

«Утверждаю»
академик-секретарь
Отделения физических наук РАН
академик РАН

_____ **И.А. Щербаков**
«__» _____ **2013 г.**

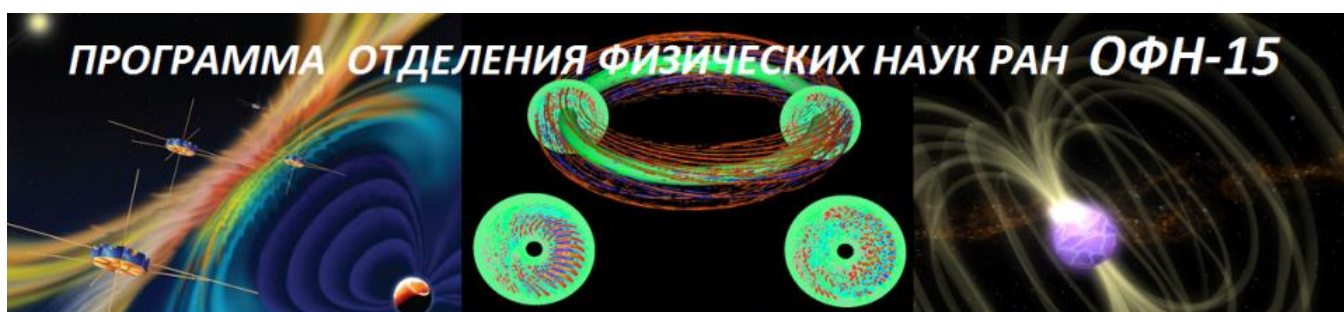
АННОТАЦИОННЫЙ ОТЧЁТ за 2013 год

По Программе фундаментальных исследований
Отделения физических наук РАН

«Плазменные процессы
в космосе и в лаборатории»

Координатор программы
Член-корреспондент РАН

Петрукович А.А.



Содержание

стр.

1. Аннотация программы.....	3
2. Участники программы.....	4
3. Проекты программы.....	5
4. Смета программы на 2013 г.....	6
5. Обзор работ по программе.....	7
6. Сводка научных результатов программы.....	9
7. Список публикаций по программе.....	22

1. Аннотация программы

Плазма – наиболее распространенное состояние видимого вещества во Вселенной. Благодаря наличию дальнедействующих электромагнитных сил в плазменных средах протекают интенсивные процессы конверсии и переноса энергии, управляемые коллективными эффектами. В наземных условиях подобная динамика плазмы определяет ее стабильность, удержание и нагрев в лабораторных установках, в том числе в УТС. В космосе эти процессы ответственны за ускорение частиц, динамику магнитного поля, в конечном счете, за излучение в астрофизических объектах, на Солнце, в магнитосфере Земли. Однако удаленные астрофизические плазменные объекты мы можем изучать только по их излучению, достигающему Земли. В плазменных оболочках Земли и гелиосфере возможно проводить наблюдения «изнутри» плазмы, с борта искусственных спутников. Космические и лабораторные эксперименты по изучению свойств плазмы дополняют друг друга. Спутниковые исследования позволяют получать экспериментальные данные в диапазонах масштабов по пространству и времени, а так же в условиях высокой разреженности недоступных в лаборатории. Напротив, на Земле возможно проводить измерения в повторяемых, контролируемых условиях, что недоступно в природных космических средах. Безусловно необходимыми элементами подобных исследований являются построение теоретических моделей и численные расчеты.

Основной целью программы является определение механизмов развития фундаментальных процессов в плазме: пересоединения, турбулентности, ускорения частиц, и т.п. экспериментальным путем (в космосе и лаборатории), теоретическими методами и посредством компьютерного моделирования.

В значительной степени программа опирается на задел, полученный в ходе работ по предыдущей программе ОФН-15 «Физика плазмы в солнечной системе» (2006-2011 гг.)

Задачи, решавшиеся в ходе исследований 2013 г:

- Динамика тонких токовых слоев: формирование, структура, разрыв
- Нелинейная динамика заряженных частиц, ускорение.
- Взаимодействия волна-частица и генерация излучений
- Турбулентность и хаос
- Процессы переноса в плазме.
- Развитие экспериментальной техники
- Развитие численных методов

2. Участники программы

Состав Совета Программы «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории»

Петрукович Анатолий Алексеевич – координатор программы, член-корреспондент РАН, ИКИ.

Франк Анна Глебовна - заместитель координатора программы, доктор физико-математических наук, ИОФ

Члены совета программы:

Голубев Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, ИПФ

Ерохин Николай Сергеевич, доктор физико-математических наук, ИКИ

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, ИКИ

Зыбин Кирилл Петрович, член-корреспондент РАН, ФИАН

Козелов Борис Владимирович, доктор физико-математических наук, ПГИ

Малова Хельми Витальевна, доктор физико-математических наук, НИИЯФ МГУ и ИКИ.

Ученый секретарь программы:

Зольникова Надежда Николаевна, кандидат физико-математических наук, ИКИ РАН

Организации - участники программы ОФН-15

- Институт космических исследований РАН
- Институт прикладной физики РАН
- Институт общей физики РАН
- Физический институт РАН
- Физико-технический институт РАН
- Полярный геофизический институт РАН
- Институт Лазерной Физики СО РАН (без финансирования)

3. Проекты программы

Название проекта	Орг-ции	Рук. Проекта
Проект №1. Динамика токовых слоев Темы работ: 1.1. Исследование самосогласованных токовых конфигураций в бесстолкновительной плазме с немаксвелловскими функциями распределения частиц по скоростям 1.2. Создание численной модели токового слоя в хвосте магнитосферы с реалистичным учетом электронной компоненты 1.3. Теоретическое и экспериментальное исследование токовых слоев в магнитосфере Земли 1.4. Магнитное пересоединение и генерация высокоскоростных потоков плазмы в токовых слоях, развивающихся в лабораторных условиях	ИПФ РАН ПГИ РАН ИКИ РАН ИОФ РАН ФТИ РАН	д.ф.-м.н. Франк А.Г. Член-корр. РАН Кочаровский В.В. к.ф.-м.н. Мингалев О.В. д.ф.-м.н. Малова Х.В. д.ф.-м.н. Франк А.Г. д.ф.-м.н. Островская Г.В.
Проект №2. Лабораторные эксперименты Темы работ: 2.1. Лабораторное моделирование линейных и нелинейных эффектов при распространении волн в космической плазме. 2.2. Лабораторное моделирование турбулентных процессов в неравновесной плазме космических магнитных ловушек	ИПФ РАН ИПФ РАН	д.ф.-м.н. Костров А. В. д.ф.-м.н. Костров А. В. д.ф.-м.н. Голубев С. В.
Проект №3. Хаос и турбулентность в плазме Темы работ: 3.1. Нелинейные явления в ионосферной плазме при воздействии на нее мощной радиоволны, частота которой близка ко второй гармонике гирочастоты электронов 3.2. Исследования роли турбулентного электромагнитного поля в процессах транспорта и ускорения заряженных частиц 3.3. Влияние плазменных микрополей на процессы переноса и некоторые элементарные процессы в плазме, в том числе неидеальной 3.4. Исследование электродинамики формирования заряда тела в космической плазме	ФИАН ИКИ РАН ИОФ РАН ИКИ РАН	Член-корр. РАН Зыбин К.П. Член-корр. РАН Зыбин К.П. к.ф.-м.н. Артемьев А.В. д.ф.-м.н. Романовский М.Ю. д.ф.-м.н. Красовский В.Л.
Проект №4. Динамика плазменных структур Темы работ: 4.1. Исследование холловской магнитной гидродинамики в разреженной космической плазме	ФТИ РАН	д.ф.-м.н. Урпин В. А. д.ф.-м.н. Урпин В. А

4.2. Взаимодействие потока плазмы с препятствием: изучение многомасштабной динамики обтекания солнечным ветром планетных магнитосфер	ИКИ РАН	д.ф.-м.н. Савин С.П.
4.3. Мини-магнитосфера и исследование новых процессов взаимодействия Солнечного ветра с малыми телами с остаточным или искусственным магнетизмом методами лабораторного моделирования	ИЛФ СО РАН	к.ф.-м.н. Шайхисламов И.Ф

5. Обзор работ по программе

Средства и методы исследований

1. Для лабораторных работ были задействованы и частично модернизированы следующие установки:

- Установка плазмы электронного циклотронного резонансного разряда в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке, поддерживаемого мощным СВЧ излучением гиротрона (ИПФ).
- Установки «Крот» и «Ионосфера» с ВЧ нагревом плазмы для моделирования нелинейных взаимодействий волн и частиц (ИПФ).
- Установка ТС-3D для исследований динамики токовых слоев (ИОФ).
- Установка КИ-1 с моделью магнитосферы («террелла») (ИЛФ).

2. Использовались наблюдательные данные околоземных космических проектов «Интербол», «Polar», «Cluster», «Geotail» и пр, доступные в международных базах данных и у участников программы

3. Развита методы численного моделирования, включающие кинетические, МГД, гибридные и Холловские коды. Начаты работы по параллельным вычислениям с использованием суперкомпьютеров (ИКИ, ФИАН, ПГИ, ИЛФ, ИПФ).

4. Теоретические исследования велись практически в рамках всех проектов.

