

Тема ПЛАЗМА. Проведение фундаментальных исследований в области физики космической плазмы, солнечно-земных связей и физики магнитосферы.

Гос. регистрация № 0120.0 602992

Научный руководитель, акад. РАН Л.М. Зелёный

1. Солнце и солнечная корона

1. Наблюдения процессов ускорения электронов и нагрева плазмы в солнечных вспышках

Рассматривались временные профили эффективной температуры вспышечной плазмы, вычисленной по интенсивности мягкого рентгеновского излучения, в событиях балла GOES >X1 в 1997-2006 годах. По времени роста температуры до максимума эти события были разделены на две группы спектром - <10 мин (импульсные) и >10 мин (длительные). В каждой группе обнаружено подобие временных профилей температуры, которое связано с нагревом плазмы ускоренными электронами с переменным энергетическим спектром. Длительные события представляют собой перекрывающиеся между собой импульсные события, которые инициируются несколькими последовательно поднимающимися волокнами.

В шести длительных событиях, которые сопровождалось солнечными протонными событиями, выбор начала развития события (0 мин), исходя из подобия временных профилей температуры, показывает, что ускорение электронов с наиболее жестким спектром происходило после 10 мин на фазе спада температуры, а протоны 100 МэВ выходили в межпланетное пространство примерно на 25 минуте в момент отрыва коронального выброса массы, что обеспечивало одновременный приход первых протонов на 35 минуте.

Струминский А.Б., Источник солнечных протонов: температура вспышечной плазмы и моменты инъекции, Известия РАН, серия физическая, принято в печать, 2011.

Струминский А.Б., Наблюдения радиоизлучения на частоте 245 МГц как индикатор нового режима ускорения электронов и нагрева плазмы, Труды Всероссийской конференции по солнечной и солнечно-земной физике, ГАО РАН, Пулково, 2010.

Струминский Алексей Борисович, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, astrum@iki.rssi.ru

2. Изучение гармонических осцилляций в темпах счета рентгеновских детекторов космического аппарата RHESSI

В рамках исследований квазипериодических пульсаций рентгеновского излучения солнечных вспышек по данным наблюдений космического аппарата RHESSI в темпах счета его детекторов были обнаружены неизвестные ранее гармонические осцилляции с периодом около 75 с. Была изучена природа этих осцилляций. Посредством анализа данных телеметрии RHESSI совместно с исследованием характера прохождения рентгеновских фотонов солнечных источников через парные решетки вращающихся модулирующих коллиматоров телескопа показано, что осцилляции являются следствием нутации вращающегося космического аппарата. Предложена методика для выявления приборных осцилляций данного типа. Также показано, что осцилляции рентгеновского излучения вспышек с периодами от единиц до сотен секунд могут быть ложно интерпретированы в рамках модели вспышечной магнитной петли, подверженной моде

перетяжек (сосисочной моде) быстрых магнитозвуковых волн. Этот факт необходимо принимать во внимание.

Зимовец И.В., Гармонические осцилляции рентгеновского излучения солнечной вспышки, *Астрономический Журнал*, т. 87, № 7, С. 717-736, 2010.

Зимовец Иван Викторович, м.н.с., т.:333-14-67, ivanzim@iki.rssi.ru

3. Единый механизм развития самых крупных и самых малых по мощности солнечных вспышек.

По данным, полученным в проекте ИНТЕРБОЛ, были обнаружены слабые солнечные события с мощностью потока рентгеновского излучения не более 10^{-8} Вт/м². Изучены их характеристики. По данным проекта RHESSI изучались крупные вспышки класса X. Обнаружены дискретные минутные импульсы в жесткой компоненте рентгеновского излучения вспышек класса X. Проведен сравнительный анализ параметров солнечных событий разных классов. Показана возможность использования полученных данных для построения микро- и макромоделей солнечных вспышек. На основе обобщенных экспериментальных и теоретических результатов, полученных разными авторами в разные годы высказана и обоснована идея единого механизма самых крупных и самых малых по мощности солнечных вспышек. Изложен взгляд на солнечную вспышку, как суперпозицию отдельных актов элементарного энерговыделения.

Мирзоева И.К., Параметры и закономерности для построения микро- и макромоделей солнечных вспышек”, Препринт ИКИ РАН, 2010г.

Мирзоева Ирина Константиновна, к.ф.м.н., т. 333-14-67, colombo2006@mail.ru

II. Солнечный ветер

4. Мультипликативные и аддитивные свойства солнечного ветра. Статистическая модель солнечного ветра и межпланетного магнитного поля во внутренней гелиосфере.

Создана обширная база данных о физических параметрах солнечного ветра и межпланетного магнитного поля по опубликованным результатам прямых измерений за последние сорок лет. Выполнен ее анализ на предмет полноты, качества и однородности материала для последующего использования в статистических исследованиях. Предложены аналитические аппроксимации и определены параметры получающихся нормальных и логнормальных распределений. Установлены их доверительные интервалы. Сделан вывод о том, что логнормальные распределения в целом преобладают. Они возникают при множественных мультипликативных процессах в неустойчивых и диссипативных плазменных и магнитных структурах. Аддитивные случайные процессы не являются при этом главными. По этой причине нормальные гауссовские распределения в солнечном ветре, как правило, не наблюдаются. Модель представляет собой набор гистограмм, таблиц, графиков и формул, полученных на основе статистических исследований и апробированных теоретических представлений. Она может быть использована в научных и практических целях при постановке новых космических экспериментов для исследования солнечного ветра, при проектировании космических полетов, а также в образовательных целях для подготовки специалистов в области космофизики.

И.С. Веселовский, А.В. Дмитриев, А.В. Суворова. Статистическая модель солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. В книге «Инновационные решения для космической механики, физики, астрофизики, биологии и медицины» / под ред. В.А. Садовниченко, А.И. Григорьева и М.И. Панасюка. Научное издание. - М.: Изд-во МГУ, 2010. – 344 с. / С. 193-220

И.С. Веселовский, А.В. Дмитриев, А.В. Суворова. Алгебра и статистика солнечного ветра, Космические исследования Т. 48, № 2, С.113-128, 2010

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-12-98, veselov@dec1.sinp.msu.ru

5. Стереоскопический анализ источников солнечного ветра.

На основе результатов плазменных и магнитных измерений в трех различных точках гелиосферы и телескопических наблюдений Солнца из этих точек одновременно исследованы высокоскоростные потоки (ВСП) солнечного ветра (СВ) вблизи орбиты Земли и породившие их корональные дыры (КД). Такой совместный стереоскопический анализ проведен впервые. Используются данные с космических аппаратов (КА) *STEREO-A*, *STEREO-B*, *ACE* и *SOHO* и наземные наблюдения с марта 2007 г. по май 2008 г. В этот период существовали ВСП, источниками которых были КД различной полярности, геометрии и расположения относительно гелиографического и гелиомагнитного экватора. Выявлена зависимость параметров СВ от взаимного расположения КА относительно КД и гелиосферного токового слоя, а также от гелиошироты и геометрии КД. Различие в положении КА более, чем на 5° относительно гелиосферного токового слоя в ноябре 2007 года позволило обнаружить гелиоширотный градиент скорости потоков СВ между КА *STEREO-A* и *STEREO-B*, в среднем равный 20 км/с на один градус в это время. Наблюдались также значительные изменения в потоках СВ, связанные с изменением источников ВСП СВ в течение нескольких часов или суток. Эта изменчивость затрудняет использование данных КА *STEREO-B* для достаточно точного прогноза свойств СВ в околоземном пространстве методом простого временного сдвига с опережением за счет разницы в гелиодолготе между КА и Землей даже в минимуме солнечной активности.

И.С. Веселовский, Ю.С.Шугай. Высокоскоростные потоки солнечного ветра вблизи орбиты Земли и их источники на Солнце по стереоскопическим наблюдениям в минимуме 23-го цикла, Космические исследования Т. 48, № 1, С.33-42, 2010

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

6. Продолжение изучения пространственной группировки резких и больших скачков потока ионов (плотности) солнечного ветра.

Эта тема рассматривается на основе сильной неравномерности распределения резких и больших скачков потока ионов солнечного ветра в систематических наблюдениях солнечного ветра на спутнике Интербол-1. Определены свойства областей солнечного ветра, в которых среднесуточное число таких скачков сильно возрастает. Проведено количественное моделирование этого явления.

Khabarova Olga, and **Zastenker Georgy**. Sharp changes in solar wind ion flux (density) within and out of current sheets (Submitted to Solar Physics)

Khabarova O., Zastenker G. Sharp changes of solar wind density as a possible sign of magnetic reconnection at current sheets. Доклад на 38-ой научной ассамблее КОСПАР, Бремен, Германия, 17 – 24 июля 2010г.

Хабарова Ольга Валерьевна, к.ф.-м.н., т. 333-13-88, olik3110@list.ru

7. Исследование перемежаемости флуктуаций потока плазмы солнечного ветра и ММП.

Продолжено изучение и теоретическое объяснение ряда особенностей динамики флуктуаций плазмы солнечного ветра и модуля магнитного поля в области ранее неизученных высоких частот (вплоть до 1 Гц). При этом установлены значительные вариации эксцесса функции распределения вероятности флуктуаций (показателя перемежаемости) в зависимости от условий в межпланетной среде.

Riazantseva M.O., Zastenker G.N., Karavaev M.V. Intermittency of Solar Wind Ion Flux and Magnetic Field Fluctuations in the Wide Frequency Region from 10⁻⁵ up to 1Hz and the Influence of Sudden Changes of Ion Flux/ Proceedings of The Twelfth International Solar Wind Conference, CP1216, ed. By M. Maksimovic et al., pp.132-135, 2010.

Riazantseva M.O., Zastenker G.N., Kalaev O.V. Intermittency of solar wind at the scale range till tens of Hz. Доклад на 38-ой научной ассамблее КОСПАР, Бремен, Германия, 17 – 24 июля 2010г.

Рязанцева Мария Олеговна, к.ф.-м.н., т. 333-1388, orearm@hotbox.ru

8. Исследование вариаций плазмы и магнитного поля в магнитослое.

По данным наблюдений на спутнике Интербол-1 с высоким временным разрешением продолжена разработка выдвинутой нами гипотезы о сложной структуре магнитослоя, в которой выделяются постшок, переходная область и внутренний магнитослой.

По вариациям измерений потоков плазмы и параметров магнитного поля изучена динамика этой структуры при различной ориентации ММП.

Чугунова О.М., Пилипенко В.А., Застенкер Г.Н., Шевырев Н.А. Пространственная структура турбулентного магнитослоя, Космические исследования (в печати).

Чугунова О.М., Пилипенко В.А., Застенкер Г.Н., Шевырев Н.А., Зависимость параметров поля и плазмы в магнитослое Земли и в солнечном ветре вблизи ударной волны от направления межпланетного магнитного поля, Космические исследования (направлена в печать).

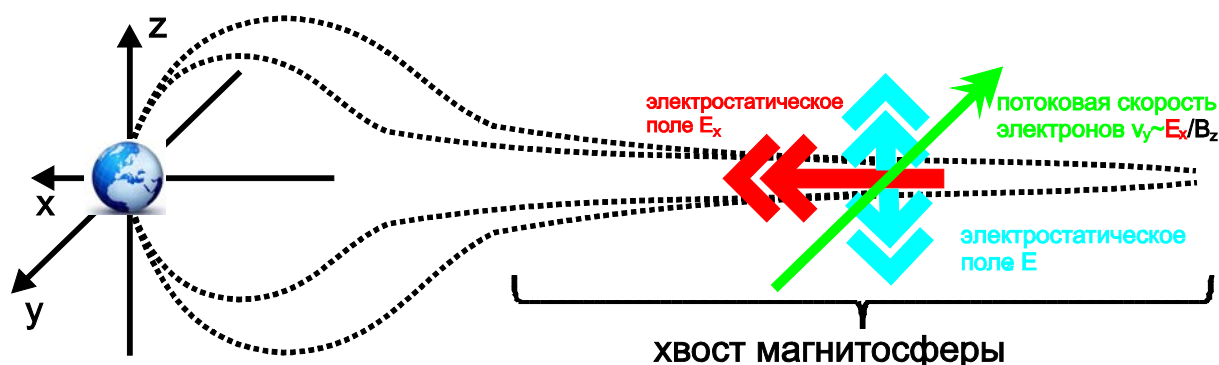
Чугунова Ольга Михайловна, к.ф.-м.н., т. 904-19-96, Ch_Olga@nlr.ru

III. Магнитосфера Земли.

9*. Экспериментальное обнаружение и теоретическое описание направленного к Земле электростатического поля в хвосте магнитосферы.

Квазистационарное электрическое поле внешней магнитосферы Земли определяет глобальную конвекцию плазмы, но слишком мало, что бы быть зарегистрированным прямыми методами. Наблюдения многоспутникового проекта Cluster позволили выделить в хвосте магнитосферы новую, ранее неизвестную, компоненту такого электрического поля, направленную к Земле и создающую средний азимутальный дрейф плазмы с

вечерней стороны на утреннюю. Для получения оценок величины поля использовались два независимых метода. (1) По разности измеряемых потоковых скоростей электронов и электронных дрейфов, связанных с кривизной силовых линий и градиентом давления. (2) По дрейфам холодного ядра и горячих флангов функции распределения ионов. Величина поля составляет порядка 0.1-0.2 мВ/м, что не позволяет измерить её прямыми методами в хвосте земной магнитосферы. Полученные оценки согласуются с построенной теоретической моделью, в которой возникновение рассматриваемого электрического поля обусловлено различием в движении немагнитных квазиadiaбатических ионов и замагниченных электронов в тонких токовых слоях со слабо-двумерной геометрией. Построенная модель и экспериментальные оценки позволяют также объяснить важный и остававшийся до последнего времени неясным эффект наблюдения сильных электронных токов в токовых слоях хвоста магнитосферы. За счёт наличия данной компоненты происходит перестройка токовой системы, в результате которой электронный ток становится существенно больше тока, переносимого ионами.



Zelenyi, L. M., A. V. Artemyev, and A. A. Petrukovich, Earthward electric field in the magnetotail: Cluster observations and theoretical estimates, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L06105, doi:10.1029/2009GL042099, 2010.

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzelenyi@iki.rssi.ru

Петрукович Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

Артемьев Антон Владимирович, аспирант, т. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

10. Рассмотрение воздействия резких изменений динамического давления и направления ММП на возбуждение магнитосферных суббурь

На примере анализа возникновения и развития двух суббурь, следовавших одна за другой в событии 1 августа 1998г., обсуждается проблема триггера, приводящего к началу активизации авроральных процессов (суббурь).

Первая спонтанная суббуря была вызвана накоплением избыточной энергии в магнитном хвосте и инжекцией энергичных электронов из плазменного слоя. Во втором событии авроральное возмущение оказалось сильно модулированным вариациями давления солнечного ветра. Анализ развития геофизических явлений от воздействия вариаций давления солнечного ветра позволяет предположить, что в данном событии сильный импульс давления солнечного ветра послужил триггером для развития данной суббури.

На основании анализа развития двух суббурь, начало которых было вызвано разными причинами – внешним триггером для второго случая и, по-видимому, внутренним для первого, показано, что наблюдаемые суббуревые явления схожи между собой.

Пархомов В.А., Бородкова Н.Л., Дмитриев А.В., Климов П.М., Рахматулин Р.А., О роли скачков давления солнечного ветра в процессах инициации и управления магнитосферной суббурей, *Солнечно-земная физика* (в печати), 2010.

