegman and Murtagh, 1988] и [Slanger et al., 2004], а также с данными свечения полос Герцберга II и Чемберлена, полученными с летательных аппаратов Венера-9, Венера-10, Venus Express [Краснопольский и др., 1976; Krasnopolsky, 1983; Gerard et al., 2013; Migliorini et al., 2013] и в лабораторных экспериментах [Lawrence et al., 1977; Slanger, 1978; Slanger and Black, 1978]. Исследуется динамика населенностей колебательных уровней состояний Герцберга O₂ при различных соотношениях концентраций молекул N₂, O₂, CO, CO₂. Показана важная роль электронно-колебательных процессов переноса энергии возбуждения в кинетике состояний Герцберга в смеси газов CO₂, CO, N₂, O₂.

[Краснопольский В.А. и др.] Спектроскопия ночного свечения Венеры на АМС Венера-9 и Венера-10. // Космические исследования, 1976, т.14, с.789-795.

[Gerard J.-C. et al.] Oxygen nightglow emissions of Venus: Vertical distribution and collisional quenching. // Icarus, 2013, v.223, p.602-608.

[Krasnopolsky V.A.] Venus spectroscopy in the 3000-8000 Å region by Veneras 9 and 10. In Hunten et al. (Eds.), VENUS, Univ. Arizona Press, 1983, p.459-483.

[Lawrence G.M. et al.] Excitation of the Venus night airglow. // Science, 1977, v.195, p.573–574.

[Migliorini et al.] The characteristics of the O₂ Herzberg II and Chamberlain bands observed with VIRTIS/Venus Express. // Icarus, 2013, v.223, p.602-608.

- [Slanger T.G.] Generation of $O_2(c^1\Sigma_u^-, C^3\Delta_u, A^3\Sigma_u^+)$ from oxygen atom recombination. // Journal of Chemical Physics, 1978, v.69, p.4779–4791.
- [Slanger T.G. and Black G.] The $O_2(C^3\Delta_u \rightarrow a^1\Delta_g)$ bands in the nightglow spectrum of Venus. // Geophysical Research Letters, 1978, v.5, p.947–948.
- [Slanger T.G. et al.] Nightglow vibrational distributions in the $A^3\Sigma_u^+$ and $A'^3\Delta_u$ states of O_2 derived from astronomical sky spectra // Annales Geophysicae, 2004, v.22, p.3305-3314.
- [Stegman J. and Murtagh D.P.] High resolution spectroscopy of oxygen u.v. airglow. // Planetary and Space Science, 1988, v.36, p.927-934.

ИСКАЖЕНИЯ СТРУКТУРЫ КОРОТКОГО РАДИОИМПУЛЬСА ШАЛ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ВОЛНОВОДЕ ЗЕМЛЯ-ИОНОСФЕРА

Ю.А. Казарина, В.Ю. Савинов, Н.Т. Афанасьев

ИГУ, г. Иркутск, Россия, nta@api.isu.ru

Наряду с традиционным локальным методом обнаружения частиц высоких энергий по характеристикам прямого радиоизлучения широких атмосферных ливней (ШАЛ), когда измерения напряженности электромагнитного поля проводятся вблизи оси ливня, детектирование первичных космических лучей (ПКЛ) возможно путем просмотра больших объемов околоземного пространства. При падении короткого радиоимпульса ШАЛ на земную поверхность происходит его частичное поглощение, рассеяние и отражение на границе раздела атмосфера-Земля. После взаимодействия с земной поверхностью радиоимпульс ШАЛ в метровом диапазоне длин волн может распространяться в волноводе Земля-ионосфера. В годы активного Солнца для больших критических частот ионосферы радиоволны с частотами, превышающими 30 МГц, могут попасть в пункт наблюдения под низкими углами к горизонту. В этих условиях радиоимпульс ШАЛ в процессе распространения в ионосфере будет испытывать искажения. Поэтому представляется важным учет вклада ионосферных эффектов в структуру импульса при решении обратной задачи восстановления энергии ПКЛ по характеристикам радиоизлучения ШАЛ. В работе приведены результаты анализа искажений радиоимпульса ШАЛ в канале Земля-ионосфера. Показано, что отраженное от Земли радиоизлучение ШАЛ в диапазоне 30-55 МГц может переотражаться от спорадического слоя E_s , расположенного на высотах 100-110 км. При этом максимальная дальность наклонного распространения радиоизлучения составляет 1500-2500 км. Эффект возвращения радиоизлучения ливня из нижней ионосферы на поверхность Земли связан с рефракционным рассеянием на тонкой турбулентной структуре слоя E_s . Показана возможность сильных дисперсионных искажений широкополостного радиоимпульса ШАЛ при распространении в неоднородной ионосфере, вследствие интерференции различных участков его временного спектра. Характер этих искажений существенно зависит от дальности распространения и высотного градиента профиля электронной плотности ионосферы. Наряду с обычной дисперсией и явлением многолучевости этот эффект важно учитывать при выборе дисперсионного фильтра для восстановления формы и длительности исходного радиоимпульса ШАЛ. Сделана оценка радиуса частотной корреляции радиоизлучения и рассчитана средняя форма радиоимпульса ШАЛ для типичных параметров турбулентных неоднородностей ионосферы.

РОЛЬ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛАЗМЫ В ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ШУМА В ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ АВРОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ

**А.А. Чернышов¹, А.А. Ильясов¹, М.М. Могилевский¹, И.В. Головчанская²,
Б.В. Козелов²**

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

² ПГИ КНЦ РАН, г. Анатимы, Россия.

Общепризнанным физическим механизмом широкополосного электростатического шума, сопровождающего альфвеновскую турбулентность, является механизм, основанный на теории генерации широкополосных электростатических волн неоднородными поперечными квазистатическими электрическими полями. Неоднородные электрические поля могут дестабилизировать разновидность электростатических ионно-циклотронных волн, которые получаются как неустойчивые решения нелокального дисперсионного уравнения для ионно-циклотронных возмущения и свойства которых существенно отличаются от классических ионно-циклотронных волн. Такие неустойчивости могут приводить к нагреву ионов в ионосфере Земли и последующему оттоку ионов в магнитосферу. Однако до сих пор не рассмотрена возможность генерации неустойчивостей неоднородностями концентрациями плазмы, которые в свою очередь могут также приводить к нагреву и «убеганию» ионов. Известно, что авроральная ионосфера и магнитосфера Земли являются неоднородными средами, где существуют градиенты концентрации и неоднородности плотности плазмы. В данной работе изучено влияние неоднородности концентрации плазмы на генерацию электростатического шума. Проведено сравнение двух механизмов генерации – при наличии градиентов плотности и электрического поля.

ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК УНЧ/ОНЧ СИГНАЛОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СТЕНДОМ СУРА В ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

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

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

В течение последних четырех лет на стенде СУРА было проведено комплексное исследование искусственной ионосферной генерации сигналов в УНЧ/ОНЧ диапазонах. В последние годы, на фоне возрастающей солнечной активности, было исследовано влияние геомагнитной активности на характеристики искусственных низкочастотных сигналов. Никакой корреляции с вариациями магнитного поля Земли не наблюдалось при слабых геомагнитных возмущениях ($K_p \leq 3$). Во время малой магнитной бури 7 октября 2011 ($K_i=4$ по данным станция ИЗМИРАН) было замечено уменьшение амплитуды сигналов на частотах 3 и 6 Гц, в то время как ОНЧ сигналы на частотах 2 и 2,6 кГц возрастали на фазе роста возмущения геомагнитного поля. Подобная закономерность была прослежена в 2013 г. во время бурь 21 марта ($K_p=5$), 24-25 мая ($K_p=5+$) и 16 августа ($K_p=5+$). Возможны две причины наблюдаемой зависимости – увеличения поглощения КВ и УНЧ волн в нижней ионосфере, и/или уменьшение критической частоты F-слоя, обычно сопровождающее магнитную бурю. Последний фактор возможно наиболее вероятен. Более убедительно эту зависимость удалось проследить 24-25 мая, когда во время бури стенд работал до 6 часов утра. Амплитуда сигнала явным образом следовала за вариацией критической частоты F-слоя. Часть измерений в июне 2012 года были проведены во время магнитной бури 16-18 июня, ($K_p = 6$). Было также обнаружено уменьшение амплитуды УНЧ сигнала при нарастании магнитного

возмущения. Кроме того, во время дневного сеанса 18.06.2012 на фазе восстановления. была обнаружена модуляция искусственных сигналов на частотах 11 и 17 Гц с периодом 30 с. Отметим, что период 30с является основным периодом колебания силовой линии проходящей через стенд СУРА, причем для геомагнитной широты стенда СУРА ($\sim 48^\circ$) удивительным образом совпадают периоды торсионной и тороидальной мод осцилляций силовой линии. Проявились так же особенности поляризации искусственных УНЧ сигналов во время магнитных бурь. Как правило, излучение имеет эллиптическую поляризацию на всех частотах УНЧ сигналов с преобладанием лево-поляризованного излучения. Во время бури наблюдается изменение характера поляризации искусственного УНЧ излучения. Преобладающей становится правая поляризация, что может быть связано с изменением параметров ионосферной плазмы во время магнитной бури. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-02-00419, 13-02-00723, 13-02-97086 и 13-02-12074.

БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СВЕРХМЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В F-СЛОЕ ИОНОСФЕРЫ

О.В. Мингалев, М.Н. Мельник, В.С. Мингалев, И.В. Мингалев

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатимы, Россия, mingalev_o@pgia.ru

В работе изучается эволюция на бесстолкновительном масштабе времени в F-слое ионосферы сверхмелкомасштабных неоднородностей, вытянутых вдоль геомагнитного поля, которые имеют характерный поперечный пространственный масштаб от нескольких до десятков дебаевских расстояний электронов, что составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров. Используется численное моделирование в рамках модели, основанной на методе крупных частиц для системы Власова–Пуассона с заданным сильным внешним магнитным полем в постановке с размерностью $2D2V$, в которой учитывается движение как электронов, так и ионов в ортогональной геомагнитному полю плоскости. Расчеты проводились для типичных параметров ночной ионосферы на высоте 300 км, на время, меньшее среднего времени свободного пробега электронов, которое составляет примерно 1047 их равновесных плазменных периодов $\theta_{pe} \approx 3.52 \cdot 10^{-7}$ с. На этой высоте ионный состав представлен ионами кислорода O^+ . Размер области моделирования был равен 128 равновесным электронным дебаевским расстояниям $\lambda_{De} \approx 7.6$ мм (около 1 м). Начальная круглая неоднородность в концентрации имела диаметр $12\lambda_{De}$, и состояла из примерно круглого пятна диаметром $6\lambda_{De}$ с пониженной одинаковой концентрацией электронов и ионов, которое окружает кольцо с повышенной одинаковой концентрацией электронов и ионов. Полное число частиц в неоднородности для электронов и ионов совпадало с пространственно однородным случаем, и начальная плотность заряда в точности равна нулю. Проведенные сравнительные расчеты показали, что возникают квазипериодические затухающие колебания, в которых проявляется как плазменная, так и циклотронная частоты электронов. При этом в области начальной неоднородности, где начальная концентрация понижена по сравнению с однородной фоновой, достаточно длительное время (примерно 45 равновесных плазменных периодов θ_{pe}) существует "дышащее" пятно отрицательного заряда, а в области, где начальная концентрация выше однородной фоновой, существует аналогичное "дышащее" пятно положительного заряда. Затем, после переходного этапа примерно в 10 равновесных плазменных периодов θ_{pe} , ситуация меняется на противоположную: в центре образуется "дышащее" пятно положительного заряда, а в области, где начальная концентрация выше однородной фоновой, существует аналогичное "дышащее" пятно отрицательного заряда. Эта картина существует примерно 150 равновесных плазменных периодов θ_{pe} . Время затухания определяется тепловым движением ионов, и зависит от начального размера неоднородности. Сравнительные расчеты также

показали, что по сравнению с неоднородностью, образованной начальным возмущением только электронной концентрации, описанная выше неоднородность существенно эффективнее возбуждает плазменные колебания. На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что мелкомасштабные изначально электронейтральные неоднородности в концентрациях ионов и электронов, образовавшиеся в результате высыпаний, создают достаточно длительно существующие (порядка времени свободного пробега электронов) области, в которых нарушается электронейтральность. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 13-01-00063.

МОДУЛЯЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ШИРОКИХ СПЕКТРОВ ВОЛН И ВОЗМОЖНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ЗАПЫЛЕННОЙ ИОНОСФЕРЕ

Т.И. Морозова, С.И. Копнин, С.И. Попель

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, timoroz@yandex.ru

Работа посвящена описанию плазменных неоднородностей в ионосфере. Известно, что наиболее существенным нелинейным процессом в плазме, приводящим к возникновению неоднородностей, является модуляционное взаимодействие. В дневное время в ионосфере на процессы, развивающиеся в ней, оказывает солнечное излучение. В настоящее время разработаны методы описания модуляционной неустойчивости, относящиеся к монохроматической волне накачки. При описании модуляционной неустойчивости солнечного излучения использование стандартных методов оказывается возможным лишь для очень узких диапазонов параметров, которые не позволяют охватить все возможные масштабы неоднородностей. В этой связи необходимым является адекватное описание модуляционной неустойчивости широких спектров волн, характер которой может отличаться существенным образом от ее характера в случае монохроматической накачки. Целью работы является разработка методов описания модуляционной неустойчивости широких спектров волн в запыленной ионосферной плазме. Выводятся основные уравнения и проводится их анализ. Проводятся оценки характерных масштабов ионосферных неоднородностей, обусловленных модуляционным взаимодействием, и их сравнение с данными наблюдений. Работа выполнена по Программе Совета по грантам Президента РФ (проект № НШ-203.2012.5) для поддержки ведущих научных школ; Гранту Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых (грант № МК-3764.2013.2). МТИ выражает также благодарность фонду «Династия» за финансовую поддержку.

К ВОПРОСУ О КРАТКОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИКИ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ F2 ИОНОСФЕРЫ

Л.П. Коган

ГОУ ВПО ННГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия, l_kog@list.ru

В работе вычисляются статистические функционалы для совокупности значений критической частоты (КЧ) слоя F2 ионосферы по данным за 1992 – 2004 гг., полученным на камчатской ионосферной станции ИКИ ДВО РАН (Station name: PETROPAVLOVSK, PK 553, 53.020 с.ш. и 158.650 в.д.). Измерениям КЧ сопоставлялись землетрясения в зоне радиусом 1000 км от данной станции. При проведении расчетов была предложена гипотеза о

независимости вариаций КЧ, вызываемых процессом подготовки предстоящего в течение нескольких ближайших суток землетрясения, от флуктуаций КЧ, отвечающих всем прочим возможным факторам. С учетом этой гипотезы был развит соответствующий математический аппарат и вычислены статистические функционалы, подобные характеристической функции, для совокупности серий измерений КЧ. Каждая такая серия включала данные по измерениям КЧ в течение 96 часов. При этом были получены следующие результаты.

1. Имеет место существенное отличие свойств указанных функционалов, отвечающих землетрясению с магнитудой не менее 5.5, при условии, что соответствующая серия измерений завершается не более чем за 24 часа до данного тектонического события, по сравнению со случаем, когда землетрясения такой силы не происходит как минимум в течение 192 часов по окончании измерений.
2. Удалось показать, что на каждое землетрясение приведенного выше диапазона магнитуд в указанном регионе приходится порядка 10 – 15 ситуаций, когда система приходит в «предтектоническое» состояние, которое, однако, не приводит к подобному событию.
3. Показана возможность вычисления среднего значения и дисперсии для вариаций критической частоты, отвечающих процессу подготовки предстоящего в ближайшее время сильного тектонического события.
4. Предложен алгоритм вынесения решения о величине вероятности сильного землетрясения в ближайшем интервале времени (например, в следующие 24 часа) по завершении текущей серии измерений.
5. Данный алгоритм может быть распространен на большой массив задач, связанных с необходимостью определения вероятности природных и техногенных катастрофических событий.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА КОСМОС-900

В.В. Афонин

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

Космос-900 был запущен 30 апреля 1977 г. на круговую полярную орбиту с апогеем 523 км, перигеем 508 км и наклоном орбиты 82°. Он проработал на орбите 2,5 года вплоть до 11 сентября 1979 г. За это время его апогей снизился до 330 км. Концентрация ионов N_i измерялась сферической ионной ловушкой, работающей в плавающем режиме, а температура электронов T_e высокочастотным зондом электронной температуры ДЭТ (модификация зонда Ленгмюра, так называемый ректификационный зонд). Рабочий цикл ДЭТа был равен 4 с, поэтому значения T_e получались 1 раз за 4 с. N_i и T_i измерялись также плоской ионной ловушкой (retarding potential analyzer, RPA) ПЛ-40А. Бортовое запоминающее устройство работало в нескольких режимах с запоминанием данных за 5 мин (ЗАП-1), 30 мин (ЗАП-2), 120 мин (ЗАП-3) и 1920 мин (ЗАП-4). В режиме ЗАП-4 Космос-900 запоминал непрерывно данные в течение 16 орбит, что обеспечивало практически непрерывное глобальное покрытие земного шара. Частота измерений (sampling rate) была равна 0.01, 0.08, 0.32 and 5.12 с соответственно. При этом для концентрации ионов на локальном коммутаторе было выделено 4 канала, поэтому данные по концентрации ионов представляли собой сеансы длиной 16 орбит и частотой опроса 1 раз за секунду. Данные каждого сеанса связи с КА после регистрации на наземных приемных пунктах записывались на магнитные ленты и пересылались в ИКИ. Данные режима ЗАП-4 были проанализированы с целью поиска признаков предвестников землетрясений (EQ). Предложено несколько методов анализа, разработано соответствующее программное обеспечение и проведен

предварительный анализ данных. Показано, что в периоды землетрясений в земной ионосфере существуют специфические волновые явления, связанные с сейсмической активностью. Анализ позволил предложить кандидата в предвестники EQ: появление волнообразных вариаций с характерными масштабами $S=300-450$ с. Эти сейсмические волнообразные вариации являются field-aligned (вытянуты вдоль магнитного поля) и обычно заполняют куполообразную область вплоту до $\Delta\lambda=\pm 25-30^\circ$ по долготе и $\Delta\varphi=\pm 40^\circ$ по широте.

МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В ОКРЕСТНОСТИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В.А. Грушин¹, С.И. Климов¹, В.Е. Корепанов², Д.Ф. Дудкин²

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия,*

²*Львовский центр ИКИ НАНУ-ГКАУ, г. Львов, Украина, vgrushin@iki.rssi.ru.*

Более чем 10-летний опыт работы орбитальной станции (ОС) МИР свидетельствует о том, что ОС, в том числе и Международная Космическая Станция (МКС), могут использоваться для проведения длительных наблюдений. Одним из видов длительных наблюдений является мониторинг ряда физических параметров и процессов, оказывающих (или в перспективе могущих оказать) существенное влияние на ионосферу. Важными характеристиками ионосферы является наличие плазмы и земного магнитного поля. Благодаря относительно высокой, по отношению к другим областям околоземного космического пространства, концентрации плазмы ионосфера является важным интерфейсом в энергетическом процессе солнечно-магнитосферно-атмосферных связей. Первые 8 месяцев работы эксперимента Обстановка 1 этап позволили получить большой массив данных по измерению электромагнитных параметров на орбите МКС (круговая ~ 380 км., наклонение $\sim 52^\circ$), т.е., непосредственно в F2 слое. В докладе представлены первые результаты измерений магнитного поля и его вариаций на интервалах порядка месяца, позволяющие сделать заключение о высокой чувствительности аппаратуры к различным изменениям среды, вызванным как природными так и техногенными факторами.

ВОЗБУЖДЕНИЕ И РЕЗОНАНСНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ УНЧ КОЛЕБАНИЙ ПО ДАННЫМ ДОПЛЕРОМЕТРИИ РАДАРНЫХ ОТРАЖЕНИЙ ОТ СЛОЯ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

В.И. Бадин

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

Проведен анализ доплеровских данных норвежского радара STARE для спокойных или слабозамушенных условий (по планетарным геофизическим индексам). Данные представляют собой доплеровские измерения скорости дрейфа ионосферной плазмы в высоких широтах. Измерения проводились каждые двадцать секунд, и анализируются четырехчасовые последовательности таких измерений. Узкополосная фильтрация радарных данных позволяет изучать пространственное распределение (в пределах поля радарных отражений) интенсивности сигналов в диапазоне единиц миллигерц на наиболее значимых частотах, обнаруженных ранее посредством спектрального анализа магнитных и радарных наблюдений. Пространственное распределение интенсивности ультранизкочастотных (УНЧ) сигналов дает представление о размерах, форме и происхождении источников таких сигналов. Высокочастотная фильтрация доплеровских радарных измерений дает

возможность обнаружить пространственную зону резонансного поглощения (резонанс магнитных силовых линий) УНЧ колебаний и полярную границу этой зоны. Низкочастотная фильтрация радарных данных позволяет проследить формирование зоны резонансного поглощения по мере расширения полосы пропускания низкочастотного фильтра. При последовательном повышении частоты, эффект сначала появляется на узком участке вдоль полярной границы зоны поглощения, а затем последовательно распространяется на всю зону. Такая частотная зависимость подтверждает резонансное происхождение явления. Построены цветные диаграммы линий уровня средней мощности и дисперсии УНЧ сигналов, а также булавочные (stem) диаграммы. Приведены оценки минимальной частоты резонансного поглощения. Работа частично поддержана Программой Президиума РАН № 22.

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

АЛЬВЕНОВСКИЕ ВОЛНЫ В ОБЛАСТИ УСКОРЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ТЕЧЕНИЕ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

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

¹*Институт ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, г. Москва, Россия, efimov@ms.ire.rssi.ru,*

²*Пушчинская РО АКЦ ФИАН, Россия,*

³*Институт Астрономии им. Аргеландера Боннского университета,*

⁴*Институт исследования окружающей среды Кёльнского университета.*

Методы радиозондирования являются одним из немногих средств получения информации о магнитном поле и магнитогидродинамических (МГД) волнах в области ускорения солнечного ветра. К настоящему времени выполнено 3 цикла радиозондирования околосолнечной плазмы линейно-поляризованными сигналами заходящих за Солнце космических аппаратов. Наибольший объем экспериментальных данных был получен в период успешного функционирования (1975-1984) европейских солнечных зондов HELIOS-1 и HELIOS-2. Было выполнено 228 сеансов радиозондирования с общим временем регистрации зондирующих сигналов S-диапазона ($\lambda=13$ см) $T_{\Sigma}=1277$ часов [Bird et al, 1992]. В 2002 г. после выхода на орбиту спутника Сатурна CASSINI было проведено 2 эксперимента радиопросвечивания солнечной короны сантиметровыми (X-диапазон, $\lambda=3.6$ см) сигналами [Jensen, 2007]. Аналогичные эксперименты были осуществлены при заходе за Солнце космического аппарата MESSENGER в течение трех дней (8, 10 и 11 ноября) 2009 г. общее время регистрации составило около 7 часов. Основным результатом выполненного исследования было обнаружение квазипериодических частотных вариаций с частотой 0.6 ± 0.2 миллигерц [Jensen et al, 2012]. Таким образом, радиозатменные эксперименты с использованием солнечных зондов HELIOS-1 и HELIOS-2 продолжают оставаться уникальными как с точки зрения объема полученной информации, так и специфики изученной области, расположенной на гелиоцентрических расстояниях между 3 и 7 солнечными радиусами, где происходит основное ускорение солнечного ветра, возможно связанное с МГД-волнами. Результаты обработки материалов наблюдений представлены во многих работах авторов экспериментов [Volland et al, 1977; Hollweg et al, 1982; Bird et al, 1992] и серий совместных с авторами настоящего доклада публикаций [Efimov et al, 1993,1996; Andreev et al, 1997; Chashei et al, 1999]. Целью настоящего сообщения является сопоставление и детальный анализ экспериментальных данных, полученных в различные фазы 21 цикла солнечной активности: высокий максимум (октябрь-ноябрь 1979 г., глубокий минимум (1975, 1976 гг.)), восходящая ветвь (1977, 1978 гг.) и нисходящая ветвь (1983/1984 гг.). Зондирование околосолнечной плазмы было выполнено в областях, расположенных и к западу, и к востоку от Солнца на гелиоцентрических расстояниях между 3.4 и 16.7 радиусами Солнца R_S . В указанный период было выполнено 34 сеанса одновременных наблюдений зондирующих плазму сигналов в разнесенных на большое (8000...11000 км) расстояние. По времени запаздывания флуктуационных эффектов в одном пункте по сравнению с другим определены скорости движения неоднородностей. Для гелиоцентрических расстояний $(3.5-4.5)R_S$ значения скорости составляют (290-550) км/с, а при удаленностях на $(5.5-6.5)R_S$ ее величина изменяется в пределах от 150 км/с до 450 км/с.

Следует отметить, что определяемая по запаздыванию скорость возмущений может отличаться от альвеновской скорости в связи с изменением направления движения волн.

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ СВЕРХЗВУКОВОГО ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Н.А. Лотова, И.А. Субаев, О.А. Корелов

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

На основе новой модификации метода просвечивания подробное изучение солнечного ветра распространено на удаленные области межпланетного пространства, до расстояний $R \approx 90R_s$. В этой области обнаружено существование четырех дискретных зон, где процесс ускорения солнечного ветра связан с развитием волновых процессов четырех типов и формированием ударной волны. Ударная волна ускоряет поток солнечного ветра в узкой области, шириной $(1.5-2.5)R_s$. Повторные процессы ударного ускорения солнечного ветра в четырех последовательных зонах имеют затухающий вид. В результате на расстоянии $R \approx 90R_s$ от Солнца возникает установившийся сверхзвуковой поток солнечного ветра

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ СОЛНЦА В ВУФ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА

В.А. Слемзин¹, Ю.С. Шугай²

¹*ФИАН, г. Москва, Россия,*

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

Современные модели солнечного ветра (СВ), например, WSA, ENLIL, основаны на идентификации источников солнечного ветра с областями открытого магнитного поля, рассчитываемого по статическим фотосферным магнитограммам в потенциальном приближении. Эти модели обладают ограниченной точностью, поскольку не выявляют всех типов источников СВ, в особенности медленного ветра, так как не обладают достаточным пространственным разрешением и не учитывают транзиентных источников, связанных с солнечной активностью. Указанные ограничения преодолеваются при локализации корональных источников СВ по изображениям Солнца на основе корреляции координат и характеристик СВ («вмороженная» ионная температура, ионный состав) с параметрами корональных структур, наблюдаемых в ВУФ диапазоне. Рассматриваются возможности использования ВУФ изображений приборов ТЕСИС, Proba2/SWAP, SDO/AIA для идентификации как квазистационарных (корональные дыры, активные области), так и транзиентных источников СВ (КВМ, мелкомасштабная активность).

MONITORING CORONAL MASS EJECTIONS AND SPACE WEATHER AT NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER

A. Taktakishvili, A. Pulkkinen, Y. Zheng, L. Mays, P. MacNeice, M. Kuznetsova

NASA Goddard Space Flight Center (GSFC NASA)

We will demonstrate the tools of modeling of propagation of coronal mass ejections in the heliosphere used at the Space Weather Research Center (SWRC) and Community Coordinated Modeling Center (CCMC) of NASA/GSFC. We will also show how we monitor space weather conditions at the Earth and NASA missions.

ЭФФЕКТ ГНЕВЫШЕВА И КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ В СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Г.А. Базилевская, А.К. Свиржевская

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

Эффект Гневывшева проявляется как временное ослабление солнечной активности в фазе максимума 11-летнего цикла. Он наблюдается в солнечных пятнах, фотосферном магнитном поле, корональном индексе, числе вспышек и других индексах. Однако этот эффект выглядит по-разному в северном и южном полушариях Солнца, кроме того, нередко ослабление активности можно наблюдать дважды в течение максимальной фазы одного цикла. Скорее всего, эффект Гневывшева – проявление квазипериодической структуры солнечной активности с характерными временами $\sim 0.5-2$ года, в которой присутствуют признаки стохастичности. Эффект Гневывшева транслируется в гелиосферу открытым магнитным потоком Солнца и проявляется в геомагнитной активности и модуляции интенсивности космических лучей. В этом качестве эффект Гневывшева является важным репером, позволяющим изучать солнечно-земные связи.

О ТИПИЧНОЙ СТРУКТУРЕ ФАЗЫ МАКСИМУМА В СОЛНЕЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ И ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ И ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СЦ 24

М.Б. Крайнев, М.С. Калинин

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

В настоящее время подходит к концу фаза максимума солнечного цикла (СЦ) 24, во многих отношениях аномального в сравнении с циклами второй половины 20-ого века. В разгаре должна быть и соответствующая фаза в цикле интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ), развивающемся в противофазе с солнечной активностью. В данной работе мы сопоставляем наблюдаемое поведение площади солнечных пятен, распределения полярности гелиосферного магнитного поля (ГМП) и интенсивности ГКЛ на орбите Земли в 2011-2013 гг. с их типичным поведением в фазах максимума СЦ 21-23 (1980-2003 гг.), включающим провалы и пики Гневывшева (соответственно, в солнечной активности и интенсивности ГКЛ), инверсию полярности ГМП и энергетический гистерезис в интенсивности ГКЛ. Кроме того, развитие СЦ 24 в площади солнечных пятен в N- и S-полушариях Солнца и интенсивности ГКЛ в 2013-2014 гг. сравнивается с ожидаемым из корреляционной связи между значениями

этих характеристик в максимуме и точке перегиба солнечного цикла, установленной нами ранее.

О ПРИЧИНЕ ИЗЛОМА В СПЕКТРАХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПРОТОНОВ И ГЕЛИЯ ОКОЛО ~230 ГЭВ

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, vloznikov@yandex.ru, nerokhin@iki.rssi.ru

Для описания спектра космических лучей (КЛ) протонов (p) и ядер гелия (He) (в диапазоне $\sim 10 \div 10^6$ ГэВ) предлагается трехкомпонентная феноменологическая модель. Первая компонента соответствует постоянному фону, вторая – гелиосферному источнику (на периферии гелиосферы за TS), третья – близкому галактическому источнику, предположительно находящемуся вблизи границы местного межзвездного облака (ММО) на расстоянии от Солнца ~ 0.1 пс. За существование и переменность обоих источников отвечают соответствующие “серфотронные ускорители”, для работы которых необходимо наличие области с почти однородным и постоянным по величине и направлению магнитным полем, ортогонально которому распространяются плазменные волны. Величина и точное положение излома в энергетических спектрах p и He (в области около ~ 230 ГэВ), зависит от соотношения между величинами и степенными индексами фона, “мягкого” гелиосферного источника и “жесткого” близкого галактического источника. Ужесточение спектра He относительно спектра p качественно объясняется тем, что серфотронный механизм более эффективно ускоряет частицы с большим зарядом, а захват заряженных частиц плазменной волной более эффективен для частиц с меньшей массой. На основе численных расчетов рассмотрено ультрарелятивистское ускорение p и He в космической плазме электромагнитной волной, распространяющейся поперек внешнего магнитного поля. Проведен анализ условий захвата p и He волной, динамика компонент скорости и импульса частицы, зависимость темпа ее ускорения от исходных параметров задачи. Исследована структура фазовой плоскости ускоряемых p и He . Расчеты показали, что в отличие от электронов и позитронов захваченный сразу протон может через сравнительно небольшое время вылететь из эффективной потенциальной ямы и ускорение прекращается. Сформулированы оптимальные условия для реализации ультрарелятивистского серфотронного ускорения p и He электромагнитной волной, обсуждается возможность возникновения за счет серфотронного механизма отличий в спектрах ускоренных p и He (полученных при обработке экспериментальных данных по регистрации космических лучей) от стандартных степенных зависимостей. Показано, что в космической плазме возможно ускорение p и He , имевших начальную энергию порядка нескольких ГэВ, до энергий порядка 10^6 ГэВ.

О ФИЗИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И НАПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Ю.В. Думин^{1,2}

¹ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия, dumin@yahoo.com.

Рассматривается возможная модель формирования быстрых флуктуаций химического состава и направления потока солнечного ветра, детектировавшихся, в частности, в эксперименте “Плазма-Ф” на борту космического аппарата “Спектр-Р”. В основе модели лежит эффект перемежаемости магнитных силовых трубок с различным временем жизни в поясе корональных стримеров, при размыкании которых образуется “медленный” солнечный ветер. Как вытекает из проведенных аналитических расчетов, эта модель позволяет достаточно легко объяснить наблюдаемые быстрые флуктуации отношения концентраций гелия и водорода в 2–3 раза. Что же касается флуктуаций направления потока солнечного ветра, то их аналитическая оценка затруднительна; так что расчет этой величины требует более детального численного моделирования. Тем не менее, существенной особенностью, не зависящей от методики расчета, является весьма тесная корреляция между резкими скачками химического состава и направления солнечного ветра, что может служить для верификации рассматриваемой модели. Работа частично поддержана грантом РФФИ № 14-02-01275 (рук. Б.В. Сомов).