Обзор направлений исследований

Проведены комплексные исследования по отдельным направлениям:

1. Исследования токовых слоев. Рассмотрены устойчивость слоев, двухмерная и трехмерная структура слоев, роль электронов плазмы. В качестве приложений рассматривались токовые слои в хвосте магнитосферы Земли. Работы в данном направлении ведутся на протяжении ряда последних лет коллективом авторов из ИКИ, ПГИ, ИОФ, ИПФ.

2. Исследования турбулентности, ускорения частиц на турбулентных полях, генерации магнитного поля. Показана важная роль турбулентных полей со свойством перемежаемости в ускорении частиц. Исследованы процессы генерации магнитного поля в турбулентности. Данные результаты имеют важные приложения в астрофизических исследованиях.

3. Исследования переноса массы, энергии и импульса через границы. Описаны трех-волновые механизмы переноса, связанные с образованием редких «выбросов» с большой скоростью и имеющие высокую эффективность. В численном и лабораторном эксперименте определена роль кинетических эффектов при переносе, связанных с конечностью гирорадиуса частиц.

4. Исследования микроэффектов, связанных с взаимодействием единичных частиц и объектов с локальными полями. Исследовано влияние внешнего электрического поля на процесс захвата орбитальных электронов ядрами в плазме тяжелых многозарядных ионов. Проводится кинетическое моделирование транзитных эффектов взаимодействия частиц плазмы с зондом.

5. Исследования взаимодействия частиц и волн, нелинейных эффектов

Статистика публикаций

- Статьи, опубликованные в зарубежных рецензируемых журналах – 15.
- Статьи, опубликованные в российских журналах, включенных в список ВАК – 7.
- Из них – в изданиях, включенных в список WoS – 17.
- Статьи, отправленные в печать – 9.
- Выступления на конференциях (тезисы в материалах конференций) – 26.

Командировки и конференции

Из бюджета программы было профинансировано 11 поездок на конференции и 4 поездки для совместных работ по программе.

При поддержке программы проводится ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе» (февраль, ИКИ РАН, Москва).

Так же необходимо отметить другие конференции, наиболее близкие к тематике программы:

- Конференция «Проблемы Геокосмоса», проводится раз в два года, СПбГУ, Санкт-Петербург.
- Конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, проводится ежегодно, февраль, Звенигород, Московской области

Другое

Функционирует сайт программы ofn15.cosmos.ru.

В 2013-2014 при участии программ ОФН-15 и П-22 будет подготовлен 3-й том «Актуальные проблемы гелиогеофизики» издания «Плазменная гелиогеофизика» (Москва, 2008) с обзорами работ по проектам.

2-4 декабря 2013 в ИКИ РАН проведен семинар «Физика космической плазмы», посвященный проблемам, представляющим общий интерес для астрофизики, физики околоземной среды и солнечной физики: пересоединению, турбулентности, ускорению, ударным волнам и пр).

Сводка научных результатов программы

1. Токовые слои

1.1. Исследование самосогласованных токовых конфигураций в бесстолкновительной плазме с немаквелловскими функциями распределения частиц по скоростям (руководитель - член-корр. РАН Кочаровский В.В., ИПФ РАН)

Для бесстолкновительной многокомпонентной плазмы проведено обобщение нейтральных токовых структур типа Харриса и Беннетта, допускающее не только использовавшиеся ранее нерелятивистские функции распределения частиц со сдвинутыми распределениями Максвелла, но и произвольные, в том числе релятивистские, функции распределения частиц. На основе метода инвариантов движения частиц найдены точные статические решения системы нелинейных кинетических уравнений и уравнений Максвелла в плоско-слоистой и цилиндрической геометрии, отвечающие локализованному току (в том числе при наличии внешнего магнитного поля и/или в отсутствие ненулевого полного тока) и описывающие разнообразные профили концентрации частиц, плотности тока и соответствующего магнитного поля, согласованные с однородной в пространстве формой функции распределения частиц. Выяснена взаимосвязь допустимых энергосодержание магнитного поля и степени анизотропии функции распределения частиц с характерным масштабом (толщиной) токовых структур и кинетической энергией частиц в них. Найденные магнитостатические конфигурации позволяют систематически описывать различные уединённые токовые образования, которые могут возникать в лабораторной и космической плазме под действием различных электромагнитных и динамических (кинетических) внешних факторов.

1.2. Создание численной модели токового слоя в хвосте магнитосферы с реалистичным учетом электронной компоненты (руководитель - к.ф.-м.н. Мингалева О.В., ПГИ РАН)

Методом самосогласованного трассирования частиц в чисто магнитном поле получена близкая к бессиловой квазистационарная конфигурация тонкого токового слоя (ТТС) с заданной постоянной нормальной компонентой магнитного поля B_z , в которой впервые учитываются электроны с реальным отношением заряда к массе. В этой конфигурации самосогласованная сдвиговая (или шировая) компонента магнитного поля $B_y(z)$ имеет «колоколообразную» форму, и вдоль оси Z , направленной поперек слоя, мало изменяются магнитное напряжение

$P_{Bz}(z) = \frac{1}{2\mu_0} \left(|B_x(z)|^2 + |B_y(z)|^2 \right)$, компонента $P_{\alpha,zz}(z)$ тензора напряжений

$P_{\alpha,jk}(z) = m_\alpha \int v_j v_k f_\alpha(z, \mathbf{v}) d^3\mathbf{v}$ для ионов ($\alpha = i$) и для электронов ($\alpha = e$), а также

концентрация ионов $n_i(z)$ и электронов $n_e(z)$ (здесь m_α и $f_\alpha(z, \mathbf{v})$ — масса и функция распределения частиц сорта $\alpha = i, e$). Тензоры давлений и температур для ионов очень близки к гиротропным, а для электронов они гиротропны с высокой точностью. Для ионов продольное давление (температура) примерно в 2.5 раза больше ортогонального к магнитному полю, а для электронов наоборот, продольное давление (температура) примерно в 2.5 раза меньше ортогонального. Полученная конфигурация важна тем, что может использоваться как начальное условие для моделирования динамических процессов в ТТС хвоста магнитосферы.

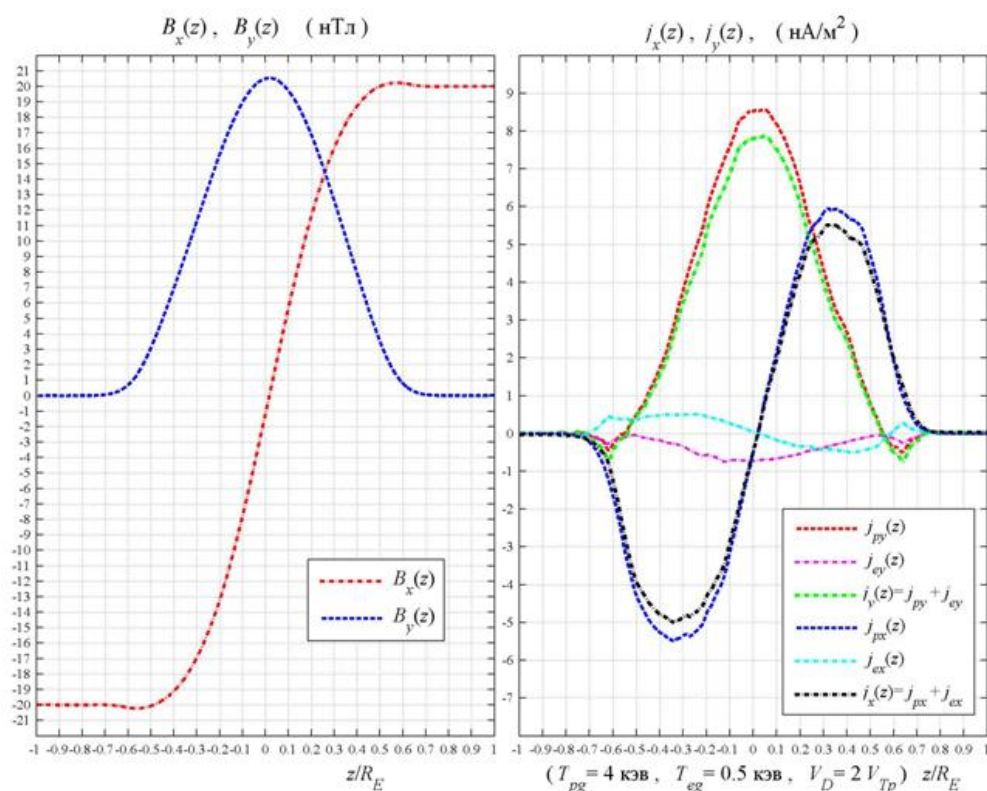


Рис. 1. Профили самосогласованных компонент магнитного поля и тока в слое.

1.3. Теоретическое и экспериментальное исследование токовых слоев в магнитосфере Земли (руководитель - д.ф.-м.н. Малова Х.В., ИКИ РАН)

В рамках двухмерной кинетической модели тонкого токового слоя показано, что токовый слой представляет собой вложенную многомасштабную структуру, где на ближнем к Земле крае доминируют токи спейсеровских и квазизахваченных ионов, а в отдаленных областях хвоста – электронные токи. Сравнение эволюции профилей плотности тока вдоль хвоста магнитосферы демонстрирует их многообразие – от профиля плотности тока с тремя максимумами на ближнем к планете крае токового слоя до двухкратно расщепленного в дальней области хвоста.

