

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

_____ **В.А. Матвеев**
«__» _____ **2012 г.**

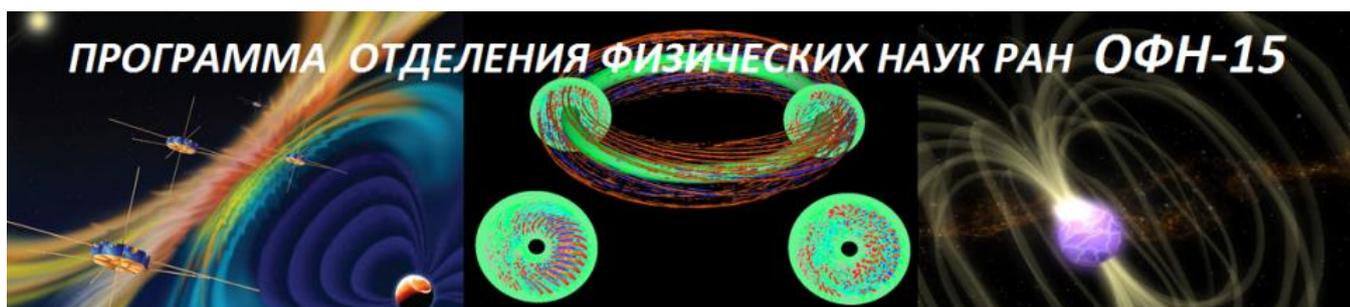
АННОТАЦИОННЫЙ ОТЧЁТ за 2012 год

По Программе фундаментальных исследований
Отделения физических наук РАН

«Плазменные процессы
в космосе и в лаборатории»

Координатор программы
Член-корреспондент РАН

Петрукович А.А.



Содержание

	<i>стр.</i>
1. Аннотация программы.....	3
2. Участники программы.....	4
3. Проекты программы.....	5
4. Смета программы на 2012 г.....	6
5. Обзор работ по программе.....	7
6. Сводка научных результатов программы.....	9
7. Список публикаций по программе.....	15

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 2012 г:

1. Динамика тонких токовых слоев: формирование, структура, разрыв
2. Нелинейная динамика заряженных частиц, ускорение.
3. Взаимодействия волна-частица и генерация излучений
4. Турбулентность и хаос
5. Процессы переноса в плазме.
6. Развитие экспериментальной техники
7. 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
1. Теоретические исследования токовых слоев		
1.1. Исследование самосогласованных токовых конфигураций в бесстолкновительной плазме с немаксвелловскими функциями распределения частиц по скоростям	ИПФ РАН	Член-корр. РАН Кочаровский В.В.
1.2. Создание численной модели токового слоя в хвосте магнитосферы с реалистичным учетом электронной компоненты	ПГИ РАН	к.ф.-м.н. Мингалев О.В.
1.3. Теоретическое и экспериментальное исследование токовых слоев в магнитосфере Земли	ИКИ РАН	д.ф.-м.н. Малова Х.В.
2. Лабораторные эксперименты		
2.1. Лабораторное моделирование линейных и нелинейных эффектов при распространении волн в космической плазме.	ИПФ РАН	д.ф.-м.н. Костров А. В.
2.2. Лабораторное моделирование турбулентных процессов в неравновесной плазме космических магнитных ловушек	ИПФ РАН	д.ф.-м.н. Голубев С. В.
2.3. Магнитное пересоединение и генерация высокоскоростных потоков плазмы в токовых слоях, развивающихся в лабораторных условиях	ИОФ РАН ФТИ РАН	д.ф.-м.н. Франк А.Г. д.ф.-м.н. Островская Г.В.
2.4. 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.
3. Хаос и турбулентность в плазме		
3.1. Генерация магнитного поля в космической плазме анизотропным распределением частиц по энергиям.	ФИАН	Член-корр. РАН Зыбин К.П.
3.2. Исследования роли турбулентного электромагнитного поля в процессах транспорта и ускорения заряженных частиц	ИКИ РАН	к.ф.-м.н. Артемьев А.В.
3.3. Влияние плазменных микрополей на процессы переноса и некоторые элементарные процессы в плазме, в том числе неидеальной	ИОФ РАН	д.ф.-м.н. Романовский М.Ю.
3.4. Взаимодействие потока плазмы с препятствием: изучение многомасштабной динамики обтекания солнечным ветром планетных магнитосфер	ИКИ РАН	д.ф.-м.н. Савин С.П.
4. Динамика плазменных структур		
4.1. Исследование холловской магнитной гидродинамики в разреженной космической плазме	ФТИ РАН	д.ф.-м.н. Урпин В. А.
4.2. Исследование электродинамики формирования заряда тела в космической плазме	ИКИ РАН	д.ф.-м.н. Красовский В.Л.

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 турбулентные механизмы переноса, связанные с образованием редких «выбросов» с большой скоростью и имеющие исключительно 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. Начата работа по кинетическому моделированию транзитных эффектов взаимодействия частиц плазмы с зондом.

5. Исследования взаимодействия частиц и волн, нелинейных эффектов

Статистика публикаций

- Статьи, опубликованные в зарубежных рецензируемых журналах – 11.
- Статьи, опубликованные в российских журналах, включенных в список ВАК – 12.
- Из них – в изданиях, включенных в список WoS – 20.
- Статьи, отправленные в печать – 19.
- Статьи в нереферируемых изданиях – 1.
- Монографии – 1.
- Выступления на конференциях (тезисы в материалах конференций) – 24.