О НАГРЕВЕ ЭЛЕКТРОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА БОЛЬШИХ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ

И.В. Чашей, Х. Фар

Пушчинская Радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Россия

Рассмотрен нагрев электронов солнечного ветра при взаимодействии со слабыми ударными волнами. Показано, что в результате этого взаимодействия температура электронов оказывается существенно выше, чем в адиабатическом случае и может достигать значений 10^5 К и выше во внутренней окрестности гелиосферной ударной волны.

МАГНИТНАЯ ДЫРА КАК ПЛАЗМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ВОЗМУЩЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

С.А. Гриб¹, С.Н. Леора²

¹ГАО РАН, Пулково, СПб, Россия, sagrib@gmail.com,

²СПбГУ, ММФ, г. Санкт-Петербург, Россия, leora2008@mail.ru

На основе экспериментальных данных, полученных на космических аппаратах, с целью построения магнитогидродинамической (МГД) модели рассматриваются часто наблюдаемые в потоке солнечного ветра плазменные структуры с постоянным полным давлением типа магнитных дыр. Предполагается, что магнитные дыры могут возникнуть в солнечной плазме после распада начального разрыва с возникновением двух медленных МГД ударных волн и дальнейшим их переходом в МГД тангенциальные разрывы. Изучается взаимодействие линейной магнитной дыры (МД) с фронтом головной ударной волны перед магнитосферой

Земли и описывается возникновение быстрой ударной волны в магнитослое и смещение фронта головной волны в направлении магнитосферы Земли. МД в рамках МГД теории рассматривается как плазменная неоднородность, ограниченная двумя тангенциальными разрывами: передней и задней границами. Столкновение передней границы МД с фронтом головной ударной волны создаст область потока, ограниченную двумя быстрыми ударными волнами с тангенциальным разрывом между ними. Передняя ударная волна преломится в магнитослой, другая же будет смещённой головной ударной волной. В то же время, смещённый фронт головной волны с изменёнными параметрами, взаимодействуя с задней границей МД, создаст отражённую от границы быструю волну разрежения. Рассматриваются также возмущения МД со стороны солнечной быстрой ударной волны, набегающей на МД, и подчёркивается качественная аналогия этого взаимодействия со случаем, рассмотренным ранее. Наблюдения, проведённые с помощью космических аппаратов Cluster и ACE, во многом подтверждают полученные в работе результаты, говорящие об изменении конфигурации МД и смещении фронта головной ударной волны. Работа осуществлялась по программе Президиума РАН П-22 и по гранту РФФИ 11-01-00235а).

A CONTRIBUTION OF BMSW TO SOLAR WIND PHYSICS: OVERVIEW OF RESULTS

Z. Nemecek¹, J. Safrankova¹, L. Prech¹, G. Zastenker², O. Goncharov¹, P. Cagas¹, A. Pitna¹, A. Komarek¹, K. Jelinek¹, M. Riazantseva²

¹*Charles UFMPH, Prague, Czech Republic, zdenek.nemecek@mff.cuni.cz,*

²*IKI RAN, Moscow, Russia.*

The paper presents new results from data analysis of the BMSW instrument onboard the Spektr-R project. These high-resolution plasma measurements contribute to many fields of solar wind physics. We concentrate our attention on solar wind properties like the plasma turbulence and helium abundance and on interplanetary (IP) shock features. We present: (1) a short study of the frequency spectra of the ion flux through IP shocks; (2) a contribution to the discussion on wave trains connected with the IP shocks; (3) an analysis of subcritical or marginally critical IP shocks that reveals that the ion transition scale determined from direct measurements of plasma moments (speed, temperature, and density) is of the same order as the ramp thickness determined from the magnetic field and that the ion transition scale is directly proportional to the ion thermal gyroradius; and (4) a systematic study of fast variations of the He abundance that supports the idea that a majority of these variations on short timescales (3–30 s) are generated by in-transit turbulence.

ЭВОЛЮЦИЯ СЕКТОРНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕЧЕНИЕ 15 ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М.В. Вохмянин, Д.И. Понявин

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, vohmyaninmv@gmail.com

Нами предложена методика восстановления полярности межпланетного магнитного поля (ММП) и опубликован каталог ежедневных данных в допутниковый период (Vokhmyanin and Ponyavin, 2013), включающий вторую половину 19-го века. Метод основан на эффекте Свальгаарда-Мансурова, исследуются геомагнитные вариации высокоширотных станций. Мы показали возможность получения достаточно надежных данных при использовании наблюдений не только полярных, но и субавроральных станций, таких как обсерватории в Санкт-Петербурге и Хельсинки. В данной работе на основе полученного каталога

полярности ММП исследуются закономерности эволюции секторной структуры в течение 15 циклов солнечной активности (с 9-го по 23-й включительно).

ЭКСЦЕСС МАГНИТНОГО ПОТОКА В ГЕЛИОСФЕРЕ КАК СЛЕДСТВИЕ НЕПАРКЕРОВСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С РАССТОЯНИЕМ И ШИРОТОЙ

О.В.Хабарова

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, habarova@izmiran.ru

Эффект «эксцесса магнитного потока» – превышение магнитного потока, вычисленного по данным удаленных космических аппаратов, над потоком, наблюдаемым на орбите Земли, был обнаружен М.Оуэнсом в 2008 (Owens et al., JGR, 2008). Теоретически магнитный поток должен сохраняться в гелиосфере на расстояниях больше 10 радиусов Солнца, т.е. разница между потоком, измеренным на 1 а.е. и на других расстояниях должна равняться нулю. Однако, эта разница оказалась меньше нуля до 1 а.е. и больше – за орбитой Земли. Природа эффекта непрерывно дискутируется, однако консенсус не найден до сих пор в силу неудовлетворительного совпадения модельных кривых с измерениями. Между тем, продемонстрировано, что учет непаркеровской зависимости напряженности межпланетного магнитного поля (ММП) от расстояния дает возможность не только воспроизвести кривую разницы магнитного потока, но и объясняет, почему эта разница становится нулевой именно на 1 а.е. (Хабарова, АЖ, 2013). Непаркеровское убывание радиальной компоненты ММП в плоскости эклиптики не как r^{-2} , а как $r^{-5/3}$ было показано в работе Хабарова, Обридко, 2012 по данным пяти космических аппаратов и подтверждено по данным Ulysses, полученным в низких широтах (Хабарова, АЖ, 2013). Дополнительный вклад в эффект вносит зависимость ММП от широты: напряженность ММП увеличивается по направлению к плоскости эклиптики.

[Khabarova Olga, and Obridko Vladimir], *Puzzles of the Interplanetary Magnetic Field in the Inner Heliosphere*, 2012, *Astrophysical Journal*, 761, 2, 82, doi:10.1088/0004-637X/761/2/82, <http://arxiv.org/pdf/1204.6672v2.pdf> .

[О.В. Хабарова], *Межпланетное магнитное поле: зависимость от расстояния и широты*. *Астрономический журнал*, 2013, 90, 11, 919–925, <http://files.olgakhabarova.webnode.com/200000025-9b3e49c383/Khabarova2013-RU.pdf>.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МИНУТНЫХ ВАРИАЦИЙ ПЛОТНОСТИ И СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА 1 А.Е.

Д.А. Парунакян, Е.С. Беленькая

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, dp@dp.io

В работе по данным приборов MAG и SWEPAM на борту космического аппарата ACE за период 1998-2012гг исследуются свойства распределения параметров солнечного ветра на фазовой плоскости п.у. Используются измерения с высоким разрешением (64сек). Проводится анализ наименьшей наблюдаемой скорости солнечного ветра в зависимости от его плотности методом скользящего среднего и полиномиального/линейного фитирования по трем наименьшим значениям для каждого бина, а также отдельное изучение ряда структурных элементов распределения. Также в работе производится анализ частот распределения плотности и скорости солнечного ветра для поиска уравнений, описывающих

вероятные состояния этих параметров, а также верхнего предела наблюдаемой скорости в зависимости от плотности. Кроме того, в работе рассмотрено распределение производных по времени от плотности и скорости и найдено уравнение, аппроксимирующее границу области наиболее характерных значений этих производных. Это уравнение описывает суперэллипс, полуоси и показатель степени которого найдены методом линейной регрессии по градиенту плотности распределения. Полученные результаты позволяют предсказывать диапазон допустимых значений кратковременных вариаций скорости солнечного ветра для данного значения плотности, а также решать обратную задачу. Кроме того, дается прогноз характерного изменения производной скорости (или плотности) солнечного ветра по известной производной его плотности (или скорости).

ПРОГНОЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ, ВЫЗВАННЫХ МАГНИТНЫМИ ОБЛАКАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С УЧЕТОМ СЕЗОНА ГОДА И ИХ НАЧАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Н.А. Бархатов¹, Е. А. Ревунова^{1,2}, А.Б. Виноградов¹

¹*НГПУ им. К.Минина, г. Нижний Новгород, Россия, nbarkhatov@inbox.ru,*

²*ННГАСУ, г. Нижний Новгород, Россия.*

Работа посвящена изучению геомагнитной эффективности магнитных облаков солнечного ветра с учетом сезона года и ее зависимости от ориентации облаков уже во время их возникновения в атмосфере Солнца. Магнитные облака имеют выраженную структуру, поэтому в разные сезоны года облака со схожей ориентацией и величиной магнитного поля должны по разному действовать на геомагнитное поле, вследствие изменения проекции их магнитного поля на земной диполь. В результате анализа геоэффективности пар магнитных облаков сходной ориентации, зарегистрированных в разные сезоны года, установлено, что магнитные облака с небольшими значениями угла наклона оси к плоскости эклиптики обладают большей геомагнитной эффективностью в периоды равноденствия. Такая ориентация облака является наиболее вероятной, вследствие преимущественно продольного расположения солнечному экватору ведущего и ведомого пятен, представляющих источник плазменного потока. В связи с этим геомагнитная активность увеличивается в периоды равноденствия. Анализ данных об ориентации и геоэффективности 66 облаков позволил получить эмпирические квадратичные выражения зависимостей Dst-индекса от Vz компоненты межпланетного магнитного поля и от проекции его модуля в облаке на земной магнитный диполь. Результаты сопоставления значений реальных Dst-индекса с прогнозируемыми показали, что учет сезонной зависимости геомагнитной активности приводит к уменьшению среднего отклонения прогнозируемой интенсивности от реальной с 28% до 19%. Это означает, что для большинства магнитных облаков в этом случае получаются более близкие значения Dst-индекса магнитной бури к реальным и возможно более надежное их прогнозирование. Обращено внимание на важность информации об эволюции ориентации магнитного поля облаков на трассе Солнце-Земля. Ориентация магнитного поля в активных областях и, соответственно, ориентация зарождающихся замагниченных плазменных потоков, устанавливалась по стерео изображениям, полученных с космических аппаратов STEREO A, B. Ориентация магнитного поля облаков в окрестности Земли определялась их численным моделированием как бессиловых потоковых трубок [Бархатов и др., 2009]. Изучение эволюции ориентации магнитных облаков выполнено на основе анализа 18 солнечных плазменных выбросов (2007-2011 гг.) определенных в литературе как магнитные облака [Kilpua et al., 2012]. Установлено, что для большинства магнитных облаков (~70%) ориентация магнитного поля, возникшая над их солнечным источником, сохраняется. Это обстоятельство вместе с учетом сезонной зависимости

геомагнитной интенсивности может улучшить качество прогноза ожидаемой геомагнитной бури.

[Бархатов Н.А., Калинина Е.А., Левитин А.Е.] *Проявление конфигураций магнитных облаков солнечного ветра в геомагнитной активности // Космические исследования. 2009. Т. 47. №4. С. 300–310.*

[Kilpua E. K. J., Li Y., Luhmann J. G., Jian L. K., and Russell C. T.] *On the relationship between magnetic cloud field polarity and geoeffectiveness // Ann. Geophys. 2012. V. 30. P. 1037–1050/*

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ДЛИТЕЛЬНОСТЯМИ ГЛАВНОЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ФАЗ МАГНИТНЫХ БУРЬ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ ТИПАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

ИКИ РАН, г. Москва, Россия

На основе данных базы OMNI о параметрах плазмы и межпланетного магнитного поля для периода 1076-2000гг. мы определили типы крупномасштабных течений солнечного ветра (см. <ftp://www.iki.rssi.ru/pub/omni>), которые явились источниками магнитных бурь с $Dst_{min} < -50$ нТл. Были выделены следующие типы межпланетных источников: CIR, Sheath, magnetic cloud (MC) и Ejecta. Для всех магнитных бурь были определены длительности главной и восстановительной фаз, при этом длительность восстановительной фазы определялась двумя способами: конец фазы брался на уровне $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ от Dst_{min} . Проведенный анализ показал, что для средних значений длительности главных фаз для бурь, генерированных CIR и Sheath, короче, а длительности восстановительной фазы длиннее, чем для бурь, генерированных MC и Ejecta. При анализе длительностей индивидуальных бурь обнаружено, что для бурь, генерированных CIR и Sheath, длительности главной и восстановительной фаз антикоррелируют, в то время как для бурь, генерированных MC и Ejecta, какой-либо зависимости не обнаружено. Работа поддержана Программой Президиума РАН №22 и грантом РФФИ № 13-02-00158 а.

ОТРАЖЕНИЕ ПРОТОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ОТ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ ЛУНЫ

А.М. Садовский, А.А. Скальский

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

Первые измерения, проведенные на орбитах вблизи Луны, показали, что собственное глобальное дипольное магнитное поле у Луны отсутствует. Тем не менее еще в рамках американской программы Apollo была обнаружена естественная остаточная намагниченность образцов лунного грунта, привезенных на Землю, и аномальная намагниченность участков поверхности Луны (до нескольких сот нТ). Исследования, проведенные на космических аппаратах Kaguya и Chandrayaan, выявили аномально высокое отражение протонов солнечного ветра от поверхности Луны, в частности, в районах магнитных аномалий. В работе проведено исследование возможности образования разрывов или квазиударных волн над областями аномалий при взаимодействии магнитного поля аномалии с солнечным ветром. Представлены оценки концентрации отраженных частиц в зависимости от условий в солнечном ветре и величины собственного магнитного поля аномалии.

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

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП БСА ФИАН: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

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

Пушчинская РАО АКЦ ФИАН, Россия

В 2013 г. завершен первый этап модернизации радиотелескопа БСА ФИАН: создана и введена в пробную эксплуатацию новая диаграмма направленности, состоящая из 96 лучей, перекрывающих область склонений 50° . На модернизированном радиотелескопе начат мониторинг межпланетных мерцаний. В течение суток на частоте 111 МГц регистрируются мерцания около 3 000 компактных радиоисточников. Получены первые двумерные суточные карты пространственного распределения уровня мерцаний. Приведены примеры наблюдения крупномасштабных распространяющихся возмущений вспышечного происхождения.

ПРОСТОЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИЙ ИОНОВ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ДЕФЛЕКТОРЕ

А. Ремизов, М. Хильхенбах, У. Аустер

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

В работе рассматривается простой с точки зрения написания программы и быстрый с точки зрения работы на ЭВМ метод расчета движения заряженных частиц внутри электростатического дефлектора. Приводятся примеры расчета дефлектора с отклонением частиц до $\pm \sim 50^\circ$ для ионного энергоспектрометра и сравнение результатов с экспериментальными, полученными в лабораторных условиях. Почти идеальное совпадение говорит об эффективности предлагаемого метода расчета. Рассматриваются условия применения этого метода. Обсуждаются также примеры расчета распределения потенциалов, полученных по этой методике. Применение такого способа расчета весьма продуктивно при разработке спектрометров.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР В ЭПОХУ МАУНДЕРОВСКОГО МИНИМУМА

Р.А. Гуляев

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

В 1976 г. Джон Эдди (J.A.Eddy), изучив отчеты о наблюдениях полных солнечных затмений, содержащиеся в старых журналах и архивах обсерваторий, пришел к выводу, что в период Маундеровского минимума (1645-1715 гг.) солнечной короны фактически не было. В таком случае возникает вопрос: а был ли тогда солнечный ветер? С целью поиска признаков существования солнечного ветра в эпоху Маундеровского минимума предпринят анализ описаний и зарисовок комет, наблюдавшихся в этот период. Достаточным условием присутствия солнечного ветра может служить наличие у комет прямых плазменных хвостов типа I (по классификации Ф.А.Бредихина). За 70 лет Маундеровского минимума

наблюдалось более 20 комет. Среди них были большие и яркие кометы, например, кометы 1664 г., 1680 г., 1682 г. (комета Галлея) и др. По крайней мере у некоторых из них хвосты типа I определенно были. Это дает основание констатировать существование солнечного ветра в рассматриваемую эпоху.

ЛУННЫЙ ГРУНТ КАК ХРАНИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ О ДРЕВНЕМ СОЛНЕЧНОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Г.С. Ануфриев

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, anufriev.mass1@mail.ioffe.ru

Плазма, испускаемая Солнцем, беспрепятственно достигает поверхности Луны, незащищенной магнитным полем, и имплантирует ионы в лунную поверхность. Поверхность Луны покрыта чехлом мелкообломочного материала – реголита. Реголит (лунный грунт) формируется в результате длительного непрерывного воздействия на лунную поверхность комплекса космогенных факторов: (микро) метеоритной бомбардировки и облучения солнечными и галактическими лучами. Кроме того, одновременно происходит тепловое разрушение и измельчение лунных пород в результате суточных колебаний температуры от +120 °С днем до -170 °С ночью. Лунный грунт был доставлен на Землю советскими автоматическими станциями «Луна-16, -20, -24», в 1970 – 1976 гг., а также американскими (США) экспедициями Apollo в 1969 – 1972 гг. Сейчас на Земле имеются образцы грунта, доставленные из 9 районов Луны. При отборе колонок лунного грунта на лунной поверхности советскими автоматическими станциями были предприняты специальные меры, исключающие перемешивание лунного грунта при бурении или в процессе доставки колонок на Землю [1-4], что имеет очень важное значение при определении возраста лунного грунта. Доставка на Землю образцов лунного грунта позволила детально исследовать и изучить их химический состав и другие характеристики – структуру, физико-химические свойства и пр. Основное направление, проведенных ранее исследований, носит явно выраженный геологический приоритет: совокупность анализов позволила определить общие закономерности строения лунной поверхности и установить четкое отличие морских и материковых поверхностей. Принципиальное отличие лунного грунта от пород земной коры состоит в том, что лунный грунт содержит ионы солнечного ветра как результат непрерывного воздействия солнечного корпускулярного излучения. Таким образом, появляется возможность получить информацию о долговременных вариациях солнечных потоков. Однако выяснилось, что адекватных методов, пригодных для расшифровки сохраняемой грунтом информации о древнем солнечном излучении не существует. Разработка таких методов предпринята нами и отражена в публикациях [1-4]. Как известно, основным компонентом солнечно-ветрового потока являются ионы водорода. Однако неожиданной особенностью при проведении исследования лунного реголита явилось то, что в освещаемом Солнцем лунном грунте содержится очень мало водорода. Основным, имплантированным в лунный грунт солнечным компонентом, является гелий. Сделана попытка применить полученные результаты и методы [1-4] к американским колонкам лунного грунта [5-7], для которых выяснено, что формирование лунного грунта в различных регионах Луны происходила с влиянием региональных особенностей, как это характерно, например, для осадочных пород Земли. К сожалению, при отборе проб этого грунта не были предприняты меры, исключающие его перемешивание.

1. Ануфриев Г.С. КИ. 2010.Т.48. №1. С.102-108.

2. Ануфриев Г.С. ФТТ. 2010. Т.52.№10. С.1921-1924.

3. Ануфриев Г.С. КИ. 2012.Т.50. №6. С. 405-409.

4. Ануфриев Г.С. Астрофизический Бюллетень 2013. Т.68. №3. С.371-378.

5. Eberhardt P., Geiss J. et al// Proc. Apollo 11 Lunar Sci. Conf. (1970) v.2. p. 1037-1070.
6. Pepin R.O., Dragon J.C., et al// Proc. Sci. Conf. 6th (1975) p. 2027-2055.
7. Hintenberger H., Weber H.W., et al// Proc. of the Fourth Lunar Sci. Conf. (1973).v.2. p. 2003-2014.

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ГЕЛИОСФЕРЕ

М.Б. Крайнев

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

Ранее (2012 г.) на основании численного решения краевой задачи для интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) нами был сделан вывод, что в периоды низкой и средней солнечной активности вклад в интенсивность ГКЛ их дрейфа в неоднородных магнитных полях солнечного ветра значительно больше, чем обычно считается. При этом этот вклад возрастает с уменьшением энергии частиц и углублением в гелиосферу и для протонов низкой энергии (≈ 100 МэВ) в районе орбиты Земли в период минимума солнечного цикла составляет $\approx 70\%$ от полной интенсивности при обеих полярностях гелиосферного магнитного поля. Указанная зависимость вклада дрейфа от энергии казалось бы противоречит пропорциональности скорости дрейфа магнитной жёсткости. В данной работе делается попытка понять механизм, ответственный за этот эффект, и проиллюстрировать его действие на простых моделях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ СОЛНЕЧНО-ПРОТОННОМ СОБЫТИИ

О.С. Яковчук¹, Г.А. Базилевская², Л.Л. Лазутин¹, Ю.И. Логачев¹

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия,*

²*ФИАН, г. Москва, Россия.*

Для оценки максимальной энергии протонов, ускоренных на Солнце и достигших окрестностей Земли в каждом отдельном солнечном протонном событии предложен метод, основанный на сравнении потоков солнечных протонов и протонов галактических космических лучей. Максимальной энергией (E_{\max}) ускоренных на Солнце протонов в конкретном событии назначается та энергия, поток протонов для которой в данном событии превышает на 10% интегральный поток частиц ГКЛ той же энергии. В этом определении отправной точкой сравнения принят поток ГКЛ, относящийся к периоду максимума солнечной активности. Это очень удобный реперный поток протонов, постоянно присутствующий в пространстве, практически изотропный, обладающий высоким уровнем стабильности.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ГКЛ В ТРЁХ ПОСЛЕДНИХ МИНИМУМАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М.С. Калинин, М.Б. Крайнев

ФИАН, г. Москва, Россия,

mkalinin@fian.fiandns.mipt.ru; krainev@fian.fiandns.mipt.ru.

Методом численного решения транспортного уравнения для ГКЛ в рамках простой модели гелиосферы описано поведение интенсивности галактических космических лучей в трёх последних минимумах солнечной активности. В вычислениях были использованы среднемесячные измерительные данные известной базы данных OMNI по гелиосферному магнитному полю, скорости солнечного ветра и углу наклона токового слоя, а также измерительные данные по интенсивности ГКЛ регулярного баллонного мониторинга в атмосфере Земли.

ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ – СПОРАДИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ

Т.Е. Вальчук

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, tatiana_valchuk_1948@mail.ru

Ход 24 11-летнего цикла солнечной активности (СА) явно соотносится с невысокими циклами. Нарастание СА в пятнообразовании и спорадических проявлениях на ветви роста было весьма неэффективным. Этот морфологический признак невысокого цикла хорошо выражен в 24 цикле. Предположение о вхождении в вековой минимум СА подкрепляется понижением величин общего магнитного поля Солнца. С начала ветви роста 24 цикла исследовано нарастание спорадических событий, составлен каталог всех геомагнитных бурь, выявлены и типизированы гелиофизические проявления, обусловившие магнитосферные возмущения, исследованы и обсуждаются с точки зрения геоэффективности сложившиеся комплексы активности. Подробно рассмотрено прохождение комплекса активности с АО 11429 в марте 2012 года, как пример разнородных гелиофизических проявлений в воздействии на магнитосферу Земли. Первый максимум чисел Вольфа отмечен в ноябре 2011 года: $W=96,7$. Но со следующего месяца СА резко уменьшилась и до февраля 2013 года виден тренд понижения СА. Далее появились вторичные максимумы 2013 года, которые не превзошли первый максимум 2011 года. Отмечено беспрецедентное увеличение количества выбросов корональной массы и волокон в активной фазе 24 цикла. Однако магнитосферная реакция на потоки солнечного ветра из корональных дыр в существенной мере ослаблена. В четном 24 цикле, когда следует ожидать развития рекуррентного пика геомагнитной возмущенности на ветви спада, пока отмечаются только всплески в незавершенной фазе максимума текущего цикла СА.

О СВЯЗИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА С ПРОЯВЛЕНИЯМИ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Т.Е. Вальчук¹, Ю.С. Загайнова¹, В.Г. Файнштейн²

¹ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Москва, г. Троицк, Россия,

²ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

Исследованы циклические вариации характеристик крупномасштабного магнитного поля (КМП) в солнечной короне: 1) изменение со временем отдельных гармоник разложения потенциала магнитного поля по сферическим функциям, 2) параметры длины нейтральной линии (НЛ) L_{NL} поля на поверхности источника (сфере радиусом $R_{ss}=2.5R_0$, где R_0 – радиус Солнца), 3) величины максимальных отклонений δ_{NL} НЛ от плоскости солнечного экватора. Выявлены особенности в поведении этих характеристик поля в 23 и 24 циклах солнечной активности (СА) по сравнению с 21 и 22 циклами. Предполагается, что эти особенности могут отображать «подготовку» Солнца к затяжному минимуму СА в 23 цикле и, возможно, к более слабому 24 циклу СА. Предложено объяснение в среднем большему значению δ_{NL} в минимуме 23 цикла по сравнению с минимумом 22 цикла. Показано, что в 23 цикле СА временной ход $\delta_{NL}(t)$ коррелирует с изменением усредненного за 27 дней Кр-индекса. В отличие от пятнообразовательной активности, в 23 цикле были обнаружены особенности в изменении со временем среднемесячного числа зарегистрированных КВМ N_{CME} перед началом и в период затянувшегося минимума активности. Характер изменения $N_{CME}(t)$ качественно согласуется временным ходом $\delta_{NL}(t)$ и L_{NL} . Выявлена корреляция между L_{NL} и общим числом геомагнитных бурь с внезапным началом за период 1976-2012 гг. Кроме этого обнаружено, что в максимуме СА 23 цикла все зарегистрированные в магнитосфере внезапные начала бурь (SSC) и внезапные импульсы (SI) могут быть обусловлены самыми быстрыми «галло» и «полу-галло» КВМ со скоростью V_{CME} , большей 700 км/с. В то же время, в пролонгированном минимуме 23 цикла число зарегистрированных SSC и SI существенно превышает число всех «галло» и «полу-галло» КВМ, наблюдавшихся в это время. Сделан вывод, что, по крайней мере, в минимуме активности существенную роль в генерации возмущений магнитосферы типа SSC и SI играют лимбовые КВМ и, возможно, незарегистрированные КВМ с маленькими угловыми размерами, возникающие вблизи центра солнечного диска.

ИОНЫ НАДТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГИЙ В ПОТОКАХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ИЗ КРОНАЛЬНЫХ ДЫР В 23 И 24 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

М.А. Зельдович, Ю.И. Логачев

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

Исследуются энергетические спектры ионов ^3He , ^4He , C, O, Fe с энергией 0.04-1 МэВ/нуклон (данные ACE/ULEIS) и их относительное содержание в высокоскоростных потоках солнечного ветра из приэкваториальных корональных дыр в 23 и 24 циклах солнечной активности. Показано, что различие относительного содержания надтепловых ионов Fe/O в минимуме и максимуме солнечной активности соответствует изменению относительного содержания ионов солнечного ветра, при отсутствии зависимости изменений от скорости солнечного ветра. Наибольшие вариации с уровнем солнечной активности наблюдались в величине Fe/O, величины C/O и $^3\text{He}/^4\text{He}$ оставались практически постоянными, в то время как форма энергетических спектров всех изучаемых ионов изменялась с солнечной

активностью, что накладывает определенные ограничения на выбор механизмов ускорения ионов солнечного ветра до надтепловых энергий, таких как стохастическое ускорение в турбулентной среде солнечного ветра и ускорение на межпланетных ударных волнах.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ КАК ПРЕДВЕСТНИКИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Н.А. Бархатов¹, В.Н. Обридко², С.Е. Ревунов¹, С.Д. Снегирев³, Д.В. Шадруков¹

¹ФГБОУ ВПО НГПУ им. К. Минина, г. Нижний Новгород, Россия, nbarkhatov@inbox.ru,

²НУ РАН ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, г. Москва, г. Троицк, Россия,

³ФГНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия.

В интервалах предшествующих экстремальным солнечным вспышкам выполнен поиск моментов синхронизации вейвлет-скелетонных спектральных картин долгопериодных (с периодом более часа) геомагнитных зарегистрированных на магнитных станциях расположенных в широких географических пределах. Исследование выполнено на материале, включающем экспериментальные данные по 20 экстремальным вспышкам. Использованы магнитные данные горизонтальной компоненты геомагнитного поля с минутным разрешением по обсерваториям в широком диапазоне координат (геом. широта 31° - 64°). Исследование каждого случая вспышки включало интервал наблюдений, содержащий 4,5 дня (6480 мин) до регистрации вспышки и 0,3 дня (500 мин) после. Критериями отбора таких событий были: 1) магнитоспокойная обстановка за весь интервал наблюдений ($|Dst| < 20$ нТл) по каждому событию; 2) все анализируемые вспышки относились к экстремальному классу мощности X ($W > 10^{-4}$ Вт/м²). Согласно указанным критериям, было проанализировано 20 вспышек класса X по данным каталога <http://vso.nso.edu/cgi/catalogui>, зарегистрированных в 2001-2005 г. Особенностью обработки данных является использование вейвлет-скелетонной техники, позволяющей максимально устранить неопределенность при интерпретации результатов [Бархатов и др., 2013]. Для объективной оценки степени синхронизации скелетонных спектров колебательных режимов на всех станциях предложен оригинальный алгоритм. Количество синхронизаций вейвлет-скелетонных картин по всем магнитным станциям представлено в виде зависимостей от времени предшествующего возникновению интенсивных вспышек. На полученных гистограммах за несколько суток до развития интенсивных вспышек на Солнце отмечаются экстремумы. Такие экстремумы можно рассматривать как предвестники вспышки. Полученные суммарные гистограммы нормированного количества моментов синхронизации колебаний горизонтальной компоненты геомагнитного поля в разных диапазонах периодов своими экстремумами демонстрируют связь с опережающими явлениями рентгеновских вспышек. С увеличением анализируемых периодов наличие экстремумов становится более заметным. Гистограммы для периодов 120-180 минут за 2 и 3,5 дня до вспышки имеют особенно заметные экстремумы. Для колебаний с периодами 360 и более минут экстремумы на суммарной гистограмме не наблюдаются. Механизмом проявления долгопериодных геомагнитных пульсаций и их дальнейшей синхронизацией в широких географических пределах может служить увеличение ионосферной проводимости под действием солнечного ионизирующего электромагнитного излучения опережающего вспышку, что и вызывает усиление ионосферных колебательных токовых систем [Barkhatov et.al., 2004].

[Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Шадруков Д.В.] *Уточнение типов солнечных плазменных потоков по анализу вне- и внутримagnetосферных низкочастотных колебаний в периоды магнитных бурь* // Приволжский научный журнал, ННГАСУ, №1, с. 106-112, 2013.

[Barkhatov N.A., Revunov S.E., Uryadov V.P. (2004)], *Forecasting of the critical frequency of the ionosphere F2 layer by the method of artificial neural networks*. Int.J.Geomagn.Aeron., 5, GI2010, DOI:10.1029/2004GI000065.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА НА КОСМИЧЕСКУЮ ПОГОДУ

И.А. Биленко

МГУ им. М.В. Ломоносова, ГАИШ, г. Москва, Россия, bilenko@sai.msu.ru

Циклические изменения солнечных магнитных полей совместно с дифференциальным вращением и спорадическими эруптивными процессами определяют состояние межпланетного магнитного поля и параметры плазмы солнечного ветра. На основе наблюдательных данных за 21-24 солнечных цикла рассмотрены закономерности изменения структуры и напряженности межпланетного магнитного поля и значений параметров плазмы солнечного ветра на различных фазах солнечной активности. Быстрые, порядка 1-3 кэррингтоновских оборотов, крупномасштабные изменения фотосферного магнитного поля, вызванные всплыванием нового магнитного потока, приводят к резкой реорганизации солнечных корональных магнитных полей и, соответственно, межпланетного магнитного поля. Эти изменения наблюдаются во всех рассматриваемых циклах солнечной активности, однако они имеют существенные различия в детальном проявлении от цикла к циклу. Показано, что изменения числа и параметров эруптивных процессов, влияющие на состояние плазмы на орбите Земли, являются результатом реорганизации структуры глобального магнитного поля Солнца. Предполагается, что наблюдаемая структура глобального магнитного поля Солнца может быть результатом генерации волн Россби. Квазипериодические вариации режима генерации волн Россби, приводящие к реорганизации структуры глобального магнитного поля и, соответственно, межпланетного магнитного поля, модулируют параметры эруптивных процессов, а, следовательно, и параметры плазмы солнечного ветра, что, в совокупности, и определяет космическую погоду на орбите Земли.

ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ В ПАРАМЕТРАХ КВМ И ГЛОБАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

О.В. Чумак, И.А. Биленко

МГУ им. М.В. Ломоносова, ГАИШ, г. Москва, Россия, chuo@yandex.ru

Корональные выбросы массы играют важнейшую роль в формировании космической погоды на орбите Земли и оказывают значительное влияние на геомагнитную активность. Однако закономерности и периодичности их возникновения остаются до конца не выясненными, не смотря на большое число работ посвященных наблюдению и изучению корональных выбросов массы, что затрудняет корректное прогнозирование как самого явления, так и его воздействия на околоземное пространство. В данной работе к анализу скрытых периодичностей в данных по корональным выбросам применен обобщенный метод фазовых сумм Рассела. Авторы надеются, что полученные результаты позволят выявить ранее не обсуждавшиеся закономерности и внесут определенный вклад в прогнозирование КВМ и связанных с ними явлений. В работе использованы данные корональных выбросов массы, полученные на космической обсерватории SOHO/LASCO за период с 1996 по 2012 годы.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

П.В. Шатов, С.В. Тасенко, И.В. Гецелев, И.А. Скороходов, М.В. Подзолко

ФГБУ «ИПП», г. Москва, Россия, p.v.shatov@mail.ru

Приводятся результаты временного распределения КЛ, представляющих основную опасность в межпланетном пространстве Солнечной системы. Показано, что суммарные флюенсы протонов с энергиями от 1 до 60 МэВ за периоды времени до 10 лет описываются логонормальным распределением, а вероятность их наблюдения аппроксимируется степенной зависимостью. Полученные данные позволили построить компактную вероятностную модель космических лучей. Кроме того, по данным измерений на КА «ИМП-8» рассчитаны средние, максимальные и минимальные потоки протонов с энергиями больше 1, 2, 4, 10, 30, 60 МэВ за одни сутки, 10 суток, месяц, квартал год, 3, 5 и 10 лет. Полученные данные предлагается использовать для характеристики и предсказания космической погоды и климата в ОКП на орбите Земли. На основании полученных данных были вычислены минимальные, средние и максимальные дозы накопленной радиации для набора толщин защит 0.01, 0.1, 0.5, 1, 3, 10 г/см² и диапазона временных промежутков от 1 дня до 10 лет.

СТРУКТУРА СОЛНЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ИСТОЧНИКИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В 2012 ГОДУ

Ю.С. Шугай¹, В.А. Слемзин², И.С. Веселовский^{1,3}

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, jshugai@srd.sinp.msu.ru,*

²*ФИАН РАН, г. Москва, Россия,*

³*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

В работе были проанализированы корональное магнитное поле, источники солнечного ветра и структура межпланетного магнитного поля по данным наблюдений Wilcox Solar Observatory и космических аппаратов SDO/AIA и ACE в 2012 году. Исследуемый период времени соответствовал началу переполюсовки солнечного магнитного поля в максимуме 24-го цикла солнечной активности. Использовался метод сопоставления измеренных и вычисленных параметров коронального магнитного поля, корональных источников солнечного ветра и параметров солнечного ветра на околоземной орбите, а также анализ УФ изображений солнечной короны. Обнаружено хорошее соответствие между ожидаемой и наблюдаемой четырехсекторной структурой межпланетного магнитного поля. Медленные потоки СВ сильнее коррелировали с суммарной площадью небольших низкоширотных корональных дыр, типичных для периода максимума солнечного цикла. Быстрые потоки СВ были связаны с трансэкваториальной изолированной корональной дырой и спорадической активностью. Было показано, что возникновение и исчезновение трансэкваториальной корональной дыры тесно связано с эволюцией глобального магнитного поля. Однако, на изменение ее границ влияло также дифференциальное вращение самой корональной дыры и динамические процессы в окружающих ее активных областях.

О ПЕКУЛЯРНОМ ХАРАКТЕРЕ ВОЗМОЖНЫХ ЗВЕЗД ТИПА СОЛНЦА С ГОРЯЧЕЙ КОРОНОЙ И АККРЕЦИЕЙ ВЕЩЕСТВА

И.С. Веселовский^{1,2}, А.В. Прохоров¹

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия, veselov@dec1.sinp.msu.ru.

Предлагаются систематические наблюдения в линиях ионов гелия или кислорода для измерения доплеровского сдвига и определения знака и величины радиальной скорости в коронах звезд, подобных Солнцу с целью поиска доноров и акцепторов среди них. Обсуждаются имеющиеся трудности и возможности для их преодоления. Ожидается обнаружение преимущественно регулярных доноров и редких пекулярных объектов в виде акцепторов в соответствии с современными сценариями звездной эволюции. В сильно неоднородных межзвездных облаках возможно наблюдение гибридных вариантов звезд типа «донор-акцептор». Предположение о существовании звезд солнечного типа с горячей короной, но без ветра или с преобладанием аккреции вещества было высказано ранее на основании различных теоретических соображений и обсуждается в литературе. Такое предположение не противоречит никаким известным законам физики. Более того, решение с аккрецией было предложено Бонди на основе рассмотрения политропной модели для самого Солнца. Однако, как известно, этот вариант не подтверждается наблюдениями. Вместо этого с неплохой точностью для современного Солнца реализуется полностью противоположный сценарий, указанный Паркером в рамках той же политропной модели Бонди, но с другими граничными условиями на скорость. Задача вырождена, достаточно было изменить плюс на минус для радиального потока вещества в готовых решениях. Современное Солнце является донором, а не акцептором вещества. Это связано с начальными и граничными условиями, а не с динамикой плазмы и электромагнитных полей. Вопрос о существовании звезд типа Солнца с аккрецией представляет принципиальный астрофизический интерес и является до сих пор открытым, так как теоретические построения сами по себе без достаточных наблюдений не могут разрешить его однозначно. Мы не знаем, когда и как произошел переход от преимущественной аккреции к потере плазмы в окружающее пространство в случае Солнца. В настоящее время ситуация в теории изменилась, так как благодаря многочисленным прямым и косвенным измерениям стало ясно, что солнечный ветер выталкивается от Солнца наружу в основном электромагнитными силами, а не градиентом теплового давления, как думали полвека назад. Рассматривается прозрачная и непрозрачная часть атмосферы звезды, в том числе и Солнца, баланс сил, энергии и массы в областях, где формируется поток наружу или внутрь.

БЫСТРЫЕ ВАРИАЦИИ ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ИОНОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ ПРИБОРА БМСВ НА СПУТНИКЕ «СПЕКТР-Р»

Г.Н. Застенкер¹, В.В. Храпченков¹, И.В. Колоскова¹, М.О. Рязанцева^{1,2}, Е.Е. Рязанова¹, Т.И. Гагуа¹, И.Т. Гагуа¹, Я. Шафранкова³, З.Немечек³, Л. Прех³, Я. Войта⁴

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия,*

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

³*Карлов Университет, г. Прага, Чешская Республика,*

⁴*ИФА АН ЧР, г. Прага, Чешская Республика.*

В работе описываются результаты изучения вариаций величины и направления потока ионов солнечного ветра, измерявшихся с высоким временным разрешением (до 30 мсек., что на два порядка превышает разрешение по измерениям потока плазмы в других аналогичных экспериментах). В отличие от прежних работ, представлявших, в основном, усредненные на довольно больших периодах времени величины, нами показано, что направление потока ионов в солнечном ветре может испытывать большие и быстрые вариации на интервалах длительностью в десятки секунд и даже в несколько секунд.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЙ СИСТЕМЫ НА РАЗНЫЕ ТИПЫ ТЕЧЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

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

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

В работе анализируется отклик магнитосферно-ионосферной системы на взаимодействие с разными типами структур СВ во время главной фазы магнитных бурь с $Dst_{min} \leq -50$ нТ, источником которых являются: коротирующие области взаимодействия (CIR), магнитные облака (MC), поршни (Ejecta), области сжатия (Sheath) перед ними (ShE, ShMC), а также события неопределенного типа (IND). С этой целью мы рассчитываем параметр, характеризующий уровень насыщения потенциала полярной шапки, и зависящий от 2-х величин: альфвеновской скорости СВ и ионосферной проводимости. Ионосферная проводимость оценивается по потоку солнечного радиоизлучения. Анализ показывает, что насыщение потенциала полярной шапки достаточно редкое событие. Оно наблюдается в 3.8 раз чаще во время магнитных бурь, индуцированных всеми типами/подтипами ICME, чем CIR или IND; также в 8.6 раз чаще во время бурь, индуцированных MC, чем Ejecta, и в 2.5 раза чаще во время бурь от области сжатия Sheath, чем от «тел» ICME(MC+ Ejecta). Полученные результаты сопоставляются с расчетами, когда ионосферная проводимость оценивалась по числу солнечных пятен. Работа поддержана Грантом РФФИ № 13-02-00158a и Программой 22 Президиума РАН.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ЕЕ РАДИОПРОЗРАЧНОСТИ

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

¹ИГУ, г. Иркутск, Россия, nta@api.isu.ru,

²ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия,

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

Хорошо известно [1], что для определения параметров локализованной в пространстве плазменной турбулентности, эффективно использовать данные измерений фазовых флуктуаций радиосигналов, прошедших сквозь неоднородность. С другой стороны, эти параметры можно определить по флуктуациям фазы радиосигналов, отраженных от неоднородности. В частности, в работе [2] на основе аналитического преобразования решения уравнения для флуктуаций эйконала получены удобные для обращения формулы для статистических моментов фазы радиосигнала при полном внутреннем отражении от турбулентной плазменной неоднородности с произвольным монотонным профилем регулярной диэлектрической проницаемости. Совместное использование данных о флуктуациях фазы отраженных и прошедших через неоднородность радиосигналов на различных частотах вблизи граничной частоты ее радиопрозрачности позволяет увеличить число параметров модели неоднородности и тем самым обеспечить более точное решение обратной задачи. В работе получены системы независимых уравнений для определения параметров локализованной плазменной турбулентности по фазовым флуктуациям отраженного и прошедшего через неоднородность сигналов на разных частотах просвечивания. Найдено решение объединенной системы уравнений для параметров локализации неоднородности и ее турбулентной структуры. Рассмотрены примеры использования полученных результатов в задачах диагностики околоземной и космической плазмы.

[1]. Яковлев О.И. *Космическая радиофизика*. - М.: "Научная книга". 1998.- 432 с.

[2]. Afanasiev N.T., Afanasiev A.N., Larunin O.A., Markov V.P. *Phase fluctuations of radio waves experiencing total reflection from a randomly inhomogeneous plasma layer* // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.- 2010, Vol. 72, Issue 7-8.- P. 583-587.

ДИНАМИКА РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ - ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗ

И.Н. Мягкова, В.О. Барина, С.Ю. Бобровников, С.А. Доленко, В.В. Калегаяев, В.Р. Широкий, Ю.С. Шугай

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

Возможность оперативного контроля и прогноза радиационных условий в околоземном космическом пространстве (ОКП) весьма актуальна как для решения фундаментальных научных задач физики солнечно-земных связей, так и для обеспечения безопасности космических миссий и приполярных авиационных полетов. Особый интерес с этой точки зрения представляют данные с низковысотных космических аппаратов (КА) с полярной орбитой. На сегодня в распоряжении исследователей имеются данные огромного количества космических экспериментов, в том числе и с КА с полярными орбитами, функционирующих на высотах до 1000 км. В настоящий момент дают данные такие КА как «Метеор-М №1», ИСЗ серии POES NOAA, готовятся к запуску ИСЗ РЭЛЕК и «Ломоносов». Однако, из-за

специфики поступающей с полярных КА информации, которая связана с особенностями орбиты (КА последовательно проходит разные области магнитосферы Земли - полярные шапки, область внешнего РПЗ, средние широты, внутренний РПЗ), доступных и простых в использовании систем, предназначенных для мониторинга и анализа радиационных условий на высотах 300-1000 км, позволяющих оперативно сравнивать данные полярных КА с мониторинговыми измерениями потоков заряженных частиц на геостационарной орбите, до последнего времени не существовало. Сотрудниками отдела Оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ была разработана и введена в эксплуатацию система мониторинга, оперативного анализа и прогноза радиационной обстановки в ОКП по данным КА с орбитами разных типов. Авторами были разработаны:

- методика обработки данных о потоках энергичных заряженных частиц, полученных в экспериментах на КА с круговыми полярными орбитами, позволяющая выделять влияние солнечных космических лучей (СКЛ) и электронов внешнего радиационного пояса Земли (ВРПЗ) на состояние ОКП;
- система автоматической выработки оповещений о превышении фонового уровня потоков энергичных заряженных частиц – протонов и электронов СКЛ и электронов ВРПЗ – в разных областях космического пространства, в том числе по данным КА с круговыми полярными орбитами;
- система краткосрочного прогнозирования в реальном времени экстремального положения границы проникновения СКЛ в магнитосферу Земли на малых высотах в зависимости от значений Dst и Kp-индексов, которые, в свою очередь, прогнозируются на час вперед, на основе искусственных нейронных сетей;
- система краткосрочного прогнозирования в реальном времени потоков релятивистских электронов на геостационарной орбите на основе искусственных нейронных сетей.

С результатами работы системы можно ознакомиться в разделе «Радиационные условия» <http://swx.sinp.msu.ru/radiastatus/currentStatus.php> портала «Космическая погода» НИИЯФ МГУ <http://swx.sinp.msu.ru>. Авторы и разработчики предлагаемой системы мониторинга, оперативного контроля и прогноза радиационных условий в ОКП предполагают, что она найдет свое применение у научных коллективов, работающих в области физики космоса и солнечно-земных связей, а также на предприятиях авиационной и космической отрасли.

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА (SSI) В МИНИМУМЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Е.Е. Беневоленская^{1,2}, С.Н. Шаповалов³ и И. Г. Костюченко⁴

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

²СПб ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия,

³ГНЦ ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия,

⁴НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Москва, Россия.

В данной работе мы приводим результаты анализа спектральной светимости SSI (spectral solar irradiance) Солнца, в диапазоне 30-1000 нм по данным космического аппарата SORCE (<http://lasp.colorado.edu/sorce>) в зависимости от магнитного потока 'F mag' в зоне пятнообразования за период с 2007 по 2010 гг. Магнитный поток оценивается по магнитным данным обсерватории Вилкокса в Стенфорде. Вышеупомянутый период интересен ещё и тем, что в это время происходит наложение активных областей старого цикла 23 и нового цикла 24. Это явление приурочено к долгоживущим источникам магнитного поля, которые распределены неоднородно по долготе и кластеризуются в активные долготные зоны. Существование таких активных долготных зон приводит к образованию когерентных структур между магнитным потоком и светимостью Солнца. На примере поведения SSI в

ультрафиолетовой области показано, что по мере увеличения длины волны от 200 нм до 300 нм происходит изменение зависимости интенсивности излучения от магнитного потока Солнца в области пятнообразования. В минимуме солнечной активности 2008-2009гг. наблюдаются, характерные для TSI, когерентные структуры между магнитным потоком и SSI 300нм. В инфракрасной области наблюдается исчезновение когерентных структур с увеличением длины волны излучения.

ПЫЛЕВЫЕ ЗВУКОВЫЕ СОЛИТОНЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЛУНЫ

Т.И. Морозова, С.И. Копнин, С.И. Попель

ИДГ РАН, г. Москва, Россия, timoroz@yandex.ru

Обсуждается возможность распространения пылевых звуковых солитонов в плазме приповерхностного слоя Луны. Определены области их существования и основные параметры. Оценивается интенсивность солитонов в зависимости высоты над поверхностью Луны и возможность их наблюдения. Работа выполнена по Программе № 22 фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы»; при поддержке РФФИ (проект № 12-02-00270-а), а также гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых № МК-3764.2013.2. МТИ выражает также благодарность фонду «Династия» за финансовую поддержку.

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НИИЯФ МГУ

В.В. Калегаев, И.Н. Мягкова, В.О. Баринава, О.Г. Баринов, С.Ю. Бобровников, С.А. Доленко, Л.Р. Мухаметдинова, В.Р. Широкий, Ю.С. Шугай

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

В НИИЯФ МГУ разработана специализированная система мониторинга состояния космической среды. С этой целью в Центре космического мониторинга НИИЯФ выполняется оперативный анализ данных поступающих как с отечественных, так и зарубежных космических аппаратов, расположенных на низких, геостационарных, высокоэллиптических орбитах и в точке Лагранжа L1 между Землей и Солнцем (1,5 млн. км от Земли). Основные источники данных в 2013 г.: КА Метеор-М №1, Электро-Л1, GOES-13, GOES-15, ACE, SDO, каталоги геомагнитных индексов. Данные поступают в режиме реального времени, что позволяет дать оценку возможного радиационного воздействия факторов околоземного космического пространства (ОКП) на космические аппараты. На основании полученных данных на Интернет-портале <http://swx.sinp.msu.ru/> в режиме реального времени отражается текущее состояние космической среды. Системой генерируется ежедневный отчет, включая данные: - о количестве и максимальном классе рентгеновских вспышек на Солнце; - о корональных дырах на Солнце – относительная площадь КД; - о потоках энергичных частиц СКЛ в полярных шапках и на геостационарной орбите; - о потоках релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе Земли на геостационарной орбите; - о геомагнитных условиях в магнитосфере Земли; - о параметрах солнечного ветра. Ведется разработка системы предупреждений об изменении условий по данным оперативного космического мониторинга, включая протонные возрастания во время событий СКЛ, возрастания релятивистских электронов и геомагнитные возмущения. По данным наблюдений за Солнцем и за параметрами солнечного ветра дается прогноз условий

в околоземном космическом пространстве на основе моделей: - солнечного ветра; - уровня геомагнитной активности; - потока релятивистских электронов.

СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ В ПЕРИОДЫ СМЕНЫ ЗНАКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА В 21–24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.В. Гецелев¹, М.В. Подзолко¹, В.П. Охлопков¹, С.В. Тасенко², И.А. Скороходов², П.В. Шагов²

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, getselev@mail.ru,

²ИПГ им. Е. К. Фёдорова, г. Москва, Россия, i.skorohodov@gmail.com.

В данной работе рассматриваются характеристики солнечных протонных событий в периоды до, во время и после периодов смены знака магнитного поля Солнца. В предыдущих работах (Гецелев и др., Протоны солнечных космических лучей в периоды инверсии полярного магнитного поля Солнца, Вестник Московского университета, 2004; Getselev et al., Solar cosmic ray fluxes in the Earth's orbit, Proc. of 29th Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», PGI, Apatity, Russia, 2006) нами было обнаружено, что в 21, 22 и 23 циклах солнечной активности в периоды инверсии магнитного поля Солнца число солнечных протонных событий ниже, суммарные флюенсы в них меньше, а энергетические спектры мягче, чем в периоды времени такой же длительности до и после этого. В настоящее время для периода инверсии магнитного поля в 24-м цикле выявлены те же закономерности: заметно явное понижение флюенсов протонов в этот период. В данном исследовании анализируются, в том числе, отдельно инверсия северной и южной компоненты магнитного поля Солнца.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА СОЛНЕЧНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕТЕКТОРА СРД

А.В. Кочемасов, Ю.Д. Котов, М.С. Захаров

НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия, kochemasov@rambler.ru

В НИЯУ МИФИ разработан опытный образец солнечного рентгеновского детектора (СРД). Прибор СРД представляет собой спектрометр мягкого рентгеновского излучения, построенный на базе самого совершенного на данный момент спектрометрического полупроводникового детектора - кремниевого дрейфового детектора SDD, охлаждаемого элементом Пельтье. Электронные схемы прибора созданы на основе элементной базы, имеющей аналоги военного и космического применения. Прибор работает в режиме регистрации отдельных фотонов и обеспечивает счет в трех интегральных окнах, а также накопление энергетических спектров (256 каналов). Рабочий диапазон 1,5-12,4 кэВ, соответствует диапазону прибора XRS, использующегося для мониторинга солнечного рентгеновского излучения на американских метеорологических аппаратах GOES на протяжении последних 30 лет. В работе приведены результаты поведенных лабораторных испытаний созданного образца. Измеренное энергетическое разрешение (ПШПВ) на линии 5,9 кэВ изотопа Fe-55 составило 180 эВ. Проведены абсолютные измерения эффективности регистрации детектора на линиях 5,9 кэВ, 11,9 кэВ и 13,9 кэВ. Результаты измерений совпали с расчетом чувствительности SDD, основанном на типовой геометрии детектора. Измерено мертвое время спектрометра и электроники интегральных каналов. По измеренному мертвому времени рассчитана предельная загрузка, которая составила

10^5 фотонов/с для интегральных каналов. Проведены тепловые испытания и измерения энергопотребления в различных режимах.

ПОЧЕМУ ВОЯДЖЕР ПЕРЕСЕК ГЕЛИОПАУЗУ: РОЛЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА СТРУКТУРУ ГЕЛИОСФЕРНОГО УДАРНОГО СЛОЯ

В.В. Измоденов, Д.Б. Алексашов

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

Анализ данных по 2-3 kHz излучению, полученных на космическом аппарате Вояджер-1 показал (Gurnett et al, 2013), что плотность плазмы в том месте космического пространства, где в настоящее время находится космический аппарат, соответствует плотности межзвездной среды и существенно превосходит плотность солнечного ветра в области внутреннего ударного слоя. Этот результат, совместно с опубликованными ранее (Stone et al., 2013) данными по потокам энергичных частиц (АКЛ и ГКЛ) позволил научной команде Вояджера заключить, что аппарат пересек гелиопаузу в августе 2012 г. на расстоянии 122 а.е. от Солнца. Расстояние 122 а.е. оказалось на 30-50 а.е. меньше, чем предсказывается современными моделями взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой. В докладе будут обсуждаться возможные физические механизмы, позволяющие уменьшить толщину внутреннего ударного слоя. В частности, будут рассмотрены эффекты, связанные с теплопроводностью в области внутреннего ударного слоя. Будет показано, что учет теплопроводности приводит к уменьшению гелиоцентрического расстояния до гелиопаузы до требуемых значений. Будут представлены результаты расчеты для «политропного» ударного слоя для различных индексов политропы.

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАХВАЧЕННЫХ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ПРОТОНОВ В ГЕЛИОСФЕРЕ

Е. А. Голиков, В.В. Измоденов

*МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
ИКИ РАН, г. Москва, Россия, zaran.yag@gmail.com, izmod@iki.rssi.ru*

Захваченные протоны – это протоны, образованные в результате ионизации межзвездных атомов водорода на протонах солнечного ветра. Сразу после рождения они попадают под влияние замороженного в солнечный ветер магнитного поля (“захватываются”). Взаимодействие с магнитными неоднородностями в солнечном ветре приводит к изотропизации их функции распределения (в системе координат, связанной с солнечным ветром) и энергетической диффузии, причем изотропизация проходит за времена малые по сравнению с временами диффузии. Энергетический спектр захваченных протонов сильно отличается от соответствующего спектра протонов в солнечном ветре: он существенно немаксвелловский; энергетическая диффузия приводит к образованию “хвостов” распределения, то есть протонов со скоростями, превышающими более, чем в два раза скорость солнечного ветра. Теоретически распределение захваченных протонов в гелиосфере исследовалось ранее (например, Чалов, 2006, Isenberg, 1987 и др.), но большинство моделей разработано лишь для стационарного случая. Нестационарность солнечного ветра, связанная, в частности, с солнечным циклом, приводит к распространению волн за гелиосферной ударной волной, где течение солнечного ветра дозвуковое. В настоящей работе изучается

влияние таких волн на энергетические и пространственное распределение захваченных протонов в области гелиосферного ударного слоя. В докладе будет представлена постановка задачи и первые результаты расчетов.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

О.Ю. Исайкина, Ю.И. Кукса, И.Г. Шibaев

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия

Предлагаемая работа опирается на данные длительного, ежедневного (утром и вечером) мониторинга артериального давления и пульса описание и анализ которых представлены в публикации [1]. Эти показания подробно анализируются совместно с магнитными V_x, y, z – вариациями (Троицк, 2000 г.) и данными атмосферного давления (Троицк, 2000 – 2005 гг.). Строятся ряды отражающие во времени динамику коэффициентов корреляции при одновременном сканировании исследуемых характеристик, длительность сканирующего интервала варьировался от 5 до 13 дней. Ряды коэффициентов корреляции медицинских параметров взяты за основу и сопоставлены с динамикой изменения геомагнитной активности и атмосферного давления. Видно различие в реакции на изменение геомагнитной активности данных утреннего и вечернего мониторинга. Приведены соответствующие гистограммы и статистические характеристики. Проведены спектральные оценки «корреляционных» рядов длительностью в несколько лет. Отмечено присутствие в них спектральных компонент кратных «лунному» периоду.

[1]. Isaikina O., Kuksa Yu., Shibaev I. *Analyses of Characteristics of Long-Term Monitoring of Arterial Pressure and Pulse* / Journal of Environmental Science and Engineering, V. 1, № 9 (B), 2012, p. 1064 — 1073.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

УСКОРЕНИЕ И ВЫСЫПАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ИОНОВ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ВОЛНАМИ С ДИСКРЕТНЫМ СПЕКТРОМ

А.Г. Демехов

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

Обсуждается эффективность циклотронного взаимодействия энергичных заряженных частиц в магнитосфере Земли с волнами, имеющими характер дискретных квазимонохроматических волновых пакетов. Как показано ранее (например, Trakhtengerts et al., 2003; Демехов и др., 2006), такое взаимодействие может иметь недиффузионный характер при выполнении условий захвата частицы полем волны. В этих условиях направление обмена энергии между частицей и волной определяется не начальной фазой частицы, а соотношением величин магнитного поля и частот волны на входе и выходе частицы из волнового пакета. В работе исследуется зависимость суммарного энергообмена группы энергичных частиц с волновым пакетом от амплитуды и длительности пакета и от функции распределения частиц. Результаты сравниваются с аналитическими оценками. Сопоставляются характеристики взаимодействия для модельного волнового пакета с медленно меняющейся амплитудой и для реального волнового пакета, характеристики которого взяты из данных спутниковых измерений.

НЕЛИНЕЙНЫЙ ОТКЛИК ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ СТРУИ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ СВИСТОВОГО ДИАПАЗОНА В МАГНИТОСФЕРЕ

П.А. Беспалов¹, О.Н. Савина^{2,3}

¹*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, peter@appl.sci-nnov.ru,*

²*НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия,*

³*НГТУ им. Р.Е.Алексеева, Россия.*

В спокойной низкоширотной ионосфере под действием приливных течений формируется довольно развитая токовая система, ответственная за S_q - вариации магнитного поля в спокойные солнечные дни. Плотность соответствующих токов максимальна на экваториальных широтах в полуденные часы, где формируется так называемая экваториальная токовая струя. В работе обсуждается природа экваториальной токовой струи. Оригинальная часть работы посвящена исследованию величины ее отклика на внешние воздействия. Прежде всего, это касается оценки возможности использования экваториальной токовой струи для целей ионосферного детектирования излучения нагревного стенда. Экваториальная токовая струя дает электродинамический отклик и на естественные атмосферные процессы, например на акустико-гравитационную волну. В свою очередь излучение модулированной экваториальной токовой струи может влиять на режимы работы плазменного магнитосферного мазера и модифицировать спектры электромагнитных волн свистового диапазона в магнитосфере.

ИМПУЛЬСНЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОННО-ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ В ОТКРЫТОЙ МАГНИТНОЙ ЛОВУШКЕ

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

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

Проведены исследования процессов генерации электромагнитных волн при циклотронной неустойчивости в плазме, создаваемой и поддерживаемой мощным миллиметровым излучением гиротрона в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке в условиях электронного циклотронного резонанса (ЭЦР разряд). На начальной стадии ЭЦР разряда при постоянно действующей накачке энергии в горячую анизотропную фракцию электронов впервые исследованы электронно-циклотронные неустойчивости плазмы и обнаружены два качественно различных режима генерации: квазипериодические вспышки широкополосного электромагнитного излучения в виде отдельных волновых пакетов с быстро растущей частотой и режим квазинепрерывной генерации излучения с широким спектром. Построена качественная модель, объясняющая переход от генерации квазипериодических последовательностей импульсов к квазистационарному излучению, за счет плавного увеличения потерь быстрой необыкновенной волны с ростом концентрации плазмы. В докладе обсуждается взаимосвязь наблюдаемых в лаборатории динамических режимов циклотронной неустойчивости с аналогичными явлениями, протекающими во внутренней магнитосфере Земли.

ГЕНЕРАЦИЯ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТРЕХМЕРНОЙ КАВЕРНЕ

Т. М. Буринская

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

Впервые показана возможность набора энергии волнами аврорального километрового излучения (АКР) до экспериментально наблюдаемых значений при их генерации в узкой трехмерной плазменной каверне, аналогичной наблюдаемым в авроральной области источникам АКР. Исследование проводится методами геометрической оптики, используя дипольную модель геомагнитного поля. Показано, что основной вклад в спектр АКР дают волны, запущенные первоначально с компонентой групповой скорости направленной к Земле, и с оптимальным соотношением компонент волнового вектора, контролирующими значение линейного инкремента и время жизни волны внутри источника.

ВЫСЫПАНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ, СВЯЗАННЫЕ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭМИЦ ВОЛН

Н.В. Семенова, Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин

ПГИ КНЦ РАН, Россия

Генерация электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн происходит в области поперечной анизотропии протонов (к экватору от границы изотропии) и сопровождается рассеянием в конус потерь (высыпанием в ионосферу) энергичных протонов. Известны три типа протонных высыпаний, связанных с ЭМИЦ волнами: 1) локализованные по широте и долготе высыпания в утренне-дневном секторе, связанные с азимутальными неоднородностями концентрации холодной плазмы вблизи плазмопаузы; 2) локализованные по широте высыпания в вечернем секторе, в окрестности внешней границы плазмосферного хвоста; и 3) протяженные по широте и долготе высыпания в дневном секторе, где поперечная анизотропии горячих протонов кольцевого тока повышена, вероятно, благодаря эффекту расщепления дрейфовых оболочек. ЭМИЦ волны способны также взаимодействовать с релятивистскими электронами. Совпадение областей высыпаний релятивистских электронов и энергичных протонов указывает на то, что электронные высыпания также вызваны взаимодействием с ЭМИЦ волнами. Мы рассмотрели особенности высыпаний релятивистских электронов (РЭ), связанных с генерацией ЭМИЦ волн, по данным измерений электронов с энергией $E \sim 1$ МэВ и измерений протонов с энергией 30-80 кэВ на спутниках NOAA POES. Для анализа были использованы наблюдения в интервале 25 июля – 31 августа 2005 г., который характеризуется изменчивой геомагнитной активностью. Оказалось, что высыпания РЭ, связанные с ЭМИЦ волнами, наблюдались, в основном, в случаях регистрации протонных высыпаний второго типа, причем не в каждом событии, а лишь в ~20% случаев. Вероятность наблюдения РЭ максимальна в вечерние и предполуночные часы, достигая здесь ~50% от высыпаний протонов второго типа. Вероятность наблюдения РЭ растет с ростом геомагнитной активности. Высыпания РЭ наблюдаются, в среднем, при больших потоках высыпающихся протонов (J_{pr}) и при высокой степени изотропизации потоков протонов, характеризуемой отношением потоков высыпающихся протонов к потоку захваченных протонов (J_{pr}/J_{tr}). Это, по-видимому, означает, что высыпание РЭ связано с наиболее интенсивными ЭМИЦ волнами.