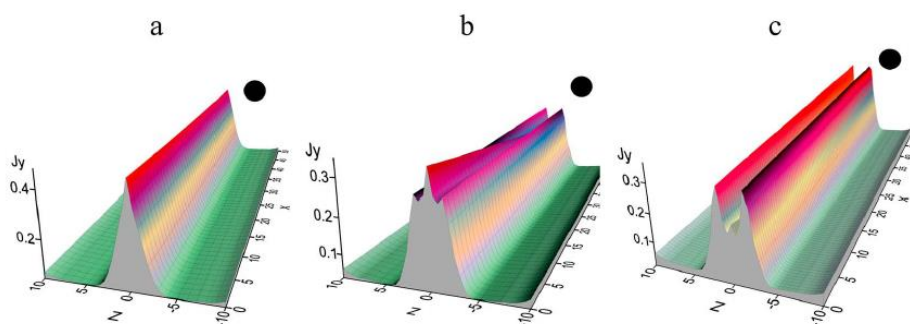


Рис.2. Самосогласованные профили плотности тока в тонком токовом слое при различных относительных концентрациях квазизахваченных частиц (увеличиваются слева направо).

Построена двухмерная стационарная самосогласованная МГД – модель магнитодиска Юпитера, с учетом влияния вулканизма спутника Юпитера Ио и конечной проводимости ионосферы. Сделаны оценки величины продольных токов, соединяющих ионосферу и магнитодиск и влияния нарушения коротации. В работе оценены границы магнитодиска в радиальном

направлении. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными и другими моделями магнитодиска.

В рамках модели двукратно расщепленного токового слоя исследована квазиadiaбатическая динамика ионов; показано, что усредненные по популяции ионов скачки квазиadiaбатических инвариантов движения степенным образом зависят от параметра адиабатичности, что согласуется с аналитическими оценками.

Представлен обзор, посвященный последовательному изложению теории квазиadiaбатического движения частиц в хвосте магнитосферы Земли.

1.4. Магнитное пересоединение и генерация высокоскоростных потоков плазмы в токовых слоях, развивающихся в лабораторных условиях (руководители - д.ф.-м.н. Франк А.Г., ИОФ РАН, д.ф.-м.н. Островская Г.В., ФТИ РАН)

При формировании токовых слоев в аргоне эволюция температуры ионов в окрестности X линии проанализирована на основе полученных профилей спектральных линий ионов различной кратности ионизации: ArII 4806 Å, ArIII 3795 Å и Ar IV 2809 Å. Установлено, что к моменту времени $t = 2.3 \pm 0.4$ мкс температура однократных ионов Ar^+ достигает своего максимального значения, $T_i^{\max} = 60 \pm 15$ эВ, тогда как температура двукратных ионов Ar^{++} почти в 2 раза выше, $T_i = 100 \pm 20$ эВ, и продолжает со временем увеличиваться. При $t = 3.9 \pm 0.4$ мкс температура ионов Ar^{++} составляет $T_i = 140 \pm 30$ эВ, а температура трехкратных ионов Ar^{+++} еще выше, $T_i = 190 \pm 40$ эВ. Отсюда следует, что ионы Ar^+ , Ar^{++} и Ar^{+++} локализованы в различных областях токового слоя, а именно ионы Ar^{+++} и Ar^{++} - в более горячей области, вблизи средней плоскости токового слоя, а ионы Ar^+ - в относительно холодных периферийных областях плазмы. Другими словами, температура ионов, подобно температуре и концентрации электронов, характеризуется довольно резким градиентом в направлении перпендикулярном поверхности слоя.

Установлено, что продольная компонента магнитного поля, которая изменялась в эксперименте в пределах 1 – 3 кГс, не оказывала заметного влияния ни на температуру ионов Ar^+ , Ar^{++} и Ar^{+++} , ни на энергию их направленного движения.

Исследована эволюция концентрации электронов и пространственная структура плазмы при формировании токовых слоев в аргоне в 2D и 3D магнитных конфигурациях с X линией. Показано, что увеличение продольной компоненты магнитного поля в 3D конфигурациях приводит к уменьшению максимальной концентрации электронов в слое и увеличению толщины слоя, или его меньшего поперечного размера, что наиболее ярко проявляется в окрестности X линии. Установлено, что в 2D магнитных конфигурациях концентрация электронов вблизи нулевой X линии в 2-3 раза превышает концентрацию вдали от X линии. Проведено сравнение этих данных, полученных методом голографической интерферометрии, с результатами магнитных измерений, выполненных в аналогичных условиях, при этом установлена корреляция между изменениями структуры токовых слоев и особенностями эволюции плазменных слоев. Обнаружен быстрый рост толщины плазменного слоя на его краях, вдали от X линии, что согласуется с динамикой структуры токового слоя. Эти изменения естественно связать с генерацией на краях слоя токов обратного направления. В 3D магнитных конфигурациях обнаружена переориентация наклонных плазменных слоев на поздних стадиях эволюции, что указывает на изменение направления токов Холла.

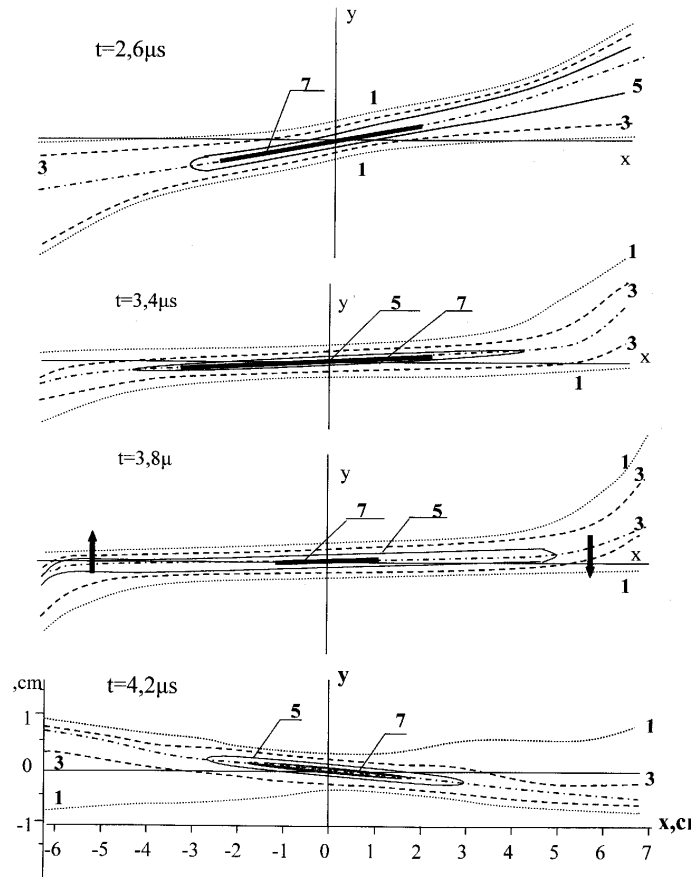


Рис. 3. Пространственные распределения электронной плотности на последовательных стадиях эволюции токового слоя в 3D магнитном поле. Условия эксперимента: Ar, $p=28$ mTorr, $h=0,57$ kG/cm, $B_z=2,9$ kG, $J_z^{max}=70$ kA.

В 2013 г. продолжалась работа по сопоставлению характеристик токовых слоев, создаваемых в лабораторных условиях в установке ТС-3D (ИОФ РАН), и наблюдавшихся в магнитосфере Земли с помощью спутников Cluster. Несмотря на колоссальные различия в характерных размерах, параметрах плазмы и магнитных полей, многие существенные черты магнитосферных и лабораторных токовых слоев согласуются между собой. Это относится к соотношению между различными компонентами магнитного поля токовых слоев: тангенциальной B_x , нормальной B_z и продольной B_y ; усилению продольной компоненты в пределах слоя; соотношению между температурами ионов и электронов (T_i/T_e) >1 ; соотношению между меньшим поперечным размером (толщиной) токового слоя δz и ионной скин-длиной c/Ω_{oi} , или/и ларморовским радиусом ионов ρ_i , а именно: $\delta z \leq c/\Omega_{oi}$, ρ_i и т.д. Эти результаты показывают, что во многих случаях лабораторные эксперименты позволяют понять и предсказать особенности динамики токовых слоев в магнитосфере Земли.

