

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИКИ РАН)

УДК 523.9 533.9.01

Номер государственной регистрации 0120.0 602992

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института космических исследований  
Российской академии наук  
чл.-корр РАН



А.А. Петрукович  
2021 г.

**ОТЧЕТ**

**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

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

по теме:  
**ПЛАЗМА**  
(промежуточный, этап 3)

0024-2021-0003

Руководитель темы,  
директор ИКИ РАН,  
чл.-корр РАН

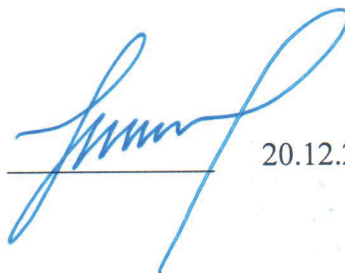
 А.А. Петрукович

Москва

2021

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы  
директор, чл.-корр.РАН



20.12.2021

А.А. Петрукович  
(все разделы)

Ответственные  
исполнители разделов  
темы:

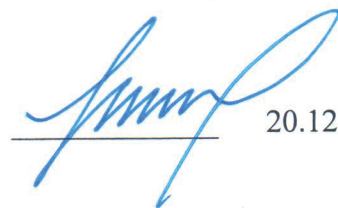
Научный руководитель  
ИКИ РАН, академик  
РАН



20.12.2021

Л.М. Зелёный  
(раздел 1)

Директор, чл.-корр.  
РАН



20.12.2021

А.А. Петрукович  
(раздел 2, 3)

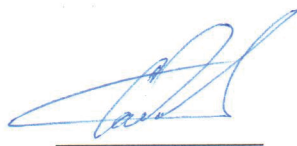
Зав. лаб., д.ф.-м.н.



20.12.2021

В.В. Измоленов  
(раздел 4)

Нормоконтроль



20.12.2021

А.М. Садовский

## РЕФЕРАТ

Отчет содержит 92 страницы, 29 рисунков, 324 источника (все статьи по направлению, включая гранты – см. раздел СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ).

По госзаданию:

Всего должно быть статей по теме "ПЛАЗМА" за 2021 г согласно плану НИР - 54.

Фактически опубликовано в 2021 г - 74 (см. раздел «Список публикаций по теме ПЛАЗМА»).

Из них (WoS): Q1 – 10; Q2 – 20; Q3 – 9; Q4 – 19; Без квартиля – 16.

ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА, МАГНИТОСФЕРА, ИОНОСФЕРА, КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ, СОЛНЦЕ, СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ, ЭНЕРГИЧНЫЕ ИОНЫ, МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ, ТОКОВЫЙ СЛОЙ, МЕЖЗВЕЗДНАЯ СРЕДА, ГЕЛИОПАУЗА, ГЕЛИОСФЕРНЫЙ УДАРНЫЙ СЛОЙ; РАССЕЯННОЕ СОЛНЕЧНОЕ ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЕ

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                 | Стр.   |
|-------------------------------------------------|--------|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                  | 5      |
| 1 Раздел 1 Теория плазмы. ....                  | 7      |
| 2 Раздел 2 Экспериментальные исследования ..... | 21     |
| 3 Раздел 3 Космическая погода .....             | 50     |
| 4 Раздел 4 Исследования гелиосферы .....        | 55     |
| <br>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                            | <br>56 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....          | 57     |
| Список публикаций по теме ПЛАЗМА.....           | 87     |



## ВВЕДЕНИЕ

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с государственным заданием ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ по следующим научным направлениям.

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 1.3.4.3, 1.3.7.3)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей (номер направления в Программе 1.3.4.2, 1.3.4.3, 1.3.7.4, 1.3.6.3, 1.3.6.4)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 1.3.7.5)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 1.3.4.3, 1.3.7.5)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 1.3.3.6)

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 - 2030 годы), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г., № 3684-р

| п/п | <b>Приоритетные направления фундаментальных и поисковых научных исследований (Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 гг)</b> | Номер направления в «Программе» |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1   | Плазменные процессы в геофизике и астрофизике                                                                                                                                                | 1.3.4.3                         |
| 2   | Физика звезд и компактных объектов                                                                                                                                                           | 1.3.7.3                         |
| 3   | Физика низкотемпературной плазмы                                                                                                                                                             | 1.3.4.2                         |
| 4   | Солнце и околоземное космическое пространство, солнечно-земные связи                                                                                                                         | 1.3.7.4                         |
| 5   | Физика нелинейных волн и нелинейная динамика                                                                                                                                                 | 1.3.6.3                         |
| 6   | Фундаментальные проблемы распространения радиоволн, в том числе в ионосфере                                                                                                                  | 1.3.6.4                         |
| 7   | Планеты и планетные системы Плазменные процессы в геофизике и астрофизике.                                                                                                                   | 1.3.7.5                         |
| 8   | Развитие методов детектирования элементарных частиц, атомных ядер и ионизирующего излучения, методов рентгеновской и нейтронной оптики                                                       | 1.3.3.6                         |

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей проводятся по теме 0024-2021-0003 ПЛАЗМА

Тема 0024-2021-0003 ПЛАЗМА является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2021 г. по теме ПЛАЗМА “Проведение фундаментальных исследований в области физики космической плазмы, солнечно-земных связей и физики магнитосферы”.

**Тема ПЛАЗМА. Проведение фундаментальных исследований в области физики космической плазмы, солнечно-земных связей и физики магнитосферы.**  
Гос. регистрация № 0120.0 602992

Научный руководитель чл. корр. РАН Петрукович А.А.

## **1. ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ**

Руководитель академик РАН Л.М. Зелёный

### **1. Модели рассеяние электронов за счёт нелинейных резонансов с электростатическими волнами**

Применение стохастических дифференциальных уравнений является перспективным подходом для включения эффектов нелинейного резонансного взаимодействия волна-частица в численные коды, моделирующие динамику больших ансамблей тестовых частиц на длительных интервалах времени. Данное исследование посвящено рассмотрению системы таких стохастических дифференциальных уравнений для описания взаимодействиями волна-частица в системе с нелинейными резонансами электронов и электростатической моды свистовых волн. Показано, что нелинейные резонансные эффекты могут быть описаны в рамках данного подхода с учётом «негауссовости» распределением вероятностей случайных изменений энергий электронов. Результат получен совместно с Базис 19-1-5-141-1.

### **2. Высокочастотные электромагнитные волны на головной ударной волне**

В рамках работ по данной теме было проведено исследование высокочастотных свистовых волн на квазиперпендикулярной головной ударной волне Земли. Отдельное внимание уделено вопросу источников свободной энергии для генерации этих волн. В рассмотренных измерениях свистовые волны распространяются как параллельно, так и антипараллельно фоновому магнитному полю с частотами около 100 Гц (0.15 от гирочастоты электронов) и амплитудами от 0,1 до 1 нТл. Генерацию наблюдаемых волн можно объяснить локализованной питч-угловой анизотропией функции распределения электронов, которая не может быть точно описана макроскопическими параметрами, такими как тепловой поток или анизотропия температуры. Однако наличие теплового потока вдоль магнитного поля создает преимущественные условия для высокочастотных свистовых волн, которые распространяются в этом направлении. Эти волны частично распространяются в направлении ударной волны, что означает, что они могут рассеивать электроны, прошедшие ударную волну.

### **3. К конфигурации токового слоя земной магнитосферы**

Пространственный масштаб и интенсивность токового слоя магнитосферного хвоста Земли являются определяющими параметрами при анализе устойчивости токового слоя. В отсутствие статистической информации о плазменных токах токового слоя, существующие теории токовых слоёв основывались на предположении об изотропном балансе давления в токовом слое. В рамках работ по данной теме, используя двух многоспутниковых миссий, THEMIS и MMC, и глобальное моделирование магнитосферы, была исследована конфигурация токового слоя магнитного хвоста. Обнаружено, что токовый слой существенно тоньше, чем ожидалось из теорий, предполагающих

изотропный баланс давлений. Показано, что наблюдаемые градиенты давления плазмы в тонких токовых слоях недостаточно сильные (т. е. токовые слои слишком длинные), чтобы уравновесить силу натяжения линии магнитного поля. Как следствие, анизотропия давления играет важную роль для конфигурации тонких токовых слоев.

#### **4. Аналитическая двумерная модель магнитосферы планеты**

Из-за ограниченности имеющихся данных о магнитных полях экзопланет, в настоящее время актуальными являются двумерные модели магнитосфер планет. С помощью конформных отображений построена двумерная модель магнитосферы планеты с разными доминирующими мультипольными компонентами, располагающимися под разными углами к направлению межпланетного магнитного поля. Предполагается, что магнитопауза имеет форму параболоида вращения. Благодаря фиксированной геометрии магнитопаузы, магнитные моменты и размеры магнитосферы, могут изменяться независимо друг от друга, что является преимуществом данной модели. Сделано предположение, что при изменении давления солнечного ветра форма магнитопаузы сохраняется, изменяется только ее размер, т. е. магнитопауза остается подобной самой себе. Из-за предполагаемой фиксированной геометрии параметры, входящие в модель, магнитные моменты и размер магнитосферы, могут изменяться независимо друг от друга, что является преимуществом нашей модели над ранее использованными. Модель дает качественную картину силовых линий для закрытых и открытых мультипольных магнитосфер. Проведено детальное исследование конфигурации магнитосферы: топологии ее силовых линий и структуры магнитосферных токовых систем в хвосте и на магнитопаузе. Результаты модели сравнивались с результатами потенциальных и МГД – моделей. Показано, что простота и аналитический подход, используемый для построения модели, делают ее удобным средством для исследования магнитосфер малоизученных планет.