Командировки и конференции

Из бюджета программы было профинансировано семь поездок на конференции и шесть поездок 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

Создан интернет-сайт программы ofn15.cosmos.ru

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://ofn15.cosmos.ru/>. The page features a header with the text "ПРОГРАММА ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН ОФН-15" and a main title "ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОСМОСЕ И В ЛАБОРАТОРИИ". A navigation menu on the left lists various sections, with "О программе" selected. The main content area is titled "О программе ОФН-15" and "«Плазменные процессы в космосе и в лаборатории»". The text describes plasma as the most common state of matter and discusses its properties in space and laboratory settings. It mentions the role of magnetic fields in confining and heating plasma, and the importance of understanding these processes for space exploration and fusion energy. The page also lists the main goals of the program and the tasks of research within the program.

6. Сводка научных результатов программы

1. Токовые слои

Показана возможность существования и построена аналитическая теория самосогласованных стационарных токовых слоёв и трубок тока с локализованным магнитным полем в бесстолкновительной многокомпонентной плазме, в том числе релятивистской. Найденные нейтральные токовые структуры допускают произвольные функции распределения частиц по энергиям, широкий класс пространственных профилей и сравнимые плотности энергии магнитного поля и частиц. Соответствующие магнитостатические конфигурации, являясь локализованными в отличие от известных ранее токовых слоёв типа Харриса и филаментов типа Беннетта, позволяют систематически описывать различные уединённые токовые образования, возникающие в лабораторной и космической плазме под действием электромагнитных (лазерных) импульсов, ударных волн, джетов и других анизотропных факторов. В частном случае степенного вида функций распределения по энергии исследованы спектральные особенности синхротронного излучения частиц, образующих токовые слои. Рассмотрены некоторые применения полученных результатов для анализа самосогласованных токовых конфигураций в различных условиях космической плазмы. (Проект 1.1)

Создана основанная на методе крупных частиц численная модель тонкого токового слоя (ТТС) с заданной нормальной компонентой магнитного поля в хвосте магнитосферы, в которой в рамках системы Власова–Пуассона учитывается электронная компонента с реальным отношением заряда к массе, температурой и дебаевским расстоянием. (Проект 1.2)

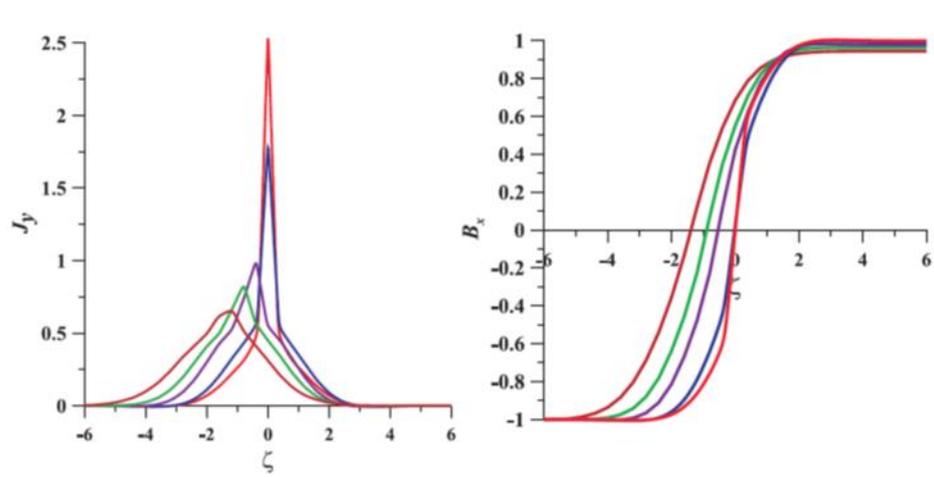


Рис.1. Асимметричные профили плотности тока и магнитного поля в токовом слое при разных значениях ширового магнитного поля. Так, профили соответствуют значениям параметра B_{y0}/B_{x0} (B_{x0} - значение тангенциального поля вне слоя): 0.0 (красная линия), 0.1 (синяя линия), 0.2 (фиолетовая линия), 0.3 (зеленая линия), 0.4 (коричневая линия).

Построена аналитическая двумерная самосогласованная модель тонкого токового слоя в магнитосфере Земли. В рамках модели исследован вопрос о влиянии продольного градиента нормальной компоненты магнитного поля на структуру токового слоя. Показано, что в удаленной от Земли части тонкого токового слоя электронный ток является доминирующим: узкий электронный токовый слой с большой амплитудой плотности тока вложен в более широкий и менее интенсивный ионный слой. На противоположном краю токового слоя, ближе

к Земле, доминируют ионные токи, при этом плотность электронного тока много меньше плотности ионного тока. (Проект 1.3)

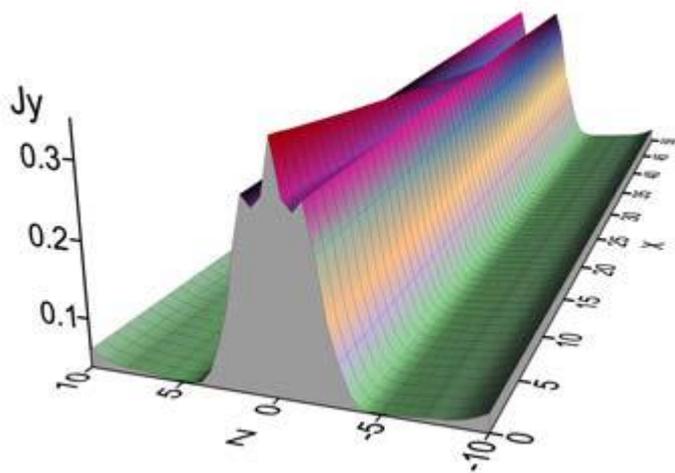


Рис.2. Двухмерное распределение на плоскости $\{XZ\}$ (в солнечно-магнитосферной системе координат) плотности тока в токовом слое магнитосферного хвоста. Начало координат X -оси расположено в дальней области хвоста, ось X направлена к Земле.