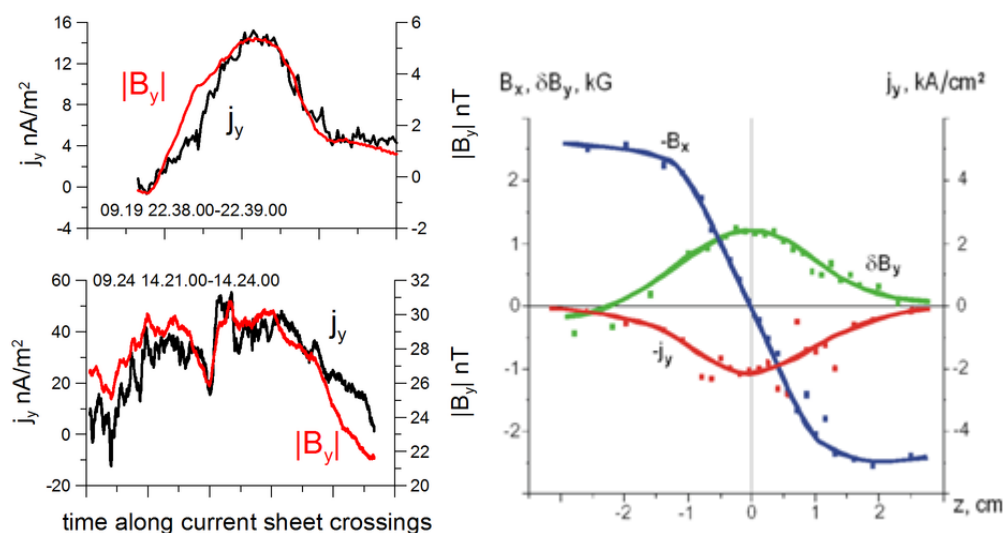


Рис. 4. Пространственные распределения плотности тока $j_y(z)$ и превышения продольной компоненты над фоновым уровнем $\delta B_y(z)$ в токовых слоях: (а,б) - в магнитосфере Земли, (с) в установке TC-3D

2. Взаимодействие «волна-частица»

2.1. Лабораторное моделирование линейных и нелинейных эффектов при распространении волн в космической плазме (руководитель - д.ф.-м.н. Костров А. В., ИПФ РАН)

До настоящего момента ряд нелинейных явлений, наблюдаемых в околоземной плазме при многочастотном воздействии в свистовом диапазоне (генерация вторичных излучений, спектральных сателлитов, шумов), не имеет удовлетворительного объяснения. В то же время, исследование эффектов нелинейного взаимодействия интенсивных свистовых волн на общих трассах распространения представляет значительный интерес в связи с разнообразными геофизическими приложениями и сугубо практическими задачами, включая обеспечение высокого качества радиосвязи на сверхдлинных волнах. Одним из путей разрешения подобных проблем является лабораторное моделирование, которое может успешно осуществляться на крупномасштабных плазменных стендах, таких как «Крот» и «Ионосфера» (ИПФ РАН). На этапе 2013 года были проведены экспериментальные исследования процессов взаимодействия интенсивных волн свистового диапазона на общих трассах распространения. Были поставлены эксперименты по воздействию на замагниченную плазму пар волн свистового диапазона с различными частотами, а также по радиопросвечиванию области плазмы, модифицированной модулированной по интенсивности свистовой накачкой. В экспериментах наблюдалось явление генерации новых спектральных составляющих электромагнитного поля. Также были обнаружены эффекты генерации низкочастотных магнитных полей и возбуждения возмущений концентрации в области накачки, которые, предположительно, являются источником новых составляющих в спектре свистовых волн. Анализ показывает, что источником возмущений обоих видов является усредненная ponderomotive сила, приводящая к перераспределению плазмы и генерации электронных токов.

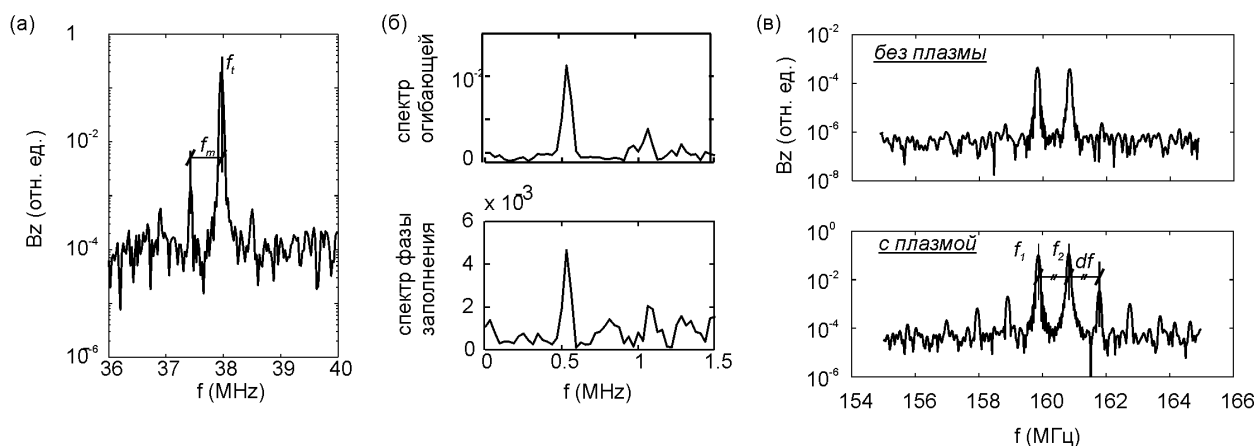


Рис. 5 – Экспериментальные результаты: (а) спектр пробной волны, прошедшей через область плазмы, модифицированную бигармонической накачкой; (б) спектры амплитуды и фазы заполнения пробной волны; (в) собственно спектр бигармонической накачки.

2.2. Лабораторное моделирование турбулентных процессов в неравновесной плазме космических магнитных ловушек (руководитель - д.ф.-м.н. Голубев С. В., ИПФ РАН).

В работе проведены исследования процессов генерации электромагнитных волн при циклотронной неустойчивости в плазме, создаваемой и поддерживаемой мощным миллиметровым излучением гиротрона в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке в условиях ЭЦР. Впервые изучен спектральный состав нестационарных импульсов электромагнитного излучения в широком диапазоне частот на начальной стадии ЭЦР-разряда, когда концентрация горячих частиц превосходит концентрацию холодных. На начальной стадии ЭЦР-разряда обнаружены два качественно различных режима генерации: квазипериодические всплески широкополосного электромагнитного излучения в виде отдельных волновых пакетов с быстро растущей частотой и режим квазинепрерывной генерации излучения со сплошным спектром. Наблюдаемые всплески электромагнитного излучения и синхронные с ними высыпания энергичных электронов из ловушки предложено связать с развитием циклотронной неустойчивости разреженной плазмы (при $\omega_p < \omega_c$, где ω_p — плазменная частота электронов), когда эффективно возбуждается быстрая необыкновенная волна.

Из анализа наблюдаемого спектра электромагнитного излучения на начальной стадии развития разряда удалось оценить энергию резонансных электронов. Полученные значения энергии излучающих частиц согласуются с прямыми измерениями распределения электронов по энергии, проведёнными ранее на данной установке.

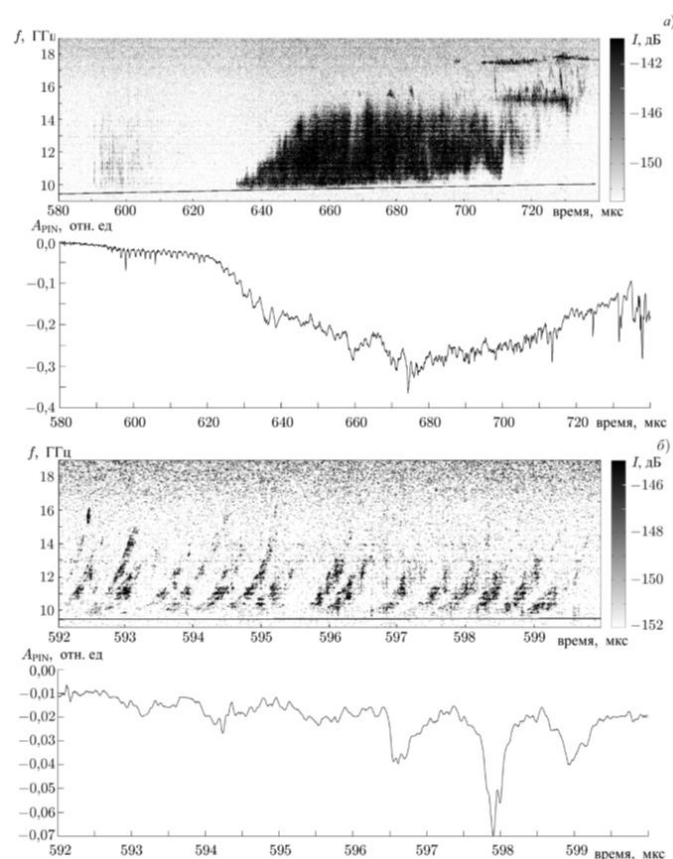


Рис. 6 – Динамический спектр собственного излучения плазмы на начальной стадии разряда (верхние панели) и соответствующие осциллограммы сигнала с детектора электронов (нижние панели). На верхнем рисунке приведена общая осциллограмма, а на нижнем — отдельно взятый временной интервал с большим разрешением. Черная сплошная линия на динамических спектрах – значение электронной гирочастоты f_{ce} в центре ловушки.

3. Турбулентность.