#### **5. Исследование процессов ускорения заряженных частиц в турбулентной космической плазме с перемежаемостью**

Одним из основных процессов в космической плазме является взаимодействие заряженных частиц с турбулентным магнитным полем. Этот процесс отвечает за ускорение заряженных частиц и нагрев плазмы в планетарных магнитосферах, солнечной короне и других астрофизических плазменных системах. В статье представлен результат численного эксперимента по ускорению заряженных частиц в турбулентном поле с различными уровнями перемежаемости. Главной задачей исследования модели было изучение влияния перемежаемости на ускорение частиц в турбулентной космической плазме. Для этого была разработана трехмерная модель турбулентного поля с контролируемым уровнем перемежаемости. Перемежаемое электромагнитное поле моделируется как суперпозиция турбулентного электромагнитного поля со степенным спектром, полученного при помощи суммы фурье-гармоник и электромагнитного поля, создаваемого небольшими плазмоидами, амплитуды которых заданы при помощи специального распределения. Предложенная трехмерная модель турбулентного поля с контролируемым уровнем перемежаемости, которая воспроизводит свойства турбулентного поля хвоста магнитосферы, позволила рассмотреть процессы ускорения частиц для различных уровней перемежаемости. Показано, что с ростом перемежаемости растет максимальная энергия, которую могут набрать отдельные частицы.

#### **6. Силовой баланс в токовых слоях в бесстолкновительной плазме**

В работе выведена дивергентная форма уравнения силового баланса для бесстолкновительной плазмы в приближении квазинейтральности, при котором исключены электрическое поле и плотность тока. Аналитическое описание замагниченных электронов в модели полностью кинетическое. Они описываются распределением Максвелла—Больцмана, которое, в зависимости от постановки задачи, является либо точным, либо приближенным решением уравнения Власова в дрейфовом приближении. Уравнение Власова для ионов численно решается методом характеристик, что позволяет использовать в моделировании массивно-параллельные вычисления на графических процессорах. Результаты этой работы позволяют использовать модель, в частности, для исследования несимметричных ТТС. Для стационарного пространственно-одномерного токового слоя с постоянной нормальной компонентой магнитного поля и замагниченными электронами впервые получена форма уравнения в виде закона сохранения. Уравнение в такой форме необходимо для правильной постановки граничных условий при моделировании несимметричных токовых слоев, а также для контроля стационарности получаемого в моделях численного решения. Кроме того, рассматривается выполнение этого уравнения для двух типов стационарных конфигураций тонкого токового слоя, которые получены при помощи численной модели. Выведенное уравнение позволяет разрабатывать модели несимметричных токовых слоев, в частности, токовых слоев на флангах магнитопаузы в хвосте магнитосферы.

#### **7. Идеи Кадомцева и развитие моделей космической плазмы**

В статье, посвященной трудам Б.Б. Кадомцева, показано, как его новаторские идеи в области магнитного плазменного удержания оказывают глубокое влияние на развитие физики плазмы в целом. Можно говорить об использовании идей Б.Б. Кадомцева в фундаментальных исследованиях в области космической плазмы, достаточно далекой от плазмы токамаков. В середине 70-х годов проблема объяснения и предотвращения неустойчивости срыва, ограничивающей плотность тока в токамаках, была очень острой, что стимулировало теоретическое исследование нелинейного поведения винтовых и тиринг-неустойчивостей. Б.Б. Кадомцев вплотную подошел к объяснению неустойчивости срыва (Кадомцев, 1975) в токамаке, в результате которых формируется тонкий токовый слой со встречными магнитными полями. Данная неустойчивость была отождествлена с разрывной неустойчивостью. В космической плазме аналогом неустойчивости срыва оказались процессы развития неустойчивостей в тонких токовых структурах толщиной в несколько ионных гирорадиусов, разделяющих магнитные поля противоположного направления. Такие тонкие токовые слои могут образовываться на границе между соседними магнитными петлями в короне Солнца (в них происходят вспышки с выделением большого количества энергии), они обнаружены на магнитопаузах Земли и планет. Ярким примером подобной токовой структуры с разнонаправленными магнитными полями является токовый слой хвоста магнитосферы Земли, который во время взрывной фазы суббури разрывается с выделением большого количества энергии. В 60-70-е годы перед космофизиками встала серьезная теоретическая проблема устойчивости токового слоя в хвосте магнитосферы по отношению к различным модам плазменных возмущений. Причиной, вызвавшей многочисленные дискуссии, были накопленные наблюдения о динамике токового слоя хвоста магнитосферы в геомагнитно возмущенные периоды, для которых нужно было построить непротиворечивую теорию магнитосферных суббурь (Галеев и Зеленый, 1976). Также нужно было объяснить вспышки в солнечной короне (Bulanov and Sasorov, 1978, Somov and Vernet, 1993). Разрывная тиринг-мода, исследованная первоначально в токамаках, оказалась наиболее естественной модой пинчевания токовых нитей в слое с разнонаправленными магнитными полями. Еще одной областью магнитосферы, в которой могут происходить схожие с плазмой токамаков процессы, является дальняя область магнитосферного хвоста на

расстояниях более 100 RE, где магнитные силовые линии теряют топологическую связь с Землей и представляют собой хаотически перепутанные, перезамкнувшиеся сами с собой силовые линии межпланетного магнитного поля. Для описания токового слоя в этой области и его динамического поведения была применена фрактальная теория (Зеленый и Милованов, 2004), которая предсказала некий универсальный фурье-спектр магнитных флуктуаций с показателем примерно равным  $7/3$ , что хорошо согласуется с целым рядом наблюдений, выполненных на многих ИСЗ (Geotail, Interball, AMPTE, Cluster) в различных областях токового слоя магнитосферного хвоста. Создание фрактальной теории токового слоя магнитосферного хвоста, несомненно, находится под влиянием многолетних разработок и моделей турбулентного переноса плазмы Б.Б. Кадомцева, которые и сегодня воздействуют на развитие исследований в различных областях физики плазмы.

## **8. Солнечный ветер и токовые слои: классические представления и новые результаты**

Работа посвящена эволюции классических представлений о солнечном ветре, которые на современном этапе меняются благодаря результатам новых спутниковых миссий. Рассмотрены исторические аспекты появления первых моделей солнечного ветра — Паркера и Всехсвятского-Пономарёва. Подробно рассмотрена суть известной модели Паркера. Отдельная глава посвящена понятию токового слоя и проблемам его идентификации в солнечном ветре. Согласно современным представлениям, гелиосферный токовый слой, простирающийся от Солнца до границ гелиосферы, представляет собой совокупность множества тонких и сильных токовых слоев. Рассмотрены представления о паркеровской спирали и ее модификации из-за неоднородности вращения Солнца не только по широте, но и по высоте, а также наличия конечной проводимости.

## **9. Роль ионов кислорода в токовом слое ближнего хвоста магнитосферы**

В работе с помощью численной модели исследуется возможность формирования тонкого токового слоя (ТТС) ближнего хвоста магнитосферы Земли на предварительной фазе суббури для широкого диапазона параметров образующих слой встречных продольных потоков ионов. В работе решался вопрос о том, может ли существовать ТТС, образованный потоками ионов кислорода с температурой  $T_0 \sim 0.1-0.4$  кэВ в случае, когда потоки протонов либо отсутствуют (являются фоном), либо протоны переносят относительно малую часть тока через токовый слой. В более широком смысле ответ на этот вопрос должен показать, может ли поток ионов кислорода существенным образом повлиять на структуру тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы Земли и вообще насколько важны популяции ионосферных ионов кислорода для структуры и динамики токового слоя хвоста на предварительной фазе суббури. В работе представлена численная стационарная модель многокомпонентного тонкого токового слоя, позволившая получить и исследовать стационарные конфигурации слоя при типичном для ближнего хвоста значении тангенциальной компоненты магнитного поля вне слоя  $B_{x0} = 20$  нТл и значении его нормальной компоненты  $B_z = 2$  нТл.

В работе с помощью численной модели получены симметричные стационарные конфигурации ТТС ближнего хвоста магнитосферы Земли на предварительной фазе суббури в широком диапазоне параметров встречных продольных потоков протонов и ионов кислорода, проходящих через слой. Из результатов моделирования можно сделать вывод о возможности формирования ТТС в ближнем хвосте магнитосферы в возмущенных условиях за счет потоков ионов кислорода ионосферного происхождения,

когда магнитосферные протоны либо являются фоном, либо их потоки относительно слабы. По сравнению с ТТС, которые образованы только потоками протонов, конфигурации ТТС, образованные потоками ионов кислорода, имеют ряд отличий, которые могут существенно влиять на их устойчивость. Из результатов моделирования вытекают оценки величины минимальной скорости продольных потоков протонов и потоков ионов кислорода, необходимой для того, чтобы профили концентрации ионов в ТТС попадали в наблюдаемый диапазон. В рамках пространственно-одномерной модели рассматриваемого ТТС получено выражение для плотности тока электронов, из которого следует, что, во-первых, плотность тока электронов отлична от нуля только в случае анизотропии их давления, и, во-вторых, электроны дают ненулевой вклад в полный ток и перепад магнитного поля в ТС только в том случае, когда их давление на краю токового слоя имеет конечную анизотропию. При этом в профиле плотности тока анизотропных электронов в центре ТС имеется очень узкий сильный положительный пик. С обеих сторон к нему примыкают более широкие зоны с отрицательным током, где его минимальное значение по величине в разы меньше максимального значения в центре слоя. Сделан вывод, что для дальнейшего изучения вопроса о формировании ТС в ближнем хвосте в возмущенных условиях необходим целенаправленный анализ данных спутниковых миссий MMS, THEMIS и CLUSTER, чтобы набрать статистику пересечения ими указанного ТС, и проверить наличие в этих данных продольных потоков ионов кислорода и протонов, а также оценить параметры этих потоков.

#### **10. Теория резонансного взаимодействия энергичных электронов радиационных поясов Земли с магнитосферно-отраженными свистами**

Одним из удивительных волновых явлений, возбуждаемых молниевыми разрядами, являются магнитосферно-отраженные свисты. На рисунке показана полная спектрограмма такого свиста, которая включает спектральную интенсивность, угол волновой нормали, показатель преломления и поляризацию как функции времени и частоты, наблюдаемые на спутнике. Исследование резонансного взаимодействия энергичных частиц с магнитосферно-отраженными свистами является достаточно сложной задачей, так как требует знания всех указанных выше характеристик волновых пакетов вдоль траектории частицы. Эта задача решена в указанной ниже работе. Особое внимание уделено обмену энергией между резонансными частицами как неотъемлемой составляющей рассмотренного взаимодействия. Этот процесс исследован количественно на основе численного решения полученных уравнений. Результат получен совместно с РФФИ 19-02-00179.