Исследовано влияние глобальной шировой компоненты магнитного поля на структуру токового слоя в хвосте магнитосферы Земли. Показано, что по сравнению с конфигурацией без шира, характер взаимодействия «частица-слой» существенно образом меняется. Рассеяние частиц становится асимметричным в зависимости от расположения источника плазмы, а величина электронных токов уменьшается, что приводит к формированию асимметричных, сравнительно широких профилей плотности тока и магнитного поля. (Проект 1.3)

Исследованы распределения тока в зависимости от начальных условий развития токовых слоев в лабораторной установке и показано, что при формировании слоя в неоне, в 3D магнитном поле с X линией, в присутствии продольной компоненты поля возникают наиболее благоприятные условия для спонтанного проявления импульсной фазы магнитного пересоединения. (Проект 2.3)

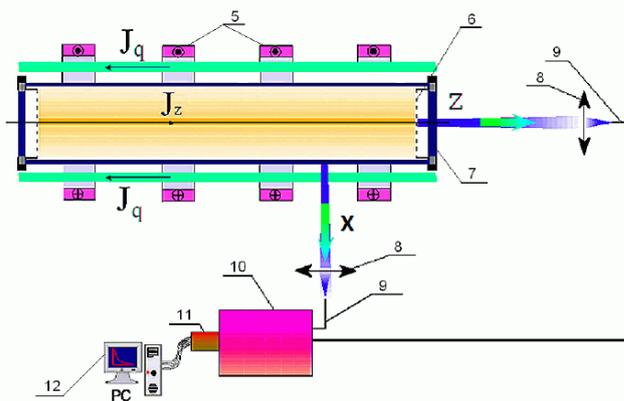


Рис.3. Схема экспериментальной установки $TC-3D$ (ИОФ РАН), вид сбоку. 5 – катушки для возбуждения продольного магнитного поля B_z ; 6 – сетчатые электроды; 7 – кварцевые окна; 8 – кварцевые линзы; 9 – кварцевые световоды; 10 – монохроматор; 11 – электронно-оптическая камера $Nanogate-1UF$; 12 – персональный компьютер

Исследована эволюция концентрации электронов N_e в различных областях токовых слоев. При развитии слоя в 2D магнитном поле у боковых краев слоя концентрация со временем увеличивается более, чем в 20 раз, тогда как в 3D конфигурациях рост плотности электронов гораздо менее выражен. (Проект 2.3)

Проведен анализ структуры и эволюции плазменных слоев, которые развиваются в лабораторных 2D магнитных полях с нулевой линией в плазме с низкой начальной степенью ионизации $\approx 10^{-4}$. Показано, что определяющую роль в эволюции плазменного слоя играют дополнительная ионизация газа и динамика плазмы в расширяющемся со временем токовом слое. Выполнены численные расчеты конфигурации магнитных полей токовых слоев при различных распределениях плотности тока, а также сил Ампера, приводящих к формированию плазменных слоев различной структуры. (Проект 2.3)

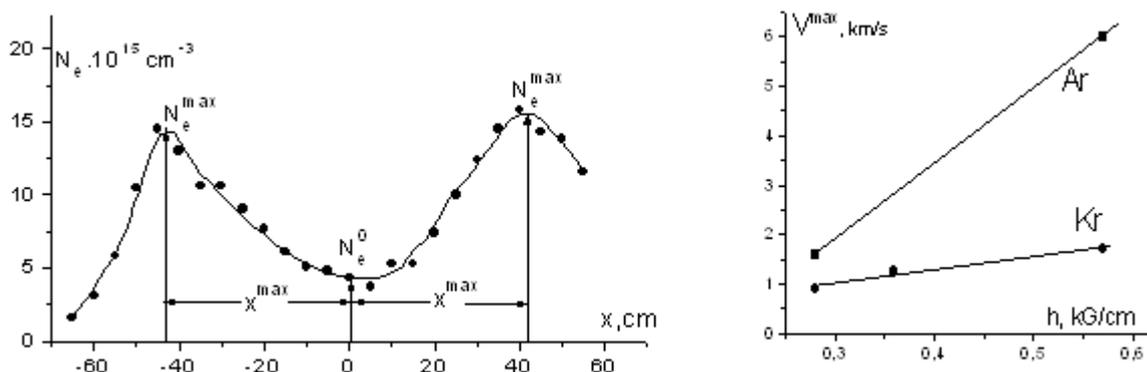


Рис.4 Продольное распределение электронной плотности (а) в двугорбом слое, формирующемся в Ar ($t = 1,6 \mu s$) и зависимость скорости перемещения боковых максимумов от градиента поперечного магнитного поля (б).

2. Турбулентность.