Natalia Borodkova, Vladimir Parkhomov and Georgy Zastenker. Comparison of Two Successive Substorms Observed on August 1, 1998. Report at European Geosciences Union General Assembly, May 2 - 8, 2010, Vienna Austria.

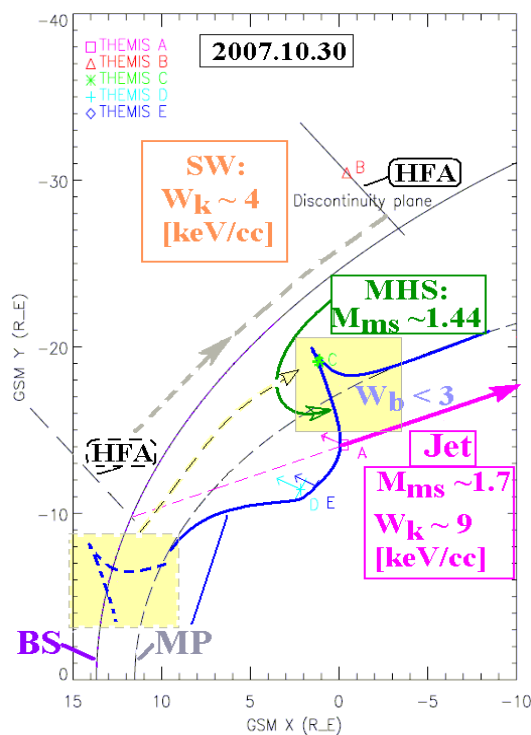
N. Borodkova, V. Parkhomov and G. Zastenker. Comparison of Two Substorms Observed on August 1, 1998. Доклад на 38-ой научной ассамблее КОСПАР, Бремен, Германия, 17 – 24 июля 2010г.

Бородкова Наталия Львовна, с.н.с., к.ф.-м.н., т.:333-13-88, nlbor@mail.ru
 Пархомов В.А., проф., БГУЭФ, pekines_41@mail.ru

11. Механизм связи глобальных и локальных магнитосферных масштабов

Найдены сверхбыстрые плазменные струи (СПС, магнитозвуковое число Маха $1 < M_{MS} \leq 3$, кинетическое давление до 5 раз выше, чем в солнечном ветре (СВ), толщина до 10^4 км), наиболее вероятно – собственные моды системы СВ - магнитосфера, переносящие возмущения подобно фоновым при установлении равновесия. СПС связывают глобальные и локальные масштабы, т.е.

Рис.1 Деформация МП (MP, синяя линия, ТЕМИС 30.10. 2007 г.) под действием АП (HFA) и СПС (Jet). СПС с $M_{MS} \sim 1.7$ видна лишь на ТЕМИС –А. SW-СВ, MSH-МГС, BS-УВ, магнитное давление $W_b < 1/3$ [кэВ/см³]. Ранее выступ МП (синий пунктир) может выходить за номинальную УВ.



приводят к перемежаемости и мультифрактальности системы, что важно и для лабораторной, и для астрофизической плазмы (jets).

Объяснен механизм аномальной динамики магнитослоя (МГС), который может пересекаться спутниками за времена до 2 порядков меньше нормальных, а магнитопауза (МП) – прогибаться на расстояния порядка толщины МГС и выходить за стационарную ударную волну (УВ). Деформацию вызывают именно СПС.

Amata, E., Savin, S., Ambrosino, D. et al., High kinetic energy density jets in the Earth's magnetosheath: A case study. Planet. Space Sci. (2010), doi:10.1016/j.pss.2010.07.021

Savin, S., Amata, E., Sibeck, D. et al., Magnetosheath crossings in few minutes: anomalous dynamics with super- magnetosonic highly- deflected and stratified flows, D31-0026-10, 38th COSPAR Scientific Assembly, Bremen, Germany, (2010)

Савин Сергей Петрович, д.ф.-м.н., т. 333 11 00, E-mail: ssavin@iki.rssi.ru

12. Анализ баланса давлений на магнитопаузе по данным международного проекта THEMIS

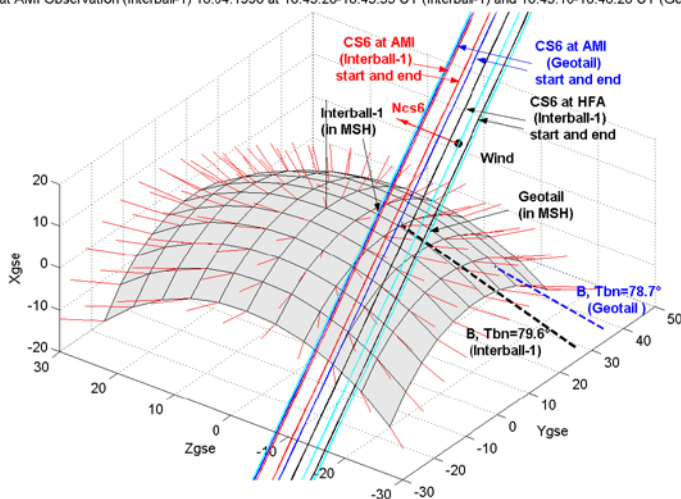
Продолжен анализ соблюдения баланса давлений на магнитопаузе. Используются данные наблюдений международного проекта THEMIS. Определялось динамическое, статическое давления плазмы и магнитное давление в магнитослое, магнитное давление и статическое давление плазмы внутри магнитосферы. Изучены вариации полного давления при нахождении одного из спутников внутри магнитосферы, а другого в магнитослое вблизи магнитопаузы. Выделено событие, при котором направление магнитного поля вблизи магнитопаузы имело южную ориентацию при северной ориентации магнитного поля в солнечном ветре. Проведено сравнение уровня флуктуаций магнитного поля с величиной магнитного поля внутри магнитосферы для выделенных событий. Показано, что, несмотря на значительные флуктуации магнитного поля и параметров плазмы магнитослоя, баланс давлений на магнитопаузе вблизи подсолнечной точки может соблюдаться с точностью ~10% сравнимой с точностью определения гидродинамических параметров.

Знаткова С. С., Е. Е. Антонова, Г.Н. Застенкер, И. П. Кирпичев, Баланс давлений на магнитопаузе вблизи подсолнечной точки по данным наблюдений спутников проекта THEMIS, Космические исследования, т. 48, №6, с. ??, 2010.

Антонова Елизавета Евгеньевна, проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru
Застенкер Георгий Наумович, проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru
Кирпичев Игорь Петрович, к.ф.-м.н., т. 333-1467, ikir@iki.rssi.ru

13. Продолжение работы по анализу и интерпретации данных о пучках почти моноэнергетических ионов (ПМИ) в спектрах энергичных частиц (E=30-800 кэВ) около границ магнитосферы Земли, открытых в эксперименте ДОК-2 проекта «Интербол».

Intersection of the Current Sheet CS6 (Wind N=[0.2671, -0.2965, 0.9169], dn=2, K=51) with the Bow Shock at AMI Observation (Interball-1) 16.04.1996 at 18:43:26-18:45:35 UT (Interball-1) and 18:43:10-18:46:26 UT (Geotail)



По ~800 событиям проведен детальный статистический анализ основных характеристик пучков ПМИ. По данным детектора, направленного от Солнца, уточнена средняя длительность событий ПМИ – 105 с. В рамках предложенной модели генерации пучков ПМИ получено объяснение тому, что среднее значение отношения площадей линий протонов и альфа-частиц в спектрах ПМИ ($S1/S2$) в ~3 раза меньше, чем среднее отношение плотностей

этих ионов, измеренных в солнечном ветре $Np/Na=37.26$. Предложенный нами механизм ускорения всегда дает преимущество альфа-частицам перед протонами при образовании моноэнергетических линий.

В рамках нашей модели генерации ПМИ дано объяснение характеру изменений энергии и интенсивности протонной линии в первые 30 с после начала процесса ускорения. Дальнейшее изучение этого явления может дать информацию о крупномасштабных свойствах и динамике токового слоя околослойной ударной волны (ОЗУВ).

Уточнены механизм и модель ускорения ПМИ, согласно которым ПМИ являются результатом ускорения ионов солнечного ветра в потенциальном электрическом поле, образующемся при разрыве волокон токового слоя ОЗУВ. Установлено, что в большинстве случаев в качестве причины разрыва токовых волокон выступает явление Hot Flow Anomaly, возникающее при взаимодействии тангенциального разрыва (ТР) в солнечном ветре с ОЗУВ. Для подтверждения этого проведен анализ нескольких событий, в которых на Интербол-1 почти одновременно наблюдались все три явления (ТР, НФА и ПМИ). На рисунке приведен пример результатов анализа для одного из таких событий.

Луценко В.Н., Гаврилова Е.А., Одновременные наблюдения на ИСЗ Интербол-1 прихода токового слоя в солнечном ветре к околосолнечной ударной волне, образования аномалии горячего течения и генерации пучка почти моноэнергетических ионов, доклад на конференции ИКИ “Физика плазмы в солнечной системе“, 8-12 февраля 2010.

Луценко Вольт Николаевич, к.ф.-м.н., т. 333-2000, vlutsenk@iki.rssi.ru

14. Общая структура и эволюция токового слоя вложенного в плазменный слой хвоста магнитосферы Земли.

Проведено исследование тонких токовых слоев, вложенных в существенно более толстый изотропный токовый слой – характерной структуры в хвосте магнитосферы Земли. Введены количественные параметры, описывающие такую вложенную многомасштабную систему. Для исследований использовалась статистика спутников Cluster, эмпирическая модель и самосогласованная модель. Как экспериментальные, так и теоретические данные показывают, что толщина вложенного токового слоя составляет порядка ионного ларморовского радиуса. Вложенный токовый слой может быть описан двумя основными отношениями B_0/B_{ext} and F_0/F_{ext} , где B_0 - магнитное поле на границе вложенного слоя, B_{ext} - магнитное поле на границе фонового плазменного слоя, а F_0 и F_{ext} , величины соответствующих магнитных потоков, причем последнюю пару можно считать примерно постоянной. Во время фазы накопления суббури плотность тока вложенного слоя увеличивается, и, соответственно, растет величина магнитного поля B_0 , в то время как толщина вложенного слоя уменьшается. Слои с наиболее интенсивными токами (большими B_0) наблюдаются после взрывной фазы. Построена самосогласованная модель вложенного слоя, включающая в себя токи неадиабатических ионов и замагниченных электронов (вложенный слой), а также крупномасштабный фоновый ток, поддерживаемый горячими изотропными частицами плазмы (внешний плазменный слой). Показано, что когда вложенный протонный токовый слой становится достаточно тонким (при постепенном возрастании доли неадиабатических ионов), внутри него возникает токовый слой с характерным масштабом электронного вращения благодаря усилению дрейфа кривизны электронов.

Petrukovich A.A., Artemyev A.V., Malova H.V., Nakamura R., Popov V.Yu., Zelenyi L.M., Place of embedded thin current sheet in the Earth's magnetotail, J. Geophys. Res., 2010, (in press)

Петрукович Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru (в соавторстве)

15. Структура отражения быстрого потока на границе внутренней магнитосферы и сопутствующие осцилляции.

По данным проекта THEMIS (17 марта 2008 года 9-11 UT) продемонстрирована эволюция ближнего хвоста магнитосферы Земли во время отражения и разворота быстрого плазменного потока. Все спутники последовательно (в зависимости от своей позиции) наблюдали быстрый поток, подходящий к Земле, тормозящий и разворачивающийся в обратную сторону с образованием вихрей. Разворот сопровождался соответствующей динамикой давления: градиент давления в сторону Земли достиг максимума в момент максимального приближения потока к Земле и затем постепенно снизился по мере разворота потока. В следующем событии наблюдалось и достаточно редкое повторное отражение уже направленного в хвост отраженного потока, опять в сторону Земли, которое можно понять как осцилляцию около некоторого квазиравновесного положения.

E.V. Panov, R. Nakamura, W. Baumjohann, V. Angelopoulos, **A. A. Petrukovich**, A. Retino, M. Volwerk, T. Takada, K.-H. Glassmeier, J. P. McFadden, and D. Larson, Multiple overshoot and rebound of a bursty bulk flow, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L08103, doi:10.1029/2009GL041971, 2010.

E.V. Panov, R. Nakamura, W. Baumjohann, V.A. Sergeev, **A.A. Petrukovich**, V. Angelopoulos, M. Volwerk, A. Retino, T. Takada, K.-H. Glassmeier, J.P. McFadden, D. Larson, Plasma Sheet Thickness During A Bursty Bulk Flow Reversal, *JGR*, 115, A05213, doi:10.1029/2009JA014743, 2010.

Петрукович Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru (в соавторстве)

16. Экспериментальное исследование низкочастотных колебаний магнитных силовых трубок Пограничного Плазменного Слоя (ППС) хвоста магнитосферы Земли.

На основе четырехспутниковых измерений Cluster магнитного и электрического поля, а также характеристик плазмы в ППС хвоста магнитосферы Земли выполнено исследование низкочастотных (с частотами много меньшими локальной ионной циклотронной частоты) колебаний магнитных силовых трубок ППС. Установлено, что данные колебания представляют собой электромагнитные волны, распространяющиеся к Земле вдоль силовых линий магнитного поля с локальной альвеновской скоростью. Характерные периоды колебаний составляют 1-4 мин и длины волн $\sim 5 - 20 R_E$. Впервые статистически доказана связь низкочастотных поперечных колебаний альвеновского типа магнитных силовых трубок ППС и потоков ускоренных ионов, распространяющихся вдоль силовых линий магнитного поля высокоширотной границы ППС со скоростями, превышающими двойную величину локальной альвеновской скорости. Тот факт, что величина полного продольного электрического тока на высокоширотной границе ППС часто существенно меньше величины продольного тока, создаваемого ускоренными ионами, движущимися вдоль силовых линий магнитного поля, позволяет считать высокоскоростные ионы частью плазменного потока и рассматривать неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, возникающую на границе ППС с окружающей малоподвижной плазмой, в качестве наиболее вероятного источника этих колебаний.

Статистически установлено, что во всех случаях величина потока кинетической энергии, переносимой высокоскоростными ионами, движущимися к Земле вдоль силовых линий ППС в несколько десятков раз превышала даже самые большие значения потока электромагнитной энергии, переносимой низкочастотными альвеновскими волнами. Это позволяет сделать два вывода: i) потери энергии ускоренных ионов на возбуждение низкочастотных альвеновских колебаний не должны заметно влиять на характеристики ионных функций распределения в ППС; ii) вклад низкочастотных альвеновских волн в

энергетику высокоширотной авроральной области далеко не всегда является определяющим, как предполагалось ранее.

Grigorenko, E. E., Burinskaya, T. M., Shevelev, M., Sauvaud, J.-A., and Zelenyi, L. M. Large-scale fluctuations of PSBL magnetic flux tubes induced by the field-aligned motion of highly accelerated ions, *Annales. Geophysicae*, 28, 1273-1288, 2010.

Григоренко Е.Е., Колева Р., Зеленый Л.М. и Сово Ж.-А. Ускоренные ионы, наблюдаемые в пограничном плазменном слое: пучки или потоки?, *Геомагнетизм и Аэрономия*, 50, №6. 749-761, 2010.

Григоренко Елена Евгеньевна, к.ф.-м.н., т.: 333-45-34, elenagrigenko2003@yahoo.com

17. Исследование процессов генерации длинноволновых низкочастотных колебаний магнитного поля в пограничной области плазменного слоя хвоста магнитосферы Земли.