ЭВОЛЮЦИЯ СОБСТВЕННЫХ МОД МГД – ВОЛНОВОДА ВО ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ

В.А. Мазур, Д.А. Чуйко

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

Неоднородность геомагнитного поля и плазмы во внешней приэкваториальной части магнитосферы обеспечивают существование канала низких значений скорости Альфвена, протянувшегося от лобовой области до далеких флангов, как в утреннем, так и в вечернем секторах. Этот канал играет роль волновода для быстрых магнитозвуковых волн. При распространении собственной моды вдоль волновода (т.е. в азимутальном направлении) она претерпевает определенную эволюцию. Меняются свойства волновода, под которые «подстраивается» собственная мода. В силу изменения сдвиговой скорости солнечного ветра вдоль магнитопаузы меняются условия развития неустойчивости Кельвина – Гельмгольца. По той же причине меняются условия проникновения гидромагнитных волн из солнечного ветра в магнитосферу. В частности, на флангах процесс проникновения переходит в режим

сверхотражения, что резко увеличивает мощность накачки магнитосферного волновода. Распространению БМЗ-моды вдоль волновода сопутствует наличие связанного с ней альфвеновского резонанса в глубине магнитосферы, в окрестности которого происходит диссипация энергии колебания. Вдоль силовых линий альфвеновский резонанс представляет собой стоячую альфвеновскую волну и поэтому достигает ионосферы и земной поверхности, в то время как БМЗ-моды волновода, запертые в упомянутом канале низких значений скорости Альфвена, не могут наблюдаться на Земле. В работе теоретически исследуется эволюция колебания в волноводе при его распространении от лобовой области до дальнего хвоста с учетом всех упомянутых эффектов. Определен характер изменения пространственной структуры, спектрального состава и амплитуды колебания вдоль волновода.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ ДИАПАЗОНА Pc2-3 ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ, F-СЛОЕ ИОНОСФЕРЫ И НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ THEMIS, CHAMP И НАЗЕМНЫХ МАГНИТОМЕТРОВ СЕТИ MM100

Н.В. Ягова, Е.Н. Федоров, Б. Хэйлиг

ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

Показано, что пульсации диапазона Pc2-3 с частотой выше фундаментальной альфвеновской регулярно наблюдаются в F-слое ионосферы и в магнитосфере. Спектральный состав пульсаций в F-слое характеризуется большим вкладом высокоширотных ($f > 50$ мГц) пульсаций по сравнению с наблюдениями на Земле. Обнаруженные пульсации систематически регистрируются в F-слое, плазмосфере и внешней магнитосфере. Ионосферный максимум наблюдается на L-оболочках ниже плазмопаузы, и вариации положения ионосферного максимума ото дня ко дню коррелируют с вариациями положения плазмопаузы. Особенности пространственного распределения и поляризации пульсаций в магнитосфере и ионосфере позволяют предположить возбуждение в волноводе под сводом плазмопаузы. Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-05-90436).

МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ДАБЛ-ГРАДИЕНТ (ФЛЭППИНГ) НЕУСТОЙЧИВОСТИ В МАГНИТНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ ТИПА ХВОСТА ЗЕМНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ С НУЛЕВОЙ/НЕНУЛЕВОЙ ТРАНСВЕРСАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ КОМПОНЕНТОЙ

Д.Б. Коровинский, И.Б. Иванов, В.С. Семенов, Н.В. Еркаев, А.В. Артемьев, А.В. Дивин, В.В. Иванова

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия, daniil.korovinskiy@gmail.com

Кинк-мода МГД-неустойчивости, развивающейся в магнитных конфигурациях типа хвоста земной магнитосферы с растущей от Земли нормальной магнитной компонентой, исследована методами численного моделирования в рамках двух подходов: идеальной линеаризованной двумерной и трехмерной нелинейной МГД. Хотя, вообще говоря, неустойчивости такого рода объединяются под общим названием «баллонная неустойчивость», этот термин подразумевает обычно наклонное распространение возмущений на фоне магнитных конфигураций с сильной поперечной магнитной

компонентой. Однако мы рассматриваем частный случай чисто трансверсального волнового вектора при фоновых конфигурациях со слабой нормальной компонентой (малым радиусом кривизны магнитных силовых линий). Такие конфигурации благоприятны для особой ветви баллонной неустойчивости, получившей название «дабл-градиент» или «флэппинг» моды в связи с недавними исследованиями флэппинг-колебаний в хвосте земной магнитосферы. Численное моделирование неустойчивости проводилось при начальных конфигурациях, являющихся приближенными решениями уравнения Грэда-Шафранова, полученными в так называемом «хвостовом» приближении. Результаты моделирования в рамках двумерной линеаризованной МГД согласуются с аналитическими предсказаниями, – инкремент неустойчивости оказался близок к максимальной аналитической оценке. Аналитические решения для компонентов векторов возмущений магнитного поля и скорости (собственные функции) также подтверждены в численном моделировании. Трехмерное МГД моделирование показало, что дабл-градиент неустойчивость развивается в области токового слоя, характеризующейся высокой кривизной магнитных силовых линий. Этот результат согласуется с результатами двумерного моделирования, согласно которым инкремент неустойчивости тем выше, чем больше кривизна магнитных силовых линий. Численное моделирование неустойчивости на фоне конфигураций с ненулевой трансверсальной магнитной компонентой продемонстрировало быстрый спад инкремента и затухание неустойчивости в коротковолновом диапазоне, что качественно соответствует аналитическим предсказаниям.

ОТКЛИК МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА НЕОБЫЧНЫЕ УСЛОВИЯ В МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ 21-22.I.2005 и 14-15.XII.2006

В.В. Калегаяев, Н.А. Власова

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

Приведены результаты исследований динамики магнитосферы во время геомагнитных бурь 21-22.I.2005 и 14-15.XII.2006. На базе параболоидной модели A2000 рассчитан отклик крупномасштабных магнитосферных токовых систем на изменение условий в межпланетной среде. В качестве источника экспериментальной информации о динамике бурового кольцевого тока использовались данные измерений потоков частиц с энергией 30-80 кэВ солнечно-синхронными спутниками NOAA (*POES 15, 16, 17*). В главную фазу возмущений обнаружена сходная динамика и близкие величины, как потоков захваченных частиц, так и положений границ изотропизации потоков и максимумов потоков высыпающихся частиц, что можно трактовать, как подобие состояний внутренней магнитосферы во время бурь разной мощности, 21-22.I.2005 и 14-15.XII.2006. Показано, что динамику магнитной бури 21-22.I.2005 определил мощный импульс давления солнечного ветра. Поступление плазмы в область кольцевого тока и ее ускорение произошли вследствие экстремального сжатия магнитосферы в отличие от бури 14-15.XII.2006, инициированной изменением ориентации межпланетного магнитного поля. Показано, что *Dst*-вариация геомагнитного поля во время бури 21-22.I.2005 определяется, в основном, развитием кольцевого тока, а 14-15.XII.2006 – сравнимыми по величине вкладами кольцевого тока и токов хвоста магнитосферы.

РЕЗОНАНСНОЕ УСКОРЕНИЕ ИОНОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ДИПОЛИЗАЦИОННОГО ФРОНТА

А.В. Артемьев

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ante0226@yandex.ru

В докладе рассматривается резонансное взаимодействие ионов с диполизационным фронтом, распространяющимся к Земле из дальней области магнитного пересоединения в хвосте земной магнитосферы. Показано, что при замедлении движения (торможении) диполизационного фронта вблизи от планеты возможна реализация нового механизма ускорения ионов. Синхронизация отражения ионов от фронта диполизации и замедления фронта приводит к эффективному захвату частиц вблизи от фронта и их ускорению вдоль фронта. Для типичных условий в хвосте магнитосферы Земли рассматриваемый механизм ускорения может обеспечить формирование популяции ионов с энергиями порядка 100 кэВ.

НОВЫЙ ПОДХОД К РАССЧЁТУ НАЗЕМНОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ - НОВАЯ КАРТИНА ЕГО СЕЗОННОГО ХОДА

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

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

Наземное переменное магнитное поле Земли регистрируется наземными магнитными обсерваториями одновременно с постоянным магнитным полем, а также магнитными полями помех в районе их расположения, аномальным магнитным полем (поле литосферы) обусловленным, в основном, намагниченностью пород, и магнитным полем, создаваемым током в земле. Выделение переменного магнитного поля из суммы этих полей делается различными способами и не является идеальным. Нами она решается на основе использования данных магнитной обсерватории в период уникально спокойного состояния Солнца и соответственно небывало спокойного магнитного поля нашей планеты в период 2009 года. Используя такое уникальное магнитно-спокойное состояние переменного магнитного поля Земли в 2009 году, мы используем часовые данные магнитной обсерватории в этот период как уровни отсчетов для выделения часовых данных, которые можно отнести к геомагнитной часовой активности локального наземного переменного магнитного поля планеты. Создаваемый нами метод количественной оценки локальной наземной активности переменного магнитного поля включает в себя физическое определение этой активности. Она определяется как энергия переменного магнитного поля, содержащаяся в компонентах его векторов, которые регистрируются сетью наземной обсерватории. Формула для расчёта энергии отдельной компоненты вектора поля, регистрируемого обсерваторией, это квадрат часовой амплитуды этой измеренной компоненты. Наш метод позволяет контролировать эту активность, используя современный набор обсерваторий, размещенных в двух полушариях планеты. Мы можем проводить оценку этой активности, которая была за прошедшие годы работы обсерватории до 2009 года и после его. Такая активность значительно отличается от активности, определяемой сегодня амплитудой планетарного Kp -индекса, особенно в периоды магнитных бурь. Сегодня сезонный ход переменного магнитного поля, который называют геомагнитной активностью, выявляют на основании среднемесячных данных о магнитной активности, полученных путем обработки наблюдений Kp -индекса за несколько лет. Сегодня считается, что сезонные вариации магнитной активности имеют два максимума, соответствующие периодам равноденствий, и два минимума, соответствующие периодам солнцестояний. Мы

демонстрируем отличие сезонных вариаций, которые определяются нашим методом количественной оценки локальной наземной активности переменного магнитного поля от сезонных вариаций, которые получены на основе данных Kp -индекса. Наши вариации опираются на наборы данных обсерваторий двух полушарий планеты, которые располагаются в высоких, средних и низких широтах, тогда как сезонные вариации индекса Kp опирается на набор только обсерваторий северного полушария, расположенных под авроральной зоной. В наших сезонных вариациях их максимумы в северном полушарии приходятся как на март – апрель, сентябрь – октябрь, так и на июль месяц. Кроме того мы демонстрируем сезонные вариации наземного переменного магнитного поля внутри года, когда в северном полушарии лето, а в южном полушарии в это время зима и наоборот. Мы также продемонстрируем слабые стороны “планетарного” Kp -индекса.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И АВРОРАЛЬНАЯ ДИНАМИКА

Е.Е. Антонова^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}, В.Г. Воробьев³, О.И. Ягодкина³, И.А. Корнилов³, Т.А. Корнилова³, О.В. Козырева^{2,4}, М.В. Степанова⁵, В.В. Вовченко², М.В. Пулинец^{6,1}, С.С. Знаткова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, И.Л. Овчинников¹

¹ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru,

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³ ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия,

⁴ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия,

⁵ Университет Сантьяго де Чили, Чили,

⁶ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

Дан обзор последних результатов, полученных в ходе анализа распределения давления плазмы и авроральной динамики в магнитосфере Земли. Основные изменения традиционной картины связаны с доказательством существования окружающего Землю плазменного кольца на геоцентрических расстояниях от $\sim 7R_e$ до $\sim 10R_e$. Ночная часть кольца ранее считалась частью плазменного слоя. В ходе анализа результатов наблюдений международной миссии THEMIS получено распределение плазмы в кольце. Показано, что поперечные токи в кольце замыкаются внутри магнитосферы и составляют высокоширотное продолжение кольцевого тока. Продемонстрирована близость давления плазмы к изотропному. Изотропия давления дает возможность решить проблему проецирования авроральных областей на экваториальную плоскость не используя модели магнитного поля, так как изотропное давление в отсутствии продольных падений потенциала постоянно вдоль магнитной силовой линии. Давление плазмы на малых высотах определялось с использованием базы данных ПГИ, созданной по наблюдениям спутников DMSP F6 и F7. Учтено, что вычисленное давление ионов практически совпадает с давлением ионов в экваториальной плоскости в области втекающих продольных токов. В области вытекающих продольных токов ниже области продольного ускорения электронов давление ионов меньше давления в экваториальной плоскости. Проведено сравнение распределения давления в экваториальной плоскости и на малых высотах в магнитоспокойных условиях. Показано, что большая часть аврорального овала проецируется на окружающее Землю плазменное кольцо. Рассмотрено поведение аврорального овала во время магнитных бурь. Подтверждена локализация механизмов, приводящих к появлению больших потоков электронов внешнего радиационного пояса (электронов "киллеров") вблизи экваториальной кромки аврорального овала. Проведен анализ проблемы формирования дискретных авроральных дуг и природы возникновения мультиплетных дуг. Приведены аргументы в пользу действия механизма

"аврорального грейдера", приводящего к формированию коллимированных холодных электронных пучков на границах и внутри авроральных структур типа перевернутого V.

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ СПИРАЛИ ММП ВБЛИЗИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ В ПЕРИОД ЦИКЛОВ 20-24

Т.В. Кузнецова, А.И. Лаптухов

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

Потоки солнечного ветра формируют спираль ММП с различными долготными углами ϕ . Эта азимутальная компонента спирали соответствует восточно-западной компоненте B_y (GSE), которая играет важную роль в пересоединении на магнитопаузе и развитии геомагнитной активности (ГА). Мы ставили цель найти зависимость параметров солнечного ветра (ММП B , скорости V , концентрации N , электрического поля $E=[V \times B]$, вектора Пойтинга плотности электромагнитной энергии $P=[E \times B]$) от угла спирали ϕ для солнечных циклов №20-24. Такой подход позволяет не только описать квазистационарные потоки параметрами солнечного ветра и ММП, но и отследить закономерности их развития на протяжении 4-х циклов. Получение параметров потоков в четных-нечетных циклах в зависимости от ϕ и их эффектов в ГА позволяет выявить влияние 22-л магнитного цикла на геоэффективность взаимодействия. Для этих целей используется база данных ММП B , V , N , температуры T , измеренных на ~ 1 а.е. вблизи плоскости эклиптики в 1963-2013 гг. В результате расчетов и анализа выделены квазистационарные потоки в ветре, описаны их параметры, связь с фазой 22-л магнитного цикла и максимальным числом пятен в цикле W_m . В частности показано, что максимумы E и P в каждом цикле при $B_y > 0$ находятся при $\phi \sim 80$ гр, причем максимумы значительно больше в нечетных (21, 23), чем в четных (20, 22) циклах. Эти пиковые E и P при $B_y > 0$ принадлежат потоку, где N и B имеют максимумы, а T и V близки к минимумам. Параметры этого медленного плотного потока холодной плазмы и тот факт, что V_x меняет знак на его внешней границе (секторная граница), указывают на внутреннюю кромку межпланетного токового слоя (ICS). На солнце этот поток можно связать с поясом стримеров в короне, который разделяет области с противоположной полярностью радиального магнитного поля и в котором течет медленный плотный солнечный ветер. Основание пояса стримеров является местом рождения СМЕ. Эти результаты позволили объяснить полученное нами ранее годовое распределение частоты появления больших возмущений, когда наряду с известными пиками в равноденствия наблюдаются дополнительные пики во второй половине года, обусловленные потоками с $B_y > 0$. Последнее важно для прогноза больших возмущений. Нам удалось получить также новые характеристики э/м потоков и их геомагнитных эффектов в 23 цикле, которые показывают, что малость 23 цикла ($W_m=121$) не является параметром, определяющим мощность этих потоков и их эффектов в ГА. Так показано, что абсолютный максимум $P(\phi)$ при $B_y > 0$ был в 23 цикле. Поскольку P связан со скоростью поступления э/м энергии к магнитосфере, то его абсолютный максимум должен проявиться и в ГА. Действительно зависимость индекса Dst (ϕ) показала абсолютный максимум $|-Dst|$ в 23 цикле вблизи $\phi \sim 80$ гр. Индекс полярной шапки PC , получаемый на основе магнитных данных в Туле, показал абсолютный максимум тоже в 23 цикле вблизи тех же ϕ . Анализ дает, что нечетные солнечные циклы с низким W_m будут иметь большие E и P в подобных потоках с $B_y > 0$, а значит и высокую ГА. В 24 цикле как индекс $|-Dst|$, так и PC значительно меньше для всех ϕ , чем в 20-23 циклах, что можно интерпретировать как длинно-периодические изменения солнечного ветра с максимумом в 23 цикле. Анализ параметров в 24 цикле подтверждает этот вывод, но следует отметить рост V в высокоскоростных потоках (HSS) из корональных

дыр (понижены N и T) при $V_y < 0$, что характерно и для четных циклов 20, 22. В заключение обсуждается применение полученных результатов для решения некоторых задач солнечно-земной физики. Работа выполнена при поддержке гранта П-22 Президиума РАН.

АСИММЕТРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОТОНОВ В ПЛАЗМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

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

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

Модель плазмосферы Земли, построенная на основе данных прибора АЛЬФА-3, полученных в 1995-2000 г. на космическом аппарате Интербол-1, расширена для учета различных граничных условий на экзобазе в северном и южном полушарии. На основе расширенной модели анализируется распределение температуры и плотности протонов в плазмосфере Земли. Исследуется также зависимость температуры в плазмосфере от условий освещенности в нижележащей ионосфере. Работа выполнена при частичной поддержке программ РАН П22.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАЗМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ (от 6 до 12 R_E) ПРИ НЕВОЗМУЩЕННЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ

И.П. Кирпичев, Е.Е. Антонова

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

На основании 5 летних измерений потоков частиц международной миссии THEMIS отобраны пролеты, пересекающие магнитный экватор в слое $0 \pm 0.5 R_E$ на геоцентрических расстояниях от 6 до 12 R_E . Плазменное давление рассчитывалось по полным функциям распределения ионов и электронов. Все данные распределялись в зависимости от условий в солнечном ветре с учетом временного сдвига распространения солнечного ветра до орбиты Земли. Результаты измерений давления разделялись в соответствии со значениями динамического давления солнечного ветра и V_z ММП. Проведен отбор данных в соответствии с величинами геомагнитных параметров. Выделены интервалы с $Dst > -20$ нТл, $A_e < 100$ нТл. Построена эмпирическая модель давления плазмы в экваториальной плоскости в магнитоспокойных условиях.

PG ПУЛЬСАЦИИ, НАБЛЮДАЕМЫЕ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко²

¹*ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия,*

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

В работе исследованы очень монохроматичные геомагнитные пульсации с периодом примерно 2-3 минуты по данным спутников GOES, THEMIS, ETS. Данные пульсации возбуждались во время спокойных геомагнитных условий. На геостационарной орбите преобладает радиальная компонента геомагнитного поля, также пульсации видны в

компоненте вдоль геомагнитного поля. По морфологическим признакам данные пульсации соответствуют P_g (pulsations giant) типу. Однако в отличие от типичных P_g пульсаций данные пульсации не видны на наземных магнитометрах по данным станций сети CARISMA. Кросс-корреляционный анализ между спутниками GOES-10, GOES-12 показывает, что данным P_g пульсациям соответствует азимутальное волновое $m \approx 20-25$. По данным спутников THEMIS не наблюдается одновременных P_{c5} пульсаций в потоках энергичных частиц в магнитосфере. Обнаружено облако протонов с энергией 50-75 кэВ по данным спутников LANL, представляющее из себя “кругосветное эхо”. Предполагается, что данное облако энергичных протонов является источником генерации наблюдаемых P_g пульсаций в результате развития кинетических неустойчивостей.

МИНИ-МАГНИТОСФЕРА

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

ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, ildars@ngs.ru

В статье исследуется методами лабораторного эксперимента магнитосфера сопоставимая по размерам с ионными кинетическими масштабами. Такой объект применим к магнитным аномалиям на Луне, в перспективе к астероидам с остаточным магнетизмом и системам защиты экипажа от энергичных галактических протонов. В прошлых лабораторных экспериментах авторов было показано, что положение магнитопаузы и точка остановки плазмы существенно отличаются в режимах с малой и большой ионной плазменной длиной. А именно, в кинетическом режиме магнитопауза регистрируется заметно дальше, чем расстояние до расчетной точки баланса давлений, а плазма проникает глубоко внутрь области дипольного магнитного поля. Мы связываем эти особенности с обнаруженной в опытах специфической компонентой магнитного поля, некомпланарной дипольному полю. Установлено, что данная компонента поля не меняет знак при инверсии магнитного момента диполя, что указывает на ее генерацию квадратичным Холловским членом. В новых экспериментах мы обнаружили, что мини-магнитосфера обладает хорошо структурированным хвостом, состоящим из лобных долей и центрального токового слоя с разреженной плазмой. Необычным является то, что в лобных областях, примыкающих к погранслою, некомпланарная компонента дает основной вклад в полное поле. Вектор поля совершает специфическое вращение вокруг оси хвоста, и этот факт может быть использован при интерпретации спутниковых наблюдений. В ходе пролета хвоста мини-магнитосферы относительно близко к диполю должен наблюдаться либо обычный реверс поля направленного вдоль хвоста, либо почти 90° вращение лобного поля до пересечения токового слоя. Это будет зависеть от того, в какой плоскости происходит пересечение – экваториальной или меридиональной. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН проект П.10.1.4., Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-02-00367), программы 15 ОФН РАН, и программы 22 Президиума РАН.

О ВЛИЯНИИ ДАВЛЕНИЯ И НАТЯЖЕНИЯ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАГНИТОШИТЕ НА ПОЛОЖЕНИЕ И ФОРМУ ГЕОМАГНИТОПАУЗЫ

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

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

С увеличением экспериментальных сведений о геомагнитопаузе появилась возможность более детального анализа физических процессов в ее окрестности. В 2009 г. по измерениям на КА Прогноз/Интербол была выявлена зависимость расстояния до этой границы от часового угла ММП (Веригин и др., Геомагн. Аэрон, 49, №8), а в 2010 г. - зависимость положения подсолнечной части магнитопаузы от конусного угла (Dušík et al., J. Geophys. Res., 37, L19103). Первая зависимость связана с воздействием на магнитосферу натяжения магнитных силовых линий, а вторая - была интерпретирована как следствие дополнительного давления на эту границу, оказываемого магнитным полем солнечного ветра при небольших Альвеновских числах Маха. В докладе обсуждаются различные подходы к описанию учета давления и натяжения магнитного поля у магнитопаузы с учетом теоретических ограничений, аналитических расчетов течения за ударной волной в Лагранжевых переменных и результатов 3D МГД моделирования. Работа выполнена при частичной поддержке программы П22 РАН.

ПЕРЕНОС НА ВНЕШНЕМАГНИТОСФЕРНЫХ ГРАНИЦАХ: ПЕРЕХОД ДИСКРЕТНЫХ 3x-ВОЛНОВЫХ КАСКАДОВ В ТУРБУЛЕНТНЫЕ НА РЕЗОНАНСАХ ВО ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА

С.П. Савин¹, В.П. Будаев^{1,2}, Л.М. Зеленый¹, Э. Амата³, Л.В. Козак⁴, Л.А. Лежен¹

¹*ИКИ РАН, г. Москва, Россия,*

²*РНЦ Курчатовский институт, Россия,*

³*IFSI, Roma, Italy,*

⁴*Киевский университет, Украина.*

На данных динамического давления с 4 спутников (CLUSTER, DOUBLE STAR, GEOTAIL, ACE), впервые продемонстрировано, что за счет доминирующей кинетической энергии солнечного ветра возникают турбулентные каскады на границе магнитосферы, существенно влияющие на процессы переноса плазмы через магнитосферные границы. Показана ведущая роль Сверх-магнитозвуковых Струй Плазмы (СПС) в аномальном переносе плазмы сквозь магнитосферные границы. При этом: (1) - возбуждаются пограничные резонансы и их гармоники, которые модулируют появление СПС в местах искажения формы ударной волны резонансными волнами; (2) - возбуждаются дискретные 3x-волновые каскады, которые размываются и сливаются на высоких частотах в бесструктурный турбулентный каскад с наклоном спектра «-1»; (3) - статистически возбуждаемые плазменными струями каскады вызывают аномальный перенос как солнечной плазмы внутрь периферийной магнитосферы, так и синхронный отток магнитосферной плазмы (индикатором которого является энергичный кислород) из магнитосферы в солнечный ветер.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУР СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПРИ ВХОДЕ В МАГНИТОСЛОЙ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

Л.С. Рахманова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, Г.Н. Застенкер²

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, amical106@rambler.ru*

Работа посвящена изучению модификации плазменных структур солнечного ветра, на масштабах от нескольких секунд до нескольких минут, при пересечении околоземной ударной волны и движении через турбулентный магнитослой. Для анализа используется 89 часов измерений плотности плазмы на двух близкорасположенных спутниках проекта Themis. Исследуется уровень корреляции между временными рядами измерений в солнечном ветре и в магнитослое, при этом коэффициент корреляции вычисляется как для первичных данных, так и для данных с различными временами сглаживания. Показано, что при сглаживании данных по 10-50 секундным интервалам коэффициент корреляции существенно увеличивается, сглаживание более чем по 50-100 секундным интервалам практически не влияет на уровень корреляции, из чего следует, что флуктуации с частотами менее 0.01-0.02 Гц приходят в магнитослой из солнечного ветра, в то время как вариации с частотами более 0.02 Гц возникают, в основном, за счет ударной волны и развития неустойчивостей в магнитослое. В работе также показано, что даже при высоком уровне крупномасштабной корреляции параметров солнечного ветра и магнитослая, локально корреляция параметров может отсутствовать, и отдельные структуры длительностями до нескольких минут могут не проходить из солнечного ветра в магнитослой. Исследуются возможные причины такого явления, а также факторы, влияющие на вероятность прохождения структур из солнечного ветра в магнитослой.

СЕКЦИЯ «МАГНИТОСФЕРА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СУББУРЕВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ В УТРЕННЕМ СЕКТОРЕ

Т.В. Козелова, Б.В. Козелов

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

По измерениям полей и частиц на трёх спутниках ТНА (-4; -6.5; -1.7) Re, ТНД (-7; -8; -2.27) Re и ТНЕ (-8; -7.7; -2.71) Re, наземным наблюдениям полярных сияний и магнитным данным в утреннем секторе изучались проявления суббуревой интенсификации в интервале 13-15 UT 6 января 2008 г. Для анализа развития активности в магнитосфере был использован метод дифференциальных токов, который применялся ранее при анализе магнитных данных на спутниках CRRES и THEMIS. Показано, что за 15 минут до начала суббуревой интенсификации, начавшейся западнее ИСЗ, появились колебания магнитного поля и давления ионов с периодом 4 минуты. В это время уярчения сияний сопровождалось возрастаниями потоков электронов с энергией обрезания ~ 10 кэВ и усилениями западного тока dj_W на $r \sim 7-9$ Re. Затем, во время интенсификации, наблюдался рост энергии обрезания, что свидетельствует о появлении новых электронов на открытых дрейфовых траекториях. Одновременно произошло усиление восточного тока dj_E , который перемещался от $r \sim 10$ Re до $r \sim 6$ Re. Запаздывание всплесков электронов на разных ИСЗ согласуется с динамикой дифференциальных токов и продвижением к Земле границы конвекции 10-кэВных электронов. Быстрое прерывание интенсификации через 4 минуты после начала было связано с внезапно появившимся током dj_W на $r \sim 7-8$ Re. Обсуждается связь наблюдаемых вариаций полей и потоков частиц во время рассматриваемой суббуревой интенсификации с изменениями B_z компоненты ММП, измеренной на спутнике ACE.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПО ШИРОТЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ ДИАПАЗОНА Pc5 КАК РЕЗУЛЬТАТ И ИНТЕНСИВНЫХ ФЛЮКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Н.Г. Клейменова, Н.Р. Зелинский, Л.М. Малышева

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

Известно, что самым магнито спокойным годом последних десятилетий является 2009 г. Анализ наземных геомагнитных наблюдений в этот период показал, что даже в таких условиях в дневном секторе магнитосферы возможно возбуждение интенсивных геомагнитных пульсаций диапазона Pc5 ($f \sim 2-5$ мГц), глобальных по широте, т.е. регистрируемых одновременно от полярных до экваториальных широт. По данным 29 наземных станций скандинавского профиля магнитометров IMAGE было детально исследовано 4 таких события, наблюдаемых при низкой скорости солнечного ветра (300–350 км/с), отрицательных значениях B_z ММП, но большой плотности солнечного ветра ($\sim 30-40$ см $^{-3}$) и интенсивных флюктуаций плотности в диапазоне Pc5 пульсаций. На земной поверхности пульсации начинались внезапно и одновременно на всех широтах и также одновременно резко кончались. Характеристики наземных пульсаций и флюктуаций в солнечном ветре исследовались с помощью различных методов дискретного математического анализа распознавания аномалий на временных рядах. В результате

проведенного анализа был сделан вывод, что наиболее вероятным источником наземных пульсаций являются флюктуации соответствующих периодов в плотности солнечного ветра.

«ПОЛЯРНЫЕ» И «ВЫСОКОШИРОТНЫЕ» СУББУРИ

И.В. Дэспирак¹, А.А. Любчич¹, Н.Г. Клейменова²

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, *despirak@gmail.com*,

² ИФЗ РАН, г. Москва, Россия.

Все наблюдающиеся на высоких широтах суббуревые возмущения можно разделить на 2 типа – «полярные» (наблюдаются только на $>70^\circ$ при отсутствии в этот день суббурь на $<70^\circ$) и «высокоширотные» суббури (перемещаются из авроральных ($<70^\circ$) в полярные ($>70^\circ$) геомагнитные широты). Целью исследования было сравнить условия в солнечном ветре, при которых наблюдаются эти 2 типа суббурь. Для этой цели были использованы данные цепочки магнитометров IMAGE и данные базы OMNI за 1995, 2000, 2006-2011 годы. Всего было отобрано 105 полярных и 55 высокоширотных суббурь. Показано, что полярные суббури, наблюдаются при низкой скорости солнечного ветра, после прохождения высокоскоростного рекуррентного потока, на поздней восстановительной фазе геомагнитной бури. Суббури, во время которых возмущения перемещаются из авроральных ($<70^\circ$) в полярные ($>70^\circ$) геомагнитные широты (высокоширотные суббури), наоборот, наблюдаются при высокой скорости солнечного ветра, повышенных значениях V_z компоненты ММП, E_y компоненты электрического поля, температуры и давления солнечного ветра, во время прохождения мимо Земли высокоскоростного рекуррентного потока.

ПОЛОЖЕНИЕ ОБЛАСТИ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ СУББУРЬ, СВЯЗАННЫХ С РАЗНЫМИ ПОТОКАМИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

И.В. Дэспирак¹, А.А. Любчич¹, Р. Колева²

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Анатиты, Россия, *despirak@gmail.com*,

² ИКИТ БАН, г. София, Болгария.

Известно, что во время суббурь наблюдаются быстрые потоки плазмы в хвосте магнитосферы, и на спутнике, находящемся в плазменном слое, могут быть зарегистрированы случаи изменения направления быстрых потоков плазмы от Земли / к Земле. Наблюдение поворота быстрых потоков плазмы интерпретируется как прохождение мимо спутника в хвост магнитосферы нейтральной линии. В нашей работе мы будем исследовать положение области магнитного пересоединения в плазменном слое во время развития суббурь, связанных с различными потоками солнечного ветра – рекуррентными высокоскоростными потоками (RS), магнитными облаками (MC) и фронтами этих потоков (Sheaths и CIRs). Были использованы одновременные данные приборов UVI спутника Polar и приборов LEP и MGF спутника Geotail. Характеристики солнечного ветра и межпланетного магнитного поля определялись по данным спутника WIND. Были пранализированы все суббури, которые наблюдались на спутнике Polar во время прохождения рекуррентных потоков и магнитных облаков, а также Sheath или CIR структур солнечного ветра за декабрь 1996, 1997-1998 и 2000 годы. Всего было отобрано 19 случаев. Показано, что область пересоединения наблюдается ближе к Земле во время суббурь, связанных с магнитными облаками, и дальше от Земли – во время суббурь, связанных с высокоскоростными рекуррентными потоками солнечного ветра.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АМПЛИТУДНЫХ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СПЕКТРОВ МНОГОПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РС-1

**Е.Н. Ермакова¹, Д.С. Котик¹, С.В. Поляков¹, А.Г. Яхнин², Т.А. Яхнина²,
А.Г. Демехов³, В.А. Пилипенко⁴**

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

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

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

⁴ИФЗ РАН, г. Москва, Россия, pilipenko_va@mail.ru.