Исследовано развитие вайбелевской неустойчивости в анизотропной бесстолкновительной плазме. Анизотропия в распределении частиц по энергиям в разных направлениях при отсутствии столкновений приводит к генерации заметного магнитного поля фактически с уровня тепловых флуктуаций. Неустойчивость насыщается на уровне, когда плотность энергии магнитного поля сравнивается с анизотропией давления частиц. Проведено численное моделирование методом «particle in cell». Показано, что действительно возникают солитонные волны магнитного поля, распространяющиеся с максимально большой скоростью. Проведенные расчеты важны для интерпретации данных наблюдений волн магнитного поля в космической плазме, где имеет место условия для развития вайбелевской неустойчивости (анизотропия и бесстолкновительность). (Проект 3.1)

Теоретически и численно исследована роль турбулентного электромагнитного поля в ускорении и транспорте заряженных частиц в токовых слоях, и эта роль сопоставлена с традиционными «ламинарными» механизмами. Стационарные мелкомасштабные флуктуации магнитного поля моделируются дискретными моделями случайных процессов с заданными статистическими свойствами. Полученные аналитические оценки сопоставлены с данными по наблюдению турбулентного поля в хвосте земной магнитосферы. Рассмотрена модель квазистатического нагрева ионов в магнитосфере Земли при конвекции к Земле. Показано, что при амплитуде турбулентного поля в 10%-25% от внешнего поля ускорение по своей эффективности сопоставимо с ускорением в стационарных X-линиях и существенно

превосходит эффективность нагрева при конвекции. Получена аналитическая оценка на уровень флуктуаций магнитного поля, при котором флуктуации могут оказывать существенный эффект на динамику электронов в области пересоединения. При этом, однако, следует отметить, что ускорение в турбулентных полях сопряжено с быстрым транспортом частиц, что существенным образом ограничивает максимальные энергии, набираемые ионами, за счёт ограниченности области заполненной турбулентностью. (Проект 3.2)

3. Перенос массы, энергии и импульса через границы.

На представительном статистическом материале измерений в магнитосфере Земли и в лабораторных термоядерных установках показано, что аномальный перенос в пограничных слоях обеспечивается сверхплотными плазменными струями. Они деформируют магнитные границы на глубину, сравнимую с глобальным масштабом обтекания, а также структурируют пограничные слои вплоть до микромасштабов (протонного гирорадиуса). Такие структуры могут обеспечить перенос плазмы по эффективности на порядок больший, чем дает классическая диффузия или пересоединение внешних и внутренних магнитных полей. Сходность статистических свойств погранслоев в термоядерных установках и на магнитосферных границах указывает на аналогичную роль экстремальных всплесков плазмы как в переносе, так и в обеспечении многомасштабного «дальнодействия» и взаимовлияния. (Проект 3.4)

Исследована методами лабораторного эксперимента, аналитического анализа и численного моделирования магнитосфера, сопоставимая по размерам с ионными кинетическими масштабами. Эксперимент показал, что положение магнитопаузы и точка остановки плазмы существенно отличаются в режимах с малой и большой ионной плазменной длиной. А именно, в кинетическом режиме магнитопауза регистрируется заметно дальше, чем расстояние до расчетной точки баланса давлений, а плазма проникает глубоко внутрь области дипольного магнитного поля. Представленные результаты численных расчетов Холловским МГД кодом показали хорошее согласие с экспериментом и аналитической моделью. (Проект 2.4)

4. Микроэффекты

Теоретически исследовано влияние внешнего электрического поля различной природы на процесс захвата орбитальных электронов ядрами, а также на возможный процесс двойного безнейтринного электронного захвата орбитальных электронов ядрами атомов или ионов. Для захвата первого запрещения, например, в ядрах ${}_{81}\text{Kг} \rightarrow {}_{81}\text{Вг}$ в плазме неонподобного криптона фактор ускорения составляет порядка 10 уже для концентрации ионов $\sim 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Неонподобная плазма криптона такой концентрации будет иметь время жизни около 30 дней по отношению к электронному захвату. Для захвата второго запрещения ${}_{123}\text{Те} \rightarrow {}_{123}\text{Sb}$ в никелеподобной плазме ${}_{123}\text{Те}$, фактор ускорения ~ 10 уже при концентрации ионов $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Такая плазма может быть удержана длительное время внутри стандартной газодинамической ловушки. Основным механизмом ускорения (все еще) гипотетического двойного безнейтринного электронного захвата будет резонанс основного состояния материнского ядра с возбужденным состоянием дочернего. Этого можно добиться, создав плазму ионов с материнскими ядрами нужной степени ионизации. (Проект 3.3)

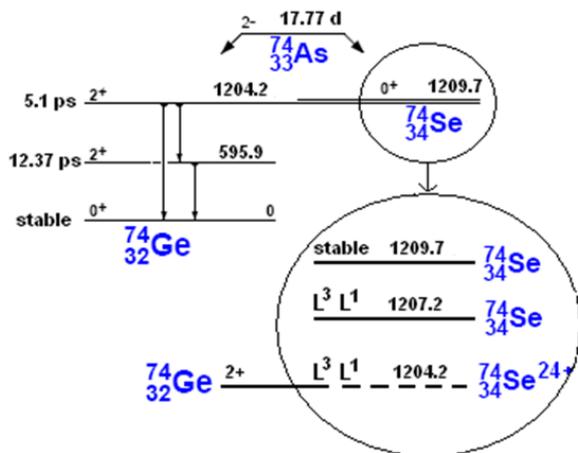


Рис.5. Схема энергетических уровней для безнейтринного захвата ${}^{74}\text{Se} \rightarrow {}^{74}\text{Ge}$. Слева: нижние возбужденные состояния ${}^{74}\text{Ge}$ с соответствующими временами жизни. Эллипс выделяет энергии основного состояния ${}^{74}\text{Se}$, энергии двойной дырки в электронных оболочках L_I и L_{III} атома ${}^{74}\text{Se}$ и неонподобного иона ${}^{74}\text{Se}^{24+}$. Все энергии в кэВ.