В ходе проведенного нами детального анализа многоспутниковых измерений, выполненных в рамках проекта CLUSTER, было обнаружено, что при прохождении высокоскоростных (2000-3000 км/с) потоков плазмы вдоль магнитного поля в пограничной области плазменного слоя хвоста магнитосферы Земли одновременно наблюдается и распространение ультранизкочастотных колебаний (0.004-0.02 Гц) магнитного поля. Характерные длины этих колебаний лежат в диапазоне 5-20 земных радиусов и существенно превышают поперечные по отношению к направлению магнитного поля размеры потоков плазмы. Колебания распространяются, преимущественно, вдоль магнитного поля со скоростью порядка локальной альфвеновской скорости. Было проведено исследование устойчивости плазменного потока относительно возбуждения длинноволновых колебаний произвольного направления в плоской трехслойной геометрии с учетом сжимаемости плазмы при любом соотношении между альфвеновской и звуковой скоростями плазмы. Исследование развития неустойчивости К-Г в зависимости от величины скорости звука показало, что возмущения с длинами волн порядка или больше толщины потока могут нарастать в произвольном направлении даже при нулевой температуре. Этот результат в корне отличается от обычно рассматриваемого случая двух полубесконечных плазм с одной границей, когда существует область углов вблизи направления распространения потока, генерация волн в котором в продольном магнитном поле, вследствие развития неустойчивости К-Г, возможна только, если скорость звука превышает альфвеновскую скорость. В трехслойной плазме, длинноволновые колебания, возбуждаемые именно в этом диапазоне углов, существуют в ограниченном диапазоне волновых чисел даже без учета конечной ширины переходной области между потоком и окружающей плазмой. При этом, как показали расчеты, выполненные при параметрах близких к наблюдаемым, колебания с длиной волны большей ширины потока, нарастают с максимальным инкрементом при их распространении вдоль магнитного поля. При ширине потока порядка 3000 км длины волн этих колебаний больше 5 земных радиусов, что соответствует наблюдаемым длинам волн. Численные расчеты показали, что в низкотемпературной плазме решения дисперсионного уравнения, приводящие к смещениям граничных поверхностей потока типа змейки, имеют значительно более высокие инкременты, чем решения, приводящие к квази-симметричным, типа перетяжек, деформациям границ потока. Согласно экспериментальным данным, колебания в пограничной области плазменного слоя распространяются как раз в виде кинк-моды. Проведенное исследование структуры собственных мод показало, что при низких температурах моды имеют осцилляторно затухающий характер. Таким образом, результаты исследования развития неустойчивости

К-Г в трехслойной модели, несмотря на ее простоту, позволяют объяснить, практически, все характерные черты рассматриваемых событий.

Т.М. Буринская, М.М. Шевелев, Ж.-Л. Рош, Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца для ограниченного потока плазмы в продольном магнитном поле, *Физика плазмы*, 2010, Т. 35, №11.

Е.Е. Grigorenko, Т.М. Burinskaya, М. Shevelev, J.-A. Sauvaud, L.M. Zelenyi, Large-scale fluctuations of PSBL magnetic flux tubes induced by the field-aligned motion of highly accelerated ions, *Ann. Geophys.*, 2010, V. 28, P.1273-1288, doi:10.5194/angeo-28-1273-2010.

Буринская Татьяна Михайловна, к.ф.-м.н., т.: 333-45-34, tburinsk@iki.rssi.ru

18. Исследование флуктуаций скорости плазмы в хвосте магнитосферы на базе данных измерений в проекте THEMIS

Проведен анализ зависимости диагональных компонент тензора вихревой диффузии на различных геоцентрических расстояниях в плазменном слое магнитосферы Земли в магнитоспокойное время и во время магнитосферной суббури. Использована база данных 5 спутников международного проекта THEMIS. Проведен анализ флуктуаций скорости плазмы, определяемых по результатам измерений приборов ESA и SST. Определялись амплитуды флуктуаций и автокорреляционное время. В отличие от опубликованных в 2009 г. результатов, полученных на базе спутника Интербол/Хвостовой зонд, получены значения коэффициентов диффузии не только в Z (D_{zz}) и Y (D_{yy}), но и в X направлении D_{xx} . Исследована зависимость данных коэффициентов от фазы суббури и геоцентрического расстояния. Подтверждены результаты, полученные на базе спутника Интербол/Хвостовой зонд, демонстрирующие рост коэффициентов диффузии с ростом геоцентрического расстояния. Полученные результаты позволяют объяснить локализацию начала взрывной фазы магнитосферной суббури на сравнительно небольших геоцентрических расстояниях $<10R_E$, где невелик уровень турбулентных флуктуаций и движение плазмы перед началом взрывной фазы суббури близко к ламинарному.

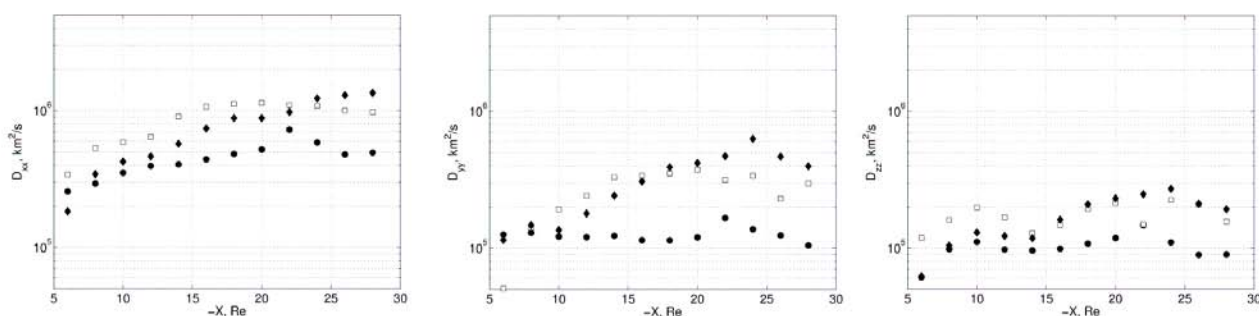


Рис. 1. Радиальные зависимости диагональных элементов тензора вихревой диффузии, полученные в ходе анализа наблюдений в международном проекте THEMIS. Темные кружки – магнитоспокойное время, светлые квадраты – взрывная фаза суббури, темные ромбы – фаза восстановления.

Stepanova M., V. Pinto, J. A. Valdivia, and **Е.Е. Antonova**, Spatial distribution of the eddy diffusion coefficients in the plasma sheet during quiet time and substorms from THEMIS satellite data, *J. Geophys. Res.*, in press (accepted), 2010.

Антонова Елизавета Евгеньевна, проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@oearm.msk.ru

19. Формирование азимутально симметричной компоненты возмущения магнитного поля (Dst вариации) осесимметричной компонентой кольцевого тока во время магнитных бурь на примере большой магнитной бури февраля 1986 г.

Проведено численное моделирование нелинейных изменений магнитного поля при возрастании давления во внутренних областях магнитосферы в осесимметричном случае при изотропии давления. Определена радиальная зависимость возмущения магнитного поля при заданном распределении давления плазмы. Получена зависимость возмущения магнитного поля у Земли от полного давления с учетом влияния магнитного поля токов в плазме на величину и распределение поля. Полученные решения применены при анализе большой магнитной бури февраля 1986 г., в ходе которой минимальная величина Dst вариации составляла -307 нТл. Используются экспериментально измеренные вблизи экваториальной плоскости значения давления плазмы. Показано, что с учетом нелинейных эффектов величина наблюдаемой Dst вариации соответствует возмущению, вызываемому осесимметричной частью кольцевого тока. Результаты проведенного нелинейного анализа подтверждают традиционную точку зрения о доминирующем вкладе кольцевого тока в качестве основного источника Dst вариации, подвергавшуюся за последнее время критике, основанной на предположении о значительном вкладе тока хвоста в данную вариацию.

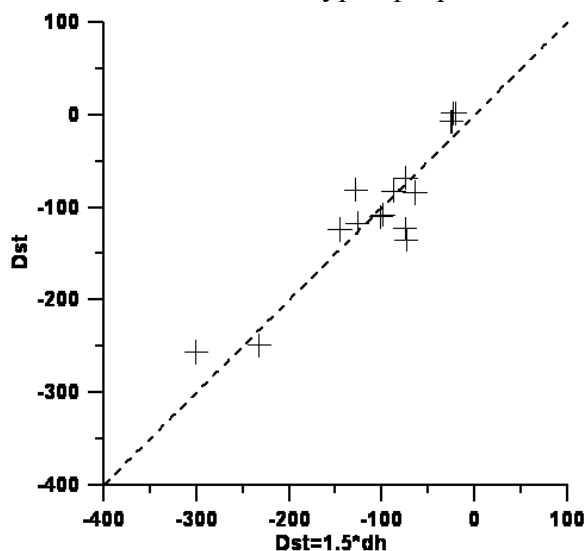


Рис. Сравнение результатов нелинейного моделирования (ось абсцисс) с зарегистрированной величиной Dst вариации (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/198602/index.html)

Вовченко В.В., Антонова Е.Е., Нелинейное возмущение дипольного поля осесимметричным распределением плазмы, Геомагнетизм и аэрономия, т. 50(6), с. 768-777, 2010.

Вовченко Вадим Валерьевич, м.н.с. отд.54, т. 333-11-22, a1246@rambler.ru

Антонова Елизавета Евгеньевна, проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru

20. Формирование резонансных областей в токовых слоях магнитосферы.

Проведен анализ распределения субструктур энерго-дисперсионных форм VDIS, наблюдаемых вблизи полярного края авроральной зоны с энергиями 1-30 кэВ, причем энергия в субструктурах увеличивается с увеличением инвариантной широты. Осуществлены экспериментальные проверки механизма неадиабатического ускорения и «резонансной» генерации ионных пучков (бимлетов) в тех областях токового слоя хвоста магнитосферы, из которых ионы распространяются к Земле. Для этих областей теоретически был предсказан универсальный закон, связывающий энергию ионов $W(N)$ с номером резонансной области $N=1,2,3,\dots$: $\ln W(N) \sim 1.33 \cdot \ln N$ [1]. Экспериментальные результаты по данным независимых экспериментов ИОН (спутник ИНТЕРБОЛ-2) и CIS (спутник CLUSTER) показывают, что при линейной аппроксимации кривых связи энергии ионов с номером субструктуры VDIS ($\ln W(N) = A \cdot \ln N + B$) наклон A изменяется в диапазоне 0.60-1.94, т.е. отличается от теоретического значения 1.33. Расхождение может быть объяснено действием электрического поля E_z , перпендикулярного токовому слою. Согласно математическому моделированию наличие E_z может сдвигать области

резонансов к Земле и уменьшать наклон по сравнению с $A=1.33$ или - от Земли и увеличивать при этом наклон [2]. Однако для объяснения экстремальных величин наклона A , полученных в экспериментах, требуется, вероятно, учет дополнительных факторов, влияющих на процессы формирования резонансных областей в токовых слоях хвоста магнитосферы.

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

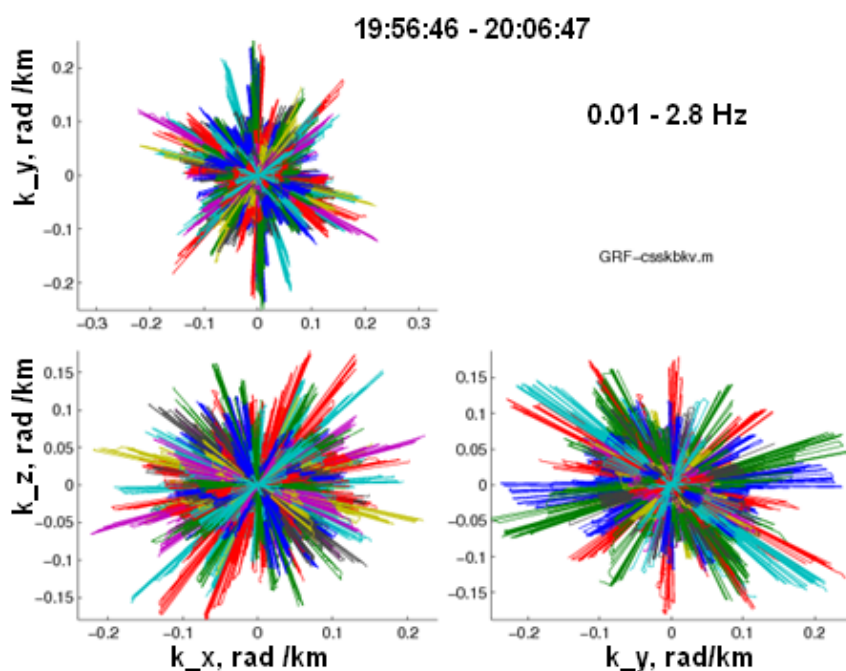
[2] M.S. Dolgonosov, G.Zimbardo, and A. Greco, J. Geophys. Res, 115, A02209, doi: 10.1029/2009JA014398, 2010.

Р.А.Ковражкин, М.С. Долгоносков, Ж.-А.Сово, Формирование резонансных областей в токовых слоях магнитосферы, доклад представлен на Шестую ежегодную конференцию "Физика плазмы в солнечной системе", ИКИ РАН, февраль 2011.

Ковражкин Ростислав Алексеевич, гл. науч. сотр., д.ф.-м.н., т. 333-54-77, rkovrazh@iki.rssi.ru

21. Исследования магнитной турбулентности в области внешнего магнитосферного каспа Земли

Продолжены исследования магнитной турбулентности в области внешнего магнитосферного каспа Земли, основанные на анализе многоточечных измерений



Кластера. Подтверждены представленные ранее и сформулированы новые важные положения, относящиеся к свойствам турбулентных образований в

бесстолкновительной плазме, имеющие, по-видимому, универсальный характер.

1. Турбулентность в области внешнего каспа почти целиком характеризуется когерентными колебаниями магнитного поля, по крайней мере, на расстояниях между точками измерения до ~

650 км. Она состоит большей частью из волн, близких по свойствам к известным МГД собственным модам.

2. Дисперсионная картина магнитных флуктуаций в области длин волн от ларморовского радиуса протонов до нескольких ларморовских радиусов однозарядного иона кислорода в каждый момент времени представляет собой смесь волновых пар, имеющих равные по величине и противоположно направленные волновые векторы.

3. Волновые пары, регистрируемые в последовательные интервалы времени с помощью анализа, выделяющего максимальные по амплитуде сигналы, показывают вращение волновых векторов в трех плоскостях.

На рисунке представлен пример наложенных парных волновых векторов 150 двойных дисперсионных линий, в проекциях на три GSE координатные плоскости. Они получены для скользящих временных интервалов наблюдения длительностью 90 с, отбираемых в течение 10 мин с шагом 4 с. Число точек по волновым числам для каждой пары дисперсионных кривых -256. Можно видеть, что каждому k - вектору соответствует такой же вектор с обратным знаком. Совокупность всех волновых векторов заполняет в пространстве полный телесный угол.

С.А. Романов, Э. Амата, М. Данлоп, **С.П. Савин**, Турбулентность плазмы в области магнитосферного каспа как она представляется на основе обработки измерений четырех аппаратов Кластера, Доклад на конференции «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ, 8 -12 февраля 2010 г.