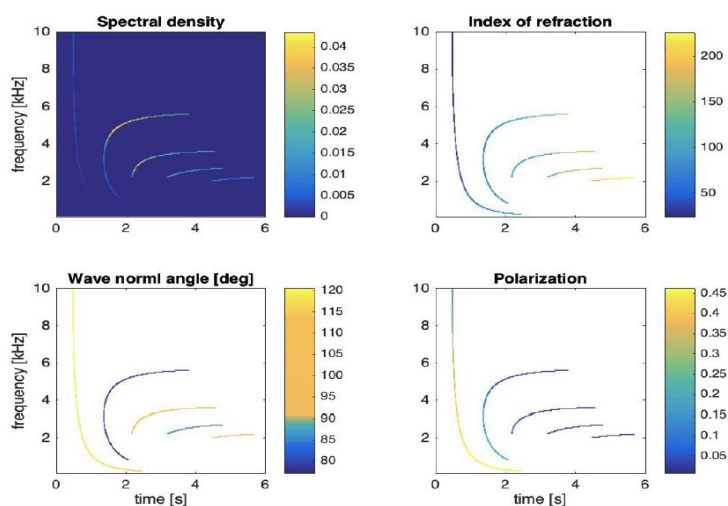


Рисунок 1.10.1 - Полная модельная спектрограмма магнитосферно-отраженного свиста, рассчитанная для  $L = 3$  и  $\lambda = 0$ . Изображаемые величины указаны вверху каждой панели

### 11. Впервые проанализированы характеристики периодических эмиссий (РЕ) в экваториальной области магнитосферы по данным спутника Van Allen Probe

Наблюдалось два режима РЕ. В одном режиме направление вектора Пойнтинга на экваторе менялось на противоположное, период РЕ на спутнике был 2 с и в два раза меньше, чем период РЕ на Земле (4 с). Этот режим соответствует распространению изолированного волнового пакета свистовых волн между сопряженными полушариями вдоль магнитной силовой линии. При втором режиме на Земле период РЕ уменьшался в два раза и был равен периоду РЕ на спутнике, при этом направление вектора Пойнтинга РЕ на спутнике оставалось неизменным. Этот режим соответствует двум симметрично распространяющимся навстречу волновым пакетам, которые встречаются на экваторе. Оба режима согласуются с моделью пассивной синхронизации мод в циклотронном мазере в магнитосфере [Беспалов 1984, 2010]

### 12. Зеркальная неустойчивость во внутренней магнитосфере Земли

По данным спутниковой миссии Van Allen Probes было проведено исследование характерных параметров протонов во внутренней магнитосфере Земли на предмет возможности генерации в зеркальных мод. Была собрана большая статистика данных, включающая в себя всё время существования VAP, для протонов с энергиями от 44 кэВ до 597 кэВ. Линейная теория зеркальной неустойчивости определяет порог неустойчивости, как соотношение между двумя параметрами плазмы: протонным плазменным  $\beta$  и анизотропией давления. Наши результаты показывают, что плазма оказывается неустойчивой по отношению к зеркальным модам наиболее часто в вечерне-полуночном секторе внутренней магнитосферы вблизи геомагнитного экватора. Также была построена комбинированная статистика по плазменному бета и порогу неустойчивости, поскольку при малых  $\beta$  доминирующей неустойчивостью может оказаться ионно-циклотронная неустойчивость, несмотря на формальное превышение порога неустойчивости для зеркальной моды. Показано, что включение в статистику дополнительного критерия  $\beta > 1$ , не влияет существенно на пространственно-временное распределение неустойчивой плазмы.



### **13. Самосогласованная модель транспортных барьеров в плазме и уравнение Шрёдингера с субквадратической нелинейностью**

Приведен краткий обзор и анализ условий, при выполнении которых в токамаках и стеллараторах возможно образование устойчивых "кратных" транспортных барьеров за счет взаимодействия внутренней и краевой плазмы. Кратность барьера понимается как число концентрированных полоидальных потоков плазмы, объединенных в самосогласованную нелинейную систему. Предложена динамическая модель формирования и релаксации данного типа барьеров на основе нелинейного уравнения Шрёдингера с субквадратической нелинейностью. Показано, что в модели возможны устойчивые стационарные решения при определенных частных значениях показателя степени при нелинейном члене. Все устойчивые решения объединены общим методом рассмотрения. Исследованы критерии возникновения хаотической динамики в области притяжения алгебраической нелинейности, получены оценки на параметр стохастичности в пределе больших времен. Далее приведены асимптотические решения нелинейного уравнения Шрёдингера в режиме сильного хаоса, новым элементом в данном случае является семейство решений для субквадратической нелинейности (а также сам метод получения таких решений путем построения и анализа цепочек Диофантовых уравнений). Представлены результаты численного моделирования системы транспортных барьеров в гирокинетическом приближении, предсказаны (аналитически) ограничения на времена жизни барьеров при учете кулоновских столкновений и турбулентной вязкости краевой плазмы.

### **14. Физическая аналитическая модель околопланетных ударных волн**

При исследовании физических процессов вблизи околопланетных ударных волн обычно используются эмпирические модели последних. Хотя теоретические магнитогидродинамические (МГД) и кинетические модели ударных волн обычно более точны, огромный объем необходимых вычислений ограничивает их применимость при рутинном анализе больших объемов данных. Мы построили аналитическую модель положения и формы головной ударной волны, основанную на МГД-расчетах и точных аналитических решениях. Эта модель проста в использовании и хорошо описывает ударную волну вблизи препятствий различной формы и далеко вниз по течению в широком диапазоне параметров солнечного ветра. Аналитические выражения, аппроксимирующие подробные МГД расчеты и описывающие положение и форму ударной волны включают следующие параметры: расстояние носовой точки головной ударной волны от планеты, радиусы кривизны и затупленности поверхности ударной волны в этой точке, а также параметр, описывающий переход к асимптотическому наклону ударной волны на бесконечном удалении от планеты. Показано, что для аналитического описания поверхности околопланетной ударной волны достаточно аппроксимировать его радиусы кривизны и затупленности в двух перпендикулярных плоскостях. Еще одним параметром, используемым в этой модели, является угол отклонения (скошенности) ударной волны от направления набегающего потока, возникающий, когда межпланетное магнитное поле направлено под углом по отношению к скорости солнечного ветра. Этот параметр, естественно, исчезает, когда магнитное поле солнечного ветра направлено параллельно или перпендикулярно вектору скорости. Точное аналитическое решение для асимптотического наклона ударной волны (МГД конуса Маха) на бесконечности, полученное ранее, модифицировано с учетом угла скошенности ударной волны.

Сравнение МГД расчетов относительной плотности плазмы при обтекании препятствия (белая область) с положением ударной волны, определяемым аналитическими соотношениями (рис. 1.14.1): слева – сплошная черная линия показывает положение ударной волны в плоскости (X, Y) геоцентрической системы координат, связанной с

межпланетной средой; справа - точки показывают положение ударной волны, определяемое аналитическими соотношениями в трех плоскостях  $X = \text{const}$ . Параметры потока солнечного ветра: звуковое число Маха  $M_S = 6$ , альвеновское число Маха  $M_A = 5$ , показатель политропы  $\gamma = 5/3$ , угол между вектором скорости солнечного ветра и вектором межпланетного магнитного поля -  $20^\circ$ .

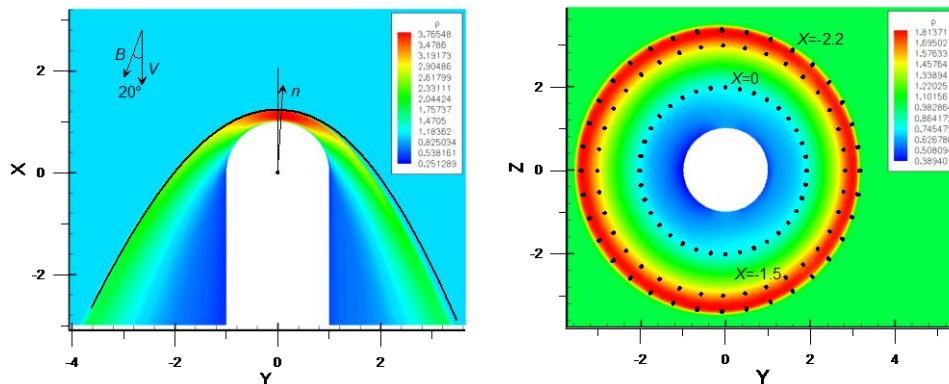


Рисунок 1.14.1 - Сравнение МГД расчетов относительной плотности плазмы при обтекании препятствия с положением ударной волны

### 15. Трёхмерные магнитогидродинамические волны во вращающейся астрофизической плазме

Развита теория трёхмерных волновых течений во вращающейся стратифицированной плазме в четырёх приближениях для силы Кориолиса: на стандартных  $f$  и  $\beta$ -плоскостях, на не стандартных  $f$  и  $\beta$ -плоскостях (с учётом горизонтальной составляющей вектора Кориолиса). В случае несжимаемых течений (приближение Буссинеска) найдены следующие новые типы волн: трёхмерные магнитные инерционно-гравитационные и магнитострофические волны на стандартной и нестандартной  $f$ -плоскостях; трёхмерные низкочастотные волны магнито-Россби на стандартной и нестандартной  $\beta$ -плоскостях; одномерные магнитные инерционно-гравитационные и магнитострофические волны на нестандартной  $\beta$ -плоскости. В случае сжимаемых течений (неупругое приближение) найдены следующие новые типы волн: магнитные инерционно-гравитационные и магнитострофические волны в вертикальном магнитном поле на стандартной  $f$ -плоскости; одномерные магнитные инерционно-гравитационные волны с принципиально новым дисперсионным соотношением на нестандартной  $f$ -плоскости; одномерные магнитные инерционно-гравитационные и магнитострофические волны на нестандартной  $f$ -плоскости; трёхмерные низкочастотные волны магнито-Россби на стандартной и нестандартной  $\beta$ -плоскостях; одномерные магнитные инерционно-гравитационные и магнитострофические волны с принципиально новыми дисперсионными соотношениями на нестандартной  $\beta$ -плоскости. Учет эффектов сжимаемости представлен в дисперсионных соотношениях слагаемыми с частотой Брэнта-Вяйсяля для сжимаемых течений, которая, в отличие от частоты Брэнта-Вяйсяля для несжимаемых течений в приближении Буссинеска, зависит не только от начального профиля плотности, но и от начального профиля давления.