- 3.1.** Генерация магнитного поля в космической плазме анизотропным распределением частиц по энергиям.
(руководитель - член-корр. РАН Зыбин К.П., ФИАН)

Рассмотрена турбулентность ионосферы при воздействии на нее мощной электромагнитной волны. Плазменные эксперименты, в которых мощная электромагнитная волна с земли излучается в ионосферу, проявляют широкий класс самых разнообразных явлений, включая гироманнитные эффекты, когда частота волны накачки близка к гармоникам электронной гирочастоты. Для случая, когда частота волны близка ко второй гармонике гирочастоты, эксперименты показывают сильное возрастание воздействия волны на плазму, что наблюдается при рассеянии радарного сигнала на неоднородностях плотности плазмы, сильно вытянутых вдоль геомагнитного поля, а также возрастании оптического свечения верхней атмосферы. Это явление находится в контрасте с наблюдениями подавления воздействия при третьей и выше гармониках электронной гирочастоты. Мы теоретически показали, что электростатические колебания с частотой вблизи второй гармоники могут быть захвачены в неоднородностях плотности плазмы, имеющих малые размеры поперек геомагнитного поля, но сильно вытянутых вдоль него. Захваченные волны являются смесью электронно – циклотронных (Бенштейновских волн) и верхнегибридных волн, для которых дисперсия поперек магнитного поля носит одинаковый квадратичный характер только вблизи второй гармоники. Амплитуды волн, захваченных в неоднородности, существенно превышают амплитуду волны накачки, которая и возбуждает их при рассеянии на неоднородностях электронной концентрации.

Электростатические волны ускоряют часть электронов, которые и производят к свечению атмосферы.

3.2. Исследования роли турбулентного электромагнитного поля в процессах транспорта и ускорения заряженных частиц (руководитель - к.ф.-м.н. Артемьев А.В. ИКИ РАН)

Кинетика токовых слоёв в хвосте магнитосферы.

Важным структурным элементом турбулентного электромагнитного поля, формируемого в хвосте магнитосферы, является тонкий токовый слой. Конфигурация электромагнитных полей в токовом слое определяет эффективность ускорения частиц в магнитосфере, а динамические свойства токовых слоёв (их устойчивость) существенным образом влияют на транспорт заряженных частиц за счёт вклада низкочастотных неустойчивостей в спектр турбулентного поля. Таким образом, исследования токовых слоёв, доступных для прямых спутниковых наблюдений в хвосте земной магнитосферы, представляется важным при исследовании динамики заряженных частиц. В рамках проекта опубликован обзор, дающий представление о соотношении между модельным описанием токовых слоёв и спутниковыми наблюдениями. В основном обзор посвящён кинетическим свойствам токовых слоёв. Показано, что важным элементом токовых слоёв является небольшая популяция частиц, которые за счёт движения по разомкнутым орбитам, переносят основной ток в слое. Кроме того, существенную роль в формировании тока играют анизотропные электроны, переносящие ток за счёт дрейфа кривизны. Показано, что разделение движения ионов и электронов приводит к формированию электрических полей, перераспределяющих вклады в ток от ионов и электронов. Проводится детальное обсуждение влияния обнаруженных свойств токовых слоёв на устойчивость этих магнитоплазменных конфигураций.

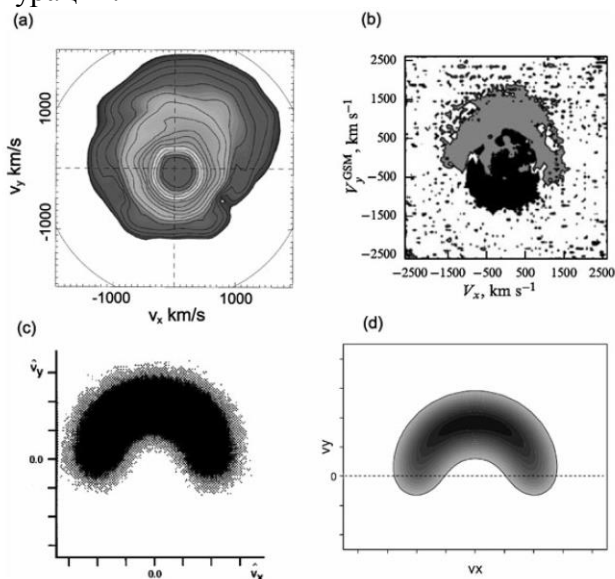


Рис.7. Функции распределения ионов, переносящих ток в токовых слоях: (а) по данным аппарата ТЕМИС; (б) по данным аппарата Кластер; (с) из численного моделирования; (д) из аналитической модели.

Транспорт электронов в фазовом пространстве на фронтах диполизации.

В рамках проекта исследуется транспорт электронов за счёт их взаимодействия с фронтами диполизации в хвосте земной магнитосферы. Показано, что вблизи фронтов диполизации наблюдается усиленная волновая активность в свистовом диапазоне частот. При этом обнаружена как низкоамплитудная часть спектра волн, так и отдельные волновые пакеты, распространяющиеся под большим углом к магнитному полю в квази-электростатической моде с большими (несколько мВ/м) амплитудами. Показано, что резонансное

взаимодействие электронов с этими волнами приводит к ускорению и рассеянию электронов. Таким образом, часть популяции тепловых (от 1 до 10 кэВ) электронов эффективно рассеивается в конус потерь и уходит по силовым линиям в ионосферу, где наблюдаются высыпания частиц в областях, сопряжённых с областью наблюдения диполизационного фронта.

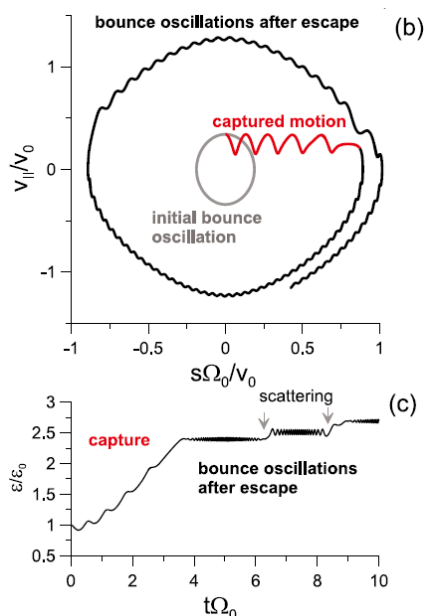


Рис.8. Траектория электрона на фазовой плоскости параллельных внешнему магнитному полю координаты и скорости. На нижней панели показана энергия электрона вдоль траектории движения.

3.3. Влияние плазменных микрополей на процессы переноса и некоторые элементарные процессы в плазме, в том числе неидеальной (руководитель - д.ф.-м.н. Романовский М.Ю., ИОФ РАН)

В 2013 г. была продолжена работа по ускорению двойного безнейтринного электронного захвата орбитальных электронов нестабильными ядрами внешним электрическим (плазменным) полем. Была определена тройка перспективных ядер со значительными скоростями электронного захвата ^{113}Sn (время жизни 115d) $\rightarrow$ $^{113}\text{In} \rightarrow$ ^{113}Cd .

Были начаты работы по исследованию асимптотики электрического микрополя плазмы учитывая «двумерность» движения заряженных частиц вблизи друг друга, т.е. в области формирования данной асимптотики. Показано, что главная асимптотика порядка обратного квадрата поля, т.е. соответствует плоскому Кеплеровскому движению.

3.4. Исследование электродинамики формирования заряда тела в космической плазме (руководитель - д.ф.-м.н. Красовский В.Л., ИКИ РАН)

В 2013 году основная работа по данной теме была связана с развитием и усовершенствованием метода численного моделирования кинетики бесстолкновительной плазмы применительно к условиям сферической симметрии решаемых задач. Апробированы новые алгоритмы и разностные схемы, проведены многочисленные расчеты-тесты и написан ряд модифицированных программ. В частности, протестировано влияние искусственного теплового шума на решение задачи, оптимизирован выбор размера области расчета электрического поля и проведено сравнение результатов моделирования с использованием различных разностных схем интегрирования системы уравнений Власова-Пуассона. Как результат, продемонстрировано решение задачи о процессе зарядки сферического тела, поглощающего

частицы плазмы, с наблюдением динамики частиц в фазовом пространстве при помощи фильма.

Численное моделирование процесса приобретения заряда поглощающей сферой в бесстолкновительной плазме, выполненное на основе разработанного алгоритма решения уравнений Власова-Пуассона и усовершенствованного программного кода, продемонстрировало возможность наблюдения на больших временах перехода физической системы в устойчивое асимптотическое состояние. В качестве иллюстрации представлена временная зависимость абсолютного значения электрического поля на поверхности сферы.

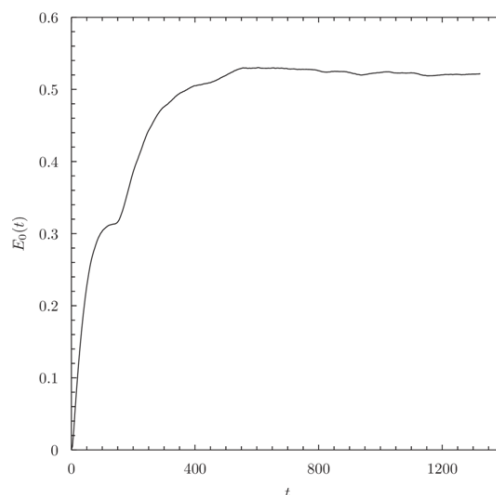


Рис. 9. Временная зависимость абсолютного значения электрического поля на поверхности сферы

Фильм-анимация, выполненный на основе результатов моделирования, впервые позволил непосредственное наблюдение динамики электронов и ионов в фазовом пространстве. Стоп-кадр из этого фильма показан ниже. На рисунке отчетливо видно уплотнение, образованное сгустком захваченных ионов. Таким образом, численный эксперимент вполне может дать ответ на ключевой вопрос теории, а именно, определить вид функции распределения захваченных ионов, а с ним, и дать корректное замкнутое решение задачи.