Романов Станислав Алексеевич, к.ф.-м.н, т. 333-40-24, sroman@mx.iki.rssi.ru

IV. Плазмосфера и ионосфера Земли.

22. Ионосферный и геомагнитный отклик на межпланетные ударные волны

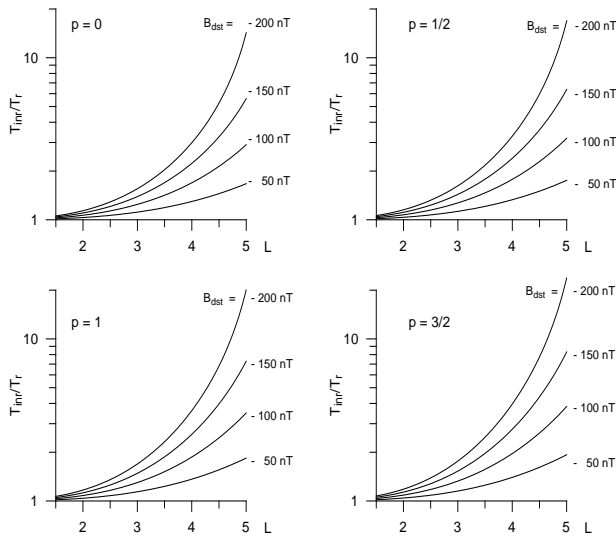
Выделены 2 типа откликов ионосферы и геомагнитного поля на межпланетные ударные волны (SSC) по данным доплеровского зондирования и наземных магнитометров: долгопериодные вариации длительностью ~10 мин и быстрый положительный ~1 мин импульс. Численное моделирование показало, что долгопериодные вариации являются результатом возникновения глобального электрического поля утро-вечер в магнитосфере. Для интерпретации быстрого отклика построена аналитическая модель вариаций доплеровской скорости, вызываемых магнитосферными альвеновскими и магнитозвуковыми волнами в рамках приближения тонкой ионосферы. Новая аналитическая модель превосходит существовавшие численные модели, предложенные для описания взаимосвязей между геомагнитными вариациями и доплеровским сдвигом частоты, и дает возможность легко рассчитать доплеровский отклик X- и O-моды радиоволны на альвеновскую или магнитозвуковую волны. Характеристики зарегистрированных импульсов хорошо объясняются эффектом вертикального смещения ионосферной плазмы, вызываемого индукционным электрическим полем на фронте магнитозвуковой волны. Работа выполнена в сотрудничестве с Институтом космических исследований АН Китая (CSSAR).

Pilipenko V., E. Fedorov, K. Yumoto, A. Ikeda, and T.R. Sun, An analytical model for Doppler frequency variations of ionospheric HF sounding caused by SSC, J. Geophys. Res., 115, A10228, doi:10.1029/2010JA015403, 2010.

Пилипенко Вячеслав Анатольевич, д.ф.-м.н., pilipenko_va@mail.ru

23. Исследование процессов нагрева и охлаждения тепловой плазмы в земной плазмосфере.

Детализирован физический механизм и построена модель перемещения дрейфовой оболочки от Земли, вызванного уменьшением магнитного поля во внутренней плазмосфере при развитии магнитной бури B_{dst} . Показано, что в некоторых случаях третий адиабатический инвариант сохраняется и в процессах с характерным временем намного меньшим, чем период дрейфа заряженных частиц вокруг Земли. Понижение температуры протонов $T(r)$ на геоцентрическом расстоянии r вблизи экваториальной плоскости по сравнению с первоначальной $T_{in}(r)$ может быть описано как:



$$\frac{T(r)}{T_{in}(r)} = \left(1 + \frac{B_{dst} r^3}{B_e r_e^3}\right) / \left(1 - \frac{B_{dst} r^3}{2B_e r_e^3}\right)^{3+p}$$

где B_e – магнитное поле на земном экваторе r_e и $p = -rT'_{in}(r)/T_{in}(r)$ – показатель степенной зависимости $T_{in}(r)$. На Рис. 1 показана зависимость от $L = r/r_e$ величины уменьшения температуры протонов в плазмосфере во время геомагнитных бурь различной интенсивности B_{dst} , рассчитанная в соответствии с приведенным выше выражением, удовлетворительно описывающая наблюдавшееся в экспериментах на спутниках ИНТЕРБОЛ-2 и МАГИОН-5 понижение температуры протонов вблизи экваториальной

плоскости.

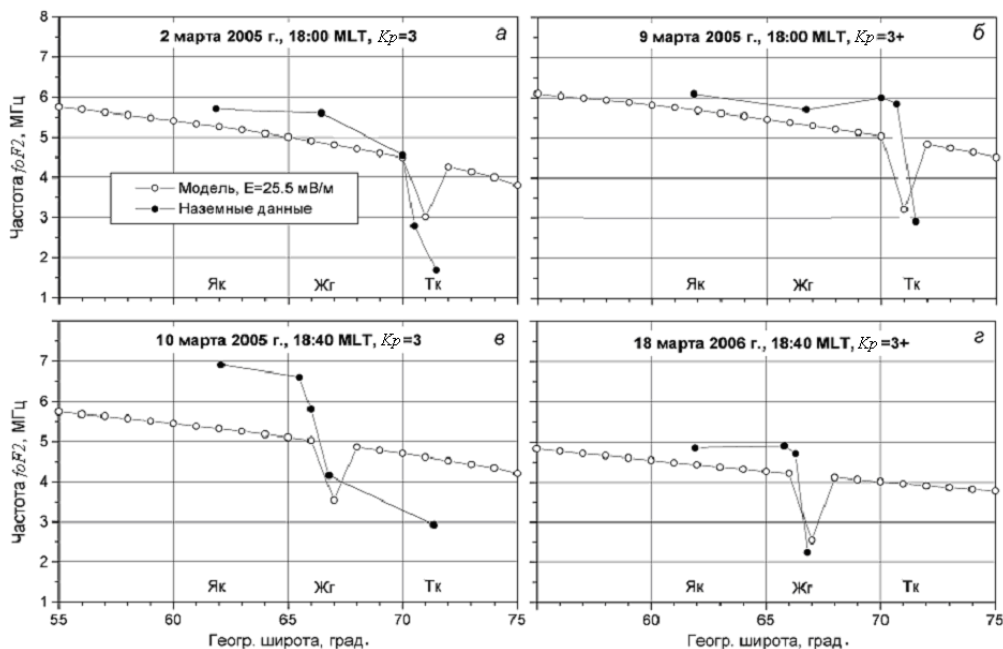
Г.А. Котова, М.И. Веригин, В.В. Безруких, В.В. Богданов, А.В. Кайсин, Охлаждение ионов в плазмосфере на начальной стадии магнитной бури: моделирование динамики температуры, V международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», с. Паратунка, Камчатский край, 2 - 7 августа 2010 г., Сб. докладов, стр.76-79.

М.И. Веригин, Г.А. Котова, В.В. Безруких, В.В. Богданов, А.В. Кайсин, Дрейф ионов во внутренней плазмосфере Земли во время магнитосферных возмущений и динамика температуры протонов, Геомагнетизм и аэрономия, 2011, том 51, № 1 (принята в печать).

Котова Галина Аврамовна, к.ф.-м.н., т. 333-32-89, kotova@iki.rssi.ru
Веригин Михаил Иванович, д.ф.-м.н., т.333-32-33, verigin@iki.rssi.ru

24. Исследование влияния поляризационного джета на структуру субавроральной ионосферы.

Исследовано влияние поляризационного джета на структуру субавроральной ионосферы с помощью численного моделирования области F высокоширотной ионосферы. Для этого в модельных расчетах в полосе поляризационного шириной 1-2 градуса дополнительно задавалось электрическое поле северного направления в диапазоне от 5 до 100 мВ/м.



Результаты модельных расчетов сопоставлены с экспериментальными данными наземных станций ионосферного зондирования в конкретные

дни весеннего равноденствия. Показано удовлетворительное согласие модельных значений электронной концентрации с ионосферными плазменными частотами, измеренными с наземных станций.

А.Е. Степанов, И.А. Голиков, В.И. Попов, Е.Д. Бондарь, **В.Л. Халипов**, Структурные особенности субавроральной ионосферы при возникновении поляризационного джета, Геомагнетизм и аэронавигация, 2011, том 51, № 3 (принята в печать).

Халипов Виктор Лаврентьевич, к.ф.-м.н., т. 333-32-89, khalipov@iki.rssi.ru

25. Прохождение свистовых волн через ионосферу.

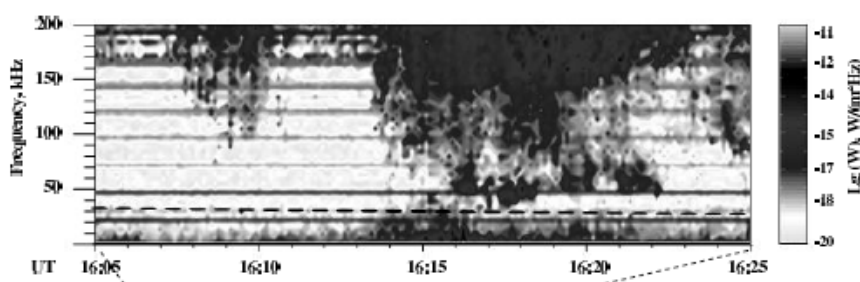
Теоретически исследован вопрос о выходе свистовой волны, распространяющейся по магнитосферной траектории, в ионосферу и атмосферу Земли. Этот процесс связан с трансформацией волны, распространяющейся в магнитоактивной плазме, в электромагнитную волну, которая может распространяться в свободном пространстве. Эта трансформация, которая происходит в существенно неоднородной столкновительной плазме, требует для своего описания волнового подхода. Наличие в свистовом диапазоне нераспространяющейся моды делает численное решение соответствующих уравнений нетривиальной задачей. Получено поле свистовой волны, падающей на ионосферы сверху, во всем диапазоне высот, и вычислен коэффициент отражения волны как функция частоты. Дано объяснение квазипериодического поведения коэффициента отражения, что связано с резонансным характером поглощения волн в нижней ионосфере.

I.V. Kuzichev, D.R. Shklyar. On full-wave solution for VLF waves in the near-Earth space, J. Atm. Solar-Terr. Phys., 72, 1044–1056, doi:10.1016/j.jastp.2010.06.008, 2010.

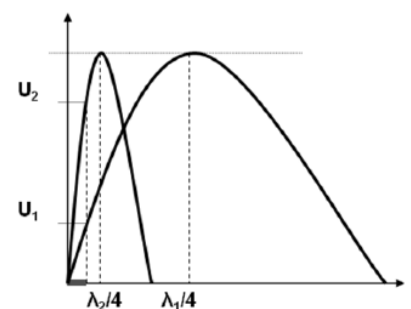
Шкляр Давид Рувимович, д.ф.-м.н., т. 333 45 34, david@iki.rssi.ru

26. Регистрация волноводной моды в источнике АКР.

При анализе Аврорального Километрового Радиоизлучения во время взрывной фазы геомагнитной суббури было найдено, что при прохождении полярной границы авроральной области регистрируется низкочастотное излучение, частота которого на 10-20 кГц выше, чем локальная гирочастота электронов. Нижняя граница спектра этого излучения изменяется на 20-30 кГц за 4-6 минут, изменение может носить как монотонный характер, так и иметь минимум. Более детальный анализ показал, что это излучение представляет собой драматическое увеличение интенсивности АКР на нижней частоте обрезания. Такое увеличение авторы интерпретировали как наблюдение волноводной моды в источнике АКР: поскольку антенна прибора ПОЛЬРАД представляет собой короткой диполь (база электрической антенны 22 метра, что много меньше длины волны ЭМ излучения), то медленная волноводная мода лучше согласована с приемной антенной и наводит на ней большее напряжение. Наблюдаемая в эксперименте



Спектрограмма низкочастотного АКР



Схема, объясняющая видимое усиление амплитуды излучения для медленных волн

амплитудная модуляция волноводной моды интерпретируется авторами, как результат интерференции волн в волноводе, стенки которого «гофрированы» гидромагнитными колебаниями, которые наблюдаются в этой области.

I.L. Moiseenko, M.M. Mogilevsky, D.V. Chugunin, T.V. Romantsova, J. Hanasz, Waveguide modes in the AKR source, PRE-VII, Graz, Austria, September 15-17, 2010, p. 101.

Могилевский Михаил Менделевич, к.ф.-м.н., т. 333-14-3 , mogilevsky@romance.iki.rssi.ru

27. Ускорение ионосферных частиц на полярной границе аврорального овала

На основе результатов измерения на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 параметров заряженных частиц и электромагнитного излучения было установлено, что при возмущенных геомагнитных условиях, когда полярная граница овала смещается в сторону полюса, в узкой области в районе границы наблюдаются интенсивные потоки горячих ионов, идущих из ионосферы. Оценки «классического» механизма разогрева косыми альвеновскими волнами показывают, что интенсивность последних явно не достаточна для такого разогрева. Предложен механизм, связанный с инъекцией плазмы из хвоста магнитосферы и пространственного разделения электронов и ионов. Оценки необходимого времени пробега и энергетические характеристики ускоренных ионов хорошо согласуются с результатами измерений.



Д.В. Чугунин, И.Л. Моисеенко, М.М. Могилевский, Т.В. Романцова, Б. Бойчев, Ж.-А. Собо, Я. Ханаш, Нагрев ионосферных ионов на полярной кромке авроральной области, конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 8-12 февраля 2010 г., ИКИ РАН, Сб. тезисов, с. 84.

Chugunin, Dmitriy; Mogilevsky, Mikhail; Moiseenko, Irina; Romantsova, Tatiana; Hanasz, J.; Sauvaud, Jean-Andre, Heating of ionospheric ions on polar border of auroral region, 38-th General Assembly COSPAR, D-31-0061-10, Bremen, Germany, Final Program, p.114, 2010.

Могилевский Михаил Менделевич, к.ф.-м.н., т. 333-14-33, mogilevsky@romance.iki.rssi.ru

28. Изучение связи геомагнитных пульсаций с ионосферной конвекцией и высыпаниями

1. Выполнен анализ одновременных наблюдений вариаций электрического поля и скорости конвекции в ионосфере Земли на радарх системы STARE и EISCAT и геомагнитных пульсаций типа Pc5 на сети скандинавских магнитометров IMAGE. Выявлены неизвестные ранее эффекты возбуждения квазипериодических ионосферных неоднородностей, связанных с геомагнитными пульсациями резонансной природы. С помощью специально разработанных программ проведено исследование пространственно-временной динамики ионосферного электрического поля по данным наблюдений скорости конвекции на радарх STARE и EISCAT, в результате чего построены кеограммы геомагнитных и ионосферных пульсаций с разрешением, значительно превышающим наземные данные. Установлено, что на всех исследуемых широтах авроральной зоны спектры геомагнитных пульсаций и спектры вариаций электрического поля в слое E ионосферы на высотах 100-120 км совпадают. Показана возможность одновременного возбуждения резонансных колебаний на частоте около 3 мГц в двух областях широт, пространственно разделенных плазмопаузой.

2. Выполнен анализ взаимосвязи различного масштаба электромагнитных волн в магнитосфере (геомагнитных пульсаций Pc5 в полосе частот 1-5 мГц и вистлер моды ОНЧ-хоров в полосе частот 0.7-3.0 кГц) с высыпанием в ионосферу энергичных (20-40 кэВ) электронов, определяемых по данным риометрических измерений на частоте 30 МГц. Наземные наблюдения на скандинавском профиле станций сопоставлены со спектральными характеристиками солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП). Обнаружен общий спектральный максимум на частоте 2 мГц в динамическом давлении солнечного ветра, Vz-компоненте ММП, интенсивности ОНЧ-хоров, вариациях риометрического поглощения и амплитуде геомагнитных пульсаций, наблюдаемых одновременно в очень широком диапазоне широт – от авроральной зоны до геомагнитного экватора. Наиболее вероятным агентом, модулирующим вариации высыпаний энергичных электронов и интенсивность ОНЧ-хоров может быть компонента сжатия полоидальных Pc5 пульсаций, возбуждаемых в магнитосфере Земли квазипериодическими вариациями динамического давления солнечного ветра.