Развита слабонелинейная теория трёхмерных волновых течений во вращающейся стратифицированной плазме как для несжимаемого, так и для сжимаемого случая. С помощью качественного анализа дисперсионных кривых выявлены все типы трёхволновых взаимодействий для всех новых найденных типов волн, удовлетворяющие условию синхронизма. Методом многомасштабных разложений получены амплитудные уравнения и коэффициенты для всех типов взаимодействий, и найдены инкременты неустойчивостей типа распад и усиление. Результат получен совместно с РФФИ 19-02-00016.

#### **16. Новый механизм формирования и эволюции спикул в солнечной атмосфере**

В данной работе предложен новый механизм формирования спикул в солнечной атмосфере. Предложенная модель состоит в следующем. Имеется магнитная трубка, ограниченная магнитным разрывом. Вне трубки магнитное поле отсутствует. В основание трубки вводится возмущение азимутальной компоненты магнитного поля. Это возмущение создаёт альвеновскую волну, распространяющуюся вверх. В волне возрастает магнитное давление, которое создаёт течение плазмы в вертикальном направлении. Это течение имитирует спикулу. С математической точки зрения это явление похоже на возникновение звукового ветра в нелинейной акустике.

Отражение и эволюция спикул в солнечной атмосфере является развитием модели формирования спикул в солнечной атмосфере. Часто наблюдается, что спикула достигает определенной высоты, а затем начинает падать вниз. Для того чтобы описать данное явление, был добавлен горизонтальный контактный разрыв, имитирующий переходную область в солнечной атмосфере. На этом разрыве плотность плазмы уменьшается больше чем на порядок величины. В результате альвеновская волна почти полностью отражается от разрыва и начинает двигаться вниз, а поток плазмы, двигавшийся вверх, меняет направление и имитирует падение спикулы.

#### **17. Динамика спектра ленгмюровских волн в солнечном ветре со случайным распределением неоднородностей**

Основным эффектом флуктуаций плотности является распывание спектра плазмонов в пространстве волновых векторов, т.е. диффузия по масштабам волновых чисел и по углам распространения, что значительно влияет на эволюцию спектра волн и их обмен энергией с частицами. С целью исследования этих процессов разработана численная модель для описания динамики плазмонов в рамках геометрической оптики. Проведенные расчеты полностью воспроизводят результаты моделирования на основе уравнений Захарова. Кроме того, они позволяют определить скорость диффузии плазмонов в пространстве волновых векторов и её зависимость от уровня флуктуаций плотности плазмы.

#### **18. Численный анализ неустойчивости теплового потока в рамках квазилинейной теории**

В ходе работы над задачей о подавлении теплового потока в солнечном ветре был проведён численный анализ развития вистлерной неустойчивости теплового потока для параметров характерных в солнечном ветре с помощью разработанного ранее вычислительного кода. Анализ изменения теплового потока для широкого спектра параметров солнечного ветра подтвердил ранее полученные результаты с использованием PIC-моделирования: уменьшение теплового потока составляет несколько процентов и не может объяснить наблюдаемые данные. Также подтверждена ранее выдвинутая гипотеза о зависимости амплитуды волн от максимального инкремента неустойчивости

$B_w/B_0 = A(\gamma_{\max}/\omega_c)^\alpha$ . На статистике более чем из 30 расчётов с достаточной точностью были получены значения  $A = 0.56$  и  $\alpha = 0.58$ .

**19. Предложен метод решения дисперсионного соотношения для продольных свистовых волн для случая, когда функция распределения задается экспериментально измеряемыми дифференциальными потоками электронов без разделения на холодную и энергичную компоненты**

Для вычисления инкремента волны функцию распределения энергичных частиц, как правило, полагают заданной аналитически, а также считают, что инкремент существенно меньше частоты. Нами развит подход, который позволяет снять указанные выше ограничения, и для заданного волнового числа свистовой волны найти действительную и мнимую часть частоты. Этот подход использован для вычисления инкремента по измерениям потоков электронов на спутниках Van Allen Probe-A и MMS.

**20. Для оценки влияния сигналов ОНЧ передатчиков на динамику релятивистских электронов радиационных поясов рассчитан самосогласованный профиль амплитуды сигнала, который формируется в результате его нелинейного взаимодействия с резонансными электронами**

На основе метода последовательных приближений выполнено самосогласованное описание резонансного взаимодействия между энергичными электронами и сигналами наземных ОНЧ передатчиков. Необходимость использования итерационного метода для решения этой задачи связана с тем, что нелинейный инкремент свистовой волны зависит не только от локальной амплитуды волны, но и от ее профиля, определение которого является конечной целью исследования.

**21. Стохастические структуры электростатических возмущений и динамика плазменных вихрей**

Электрические поля в аэрозольной плазме влияют на возбуждение и нарастание плазменных вихрей. Представлены расчёты механизмов возбуждения электрических и магнитных полей в неоднородной плазме. Рассмотрены подвижные плазменные неоднородности. Возбуждение электрических полей зависит от координат немонотонно при монотонном исходном распределении плотности плазмы. В искровых разрядах в атмосфере Земли наблюдаются бисерные молнии. Представлены аналитические расчёты параметров электростатических возмущений слоёв гетерогенной плазмы в приближении бесстолкновительного кинетического уравнения Больцмана. Рассмотрен случай холодной плазмы с дельтаобразным распределением и случай горячей плазмы, где принимается во внимание реальный разброс частиц по скоростям. Проведённый анализ данных случаев доказывает, что неоднородная плазма проявляет себя в отношении электростатического типа возмущений как избирательный фильтр. Показано, что образование бисерных структур молниевых разрядов зависит от немонотонного распределения электрических полей в горячей неоднородной плазме. Для горячих плазм в космических объектах немонотонное расслоение подобно расслоению плазмы в бисерных молниях. Появление магнитного поля связано с флуктуациями электрического поля и токами замыкания электростатических возмущений в плазменных неоднородностях.

**22. Обмен эмитансами в бетатронных колебаниях**

Разброс пучка заряженных частиц в заданном поперечном направлении характеризуется эмиттансом по этому направлению - площадью, занимаемой пучком на фазовой

плоскости, отвечающей указанному направлению. Координатами на этой плоскости являются координата частицы по данному направлению и отношение скорости частицы в этом направлении к продольной скорости пучка. Медленное прохождение через резонанс в бетатронных колебаниях в ускорителях заряженных частиц приводит к обмену эмиттантами между поперечными направлениями, то есть частицы из одной области фазовой плоскости переходят в другую область фазовой плоскости колебательным образом (то одна "площадь" занята частицами, то другая). На основе теории адиабатической инвариантности в гамильтоновых системах дано детальное описание этого явления.

### **23. Квази-аналитические решения транспортных уравнений**

Рассматривалась задача о построении квази-аналитических решений транспортных уравнений, возникающих в различных разделах прикладной физики. Исследована система двух одномерных транспортных уравнений, описывающих динамику ансамблей рекомбинирующих положительных и отрицательных ионов, увлекаемых нейтральным газом. Учитываются как внешнее электрическое поле, так и кулоновское взаимодействие между зарядами. Исходная самосогласованная задача сведена методом характеристик к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Обсуждаются свойства решения этой системы как возмущения задачи с постоянными скоростями ионов.

### **24. Изменение статистики разрывов при пересечении головной ударной волны**

Солнечный ветер заполнен флуктуациями магнитного поля, одним из самых частых проявлений которых являются разрывы магнитного поля. Эти высокоамплитудные разрывы несут в себе черты нелинейных алвеновских волн и плоских плазменных структур. Считается, что разрывы играют важную роль во взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли. Большинство исследований разрывов производились в чистом солнечном ветре, около точки L1. Однако, до того как эти разрывы будут взаимодействовать с магнитосферой, они должны пересечь головную ударную волну, что может привести к значительному изменению свойств разрывов. Было исследовано изменение статистики разрывов при пересечении головной ударной волны на основе данных спутников. Была собрана статистика 100 разрывов высокой амплитуды ( $>3$  nT), каждый из которых наблюдался сначала спутником ARTEMIS до взаимодействия с головной ударной волной, а потом - спутником THEMIS после взаимодействия с головной ударной волной. Сравнение свойств разрывов до и после взаимодействия показывает, что разрывы в среднем утоньшаются, и плотность тока возрастает после взаимодействия. Наблюдалась заметная асимметрия «восход-закат» свойств разрывов. Была предложена интерпретация того, как изменения разрывов при прохождении через головную ударную волну меняют их взаимодействие с магнитосферой Земли.

### **25. Пылевая плазма на Луне: влияние магнитного поля**

Рассмотрены процессы, связанные с наличием магнитных полей, которые могут иметь значение в пылевой плазме у Луны. Описаны нижнегибридные волновые процессы при взаимодействии хвоста магнитосферы Земли с пылевой плазмой у поверхности Луны. Нижнегибридные волны возбуждаются за счет относительного движения магнитосферных ионов и заряженных пылевых частиц, что приводит к установлению хорошо развитой нижнегибридной плазменной турбулентности. Найдены значения эффективной частоты столкновений, характеризующей аномальную потерю импульса ионов из-за ионно-волнового взаимодействия, а также электрических полей, возникающих в системе. Показано, что электрические поля, возбуждаемые за счет развития нижнегибридной

турбулентности, несколько слабее, чем возникающие из-за зарядки лунной поверхности под действием солнечного излучения. Тем не менее, они весьма существенны, чтобы повлиять на картину электрического поля над Луной. Полученные значения эффективной частоты столкновений необходимо учитывать при выводе уравнений гидродинамики для ионов пылевой плазмы с учетом их турбулентного нагрева. Изложены проблемы, связанные с учетом магнитных полей, которые могут быть важны для детального изучения пылевой плазмы у Луны. Возможность генерации волновых движений в приповерхностной плазме у Луны следует учитывать при интерпретации данных наблюдений.