Проведен теоретический анализ задачи о равновесном состоянии возмущенной плазмы при наличии в ней поглощающего тела сферической формы в стационарной постановке на основе традиционных методов [1,2]. В дополнение к расчетам плотности заряда и тока, получены выражения для основных энергетических характеристик плазмы. Разработан алгоритм численного моделирования процесса зарядки поглощающей сферы. В качестве метода решения системы уравнений Власова-Пуассона выбран метод «частиц в ячейках». (Проект 4.2)

5. Взаимодействие частиц и волн, нелинейные эффекты.

Проведены первые абсолютные измерения частоты и интенсивности электромагнитных волн, возбуждаемых в лабораторной плазме при нестационарных (вспышечных) процессах циклотронных неустойчивостей как во время действия СВЧ накачки, так и на стадии распада плазмы ЭЦР разряда. Показано, что средняя частота в импульсе возрастает с ростом магнитного поля ловушки, а понижающий дрейф частоты в течение импульса может быть связан с модификацией функции распределения электронов по энергиям. Экспериментально установлено, что в результате циклотронной неустойчивости разреженной плазмы из ловушки выносится энергия 3 мДж, что составляет по порядку величины 10% от запасенной энергии в горячей электронной компоненте, причем основная доля энергии уносится энергичными электронами. (Проект 2.2)

Экспериментально продемонстрирована возможность создания неравновесной плазмы, в которой фоновая холодная компонента формируется в пеннинговском разряде низкого давления, а фракция частиц с неравновесным распределением по скоростям создается за счет инжекции потока плазмы вакуумно-дугового разряда. С использованием разработанного и изготовленного миниатюрного (с диаметром потока плазмы несколько мм) плазменного инжектора на основе вакуумно-дугового разряда проведены первые эксперименты по изучению взаимодействия пламенного потока с холодной плазмой. (Проект 2.2)

В ходе экспериментальных исследований была изучена трехмерная динамика импульсных возмущений магнитного поля, возникающих при взаимодействии интенсивного ВЧ излучения свистового диапазона с замагниченной плазмой за счет генерации дрейфовых

токов под действием усредненной пондеромоторной силы. Разработана численная модель циклотронного ускорения электронов в ближней зоне антенн в замагниченной плазме. Модель позволяет рассчитывать функцию распределения электронов, проходящих через ближнюю зону антенны в условиях электронно-циклотронного резонанса, а также макроскопические проявления эффекта ускорения, включая величину и динамику диамагнитного эффекта. (Проект 2.1)

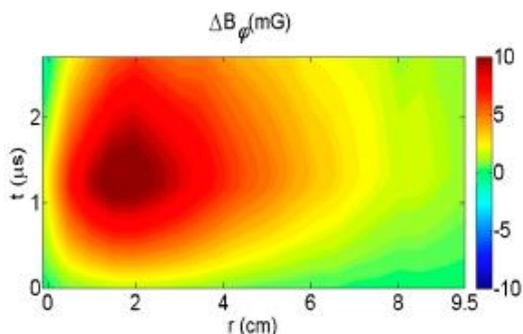


Рис.5. – Поперечная динамика возмущений магнитного поля на плоскости «координата – время»

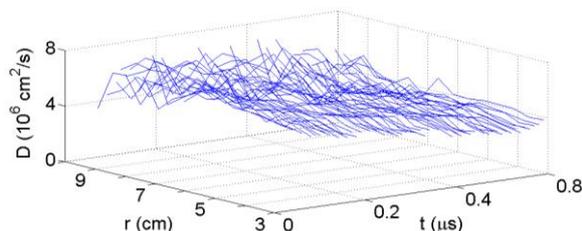


Рис.6. – Результат численной обработки массива данных по магнитным возмущениям в предположении диффузионного характера уравнения, описывающего динамику магнитного поля. «Плато» на плоскости координата-время подтверждает данное предположение.

Исследован новый тип МГД волн, которые существуют в замагниченной плазме, если магнитное давление существенно превосходит газовое давление. Такое условие обычно выполняется в магнитосферах звезд. В такой плазме при наличии быстрого вращения может распространяться особый тип волн, названных магнитосферными и имеющих высокую частоту. Движение плазмы в этих волнах происходит преимущественно вдоль магнитного поля, так как поперечные движения подавлены сильным полем. Сдвиговые натяжения совместно с магнитным полем приводят к неустойчивости магнитосферных волн и к высокочастотным вариациям выходящего электромагнитного излучения. (Проект 4.1)

Исследовано влияние вращения плазмы и гравитации на развитие неустойчивости, обусловленной электрическими токами, поддерживающими магнитную конфигурацию (тэйлеровская неустойчивость). Показано, что и вращение, и гравитация могут существенно уменьшать скорость развития неустойчивости, однако не могут подавить ее совсем. Этот вывод является новым, поскольку ранее считалось, что гравитация и достаточно быстрое вращение способны сделать плазменные конфигурации с магнитным полем устойчивыми. (Проект 4.1)

7. Список публикаций по программе:

Статьи в зарубежных реферируемых журналах:

1. Malova, H., V. Yu. Popov, O. V. Mingalev, I. V. Mingalev, M. N. Mel'nik, A. V. Artemyev, A. A. Petrukovich, D. C. Delcourt, C. Shen, and L. M. Zelenyi. Thin current sheets in the presence of a guiding magnetic field in the Earth's magnetosphere // *J. Geophys. Res.*, 2012, VOL. 117, A04212, doi:10.1029/2011JA017359.
2. M.E. Gushchin, T.M. Zaboronkova, C. Krafft, S.V. Korobkov, A.V. Kostrov. Inductance and near fields of a loop antenna in a cold magnetoplasma in the whistler frequency band. *Physics of Plasmas*, V.19, No.9, pp.093301(1-7) (2012)
3. A.G. Shalashov, S.V. Golubev, E.D. Gospodchikov, D.A. Mansfeld and M.E. Viktorov. Interpretation of complex patterns observed in the electron-cyclotron instability of a mirror confined plasma produced by an ECR discharge // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. 2012. Vol. 54. No. 8. P. 085023
4. S. V. Golubev, I. V. Izotov, D. A. Mansfeld, and V. E. Semenov Experimental electron energy distribution function investigation at initial stage of electron cyclotron resonance discharge // *Rev. Sci. Instrum.* 83, 02B504 (2012)
5. Vodopyanov, A. V., Izotov, I. V., Mansfeld, D. A., & Yushkov, G. Y.. Multicharged ion source based on penning-type discharge with electron cyclotron resonance heating by millimeter waves. *Review of Scientific Instruments*, 83, 02A325, 2012
6. A.G. Frank, N.P. Kyrie. Experimental study of plasma jets generated in current sheets // *ECA* V. 36F, P. O2.402(1-4) <http://ocs.ciemat.es/epsicpp2012pap/html/>
7. Ya.N. Istomin, Nonlinear Weibel waves, *Plasma Phys. Control. Fusion*, v. 53, pp. 015006(12), 2011.
8. Birn J., A.V. Artemyev, D.N. Baker, M. Echim, M. Hoshino, L.M. Zelenyi, Particle Acceleration in the Magnetotail and Aurora, 2012 *Space Sci. Rev.* 173, 49–102, doi: 10.1007/s11214-012-9874-4
9. Vasiliev A. A., V. Artemyev, I. Neishtadt, L. Vainchtein, and I. M. Zelenyi, Resonant interaction of charged particles with electromagnetic waves. *Chaos, Complexity and Transport : Proceedings of the CCT '11*, etidors Xavier Leoncini, Marc Leonetti, 2012, 3-15.
10. S. Savin, E. Amata, L. Zelenyi, ..., V. Budaev et al., *Ann. Geophys.*, **30**, 1–7, 2012.
11. V.Urpin. «Force-free pulsar magnetosphere: instability and generation of MHD waves». *Astronomy and Astrophysics* 541, 117-121, 2012.

Статьи в российских реферируемых журналах:

1. Мингалев О.В., Мингалев И.В., Мельник М.Н., Артемьев А.В., Малова Х.В., Попов В.Ю., Шен Чао, Зелёный Л.М. Кинетические модели токовых слоев с широким магнитным полем. // *Физика плазмы*. 2012. Т. 38, № 4, стр. 229–244.
2. Зеленый Л.М., В.Ю. Попов и Х.В. Малова, О влиянии продольной неоднородности магнитного поля на структуру тонких токовых слоев в космической плазме, *Ученые Записки Физического факультета МГУ*, №1, 120104-1 - 120104-8, 2012.
3. Н.А. Айдакина, М.Е. Гушин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский. Квазистационарное магнитное поле, возбуждаемое в плазме радиоимпульсом свистового диапазона частот. *Письма в ЖЭТФ*, Т.93, №9, с.555-560 (2011)
4. М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Костров, Д.А. Одзерихо, С.Э. Привер, А.В. Стриковский. Параметрическая генерация низкочастотных волн электронами плазмы, ускоренными в условиях электронно-циклотронного резонанса. *Письма в ЖЭТФ*, Т.92, №2, с.89-94 (2010)

5. Д.В. Янин, А.В. Костров, А.И. Смирнов, М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Стриковский, В.И. Гундорин, В.В. Назаров, М.В. Стародубцев. Диагностика параметров плазмы атмосферного давления по методу ближнепольного СВЧ-зондирования. Журнал технической физики, Т.82, №4, с.48-57 (2012)
6. Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк. Генерация сверхтепловых потоков плазмы в токовых слоях // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 95. Вып. 1. С. 17-22.
7. Г.В.Островская, А.Г.Франк. Особенности эволюции и структуры плазмы токовых слоев, формируемых в двумерных магнитных полях с нулевой линией в условиях низкой начальной ионизации газа, и их интерпретация // ЖТФ. 2012. Т. 82, № 4. С. 75-85.
8. Н.П. Кирий, А.Г. Франк. Ускорение плазмы в токовых слоях, сформированных в гелии в двумерных и трехмерных магнитных конфигурациях // Физика плазмы 2012. Т. 38(12), С. 1042-1054.
9. Н.П. Кирий, С.А Литюшкин, А.В. Шелудякова. Основные характеристики спектроскопического диагностического комплекса «Токовый слой» // Научный вестник МИРЭА, 2012 г., № 1 (12), С. 15-22.
10. М.Ю.Романовский. Ускорение запрещенных захватов орбитальных электронов и двойных безнейтринных захватов электронов ядрами под действием лазерного излучения УФН Т.182, №7, С.781-786 (2012)
11. Л. В. Козак, С. П. Савин, В. П. Будаев и др., *ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ*, т. 52, с. 470–481, 2012.
12. Долгоносов М. С., Кузичев И. В., Зеленый Л. М., Эволюция электростатической волны, распространяющейся перпендикулярно однородному магнитному полю, Труды МФТИ, 2011, Т. 3, № 3, 53-63.