Работа посвящена исследованию динамики спектров амплитуды и поляризации долгоживущих естественных излучений в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций (РС-1, 0,1-5 Гц). Интенсивные сигналы в этом диапазоне связываются с развитием циклотронной неустойчивости энергичных ионов в области кольцевого тока магнитосферы. Для анализа было выбрано событие, зарегистрированное 05-06.03.2011, в котором колебания РС-1 имели многополосную спектральную структуру. Приводятся результаты регистрации интенсивных РС-1 на трех среднеширотных пунктах (два в Нижегородской области и один в обсерватории Монды в Бурятии), высокоширотной станции Ловозеро и на станциях финской цепочки магнитометров. Наряду с данными магнитометрической аппаратуры анализировались данные детекторов энергичных протонов с низкоорбитальных спутников NOAA и Metop – 02. Информация о протонных высыпаниях использовалась для определения области генерации РС1. Одновременный анализ данных наземных магнитометров и низкоорбитальных спутников показал, что: – в начале исследуемого события 05.03.2011 амплитуда излучения РС-1 в более высокочастотной полосе (выше гирочастоты ионов гелия) была выше, чем в низкочастотной полосе (ниже гелиевой гирочастоты), что является нетипичным для источников циклотронной неустойчивости на плазмплаузе; – после прохождения солнечного терминатора через меридиан наиболее интенсивных высыпаний энергичных протонов спектр РС-1 приобрел ярко выраженный двухполосный характер, что удается связать с появлением областей циклотронной неустойчивости на более высоких геомагнитных широтах; – характер поляризации сигналов РС1 различался в разных частотных полосах, причем в нижней полосе наблюдалась частотная зависимость поляризации. Эти особенности в рассматриваемом событии связаны с наличием множественных областей циклотронной неустойчивости, расположенных на разных геомагнитных долготах. Сопоставление динамики амплитудно-частотных спектров на всех наземных станциях позволило выявить отличительные и общие черты в характере изменений амплитуды РС-1. Было обнаружено резкое уменьшение амплитуды РС-1 на всех станциях в период прохождения солнечного терминатора через меридиан наиболее интенсивных высыпаний энергичных протонов. Различие в динамике амплитуды на частотах спорадического излучения РС-1 на разных наземных станциях, как правило, было связано с разным вкладом множественных областей ионно-циклотронной неустойчивости в формирование эмиссий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СПОРАДИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ МАГНИТОСФЕРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ДО 15 ГЦ

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

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

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

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

В работе исследуется динамика спектров геомагнитных пульсаций на необычно высоких частотах (в т.ч. выше Шумановского резонанса, 8 Гц), впервые обнаруженных на среднеширотном пункте «Новая Жизнь» ($L=2.6$) в период магнитной бури 07–14.11.2004. Начало регистрации такого события совпало с регистрацией необычных протонных сияний на спутнике IMAGE на геомагнитной широте $CGLat=50^{\circ}$ ($L=2.4$). Колебания горизонтальной компоненты магнитного поля были обнаружены на частоте 10.5 Гц в частотной полосе порядка 2 Гц. Анализ данных низкоорбитальных спутников, регистрирующих локализованные высыпания энергичных (30–100 кэВ) протонов (ЛВЭП), за период 00–04 UT, 10.11.2004 показал, что в это время такие высыпания наблюдались на необычно низких широтах, близких к широте точки наблюдения геомагнитных пульсаций, причем область высыпаний проектировалась на плазмопаузу, которая также сместилась необычно близко к экватору. Оценка геомагнитного поля по геомагнитной широте области высыпаний указывает на то, что эмиссия наблюдалась на частотах выше экваториальной гирочастоты ионов гелия He^{+} $\omega_{He^{+}}$ и, таким образом, может быть связана с ионно-циклотронной неустойчивостью электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн на границе необычно низкоширотной плазмопаузы. Оценка гирочастоты проводилась по геомагнитным широтам ЛВЭП. Исследование дальнейшей динамики излучения позволило обнаружить еще три периода регистрации таких «высокочастотных» эмиссий: 22:30 UT 10.11.2004 – 03:00 UT 11.11.2004, 06–08 UT 11.11.2004 и 09–12 UT 11.11.2004. В период 06–10 UT 11.11.2004 также были зарегистрированы протонные сияния и локализованные высыпания энергичных протонов на широтах $CGLat - 51.5^{\circ} - 59^{\circ}$. В эти периоды спорадическое излучение было обнаружено на наземной станции на частотах как ниже, так и выше экваториальной гирочастоты He^{+} . Самое высокочастотное излучение имело верхнюю границу частотного интервала около 15 Гц. Эмиссии на частотах выше $\omega_{He^{+}}$ имели, как правило, более широкую частотную полосу (2–3 Гц), чем сигналы на частотах ниже $\omega_{He^{+}}$ и сложную структуру спектра в виде почти вертикальных полос. В период с 12 по 14.11.2004 наблюдалось постепенное уменьшение характерных частот геомагнитных пульсаций до 2 Гц, что согласуется с ослаблением геомагнитной активности и соответствующим возвращением области контакта кольцевого тока и плазмопаузы на более высокие широты. Одновременно анализировались спектры поляризационного параметра на частотах спорадических эмиссий. Обнаружено, что в высокочастотной полосе преобладало излучение с линейной или левой квази-циркулярной поляризацией. Выполнен также сравнительный анализ особенностей спектров высокочастотного излучения и эмиссий в классическом диапазоне частот микропульсаций Pc-1.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОНЧ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПРИ НАЛИЧИИ ИСКУССТВЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Д.Л. Пасманик, А.Г. Демехов

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

Проведен анализ особенностей распространения ОНЧ волн в ионосфере и магнитосфере Земли при наличии крупномасштабных искусственных плазменных неоднородностей, создаваемых нагревными стендами типа HAARP и «Сура». В результате воздействия нагревного стенда на ионосферу может возникать область с повышенной концентрацией плазмы, вытянутая вдоль геомагнитного поля (до высот порядка радиуса Земли) и имеющая достаточно небольшой размер поперек него ($\sim 1^\circ$). Распространения волн исследуется в рамках уравнений геометрической оптики. Для задания профиля концентрации и ионного состава плазмы используется вычислительная модель ионосферы SAMI2, модифицированная для учета воздействия на ионосферу ВЧ излучения нагревных стендов. Основное внимание в работе уделено исследованию пространственных распределений амплитуд сигналов с учетом рефракции лучей. Рассматриваются лучевые траектории волн, распространяющихся с высот около 100 км из различных начальных точек внутри и в окрестности геомагнитной силовой трубки, где создано возмущение плотности. Источником таких волн могут быть как молниевые разряды, так и модулированный ВЧ нагрев ионосферы или сигналы ОНЧ передатчиков. Показано, что за счет неоднородности, возникающей при нагреве, и связанного с этим эффекта каналирования волн, в этих областях пространства возможно существенное увеличение амплитуды ОНЧ сигналов. Анализируется влияние режимов нагрева на эффективность каналирования волн искусственными неоднородностями и соответствующие изменения пространственных распределений амплитуды волн.

ЗАВИСИМОСТЬ ТОЛЩИНЫ LLBL ОТ ПАРАМЕТРОВ ММП И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

С.С. Знаткова¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, М.С. Пулинец^{3,1}, И.П. Кирпичев^{2,1}

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, svetlana.znatkova@yandex.ru,*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия,*

³*ФФ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.*

Измерения пересечений магнитопаузы и низкоширотного погранслоя (LLBL) вблизи экваториальной плоскости дают возможность определять толщину LLBL с точностью $\sim 10\%$. Проведен анализ более 170 случаев пересечения LLBL спутниками миссии THEMIS. Применялась разработанная ранее методика определения толщины LLBL, учитывающая движение плазмы в слое и протестированная при анализе почти одновременных пересечений слоя двумя спутниками. Получены оценки толщины слоя, с учетом измеряемой на спутнике скорости движения плазмы в направлении перпендикулярном магнитопаузе. Одновременно определялись параметры солнечного ветра по данным спутника WIND или находящегося в солнечном ветре одного из спутников THEMIS. Учтен временной сдвиг на распространение солнечного ветра до исследуемого пересечения магнитопаузы. Построены статистические зависимости толщины слоя от параметров ММП и солнечного ветра для анализируемого ряда событий. Проведен анализ полученных зависимостей и их сравнение с теоретическими предсказаниями.

КАКИЕ ЖЕ РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА ИССЛЕДУЮТ 2 СПУТНИКА RBSP - «ЗОНДЫ ВАН АЛЛЕНА»?

В.В. Тёмный

Спустя полвека после открытия двух радиационных поясов Земли группа из **JHU APL** подготовила к запуску 2 ИСЗ **RBSP (Radiation Belt Storm Probes)**. 30.08.2012 г. они были выведены на эксцентричные орбиты, пересекающие внутренний и внешний радиационные пояса. В память об американском пионере космических исследований Джеймсе Ван Аллене (07.09.1914-09.08.2006) **RBSP** были переименованы 09.11.2012 г. в «Зонды Ван Аллена». Отдавая должное этому выдающемуся исследователю, не следует забывать весомого вклада других космических первопроходцев в первое открытие этого природного физического явления космической эры, называя его «радиационными поясами Ван Аллена». Исторический анализ последовательности публикаций о продвижении к пониманию обнаруженного явления показал, что впервые его признаки были зарегистрированы группой Вернова С.Н. на II советском ИСЗ 07.11.1957 года в виде всего лишь 1,5–2-кратного повышения скорости счёта детектора космических лучей над их фоном только на одном перигейном отрезке орбиты II ИСЗ. Информация с апогейного участка орбиты, где, несомненно, регистрировались много большие превышения скорости счёта, оказались недоступны авторам эксперимента [Вернов и др. 1958]. У авторов эксперимента не было оснований для вывода о присутствии над Землёй интенсивной радиации. Такой аргумент появился у Ван Аллена после 2-х месячного анализа причин перегрузки детектора, подобного использовавшемуся на II ИСЗ. «Боже мой, космос радиоактивен!» - вывод Эрни Рея - сотрудника Ван Аллена. Свои результаты Ван Аллен доложил на совместном заседании Академии наук, Физического общества и научной общественности США. Его выводы: обнаружены потоки «...электронов из межпланетной плазмы, которая приходит от Солнца и взаимодействует с земным окружением» [Van Allen et al., 1958]. Его аргумент был основан на результатах автора баллон-ракетных измерений 1952-1955 гг. тормозного рентгеновского излучения от потоков электронов $J(E_e \sim 10-100 \text{ keV}) \sim 107 \text{ см} \cdot 2\text{с} \cdot 1$ [Van Allen, 1956]. Вплоть до августа-сентября 1958 года группа Ван Аллена продолжала считать, что «большая часть потока (J_e) энергии создаётся электронами с $E_e \sim 50 \text{ кэВ} \dots$ и $J_e \sim 108 \text{ см} \cdot 2\text{с} \cdot 1 \dots$ » [Kellogg, 1959]. Этот вывод совпал с результатом Красовского с III советского ИСЗ: $(J_e E_e \sim 10 \text{ кэВ}) \sim 10 \cdot 2 \cdot 102 \text{ эрг см} \cdot 2\text{с} \cdot 1$ [Красовский и др., 1958], но отличался от полученного группой Вернова, отождествившей потоки на низких широтах как протоны с $E_p \sim 100 \text{ МэВ}$ и электроны с $E_e \sim 100 \text{ кэВ}$ [Вернов, Чудаков, 1958a]. Тогда же группа Вернова предложила механизм происхождения наблюдавшихся протонов от бэта-распада нейтронов альbedo космических лучей и их захват геомагнитным полем [Вернов и др., 1958б] одновременно и независимо от С.Ф. Зингера [Singer, 1958a,b]. Возможность захвата заряженных частиц геомагнитным полем с образованием вокруг Земли подтвердил глобальный эксперимент Кристофилуса «АРГУС». Вплоть до запуска к Луне АМС PIONEER-3 (декабрь 1959 г.) Ван Аллен продолжал считать обнаруженный радиационный пояс Земли единым, несмотря на то, что группа Вернова на III советском ИСЗ отождествила два пояса: внутренний протонный и внешний электронный [Завидонов, 2003]. Группа Красовского продолжила исследования электронов во внутреннем поясе в 1962-1964 гг. на ИСЗ КОСМОС-3,-5, ЭЛЕКТРОН-1,-3. Удастся ли научной группе **RBSP** исследовать электронный внутренний пояс на фоне интенсивных проникающих протонов? Пока она обнаружила в нём узкий пояс электронов с $E_e > 15 \text{ МэВ}$, ранее наблюдавшийся группой НИИЯФ МГУ.

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАГНИТОСЛОЕ ВБЛИЗИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ТОЧКИ МАГНИТОПАУЗЫ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ ПЕРЕД ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ПО ДАННЫМ МИССИИ THEMIS

М.С. Пулинец^{1,3}, С. С. Знаткова¹, Е.Е. Антонова^{1,2}, М.О. Рязанцева^{1,2}, И.П. Кирпичев^{2,1}

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³ФФ МГУ, г. Москва, Россия, cotopaxu@gmail.com.

Проведен анализ флуктуаций магнитного поля вблизи подсолнечной магнитопаузы с использованием данных международной миссии THEMIS. Подтверждено существование высокого уровня турбулентности магнитного поля в магнитослое. В отличие от проводившихся ранее исследований в данной работе проводилось сравнение параметров магнитного поля в магнитослое непосредственно перед магнитопаузой вблизи ее носовой части с параметрами ММП, измеренными перед ударной волной. Проанализированы порядка сотни пересечения магнитопаузы вблизи подсолнечной точки. Учтена временная задержка прихода солнечного ветра к подсолнечной точке магнитопаузы. Получены зависимости модуля магнитного поля, трех его компонент и часового угла у магнитопаузы от аналогичных величин в солнечном ветре при различных временах усреднения. Выделены события, при которых направление Vz компоненты магнитного поля у магнитопаузы сильно отличается от направления магнитного поля в солнечном ветре вплоть до изменения знака.

ПОЛОЖЕНИЕ АВРОРАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДЖЕТА И ULF АКТИВНОСТЬ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ

О.В. Козырева^{1,2}, Е.Е. Антонова^{3,2}

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

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

Проведен анализ результатов наземных и спутниковых наблюдений во время больших магнитных бурь ($Dst_{\min} < -200$ нТл), включая период работы Van Allen Probes миссии. Характерным признаком магнитных бурь является смещение аврорального овала на низкие широты и развитие кольцевого тока. Основные магнитные возмущения в области овала связаны с развитием западного электроджета. Смещение овала сопровождается смещением электроджета к экватору и увеличением интенсивности ULF колебаний. Исследована зависимость положения центра электроджета и максимума интенсивности ULF активности от фазы магнитной бури.

ПОЛУГОДОВАЯ ВАРИАЦИЯ РС-ИНДЕКСА ДЛЯ СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ПОЛЯРНЫХ ШАПОК

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

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

Хотя полугодовая вариация геомагнитной активности (ГА) с пиками вблизи равноденствия известна уже более 150 лет, существующие механизмы ее возникновения считаются неудовлетворительными. Ранее мы предложили модель взаимодействия электрических и магнитных полей солнечного ветра с геомагнитным полем с учетом эффектов годового и суточного движений Земли и на ее основе геоэффективные параметры. Поскольку эффекты изменения взаимной ориентации магнитного момента Земли M , электрического E и магнитного B полей солнечного ветра должны были проявиться в годовой и УТ вариации ГА, нам удалось предложить новое ее объяснение (*Adv. Space Res.*, v. 47, 978-990, 2011). Фаза этой вариации определяется годовой вариацией компоненты магнитного момента M_y (GSE) в плоскости взаимодействия YZ: экстремумы в равноденствия ($M_y < 0$ в 1-ой половине года, $M_y > 0$ во 2-й половине года) и $M_y = 0$ в солнцестояния. Амплитуда годовой вариации модулируется электрическим полем солнечного ветра $E_z = VB_y$. Другими словами, экстремумы в годовой вариации M_y в равноденствия приводят к максимумам геоэффективной компоненты утро-вечер $E_{mv} = VB_y M_y$ в YZ-плоскости в весеннее равноденствие при ММП с $B_y < 0$ и в осеннее при ММП с $B_y > 0$. Поскольку эта компонента E_{mv} должна проектироваться в полярную ионосферу, логично обнаружить полугодовую вариацию индекса активности в южной и северной полярных шапках. Для этих целей мы используем индекс южной шапки P_s за 1995 и 1998 годы, получаемый на основе магнитных вариаций на ст. Восток и который нам удалось найти (*AARS www-page*) и северной шапки P_n за 1975-2012, получаемый на основе вариаций на ст. Туле. Мы также пользуемся данными ММП B и скоростью солнечного ветра V , измеренными на орбите Земли вблизи эклиптики для тех же лет. Показано, что среднее электрическое поле $E \sim 1$ mV/m, а среднее ММП, описываемое спиралью Паркера, лежит в плоскости эклиптики. Полугодовая вариация как P_n , так и P_s не отличается от полугодовых вариаций других геомагнитных индексов (K_p , a_a , Dst): сглаженные максимумы вблизи равноденствий и минимумы вблизи солнцестояний, а весенний пик вблизи равноденствия превышает осенний. Мы получили полугодовые вариации для различных знаков B_y и B_z компонент и показали, что полугодовые вариации P_n и P_s определяются именно B_y компонентой ($B_y < 0$ геоэффективна в 1-ю половину года, а $B_y > 0$ во вторую), а не B_z компонентой. B_z -компонента ММП определяет средний уровень индексов: как P_n , так P_s выше средней кривой для $B_z < 0$ и ниже средней кривой для $B_z > 0$. Кроме того, достаточно длинный ряд данных индекса северной полярной шапки P_n показал абсолютный максимум в 23 цикле солнечной активности, что можно интерпретировать как длинно-периодические изменения солнечного ветра с максимумом в период 23 цикла. Работа выполнена при поддержке гранта П-22 Президиума РАН.

ПОТОКИ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ НА ОРБИТЕ «ГЛОНАСС»

**Н.Н. Павлов¹, С.В. Балашов², Н.А. Власова¹, В.В. Иванов², Д.С. Карпенко²,
С.Г. Кочура², И.А. Максимов², С.И. Опенько², С.Я. Рейзман¹, И.А. Рубинштейн¹,
Н.Н. Ситникова², М.В. Тельцов¹, Д.А. Трофимчук², В.И. Тулупов¹**

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, npr@mail.ru

²ОАО ИСС им. М.Ф.Решетнёва, г. Железногорск, Россия.

Обсуждаются данные с аппаратуры для радиационного мониторинга, установленной на ряде космических аппаратов (КА) группировки ГЛОНАСС; представлен состав аппаратуры и результаты наблюдений за годы 2007-2012; схема измерений иллюстрируется 3D-анимацией. Целью проекта, помимо *in situ* мониторинга на КА, является выявление закономерностей и особенностей поведения радиации на данной орбите (для уточнения применяемых прогностических моделей), а также использование многоспутниковой средневысотной конфигурации КА для исследования пространственных и временных деталей динамики магнитосферы. Орбита ГЛОНАСС ($h \sim 20000$ км, $i \sim 65^\circ$) лежит во внешнем радиационном поясе, население которого динамически формируется «буревыми инжекциями» электронов, разгоняемых до релятивистских энергий; эмпирическая модель – AE8. Высокоширотные части орбиты подвержены воздействию протонов от солнечных вспышек (модель – AP8), однако в рассматриваемый период низкой солнечной активности (СА) вклад этой компоненты мал. Известно ([McPherron et al., 2009]), что на геосинхронной орбите максимальные потоки электронов наблюдаются на фазе спада цикла СА, а не вблизи максимума (по числу солнечных пятен), как это ранее подразумевалось в AE8 и реально наблюдается для протонов. По отношению к такому сдвигу наши данные в некоторые периоды соответствуют данным с геосинхронной орбиты (GOES), а в некоторые – нет. Пользуясь соотношением Тверской [1986] между L-координатой максимума «буревой инжекции» и мощностью бури $|Dst|_{max}$, а также данными спутников RBSP/VAP, мы рассматриваем причины сдвига и вероятность его распространения на орбиту ГЛОНАСС. Сопоставляя временной ход параметров, измеряемых на нескольких КА ГЛОНАСС (к сожалению, эти данные не непрерывны), мы рассматриваем пространственную асимметрию распределения релятивистских электронов для спокойных геомагнитных условий и пространственно-временную – для возмущений. Общий измеренный уровень радиации на орбите ГЛОНАСС лежит вблизи модельных оценок, с небольшим выходом за уровень AE8_MIN в период минимума СА и значительным (более чем в 10 раз) понижением – в 2009 году.

[Л.В. Тверская]. *О границе инжекции электронов в магнитосферу Земли* / Геомагнетизм и аэронавтика. Т. 26, с. 864. 1986.

[R.L. McPherron, D.N. Baker and N.U. Crooker]. *Role of the Russell–McPherron effect in the acceleration of relativistic electrons* / J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. **71**, 1032–1044, 2009.

ЛОКАЛЬНЫЕ МИНИМУМЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ: ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.В. Вовченко¹, Е.Е. Антонова^{2,1}

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

² НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, antonova@orearm.msk.ru.

Результаты экспериментальных наблюдений позволяют в некоторых случаях выделить область вблизи полуночи на геоцентрических расстояниях $\sim 10R_e$, в которых наблюдается магнитная яма. В магнитной яме величина B_z компоненты магнитного поля вблизи экваториальной плоскости меньше величины поля на больших геоцентрических расстояниях. Такие области могут образовываться, в основном, за счет локального азимутально асимметричного увеличения давления. Данное увеличение фиксируется во время магнитных бурь (асимметричный кольцевой ток). Проведен анализ результатов спутниковых наблюдений вблизи экваториальной плоскости и выделены области локального уменьшения магнитного поля. Рассмотрены данные одновременных наблюдений на низколетящих спутниках, позволяющие определить локализацию аврорального овала и оценить величину давления в области экваториальных минимумов магнитного поля. Проведено нелинейное моделирование искажения магнитного поля регистрируемым давлением, позволяющая выделить вклад локального возрастания давления в наблюдаемое уменьшение магнитного поля.

ДИНАМИКА И ПОЛОЖЕНИЕ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА И ТОКОВОЙ СИСТЕМЫ ХВОСТА МАГНИТОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ БУРИ 8 МАРТА 2012 Г.

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

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

Исследуется динамика магнитосферы во время магнитосферной бури 8 марта 2012 года. По данным спутников THEMIS и POES восстанавливаются структура и положение кольцевого тока и токовой системы хвоста магнитосферы. Используя модели собственного магнитного поля Земли (IGRF-11) и магнитосферного магнитного поля (A2000), из измеренного на бортах спутников THEMIS магнитного поля вычитаются вклады от токов внутри Земли и токов на магнитопаузе. Производится почасовой анализ динамики и положения токовой системы хвоста по данным космических аппаратов. Эволюция кольцевого тока оценивается по данным о потоках частиц STEB, измеряемых спутниками POES на низких широтах. Проведено сопоставление положения переднего края токового слоя хвоста магнитосферы, полученной по магнитным данным аппаратов THEMIS и границы плазменного слоя, рассчитанной проектированием с помощью модели A2000 границы изотропизации, определенной по данным спутников POES.

О МЕХАНИЗМЕ ИОНИЗАЦИИ В АТМОСФЕРЕ ИО

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

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

Предложен механизм формирования ионизированной компоненты ионосферы Ио в лобовой (по налетающему потоку плазмы магнитосферы Юпитера) полусфере. Показано, что вблизи экватора реализуется механизм нагрева электронов и ионизации нейтрального газа, обусловленный движением спутника через магнитное поле планеты. Скорость ионизации существенно зависит от величины магнитного поля вблизи спутника и может обеспечить увеличение примерно на порядок концентрацию плазменной компоненты в этой части атмосферы.

ВЫБОР ОРБИТ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

В.И. Прохоренко

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

При выборе орбит искусственных спутников земли и планет наряду с требованиями, вытекающими из научных задач планируемого эксперимента, необходимо учитывать время баллистического существования спутника, обусловленное эволюцией орбиты под влиянием внешних гравитационных возмущений и возмущений от сжатия планеты. Целью доклада является популяризация качественных исследований вековой составляющей эволюции орбит искусственных спутников планет солнечной системы под влиянием упомянутых возмущающих факторов. Эти исследования основаны на использовании интегрируемых эволюционных уравнений, полученных более пятидесяти лет назад в работах М.Л. Лидова, а также в работе Д.Е. Охочимского и др. Наряду с вековой составляющей эволюции фокального расстояния перицентра, важную роль играют долгопериодические колебания приращения расстояния перицентра, период которых совпадает с полупериодом орбиты каждого из возмущающих тел. О том, что под влиянием внешних гравитационных возмущений эволюция орбиты спутника планеты, при сохранении постоянного значения большой полуоси, может приводить к уменьшению фокального расстояния перицентра до значений меньше радиуса планеты, впервые заявил М.Л. Лидов. Полученный результат М.Л. Лидов продемонстрировал на примере численного эксперимента, который вошёл в научную литературу под названием «Вертикальная Луна». Этот эксперимент показал, что Луна на орбите, ортогональной к плоскости эклиптики (имеющей наклонение, равное 90°), под влиянием гравитационных возмущений от Солнца просуществовала бы не более 4.5 лет. Накопленный с тех пор опыт исследования эволюции реальных орбит показывает, что вековая эволюция под влиянием внешних гравитационных возмущений может приводить к опасному снижению перигейного расстояния и при значительно меньших начальных значениях наклонения орбиты к плоскости эклиптики. Например, при начальном значении наклонения плоскости орбиты КА *Спектр-Р* к плоскости эклиптики менее 30 градусов, прогноз эволюции орбиты показал, что в конце первого периода вековой составляющей эволюции его орбиты геоцентрическое перигейное расстояние составляет 0.931 экваториального радиуса Земли. Таким образом, существовала угроза завершения баллистического существования спутника путем сгорания в атмосфере при падении на

Землю. Эта угроза была преодолена за счёт превентивной коррекции орбиты. Практическим аспектам проблемы выбора орбит, на которых вековая эволюция не приводит к опасному снижению фокального расстояния перицентра, большое внимание уделено в ряде работ автора, выполненных за последнее десятилетие. В этих работах:

- введена обобщенная классификация многообразий начальных условий типа I, II, III, приводящих или не приводящих к снижению расстояния перицентра ниже радиуса планеты под влиянием «смешанных» гравитационных возмущений;
- на оси возможных значений большой полуоси орбит спутников планет получены оценки границ действия каждой из двух рассматриваемых асимптотик, при которых приоритетная роль в процессе вековой эволюции принадлежит одному из рассматриваемых возмущающих факторов (при второстепенной роли другого);
- для области действия асимптотики приоритетного влияния внешних гравитационных возмущений получено описание многообразий типа I, II, III в виде трёх теорем.

В докладе приводятся основанные на этих исследованиях практические рекомендации по выбору долгоживущих орбит спутников планет с учетом вековой и долгопериодических составляющих эволюции этих орбит.

РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ В СПОРАДИЧЕСКОМ СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ

В.А. Пархомов¹, Н.Л. Бородкова², В.Г. Еселевич³, М.В. Еселевич³, Г.Н. Застенкер²

¹БГУЭП, г. Иркутск, Россия, *pekines_41@mail.ru*,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия.

В магнитном облаке, являющегося частью спорадического солнечного ветра (СВ) на орбите Земли, на фоне постоянства скорости солнечного ветра обнаружены резкие скачки концентрации СВ и противофазные высоко коррелированные (коэффициент корреляции $R \sim -0.9$) скачки модуля напряжённости межпланетного магнитного поля. Проведенный анализ показал, что эти скачки являются волокнами или эруптивными протуберанцами. В короне Солнца они, обычно, наблюдаются внутри корональных выбросов массы, составляющих основу спорадического СВ. Столкновение волокна с магнитосферой Земли вызывает кратковременную активизацию магнитосферных процессов. Они начинаются на дневной стороне магнитосферы вспышкой сияний в полуденном секторе и распространяются в утреннюю и вечернюю стороны магнитосферы. Все это свидетельствует о том, что, в данном случае, имеет место развитие авроральной суббури, которая отличается от классического типа. Дальнейшее сжатие хвоста магнитосферы в процессе взаимодействия волокна с магнитосферой приводит к передаче энергии в плазменный слой и развитию процессов, аналогичных процессам, происходящим во время классической суббури. Но, при этом она имеет меньшую длительность и характеризуется меньшей величиной высвобождаемой энергии. Время активизации магнитосферы определяется поперечным размером волокна.

КОНЦЕНТРАЦИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ В ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ (ЭМИЦ) ВОЛН К ЭКВАТОРУ ОТ ОВАЛА НА ДНЕВНОЙ СТОРОНЕ

Т.А. Попова, Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин

ПГИ КНЦ РАН, г. Анатимы, Россия, tarkada@yandex.ru

Инкремент ионно-циклотронной (ИЦ) неустойчивости, в результате которой в приземной магнитосфере происходит генерация ЭМИЦ волн, зависит от различных параметров, одним из которых является концентрация холодной плазмосферной плазмы. Генерация ЭМИЦ волн сопровождается рассеянием в конус потерь энергичных протонов, поэтому высыпания протонов в суб-овальной области (где имеет место поперечная анизотропия температуры протонов, необходимая для развития ИЦ неустойчивости) отображают область генерации ЭМИЦ волн. Данные наблюдений протонных высыпаний на низкоорбитальных спутниках NOAA и протонных сияний со спутника IMAGE уже использовались для определения взаимного расположения плазмосферной плазмы и области генерации ЭМИЦ волн. Было показано, в частности, что источники таких геомагнитных пульсаций как Pc1 и КУП, которые являются наземным индикатором ЭМИЦ волн, часто располагаются на градиентах концентрации холодной плазмы в области плазмопаузы или плазмосферного хвоста. В данной работе мы используем наблюдения протонных высыпаний (сияний) для рассмотрения взаимосвязи плазмосферной плазмы с областью генерации ЭМИЦ волн в дневной области во время сжатия магнитосферы при резком росте динамического давления солнечного ветра. Сжатие магнитосферы часто сопровождается всплеском ЭМИЦ волн и всплеском высыпаний протонов к экватору от овала. Были отобраны ситуации, когда во время сжатия на дневной стороне находился один из геостационарных спутников LANL, которые измеряют концентрацию холодной плазмы, и когда область высыпаний протонов заведомо перекрывала проекцию геостационарной орбиты. Оказалось, что как и до, так и сразу после сжатия магнитосферы и соответствующего всплеска протонных высыпаний на геостационарной орбите плотность холодной плазмы не превышала нескольких единиц в см³. Отсутствие значительных концентраций холодной плазмы в области высыпаний протонов на дневной стороне подтверждается также сопоставлением с моделями плазмопаузы. Таким образом, для генерации ЭМИЦ волн на дневной стороне концентрация холодной плазмы не является определяющим фактором. По-видимому, здесь для развития ИЦ неустойчивости определяющим фактором является резкий рост анизотропии энергичных протонов при сжатии магнитосферы.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА ИОНОВ НА ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ НОЧНОГО АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

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

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

Рассматриваются процессы на полярной границе ночной стороны аврорального овала на основе измерений на спутнике Авроральный зонд. Особое внимание уделяется нагреву ионов на данной границе. Исследуется зависимость нагрева от активности, энергии высыпающихся электронов и ионов. Кроме того, рассматривается взаимосвязь нагрева ионов с расположением источника АКР на этой границе.

БЫСТРЫЕ ВАРИАЦИИ ПОТОКА ЭНЕРГИЧНЫХ ИОНОВ ВБЛИЗИ ОКОЛОЗЕМНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Т. Инамори, А.А.Петрукович

*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, apetruko@iki.rssi.ru,
takayainamori@gmail.com.*

По наблюдениям проектов Спектр-Р/Плазма-Ф (прибор МЭП) и THEMIS (SST) обнаружены быстрые вариации потоков энергичных ионов (50-200 кэВ) вблизи околоземной ударной волны, как в солнечном ветре, так и в магнитослое. Выделены два типа событий – пики в спектрах, соответствующие ранее обнаруженным «почти моноэнергичным ионам» (Луценко и др 1999) и осцилляции потоков с периодами 10 – 30 секунд. Последние ранее в явном виде не были описаны в литературе. Построен каталог наблюдений THEMIS SST в солнечном ветре и магнитослое. Всего обнаружено не менее нескольких сотен событий, обычно ассоциируемых с квазипараллельной ударной волной. Данные быстрого режима THEMIS SST имеют разрешение 4 секунды по времени и 16 секторов по азимутальному углу, что позволяет впервые детально исследовать свойства осцилляций потоков. Представлены примеры событий, проанализировано их соответствие направлению магнитного поля.

ВАРИАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА И ГРАНИЦЫ ИНЖЕКЦИИ ЭНЕРГИЧНЫХ ИОНОВ ВО ВРЕМЯ СУББУРЕВОЙ АКТИВНОСТИ

В.Л. Халипов

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

По измерениям на спутниках DMSP составлена база данных наблюдений поляризационного джета в ионосфере для изолированных суббуревых возмущений различной интенсивности. Рассмотрена зависимость положения поляризационного джета от AE – индекса. Развитие поляризационного джета сопоставлено с формированием границы инжекции энергичных ионов, измеренных на спутнике AMPTE/CCE. Работа выполнена при частичной поддержке программы РАН П22.