## **26. Пылевые звуковые солитоны в плазме запыленной экзосферы Луны**

Показана возможность существования и распространения пылевых звуковых солитонов в запыленной плазме экзосферы Луны, содержащей помимо электронов и ионов солнечного ветра и фотоэлектронов от ее поверхности, заряженные пылевые частицы, а также фотоэлектроны, эмитирующие с поверхностей этих частиц. Найдены солитонные решения и определены диапазоны возможных скоростей и амплитуд таких солитонов в зависимости от высоты над лунной поверхностью для различных угловых высот Солнца.

## **27. Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности Фобоса**

Обсуждается формирование пылевой плазмы за счет фотоэлектрических и электростатических процессов в приповерхностном слое над освещенной частью спутника Марса. Рассмотрение проводится как для Фобоса, так и для Деймоса. На основе физико-математической модели для самосогласованного описания концентраций фотоэлектронов и пылевых частиц над поверхностью освещенной части спутника Марса определены параметры, характеризующие траектории движения пылевых частиц. Показано, что затухание колебаний пылевой частицы над поверхностью спутника Марса связано с вариациями ее заряда, что согласуется с представлениями об аномальной диссипации, природа которой вытекает из процессов, связанных с вариацией зарядов пылевых частиц. Продемонстрировано, что для большинства пылевых частиц, поднимающихся над поверхностью спутника Марса из-за фотоэлектрических и электростатических процессов, время затухания их колебаний оказывается большим продолжительности светлого времени суток, т.е. нестационарность плазменно-пылевой системы над освещенной частью поверхности спутника Марса проявляется практически в течение всей продолжительности дня на нем. Определены максимальные значения высоты подъема пылевых частиц и зарядового числа, которые могут быть достигнуты пылевыми частицами разных размеров, а также приведена оценка типичных концентраций пылевых частиц и фотоэлектронов над спутником Марса. Для получения более определенных данных о параметрах плазменно-пылевой системы в окрестности спутника Марса необходима более детальная информация о свойствах его грунта, которая, как ожидается, будет получена в будущих космических миссиях.

## **28. Некоторые аспекты модуляционной неустойчивости в запыленной ионосфере Земли**

Рассмотрено развитие модуляционной неустойчивости с участием пылевых возмущений в пылевой ионосферной плазме и в пылевой плазме хвостов метеоров в ионосфере Земли. Произведены оценки интенсивности эффекта столкновений электронов, ионов и пылевых частиц с нейтрами на разных высотах. Показано, что в рассматриваемой ситуации влияние столкновений электронов и ионов с нейтрами обычно менее существенно, чем

влияние столкновений пылевых частиц с нейтралами. Показано, что влияние модуляционной неустойчивости на распространение электромагнитных волн в пылевой ионосферной плазме наиболее существенно на высотах 100-120 км. Рассчитаны значения волновых векторов электромагнитной волны накачки, при которых учет неупругих столкновений с нейтралами важен для описания модуляционного взаимодействия. Модуляционное взаимодействие в запыленной ионосфере важно для объяснения различных явлений таких, как наземные наблюдения низкочастотных ионосферных радиошумов с частотами ниже 60 Гц. Отсутствие наблюдений низкочастотных ионосферных радиошумов во время существования серебристых облаков или летних полярных мезосферных радиоотражений, вызванных плазменно-пылевыми процессами на высотах 80-95 км, объясняется подавлением развития модуляционной неустойчивости на этих высотах. Обсуждается также роль неупругих столкновений с нейтралами в метеорных хвостах. Показано, что для типичных параметров пылевой плазмы метеорных хвостов такие столкновения не оказывают существенного влияния на развитие модуляционной неустойчивости в плазме метеорных хвостов. Модуляционная неустойчивость электромагнитных волн в пылевой плазме метеорных хвостов может объяснить возникновение низкочастотных шумов во время пролетов метеорных тел в диапазоне частот, характерном для пылевых звуковых волн. Показано, что для характерных значений температур и концентраций частиц в хвостах метеороидов модуляционная неустойчивость успевает развиваться. Приводятся уравнения зарядки пылевых частиц в хвостах метеороидов. Показано, что пыль заряжается положительно и в дневное, и в ночное время.

#### **29. О влиянии межатомных взаимодействий на эффективность ридберговской блокады**

Рассмотрен процесс ридберговской блокады, который рассматривается в настоящее время как один из наиболее перспективных подходов к реализации квантовых вычислений. Считается, что данный процесс может существенно терять свою эффективность из-за межатомных взаимодействий, сдвигающих частоту возбуждения первоначально заблокированных частиц в область резонанса с внешним лазерным излучением. Развита аналитическая теория этого эффекта, основывающаяся на самосогласованной модели двух ридберговских атомов, воздействующих друг на друга своими дипольными электрическими полями и испытывающими штарковское расщепление уровней энергии под действием этих полей. Оказывается, что типичное межатомное расстояние, на которых начинает проявляться эффект разблокировки из-за "паразитических" резонансов, приблизительно совпадает с ранее делавшимися качественными оценками. Однако, количество таких резонансов может оказаться значительно большим, чем в проводившихся в последнее время численных симуляциях некоторых конкретных систем. Таким образом, возможность нарушения ридберговской блокады на малых межчастичных расстояниях должна тщательно учитываться в любых будущих приложениях для квантовых вычислений.

#### **30. Лавинное убегание релятивистских электронов в электрическом поле грозовых разрядов**

Показан принципиально новый механизм возникновения лавин убегających релятивистских электронов за счет неоднородности электрического поля. Этот механизм получил название "реакторная обратная связь". Было проведено моделирование размножения частиц в облаке методом Монте-Карло. Мы считаем, что данный вид обратной связи может вызвать вспышку гамма-излучения земного происхождения (TGF). Были получены необходимые условия для возникновения TGF в системе с обратной

связью реактора. Результат получен совместно с российским грантом - контракт по. 075-15-2019-1892





вероятности  $PDF(|j_h|/|j_z|)$  на фотосфере в АО, которые демонстрируют, что медианное значение отношения горизонтального тока к вертикальному - 3.5. Это согласуется с малочисленными оценками различных компонент токов в реальных АО Солнца и указывает на важность дальнейшего изучения горизонтальных токов.

### **3. Квазипериодические пульсации в солнечных и звездных вспышках: обзор лежащих в их основе физических механизмов и их прогнозируемых наблюдательных признаков**

Явление квазипериодических пульсаций (КПП) в солнечных и звездных вспышках известно уже более 50 лет, и в этой области исследований был достигнут значительный прогресс. Стало ясно, что КПП не редкость – они встречаются во многих вспышках, и поэтому реалистичные модели вспышек должны воспроизводить их свойства естественным образом. По крайней мере, пятнадцать механизмов / моделей были разработаны для объяснения КПП в солнечных вспышках, которые в основном предполагают наличие магнитогидродинамических (МГД) колебаний в корональных структурах (магнитных петлях и токовых слоях) или квазипериодических режимов магнитного пересоединения. Мы рассматриваем наиболее важные и интересные результаты по вспышечным КПП, уделяя особое внимание результатам последних лет, и представляем предсказываемые и наиболее яркие наблюдательные признаки каждого из пятнадцати механизмов. Однако пока невозможно сделать однозначный вывод относительно правильного основного механизма КПП из-за качественной, а не количественной природы большинства моделей, а также из-за недостаточной наблюдательной информации о физических свойствах вспышечной области, в частности, пространственной структуре источников КПП. Мы также рассматриваем КПП в звездных вспышках, где прогресс в значительной степени основан на солнечно-звездных аналогиях, предполагая сходство физических процессов во вспышечных областях на Солнце и магнитоактивных звездах. Наличие КПП с аналогичными свойствами в солнечных и звездных вспышках само по себе является сильным дополнительным аргументом в пользу вероятности аналогий между солнечными и звездными объектами. Следовательно, углубление нашего понимания КПП в солнечных вспышках обеспечивает важный дополнительный канал информации о звездных вспышках. Однако необходима дальнейшая работа, как в области теории / моделирования, так и в наблюдениях.

### **4. Изгибные колебания корональных петель**

Изгибные колебания корональных арок, т.е. стоячие изгибные волны - одно из наиболее изученных динамических явлений в солнечной короне. Колебания возбуждаются импульсными выбросами энергии, такими как небольшие корональные выбросы (эрупции). Типичные периоды колебаний составляют несколько минут и линейно увеличиваются с увеличением большого радиуса петли. Это наглядно демонстрирует, что изгибные колебания являются естественными модами петель и могут быть описаны как стоячие быстрые магнитоакустические волны с длиной волны, определяемой длиной петли. Изгибные колебания наблюдаются в двух разных режимах. В быстро затухающем режиме кажущаяся амплитуда смещения достигает нескольких малых радиусов петли. Время затухания, составляющее несколько периодов колебаний, уменьшается с увеличением амплитуды колебаний, что свидетельствует о нелинейном характере затухания. В режиме без затухания амплитуды меньше малого радиуса, а драйвер колебаний все еще обсуждается. Представленный обзор суммирует основные результаты, полученные за последнее десятилетие, и охватывает как результаты наблюдений, так и теоретические результаты. Результаты наблюдений включают создание и анализ исчерпывающих каталогов событий колебаний, а также обнаружение изгибных колебаний

с помощью визуализирующих и спектральных приборов в КУФ и микроволновом диапазонах. Теоретические результаты включают различные подходы к моделированию в рамках теории магнитогидродинамических волн. Установлено, что свойства изгибных колебаний зависят от параметров колебательного контура, таких как магнитная закрутка, стратификация, установившиеся потоки, колебания температуры и т.д., что делает изгибные колебания естественным зондом этих параметров методом магнитогидродинамической сейсмологии.