Монографии:

1. С.П. Савин, *Монография «Нелинейные взаимодействия и перенос плазмы на границе магнитосферы»*, doi 978-3-8473-3413-2, Lambert Academic Publishing, Munich, 2012

Статьи в нереферируемых изданиях:

1. Mingalev O.V., Mingalev I.V., Melnik M.N., Malova H.V., Zelenyi L.M., Artemyev A.V. Influence of the external magnetic field component B_y on the thin current sheet configuration // Abstracts of the 35 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 28 February–2 March, 2012. – Preprint PGI 12-01-128. –Apatity: KSC RAS, PGI, 2012. – P. 27

Материалы конференций:

1. Мингалев О.В., Мингалев И.В., Малова Х.В., Артемьев А.В., Зеленый Л.М., Мельник М.Н. Функция распределения пролетных ионов в тонком токовом слое с двумя самосогласованными и постоянной нормальной компонентами магнитного поля. // 7-я Ежегодная Конференция «ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ» (ОФН-VI.15), 6–12 ФЕВРАЛЯ 2012 г., СБОРНИК ТЕЗИСОВ, ИКИ РАН, с. 5, Москва, 2012.
2. Mingalev O.V., Mingalev I.V., Melnik M.N., Malova H.V., Zelenyi L.M., Artemyev A.V. Influence of the external magnetic field component B_y on the thin current sheet configuration // Abstracts of the 35 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 28 February–2 March, 2012. – Preprint PGI 12-01-128. –Apatity: KSC RAS, PGI, 2012. – P. 27
3. Малова Х.В., Л. М. Зеленый, В.Ю. Попов, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович, Тонкие токовые слои в космической плазме: двухмерная структура, 7-я Конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 06-10 февраля 2012 г., ИКИ РАН, сборник тезисов докладов, г. Москва, 2012, с.180, <http://plasma2012.cosmos.ru/>

4. Н. Malova, L. Zelenyi, V. Popov, A. Artemyev, A. Petrukovich, D. Delcourt, Multiscale anisotropic current sheets in magnetospheric plasma, Conference GDRI “Cosmophysics”, 4-8 March 2012, IRAP (Institut de Recherches Astrophysiques et Planetaires), Toulouse, France, 2012 (oral report)
5. Зеленый Л.М., Малова Х.В., Попов В.Ю. Моделирование двумерной структуры тонких токовых слоев в магнитосферной плазме. Ломоносовские чтения – 2012, секция Физики, подсекция Теоретическая и математическая физика, сб. тезисов, с.71-73
6. Malova H., V. Popov, L. Zelenyi, Embedded current sheets in space plasma: role of longitudinal inhomogeneity, D3.1 Multiscale Magnetospheric Processes: Theory, Simulations and Multipoint Observations, D3.1-0009-12, 39th COSPAR Scientific Assembly, Mysore, India, 14-22 July 2012, <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-12>
7. Zelenyi Lev, Anton Artemyev, Helmi Malova, Anatoly Neishtadt, Anatoly Petrukovich, Quasi-adiabatic approach to charged particle dynamics: yesterday, today and tomorrow, Space Plasmas in the Solar System, including Planetary Magnetospheres (D), Highlights of Magnetospheric Plasma Physics (D3.3), D3.3-0009-12, 39th COSPAR Scientific Assembly 2012, India, Mysore, 14-22 July 2012, <https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-12>
8. Н.А. Айдакина, М.Е. Гушин, И.Ю. Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский. Квазистационарные токи и магнитные поля, возбуждаемые в замагниченной плазме мощными радиоимпульсами. Тезисы докладов конференции «Физика плазмы в солнечной системе», г. Москва, 6-10 февраля 2012 г.
9. А.В. Костров, М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Стриковский, В.Е. Шапошников. Параметрический механизм формирования тонкой структуры спектра миллисекундных радиовсплесков Юпитера. Тезисы докладов конференции «Физика плазмы в солнечной системе», г. Москва, 6-10 февраля 2012 г.
10. Н.А.Айдакина, М.Е.Гушин, И.Ю.Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский. Экспериментальное исследование возмущений замагниченной плазмы, квазистационарных токов и магнитных полей, возбуждаемых мощным радиоимпульсом. Тезисы докладов XVI научной школы «Нелинейные волны 2012», г.Н.Новгород, 29 февраля-6 марта 2012 г., с.6-7
11. Н.А.Айдакина, М.Е.Гушин, И.Ю.Зудин, С.В. Коробков, А.В. Костров, А.В. Стриковский. Параметрическая генерация и кроссмодуляция свистовых волн в магнитоактивной плазме. // Тезисы докладов XVI научной школы «Нелинейные волны 2012», г.Н.Новгород, 29 февраля-6 марта 2012 г., с.51-52
12. M. Gushchin, S. Korobkov, A. Kostrov, A. Strikovsky, and V. Shaposhnikov. Parametric frequency transformation in time-varying magnetoplasma and the formation of the discrete spectra of radio emissions in space and laboratory plasmas. // “European Planetary Science Congress 2012”, IFEMA-Feria de Madrid, 23 – 28 September 2012, Madrid, Spain.
13. M. Gushchin, A. Kostrov, and S. Korobkov. On the influence of the burst structure of the Jovian radio emissions and group delay effects in Earth ionosphere on spectra recorded by ground-based receivers. // “European Planetary Science Congress 2012”, IFEMA-Feria de Madrid, 23 – 28 September 2012, Madrid, Spain
14. М.Е. Викторов, А.В. Водопьянов, С.В. Голубев, И.В. Изотов, Д.А. Мансфельд, А.Г. Шалашов. Исследование циклотронных неустойчивостей плазмы ЭЦР разряда // VII конференция «Физика плазмы в солнечной системе». – ИКИ РАН, Москва, 06.02.2012-10.02.2012
15. М.Е. Viktorov, S.V. Golubev, D.A. Mansfeld, A.G. Shalashov, A.V. Vodopyanov. Nonstationary generation of electromagnetic radiation in nonequilibrium mirror-confined plasma // International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion «Alushta-2012». – Crimea (Alushta region), Ukraine, 17.09.2012-23.09.2012
16. Н.П. Кирий, С.Н. Сатунин, А.Г. Франк. Особенности генерации потоков плазмы в токовых слоях и возможности возникновения сдвиговых течений. XXXIX

Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, г. Звенигород, 6-10 февраля 2012г.

17. Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк. Ускорение и нагрев плазмы в токовых слоях при разряде в неоне. Первые результаты. XXXIX Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, г. Звенигород, 6-10 февраля 2012г.,
18. А.Г. Франк, Н.П. Кирий, С.Н. Сатунин. Генерация сверхальфвеновских сверхтепловых потоков плазмы в токовых слоях. 7-я конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, ИКИ РАН, 6-10 февраля 2012 г.,
19. Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк. Динамика ускорения и нагрева нейтральных и заряженных частиц плазмы в токовом слое в зависимости от степени ионизации.
20. A.G. Frank, N.P. Kyrie. Experimental study of plasma jets generated in current sheets 39th European Physical Society Conference & 16th International Congress on Plasma Physics, Stockholm, Sweden, July 2-6, 2012, talk O2.402:
21. Shaihislamov I.F., Yu. P. Zakharov, V. M. Antonov, E.L. Boyarinsev, V.G. Posukh, A. V. Melekhov and A. G. Ponomarenko. Small-scale magnetosphere: what can be learned from laboratory experiments? Abstracts of International symposium EPSC 2012, Madrid, Spain, 23-78 Sep, N148, 2012
22. M.Romanovsky (GPI, Moscow, Russia): Laser induced acceleration of orbital electrons forbidden captures and double neutrinoless electron captures by nuclei (приглашенный) Laser Optics 2012, June 25-29, 2012, St. Petersburg
23. Киселев А. А., Использование OpenCL и GPU в научных вычислениях, Школа молодых ученых «Фундаментальные космические исследования и космические технологии», Украина, Евпатория, 20-25 августа 2012
24. Киселев А. А., Красовский В. Л., Изучение возмущения бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой, «55-я Научная конференция МФТИ», Долгопрудный, 19-25 ноября 2012.

Направлено в печать:

1. Вл.В.Кочаровский, В.В.Кочаровский, В.Ю.Мартьянов, С.В.Тарасов, Самосогласованные токовые структуры в бесстолкновительной плазме с произвольной функцией распределения частиц. УФН, в печати. (*обзор подготовлен к печати по согласованию с редакцией журнала Успехи физических наук*).
2. Улькин А.А., Х.В. Малова, В.Ю. Попов, Численное моделирование движения заряженных частиц в обращенном магнитном поле токового слоя, Препринт ПР-2115, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований российской академии наук, М., 2012, 56 с., в печати.
3. Карцев Ю.И., А.В. Артемьев, Х.В. Малова, Л.М. Зелёный, Квазиadiaбатическая динамика ионов в бифурцированном токовом слое, Физика плазмы, в печати, 2012.
4. A.G. Frank. Flare-type events and generation of plasma jets in current sheets evolving_in laboratory conditions // EAS Publication Series, in press, 2013.
5. N.P. Kyrie. Tangential acceleration of helium plasma in laboratory current sheets // EAS Publication Series, in press, 2013.
6. 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. Направлена в печать // ЖТФ. 2013. Т.83.№ 4.
7. 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. Направлена в печать // ЖТФ. 2013. Т.83.№ 4

8. 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, submitted.
9. Shaihislamov I.F., V. M. Antonov, Yu. P. Zakharov, E.L. Boyarinsev, A. V. , Melekhov V.G. Posukh and A. G. Ponomarenko. Mini-magnetosphere: Laboratory experiment, physical model and Hall MHD simulation. Направлена в журнал «Advances in Space Research».
10. Шайхисламов И.Ф., Антонов В.М., Захаров Ю.П., Бояринцев Э.Л., Мелехов А.В., Посух В.Г., Пономаренко А.Г. Мини-магнитосфера: лабораторный эксперимент, физическая модель и численное моделирование. Направлена в журнал «Космические исследования».
11. Ya.N. Istomin, A.P. Smirnov, A.V. Volkov, Numerical simulation of Weibel waves, Plasma Phys. Control. Fusion, in press, 2012.,
12. A.V. Artemyev, L.M. Zelenyi, Kinetic structure of current sheets in the Earth magnetotail, 2012 Space Sci. Rev., in press
13. Artemyev A.V., Hoshino M., Lutsenko V.N., Petrukovich A.A., Imada S., Zelenyi L.M. Double power-law spectra of energetic electrons in the Earth magnetotail. 2012. Ann. Geophys., in press
14. M.Yu.Romanovsky “The acceleration of orbital electron capture by nuclei in plasmas”. INTERNATIONAL REVIEW OF ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS [in press].
15. A.Bonanno, V.Urpin. «Stability of the toroidal magnetic field in rotating stars». Astron. and Astrophys. (отправлена в печать 10.08.2012).
16. A.Bonanno, V.Urpin «Rotational suppression of the Tayler instability in stellar radiation zones». Mon. Not. R. Astr. Soc. (отправлена в печать 22.08 2012).
17. A Bonanno, V. Urpin. «Rotation and stability of the toroidal magnetic field in radiation zones of stars». Astrophysical Journal (отправлена в печать 14.09.2012).
18. Красовский В. Л., Энергетические характеристики возмущения бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой (отправлена в «Геомагнетизм и аэрономия» 02.11.2012).
19. Красовский В. Л., О границе области захвата в задаче о возмущении бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой (отправлена в журнал «Физика плазмы» 06.08.2012)