СТРУКТУРА ПОГРАНИЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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), г. Тулуза, Франция*

В работе проведено исследование параметров плазменных популяций с энергиями 0.1-20 кэВ в ночном низковысотном пограничном слое (PSBL – Plasma Sheet Boundary Layer) по данным спутника ИНТЕРБОЛ-2. Апогейная часть орбиты спутника (на геоцентрических расстояниях $\sim 3-4 R_E$, где R_E - радиус Земли) проходит выше авроральной зоны, поэтому функция распределения частиц может не испытывать модификации при распространении плазмы из экваториальной области до точки наблюдения. Статистический анализ основных

характеристик ионов и электронов за период 27 октября 1996 г. – 30 апреля 1998 г. позволил сделать вывод о существовании трех основных типов состояния PSBL. Для первого типа характерно наличие диффузной ионной структуры (DIS – Diffuse Ion Structure) по данным ИНТЕРБОЛ-2. Средняя энергия протонов составляет $\sim 0.5-0.7$ кэВ, а электронов $\sim 0.2-0.4$ кэВ, что ассоциируется с заполнением PSBL плазмой из мантии и/или долей геомагнитного хвоста. Второй тип отличается наличием пространственной дисперсионной структуры (VDIS - Velocity Dispersed Ion Structure), состоящей из нескольких мелкомасштабных субструктур. Формирование VDIS свидетельствует о генерации ускоренных ионных пучков (бимлетов) в PSBL. Бимлеты ускоряются в нескольких выделенных резонансных областях токового слоя, расположенных вдоль хвоста; эти области являются проявлениями детерминированного хаоса в системе. Наконец, третий тип, при котором отмечается наличие повторяющихся мощных ионных инжекций, каждая из которых наблюдается в течение 1-3 мин и имеет дисперсию по энергии (TDIS – Temporally Ion Dispersed Structure). Эти спорадические инжекции, вероятнее всего, имеют временную природу, т.е. в результате действия времяпролетного эффекта сначала спутника достигают энергичные ионы, а затем, низкоэнергичные. Такие ионные структуры сопровождаются популяцией энергичных электронов со средней энергией $\sim 1.0-4.0$ кэВ, характерных и для центрального плазменного слоя. Третий тип состояния PSBL ассоциируется с развитием взрывных процессов в хвосте магнитосферы. Анализ частоты наблюдения разных типов состояния PSBL показал, что вероятность появления каждого из трех типов находится в прямой корреляции с уровнем геомагнитной активности.

НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ И ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

В.В. Романцев, П.Г. Плеханов, А.В. Барсуков

*ГБОУ СПО СМК, Астрономическая лаборатория “Космос”,
г. Самара, Россия, skb.smk@yandex.ru.*

На современном этапе исследования Солнечной системы мы знаем ее строение только на расстоянии более 75 а.е. от Солнца по гипотезе [4]. В гипотезе изложено о формировании Солнечной планетной системы одновременной аккумуляцией всех планет и только планет. И только в пределах околосолнечного газопылевого диска, окраина которого находилась на расстоянии 75а.е. от Солнца. Соответственно, исследование физика плазмы проводится на известных сегодня параметрах Солнечной системе. В авторской монографии [1] обосновывается предположение о том, что планеты в Солнечной системе наблюдаются только группами (по четыре планеты в каждой группе) и образовались только группами путём аккумуляции в группах протопланетных поясов. Приводится механизм формирования группы протопланетных поясов, который основан на неизвестном ранее свойстве комет и законах Кеплера, Лагранжа и Лаверье [3]. Показано формирование Солнечной системы последовательным образованием групп планет и поясов малых тел между группами. В докладе обосновывается, что наблюдаемая закономерность увеличения расстояний планет в группах с отношением больше единицы, но меньше или равно числу два, свидетельствует о том, что группы планет действительно аккумуляровались в группах протопланетных поясов, средние расстояния которых имели соотношение равное числу два. Полученное соотношение ($R_{n+1}/R_n=2$), является основой закономерного распределения от Солнца объектов Солнечной системы: планет в группе, групп планет, и поясов объектов между группами. Построена модель строения всей Солнечной системы. В модели показано, что за пределами пояса Койпера существуют, предполагаемые в научной гипотезе [1]: группа разряженных протопланетных поясов (в которой аккумуляция группы планет не состоялась),

третий пояс, в котором открыт его первый объект «Седна» [3]. Теоретически установлены средние расстояния группы поясов в а.е. соответственно: 100; 200; 400; 800. Получено среднее расстояние третьего пояса равным 1200 а.е. и среднее расстояние главного пояса Солнечной системы (облака комет Оорта) равным 24000 а.е.. Модель расширила представление о строении планетной системы и получены новые ее параметры.

- [1]. Плеханов П.Г. Солнечная система (строение и кометная гипотеза происхождения): монография (научная гипотеза) – Самара: Издательство Инкома- *пресс*, 2011 – 116с.
- [2]. Плеханов П.Г. Механизм формирования группы из четырех поясов – зоны аккумуляции группы планет. ж.: научный аспект № 32, 2012 ,5-8с.
- [3]. Плеханов П.Г. «Седна» - первый объект третьего пояса Солнечной системы. Доклады научной конференции СМК выпуск 6 - 2009 год, стр. 101-105.
- [4]. Шмидт О.Ю. Четыре лекции о происхождении Земли /АН СССР, 1957.

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПЕРСИСТЕНТНЫЕ ГОМОЛОГИИ НАБЛЮДАЕМЫХ СЛУЧАЙНЫХ СКАЛЯРНЫХ ПОЛЕЙ

Н.Г. Макаренко, И.Н.Князева, Ф.С. Рыбинцев, Ф.А. Уртьев

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В докладе обсуждается метод тестирования случайных полей, основанный на методах вычислительной топологии. Известно, что наиболее интересной характеристикой случайного поля являются структура локальных окрестностей максимумов поля. К сожалению, получить аналитические выражения для вероятностей максимумов, превышающих заданный уровень, удастся лишь в ограниченном числе случаев. Однако, хорошей оценкой этой величины является характеристика Эйлера для выбросов поля, как один из функционалов Минковского. Физически, она равна сумме числа экстремумов поля за вычетом числа седел. Топологически, она определяется как альтернированная сумма чисел Бетти для первых двух групп гомологий: число компонент связности минус число «дыр». Для оценки этих топологических инвариантов мы используем модифицированный алгоритм Эдельсбруннера. Идея вычислений чисел Бетти основана на фильтрации значений поля, как непрерывной 2D функции. Разобьем весь диапазон вариации поля на субинтервалы, начиная с минимальных значений и выберем в качестве функции Морса высоту субуровня. Упорядочим все значения скалярного поля на компакте, по возрастанию. Изменяя высоту горизонтальной плоскости по подуровням, будем отмечать «время жизни» каждого значения поля в пикселе, т.е. компоненты отрезком, баркодом. Так называют отрезок, который измеряет вариацию поля (персистентность) от начального минимума, который порождает компоненту связности, до соседнего максимума, который «убивает» эту компоненту, соединяя их ребром. Три близких отсчета в локальной окрестности дают треугольник. Второе число Бетти получается той же процедурой, примененной к треугольникам в дуальном комплексе. Длины баркодов для двух чисел Бетти можно представить в виде диаграмм персистентности, если использовать начало и конец каждого баркода, как пару координат на плоскости. Альтернированная сумма длин баркодов дает оценку характеристики Эйлера. Дополнительно, оценки чисел Бетти были получены с помощью покрытий Рипса (в пакет Plex) для матрицы кривизны, изображения, размытого с помощью гауссовского ядра. Мы иллюстрируем описанный подход на примере диагностики HMI/SDO магнитограм Солнца для вспышечно активных областей (АО). Мы показали, что для выбранных АО, вариации характеристики Эйлера предшествуют или сопровождают вспышечную продуктивность АО.

СВОЙСТВА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ И МАГНИТОСЛОЕ

М.О. Рязанцева^{1,2}, **Г.Н. Застенкер**², **В.П. Будаев**³, **З. Немечек**⁴, **Г.П. Павлос**⁵, **Л. Прех**⁴,
М.С. Пулинец¹, **Л.С. Рахманова**^{1,2}, **Я. Шафранкова**⁴

¹*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, oreart@gmail.com,*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия,*

³*РНЦ КИ, г. Москва, Россия,*

⁴*Карлов Университет, г. Прага, Чешская Республика,*

⁵*Демокритский университет Фракии, Департамент электротехники, Ксанти, Греция.*

Существование непредсказуемых вариаций параметров (турбулентности) в солнечном ветре и в магнитослое является существенным препятствием для решения проблем моделирования солнечно-земного взаимодействия. В работе представлены последние результаты исследований свойств мелкомасштабных флуктуаций в потоке турбулентного солнечного ветра и в магнитослое. На базе измерений прибора БМСВ (КА СПЕКТР-Р), обладающего уникальным временным разрешением, определены свойства турбулентных флуктуаций потока ионов солнечного ветра на временных масштабах 0.03-1000 с. Проведен анализ модификации плазменных и магнитных структур солнечного ветра различных масштабов при прохождении магнитослоя с использованием измерений миссии THEMIS. Показано, что развитие турбулентности в магнитослое приводит к изменениям характеристик структур солнечного ветра на временных масштабах не превышающих времени пересечения магнитослоя в подсолнечной точке.

PROPERTIES OF TURBULENCE AND BURSTY BULK FLOWS IN THE PLASMA SHEET USING THE DATA OF THEMIS SATELLITE MISSION

M.V. Stepanova¹, **Е.Е. Antonova**^{2,3}, **I.L. Ovchinnikov**², **I.P. Kirpichev**^{3,2},
V. Pinto⁴, **J.A. Valdivia**⁵

¹*Universidad de Santiago Chile, Santiago, Chile, marina.stepanova@usach.cl,*

²*Skobeltsyn Institute for Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation,*

³*Space Research Institute, RAS, Moscow, Russian Federation,*

⁴*Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, UCLA,*

⁵*Physics Department, Science Faculty, Universidad de Chile.*

We present a review of main properties of the turbulence in the plasma sheet including the eddy diffusion, energy transport, intermittency, and the influence of the bursty bulk flow events. These studies have been done using the THEMIS satellite ESA, SST and FGM data. It was found that the properties of the turbulence are strongly dependent on the location within the plasma sheet and less on the geomagnetic conditions. Even during quiet geomagnetic conditions plasma in the plasma sheet is strongly turbulent. The level of turbulence increases to the tail and intensifies during geomagnetic substorms, especially during the expansion phase. Study of spatial distribution of the BBFs in the inner and outer plasma sheet for quiet and disturbed geomagnetic conditions also showed that BBFs could be an inherent component of the intermittent turbulent cascade in the central plasma sheet.

СЕКЦИЯ «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ХАОС» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ОСОБЕННОСТИ ИСЛЕДОВАНИЙ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ф.И. Выборнов, А.В. Першин, А.В. Рахлин

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

Рассмотрен вопрос о возможном использовании метода вейвлет-преобразования для дистанционного зондирования мелкомасштабной ионосферной турбулентности. Детально проанализирован метод максимумов модулей вейвлет-преобразования (ММВП) как метод анализа сингулярных мер и сингулярных функций. Показано, что в исследованиях неоднородной структуры ионосферной плазмы, как и при аналогичных исследованиях неоднородной структуры турбулентности в других природных средах, понятие сингулярной функции может вводиться лишь как некоторая наглядная математическая абстракция для упрощенного описания наблюдаемого (исследуемого) мультифрактального процесса. Реально же мы имеем дело с непрерывными, гладкими, хотя и нестационарными, случайными (турбулентными) процессами. Для исследования их фрактальных свойств можно применять обработку сигналов с помощью метода многомерных структурных функций (МСФ) и ММВП. Предложена упрощенная модель сложного сигнала, в которой особые точки исследуемой функции перемежаются с квазислучайной непрерывно дифференцируемой структурой этой же функции в других точках на временном интервале обработки. Отмечается, что для такой обобщенной модели принимаемого сигнала при дистанционном зондировании мелкомасштабной ионосферной турбулентности метод ММВП практически не работоспособен из-за эффекта "замывания" возможных резких квазирегулярных мелкомасштабных флуктуаций электронной концентрации в ионосфере. Сделаны выводы о необходимости проведения комплексных синхронных исследований ионосферной турбулентности с применением мультифрактальных методов обработки сигналов при контактных (зондовых) измерениях структуры турбулентности непосредственно в ионосфере и при дистанционном зондировании ионосферной плазмы. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 11-02-00419-а и № 13-02-97086р_поволжье_a.

КОМПЛЕКСЫ МОРСА-СМЕЙЛА И ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ МАГНИТОГРАМ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА

Н. Макаренко, Д. Пак, А. Рыбинцев

ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Магнитные поля вспышечно-активных областей (АО) имеют высокую пространственную сложность. Для сравнения с теоретическими моделями, на уровне прогностических задач, хотелось бы упростить топологию магнитного поля АО, сохранив его глобальные особенности. Корректное упрощение элементов поля может быть сделано на основе дискретной теории Морса и идей персистентности. Ограничимся наблюдаемой по лучу зрения скалярной компонентой поля. Перепишем измеренные значения поля так, чтобы они были согласованы с симплициальным комплексом состоящим из вершин ребер и граней.

Одним из вариантов такого комплекса может быть триангуляция наблюдаемого поля. Напомним, что морсовские особые точки рефируются индексом Морса, совпадающим с размерностью неустойчивого многообразия. Можно считать, что этот индекс совпадает с числом отрицательных собственных значений гессиана в критической точке. Так, максимум имеет индекс 2, седло – 1 и минимум – 0. Используя идеи Формана, построим дискретное поле так, чтобы минимумы совпали с вершинами (0-симплекс), седла, – с ребрами (1-симплекс) и максимумы – с гранями комплекса (2-симплекс). После этого нетрудно построить дискретное градиентное поле, введенное Смейлом в теорию динамических систем. Его восходящие и нисходящие многообразия (интегральные линии градиента) разбивают поле на элементарные клетки Морса-Смейла. Каждая клетка содержит максимум, минимум и два седла. Редактирование поля заключается в исключении пар: седло максимум или седло – минимум, с низкой персистентностью. Персистентность можно измерить фильтрацией поля с помощью системы подуровней, при движении горизонтальной плоскости, параллельной носителю, снизу вверх каждый минимум порождает компоненту связности, а смежный с ним максимум – убивает ее. «Время жизни» компоненты, измеренной функцией высоты, как раз является персистентностью первой группы гомологий. Скалярное поле, полученное в результате такого редактирования, наследует крупномасштабные свойства исходной топологии, но не содержит малых флуктуаций. Мы демонстрируем эту технику на примере HMI/SDO магнитограмм, используя оригинальный алгоритм. В заключении, обсуждаются способы обобщения редактирования поля, основанные на индексах Конли.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

О НОВОМ МЕТОДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМЫ “ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ”

П.М. Ахметьев^{1,2}, Ю.В. Думин^{1,3}

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, pmakhmet@mail.ru,

²ИЗМИРАН, г. Москва, Россия,

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Моделирование плазмы “из первых принципов” широко применяется в настоящее время для описания различных процессов как в космических, так и в лабораторных условиях. При этом, если нельзя ограничиться приближением идеального газа (т.е., невзаимодействующих частиц), то основная часть вычислительных ресурсов расходуется, как правило, именно на расчет кулоновских взаимодействий между частицами, а не на интегрирование уравнений движения. Для упрощения расчёта кулоновских сумм ранее уже предлагались различные специальные приёмы (например, метод кластерных разложений и т.п.); однако они основаны на существенных упрощающих предположениях и далеко не всегда дают результаты удовлетворительной точности. Цель настоящего доклада – изложить ещё одну возможную методику для эффективного расчёта кулоновских сумм. В её основе лежат недавние достижения в области дифференциальной топологии, где формулы для вычисления коэффициентов Милнора оказываются формально идентичными кулоновским суммам, фигурирующим в физике плазмы. Для решения вышеупомянутой задачи в работе [1] оказалось возможным найти в явном виде выражение для функции Грина в Фурье-представлении на многомерном торе, и именно это решение было использовано нами в применении к физике плазмы. Основным достоинством использования функций Грина при компьютерном моделировании плазмы “из первых принципов” является то, что с увеличением точности объём вычислений растёт линейно по N_F (где N_F – номер Фурье-гармоники, на которой производится обрезание), в то время как при расчёте кулоновских сумм “в лоб” объём вычислений возрастает гораздо быстрее – как $(N_c)^3$, где N_c – количество учитываемых “зеркальных” ячеек по каждому пространственному направлению [2]. В качестве конкретного примера, в докладе будет продемонстрировано применение обсуждаемого подхода к расчёту адиабатического уравнения состояния для сгустков ультрахолодной плазмы, создаваемых в магнито-оптической ловушке и разлетающихся затем в открытом пространстве [3]. Сходные процессы могут иметь место и при выбросе искусственных облаков плазмы в космическое пространство. В заключение, будут обсуждены перспективы дальнейшего развития предложенной методики расчёта кулоновских сумм. Мы благодарны заведующему Теоретическим Отделом ИЗМИРАН В.Б. Семикозу, который являлся инициатором представленных в докладе исследований. Работа частично выполнена в рамках грантов РФФИ № 14-02-01275 и 14-02-01284.

[1]. D. Deturck, H. Gluck, R. Komendarczyk, P. Melvin, C. Shonkwiler, D.S. Vela-Vick. *Pontryagin Invariants and Integral Formulas for Milnor’s Triple Linking Number*. Preprint arXiv:1101.3374v1 [math.GT] (2011).

[2]. Ю.В. Думин. *Физика плазмы*, т.37, №10, с.919 (2011).

[3]. J.L Roberts, C.D. Fertig, M.J. Lim, S.L. Rolston. *Phys. Rev. Lett.*, v.92, no.25, p.253003 (2004).

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАХВАТОВ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В РЕЗОНАНС ЛАНДАУ И В ЦИКЛОТРОННЫЙ РЕЗОНАНС ДЛЯ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.

А.А. Васильев, А.В. Артемьев

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

В докладе рассматривается резонансное взаимодействие квазиэлектростатической вистлерной волны с релятивистскими электронами в неоднородном магнитном поле земного диполя. Получены выражения, описывающие вероятность захвата электрона в Ландау и циклотронный резонансы. При заданных параметрах системы данные вероятности являются функциями энергии и питч-угла частицы. Показано, что для электронов с начальными энергиями порядка 100 кэВ захват в резонанс Ландау более вероятен, чем захват в циклотронный резонанс. При этом максимальные энергии, которые электрон набирает за один захват в волну с амплитудой 100 мВ/м, сопоставимы для обоих резонансов и порядка 50-100 кэВ.

УСКОРЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МОНОХРОМАТИЧЕСКИМИ СВИСТОВЫМИ ВОЛНАМИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИМИСЯ ПОД УГЛОМ К ГЕОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

И.В. Кузичев, Д.Р. Шкляр

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

Одной из наиболее важных задач, связанных с динамикой радиационных поясов Земли, является проблема ускорения частиц. Спутниковые данные показывают, что потоки высокоэнергичных электронов внешнего радиационного пояса не объяснить только радиальной диффузией частиц, и что локальные механизмы ускорения частиц, следовательно, играют существенную роль в динамике радиационных поясов. Одним из таких механизмов является резонансное взаимодействие электронов со свистовыми волнами. Во внешнем радиационном поясе энергии электронов достигают нескольких МэВ, и для таких релятивистских электронов резонансное взаимодействие имеет ряд особенностей. В частности, как было показано Й. Омурой для случая взаимодействия с продольно распространяющимися свистовыми волнами, становится возможным так называемое релятивистское ускорение с поворотом. Это явление оказывается весьма эффективным механизмом ускорения в случае продольного распространения. В данной работе исследуется резонансное взаимодействие релятивистских электронов со свистовыми волнами, распространяющимися под углом к геомагнитному полю. В качестве источника волн рассматривается наземный ОНЧ-передатчик; волновое поле в магнитосфере восстанавливается с помощью уравнений геометрической оптики. Получено распределение параметров резонансного взаимодействия вдоль невозмущённых траекторий частиц. Обнаружена существенная асимметрия эффективной амплитуды взаимодействия относительно геомагнитного экватора. Эта асимметрия приводит к тому, что эффективность ускорения захваченных в резонанс частиц увеличивается в случае взаимодействия со свистовыми волнами, распространяющимися под углом к геомагнитному полю, по сравнению со случаем продольного распространения. В то же время аналогичное поведение эффективной амплитуды взаимодействия имеет место и для процесса релятивистского ускорения с поворотом: эффективная амплитуда оказывается асимметрична относительно

точки поворота. При этом частица выходит из захвата после поворота, что снижает эффективность ускорения частиц в данном процессе.

ФОРМИРОВАНИЕ УСКОРЕННЫХ ХВОСТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ПРОЦЕССЕ НАГРЕВА

И.Ф. Потапенко, С.А.Карпов

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия, irina@keldysh.ru

В лабораторных экспериментах, в магнитосферной плазме часто наблюдают степенные хвосты распределений. Объяснить их появление теоретически весьма непросто и на этом пути возникает много разных добросовестных спекуляций. На наш взгляд, возможно, это одна из многих мотиваций популярности, так называемой неэкстенсивной статистики Цалисса (Tsallis). В данной работе проводится численное моделирование формирования ускоренных хвостов распределения частиц на основе кинетического подхода, играющего важную роль в исследовании макроскопических плазменных характеристик, которые не могут быть изучены в гидродинамическом приближении. Используются как детерминистические численные методы (конечно-разностные), так и стохастические (прямое дискретное моделирование типа Монте-Карло). Численно решается нелинейное кинетическое уравнение для слабо столкновительной плазмы с оператором нагрева. В качестве оператора нагрева используется оператор квазилинейной диффузии, действующий как в области фазового резонанса, так и в полном пространстве с эффективным коэффициентом диффузии, зависящим от энергии частиц и от времени. Рассматриваются автомодельные стационарные решения, которые в предельном случае приводят к степенным хвостам функции распределения. Полученные результаты численных расчетов сравниваются с аналитическими решениями и асимптотическими оценками для всех рассмотренных случаев. Наше простое рассмотрение, возможно, будет полезно при интерпретации ускоренного волнового спектра в магнитосфере Земли, так же как и в солнечном ветре.

[Potapenko I.F., Krasheninnikov S.I.] Numerical solution of nonlinear electron kinetic equation in self-similar variables // J. of Plasma Phys. v. 77, 2011, 803-812.

[Потапенко И.Ф.] Формирование функции распределения электронов в слабо столкновительной плазме в процессе нагрева // Инженерная физика. № 5, 2012, 31-49.

[Bobylev A.V., Potapenko I.F.] Monte Carlo methods and their analysis for Coulomb collisions in multicomponent plasmas // J. of Comp. Phys. v. 246, 2013, 123-144.

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ ДЛЯ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ, ИХ УСРЕДНЕННЫХ СПЕКТРОВ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Р. Добранскис и В.В. Жаркова

Department of Mathematics and Information Sciences, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, UK.

Мы представим точные аналитические решения для плотности высоко-энергетических электронов полученные из уравнения непрерывности потока электронов имеющих степенной энергетический спектр и теряющих свою энергию а) в столкновениях с частицами плазмы и б) в торможении электростатическим полем наведенным электронами самого пучка. Эти решения будут сравнены с ранее полученными решениями (Сыроватский и Шмелева, 1972)

для кулоновских столкновений и (Жаркова и Гордовский, 2006) для Омических потерь. Мы покажем, что полученные точные аналитические решения отличаются наличием дополнительного экспоненциального члена, который сближает аналитические решения с численными решениями Фоккера-Планка-Ландау и объясняют многие явления в поведении дифференциального спектра электронов, их усредненных спектров и интенсивности жесткого рентгеновского излучения.

ПОГЛОЩАЮЩАЯ СФЕРА В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ, СТАРАЯ ЗАДАЧА В СВЕТЕ НОВЫХ ПОДХОДОВ

В.Л. Красовский

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

Изучение структуры возмущения плазмы поглощающим телом сферической формы имеет длительную историю и восходит к первым исследованиям газоразрядной плазмы и последующему развитию теории электрического зонда. После запуска первого искусственного спутника Земли возникла необходимость исследования взаимодействия тел с космической плазмой. Наконец, в последние десятилетия интерес к задаче о поглощающей сфере вновь возрос в приложении к физике пылевой плазмы. Несмотря на кажущуюся простоту этой классической задачи физики плазмы, ее строгое решение наталкивается на ряд препятствий. Некоторые из них не преодолены до сих пор, хотя и обсуждались в литературе. В частности, неоднократно упоминалась трудность принципиального характера, препятствующая построению замкнутых теоретических моделей возмущения плазмы. Вопрос касается функции распределения захваченных частиц, движущихся около сферы по финитным орбитам, и определения их вклада в экранирование заряженной сферы. Как правило, для определения параметров возмущенной плазмы и пространственной зависимости электрического поля рассматриваются возможные состояния равновесия физической системы. Однако, специфика задачи в том, что функция распределения захваченных частиц остается неопределенной при таком подходе, что влечет за собой отсутствие единственности решения. В докладе освещаются результаты расчетов энергетических характеристик возмущенной плазмы. Предпринята попытка обобщить известные расчеты моментов функций распределения заряженных частиц и, по возможности, представить результаты вычислений в достаточно универсальном и, вместе с тем, компактном виде. Многие расчеты опираются на существование важного параметра задачи – внешнего радиуса области захвата, за пределы которой не выходят финитные орбиты захваченных ионов. Приводятся уравнения для основных моментов функций распределения и обсуждаются следствия, вытекающие из этих уравнений. Работа содержит также ряд попутных вычислений, представляющих интерес для подробного анализа равновесных состояний, а также исследования энергетики и устойчивости плазмы. В частности, найдены выражения для энергетических характеристик плазмы и баунс-частот частиц, захваченных в ямы эффективного потенциала. В целом, представленный материал может служить достаточно полным введением, облегчающим восприятие и интерпретацию результатов численного моделирования процесса захвата ионов, освещенных в отдельном докладе.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАХВАТА ИОНОВ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СФЕРЫ

А.А. Киселёв, М. С. Долгонос, В. Л. Красовский

ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

МФТИ (ГУ), г. Долгопрудный, Россия alexander.kiselyov@stonehenge-3.net.ru

Определение вида функции распределения захваченных частиц является ключевым вопросом в задаче определения характеристик возмущения плазмы поглощающим телом сферической формы. Существуют два пути решения этого вопроса: исследование возможных состояний равновесия физической системы на устойчивость и решение задачи с начальными условиями. Насколько известно, попыток исследования устойчивости до сих пор не проводилось. В данной работе выбран второй путь — решение задачи с начальными условиями. Ввиду сложности теоретического анализа сильно нелинейной динамики плазмы используется численное моделирование. Исходными уравнениями для решения задачи являются уравнения Власова и Пуассона. Предполагается, что в некоторый момент времени в плазме возникла сфера, поглощающая электроны и ионы. Невозмущенные функции распределения приняты моноэнергетическими. Цель задачи — наблюдение долговременной динамики плазмы около заряжающейся сферы и определение асимптотического устойчивого состояния равновесия. Моделирование опирается на метод «частиц-в-ячейках» («Particles-In-Cell»). В силу сферической симметрии динамику отдельной частицы можно трактовать как движение с одной степенью свободы. Это позволяет исследовать сильно нелинейный плазменный процесс в реальной трехмерной геометрии при сравнительно ограниченных вычислительных ресурсах. Для решения поставленной задачи был разработан высокопроизводительный код с использованием технологий GPGPU и OpenCL. Анализ результатов производился с помощью вспомогательных утилит для тестирования и представления графических данных, в частности, создания анимации распределения частиц на фазовой плоскости. В результате расчётов получены пространственно-временные зависимости электрического поля в окрестности сферы. Также было проведено непосредственное наблюдение процесса захвата ионов при переходе системы в устойчивое асимптотическое состояние равновесия. На больших временах обнаружено формирование сгустка захваченных частиц вблизи сферы при определенных физических параметрах задачи.

ДИНАМИКА ЗАРЯДКИ ПРОВОДЯЩЕЙ СФЕРЫ В СЛАБОИОНИЗОВАННОЙ СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ

В.С. Грач, М.А. Гарасёв

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

Рассматривается взаимодействие уединенной проводящей сферы со столкновительной слабоионизованной плазмой во внешнем поле. При анализе учитываются зарядка сферы вследствие оседания на ней ионов и электронов плазмы, поле заряда на сфере и пространственного заряда, процессы рекомбинации и молекулярная диффузия. Система уравнений, описывающая взаимодействие сферы с плазмой, состоит из уравнений движения и непрерывности для ионов и электронов плазмы, уравнения зарядки для сферы (в рамках модели ограниченных орбит) и уравнений Максвелла в отсутствие магнитного поля. Анализ временной динамики заряда на сфере, пространственного заряда и электрического поля проводился на основе численного решения данной системы уравнений методом конечных разностей. Для различных параметров системы получены временные зависимости заряда на

сфере и пространственных распределений концентраций частиц плазмы и электрического поля. Свойства полученного решения определяются соотношением пяти масштабов длины, характеризующих задачу: радиуса сферы a , дебаевского радиуса плазмы λ_d , электродинамического $l_0 = E_0 / (4\pi e N_0)$ и ионизационных $L_{+,-} = \alpha / (4\pi e \mu_{+,-})$ масштабов. Здесь N_0 – невозмущенная концентрация плазмы, E_0 – внешнее поле, $e > 0$ – абсолютное значение заряда электрона, $\lambda_{+,-}$ – подвижности положительно и отрицательно заряженных частиц плазмы соответственно, α – коэффициент рекомбинации. Получено, что абсолютное значение заряда на частице Q увеличивается с ростом радиуса a и отношения μ_-/μ_+ , уменьшается при усилении эффектов рекомбинации (увеличении отношений $L_{+,-}/l_0$ при постоянном L_+/L_-) и увеличивается с ростом влияния диффузии (отношения λ_d/l_0). Область возмущения концентраций частиц плазмы вытянута вдоль внешнего поля; ее продольные масштабы по обе стороны от заряженной частицы определяются в первую очередь отношениями $L_{+,-}/l_0$ и уменьшаются при их увеличении (усилении эффектов рекомбинации). При изменении $\max\{L_+/l_0, L_-/l_0\}$ от 0,02 до 2 масштабы возмущенной области изменяются от примерно $15l_0$ до l_0 . Время установления стационарного состояния (при начальных условиях, соответствующих $Q=0$ и невозмущенным значениям концентрации) увеличивается с ростом отношений $L_{+,-}/l_0$ и λ_d/l_0 и уменьшается с ростом отношения a/l_0 . При изменении $\max\{l_0/L_+, l_0/L_-\}$ от 0,02 до 2 время выхода на стационар изменяется примерно от $(\alpha N_0)^{-1}$ до $10(\alpha N_0)^{-1}$. Результаты совпадают с полученным ранее приближенным аналитическим решением в предельном случае отсутствия молекулярной диффузии, слабой рекомбинации и сильного внешнего поля.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, РАЗВИВАЮЩИЕСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН С ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТЕНДАХ «КРОТ» И «ИОНОСФЕРА»

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

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

При планировании активных волновых экспериментов в околоземной плазме значительный интерес представляют эффекты обогащения частотного спектра электромагнитного излучения в присутствии интенсивных волн искусственного и естественного происхождения, а также явления генерации вторичного излучения при воздействии на околоземную плазму волнами с модуляцией интенсивности. Одним из перспективных подходов к изучению подобных явлений является лабораторное моделирование. В то же время, постановка высококачественных модельных волновых экспериментов возможна только на крупномасштабных плазменных стендах, поскольку предполагает реализацию режима «безграничной» плазмы, в котором можно пренебречь влиянием стенок разрядной камеры на протекающие в плазме процессы и структуру волновых полей. В докладе представлен обзор результатов недавних экспериментов по моделированию распространения и взаимодействия излучения различных уровней интенсивности на крупномасштабных плазменных стендах «Крот» и «Ионосфера» (ИПФ РАН). Эти установки созданы для моделирования физических явлений в космической плазме, позволяют формировать плазму рекордно большого размера (объем плазмы на стенде «Крот» – до нескольких десятков кубических метров), и, в результате, моделировать распространение излучения на длинных трассах, включающих десятки длин волн. Рассматривается два круга вопросов: (а) генерация низкочастотного излучения при взаимодействии интенсивных волн различных частотных диапазонов с плазмой, и (б) обогащение спектра излучения малой мощности, распространяющегося через

область плазмы, занятую интенсивными волнами с модуляцией интенсивности (кросс-модуляцию). Обсуждаются несколько механизмов нелинейности, которыми обусловлены подобные явления, включая модуляцию температуры, плотности плазмы и «магнитную» нелинейность – возмущения внешнего (статического) магнитного поля. На основании полученных результатов рассматриваются низкочастотные волновые процессы, развивающиеся в ионосфере и магнитосфере Земли.

СЕКЦИЯ «ТЕОРИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ УФ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ САТУРНА, НАБЛЮДАЕМЫХ ПРИ ПОМОЩИ HST В 2011, 2012 ГГ.

Е.С. Беленькая, С.В.Г. Каули, С.Д. Мередит, В.В. Калегаев, И.И. Алексеев, О.Г. Баринов, В.О. Барина, М.С. Блохина

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

Уникальные снимки УФ сияний в северном полушарии Сатурна, полученные при помощи космического телескопа Хаббл (HST) в апреле 2011 и в апреле 2012 гг., наблюдались в то время, когда КА Cassini находился в солнечном ветре вверх по потоку перед головной ударной волной. Благодаря этой уникальной ситуации появилась возможность, имея одновременно УФ снимки полярных сияний и измеренное межпланетное магнитное поле (ММП), с помощью параболической модели магнитосферы Сатурна спроектировать сияния внутри магнитосферы. Магнитосферное магнитное поле Сатурна чувствительно к ММП, поэтому эти редкие данные представляют особую ценность. Проектирование вдоль магнитных силовых линий областей яркого свечения на экваториальную плоскость магнитосферы позволяет выяснить механизм генерации этих сияний на Сатурне. В результате расчетов мы получили вывод о том, что яркие сияния проектируются либо вблизи границ между областями силовых линий разных топологических типов, либо внутри кольцевого тока Сатурна (часто вблизи его границ). Таким образом, мы полагаем, что свечения возбуждаются продольными токами, вызванными скачком скорости на границе между областями силовых линий разных топологических типов, либо продольными токами, связанными с торможением вращения магнитосферной плазмы в кольцевом токе и во внешней магнитосфере.