## 5. Квазипериодическое энергосвечение в трехленточной солнечной вспышке

Квазипериодические пульсации (КПП) ранее были найдены и исследованы в солнечных вспышках с различными магнитными конфигурациями, в частности, в двух-ленточных вспышках и во вспышках с круговыми лентами. Однако механизмы КПП до сих пор окончательно не установлены. В этой работе мы представили результаты анализа наблюдений КПП с периодом  $P=54\pm13$  с, обнаруженных по данным RHESSI во время редко встречаемой трехленточной солнечной вспышки M1.1 (SOL2012-07-05T06:49). КПП проявляются во временных профилях температуры (Т) и меры эмиссии (ЕМ) сверхгорячей плазмы ( $T\sim30-50$  МК), но не видны в профилях параметров горячей плазмы ( $T\sim15-20$  МК) при аппроксимации спектра рентгеновского излучения вспышки спектром тормозного излучения двухтемпературной плазмы (однотемпературное приближение дает плохую аппроксимацию с более высокой невязкой). Временные профили Т и ЕМ сверхгорячей плазмы находятся в противофазе. Кроме того, КПП с аналогичным периодом обнаруживаются во временном профиле спектрального индекса нетепловых электронов, если наблюдаемый рентгеновский спектр аппроксимировать комбинацией спектров тормозного излучения однотемпературной максвелловской плазмы и нетепловых электронов. При этом степенной спектр нетепловых электронов очень мягкий с показателем от -7 до -9. КПП не выражены в рентгеновском потоке по данным RHESSI и GOES, а также в радиоданных. КПП сопровождаются перемещением “одиночного” рентгеновского источника с низкой скоростью  $34\pm21$  км/с вдоль центральной вспышечной ленты над узким ( $<5$  Мм) “языком” отрицательной магнитной полярности, вытянутым ( $\sim20$  Мм) между двумя областями положительной полярности. Результаты экстраполяции фотосферного магнитного поля в корону в нелинейном бессиловом приближении показывают, что рентгеновский источник мог двигаться вдоль скрученных искривленных силовых линий, расположенных между двумя магнитными арками с широм. Также мы обнаружили, что в гомологичной вспышке класса M6.1 (SOL2012-07-05T11:39), произошедшей в той же активной области примерно пятью часами позже, рентгеновские источники перемещались менее систематично и не показали явных КПП. Мы интерпретируем наблюдаемые КПП как результат последовательных эпизодов энергосвечения в разных участках вспышечной области. В каждой пульсации выделилось  $\sim(1-4)\times10^{29}$  эрг в виде тепловой энергии горячей и сверхгорячей плазмы (и/или ускоренных электронов), что сопоставимо с энергией микровспышки. Полная кинетическая энергия, выделившаяся за время всех КПП,  $\sim(0.7-3.5)\times10^{30}$  эрг, что примерно на порядок ниже выделенной во вспышечной области свободной магнитной энергии ( $\sim1.56\times10^{31}$  эрг). Мы обсудили возможные триггеры “распространяющегося” фронта энергосвечения (медленные и быстрые магнитозвуковые волны, “хлопающие” осцилляции токового слоя, тепловая неустойчивость токового слоя, асимметричная эрупция магнитного жгута) и показали, что современный уровень известных моделей и наблюдательных данных не позволяют сделать однозначного вывода о механизме наблюдаемых КПП.

**6. Тонкая структура периодических вариаций солнечных пятен (17-24 циклы солнечной активности) I. Динамика структуры вариаций солнечных пятен в 17-24 циклах солнечной активности для периодов 120-220 дней. Вычисление динамического магнитного поля**

В работе исследуется динамика структуры спектральных параметров, спектров мощности вариаций суточных величин солнечных пятен для 8 солнечных циклов. Для изучения изменения структуры Rieger типа вариаций между циклами в работе было использовано при Фурье-преобразовании последовательное клонирование данных, при этом спектральное разрешение увеличилось в  $\sim 10$  раз. В результате была получена тонкая структура периодических вариаций солнечных пятен для каждого цикла и впервые показана динамика вариаций тонкой структуры между циклами. По результатам исследования динамики тонкой структуры вариаций числа солнечных пятен - показана связь динамики структуры вариаций спектральных параметров солнечных пятен с динамикой числа солнечных пятен в максимуме цикла (фактически с динамикой крупномасштабного, динамического магнитного поля). Динамика периодов вариаций находится в противофазе с динамикой пятен в максимуме цикла, а динамика спектральной мощности вариаций — в фазе с динамикой пятен. — показана связь динамики экспериментальных величин периодов вариаций с динамикой частотных вариаций определенного типа волн Россби и впервые были вычислены величины магнитных полей для 17-24 солнечных циклов. — показана связь динамики числа солнечных пятен в максимуме цикла с динамикой крупномасштабных магнитных полей. Использование зависимости между периодами вариаций солнечных пятен и величиной магнитного поля для быстрой гармоникой магнитных волн Россби может быть достаточно перспективным методом для вычисления крупномасштабных магнитных полей солнечных пятен.

**7. Особенности магнитосферы Марса по данным спутников Марс-3 и Фобос-2: сопоставление с результатами MGS и MAVEN**

По прошествии 50 лет после первых измерений магнитного поля у Марса и многочисленных работ, посвященных этой проблеме, удалось прийти к новому окончательному заключению о том, что локальные магнитные аномалии, обнаруженные на американском аппарате MGS, существенно влияют на характер взаимодействия Марса с солнечным ветром, и что характер этого взаимодействия сходен с венерианским при высоких давлениях солнечного ветра, и с земным при низких динамических давлениях солнечного ветра.

Слева: проекции орбит MGS (линии белых точек) на карту магнитных полей Марса в случаях, когда ниже линии тока магнитослоя, проходящей через наблюдаемое положение MPb (Magnetic Pile-up Boundary - граница препятствия потоку солнечного ветра) регистрировалось слабое (вверху) или сильное (внизу) магнитное поле. Справа: сравнение пересечений MPb (черные точки) космическим аппаратом MGS (справа) на орбитах, приведенных слева. Тонкие линии справа – аппроксимации показанных пересечений MPb. Справа штриховая линия на нижнем рисунке повторяет аппроксимацию MPb на верхнем рисунке для сравнения

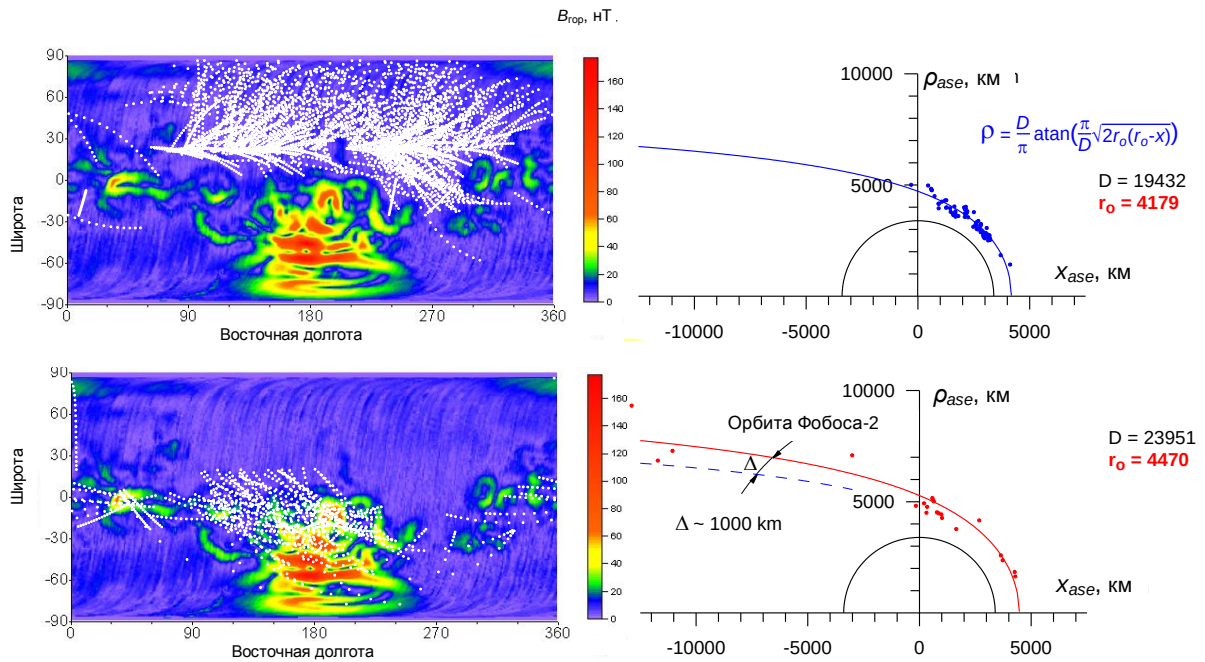


Рисунок 2.7.1 - проекции орбит MGS (линии белых точек) на карту магнитных полей Марса и сравнение пересечений

## 8. Исследование бесстолкновительного взаимодействия потока плазмы с препятствием: определение роли нелинейных импульсов, идущих навстречу потоку

Обобщен цикл работ по изучению нелинейных взаимодействий резонансов у внешних границ магнитосферы [1]. Обнаруженные нами ранее импульсные волны, идущие к Солнцу и разрушающие поток плазмы, набегающий на магнитосферу, инициируют сильнейшие 3х-волновые взаимодействия. Резонансы на 0.02-10 мГц генерируются у магнитопаузы (МП) распространяются и к ударной волне (УВ) и внутрь магнитосферы. Но регистрируются и резонансы вплоть до 0.02 мГц. Мы предполагали ранее, что это резонансы, связанные с динамикой УВ. Здесь мы делаем существенный шаг для подтверждения этой гипотезы.