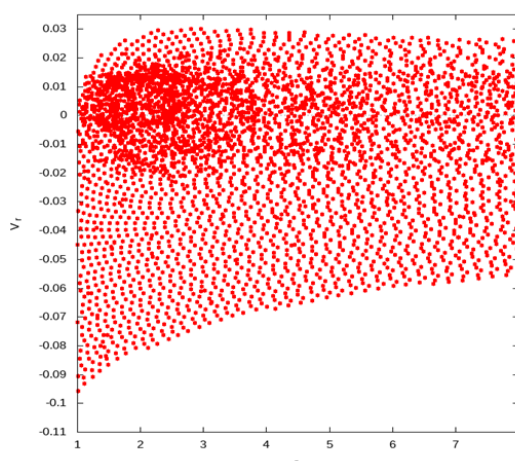


Рис. 10. Динамика электронов и ионов в фазовом пространстве. (Стоп-кадр из фильма-анимации, выполненного на основе результатов моделирования)

Параллельно проводился и теоретический анализ задачи, ориентированный на понимание и физическую интерпретацию результатов численного моделирования. В частности, оказался

очень полезным скейлинг процесса зарядки сферы, позволяющий трактовать динамику плазмы на качественном уровне. Установлено, что захваченные ионы обычно группируются вблизи сферы, если ионный дебаевский радиус близок к среднему геометрическому от малого радиуса сферы и большого дебаевского радиуса электронов. Численный эксперимент полностью подтвердил этот вывод качественного анализа.

По теме проекта написана статья для нового выпуска книги «Плазменная гелиогеофизика», которая может служить аналитическим обзором текущего состояния проблемы в совокупности с оригинальными результатами двухлетней работы.

4. Динамика плазменных структур

4.1. Исследование холловской магнитной гидродинамики в разреженной космической плазме (руководитель - д.ф.-м.н. Урпин В.А., ФТИ РАН)

В работе [1] исследуется неустойчивость особого класса магнитогидродинамических волн, существование которых в магнитосферах звезд было предсказано ранее в рамках данного проекта. Эти волны могут существовать в сильно замагниченной плазме. В работе исследовано влияние электрических токов в магнитосфере на поведение таких волн. Электрические токи всегда должны существовать в магнитосферах звезд, поскольку они поддерживают магнитную конфигурацию. В работе показано, что токи приводят к генерации в магнитосферной плазме специфических возмущений (филаментов), которые имеют сильно вытянутую вдоль магнитного поля структуру. Такие возмущения могут генерироваться в тех областях магнитосферы, где магнитное давление убывает с радиусом. Поскольку это условие может выполняться в значительной части объема магнитосферы, рассмотренная нами неустойчивость может играть важную роль в ее динамике. Движение плазмы в филаментах происходит в основном вдоль магнитного поля, как это обычно бывает в сильно замагниченной плазме. Характерные времена развития таких филаментов оказываются очень короткими. Генерация филаментов в магнитосфере должна приводить к флуктуациям параметров плазмы и может являться одним из механизмов возникновения короткопериодических вариаций выходящего электромагнитного излучения. Рассмотренная нами неустойчивость является одной из разновидностей хорошо известной в физике плазмы тейлеровской неустойчивости магнитных конфигураций, детально изученной в лабораторных условиях в связи с экспериментами по термоядерному синтезу.

4.2. Взаимодействие потока плазмы с препятствием: изучение многомасштабной динамики обтекания солнечным ветром планетных магнитосфер (руководитель - д.ф.-м.н. Савин С.П., ИКИ РАН)

Работа посвящена исследованию нелинейных взаимодействий, которые контролируют взаимодействие потока солнечной плазмы с магнитосферой. Впервые продемонстрировано на данных динамического давления с 4 спутников (CLUSTER, DOUBLE STAR, GEOTAIL, ACE), что за счет доминирующей кинетической энергии солнечного ветра: (1) возбуждает пограничные (поверхностные) резонансы и их гармоники, которые модулируют появление сверхзвуковых плазменных струй (СПС) в местах искажения формы ударной волны резонансными волнами; (2) возбуждает дискретные $3x$ - волновые каскады, которые размываются и сливаются на высоких частотах в бесструктурный турбулентный каскад с наклоном спектра «-1» (что соответствует Фликкер – шуму); (3) статистически возбуждаемые плазменными струями каскады вызывают аномальный перенос как солнечной плазмы внутрь периферийной магнитосферы (по предварительным оценкам, в несколько раз больший переноса за счет пересоединения магнитных полей, поскольку СПС, имея превосходящее давление непосредственно пронизывают магнитопаузу), так и – что показывается впервые – синхронный отток энергичного кислорода из магнитосферы в солнечный ветер (потоки кислорода в

форшоке коррелируют с проходом СПС сквозь периферийную магнитопаузу примерно в 30 радиусах Земли вниз по потоку).

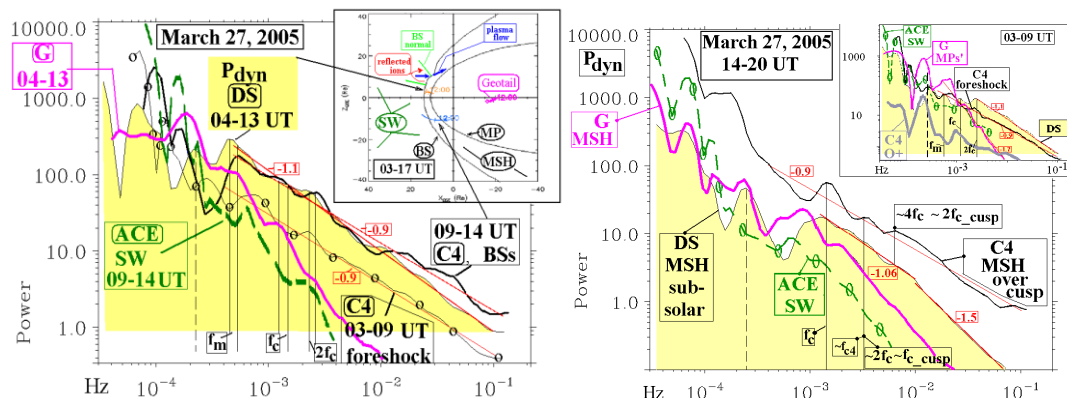


Рис. 11 (слева). Спектры мощности P_{dyn} для основных регионов областей на рис. 10а на 4 космических аппаратах (подробности см. в тексте). Характерные наклоны линий указаны в квадратах. Вставка: схема областей магнитосферы и орбиты КА в плоскости XZ GSE в 03-17 UT Рис. 1с (справа). Спектры мощности P_{dyn} с 4 космических аппаратов в 14-20 UT (см. рис. 1а- б и текст) . Вставка: то же самое для 03-09 UT

Показана как прямая модуляция на низких (< 0.15 мГц) частотах пограничных процессов солнечным ветром, так и накачка на более высоких частотах резонансных колебаний (до порядка величины по мощности) в пока еще мало понятные резонансы форшока, ударной волны и магнитослоя (на $0.2 - 10$ мГц). Форшок параллельной ударной волны создает собственные возмущения и резонансы, что подтверждается и современным численным моделированием, однако корреляция динамического давления в форшоке (CLUSTER) и в магнитослое (DOUBLE STAR) не превышает 22%.

4.3. Мини-магнитосфера и исследование новых процессов взаимодействия Солнечного ветра с малыми телами с остаточным или искусственным магнетизмом методами лабораторного моделирования (руководитель - к.ф.-м.н. Шайхисламов И.Ф., ИЛФ СО РАН)

Проведен эксперимент по обтеканию магнитного диполя потоком плазмы тета-пинча с параметром Холла меньше единицы.

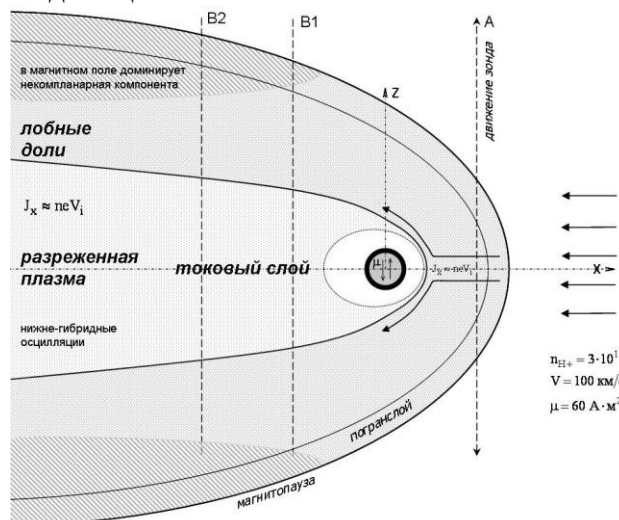


Рис.12. Схема эксперимента и наблюдаемые особенности мини-магнитосферы.