Клейменова Н. Г., Козырева О. В., Власов А. А., Успенский М. В., Кауристи К. Послеполуденные геомагнитные пульсации Pc5 на земной поверхности и в ионосфере (радары STARE), Геомагнетизм и Аэрономия, том 50, № 3, с. 344–353, 2010.

Manninen, J., N. G. **Kleimenova**, O. V. Kozyreva, and T. Turunen, Pc5 geomagnetic pulsations, pulsating particle precipitation, and VLF chorus: Case study on 24 November 2006, J. Geophys. Res., 115, A00F14, doi:10.1029/2009JA014837, 2010.

Клейменова Наталия Георгиевна, д.ф.-м.н., проф., 254-42-90, kleimen@ifz.ru

29. Анализ связи долготных распределений F-рассеяния с неоднородностями плотности плазмы в окрестности геомагнитного экватора.

Проведен анализ результатов наблюдений на спутнике “КОСМОС-900” неоднородностей плотности плазмы в области геомагнитного экватора и долготных распределений экваториального F-рассеяния по данным спутника “ИНТЕРКОСМОС-19”. Показано, что зависимость распространения радиосигналов в ионосфере от геофизических параметров связана с развитием электростатической неустойчивости неоднородной ионосферной плазмы. Долготная зависимость F-рассеяния может отображать влияние на ионосферу энергетических источников, расположенных вне ионосферного слоя, рассеивающего радиоимпульс. Проявление долготного эффекта в экваториальном F-рассеянии в области Атлантики можно объяснить влиянием конусной неустойчивости на электродинамику плазмы в Южно-Атлантической геомагнитной аномалии.

Г. Л. Гдалевич, А. Х. Депуева, Н. И. Ижовкина, **В. Д. Озеров**, Неустойчивые плазменные неоднородные структуры в верхней ионосфере и F-рассеяние, Геомагнетизм и Аэрономия, 50, No. 1, 72-81, 2010.

Гдалевич Геннадий Лазаревич, д.ф.-м.н., т. 333-52-55, ggdalevi@iki.rssi.ru

30. Неустойчивость экмановского типа в E-слое ионосферы.

На основании определённой аналогии физических условий в области верхней атмосферы, переходной от мезосферы к нижней термосфере (МНТ) (~ 85-110 км), и атмосферном пограничном слое (АПС) впервые для верхней атмосферы с учетом плазменной компоненты получены оценки спиральности и проанализирована неустойчивость экмановского типа. Проведенный расчет ориентации образующихся при этом периодических структур согласуется с экспериментальными данными. Полученные результаты позволяют по-новому интерпретировать динамические процессы на высотах МНТ, где механизмы неустойчивостей экмановского типа ранее не рассматривались. Предложен механизм образования фронтальных структур в E области ионосферы основанный на неустойчивости экмановского типа, когда важным оказывается учет спиральности крупномасштабного потока и турбулентности в нейтральной компоненте слабоионизованной плазмы ионосферы. Предполагается исследование развития структур в условиях сопоставимого вклада магнитного поля и силы Кориолиса, для высот, переходных между E и F слоями ионосферы.

О.Г.Чхетиани, С.Л.Шалимов, Спиральность в верхней атмосфере и неустойчивости экмановского типа, ДАН, том 431(1), с. 113–118, 2010.

Чхетиани Отго Гурамович, д.ф.-м.н., тел.8-495-333-22-23, ochkheti@mx.iki.rssi.ru

V. Планеты и гелиосфера

31. Потоки малоэнергичных ионов и магнитное поле на внутренней границе гелиосферы.

По данным космических аппаратов *Voyager 1* и *Voyager 2* проведено сравнение временных профилей интенсивности малоэнергичных ионов и величины магнитного поля в разные периоды солнечной активности во внешней гелиосфере. Показано, что временные, спектральные и статистические характеристики потоков частиц и магнитного поля в областях гелиосферы до и после терминальной ударной волны в 2002-2008 гг. имели схожую динамику в разных полусферах. Это подобие позволило предположить, что в области внутренней границы гелиосферы существовала квазистабильная пространственная структура, движущаяся вместе с терминальной ударной волной в соответствии с давлением солнечного ветра и также, возможно, под воздействием межзвездной среды. Было обнаружено, что пространственные размеры большинства деталей этой структуры меньше на V2, что, возможно, обусловлено изменением уровня солнечной активности, разницей в широте расположения космических аппаратов и также влиянием межзвездного магнитного поля.

И.С. Веселовский, М.А. Зельдович, Потоки малоэнергичных ионов и магнитное поле на внутренней границе гелиосферы, Космические исследования Т. 48, № 2, С.129-138, 2010

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

32. Сравнение плазменных процессов, для которых необходим одновременный учет нескольких или многих пространственно-временных масштабов в гелиосфере и магнитосферах планет.

Представлены общие и индивидуальные методы описания ламинарных и турбулентных ситуаций. На отдельных примерах показана важная роль геометрических условий, обеспечивающих присутствие или отсутствие универсальных сценариев и степенных спектров турбулентности.

Shaikh, Dastgeer; **Veselovsky, I. S.**; Lu, Q. M.; Zank, G. P., From Micro- to Macro-scales in the Heliosphere and Magnetospheres, eprint 2010arXiv1005.4899S

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

33. Анализ данных КА Interstellar Boundary Explorer (IBEX)

Продолжена работа в рамках проекта NASA Interstellar Boundary Explorer (IBEX) по измерению энергичных атомов гелиосферного происхождения в диапазоне энергий от 200 эВ до 6 кэВ. Запуск КА IBEX был осуществлен осенью 2008 г., а в 2009 году были получены первые полные карты неба в потоках ЭНА (изображения неба в ЭНА). На картах неба была обнаружена узкая простирающаяся через все область, названная поясом ЭНА, потоки нейтральных энергичных частиц из которой в 2-3 раза превышают потоки из остальных областей. Анализ результатов кинетико-магнитогидродинамического моделирования показал, что положения пояса ЭНА хорошо коррелирует с кривой на гелиопаузе (контактной поверхности) вдоль которой радиальная компонента межзвездного магнитного поля равна нулю. Таким образом, была показана корреляция положения пояса ЭНА с направлением и величиной межзвездного магнитного поля. Впервые было дано физическое объяснение обнаруженному поясу ЭНА. Для этого была разработана усовершенствованная модель взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой. Этой модели было сделано предположение (которое еще предстоит доказать или опровергнуть) об отсутствии рассеяния захваченных протонов в межзвездной среде в окрестности гелиопаузы. В данном предположении модель позволяет объяснить данные КА IBEX не только качественно, но и количественно.

Chalov, S. V., **Alexashov, D. B.**, McComas, D., **Izmodenov, V. V.**, **Malama, Y. G.**, Schwadron, N., Scatter-free Pickup Ions beyond the Heliopause as a Model for the Interstellar Boundary Explorer Ribbon, The Astrophysical Journal Letters, Volume 716, Issue 2, pp. L99-L102, 2010.

Измоденов Владислав Валерьевич, д.ф.-м.н., т. 333-43-56, izmod@iki.rssi.ru
Алексашов Д.Б., н.с., т. 333-43-56

34. Моделирование нестационарных процессов в гелиосфере

Проведены расчеты в рамках двумерной нестационарной кинетико-газодинамической модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой с учетом реальных данных измерений параметров солнечного ветра на 1 а.е. (космический аппарат OMNI) за последние три солнечных цикла (1933 - 2010 гг). Получены флуктуации расстояния до гелиосферной ударной волны и гелиопаузы для трех направлений – навстречу набегающему потоку межзвездной среды, Voyager 1 и Voyager 2. Показано, насколько близко к Солнцу приближается гелиосферная ударная волна и гелиопауза под влиянием аномально низкого динамического давления солнечного ветра в 2008-2009 гг.

Показано, что в середине 2010 года гелиосферная ударная волна находилась на ближайшем (к Солнцу) расстоянии за последние (по меньшей мере) 3 солнечных цикла. Учитывая движение ударной волны в феврале 2010 года «Вояджер-1» находится внутри гелиошиза на 33 а.е., в «Вояджер-2» - на ~ 17 а.е. Дана оценка времени возможного пересечения гелиопаузы космическим аппаратом Voyager 2.

На основе двумерной нестационарной кинетико-газодинамической модели было рассмотрено распространение произвольного сильного модельного возмущения в сверхзвуковом солнечном ветре и его взаимодействие с гелиосферной ударной волной. Возмущение на 1 а.е. моделировалось резким произвольным увеличением параметров плазмы (плотности, скорости и давления) в течение некоторого периода времени (5-14 дней). Показано, что по мере распространения в сверхзвуковом солнечном ветре модельное возмущение эволюционирует в структуру, состоящую из передней (forward) ударной волны, обратной (reverse) ударной волны и тангенциального разрыва между ними, а также области разрежения. При распространении этой структуры в область гелиосферного ударного слоя, гелиосферная ударная волна совершает колебания около положения равновесия, двигаясь сначала в направлении от Солнца, затем приближаясь к Солнцу и затем возвращаясь в первоначальное положение равновесия.

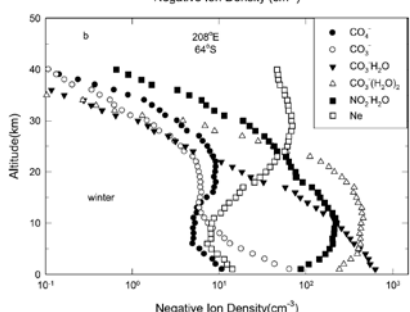
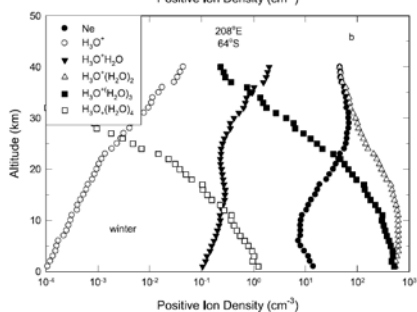
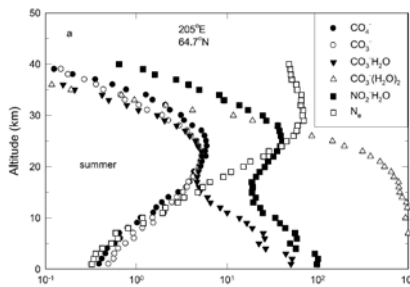
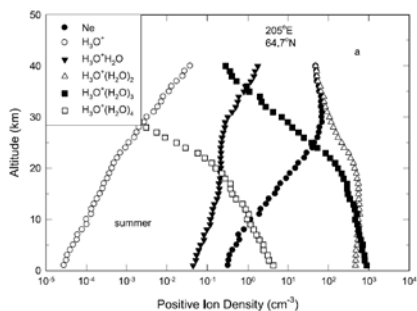
Provornikova E.A., V.V. Izmodenov, M.S. Ruderman, Y.G. Malama, Non-stationary plasma flow in the heliosheath, Генеральная ассамблея Европейского геофизического общества (EGU General Assembly), 2-7 мая 2010, Вена, Австрия, Сборник абстрактов, Vol. 12, № EGU2010-9738-1, 2010.

Проворникова Е.А., Рудерман М.С., Измоленов В.В., Малама Ю.Г., Нестационарные эффекты в области гелиосферного ударного слоя, Сб. тезисов конференции “Физика плазмы в солнечной системе”, с. 49, ИКИ РАН, 8-12 февраля 2010, Москва, 2010.

д.ф.-м.н. Измоленов В.В. (тел. 333 43 56), izmod@iki.rssi.ru
 м.н.с. Проворникова Е.А. (тел. 333 43 56), provea@iki.rssi.ru

35. Исследование влияния зональных ветров на концентрацию положительных и отрицательных ионов, и ионный состав нижней атмосферы Марса.

Проведено количественное моделирование влияния зональных ветров на слой D марсианской ионосферы. Скорости ионообразования при воздействии галактических космических лучей, концентрации различных ионов и электронов рассчитывались в диапазоне широт 60°S–64°S, 64.7°N–67.3°N и долгот 0° and 360°E. В расчетах использовались распределения температуры и плотности тропосферы по данным радиозатменных экспериментов со спутника Mars Global Surveyor в период низкой солнечной активности. Показано постоянное присутствие зависящего от долготы высотного максимума электронной концентрации в ночной ионосфере Марса на уровне



слоя D. Мода 2 полусуточного прилива преобладает в летнее время, а мода 3 – в зимнее. Кластеры воды $H_3O^+(H_2O)_n$, $NO_2^-(H_2O)_n$ и $CO_3^-(H_2O)_n$ определяют ионный состав слоя D марсианской ионосферы.

Рис. 2. Высотные профили основных положительных (справа), отрицательных (слева) ионов и электронов в атмосфере Марса в летнее (64.7N, 205E, вверху) и зимнее (64S, 208E, внизу) время.

М.И. Веригин, д.ф.-м.н., т. 333-32-33, verigin@iki.rssi.ru

Haider, S. A., M. A. Abdu, I. S. Batista, J. H. A. Sobral, V. Sheel, G. J. Molina-Cuberos, W. C. Maguire, and **M. I. Verigin**, (2009), Zonal wave structures in the nighttime tropospheric density and temperature and in the D region ionosphere over Mars: Modeling and observations, *J. Geophys. Res.*, 114, A12315, doi:10.1029/2009JA014231.

36. Сопоставление влияния рентгеновской вспышки и корональной инжекции массы на электронную концентрацию слоя E земной и марсианской ионосфер.

По данным спутника Mars Global Surveyor, полученным в период с 12 по 18 мая 2005 г. исследовано влияние рентгеновской вспышки и корональной инжекции массы на интегральную электронную концентрацию (ТЕС) слоя E марсианской ионосферы во время сильных солнечных событий 13 мая. Во время вспышки моделирование ТЕС слоя E марсианской ионосферы проводилось с использованием измеренного потока рентгеновского излучения. Показано, что солнечная вспышка привела к росту интегральной электронной концентрации слоя E в 6-10 раз. Отклик на это событие наблюдался также в плазменной частоте спорадического слоя E земной ионосферы приблизительно в то же время, что и по наблюдениям на MGS.

Haider, S. A., M. A. Abdu, I. S. Batista, J. H. Sobral, Esa Kallio, W. C. Maguire, and **M. I. Verigin** (2009), On the responses to solar X-ray flare and coronal mass ejection in the ionospheres of Mars and Earth, *Geophys. Res. Letters*, 36, L13104, doi:10.1029/2009GL038694.

Веригин Михаил Иванович, д.ф.-м.н., т.333-32-33, verigin@iki.rssi.ru

VI. Теоретические исследования

37. Метастабильные токовые слои в бесстолкновительной плазме: изучение равновесий, неустойчивостей и процессов ускорения частиц.