БОЛЬШЕ, ЧЕМ НЕЛИНЕЙНОСТЬ. СВЕРХНЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ

Д.Ю. Колотков

University of Warwick, UK, D.Kolotkov@warwick.ac.uk

В работе представлен новый класс периодических сверхнелинейных волн, характеризующихся нетривиальной топологией фазового портрета – фазовая траектория сверхнелинейной волны охватывает одну или несколько внутренних сепаратрис. Проведено исследование стабильности сверхнелинейных решений модифицированного КдВ-уравнения. Аналитически показано, что такие решения стабильны относительно малоамплитудных низкочастотных возмущений. С помощью численного моделирования показано, что возмущенная таким образом сверхнелинейная волна сохраняет со временем квазипериодический характер, проведен Фурье-анализ возмущенного сигнала. Рассмотрена возможность существования сверхнелинейного волнового режима в замагниченной многокомпонентной плазме, анализ проведен на основе многожидкостного МГД-описания. Отмечено, что характерной особенностью нового класса волн является высокая ангармоничность профиля. Представлено несколько примеров периодических структур в солнечной корональной плазме, имеющих подобные сверхнелинейным ангармоничным профилям.

ОСОБЕННОСТИ ДИСПЕРСИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СВИСТОВЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ УМЕРЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ИОНОВ И ПЫЛЕВЫХ КОНГЛОМЕРАТОВ

Б.В. Лундин, К. Краффт

*ИЗМИРАН, г. Троицк, г. Москва, Россия, lundin.bv@gmail.com,
LPP ECOLE POLYTECHNIQUE, Palaiseau, France.*

В группе работ на основе локального дисперсионного уравнения для волн в холодной магнитоактивной плазме, содержащей ионы и другие тяжелые заряженные частицы различного знака заряда, изучены дисперсионные свойства электронных свистовых волн во всем частотном диапазоне прозрачности. Простые аналитические соотношения получены для плазмы умеренной плотности, когда гирочастота электронов сопоставима по величине с электронной плазменной частотой, вычисленной для плотности электронов компенсирующей плотность положительных зарядов плазмы, а ионы могут быть сгруппированы в соответствии с их гирочастотами в две группы легких ионов с сопоставимыми гирочастотами и оставшийся набор тяжелых заряженных конгломератов с пренебрежимо малыми гирочастотами. При этом обнаружена возможность многократного увеличения частоты нижней границы диапазона прозрачности при уменьшении доли электронов среди отрицательных носителей заряда в квазинейтральной плазме. Удастся описать и особенности схлопывания диапазона прозрачности для электронных свистовых волн вблизи ионной плазменной частоты для почти чисто ионной плазмы. Остаточная доля электронов в почти чисто ионной плазме может быть оценена по частоте смены знака поляризации плоских волн, присущего «эффекту кросс-овера». Обнаружено, что этот эффект может проявиться на частотах существенно превышающих ионные гирочастоты, если средний квадрат гирочастот отрицательных ионов превышает средний квадрат положительных. Рассчитано соотношение положительно и отрицательно заряженных ионов, обеспечивающих возможность пространственного перекрытия зон отражения для волн электронного и смежного ионного свистового мода той же частоты (с перспективой резонансного поглощения лучей ионного мода при сближении с максимальной ионной гирочастотой в другой части верхней ионосферы). Подобные физические условия реализуются в плазме загрязненной заметными количествами молекул газов с высокой адгезионной способностью к электронам, равно как и пылевыми конгломератами с аналогичными свойствами, например, при запусках тяжелых ракет, в плазме солнечного ветра и плазменном окружении больших планет, в процессах начального формирования наночастиц (микрочастиц), изучаемых при разрядах низкого давления в силане, а также при исследовании процессов радиомаскировки при инъекции электроотрицательных газов в плазменное окружение космических объектов. Определен набор характеристических частот холодной плазмы, измерение которых в плазме умеренной плотности (когда ионная плазменная частота существенно превышает ионные гирочастоты) позволяет написать достаточно простое, но количественно адекватное локальное дисперсионное уравнение для электронных свистовых волн. Этот набор включает электронную и ионную плазменные частоты, гирочастоту электронов, а также, как минимум, максимальную частоту ионной отсечки для электронных свистовых волн. При этом показано, что модель ионного состава, сведенного к двум группам легких ионов в добавление к объединенной группе тяжелых заряженных конгломератов с пренебрежимо малыми гирочастотами, дает возможность определения недостающих параметров (типа доли зарядовой плотности, приходящейся на каждую из этих трех групп заряженных частиц; но без использования масс-спектрометров), что достаточно для восстановления дисперсионного уравнения пригодного для адекватного

количественного описания электронных свистовых волн в приземной плазме. Эффекты существенной модификации закона дисперсии свистовых волн вблизи нижней границы прозрачности («частота ионной отсечки») проявляются на больших длинах волн порядка глубины скин-слоя, рассчитанного по ионной плазменной частоте. Вместе с тем, в литературе отмечено, что сонограммы, регистрируемые на борту космических аппаратов даже вблизи частот ионной отсечки, допускают приемлемую интерпретацию в рамках лучевого приближения.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПУЧКОВ СВИСТОВЫХ ВОЛН В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

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

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

Исследуется распространение пучков свистовых волн в магнитоактивной плазме. Показано, что в случае, если время воздействия на плазму оказывается меньше характерных обратных частот кулоновских столкновений, возникает эффект генерации квазистационарных токов и магнитных полей [1] за счет магнитной нелинейности, обусловленной усредненной пондеромоторной силой. При увеличении времени эффективного взаимодействия (порядка или больше времени обратной частоты кулоновских столкновений) значимую роль начинают играть инерционные эффекты и эффекты, связанные с нагревом электронной компоненты. По-видимому, именно нелинейные эффекты, связанные с нагревом, обуславливают возникновение неустойчивости, сопровождаемой самовоздействием и каналированием свистовых волн, а так же раскачкой квазипериодических низкочастотных колебаний плотности плазмы. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №13-02-12241 офи_м, №13-02-97142 р_поволжье_a).

[1] Н. А. Айдакина, М. Е. Гуцин, И. Ю. Зудин, С. В. Коробков, А. В. Костров, А. В. Стриковский. Квазистационарное магнитное поле, возбуждаемое в плазме радиоимпульсом свистового диапазона частот. Письма в ЖЭТФ, т.93, вып.9, (2011), 555–560.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВИСТОВЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ С МЕЛКОМАСШТАБНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

И.Ю. Зудин, Н.А. Айдакина, С.В. Коробков, А.В. Костров

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

Мелкомасштабные неоднородности, формирующиеся при нагреве околоземной плазмы интенсивным радиоизлучением, могут оказывать существенное влияние на прохождение волн различных диапазонов частот сквозь ионосферу и их распространение в магнитосфере. В рамках данной работы было проведено двухмерное численное моделирование распространения свистовых волн при наличии мелкомасштабных плазменных неоднородностей. Расчеты проводились методом конечных разностей во временной области (FDTD). В результате были обнаружены такие эффекты как сепарация и фокусировка свистовых волн неоднородностями концентрации, вытянутыми вдоль внешнего магнитного поля. На крупномасштабном плазменном стенде «Крот» проводятся эксперименты по

просвечиванию излучением свистового диапазона систем мелкомасштабных неоднородностей концентрации плазмы; в докладе приводятся предварительные результаты этих исследований. Работа выполнена при поддержке программы ОФН-15 «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории» и частичной поддержке фонда РФФИ (гранты #13-02-97142 р_поволжье_а и #13-02-12241 офи_м).

ТОПОЛОГИЯ РЕАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ В КОСМИЧЕСКОЙ И ЛАБОРАТОРНОЙ ПЛАЗМЕ

И.С. Веселовский^{1,2}, А.Т. Лукашенко¹

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, a_lu@mail.ru,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Реальные магнитные поля всюду непрерывны, ограничены и не могут иметь дивергенции в силу физических условий, связанных с отсутствием бесконечно больших плотностей магнитной энергии, бесконечно тонких токовых слоев и магнитных зарядов. Математические модели полей могут не обладать этими свойствами, но, тем не менее, достаточно точно описывать физическую реальность в своей области применимости. Данные соображения в полной мере относятся, например, к представлениям о нерасщепляющихся линиях магнитного поля. Это такие линии, на которых нет нулевых точек. Как хорошо известно, существует три типа нерасщепляющихся линий магнитного поля: 1) замкнутые в конечном объеме; 2) незамкнутые в конечном объеме (пример И.Е. Тамма); 3) незамкнутые в бесконечном объеме. Четвёртый тип нерасщепляющихся линий, когда линия приходит из бесконечности и запутывается в некотором конечном объеме, был указан А. Морозовым и Л. Соловьёвым в 1963 г. Однако этот тип, в отличие от первых трёх, не реализуется в полной мере и не обладает столь же широкой областью применимости из-за отсутствия магнитных зарядов.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННО-ВОЛНОВЫХ КАНАЛОВ ПРИ ИОНИЗАЦИОННОМ САМОВОЗДЕЙСТВИИ КВАЗИЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

Е.А. Широков, Ю.В. Чугунов

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

В докладе рассматривается формирование плазменно-волновых каналов в неоднородной магнитоактивной плазме при ионизационном самовоздействии квазиэлектростатических волн, излучаемых источником в нижнегибридном диапазоне частот. Плазменно-волновой канал представляет собой дакт плотности плазмы, вытянутый вдоль внешнего магнитного поля. Он образуется в результате дополнительной ионизации фоновой плазмы в тех областях, где поле излучения антенны превышает ионизационный порог. В частности, в рассматриваемом нижнегибридном диапазоне частот поле сосредоточено на исходящих из источника (антенны) характеристиках гиперболического уравнения для скалярного потенциала, который описывает поле квазиэлектростатических волн. Угол наклона характеристик к магнитному полю зависит от частоты излучения и параметров плазмы в данной точке. Рост канала поддерживается распространяющимися в нем волнами. Таким образом, плазменно-волновой канал является самосогласованной и самоподдерживающейся разрядной структурой. В докладе анализируются процессы формирования и роста

плазменно-волнового канала на основе уравнений для электрического поля и концентрации плазмы. На основе проведенных расчетов определяется скорость роста плазменного канала (т. е. скорость перемещения фронта ионизации), а также «эффективный» локальный источник ионизации, который перемещается в направлении роста канала. Результаты, представленные в докладе, имеют большое значение для развития активных методов диагностики околоземной плазмы. В первую очередь, речь идет об использовании плазменно-волнового канала, вытянутого вдоль линии геомагнитного поля, как антенны, излучающей на частоте модуляции исходного сигнала.

RELATIVISTIC COSMIC-RAY BACK-REACTION INSTABILITY ALONG THE BACKGROUND MAGNETIC FIELD

A.K. Nekrasov¹ and M. Shadmehri

¹*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, anekrasov@ifz.ru.*

In the multi-fluid approach, we investigate streaming instability of the electron-ion-cosmic-ray astrophysical objects in which homogeneous cold cosmic rays have a drift velocity perpendicular to the background magnetic field. One-dimensional perturbations along the magnetic field are considered. The induced return current of the background plasma and the back-reaction of cosmic rays are taken into account. It is shown that the cosmic-ray back-reaction results in the streaming instability having the considerably larger growth rate than that due to the return current of the background plasma. This increase is by a factor of the square root of the ratio of the background plasma mass density to the cosmic-ray one. The maximal growth rate and the corresponding wave number are found. The results can be useful for the investigation of the electron-ion astrophysical objects such as galaxy clusters and supernova remnant shocks including the dynamics of streaming cosmic rays.

К КИНЕТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ ФОРМИРОВАНИЯ МАГНИТОСФЕРОПОДОБНЫХ СТРУКТУР В ПОТОКЕ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ

В.М. Губченко

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

Мы рассматриваем формирование 3D электромагнитных (ЭМ) магнитосфероподобных структур, соответствующих «внешней магнитосфере» от намагниченных объектов с магнитодипольной и тороидальной компонентами, соответствующими «внутренней магнитосфере», находящимися в сверхзвуковых потоках плазмы. Плазма потока «горячая» и сильно разреженная (бесстолкновительная), характеризуется функцией распределения частиц по скоростям. Частицы потока плазмы намагничены внешним магнитным (ВМ) полем, направленным поперек потока. Данная классическая постановка задачи реализуется в различных аэрокосмических ситуациях и в физике высоких плотностей энергии при не малом плазменном параметре бета, характеризующем магнитное давление в потоке, и при большом числе Маха. В этих условиях на масштабах электромагнитных полей больших гирорадиуса частиц, что соответствует постановке задачи Данжи, вокруг намагниченного объекта в плазме формируются МГД и кинетические магнитосфероподобные структуры токов и ЭМ полей волновой и неволновой природы. Изучение ЭМ поля, в предложенном разделении на объект и поток, может проводится с учетом кинетических эффектов

временной и пространственной дисперсии на основе тензора диэлектрической проницаемости «горячего» потока плазмы. Топология магнитосфероподобных структур меняется в зависимости от формы функции распределения частиц потока (ФРЧ), что требует крупномасштабного кинетического описания формирования на основе уравнений Власова и Максвелла, а не на основе принятого глобального МГД описания. Ранее было получено, что в условиях взаимодействия с незамагниченным сверхзвуковым потоком плазмы, что соответствует предельно большим значениям плазменного бета. За объектом формируется стратифицированный «поперек» потока трехмерный след – «хвост» неволновой природы, обусловленный кинетическими эффектами пространственной дисперсии в бесстолкновительной плазме, приводящими, в зависимости от формы ФРЧ, к аномальному скинированию или диамагнитной экранировке («диполизации») магнитного поля объекта из-за эффектов черенковского «резонансного» и «нерезонансного» взаимодействия индукционного ЭМ поля объекта с электронами в широкой полосе частот и волновых чисел. С появлением замагниченности потока в бесстолкновительной плазме появляется широкая полоса МГД прозрачности, приводящая к излучению объектом незатухающих МГД альвеновской и магнитозвуковой волн, возбуждаемых нерезонансной частью поля объекта. Волны обладают временной дисперсией вблизи циклотронных резонансов, что приводит к эффекту «заполнения» ЭМ полем внутренней части волнового конуса. Кроме волн, из-за эффекта ионно-циклотронного резонанса ЭМ полей с обыкновенной поляризацией и с волновым вектором, направленным «вдоль» ВМ поля, проявляется узкополосный кинетический эффект аномального скинирования «резонансной» части поля магнитного источника. Эффект приводит к формированию диссипативного 3D следа-хвоста с известной стратификацией «поперек» потока, но теперь с широким индукционными токами и «горизонтальных» компонент ЭМ поля хвоста, а также к появлению стационарной пространственной модуляции ЭМ поля следа-хвоста «вдоль» потока в виде магнитных островов. Получены масштабы пространственной дисперсии плазмы для описания структуры следа, обусловленные ВМ полем. Структуры ЭМ поля, соответствующие «нормальной» компоненте магнитного поля хвоста и формированию фронтальной области магнитосферы, обусловлены эффектами возбуждения полей с необыкновенной поляризацией и с волновым вектором, направленным «поперек» ВМ поля. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 13-02-97074, № 14-02-00133, в рамках программы Президиума РАН № 22 и ОФН РАН №15, Научной школы НШ № 1041.2014.2.

[1]. Gubchenko V.M., *Sov. J. Plasma Phys.*, 14, No 3, 186-190. 1988.

[2]. Gubchenko V.M. et al., *Proc. 2nd Workshop on Magnetoplasma Aerodynamics in Aerospace Applications*, IVTAN, Moscow, 313-317, 2000.

[3]. Gubchenko, V.M., *On Electromagnetic Field Structure Near the Magnetized Body and Action on it by Reshaping of the Particle Distribution Function of the Incoming Supersonic Collisionless Plasma Flow* // AIAA 2011-3742, 2011, PP. 1-13.

[4]. Gubchenko V.M., *Interaction of a dense flow of collisionless hot plasma with a source of magnetization and the 3d kinetic approach.* // Труды XI международной конференции «Забабахинские научные чтения», посвященная 95-летию со дня рождения Е. И. Забабахина, 16–20 апреля 2012, РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск, Челябинская область, Россия, С. 1-13, <http://www.vniitf.ru/images/zst/2012/s3/3-13.pdf>.

ЦИРКУЛЯРНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ВОЛНЫ БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

И.Ю. Васько, А.В. Артемьев, Л.М. Зелёный

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

В докладе рассматриваются электромагнитные волны большой амплитуды, распространяющиеся в плазме вдоль внешнего магнитного поля. Учтены вклады токов резонансных частиц в формирование волн. Получены дисперсионные кривые для четырех ветвей колебаний в зависимости от соотношения плотностей резонансных частиц и фоновой плазмы. Для низкочастотных волн (с частотой меньше электронной циклотронной) учет резонансных частиц приводит к сдвигу дисперсионных кривых холодной плазмы в область коротких волн. Для высокочастотных колебания учет токов резонансных частиц приводит к уменьшению фазовой скорости волны. При достаточно сильных токах резонансных частиц волны распространяются с фазовой скоростью меньше скорости света.

СЕКЦИЯ «ТОКОВЫЕ СЛОИ» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ОБРАТНЫХ ТОКОВ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ

А.Г. Франк, С.Н. Сатунин

ИОФ РАН, г. Москва, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru

Структура токового слоя и сосредоточенной в нем плазмы в значительной степени определяется взаимодействием электрических токов с магнитными полями, так что анализ структуры слоя позволяет сделать выводы об особенностях распределений токов, магнитных полей и электродинамических сил. В докладе представлены результаты экспериментальных исследований эволюции пространственной структуры токовых слоев, которые формировались в магнитных конфигурациях с X линиями в установке ТС-3D. Установлено, что на поздних стадиях эволюции у боковых краев слоя возникают токи обратного направления по отношению к основному току, который протекает в окрестности X линии, а толщина слоя существенно возрастает [1-3]. Расчеты электродинамических сил, вызывающих сжатие плазмы, тока и образование токового слоя, показали, что силы максимальны вблизи X линии, резко уменьшаются у концов слоя и со временем могут даже изменить направление в удаленных от центра областях с обратными токами, что должно приводить к утолщению слоя. При формировании токовых слоев в 3D магнитных конфигурациях, в присутствии продольной компоненты, происходит деформация слоя по сравнению с невозмущенным положением в 2D поле: слой становится асимметричным и наклонным, что обусловлено взаимодействием токов Холла с продольной компонентой магнитного поля [4,5]. При этом на поздней стадии может происходить переориентация слоя, т.е. изменение знака его наклона, что указывает на изменение направления токов Холла. Очевидно, что изменение наклона сопровождается смещением концов слоя по направлению нормали к поверхности. Таким образом, генерация быстрых потоков плазмы [6,7] и их внедрение в сильное поперечное магнитное поле у концов слоя может приводить к возбуждению обратных токов [1,2], в результате изменяется направление токов Холла и наклон слоя, что вызывает смещение токового слоя относительно первоначального положения. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 12-02-00553а, и Программой фундаментальных исследований РАН ОФН-15 «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории».

- [1]. Франк А.Г., Сатунин С.Н. // Физика плазмы. 2011. Т.33. С.889-908.
- [2]. Frank A.G., Kyrie N.P., Satunin S.N. // Phys. Plasmas. 2011.V.18. P.111209 (1-9).
- [3]. Островская Г.В., Франк А.Г. // Физика плазмы 2014. Т.40, С. 24-37.
- [4]. Frank A.G., Bogdanov S.Yu., Dreiden G.V. et al. // Phys. Lett. A 2006. V.348. P.318-325.
- [5]. Богданов С.Ю., Дрейден Г.В., Марков В.С. и др. // Физика плазмы 2007. Т.33 С.1014.
- [6]. Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г. // Физика плазмы, 2010. Т.36. С. 387-394.
- [7]. Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г. // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т.95. С.17-22.

ОЦЕНКА ДЛИНЫ МАГНИТОСФЕРНОГО ХВОСТА ВЕНЕРЫ

И.Ю. Васько, Л.М. Зеленый, В.Ю. Попов

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

Венера не обладает собственным магнитным полем. Эффективным препятствием для солнечного ветра является магнитный барьер - область усиленного магнитного поля на дневной стороне. При конвекции силовых трубок вдоль магнитного барьера происходит их деформация - силовые трубки растягиваются в направлении Солнце-Венера. На ночной стороне растянутые силовые трубки образуют магнитосферный хвост. Центральные части силовых трубок на ночной стороне двигаются с ускорением за счет натяжения силовых линий. На некотором расстоянии от планеты центральные части силовой трубки догоняют ее концы в солнечном ветре - силовая трубка распрямляется, а магнитосферный хвост с характерной геометрией силовых линий заканчивается. В работе рассмотрена динамика распрямления силовой трубки на ночной стороне. Показано, что в зависимости от толщины токового слоя длина магнитосферного хвоста лежит в диапазоне от 30 до 40 радиусов Венеры. Обсуждается геометрия силовых линий за точкой распрямления силовых трубок.

РАСЩЕПЛЕННЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ С ДВУМЯ САМОСОГЛАСОВАННЫМИ И ПОСТОЯННОЙ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТАМИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

О.В. Мингалев¹, И.В. Мингалев¹, Х.В. Малова^{2,3}, М.Н. Мельник¹, Л.М. Зеленый²

¹ ПГИ КНЦ РАН, г. Анапты, Россия, *mingalev_o@pgia.ru*,

² ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³ НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

При помощи численной модели тонкого токового слоя (ТТС) в хвосте магнитосферы, основанной на методе крупных частиц, впервые в численном моделировании получена расщепленная квазистационарная конфигурация ТТС. Самосогласованными являются две компоненты магнитного поля (тангенциальная $B_x(z)$ и сдвиговая $B_y(z)$) и тока ($j_x(z)$ и $j_y(z)$, соответственно), а нормальная компонента магнитного поля (B_z) считается постоянной. В этой конфигурации токовый слой существенно несимметричен, и разделен на два токовых слоя с узкой областью малого отрицательного тока между ними. При этом сдвиговая компонента магнитного поля $B_y(z)$ положительна и по амплитуде примерно в 4 раза меньше величины ΔB_x изменения при переходе через слой тангенциальной компоненты $B_x(z)$. Подобные расщепленные конфигурации ТТС встречаются в данных спутников CLUSTER.

ЭВОЛЮЦИЯ ТОНКИХ ТОКОВЫХ СЛОЕВ С МАГНИТНЫМ СДВИГОМ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: СТРУКТУРА И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ

**Х.В. Малова^{1,2}, О.В. Мингалев³, И.В. Мингалев³, М. Мельник³, В.Ю. Попов^{2,4},
Е.Е. Григоренко², А.П. Петрукович², Л.М. Зеленый²**

¹НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, htalova@decl.sinp.msu.ru,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

³ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия,

⁴Физический факультет МГУ, Россия.

На основании самосогласованной модели тонких токовых слоев с локальным магнитным сдвигом исследованы процессы эволюции токового слоя в зависимости от величины нормальной компоненты магнитного поля и амплитуды начального сдвигового возмущения. Показано, что основными механизмами, обеспечивающими рост локальных сдвиговых мод являются квазиadiaбатическая динамика ионов и асимметрия их рассеяния в северной и южной полусферах в присутствии локального магнитного шира. Показано, что в пространстве параметров существуют множественные решения системы уравнений Власова-Максвелла, которые можно классифицировать как самосогласованные решения с: 1) симметричной, 2) расщепленной асимметричной, 3) антисимметричной сдвиговыми магнитными модами. При симметричной сдвиговой моде тонкий токовый слой является бессиловой конфигурацией. Приложение к наблюдениям *in situ* обсуждается.

МЕХАНИЗМ УСИЛЕНИЯ СДВИГОВОЙ КОМПОНЕНТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТОКОВОМ СЛОЕ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА ЗА СЧЕТ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ. НАБЛЮДЕНИЯ CLUSTER

Е.Е. Григоренко, Х.В. Малова, А.В. Артемьев, Л.М. Зеленый

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

НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия.

На основе анализа структуры Токовых Слоев (ТС) со сдвиговой компонентой магнитного поля и кинетических особенностей динамики заряженных частиц, выполненного по наблюдениям спутникового квартета CLUSTER в геомагнитном хвосте, предложен механизм усиления сдвиговой компоненты поля внутри замкнутых магнитных конфигураций за счет генерации электрического тока, создаваемого неadiaбатическими ионами при взаимодействии с ТС. Установлено, что при наличии небольшой сдвиговой компоненты магнитного поля возникает асимметрия север-юг в отражении/преломлении траекторий неadiaбатических ионов при взаимодействии со слоем. При наличии замкнутой магнитной конфигурации (типа плазмоида) электрический ток, создаваемый такими ионами замыкается, формируя токовую петлю, внутри которой сдвиговая компонента магнитного поля усиливается. Данный механизм подтверждается как спутниковыми наблюдениями, так и численным моделированием траекторий неadiaбатических ионов в ТС с реально наблюдаемой магнитной конфигурацией.

ТЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ ПЕРЕСОЕДИНЯЮЩЕГО ТОКОВОГО СЛОЯ: ПРИБЛИЖЕНИЕ СИЛЬНОГО ПОЛЯ

Н.П. Колесников, С.И. Безродных, Б.В. Сомов

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия, nick206265@gmail.com

В работе рассчитываются двумерные течения плазмы в приближении сильного магнитного поля для случая стационарного пересоединения в тонком токовом слое с четырьмя присоединёнными МГД-разрывами. Обсуждаются особенности (Somov B.V., *Plasma Astrophysics, Part I, Fundamentals and Practice, Second Edition, Chapter 14, Springer SBM, 2012, New York*) такого приближения. Глобальная структура магнитного поля в области пересоединения взята из аналитического решения Bezrodnykh et al. (Bezrodnykh S.I., Vlasov V.I., Somov B.V., "Generalized analytical models of Syrovatskii's current sheet". *Astronomy Letters*, 37 (2), 113-130, 2011).

О РАВНОВЕСИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТОКОВЫХ СЛОЁВ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ПОЛЯРИЗАЦИИ

В.В. Ляхов, В.М. Нещадим

ДТОО «Институт ионосферы», НКА РК, Россия, v_lyahov@rambler.ru

Предложена новая методика исследования равновесия и устойчивости токовых слоев 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. Исследована неустойчивость токового слоя хвоста магнитосферы. Подчеркивается, что для решения кинетического уравнения используется метод интегрирования по углу в отличие от метода траекторий, применявшегося ранее. Преимущество предложенного метода заключается в том, что он позволил получить точное решение кинетического уравнения в отличие от решения, получаемого методом траекторий, когда для проведения аналитического решения приходится заменять реальные траектории частиц приближенными. В результате, в отличие от прежней методики исследования, появилась возможность изучения не только тиринг-неустойчивости, но и всех остальных собственных мод неустойчивости токового слоя. Инкремент нарастания разрывной неустойчивости при этом на порядок и больше превосходит принятые ранее значения. Обоснована необходимость постановки задачи Коши в процессе получения решения для равновесного токового слоя. Равновесные токовые слои при этом структурно неустойчивы. Равновесная модель представляет собой систему 4-х связанных нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка и, следовательно, проявляет свойство структурной неустойчивости – чувствительности к малым изменениям параметров и начальных условий. Решение типа токового слоя реализуются только в некоторых областях 7-мерного пространства параметров модели. Фазовый объем этих областей мал по сравнению со всем фазовым объемом области определения этих параметров.

МГД-МОДЕЛЬ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ

Р.А. Кислов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, kr-rk@bk.ru

В работе исследуется в рамках двумерной стационарной самосогласованной осесимметричной МГД - модели гелиосферный токовый слой (ГТС). Построение подобной модели мотивируется существенными трудностями общепризнанного подхода, развитого E. Parker [1], при сравнении предсказаний теории и экспериментальных данных, в частности, наблюдается так называемый “эксцесс магнитного потока” (см. например [2]). Так же является недостаточным наше знание о крупномасштабной токовой структуре ГТС. Представленная работа имеет своей целью разрешить трудности общепризнанной модели, найти поле скоростей и позволяет определить крупномасштабные токи, в том числе и продольные, используя граничные условия в центре ГТС или на поверхности солнца. Построенная модель применима во время низкой солнечной активности, когда не является существенной гофрированная структура (так называемая “юбка балерины”) ГТС. Наложение возмущений, приводящих к возникновению “гофры”, является дальнейшим этапом развития модели.

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

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРЕВА И УСКОРЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ ПРИ РАЗРЯДЕ В АРГОНЕ

Н.П. Кирий, А.Г. Франк, В.С. Марков, Д.Г. Васильков

ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия, kyrie@fpl.gpi.ru

В работе были измерены температуры и энергии направленных движений ионов в лабораторных токовых слоях (ТС), сформированных в двумерных (2D) и трехмерных (3D) магнитных конфигурациях с особой линией X-типа при разряде в аргоне. Интерес к этим исследованиям обусловлен тем, что как нагрев плазмы, так и течения могут стать определяющими факторами при переходе ТС из метастабильного состояния к импульсной фазе магнитного пересоединения. Исследования проводились спектральными методами, измерялись профили спектральных линий (СЛ) ионов аргона: Ar II 4806, Ar III 3795, Ar IV 2809 Å, которые уширялись за счет Доплер-эффекта. Излучение плазмы собиралось и анализировалось с помощью двухканальной оптической схемы. Измерения проводились в двух взаимно перпендикулярных направлениях – вдоль тока, текущего в плазме (ось z) и вдоль ширины, или большего размера ТС (ось x). Профили СЛ регистрировались на выходной щели монохроматора в одном импульсе работы установки с помощью цифровой электронно-оптической камеры “Nanogate 1-UF”. Обнаружено, что при формировании ТС в 2D магнитных конфигурациях ($p = 28$ мТорр, $I_z = 45$ кА, $h = 0.5$ кГс/см, $B_z = 0$), ионы аргона Ar^+ , Ar^{++} и Ar^{+++} локализованы в разных областях ТС: ионы Ar^+ - в относительно холодных периферийных областях плазмы с максимальной температурой $T_i = (60 \pm 15)$ эВ, а ионы Ar^{++} и Ar^{+++} - в более горячих центральных областях ТС с максимальной температурой $T_i = (100 - 140)$ эВ, соответственно. Установлено, что полуширины всех СЛ аргона, зарегистрированных в x-направлении, превышают полуширины тех же линий, измеренных в z-направлении. Это означает, что ионы аргона Ar^+ , Ar^{++} , Ar^{+++} участвуют и в тепловом и в направленном движении плазмы вдоль поверхности ТС, ось x. Установлено, что все ионы аргона со временем приобретают одинаковую направленную скорость $V_x \approx (2.5 \pm 0.3) \times 10^6$ см/с, которая больше тепловой скорости ионов Ar^+ , но меньше (или равна) тепловой скорости ионов Ar^{++} и Ar^{+++} . При формировании ТС в 3D магнитных конфигурациях ($p = 28$ мТорр, $I_z = 45$ кА, $h = 0.64$ кГс/см, $B_z = 0 - 4.35$ кГс) исследовались зависимости температуры и энергии направленного движения ионов Ar^+ от величины продольного магнитного поля B_z при изменении B_z в пределах $B_z = 0 - 4.35$ кГс. Обнаружено, что при увеличении продольного магнитного поля от 0 до 1.45 кГс температура ионов Ar^+ уменьшается от величины $T_i = 31 \pm 3$ эВ до $T_i = 23 \pm 2$ эВ, энергия направленного движения ионов Ar^+ изменяется при этом незначительно: от $W_x = 50 \pm 13$ эВ до $W_x = 56 \pm 16$ эВ, причем в пределах достаточно больших экспериментальных погрешностей. Затем, при дальнейшем увеличении индукции продольного магнитного поля B_z , температура ионов Ar^+ плавно нарастает, достигая величины $T_i = 44 \pm 4$ эВ при $B_z = 4.35$ кГс, а энергия направленного движения ионов Ar^+ при этом уменьшается до $W_x = 31 \pm 14$ эВ. Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 12-02-00553а, и Программой фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН ОФН-15 «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории».

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБЛАСТЕЙ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ (CIR) В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ С ГЕЛИОСФЕРНЫМ ТОКОВЫМ СЛОЕМ

О.В. Хабарова¹, В.В. Жарков²

¹ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, habarova@izmiran.ru,

²Northumbria University, Newcastle upon Tyne, UK.