В ходе измерений впервые получены уникальные данные о структуре мини-магнитосфере, недоступные в настоящий момент в натуральных космических условиях. Достоверно показано, что структура мини-магнитосферы на фронте и в хвосте определяется некомпланарной компонентой магнитного поля генерируемой за счет Холловского члена в уравнении индукции. Данный член также ответственен за генерацию вистлерных волн. Установлено, что внутри мини-магнитосферы имеются области замкнутой и неподвижной популяции электронов, в то время как электроны потока обтекают мини-магнитосферу вдоль ее границы. Эти области характеризуются сильной волновой активностью в ниже-гибридном диапазоне частот. Хвост мини-магнитосферы имеет специфическую магнитную структуру. В отличие от хвоста планетарных магнитосфер, вектор магнитного поля совершает вращение в двух плоскостях.

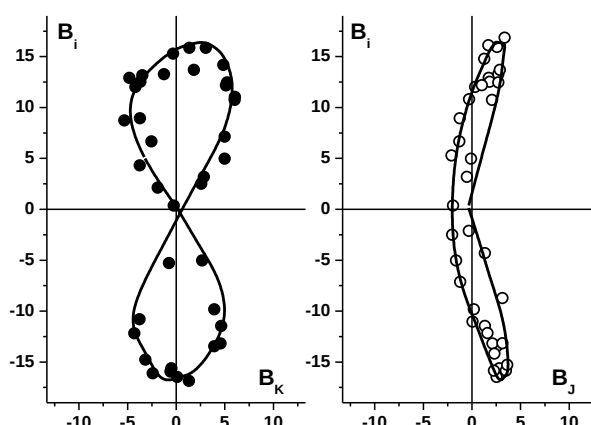


Рис. 13. Представление вектора магнитного поля (данные рис. 8) в системе координат минимальной вариации: $B_j = B_z$, $B_k = 0.57 \cdot B_x - 0.84 \cdot B_y$, $B_i = 0.84 \cdot B_x + 0.57 \cdot B_y$

Полученная информация может быть использована при интерпретации данных будущих космических миссий на астероиды и другие малые тела с остаточным магнетизмом, а также вблизи Лунных магнитных аномалий.

6. Список публикаций по программе:

Статьи в зарубежных реферируемых журналах:

1. Malova H.V., V.Yu. Popov, D.C. Delcourt, A. A. Petrukovich, and L. M. Zelenyi, Antisunward structure of thin current sheets in the Earth's magnetotail: implications of quasi-adiabatic theory, *J. Geophys. Res.*, VOL. 118, 4308–4318, doi:10.1002/jgra.50390, 2013. (включена в список WoS)
2. A.G. Frank. Flare-type events and generation of plasma jets in current sheets evolving in laboratory conditions // *EAS Publications Series*, C. Stehl'e, C. Joblin and L. d'Hendecourt (eds) 2012. V.58. P. 57-62. (Опубликовано в 2013 г.) (включена в список WoS)
3. N.P. Kyrie. Tangential acceleration of helium plasma in laboratory current sheets // *EAS Publication Series*, C. Stehl'e, C. Joblin and L. d'Hendecourt (eds) 2012. V.58. P. 95-98. (Опубликовано в 2013 г.) (включена в список WoS)
4. A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich, A.G. Frank, I.Y. Vasko, R. Nakamura, L.M. Zelenyi. Intense current sheets in the magnetotail: peculiarities of electron physics // *Journal of Geophysical Research* 2013. V.118. P. 2789–2799 (включена в список WoS)
5. V. V. Nazarov, M. V. Starodubtsev, and A. V. Kostrov. Laboratory studies of the dynamic of resonance cones formation in magnetized plasmas. *Phys. Plasmas* 20, 032110 (2013); <http://dx.doi.org/10.1063/1.4794965> (включена в список WoS)
6. Viktorov M. E., Golubev S. V., Mansfeld D. A. et al. Nonstationary generation of electromagnetic radiation in nonequilibrium mirror-confined plasma // *Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics*. 2013. Vol. 83, no. 1. P. 108–110
7. Ya. N. Istomin, T.B. Leyser, "Enhanced nonlinear interaction of powerful electromagnetic waves with ionospheric plasma near the second electron gyroharmonic" *Physics of Plasmas*, V. 20, P. 052904, 2013 (включена в список WoS)
8. Artemyev A.A., Zelenyi L.M. Kinetic Structure of Current Sheets in the Earth Magnetotail. 2013 *Space Science Review* V. 178, pp. 419–440, doi:10.1007/s11214-012-9954-5 (включена в список WoS)
9. Panov E.V., Artemyev A.V., W. Baumjohann, R. Nakamura, V. Angelopoulos. Transient electron precipitation during oscillatory BBF braking: THEMIS observations and theoretical estimates. 2013. *J. Geophys. Res.* 118, 3065–3076, doi: 10.1002/jgra.50203 (включена в список WoS)
10. M.Yu.Romanovsky "The acceleration of orbital electron capture by nuclei in plasmas". *IRAMP* 3(1), p.37-50 (2013)
11. A.Bonanno, V.Urpin. «Stability of the toroidal magnetic field in rotating stars». *Astron. and Astrophys.*, 552, 91-95, 2013 (включена в список WoS)
12. A.Bonanno, V.Urpin «Rotational suppression of the Tayler instability in stellar radiation zones». *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, 431, 3663- 3669 , 2013 (включена в список WoS)
13. A Bonanno, V. Urpin. «Rotation and stability of the toroidal magnetic field in radiation zones of stars». *Astrophysical Journal*, 766, 52- 59, 2013 (включена в список WoS)
14. Antonov V M, E L Boyarinsev, A A Boyko, Yu P Zakharov, A V Melekhov, A G Ponomarenko, V G Posukh, I F Shaikhislamov, M L Khodachenko and H Lammer «Inflation of a dipole field in laboratory experiments: Towards understanding of magnetodisk formation in magnetosphere of a Hot Jupiter». **The Astrophysical Journal**, 2013, v. 769 (N1), pp. 28-38 (включена в список WoS)
15. Shaikhislamov I. F., V. M. Antonov, Yu. P. Zakharov, E. L. Boyarintsev, A. V. Melekhov, V. G. Posukh and A. G. Ponomarenko «Mini-magnetosphere: Laboratory experiment, physical model and Hall MHD simulation». **Advances in Space Research**, 2013, v. 53 (N3), pp. 422-436 (включена в список WoS)

Статьи в российских реферируемых журналах:

1. Зеленый Л.М., А.И. Нейштадт, А.В. Артемьев, Д.Л. Вайнштейн, and X.B. Малова. Квазиadiaбатическое описание динамики заряженных частиц в космической плазме. *Успехи физических наук*, 183(4):365–415, 2013, <http://ufn.ru/ru/articles/2013/4/b/> (включена в список WoS)
2. Г.В.Островская. Влияние продольного распределения плотности тока в токовых слоях на структуру их магнитного поля и динамику их формирования. Часть 1. Расчет магнитных полей токовых слоев различной конфигурации // *ЖТФ* 2013. Т.83 № 4. С.59-68. (включена в список WoS)
3. Г.В.Островская. Влияние продольного распределения плотности тока в токовых слоях на структуру их магнитного поля и динамику их формирования. Часть 2. Динамика формирования токовых слоев различной конфигурации. // *ЖТФ* 2013. Т.83 № 4. С.69-80. (включена в список WoS)
4. М.Е. Виктор, С.В. Голубев, Е.Д. Господчиков, И.В. Изотов, Д.А. Мансфельд, А.Г. Шалашов, О механизме потерь энергичных электронов из открытой магнитной ловушки на начальной стадии ЭЦР-разряда // *Известия вузов. Радиофизика*. 2013. Т.56. №4. С.240-253.
5. Красовский В. Л., О границе области захвата в задаче о возмущении бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой. *Физика плазмы*. 2013. Т. 39. № 6. С. 572-577. (включена в список WoS)
6. Карцев Ю.И., А.В. Артемьев, X.B. Малова, Л.М. Зелёный, Квазиadiaбатическая динамика ионов в бифурцированном токовом слое, *Физика плазмы*, Т.39, No. 4, pp. 345–354. (включена в список WoS)
7. Г.В.Островская, А.Г.Франк. Эволюция пространственной структуры плазмы в процессе формирования токовых слоев в аргоне по данным голографической интерферометрии // *Физика плазмы* 2014. Т. 40 (1), С. 24-37. (включена в список WoS)

Материалы конференций:

1. Мингалев О.В., Мингалев И.В., Малова X.B., Зеленый Л.М., Мельник М.Н. Численная модель тонкого токового слоя с учетом электронов. // 8-я Ежегодная Конференция «ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ», 4–8 ФЕВРАЛЯ 2013 г., СБОРНИК ТЕЗИСОВ, ИКИ РАН, с. 171, Москва, 2013.
2. Malova Helmi; Zelenyi Lev; Popov Victor; Delcourt Dominique; Petrukovich Anatoly, Radial evolution of thin current sheets in the Earth's magnetotail, EGU General Assembly 2013, held 7-12 April, 2013 in Vienna, Austria, id. EGU2013-3116, 04/2013, COPERNICUS, 2013
3. Vasko, Ivan; Zelenyi, Lev; Artemyev, Anton; Petrukovich, Anatolii; Zhang, Tielong; Nakamura, Rumi; Malova, Helmi; Popov, Viktor; Fedorov, Andrei, Thin current sheets in the Venus magnetotail, EGU General Assembly 2013, held 7-12 April, 2013 in Vienna, Austria, id. EGU2013-12177, 04/2013, COPERNICUS, Bibl. Code 2013EGUGA..1512177V
4. Zelenyi L. M., H.V. Malova and V. Yu. Popov, Thin current sheets as nonlinear structures in collisionless plasmas, V INTERNATIONAL CONFERENCE «FRONTIERS OF NONLINEAR PHYSICS», Nizhny Novgorod – Yelabuga – Nizhny Novgorod, Russia, July 28 – August 2, 2013.
5. Malova Helmi, Lev Zelenyi, Victor Popov, Dominique Delcourt, Anton Artemyev, Alexey Korgov, Surja Sharma, Influence of heavy ions to the structure and dynamics of current sheets, 4-8 February 2013, Bern, Switzerland.
6. Малова X.B., Попов В.Ю., Зеленый Л.М., Мингалев О.В., Мингалев И. В., Артемьев А.В., Моделирование магнитосферных кинетических тонких токовых слоев с «широм» магнитного поля. Научная конференция Физического факультета МГУ «Ломоносовские чтения», Подсекция N 5 «Теоретическая и математическая физика», 15-24 апреля, 2013., Физический факультет МГУ.