1) Подготовлен и принят к печати обзор, посвященный плазменным структурам с предельно малым поперечным масштабом — тонким токовым слоям, открытым и исследованным в процессе спутниковых наблюдений, проводившихся в хвосте магнитосферы Земли в последние десятилетия. Образование тонких слоев связано с проявлением сложных динамических процессов, развивающихся в бесстолкновительной космической плазме во время геомагнитных возмущений и вблизи областей пересоединения. В обзоре описаны модели тонких токовых структур в хвосте магнитосферы Земли, в основе которых заложены представления о квазиadiaбатической динамике ионов в относительно слабом магнитном поле нейтрального слоя хвоста магнитосферы, где ионы могут размагничиваться. Показано, что функция распределения ионов может быть представлена в виде функции интегралов движения частиц: полной энергии и квазиadiaбатического инварианта. Рассмотрены различные модификации исходного равновесия, включающие в себя учет токов замагниченных электронов, вклад

ионов кислорода, асимметрию источников плазмы и эффекты, связанные с «немаксвелловским» видом функций распределения частиц. Проведено сопоставление теоретических результатов и данных наблюдений, полученных спутниковой миссией Cluster. Исследованы различные плазменные неустойчивости, развивающиеся в тонких токовых слоях. Проведен анализ эволюции разрывной моды и найдены параметрические области, в которых возможен рост данной моды. Таким образом, на основе квазиadiaбатической модели токового слоя решен парадокс полной стабилизации разрывной моды в токовых слоях с нормальной компонентой магнитного поля. Показано, что в широком диапазоне значений параметров токового слоя и направлений распространения крупномасштабных неустойчивых волн в системе могут развиваться различные модификации дрейфовых неустойчивостей (изгибная и перетяжная моды). На основе концепции турбулентного электромагнитного поля, образующегося в результате развития и насыщения неустойчивых волн, предложен механизм ускорения заряженных частиц в турбулентных токовых слоях и получены степенные энергетические спектры ускоренных частиц.

Зелёный Л.М., Х.В. Малова, А.В. Артемьев, В.Ю. Попов, А.А. Петрукович, Тонкие токовые слои в бесстолкновительной плазме: равновесная структура, плазменные неустойчивости и ускорение частиц, Физика плазмы, 2010, в печати

2) Изучены свойства разных равновесных токовых конфигураций, включающих в себя тонкие токовые слои, где электроны являются замагниченными, а ионы размагничиваются в нейтральном слое и движутся вдоль особых петляющих орбит. Показано, что тонкие токовые слои обладают новыми свойствами по сравнению с хорошо изученными изотропными структурами. В частности, для них характерны многомасштабность и метастабильность. Тонкие токовые слои могут длительное время находиться в состоянии равновесия, а потом спонтанным образом разрушаться с высвобождением большого количества энергии в виде кинетической энергии заряженных частиц и электромагнитных волн. Исследовано влияние многомасштабности на устойчивость токовых слоев по отношению к разрывной (тиринг-) и кинк- модам. Показано, что экспериментальные наблюдения эволюции токовых слоев в хвосте земной магнитосферы согласуются с концепцией метастабильности, заложенной в работах СИ. Сыроватского и А.А. Галева. Анализ экспериментальных данных подтверждает, что большинство наблюдаемых в хвосте земной магнитосферы тонких токовых слоев являются метастабильными: их положение в пространстве параметров определяет конечность времени устойчивости по отношению к разрывной моде. Так, в процессе развития предварительной фазы суббури, токовые слои «перемещаются» в пространстве параметров по направлению к области неустойчивости. Показано, что концепция метастабильности, объясняющая чередование длительных подготовительных фаз с быстрым высвобождением запасенной энергии, находит применение в современной теории магнитосферных суббурь. Возможность развития разрывной и сдвиговой неустойчивостей (симметричная и несимметричная моды) исследованы в широкой области параметров задачи.

Зеленый Л.М., Артемьев А.В., Малова Х.В., Петрукович А.А., Накамура Р., Метастабильность токовых слоев, Успехи Физических Наук, Т. 180, N 9, , С. 973-982, DOI:10.3367/UFNr.0180.201009f.0973, 2010.

3) Построена самосогласованная теория анизотропных токовых равновесий, поддерживаемых в плазме с немаксвелловским распределением частиц по скоростям в случае, когда плазма состоит из холодных электронов и двух горячих ионных компонент с разными температурами. Ионные популяции плазмы описываются в рамках квазиadiaбатического приближения, в то время как электроны – в МГД приближении.

Получены приближенные стационарные решения системы уравнений Власова-Максвелла и проведено их параметрическое исследование. Показано, что эти решения могут описывать разнообразные профили токовых слоев: от тонких токовых структур с максимумом плотности тока в нейтральном слое до сравнительно «толстых» токовых слоев с двумя или тремя максимумами плотности тока. Также показано, что электронная компонента с анизотропным распределением доминирует в центре токового слоя и может поддерживать узкий центральный пик плотности тока. Ионная компонента доминирует на периферии токового слоя, определяя его характерную толщину. Проведено сравнение с результатами численного моделирования в двухтемпературной плазме (метод крупных частиц) и с экспериментальными данными, полученными на спутниках Cluster. Это сравнение выявило хорошее соответствие между результатами теоретического анализа, численного моделирования и экспериментальными данными; это позволяет сделать вывод о том, что разрабатываемая теория достаточно адекватно описывает бесстолкновительные токовые слои в космической плазме.

Малова Х.В., Л.М. Зелёный, О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, В.Ю. Попов, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович, Токовый слой в бесстолкновительной немаксвелловской плазме: самосогласованная теория, моделирование и сравнение со спутниковыми экспериментами, Физика плазмы, Т.36, N9, с. 897-915, 2010.

4) Вклад нескольких наиболее важных механизмов ускорения и нагрева частиц плазмы в магнитосфере Меркурия был исследован в рамках различных моделей магнитосферы Меркурия. Показано, что самые эффективные механизмы ускорения в магнитосфере Меркурия – рассеяние частиц на плазменной турбулентности и рассеяние в результате многократных диполизаций во время суббуревых возмущений (которые происходят гораздо чаще, чем на Земле и имеют существенно меньшую продолжительность). Сравнение с аналогичными плазменными процессами в магнитосфере Земли показывает, что вклад этих механизмов ускорения и нагрева является более существенным для Меркурия, чем для Земли, из-за малости магнитосферы Меркурия, ее сильной изменчивости и близости к Солнцу. Оценен верхний предел энергий ускоренных частиц, который определяется соотношением между ларморовскими радиусами ускоренных частиц и размерами меркурианской магнитосферы: когда частицы достигают предельных энергий (для Меркурия – порядка сотни кэВ), они не могут захватываться магнитосферой планеты и покидают ее.

Lev M. Zelenyi, Alexey G. Korgov, Helmi V. Malova, Victor Yu. Popov, Anton V. Artemyev and Dominique C. Delcourt, Charged particle acceleration in the Hermean magnetosphere: the role of dipolarizations, plasma turbulence and induction electric fields, in the book: ADVANCES IN GEOSCIENCES (A 6-Volume Set) - Volume 19: Planetary Science (PS) © World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., http://www.worldscibooks.com/etextbook/7158/7158_v19_toc.pdf, p.p. 9-28, 2010

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru
Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru
Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru
Артемьев Антон Владимирович, аспирант, тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Петрукович Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., тел. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru
Попов Сергей Юрьевич, студент МФТИ, тел. 333-44-77.
Васько Иван, студент Физического ф-та МГУ, 333-25-00

38. Исследование влияния эффектов границы гелиосферы на параметры межзвездных атомов водорода в межпланетном пространстве

В 2010 году удалось завершить построение новой усовершенствованной кинетической модели для описания пространственного и скоростного распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере. В данной модели учитываются как локальные эффекты солнечной гравитации, радиационного отталкивания и ионизации, существенные на расстояниях до 20 а.е. от Солнца, так и глобальные эффекты, связанные с процессами, происходящими на границе гелиосферы, т.е. на расстояниях 150-200 а.е. от Солнца. В рамках данной модели решается кинетическое уравнение Больцмана для функции распределения атомов водорода по скоростям. На первом шаге при построении граничного условия использовалось трехмерное нормальное распределение, позволяющее учитывать все нулевые, первые и вторые моменты функции распределения атомов (Катушкина, Измоленов 2010). Однако, такое представление не учитывает асимметрию функции распределения относительно максимума, вызванную кинетическим эффектом селекции. Поэтому в окончательной версии модели мы применили иной подход. А именно, функция распределения вторичных межзвездных атомов на 90 а.е. вычислялась с помощью метода Монте-Карло в самосогласованной кинетико-газодинамической модели (Baranov, Malama 1993), а затем переносилась в граничное условие для усовершенствованной горячей модели. Сравнение наших результатов с результатами «классической» горячей модели показало, что эффекты гелиосферного интерфейса особенно существенно влияют на зависимость кинетической температуры T_r в радиальном направлении от гелиоцентрического расстояния. На рис.1 показаны графики этой зависимости для трех различных моделей: красный цвет – самосогласованная кинетико-газодинамическая модель гелиосферного интерфейса (Baranov, Malama 1991); синий цвет – «классическая» горячая модель; черный цвет – усовершенствованная горячая модель. Видно, что модели, учитывающие эффекты гелиосферного интерфейса приводят к качественно другим результатам по сравнению с упрощенной классической горячей моделью.

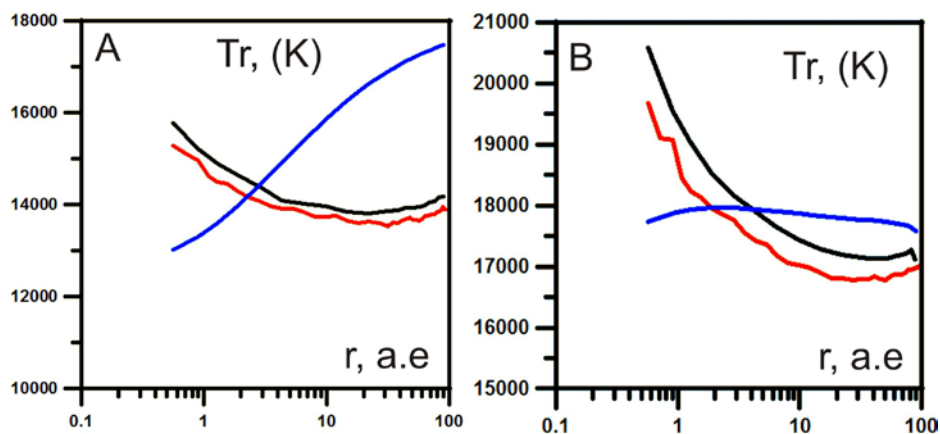


Рис.1. Зависимость радиальной температуры от расстояния в направлении навстречу (А) и перпендикулярно (В) набегающему потоку. Разные цвета соответствуют разным моделям (см. текст).

Катушкина О.А., Измоленов В.В., Влияние эффектов гелиосферного интерфейса на распределение параметров атомов межзвездного водорода внутри гелиосферы, Письма в Астрон. Ж., том 36, № 4, стр. 310-319, 2010.

Измоленов В.В., Катушкина О.А., Чалов С.В., Алексашов Д.Б., Малама Ю.Г., Рудерман М.С., Граница гелиосферы: глобальная структура, межзвездные атомы, энергичные нейтральные атомы, опубликовано в сб. «Инновационные решения для космической механики, физики, астрофизики, биологии и медицины» под ред. В.А.Садовниченко, А.И.Григорьева, М.И.Панасюка; стр. 193-222, Издательство Московского университета, Москва 2010.

Измоленов Владислав Валерьевич, д.ф.-м.н., т. 333-43-56, izmod@iki.rssi.ru

Катушкина О.А., м.н.с., т. 333-43-56, okat@iki.rssi.ru

39. Взаимодействие межзвездного частично холодного облака с окружающей горячей плазмой

Взаимодействие холодного нейтрального межзвездного облака и горячей плазмы рассматривалось в рамках двухжидкостной модели. Нейтральные атомы водорода межзвездного облака взаимодействуют с протонами окружающей плазмы в процессе перезарядки. Облако предполагается сферически-симметричным. Результаты были получены для двух случаев – адиабатического и изотермического течения плазменной компоненты в области взаимодействия. Численные расчеты были проведены при различных значениях определяющих параметров, в частности, для Локального межзвездного облака с параметрами $n_H = 0.25 \text{ см}^{-3}$, $T_H = 7000 \text{ К}$, окруженного горячей плазмой Локального пузыря $n_p = 0.0009 \text{ см}^{-3}$, $T_p = 10^6 \text{ К}$.

В рамках адиабатической модели были получены следующие результаты: 1) Процесс перезарядки атомов водорода облака и протонов окружающей плазмы приводит к формированию переходной области на границе облака; 2) концентрация плазмы максимальна на границе облака; 3) Внутри облака нейтральный газ покоится, на границе в переходной области скорости обеих компонент уменьшаются вследствие обмена импульсом при перезарядки; 4) Нейтральное облако не испытывает нагрева и остается холодным в течение всего времени взаимодействия; 5) В течение длительного времени после начала взаимодействия граница облака остается практически неподвижной. Результаты адиабатической модели позволяют заключить, что процесс перезарядки может быть одним из важнейших механизмов, который обеспечивает существование холодных межзвездных облаков в горячей плазме Локального пузыря. Численное решение показывает, что существуют волны, периодически рождающиеся на границе облака. Эти возмущения распространяются внутрь облака и затем отражаются от его центра.

В рамках модели, учитывающей изотермическое течение окружающей плазмы, было получено, что радиус межзвездного облака меняется в течение времени взаимодействия, облако расширяется. Нейтральный газ в облаке нагревается, концентрация нейтральных атомов в облаке уменьшается, а концентрация заряженных частиц увеличивается. Решение в рамках изотермического случая позволяет определить время жизни межзвездных облаков в горячей плазме. Расчеты были проведены для облаков различных радиусов и с различной концентрацией атомов водорода. Для Локального межзвездного облака, в котором движется Солнце, время жизни составляет 1,5 млн. лет.

Проворникова Е.А., Алексашов Д.Б., Измоленов В.В., "Газодинамическое моделирование взаимодействия нейтральных межзвездных облаков с окружающей их горячей плазмой", сб. «Актуальные проблемы механики», с.125-150, ИПМех РАН, Изд-во «Наука» Москва, 2011.

40. Моделирование фрагментации околозвездной оболочки и межзвездных облаков

Проведено математическое моделирование роста двумерных возмущений движения нейтральной оболочки, формируемой в межзвездной среде при выходе ионизационно-ударного фронта на поверхность облака. Найдено, что фрагментация оболочки сопровождается сверхзвуковым фонтанированием горячей плазмы в среду низкой плотности. По мере удаления от фронта ионизации концентрация заряженных частиц меняется слабо, что не согласуется с часто используемым при интерпретации наблюдений степенным законом убывания плотности с ростом расстояния от центра конденсации.

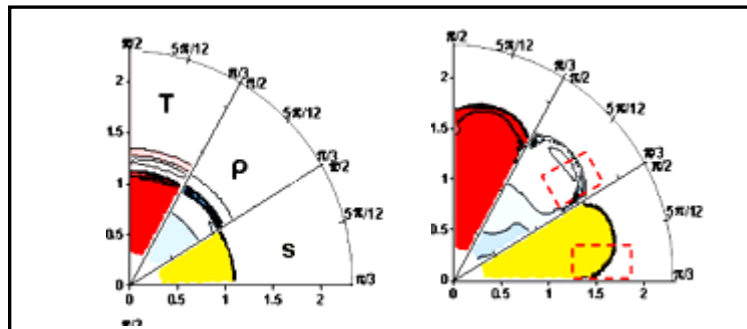


Рис.1 Фрагментация околозвездной оболочки. Изотермы (красный), изохоры (синий), изолинии степени ионизации (желтый) в два последних момента времени. (Температура отнесена к 10^4 К, плотность к начальной плотности в области НШ; температура звезды $3.9 \cdot 10^4$ К)

Рассмотрен вопрос количественной интерпретации наблюдательных данных о структуре межзвездной среды (в остатках сверхновых, в сверхзвуковом звездном ветре и т.д.). Проведены двумерные расчеты ускорения облака плотного газа под действием плоской ударной волны. Исследована морфология уплотнений за ударной волной в зависимости от начальных параметров облака. Найдено, что на эволюцию уплотнений существенно влияет геометрическая форма облака и масштабы возмущений его поверхности.