Нами предложена новая модель УВ в виде круглой пластины, свободной по внешнему контуру, которая предсказывает резонансы на частотах 0.02-0.3 мГц и ниже. Мы демонстрируем эти модельные резонансы в данных 5 спутников, причем предсказанный резонанс около 0.1 мГц наблюдается в магнитослое непрерывно 17 часов за параллельной и перпендикулярной УВ. Резонансы дорастают до нелинейных амплитуд и вызывают 3х-волновые нелинейные каскады, осуществляющие широкополосную когерентную связь с резонансами как у магнитопаузы, так и внутри нее вплоть до ионосферы. Именно когерентный характер процессов в протяженной области с разными собственными линейными резонансами обуславливает, по нашему мнению, достаточно новый — нелинейно-каскадный — подход к эффективному преобразованию энергии набегающего потока при взаимодействии с препятствием. Мы приводим аргументы, указывающие на возможность автогенерации резонансов в замкнутом контуре с обратной связью УВ-МП за счет энергии солнечного ветра, разбиваемого на струи (или более слабые возмущения) на резонансно деформированной УВ.

Демонстрируемые нами нелинейные взаимодействия представляются существенными для всей нелинейной физики.



## 9. Особенности электромагнитных явлений при взаимодействии межпланетной среды с малыми безатмосферными телами в отсутствии и при наличии собственного магнитного поля

Луна не обладает внутренним глобальным магнитным полем, но на ее поверхности существуют области аномальной намагниченности коры. Также у Луны нет значительной атмосферы способной защитить ее поверхность от набегающего потока протонов солнечного ветра. Таким образом, в результате взаимодействия солнечного ветра с лунной поверхностью возникает множество интересных для электромагнитного исследования явлений, таких как обратное рассеяние поверхностью Луны протонов солнечного ветра, формирование мини-магнитосфер над областями аномальной намагниченности, перенос протонов с дневной стороны Луны в хвост, а также связанная с этими явлениями значительная волновая активность в окружающей плазме.

Приборы ЛПМС-ЛГ (система трехкомпонентных феррозондовых магнитометров) и ЛЕМРА-Л (анализатор длинноволнового электромагнитного излучения) на борту аппарата «Луна-26» предоставят возможность электромагнитного мониторинга окололунной плазмы на низких орбитах (порядка 50 км).

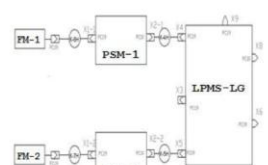
На основе уже имеющихся данных по измерению магнитных и электрических полей в окрестности Луны рассмотрены возможность исследования основных физических процессов и явлений с использованием указанных приборов и уточнены их основные характеристики по чувствительности и диапазонам измерений.

В работе на основе уже имеющихся измерений в окрестности Луны определены наиболее интересные диапазоны частот для измерений - частоты до 100 Гц – для магнитного поля; частоты до 100 КГц – для электрических полей; а также характерные уровни сигналов в указанных диапазонах.

Показано, что допустимый уровень электрических помех на КА «Луна-Ресурс-1(ОА)» обеспечивает проведение измерений переменных электрических и магнитных полей, исходя из расчетного уровня собственных шумов аппарата на расстоянии порядка 10м и характерных амплитуд внешних сигналов от природных источников.

На основе опыта проведения измерений квазипостоянных магнитных полей на космических аппаратах, показано, что размещение датчиков магнитного поля на расстоянии порядка 10м от основных конструкций КА на штангах, изготовленных из немагнитных материалов, позволяет свести помеху от остаточной намагниченности конструкций КА и токовых петель в измерениях магнитного поля к величине  $\sim 10$  нТл.

### ЛПМС - ЛГ



ЛПМС-ЛГ состоит из двух трехкомпонентных феррозондовых магнитометров с кольцевыми сердечниками (ФМ-1, ФМ-2), двух преобразователей сигнала (ПСМ-1, ПСМ-2) и блока электроники ВМ ЛПМС.

Основные научные задачи прибора ЛПМС-ЛГ:

1. Картирование магнитных аномалий и изучение их взаимодействия с солнечным ветром.
2. Изучение окололунной плазмы.
3. Детектирование волновой активности на орбите вокруг Луны.



**Основные характеристики прибора ЛПМС-ЛГ:**

Сердечники датчиков ФМ-1, ФМ-2 три кольцевых сердечника

Динамический диапазон  $\pm 300$  нТл

Разрешение: 0.01 нТл

Уровень шума: менее 0.1 нТл

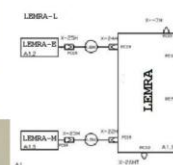
Частота дискретизации: 32 Гц

Штанга: 7 м

### ЛЕМРА-Л



Прибор ЛЕМРА-Л проекта Луна-26 состоит из блока электроники ЛЕМРА, индукционного датчика магнитного поля ЛЕМРА-М, датчика электрического поля ЛЕМРА-Е.



**Основные параметры прибора ЛЕМРА-Л:**

Максимальный допустимый диапазон частот прибора ЛЕМРА-М: DC – 20 кГц

Максимальный допустимый диапазон частот прибора ЛЕМРА-Е: 10 Гц – 100 кГц

Данные:

Режим события: 25 - 200 кбит/с

Режим измерения: 0.5 - 15 кбит/с

Рисунок 2.9.1 - Приборы ЛПМС-ЛГ и ЛЕМРА-Л

## 10. Изучение процессов формирования магнитосфер немагнитных тел солнечной системы, обмена массой и энергией с солнечным ветром

Составлена база из 115 пересечений дневной магнитосферы Марса спутником MAVEN вблизи солнечно-зенитного угла  $70^\circ$  в период с 27 июля 2019 г по 31 октября 2019 г для орбит, в течение которых наблюдалась стабильная ориентация в межпланетном магнитном поле. На каждой из отобранных орбит были отождествлены границы между обтекающим потоком и магнитосферой (магнитопауза) и между магнитосферой и ионосферой (ионопауза). Магнитопауза определена как место, в котором отношение концентрации протонов к сумме концентраций атомарного и молекулярного кислорода равно 1. Ионопауза определена по резкому замедлению роста концентрации кислорода по мере уменьшения высоты спутника. Вблизи магнитопаузы, внутри магнитосферы и ионосферы было вычислено отношение концентрации ионов молекулярного кислорода к ионам атомарного кислорода. Выявлено, что это отношение увеличивается по мере уменьшения расстояния до планеты, физические причины такого явления будут предметом дальнейшего исследования.

Также был проведен детальный анализ данных пролета спутника MAVEN перед фронтом головной ударной волны Марса вблизи подсолнечной точки при радиальных условиях в межпланетном магнитном поле (при доминирующей компоненте вектора магнитного поля, направленной вдоль линии «Марс-Солнце»). В течение данного пролета спутником были зарегистрированы структуры в форшоке, известные как короткие магнитные структуры с большой амплитудой (short large amplitude magnetic structures, SLAMS). На масштабе времени около 10 секунд магнитное поле в этих структурах возрастает в 4-5 раз относительно межпланетного. Проведенный анализ методом наименьших вариаций показал наличие в них альвеновских и магнитозвуковых ОНЧ-волн, генерирующихся в результате взаимодействия ионов солнечного ветра и движущихся им навстречу надтепловых частиц из форшока. Вейвлет анализ магнитного поля выявил, что доминирующей частотой в структурах является циклотронная частота ионов  $O_2^+$ . Возможным объяснением этого факта является большая инерция ионов  $O_2^+$  в сравнении с ионами  $H^+$  и  $O^+$ .

#### **11. Развитие турбулентного каскада за околоземной ударной волной**

Проведено сопоставление результатов экспериментальных исследований характеристик турбулентности в магнитослое, представленных в литературе за последние десятилетия на основе данных спутников Cluster, Themis, Спектр-Р и MMS. Объединение и сравнение различных данных впервые позволило получить полную картину развития турбулентного каскада в магнитослое, как в выделенной области околоземного пространства. Также удалось определить, какую роль в этом развитии играют топология околоземной ударной волны (ОЗУВ) и динамика параметров солнечного ветра. В частности, было показано, что за квазипараллельной ударной волной флуктуации сжатия, как правило, формируют каскад, со свойствами, типичными для развитой турбулентности, тогда как за квазиперпендикулярной ударной волной спектры этих флуктуаций отличны от Колмогоровского вида и часто характеризуются пиком на стыке магнитогидродинамического и кинетического масштабов. Кроме того, на основе сравнения характеристик спектров флуктуаций параметров плазмы и магнитного поля в двух разнесенных точках магнитослоя, полученных по данным спутников Спектр-Р и Themis, исследована динамика турбулентного каскада при распространении плазмы от квазиперпендикулярной ОЗУВ к флангам магнитослоя при спокойных условиях в солнечном ветре. Показано, что при распространении плазмы вглубь магнитослоя наблюдается восстановление формы спектров, характерной для невозмущенной плазмы солнечного ветра. Результат получен совместно с РФФИ 19-02-00177.

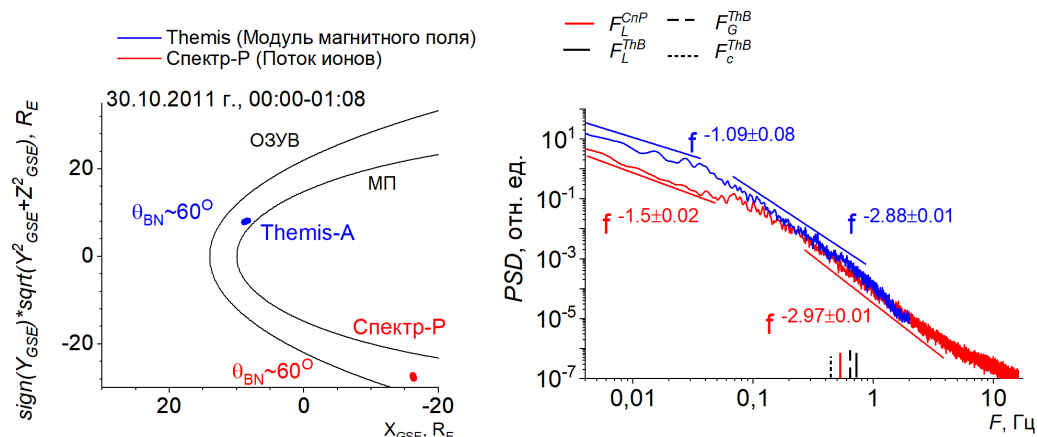


Рисунок 2.11.1 - Пример сопоставления характеристик турбулентности в двух точках за ОЗУВ: а – положение спутников Спектр-Р и Themis-A в рассматриваемый период времени, б – сравнение Фурье-спектров флуктуаций потока ионов (по данным Спектр-Р) и модуля магнитного поля (по данным Themis-A) в соответствующих двух точках магнитослоя