7. Васько И.Ю., Л.М.Зеленый, А.В.Артемов, А.А.Петрукович, T.L.Zhang, X.B. Малова, В.Ю.Попов, и R. Nakamura, ТОКОВЫЕ СЛОИ В МАГНИТОСФЕРНОМ ХВОСТЕ ВЕНЕРЫ, Восьмая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" , 4 -8 февраля 2013 г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, с. 169-170.
8. Попов В.Ю., Л.М. Зеленый, X.B. Малова, А.А. Петрукович, ТОНКИЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ : РОЛЬ ПРОДОЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В СТРУКТУРЕ МНОГОМАСШТАБНОГО ВЛОЖЕННОГО СЛОЯ, Восьмая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" , 4 - 8 февраля 2013 г., ИКИ РАН, сборник тезисов, с.172.
9. Улькин А.А., X.B. Малова, и В.Ю. Попов, НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МОДЕЛИ ТОНКОГО ТОКОВОГО СЛОЯ: РОЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОКОВ, Восьмая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" , 4 - 8 февраля 2013 г., ИКИ РАН, сборник тезисов, с.175.
10. Зеленый Л.М., Артемьев А.В., Васько И.Ю., Петрукович А.А., Малова X.B., Попов В.Ю. Токровые слои в магнитосферных хвостах Земли и Венеры, VI международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», 9 - 13 сентября 2013, п. Паратунка, Елизовский р-н, Камчатка, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук.
11. Zelenyi L.M., A.V. Artemyev, H.V. Malova, A.A. Petrukovich, 50 years of "intermittent" history of spontaneous reconnection: Struggle of ideas, Seminar in Honor of 80-th Jubilee of Academician Sagdeev, 30 января 2013, ИКИ РАН, Москва.
12. Малова X., В.Попов, Л.Зеленый, А.Артемов, А.Коржов, и Д.Делькур, Роль тяжелых ионов в структуре и динамике магнитосферных токовых слоев, 13 марта 2013, НИИЯФ МГУ.
13. Кислов Р.А. Связь поля скоростей и структуры магнитодиска Юпитера, X Конференция молодых ученых, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 3-5 апреля 2013, МФТИ, Москва.
14. Улькин А.А. Численное моделирование движения заряженных частиц в обращенном магнитном поле токового слоя, X Конференция молодых ученых, «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 3-5 апреля 2013, МФТИ, Москва.
15. A.G. Frank, A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich. Current sheets in the Earth magnetosphere and laboratory experiments. Proc. 40th EPS Conference on Plasma Physics (EPS-2013). <http://ocs.ciemat.es/EPS2013PAP/pdf/P4.402.pdf> P. 1-4.
16. А.Г. Франк, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович. О сопоставлении характеристик токовых слоев в магнитосфере Земли и в лабораторных условиях // <http://solarwind.cosmos.ru>, тезисы доклада на 8-й ежегодной конференции «Физика плазмы в солнечной системе» под эгидой Программы ОФН-15, Москва, ИКИ РАН, 4-8 февраля 2013 г. С. 173
17. А.Г. Франк. Некоторые тенденции развития экспериментов по магнитному пересоединению и физика космической плазмы (лабораторная астрофизика) // Тезисы доклада на XL Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, г. Звенигород, 11-15 февраля 2013г., С. 144
18. Д.А. Мансфельд, М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, И.В. Изотов. Генерация электромагнитного излучения при циклотронной неустойчивости плазмы в зеркальной магнитной ловушке. // VIII конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 4-8 февраля 2013, ИКИ РАН, г. Москва, Россия
19. М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, И.В. Изотов, Д.А. Мансфельд. Исследование собственного электромагнитного излучения разреженной плазмы удерживаемой в магнитной ловушке. // VIII конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 4-8 февраля 2013, ИКИ РАН, г. Москва, Россия
20. D.A. Mansfeld, S.V. Golubev, M.E. Victorov, I.V. Izotov, A.V. Vodopyanov. Generation of bursts of electromagnetic radiation due to cyclotron instability of ECR heated mirror-confined

- plasma. // 12th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in Laboratory and Space (IPELS), Nagano, Japan, July 1-5, 2013
21. К.П. Зыбин, В.А. Сирота Stochastic evolution of small-scale velocity fluctuations in hydrodynamic turbulence and multifractality, European Turbulence Conference 14 (ETC14), Lyon, France, 1-4, September 2013
 22. К.П. Зыбин, В.А. Сирота Международная конференция "Турбулентность и волновые процессы", посвященная 100-летию со дня рождения академика Михаила Дмитриевича Миллионщикова (1913-1973). МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; 26-28 ноября 2013
 23. Krasovsky V. L., Absorbing sphere in a collisionless plasma: Trapping region boundary and energy quantities of the physical system. XXXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG-2013), Spain, Granada, 14-19 July, 2013.
 24. Киселёв А. А., Красовский В. Л., Долгоносов М. С., Захват ионов бесстолкновительной плазмы в электрическом поле заряжающейся поглощающей сферы.
«56-я Научная конференция МФТИ», г. Долгопрудный, 25-30 ноября 2013.
 25. С.Н. Сатунин, А.Г. Франк. Некоторые особенности динамики токовых слоев в условиях генерации токов обратного направления // Тезисы докладов XLI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, г. Звенигород, 10-14 февраля 2014 г.
 26. Г.С. Воронов, Н.П. Кирий, А.Г. Франк, В.С. Марков, Е.В. Воронова. Исследование нагрева и течений плазмы токового слоя в двумерных и трехмерных магнитных конфигурациях при разряде в аргоне // Тезисы докладов XLI Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, г. Звенигород, 10-14 февраля 2014 г. в печати.

Направлено в печать:

1. Кислов Р.А., Малова Х.В., Васько И.Ю., Двухмерная МГД-модель магнитодиска Юпитера, Космические исследования, направлена в журнал, 2013
2. Киселев А. А., Долгоносов М. С., Красовский В. Л., Захват ионов в процессе приобретения заряда поглощающей сферой в бесстолкновительной плазме, (статья принята к печати журналом «Доклады Академии Наук» 14.11.2013).
3. V.Urpin. «Formation of filament-like structures in the pulsar magnetosphere and the short-term variability of pulsar emission». Astronomy and Astrophysics, 2013 (в печати)
4. Yu. Sasunov, M.Khodachenko, I.Alexeev, O.Mingalev, I.Mingalev, M. Melnik, V.Semenov, I.Kubyshkin, E.Belenkaya, I. Shaykhislamov, H.Lammer. Analytic approach to kinetic description of a thin collisionless current sheet with a guiding magnetic field. JGR (в печати)
5. Savin, S., E. Amata, V. Budaev, L. Zelenyi, E.A. Kronberg, J. Buechner, J. Safrankova, Z. Nemecek, J. Blecki, L. Kozak, S. Klimov, A. Skalsky, L. Lezhen, On nonlinear cascades and resonances in the outer magnetosphere, *JETP Letters.*, (2013, in press)
6. Шайхисламов И.Ф., В.М. Антонов, Ю.П. Захаров, Э.Л. Бояринцев, А.В. Мелехов, В.Г. Посух, А.Г. Пономаренко «Продольные токи и магнитосферный генератор в экспериментах по обтеканию магнитного диполя лазерной плазмой». **Принята к печати в журнале «Космические исследования»**
7. Shaikhislamov I F, Yu P Zakharov, V G Posukh, A V Melekhov, V M Antonov, E L Boyarintsev and A G Ponomarenko «Experimental study of mini-magnetosphere». **Принята к печати в журнале «Plasma Physics and Controlled Fusion».**
8. M. V. Starodubtsev, V. V. Nazarov, and A. V. Kostrov. Laboratory modeling of stimulated electromagnetic emission in the ionosphere (submitted to J.Geophys.Res.,2013)
9. Красовский В. Л., Энергетические характеристики возмущения бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой (статья принята к печати журналом «Геомагнетизм и аэронавигация» 03.12.2013).