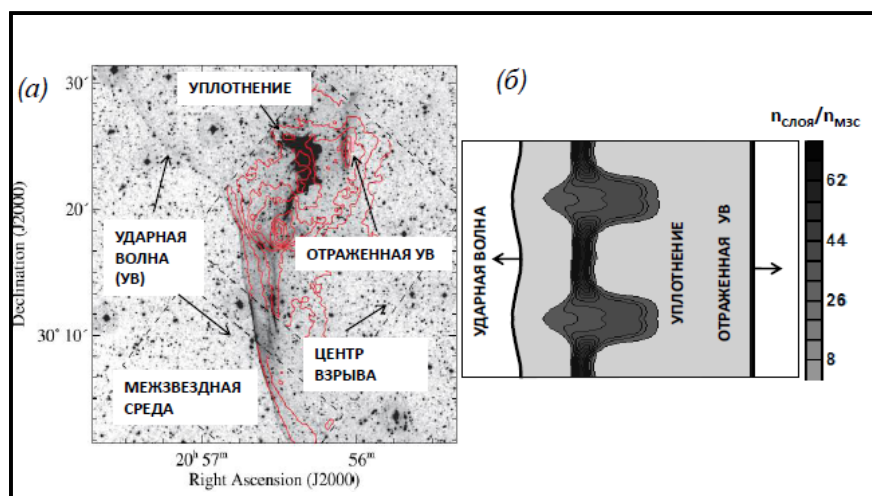


Рис.2 Морфология межзвездной среды за ударной волной: (а)- оптическое и рентгеновское (линии) изображение G74.0+8.5 Cygnus Loop; (б) - расчет развития возмущений плотного слоя (изохоры).

Котова Г.Ю., Краснобаев К.В., Численное моделирование неустойчивых двумерных движений фотоиспаряемой околозвездной оболочки, Письма в Астрономический журнал, 2010, т. 36, № 7, с. 506-516.

Р.Р. Тагирова, Расчет поля скоростей в неоднородном газовом слое при прохождении через него излучающей ударной волны, VII конф. молодых ученых. “Фундаментальные и прикладные космические исследования”, Тезисы докладов, М.: ИКИ РАН, 2010. С. 58

Краснобаев К.В., д.ф.-м.н., т. 333-43-56, kvk-kras@list.ru

Тагирова Р.Р., к.ф.-м.н., т. 333-43-56, tarenata@rambler.ru

41. Волновые движения частично ионизованной плазмы

Рассмотрены волновые движения частично ионизованной плазмы, тепловое состояние которой определяется поглощением ультрафиолетового излучения внешнего источника и высвечиванием в линиях примесных ионов. В приближении слабой нелинейности установлено влияние характерных масштабов возмущений на дисперсию волн. Для функций нагрева и охлаждения частного вида проведено численное интегрирование системы уравнений газовой динамики без ограничений на величину амплитуды волны. Свойства волновых движений в областях НИ представляют интерес при интерпретации структурной функции наблюдаемых нерегулярностей скорости плазмы. Так, ранее в приближении слабой нелинейности было установлено, что нелинейные эффекты существенны лишь для длинноволновых возмущений, масштабы которых сопоставимы с размером области изменения структурной функции. В то же время на переносе энергии по спектру существенно сказывается обусловленное радиационным охлаждением затухание волн и структурная функция в соответствии с наблюдениями не следует универсальным законам турбулентности. Эти выводы подтверждены непосредственными расчетами на основе полной системы уравнений радиационной газовой динамики, включающей перенос излучения и кинетику радиационных процессов. О влиянии дисперсии и затухания на эволюцию возмущений дают представление графики на рис. 1 и 2, соответствующие распространению волн в однородной неподвижной среде и в расширяющейся области НИ.

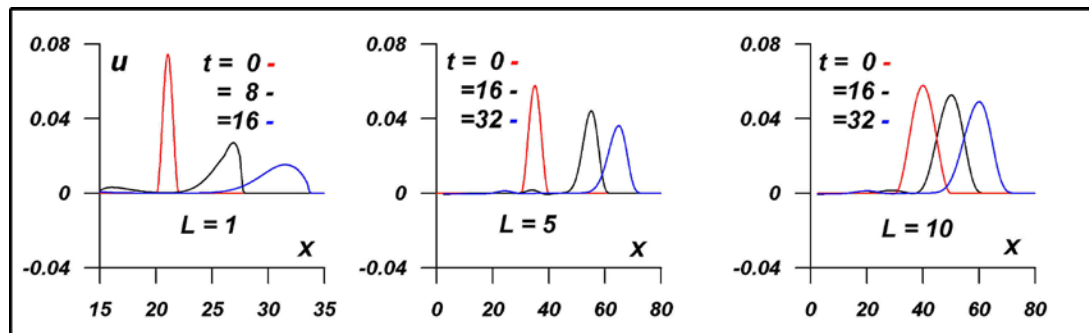


Рис. 1 Изменения со временем скорости газа $u(x,t)$ для различных длин волн L в однородной среде (скорость отнесена к скорости звука a_s , координата x и время t выражены соответственно в единицах длины охлаждения L_c и L_c/a_s)

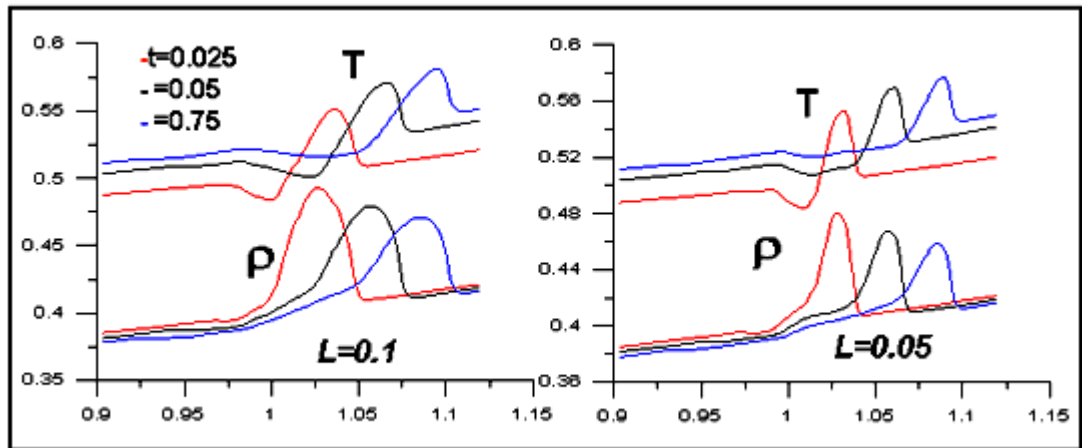


Рис. 2 Эволюция возмущений в расширяющейся области НII для $L=0.1$ и $L=0.05$ (температура отнесена к 10^4K , плотность к плотности в области НII в начальный момент времени)

Г.Ю. Котова, **К.В. Краснобаев**, Эффекты дисперсии при распространении нелинейных и ударных волн в газе с теплоподводом от внешних источников, Материалы XXXIV академических чтений по космонавтике «Актуальные проблемы российской космонавтики», С. 40, 2010.

Г.Ю. Котова, **К.В. Краснобаев**, Аналитическая теория и численное моделирование распространения нелинейных волн в околозвездном газе. Тезисы докладов научной конференции «Ломоносовские чтения», Секция механики, Москва, С. 114, 2010.

Краснобаев К.В., д.ф.-м.н., т. 333-43-56, kvk-kras@list.ru

Тагирова Р.Р., к.ф.-м.н., т. 333-43-56, tarenata@rambler.ru

42. Расчеты автоволновых режимов в газо-пылевой среде

Впервые исследовано влияние применяемых численных методов на расчет автоволновых режимов распространения волн в околозвездном молекулярном водороде с пассивной примесью пыли и окиси углерода. Установлено, что расчеты с использованием наиболее употребительным разностных схем дают согласующиеся между собой значения амплитуды в режиме насыщения. Однако профили газодинамических параметров могут значительно отличаться.

К.В. Краснобаев, Р.Р. Тагирова, Автоволны в газо-пылевой излучающей среде, Тезисы докладов научной конференции «Ломоносовские чтения», Секция механики, Москва, С. 115, 2010.

Краснобаев К.В., д.ф.-м.н., т. 333-43-56, kvk-kras@list.ru

Тагирова Р.Р., к.ф.-м.н., т. 333-43-56, tarenata@rambler.ru

43. Исследование устойчивости самогравитирующего газа

Исследованы процессы установления равновесия в плоском слое самогравитирующего газа. Установлено два характерных режима движения. Первый соответствует выходу плотности на стационарное распределение. Второй, как показывают расчеты и аналитические оценки, сопровождается увеличением плотности на несколько порядков – в пределе до бесконечности.

С. И. Арафайлов, **К.В. Краснобаев**, **Р.Р. Тагирова**. «Особенности установления стационарных режимов течения газа в поле тяжести». Материалы Всероссийской конференции «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра (HEA-2010)», Москва, 2010.

Краснобаев К.В., д.ф.-м.н., т. 333-43-56, kvk-kras@list.ru

Тагирова Р.Р., к.ф.-м.н., т. 333-43-56, tarenata@rambler.ru

44. Разработка методов расчета самосогласованных электромагнитных полей и параметров бесстолкновительной плазмы при локальных и волновых возмущениях в магнитосфере

Построены точные решения уравнений Максвелла-Власова, описывающие стационарную поперечную волну с захваченными заряженными частицами. В отсутствие фоновой плазмы фазовая скорость такой волны всегда меньше скорости света. Физическая структура волны выглядит наиболее просто в системе отсчета, движущейся вместе с волной. В этой системе построенные решения соответствуют одной из простейших бессиловых равновесных плазменных конфигураций типа токовых слоев и магнитостатического поля с однородным широм. При наличии фоновой плазмы установлено простое условие существования подобных волн с показателем преломления больше единицы. Физический смысл данного условия состоит в том, что токи, обусловленные захваченными (или, в более общем случае, резонансными) частицами, несмотря на их малую концентрацию, должны превышать противоположно направленные линейные токи в плазме. Установлено дисперсионное соотношение таких «странных» чисто поперечных волн с досветовыми скоростями, учитывающее вклад захваченных частиц наряду с линейным откликом фоновой плазмы. По сути, это уравнение служит электромагнитным аналогом нелинейного закона дисперсии, установленного Бомом и Гроссом для продольных волн пространственного заряда. Однако, если в отсутствие захваченных частиц продольные плазменные колебания лишь трансформируются в обычную ленгмюровскую волну, "досветовые" волны вообще не существуют без них. Таким образом, фактически в работе показано, что частицы, захваченные в самосогласованное электромагнитное поле, могут играть роль своеобразной замедляющей структуры в свободной (неограниченной) плазме, подобно искусственным замедляющим структурам, часто применяемым в плазменной электронике. Другой вывод работы состоит в том, что утверждение о невозможности черенковского резонанса заряженных частиц с поперечными волнами в плазме без внешнего магнитного поля, является продуктом теории возмущений (линейной теории волн в однокомпонентной плазме), и с выходом за рамки линейного приближения, вообще говоря, теряет силу, в дополнение к другим известным проявлениям нелинейности, обусловленной эффектами захвата частиц плазменными волнами.

Проведена необходимая предварительная работа расчетного характера для решения широкого класса задач о структуре трехмерных локализованных электростатических возмущений в бесстолкновительной плазме. В частности, получены достаточно общие формулы для расчетов основных моментов функций распределения заряженных частиц в сферически симметричных электростатических полях. В случае слабой нелинейности поля с помощью численных методов определен эффективный потенциал радиального движения частицы в зависимости от ее момента количества движения.

V. L. Krasovsky. Trapped particle effect on the velocity of circularly polarized electromagnetic waves in an isotropic plasma. *Physics Letters A*, v.374, p.1751, 2010.

Красовский Виктор Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-78, vkrasov@mx.iki.rssi.ru

45. Исследование динамики релятивистской заряженной частицы в однородном магнитном поле и поле плоской электромагнитной волны.

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

A. I. Neishtadt, A. A. Vasiliev, A. V. Artemyev, Surfatron acceleration of a relativistic particle by electromagnetic plane wave, <http://arxiv.org/abs/1011.2236>

А.И.Нейштадт (руководитель), д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

А.В.Артемьев, к.ф.-м.н., т. 333-2500, e-mail: ante0226@yandex.ru

А.А.Васильев, к.ф.-м.н., т. 333-53-46, e-mail: valex@iki.rssi.ru

46. Динамика заряженных частиц в поле низкочастотных волн.

Рассмотрена задача о движении нерелятивистской заряженной частицы в поле низкочастотной электромагнитной или электростатической волны, распространяющейся в плазме перпендикулярно стационарному магнитному полю. Исследованы захват частицы волной и ее дальнейшее серфотронное ускорение. Показано, что в случае электромагнитной волны возможно неограниченное ускорение частицы. В случае электростатической волны энергия частицы может расти только до определенного уровня.

A.Neishtadt, A.Artemyev, L.Zelenyi. Regular and chaotic charged particle dynamics in low frequency waves and role of separatrix crossings. Regular and Chaotic Dynamics, v.15, pp. 564-574, 2010.

Л.М.Зелёный (руководитель), академик, т. 333-52-12, e-mail: lzelenyi@iki.rssi.ru

А.В.Артемьев, к.ф.-м.н., т. 333-2500, e-mail: ante0226@yandex.ru

А.И.Нейштадт, д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

47. Захват в резонанс и серфотронное ускорение частиц высокочастотными электромагнитными волнами.

Проведено исследование динамики нерелятивистской заряженной частицы в поле нескольких высокочастотных электромагнитных волн, распространяющихся в плазме перпендикулярно стационарному магнитному полю. Захват частицы одной из волн приводит к серфотронному ускорению частицы. Показано, что влияние других волн может ограничивать величину достигаемой энергии, и получены оценки этой энергии.

A.Artemyev, A.Neishtadt, L.Zelenyi, D.Vainchtein, Adiabatic description of capture into resonance and surfatron acceleration of charged particles by electromagnetic waves. Принято в журнал "Chaos", планируется к опубликованию в декабре 2010.

Л.М.Зелёный (руководитель), академик, т. 333-52-12, e-mail: lzelenyi@iki.rssi.ru
А.В.Артемов, к.ф.-м.н., т. 333-2500, e-mail: ante0226@yandex.ru
Д.Л.Вайнштейн, к.ф.-м.н., т. 333-53-46, e-mail: dvainsh@iki.rssi.ru
А.И.Нейштадт, д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

48. Численное моделирование процессов ускорения зарядов в космической плазме волновыми пакетами с плавной огибающей амплитуды.