Плазма, окружающая гелиосферный токовый слой (ГТС), определяет его характеристики и особенности поведения частиц в его окрестности. В частности, эффективность магнитного пересоединения ГТС зависит от величины компонент внешнего магнитного поля. Известно, что приход выбросов корональных масс (СМЕ) приводит к значительным возмущениям квази-равновесного состояния ГТС, изменению его топологии и стимулированию процесса пересоединения. В то же время взаимодействие ГТС с потоками перемешивания типа CIR практически не изучено. Ранее считалось, что каждое пересечение ГТС (или секторной границы) на 1 а.е. сопровождается приходом CIR через один-два дня. Однако существенного анализа взаимодействия этих двух структур проведено не было, так как на орбите Земли CIRs скользят практически вдоль ГТС и теоретически большого влияния на характеристики токового слоя оказывать не должны. В работе Zharkova, Khabarova, ApJ, 2012 на основании данных Wind и ACE за 1995–2009гг. было обнаружено, что CIR наблюдаются после ГТС лишь в половине случаев пересечений секторных границ. Несмотря на это, взаимодействием CIR и ГТС не следует пренебрегать, так как при определенных условиях первые, наподобие СМЕ, оказывают влияние на протекание магнитного пересоединения в гелиосферном токовом слое. Проведен анализ соответствующих событий на базе данных Wind, ACE и STEREO.

ДВУХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ТОКОВОГО СЛОЯ: СРАВНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е.В. Юшков¹, А.Г. Франк², А.В. Артемьев³, И.Ю. Васько³, А.А. Петрукович³

¹Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия, yushkov.msu@mail.ru,

²ИОФАН РАН, г. Москва, Россия,

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

В докладе рассматривается продольная (вдоль направления основной компоненты магнитного поля, X) и поперечная (вдоль нормали к нейтральной плоскости, Z) структура токового слоя. Рассматриваются токовые слои, созданные в рамках лабораторного моделирования, и токовые слои хвоста земной магнитосферы. Показано, что при правильном выборе системы безразмерных параметров данные лабораторного моделирования могут воспроизводить многие особенности структуры токовых слоёв, наблюдаемых спутниками. Основной акцент сопоставления данных спутниковых наблюдений и результатов лабораторного моделирования сделан на продольной структуре токового слоя и её эволюции в ходе сужения слоя: подробно рассмотрены пространственные распределения компонент поля B_z и B_0 вдоль слоя X, зависимость амплитуды плотности тока и отношения градиентов полей $(dB_z/dX)/(dB_x/dZ)$ (параметр эффективной двухмерности слоя) от амплитуды B_z .

СЕКЦИЯ «ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛНИЙ ИЗ КОСМОСА» УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

УКВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА «РЧА» НА БОРТУ МИКРОСПУТНИКА «ЧИБИС-М»

М.С. Долгонос, В.М. Готлиб, Д. И. Вавилов

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

Относительно недавно были открыты новые физические явления, протекающие в верхней атмосфере Земли и регистрируемые радиоприёмниками УКВ диапазона [Le Vine, 1980; Weidman, Krider, Uman, 1981]. Как было показано первыми исследователями [Le Vine, 1980], спектр сигнала и его амплитуда значительно отличаются от ранее известных радиоисточников в тропосфере, таких как ступенчатый лидер и последующий обратный удар молнии обычных молниевых разрядов. Характерная длительность открытых радиоимпульсов было от нескольких микросекунд (и меньше) до десятков микросекунд [Le Vine, 1980; Villanueva и др., 1994; Eack, 2004] с широкополосным излучением в диапазоне от 10 до 50 МГц. Из-за свой формы сигнала часть исследователей стала называть такого рода явления как узкие биполярные импульсы (Narrow Bipolar Pulses - NBP). Последующие запуски космических аппаратов ALEXIS и FORTE помогли составить карту распределения событий по поверхности планеты и ответить на вопрос на сколько NBP связаны с обычными молниями [Massey, Holden, 1995; Holden, Munson, Devenport, 1995; Smith и др., 1999]. Авторы постулировали, что NBP связаны с обычными молниями, но обособлены от них (в пространстве и по времени). В дополнение, авторами было показано, что радиоимпульсы в большинстве случаев регистрируются парами, что в свою очередь связано с отражением радиоизлучения от поверхности Земли. На основании последнего утверждения авторам удалось оценить высоту NBP над уровнем моря в 7-8 км (максимальная составила 12 км). В ряде последних научных работах даются оценки пространственных размеров структур, которые могли бы излучать такого рода радиоимпульсы [Nag, DeCarlo, Rakov, 2009; Nag, Rakov, 2010; Watson, Marshall, 2007]. Показано, что их длина не может превышать одного километра, и для ряда случаев составляет 200-300 м. Поэтому более обоснованным на наш взгляд кажется другое название таких явлений, а именно: компактные межоблачные разряды. В настоящем докладе мы планируем предоставить статистический анализ характерных свойств компактных межоблачных разрядов, их глобальное распределение по данным прибора РЧА микроспутника «Чибис-М», а также будут предложены модели, описывающие генерацию такого рода радиовсплесков.

- [1]. Eack K.B. Electrical characteristics of narrow bipolar events. // *Geophys. Res. Lett.* 2004. Т. 31. № 20. Ст. L20102.
- [2]. Holden D.N., Munson C.P., Devenport J.C. Satellite observations of transionospheric pulse pairs. // *Geophys. Res. Lett.* 1995. Т. 22. № 8. Ст. 889–892.
- [3]. Massey R.S., Holden D.N. Phenomenology of transionospheric pulse pairs. // *Radio Sci.* 1995. Т. 30. № 5. Ст. 1645–1659.
- [4]. Nag A., DeCarlo B.A., Rakov V.A. Analysis of microsecond- and submicrosecond-scale electric field pulses produced by cloud and ground lightning discharges. // *Atmos. Res.* v. 91, iss. 2-4, p. 316-325. 2009.
- [5]. Nag A., Rakov V.A. Compact intracloud lightning discharges: 1. Mechanism of electromagnetic radiation and modeling. // *J. Geophys. Res.* 2010. Т. 115. № D20. Ст. D20102.
- [6]. Smith D.A. и др. A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions. // *J. Geophys. Res.* 1999. Т. 104. № D4. Ст. 4189.

- [7]. Villanueva Y. и др. Microsecond-scale electric field pulses in cloud lightning discharges. // J. Geophys. Res. 1994. Т. 99. № D7. Ст. 14353.
- [8]. Le Vine D.M. Sources of the strongest RF radiation from lightning. // J. Geophys. Res. 1980. Т. 85. № C7. Ст. 4091.
- [9]. Watson S.S., Marshall T.C. Current propagation model for a narrow bipolar pulse. // Geophys. Res. Lett. 2007. Т. 34. № 4. Ст. L04816.
- [10]. Weidman C.D., Krider E.P., Uman M.A. Lightning amplitude spectra in the interval from 100 kHz to 20 MHz. // Geophys. Res. Lett. 1981. Т. 8. № 8. Ст. 931.

ИОНОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ОТКЛИКОВ АТМОСФЕРНЫХ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

С.И. Климов¹, Г.К. Гарипов³, В.М. Готлиб¹, А.В. Гуревич², М.С. Долгоносов¹, Д.Ф. Дудкин⁴, Л.М. Зелёный¹, В.Н. Каредин¹, В.Е. Корепанов⁴, С.И. Свертилов³, Ч. Ференц⁵

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

²ФИ РАН, г. Москва, Россия,

³НИИ ЯФ МГУ, г. Москва, Россия,

⁴ЛЦ ИКИ НАН-ГКА Украины, г. Львов, Украина,

⁵Университет Ётвоса, г. Будапешт, Венгрия.

На долю грозовых явлений приходится значительная часть общего переноса энергии в системе атмосфера – ионосфера. Проведенная разработка экспериментального подхода к исследованию высотного атмосферного разряда показала необходимость использования специализированной микроспутниковой платформы нового поколения и создания специальной аппаратуры. Комплекс научной аппаратуры микроспутника «Чибиc-М» (КНА «Гроза») предназначен для детального изучения физических механизмов электрических разрядов в атмосфере в широком спектральном диапазоне электромагнитных излучений - от геомагнитных пульсаций до радиочастотного, оптического, рентгеновского и гамма излучений. Специфической особенностью КНА «Гроза» является то, что каждый из научных приборов имеет собственную кольцевую память (КП), которая регистрирует только данные, зафиксированные по индивидуальному бортовому алгоритму прибора как «событие», и одновременно вырабатывается признак события – триггер, поступающий на другие приборы для того, чтобы они в своих КП также зафиксировали «событие». В основном, использовался режим регистрации молниевых разрядов по триггеру радиочастотного анализатора (РЧА). Этот вариант является одним из 6-ти заложенных в программу работы КНА «Гроза». За прошедшие 2 года работы зарегистрировано несколько сотен срабатываний триггера РЧА, из них более сотни, связанных с короткими и мощными грозовыми разрядами, также регистрируемыми прибором ДУФ в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Данные КНА «Гроза» показали необходимость учета дискретных, фрактальных свойств (δ -фракталы временных серий и пространственные D-фракталы) распределения зарядов в облаке и перколяционных эффектов протекания разрядов в неоднородной турбулентной среде, на которые ранее мало обращали внимание при изучении атмосферного электричества. Разрабатывается методика коррелированного анализа измерений рентген-гамма детектором (РГД) и РЧА может позволить найти реальные грозовые события, сопровождаемые одновременно гамма- и радио - излучениями. Магнитно-волновой комплекс приборов (МВК) в составе КНА «Гроза» обеспечил получение данных об КНЧ-ОНЧ излучениях в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях. Измерения характеризуются большим динамическим диапазоном и высоким спектральным разрешением, позволяющим выделить специфические характеристики ряда ионосферно-магнитосферных резонансов.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ

Л.В. Ксанфомалити

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ksanf@ rssi.ru

В декабре 1978 г. советские аппараты ВЕНЕРА-11 и ВЕНЕРА-12 опустились на поверхность Венеры. Среди научных приборов на борту космического аппарата были сверхдлинноволновые радиоприемники "ГРОЗА" с магнитными антеннами. Во время спуска в атмосфере, в течение одного часа, приборы фиксировали несколько длительных всплесков электромагнитного излучения, состоящего из сотен импульсов, очень похожих на импульсные атмосферические электрических разрядов в атмосфере Земли, возникающих во время удаленных гроз. Эксперимент "ГРОЗА" был предназначен для поиска электрических разрядов в атмосфере планеты. Предполагалось, что если молнии будут обнаружены, они станут ключом к пониманию происхождения некоторых малых компонентов атмосферы Венеры (аналогичных оксидам азота, озону и даже синильной кислоте, генерируемых в молниях в атмосфере Земли). Через несколько дней орбитальный модуль космического аппарата PIONEER – VENUS (США) был выведен на орбиту спутника планеты Венеры и, независимо от ГРОЗЫ, зарегистрировал подобные импульсы электрического поля прибором OEFD. Импульсы, обнаруженные в эксперименте ГРОЗА были очень многочисленными по сравнению с наземными атмосферными разрядами. В то время казалось несомненным, что если молнии существуют, они должны возникать в облаках Венеры. Однако поиск световых всплесков в облаках на ночной стороне планеты, проведенный с аппаратов ВЕНЕРА, результатов не дал, хотя электромагнитные импульсы продолжали поступать. Более того, предварительный анализ зависимости интенсивности низкочастотного поля от высоты, полученной с помощью приборов аппаратов ВЕНЕРА, показал, что, скорее всего, источник импульсных полей был расположен на средних высотах, возможно даже ниже облаков. Положение осложнялось тем, что прибор OEFD мог принимать импульсы только в моде вистлеров, иначе импульсы не проникают сквозь ионосферу. Напомним, что мода вистлеров реализуется, когда случайно ориентированное магнитное поле соединяет источник с приемником. Существуют ли импульсные электрические поля, связанные с какими-либо другими явлениями на планете? Если источники импульсов находились где-то вблизи поверхности, то объяснить их могут только два или три известных механизма. Наиболее очевидная гипотеза о грозных разрядах может сталкиваться с теми трудностями, что на малых высотах нет носителей заряда – аэрозолей. Другой тип разряда – это молнии в пирокластических извержениях вулканов. Этот тип разрядов известен. Он характеризуется малыми энергиями, но и большим числом разрядов, что, по-видимому, напоминает данные ГРОЗЫ. Отсутствие заметных пирокластических отложений на поверхности планеты, и, что более важно, отсутствие помутнения в нижней части её тропосферы не поддерживают эту гипотезу. Тем не менее, для плотной атмосферы (у поверхности - в 60 раз более плотной, чем земная), пирокластические вулканические извержения могут оставить атмосферу относительно незагрязненной. Так возникла гипотеза о том, что источником импульсных электромагнитных полей могут быть молнии над вулканами. Известен также другой, весьма экзотический и мало изученный источник аналогичных явлений – электрические разряды в механически напряженных горных породах. В земных условиях это довольно слабый источник, но в определенных условиях, возникающие переменные электромагнитные поля

становились настолько сильными, что регистрировалось самопроизвольное свечение уличных фонарей. Так, некоторые результаты экспериментов ГРОЗА и OEFD, кажется указывают, что часть разрядов сосредоточена вблизи некоторых элементов топографии Венеры. Следует отметить, что более поздние миссии при сближении с Венерой неоднократно регистрировали подобные импульсные поля электромагнитного излучения (например, миссии GALILEO и VENUS –EXPRESS, 1996 и 2007 гг.), однако оптическое излучение отмечено не было.

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ КОРОННЫЙ РАЗРЯД ОТ МНОГОТОЧЕЧНОЙ ЗАЗЕМЛЕННОЙ СИСТЕМЫ В ГРОВОВЫХ УСЛОВИЯХ

Э.М. Базелян¹, Ю.П. Райзер², Н.Л. Александров³

¹ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, г. Москва, Россия, bazelyan@eninnet.ru,

²ИПМ РАН, г. Москва, Россия, raizer@ipmnet.ru,

³МФТИ, г. Долгопрудный, Россия, nick_aleksandrov@mail.ru.

Аналитически и численно исследованы свойства нестационарного бесстримерного коронного разряда, возникающего у вершин многоэлектродной системы в изменяющемся грозовом поле. Система представляла собой набор одинаковых вертикальных заземленных стержней, распределенных равномерно по плоской земной поверхности. Определены порог зажигания короны и разрядный ток в зависимости от геометрических параметров системы. Найдены условия, при которых свойства разряда от многоточечной системы аналогичны свойствам плоской испускающей ионы поверхности. В этом случае плотность разрядного тока определяется временной производной грозового электрического поля и не зависит от подвижности ионов и размеров коронирующей системы. Полный заряд, инжектированный к данному моменту в атмосферу с единичной площади земной поверхности, определяется грозовым электрическим полем в этот момент и зависит от геометрических параметров системы только неявно, через порог возникновения короны. Получены вертикальные профили электрического поля в слое объемного заряда короны над земной поверхностью с многочисленными коронирующими объектами.

МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ИНТЕГРАЛОВ СТОЛКНОВЕНИЙ В СИСТЕМЕ МНОГИХ ЧАСТИЦ С НЕИЗВЕСТНЫМ ЗАКОНОМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В.Ф. Туганов

ИКИ РАН, г. Москва, Россия, princet@rambler.ru

Кажущаяся непознаваемость таких систем вовсе не исключает их распространенность в Природе. И будучи физическими объектами, - они допускают не только их исследование, но и решение именно так поставленной задачи. К примеру, это может быть рынок – известная всем «многочастичная» система обменивающихся друг с другом субъектов. Или, - наблюдающиеся гамма-вспышки в грозовых разрядах, спектры которых при тормозном механизме их излучения, могут быть обусловлены системой электронов с энергетическим спектром, напоминающим функцию распределения $f(\xi)$ дохода ξ рыночных субъектов целого ряда стран. Поэтому, например, функция

$$f(\xi) \propto \frac{\exp(-(\beta - 2)/\xi)}{\xi^\beta} \quad (1)$$

как предельный случай предложенной в (http://www.fel.duke.edu/~scafetta/pdf/qf4_3_010.pdf) –единственное, что здесь оказывается известным. Как образовался такой «сгусток частиц» с наивероятным значением при $\xi = \xi_0 = 1 - 2/\beta$, каков характер их взаимодействия – все это, кроме ответа на вопрос, чему равен параметр β , остается вне решения поставленной здесь задачи. Итак, будем исходить из *уравнения непрерывности* - аналога уравнения Лиувилля для негамильтоновой системы, - предполагая ее пространственно-однородной

$$\partial N(t,x)/\partial t + \partial/\partial x [V(x/D) N(t,x)] = 0 \quad (2)$$

Здесь $N(t,x)$ – *фазовая плотность случайной величины x в момент времени t* , $V(x/D)$ – скорость ее изменения, которая через функцию среднего значения x

$$D(t) = \int_0^{\infty} dx x N(t,x), \quad (3)$$

самосогласованно зависит от *функции распределения $N(t,x)$* и вместе с ней флуктуирует около средних значений: $\langle N(t,x) \rangle = f(\xi)$, $\langle D(t) \rangle = D$ и $\langle V(\xi) \rangle$ ($\xi = x/D$). Закон $V(\xi)$ надо угадать, но так, чтобы найденная вероятность $f(\xi)$ *случайной величины ξ* имела вид функции (1).

Усредним (2)

$$\partial/\partial t \langle N(t,x) \rangle + \partial/\partial x \langle V(x/D) N(t,x) \rangle = 0, \quad (4)$$

выделив в $N(t,x) = f(x) + \delta f(t,x)$ *среднюю функцию распределения $f(x)$* и ее флуктуацию $\delta f(t,x)$, а в $V(\xi) = \langle V(\xi) \rangle + \delta v(t,x)$ – *среднюю скорость $\langle V(\xi) \rangle$* и ее флуктуацию $\delta v(t,x)$, где

$$\delta v(t,x) = (\partial V(x/D)/\partial D) \delta D(t), \text{ а} \quad (5)$$

$$\delta D(t) = \int_0^{\infty} \xi \delta f(t, \xi) d\xi \quad (6)$$

$$\langle V(\xi) \rangle = \int_0^{\infty} V(\xi) f(\xi) d\xi \quad (7)$$

Учтя в стационарных (равновесных) условиях, $\langle V(\xi) \rangle = 0$, получим уравнения

$$\partial f(\xi)/\partial t = - \partial/\partial \xi \langle \delta v(t, \xi) \delta f(t, \xi) \rangle = 0 \quad (8)$$

$$\partial \delta f(t, \xi)/\partial t + \partial/\partial \xi [\delta v(t, \xi) f(\xi)] = 0 \quad (9)$$

с начальным условием $\delta f(t, \xi) \neq 0^1$. Отсюда находим: распределение (1) с *параметром Парето* оптическом диапазоне и гамма-всплесков земного происхождения (TGF) позволит установить наличие корреляции TGF с проявлениями молниевой активности.

¹Лифшиц Е.М., Питаевский В.П. Физическая кинетика, М.: Наука, 1979, 2003

ИССЛЕДОВАНИЕ СУММАРНОГО ВРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ TGF ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА RHESSI

В.И. Выборнов¹, А.С. Позаненко², П.Ю. Минаев²

¹ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, likakat@gmail.com,

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия.

Космическая обсерватория Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) была запущена в 2002 году и предназначена для исследования излучения Солнца в рентгеновском и гамма-диапазонах от 3 кэВ до 20 МэВ. Обсерватория находится на орбите высотой 600 км с наклоном 38 градуса. Оказалось, что RHESSI может эффективно регистрировать гамма-всплески земного происхождения (TGF). Был составлен каталог TGF,

зарегистрированных с 2002 по 2010 гг. [Grefenstette et al., 2009]. Мы исследуем суммарный временной профиль всех событий из этого каталога для оценки параметров профиля, в частности, его асимметрии. В спектре, построенном по сумме всех событий, найдена линия аннигиляции электрон-позитронных пар 511 кэВ. Мы также обсуждаем возможные причины появления этой спектральной линии.

ОБ ОПТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ (МОЛНИЙ И TLE) ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ В НАДИР С ОРБИТЫ ИСЗ

В.В. Клименко¹, А.С. Позаненко², А.В. Киселев²

¹*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия, klimenko@appl.sci-nnov.ru*

Исследования электрических разрядов в атмосфере (молний и TLE – Transient Luminous Events) с помощью установленного на ИСЗ оборудования позволяет за короткое время наблюдать большую часть земной поверхности, включая мировые центры гроз в экваториальных районах. На данный момент осуществлена серия успешных экспериментов по регистрации TLE и молний с орбиты ИСЗ, главным образом в направлении на горизонт, где вспышки TLE в верхней атмосфере и инициирующие их молнии у земной поверхности пространственно разнесены по высоте на ~50-70 км. В то же время, представляют интерес наблюдения и в надир (в направлении подспутниковой точки), чтобы вспышка молнии и следующего за ней TLE находились на одной линии визирования. С помощью таких наблюдений можно установить наличие или отсутствие корреляции гамма-всплесков земного происхождения (TGF) с оптическими вспышками и, по-видимому, ответить на вопрос о роли убегающих релятивистских электронов в инициировании атмосферных электрических разрядов. Так как временное запаздывание TLE относительно молнии (~10 мс) много меньше длительности вспышки молнии ~100 мс, то обе вспышки накладываются друг на друга и во времени, и в пространстве, и для разделения и классификации этих вспышек необходимы специальные подходы. Наиболее продуктивным представляется селекция вспышек в спектральной области, где важным обстоятельством является экранирование озоновым слоем (высота ~30 км) излучения молний в УФ-диапазоне. При этом регистрация излучения молекулярного азота в полосе Лаймана-Берджа-Хопфилда (LBH, дальний УФ) однозначно сигнализирует о вспышке TLE в верхней атмосфере. В то же время, надежная индикация молниевой вспышки основывается на регистрации сильных атомарных линий излучения азота или кислорода, отсутствующих в спектре TLE. В докладе обсуждаются возможности оценок эффективных высот вспышек TLE по отношению интенсивностей в ближнем УФ (2-ая положительная система азота) и дальнем УФ (LBH). Кроме того, рассмотрены вероятности регистрации вспышек различных классов в надире и соотношения «сигнал/шум» для вспышек на фоне различной освещенности земной поверхности.

ОПТИЧЕСКАЯ КАМЕРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ ИЗ КОСМОСА

**А. Позаненко¹, А. Киселев¹, А. Черненко¹, С. Хандорин², А. Тоньшев², В. Клименко³,
П. Минаев¹, А. Вольнова¹**

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

²СКБ КП, г. Москва, Россия,

³ИПФ РАН, г. Москва, Россия.

Для регистрации молниевых разрядов в оптическом диапазоне с орбитальных космических аппаратов разработана миниатюрная оптическая камера, позволяющую осуществлять регистрацию и координатную привязку молниевых разрядов в оптическом диапазоне с временным разрешением не хуже 1 мс и пространственным разрешением порядка 7 - 10 км при высоте орбиты 400 км. Для выделения оптического излучения от молниевых разрядов в дневное время регистрация будет вестись в узкополосном фильтре в линии атомарного кислорода ОI(1) 777.4 нм. Будет осуществлено картирование вариаций (суточных, годовых) распределения молниевой активности. Эксперимент ФОМ будет также регистрировать высотные транзиентные оптические явления (TLE). Совместная регистрация молниевой активности и TLE в различных спектральных каналах и с высоким временным разрешением даст возможность классификации таких событий. Синхронная регистрация молний в оптическом диапазоне и гамма-всплесков земного происхождения (TGF) позволит установить наличие корреляции TGF с проявлениями молниевой активности.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**А. Киселев¹, А. Позаненко¹, С. Хандорин², В. Клименко³, А. Черненко¹, А. Тоньшев²,
П. Минаев¹, А. Вольнова¹**

¹ИКИ РАН, г. Москва, Россия,

²СКБ КП, г. Москва, Россия,

³ИПФ РАН, г. Москва, Россия.

Для детектирования оптического излучения от молниевых разрядов в дневное время, наблюдения должны проводиться в узкополосном фильтре в линии атомарного кислорода ОI(1) 777.4 нм. Необходимость широкоугольных наблюдений накладывает существенные ограничения на конструкцию оптической системы камеры. В работе обсуждается конструкция оптического тракта камеры, позволяющие регистрировать молниевые разряды с орбитальных космических аппаратов круглосуточно. Применяемые технические решения могут быть использованы при мониторинге Земной поверхности в других узких линиях.

ЭНЕРГЕТИКА TLE ЯВЛЕНИЙ И ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Л.В. Козак¹, А. Одзимек², В.Н. Ивченко¹

¹*КНУ им. Тараса Шевченка,*

²*Отделение физики атмосферы института геофизики Польской академии наук.*

Проанализирована связь условий возникновения кратковременных оптических явлений (TLE) в атмосфере Земли с грозowymi разрядами. Указаны закономерности их возникновения и проявлений. Для сравнения энергетики грозowych разрядов и TLE явлений были использованы собственные наблюдения грозовой активности в июле – сентябре 2013 года на горе Кошка, Симеиз, Крым и наблюдения полученные в институте геофизики Польской академии наук. Комплекс исследовательской аппаратуры состоит из видео камеры (Watec 902H), захватчика кадров, GPS приемника и ноутбука с соответствующим программным обеспечением. Для оценки энергии свечения атмосферы в оптическом диапазоне, была построена калибровочная кривая по внефокальным изображениям звезд, которые являются фотометрическими стандартами. При этом учитывался спектр звезды, атмосферное поглощение и спектральная чувствительность камеры. Для исследования свечения атмосферы от молний и TLE явлений были построены изофоты изображений. Определены характерные высоты и масштабы оптических явлений в атмосфере Земли. Проведено сравнение между энергетикой грозowych разрядов и TLE эффектов.

КОСМИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛНИЙ ИЗ КОСМОСА

В.Л. Петров, Н.Н. Веденькин, И.А. Соболев

ООО «НПП ДАУРИЯ», г. Москва, Россия, petrov@dauria.ru

Низкобюджетная космическая платформа малого космического аппарата, созданная для научных исследований, в частности, изучение молний с низких орбит. Данная платформа имеет возможность попутного запуска из унифицированного ТПК разработки РКК «Энергия» с ГК «Прогресс». Расчетная орбита существования КА составляет 400 – 500 км, наклонение $51,6^{\circ}$. Расчетное время активного существования на представленных орбитах для космического аппарата составляет 3 года. Низкобюджетная космическая платформа малого космического аппарата создана на основе технологий и компонент, имеющих космическую квалификацию и опыта летной эксплуатации.

СЕКЦИЯ «ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛНИЙ ИЗ КОСМОСА» СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОСАЧИВАНИЕ В ИОНОСФЕРУ УНЧ-КНЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ОТ АТМОСФЕРНОЙ ГРОВОЙ АКТИВНОСТИ (ПРОЕКТ РФФИ 13-05-12091)

**В.А. Пилипенко¹, Е.Н. Федоров¹, Н.В. Ягова¹, Е.Н. Ермакова², В.В. Сурков³,
А.К. Сараев⁴, К.М. Антошук⁴**

¹*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия,*

²*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия,*

³*МИФИ, г. Москва, Россия,*

⁴*Санкт-Петербургский ГУ, г. Санкт-Петербург, Россия.*

В ходе работ по проекту проводится теоретическое и экспериментальное междисциплинарное исследование УНЧ электромагнитных процессов, сопровождающих грозовую активность. Экспериментальной основой работы служат данные мировой сети геофизических наблюдений и низкоорбитальных отечественных и международных спутников. Полученные данные используются для анализа эффектов взаимодействия УНЧ излучений от гроз с ионосферой. Особое внимание обращено на наземный и ионосферный УНЧ отклик на высотные электрические разряды между грозовым облаком и ионосферой. Опираясь на результаты анализа данных разработаны теоретические модели возбуждения волновых УНЧ структур (ионосферный альвеновский резонатор и суб-резонатор, шумановский резонанс) в ионосфере Земли.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ В УКВ ДИАПАЗОНЕ НА МИКРОСПУТНИКЕ «ЧИБИС-М»

В.М. Готлиб², М.Е. Гущин¹, М.С. Долгоносков², С.В. Коробков¹, А.В. Костров¹

¹*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, korobkov@appl.sci-nnov.ru,*

²*ИКИ РАН, г. Москва, Россия.*

Проанализированы данные в УКВ диапазоне прибора РЧА микроспутника «Чибис-М» [1]. Предложен способ расшифровки тонкой структуры динамических спектров сигналов от компактных межоблачных разрядов. На примере отдельных событий, зарегистрированных 6 апреля 2013 года в UT 23:52:10.723, показано, что тонкая структура динамических спектров сигналов может быть связана с интерференцией двух собственных волн. Аналогичный эффект хорошо известен, в частности, в анализе спектров декаметрового радиоизлучения Юпитера [2]. Данное явление проявляется в выделении в спектре широкополосного линейно поляризованного излучения неэквидистантных полос, что обусловлено фарадеевским вращением плоскости поляризации излучения. Тонкая структура спектров, регистрируемых в УКВ диапазоне на микроспутнике «Чибис-М», может быть использована как дополнительный способ диагностики и мониторинга усредненного значения концентрации электронов по трассе распространения сигнала. Однако точность данного метода ограничена из-за возможной паразитной интерференции прямых волн и волн, отраженных от поверхности Земли.

- [1] M. S. Dolgonosov, V. M. Gotlib, L.M. Zelenyi, D.I. Vavilov, V. Rakov, "Observation of the compact intercloud discharges onboard of microsatellite "Chibis-M", Geophys.Res.Lett., (in preparation).
- [2] J. W. Warwick, & G. A Dulk, Faraday Rotation on Decametric Radio Emissions from Jupiter, Science, 1964, v.145, pp. 380-383.

ВОЗМОЖНОСТИ И ОЦЕНКИ НАБЛЮДЕНИЙ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (TGF) КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИЕЙ INTEGRAL

П.Ю. Минаев, А.С. Позаненко, С.А. Гребенев, С.В. Мольков

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

Для исследования диффузного рентгеновского фона обсерваторией INTEGRAL в 2006 и 2012 годах была произведена серия наблюдений, когда в апертуру рентгеновских и гамма-телескопов на борту обсерватории попадала Земля. Мы используем эти данные для поиска гамма-всплесков земного происхождения (TGF). Несмотря на то, что обсерватория INTEGRAL имеет высокоэллиптическую орбиту в отличие от других околоземных обсерваторий, регистрирующих TGF (высота их орбит ~ 600 км), наиболее мощные TGF могли бы быть зарегистрированы телескопом SPI обсерватории INTEGRAL. В результате поиска были найдены короткие события, длительностью несколько миллисекунд, которые можно рассматривать как кандидаты в TGF. Основываясь на полученные результаты мы приводим оценки частоты возникновения и максимальной интенсивности TGF.

РАДИОАКТИВНЫЕ ОСАДКИ ВО ВРЕМЯ ДОЖДЕЙ В ТРОПИКАХ

А.А. Гусев¹, I.M. Martin², W.N. Spjeldvik³

¹ *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, ganso@pochta.ru,*

² *Instituto Tecnológico de Aeronautica, Sao Jose dos Campos, SP, Brazil,*

³ *Weber State University, Utah, Ogden, USA.*

При исследовании плазмы грозových разрядов использовались приборы, измеряющие потоки и спектры гамма излучения и потоки нейтронов, сопровождающих разряды. Было обнаружено, что потоки гамма излучения во время дождей уменьшаются с постоянной времени, порядка 0.5 часа, характерной для распада радиоактивных элементов потомков радона. Для изучения этого явления одновременное наблюдение естественного гамма фона и метеорологических параметров проводилось в городе Сан-Жозе-дос-Кампос, SP, Бразилия в 2013 - 2014 гг. Инструментальный набор способен выполнять постоянные замеры параметров окружающей среды с временным разрешением 1 минута. Эта точность позволяет провести детальное сравнение уровня осадков и временных профилей гамма излучения для определения концентрации ^{214}Pb , являющегося потомком от распада радона в жидких осадках. Количество осажженного ^{214}Pb определяется с помощью моделирования интенсивности гамма излучения, полученного в цепочке распада $^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$. Временной профиль осадков ^{214}Pb варьируется до получения наилучшего совпадения расчетного профиля гамма излучения с наблюдаемым. Концентрация ^{214}Pb в дождевых осадках рассчитывается как отношение скорости реконструированного таким образом выпадения ^{214}Pb к величине наблюдаемых дождевых осадков. Было обнаружено, что концентрация ^{214}Pb существенно отличается от одного дождя к другому, а также в течении времени одного дождя и колеблется в пределах двух порядков. Наблюдается

антикорреляция между скоростью осадков и концентрацией ^{214}Pb в дождевой воде. Максимальная концентрация наблюдается в продолжительных морозящих дождях и в самом начале более интенсивных дождей. Обсуждается гипотеза, объясняющая этот эффект наличием двух различных источников излучения: вымывание радиоактивных ядер из дождевого облака и из области ниже облака, между облаком и землей.