Выполнены численные расчеты процессов захвата и последующего ультрарелятивистского ускорения заряженных частиц пакетами электромагнитных волн конечной амплитуды с плавной огибающей в космической плазме (механизм серфинга зарядов на волнах) при распространении волн поперек внешнего магнитного поля. Задача решается численно на основе нелинейного, нестационарного уравнения второго порядка для фазы на несущей частоте волнового пакета на траектории ускоряемой частицы. Целью работы является исследование эффективности ускорения заряженных частиц волновым пакетом с плавной огибающей его амплитуды, оптимальных условий для ультрарелятивистского серфинга зарядов. Изучена временная динамика колебаний ускоряемого заряда в эффективном потенциале волнового пакета в зависимости от его пространственного размера, начальных данных заряда, фазовой скорости пакета электромагнитных волн на несущей частоте и других параметров, а также возникновение циклотронного вращения после вылета заряда из эффективной потенциальной ямы. Подтверждено, что при захвате частиц в режим серфинга поперечные к внешнему магнитному полю компоненты импульса захваченной частицы меняются практически линейно с ростом времени (для них получены аналитические асимптотики), а поперечные (относительно внешнего магнитного поля) компоненты скорости ультрарелятивистского заряда являются практически постоянными. Сформулированы оптимальные условия для реализации ультра-релятивистского серфотронного ускорения заряженных частиц в космической плазме пакетами электромагнитных волн с плавной огибающей их амплитуды. Проведенное исследование представляет интерес для интерпретации экспериментальных данных по регистрации потоков релятивистских частиц в космических условиях включая околоземное пространство. В частности, как указывалось ранее, одним из возможных механизмов генерации космических лучей является серфинг заряженных частиц на электромагнитных волнах. Этот механизм может работать как в экстремальных условиях (взрывы сверхновых), так и в более спокойной обстановке, например, в солнечной гелиосфере.

Н.С.Ерохин, Н.Н.Зольникова, Е.А.Кузнецов, Л.А.Михайловская, Динамика релятивистского ускорения заряженных частиц в космической плазме при серфинге на пакете электромагнитных волн. Вопросы атомной науки и техники, сер. Плазменная электроника, № 4 (68), с.116-120, 2010.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

49. Динамика квантовых фазовых переходов в моделях Дике и Липкина-Мешкова-Глика.

Исследована динамика квантовых фазовых переходов в моделях Дике и Липкина-Мешкова-Глика. Применен метод Truncated Wigner Approximation, в котором состояние квантовой системы заменяется ансамблем классических траекторий. Этот квазиклассический метод хорошо работает в многочастичных системах типа модели Дике. При изменении внешнего параметра в квантовой системе происходит фазовый переход, в то время как траектории из классического ансамбля испытывают прохождение через

бифуркацию. Усреднение по ансамблю классических траекторий позволяет определить динамику квантовых наблюдаемых величин.

A.P. Itin, P. Törmä, Dynamics of quantum phase transitions in Dicke and Lipkin-Meshkov-Glick models, <http://arxiv.org/abs/0901.4778>

Итин Александр Павлович, к.ф.-м.н., т. 333-53-46, alx_it@yahoo.com

50. К проблеме начальной стадии разряда. основные уравнения, параметры и характеристики. Интегралы столкновений в линеаризованных по полю кинетических уравнениях: регулярный метод их нахождения или "вторичная линеаризация" нулевого приближения? Интеграл столкновений лоренцевой плазмы и эффект Крамерса-Гинзбурга.

Используя уравнения баланса для концентраций заряженных частиц и плотностей их энергий, найдены условия, необходимые для существования пороговых напряжений (параметров). Получено аналитическое выражение для вольт-амперной характеристики (ВАХ) в плазме токамака и выявлена существенная зависимость пороговых параметров от отношения объемов плазмы и камеры, времени жизни плазмы и начальной концентрации нейтральных атомов. Выявлены два (по уровню мощности СВЧ-нагрева) разных режима ВАХ.

Развитый в работе регулярный метод нахождения и линеаризации по полю интегралов столкновений показывает, что общепринятый и давно используемый метод «линеаризации» интегралов столкновений Ландау-Балеску-Ленарда (полученных без учета электрического поля), не только не состоятелен, но и противоречит первым принципам. Выявлена физическая природа эффекта Крамерса-Гинзбурга - зависимости линеаризованного интеграла столкновений от частоты и волнового вектора поля, - и диффузионной его формы, отличной от привычной формы фоккер-планковского типа в интегралах столкновений нулевого по полю приближения. Предложен эксперимент, который позволяет еще и эмпирически дать ответ на вопрос, адекватен ли физической природе привычный метод нахождения первого по полю приближения из нулевого.

Регулярный метод нахождения интегралов столкновений и линеаризации их по полю, выявив природу эффекта Крамерса-Гинзбурга, позволяет вычислить и эффективную частоту столкновений для лоренцевой модели плазмы. Показано, что соответствующий кулоновский логарифм $L(\nu, \omega, \mathbf{q}) = L_n (q_{\max} \nu / \Omega_p) / [(\nu / \nu_T)^2 + (\omega - \mathbf{q}\mathbf{v})^2 / \Omega_p^2]^{1/2}$ зависит не только от скорости электронов \mathbf{v} , но и от волнового вектора \mathbf{q} и частоты поля Ω причем галилеевски инвариантным образом и в полном соответствии с эффектом Крамерса-Гинзбурга. На Ω и \mathbf{q} нет никаких ограничений, которые привычно возникают при общепринятом методе "вторичной линеаризации" интегралов столкновений нулевого по полю приближения.

Туганов В.Ф., К проблеме начальной стадии разряда. основные уравнения, параметры и характеристики. Вопросы атомной науки и техники, Серия "Плазменная электроника", № 4(68), с.111-115, 2010.

Туганов Валерий Федорович, г. спец., тел. 8-495-333-41-00, princet@rambler.ru

51. Резонансное туннелирование электромагнитных волн через неоднородную плазму с мелкомасштабными структурами большой амплитуды.

Рассмотрено безотражательное прохождение электромагнитной волны с круговой поляризацией через слой неоднородной киральной плазмы в отсутствие внешнего

магнитного поля. Показано, что в задаче имеются свободные параметры, изменением которых можно существенно варьировать профиль неоднородности плазмы в слое с включением любого числа различных субволновых структур, областей непрозрачности. Проведен анализ точных решений линейного уравнения Гельмгольца, описывающие безотражательное прохождение электромагнитной волны через неоднородный слой плазмы с субволновыми структурами ее плотности большой амплитуды. Показано, что плазменный слой может включать достаточно широкие области непрозрачности, а также субслои, в которых имеются всплески волнового поля большой амплитуды.

Безотражательное туннелирование волн через плазму важно для понимания механизмов выхода излучения от источников, находящихся в плотной плазме в астрофизике, оно представляет интерес для повышения эффективности поглощения мощного электромагнитного излучения при нагреве плазмы до термоядерных температур за счет проникновения волн в область достаточно плотной плазмы. Далее, в радиофизике с этим связано направление исследований по повышению эффективности просветляющих и поглощающих покрытий в диапазоне радиоволн, для разработки тонких радиопрозрачных обтекателей для антенн, где интерес представляет поиск оптимального распределения диэлектрической проницаемости по толщине просветляющего слоя, при котором будут обеспечены минимальный коэффициент отражения или эффективная передача электромагнитных сигналов от антенн, покрытых слоем плотной плазмы. Выполненный для ряда ситуаций анализ показал, что можно обеспечить безотражательное туннелирование электромагнитных волн из вакуума в неоднородный слой несмотря на скачок диэлектрической проницаемости на границе раздела. Таким образом, анализ точно решаемых моделей позволит значительно улучшить существующие представления о пространственно-временной динамике электромагнитных полей в неоднородных диэлектрических структурах с сильной пространственной дисперсией.

Меркулов Е.С., Ерохин Н.С., Резонансное туннелирование электромагнитной волны через слой неоднородной плазмы с генерацией всплесков волнового поля. XLVI Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики и химии, 19-23 апреля 2010 г., Москва, РУДН, Тезисы докладов, 2010, с.25-26.

Поверенный М.В., Ерохин Н.С. Резонансное туннелирование электромагнитной волны через слой неоднородной киральной плазмы. XLVI Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики и химии, 19-23 апреля 2010 г., Москва, РУДН, Тезисы докладов, 2010, с.27-28.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

VII. Экспериментальные и методические разработки

52. Проведение детальных квалификационных и физических испытаний двух летных образцов прибора БМСВ.

Проведены все квалификационные, стыковочные и детальные физические испытания двух летных образцов нового прибора - быстрого монитора солнечного ветра (БМСВ), который будет обладать рекордно высоким временным разрешением для определения параметров солнечного ветра (вектора потока ионов, скорости, плотности и температуры).

Прибор БМСВ разработан в ИКИ РАН совместно с коллегами из Карлова Университета и ИФА ЧАН (г. Прага, Чешская Республика). В разработке КИА прибора принимали участие коллеги из Центра космической науки и прикладных исследований АН (г. Пекин, КНР). Первый летный образец прибора уже поставлен в НПО им. Лавочкина и прошел ряд

комплексных испытаний в составе российского спутника СПЕКТР-Р. Эти испытания продолжаются. Второй летный образец также подготовлен к поставке в НПОЛ.

Руководитель работы - Застенкер Георгий Наумович, проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru

Ведущие исполнители: А.В. Лейбов, Т.И. Гагуа, В.В. Храпченков, В.В. Чернов, Ю.Н. Агафонов.

53. Разработка алгоритмов и программ определения параметров потока ионов солнечного ветра по показаниям прибора БМСВ.

Продолжается разработка алгоритмов и программ вторичной обработки, т.е. определения параметров солнечного ветра по показаниям прибора БМСВ. Первые версии таких программ уже созданы. По результатам этой работы выпущена статья и издан препринт ИКИ РАН, еще два препринта готовятся к печати.

Gagua I.T., Gagua T.I., Zastenker G.N. Determination of a Solar Wind Ion Flux Value and Direction Using a Set of Integral Faraday Cups for the Fast Monitor of Solar Wind, Proceedings of WDS-09, pp.22-29, 2009

Г.Н. Застенкер, Т.И. Гагуа, И.Т. Гагуа, Н.Н. Шевырев, «Усовершенствованная методика определения вектора потока ионов солнечного ветра по показаниям разнонаправленных интегральных датчиков быстрого монитора солнечного ветра БМСВ (эксперимент «Плазма-Ф» на спутнике «Спектр-Р»)), Препринт ИКИ РАН, Пр-2156, 2010.

Застенкер Георгий Наумович, проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru

Гагуа Теймураз Ираклиевич, н.с., к.ф.-м.н., т.: 333-43-56, tg54@mail.ru

Гагуа Ираклий Теймуразович, математик, т.:333-43-56, astral39@rambler.ru

Колоскова Ирина Вадимовна, вед. инженер, т.:333-13-88, irinakoloskova@mail.ru

Рязанцева Мария Олеговна, к.ф.-м.н., т. 333-1388, orearm@hotmail.ru

54. Анализ данных эксперимента ROMAP с к/а ROSETTA

Продолжалась работа по анализу данных по трассе плазменного прибора РОМАП, установленного на к/а РОЗЕТТА для исследования плазменной структуры на поверхности кометы Чурумова-Герасименко после 2014 г. В частности, проведен анализ поведения канальных электронных умножителей – каналотронов, в экстремальных условиях. Данные показывают, что прибор РОМАП функционирует нормально.

A. Remizov, SPM/ROMAP – Plasma Monitor onboard the ROSETTA Lander PHILAE: Current status, calibration results, in-flight tests, common work with orbiter plasma instrument RPC – comparison of electron measurements, MPS Katlenburg-Lindau Workshop, Germany, 20 August 2010.

А.П. Ремизов, Г. Аустер, И. Апати, Х. Розенбауер, М. Хильхенбах, Особенности работы вторичных электронных умножителей (каналотронов) при высоких положительных и отрицательных температурах, Конференция "Физика плазмы в солнечной системе" Сборник тезисов, ИКИ РАН, 8-12 февраля 2010 г., с. 60.

Ремизов Анатолий Петрович, к.ф.-м.н., т. 333-32-89, aremizov@iki.rssi.ru

55. Подготовка эксперимента РЕПИН на к/а РЕЗОНАНС.

Продолжалась работа по разработке плазменного прибора малых энергий РЕПИИ для российского проекта РЕЗОНАНС. Разработаны принципы оптимального размещения датчиков прибора на к/а и предложены способы решения этой задачи.

M. Verigin, A. Remizov, V. Bezrukikh, G. Kotova, Key objectives of cold plasma measurements in mission REsonans by Plasma INstrument REPIN, International symposium "The inner magnetosphere and the auroral zone physics: Topical objectives and ways of their achievement", Program, Space Research Institute, Moscow, June 1 - 5, 2010, p.2

Ремизов Анатолий Петрович, к.ф.-м.н., т. 333-32-89, aremizov@iki.rssi.ru

Безруких Владилен Владимирович, к.ф.-м.н., т. 333-20-11, vbez@romance.iki.rssi.ru

Веригин Михаил Иванович, д.ф.-м.н., т.333-32-33, verigin@iki.rssi.ru

56. Эскизный проект по эксперименту с имаджером «Летиция» на КА «Зонд» (проект «Ионозонд» в программе Геофизика).

Имаджер «Летиция» представляет собор широкоугольный (поле зрения 30 град.) двухканальный монохроматический (1й канал измеряет интенсивность линии 630 нм [OI], 2-ой канал измеряет интенсивность линии 427,8 нм N_2^+) прибор с регистрацией изображений на охлаждаемые матрицы (1024 x 1024). Направление осей прибора обеспечивает захват авроральных изображений как на фоне неосвещенной Земли, так и лимбовые. *Цель эксперимента:* Получение мгновенных пространственных распределений (в рамках поля зрения) потока энергии высыпавшихся электронов и их средней энергии.

Кузьмин Александр Константинович, к.ф.-м.н., alkkuzmin@mail.ru

57. Эскизный проект (вместе с Центральной Аэрологической Обсерваторией /ЦАО/ Росгидромет) по эксперименту с имаджером «Авровизор-ВИС» (проект «Метеор-МП»).

Имаджер «Авровизор-ВИС» представляет собор широкоугольный (поле зрения 30 град.) трехканальный монохроматический (1й канал измеряет интенсивность линии 630 нм [OI], 2-ой канал измеряет интенсивность линии 427,8 нм N_2^+ , 3-й канал измеряет интенсивность водородной эмиссии H_β λ 486,1 нм) прибор с регистрацией изображений на охлаждаемые матрицы (1024 x 1024). Направление осей прибора в надир обеспечивает захват авроральных изображений на фоне неосвещенной Земли. В поле изображения всегда находится проекция магнитной силовой линии, на которой находится КА.

Цель эксперимента: Получение мгновенных пространственных распределений (в рамках поля зрения) потока энергии высыпавшихся электронов и протонов и их средней энергии. Одновременно на борту Метеор-МП будут измеряться распределения заряженных частиц и градиенты магнитного поля.

Кузьмин Александр Константинович, к.ф.-м.н., alkkuzmin@mail.ru

58. Отладка аппаратных и программных компонентов Плазменно-волнового комплекса (ПВК), который предназначен для установки на Международной космической станции (МКС) в рамках проекта «Обстановка».

В 2010 году были выполнены работы по отработке интерфейса подачи команд для ПВК от Блока сопряжения полезных нагрузок (БСПН) бортового управляющего комплекса МКС и по отработке интерфейса подачи синхропосылки. Велись работы по отладке лётного комплекта ПВК. Были написаны программы декоммутации и программы отображения

данных для Комплексных волновых зондов и магнитометра DFM1. Был отлажен путь обработки информации научных приборов с помощью Контрольно Испытательной аппаратуры создателей этих приборов. Методика была отработана для Радиочастотного Анализатора (Польша), Спектроанализатора SAS3 (Венгрия) и Корреляционного спектрометра электронов КОРЕС (Великобритания).

Грушин Валерий Аркадьевич, т. 333-40-24, vgrushin@iki.rssi.ru