## 12. Мелко- и среднемасштабные вариации протонов и дважды ионизированных ионов гелия в солнечном ветре

Работа посвящена исследованию среднемасштабных ( $\sim 10^4$ - $10^5$  км) вариаций плотности протонов, дважды ионизированных ионов гелия (альфа-частиц), а также их относительного содержания в солнечном ветре на основе кросс - корреляционного анализа одновременных измерений на двух космических аппаратах (КА). Анализируются данные КА СПЕКТР-Р и WIND, расположенных друг от друга на расстоянии более 1 млн. км вдоль линии Солнце-Земля, и с меняющимся вплоть до  $9 \cdot 10^5$  км расстоянием в перпендикулярной плоскости. Показано, что для интервалов, где в целом наблюдается высокий коэффициент корреляции между измерениями на двух КА, локально поведение параметров, зарегистрированных на одном КА, может часто (более чем в 40% случаев) не соответствовать поведению аналогичных параметров на другом. При этом выявлено, что уровень локальной корреляции (корреляции на коротких подинтервалах) зависит от скорости и вариабельности потока, а также от типа его крупномасштабного течения. Наиболее высокие значения локальных коэффициентов корреляции наблюдаются в потоках плазмы перед магнитными облаками, тогда как низкие значения характерны для медленных квазистационарных течений солнечного ветра и для гелиосферного токового слоя. Кроме того, низкий уровень локальной корреляции, как правило, характеризуется отрицательной компонентой  $B_x$  межпланетного магнитного поля. Проведенный анализ позволил выделить локальные пространственные неоднородности в потоке протонов или гелия (случаи, когда некоторая структура регистрируется только одним из двух спутников) с характерными размерами  $\sim 5 \cdot 10^5$  км в плоскости, перпендикулярной направлению распространения потока.

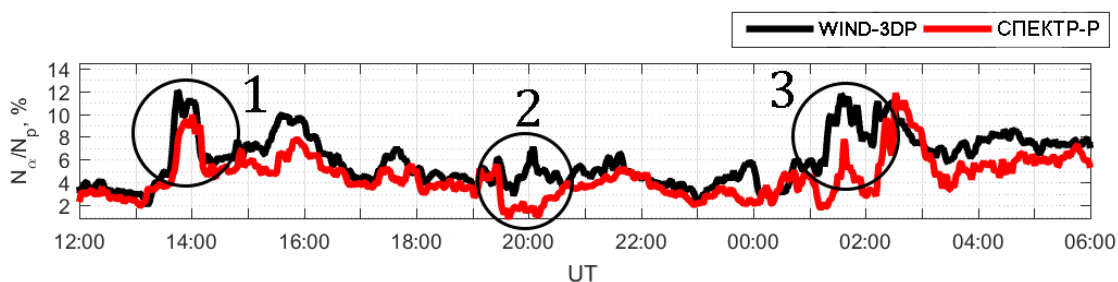




Рисунок 2.12.1 - Пример измерений относительного содержания гелия по данным КА WIND (чёрная линия) и СПЕКТР-Р (красная линия) 19.IV.2014. В областях 1 и 3 среднемасштабные структуры хорошо видны по измерениям на обоих КА (локальные коэффициенты корреляции превышают 0.8), а в области 2 корреляция между измерениями отсутствует - на КА WIND наблюдается локальная структура, которая не видна по данным КА СПЕКТР-Р

### 13. Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны.

По данным плазменного спектрометра БМСВ, установленного на космическом аппарате (КА) СПЕКТР-Р, была исследована структура течения плазмы солнечного ветра за рампом межпланетной ударной волны. Особое внимание было уделено области овершута, в которой наблюдаются коррелированные, затухающие при удалении от рампа колебания потока ионов и магнитного поля, сформированные двумя популяциями ионов: втекающим солнечным ветром и пучком отраженных вращающихся ионов. На основании анализа 26 пересечений фронтов межпланетных ударных волн, в которых наблюдались овершуты в величине потока ионов и магнитного поля, было показано, что на формирование и величину амплитуды овершута в структуре фронта ударной волны оказывают существенное влияние угол между нормалью к фронту ударной волны и вектором магнитного поля перед фронтом, число Маха, магнитная и плазменная компрессия на фронте волны. Получена зависимость максимальной величины овершута в потоке ионов от магнитного сжатия на фронте ударной волны, что соответствует выводам в работе [Gedalin et al., Phys. Plasmas. 2015]. Найдено, что амплитуда овершута в потоке ионов солнечного ветра увеличивается с ростом скачка плотности ионов на фронте ударной волны. Установлено, что длина волны колебаний, определенная по измерениям магнитного поля на КА WIND, в среднем, совпадает с длиной волны колебаний, определенной по потоку ионов на КА СПЕКТР-Р, а пространственные масштабы областей затухания колебаний могут сильно различаться при существенном возрастании их размеров. Результат получен совместно с РФФИ 19-02-00177.

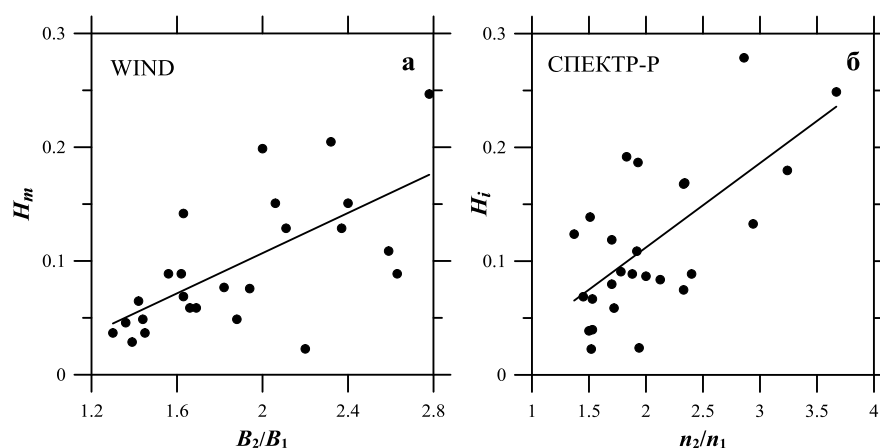


Рисунок 2.13.1 - Зависимость амплитуды овершута в магнитном поле от величины магнитного сжатия (панель а). Зависимость амплитуды овершута в потоке ионов от скачка плотности ионов на фронте ударной волны (панель б)

### 14. Термодинамика сжатия токового слоя магнитосферного хвоста

Фаза роста суббури в магнитном хвосте характеризуется формированием тонкого токового слоя (ТТС), который в конце фазы роста становится неустойчивым. Неустойчивость ТТС приводит к пересоединению линий магнитного поля и

инициализации суббури. Формирование ТТС, как ключевой процесс динамики суббури, включено во многие глобальные и локальные модели магнитного пересоединения. Однако последние спутниковые наблюдения показывают, что эволюция характеристик плазмы и конфигурации магнитного поля во время формирования ТТС может отличаться от предсказаний классического адиабатического сценария сужения токового слоя. В рамках работ по этой теме были сформирована база данных сужений токовых слоёв по наблюдениям многоспутниковых миссий Cluster и THEMIS за 2001-2009 и 2015 годы соответственно. Показано, что для широкого диапазона радиальных расстояний наблюдаются довольно схожие количественные характеристики формирования ТТС: растяжение линии магнитного поля (уменьшение компоненты магнитного поля с севера на юг), усиление плотности тока и эволюция температур и плотностей плазмы. Показано, что этот процесс не может быть напрямую связан с увеличением магнитного давления в магнитосферных лобках. Используя преимущества измерений многоспутниковых миссий показано, что формирование ТТС приводит к увеличению экваториальной плотности плазмы и уменьшению температуры плазмы.

#### **15. Определение характеристик резонансных электронов, взаимодействующих со свистовыми волнами во время диполизаций в ближнем хвосте магнитосферы Земли**

По наблюдениям MMS в быстрой моде измерений впервые были определены характеристики резонансных электронов, взаимодействующих с квазипараллельными свистовыми волнами во время длительных диполизаций в хвосте магнитосферы Земли на расстояниях  $-22 \text{ Re} < X \leq -8 \text{ Re}$ . Выполнен анализ 163 всплесков свистовых волн, наблюдавшихся в течение 48 диполизаций. Волновые всплески наблюдались в течение  $\sim 13$  мин после начала диполизации, когда были доступны наблюдения в быстрой моде. В каждый момент времени в течение каждого волнового всплеска был вычислен инкремент и определены энергетические и питч-угловые характеристики электронов, дающих максимальный положительный вклад в инкремент. Установлено, что в большинстве событий электроны с энергией  $W_{\text{res}} \geq 10 \text{ кэВ}$  и питч-углами  $\alpha_{\text{res}} \sim 100^\circ\text{--}130^\circ$  и  $\alpha_{\text{res}} \sim 50^\circ\text{--}80^\circ$  вносят максимальный положительный вклад в инкремент свистовых волн, распространяющихся параллельно и анти-параллельно магнитному полю, соответственно. Также установлено, что электроны с  $W_{\text{res}} \sim 10\text{--}20 \text{ кэВ}$  потенциально могут быть рассеяны в конус потерь низкочастотными свистовыми волнами с частотами  $f_w \sim (0.05\text{--}0.2)f_{ce}$  ( $f_{ce}$  - гирочастота электронов). Такие электроны могут высыпаться в высокоширотной авроральной области в течение первых 13 мин после начала диполизации. На основании статистического анализа характеристик популяций резонансных электронов, дающих положительный и отрицательный вклады в инкремент, показано, что свистовые волны во время диполизаций возбуждаются из-за циклотронной неустойчивости, вызванной температурной анизотропией надтепловых электронов ( $\geq 2 \text{ кэВ}$ ). Эти волны могут, в свою очередь, влиять на распределение электронов в этом диапазоне энергий. В частности, резонансные электроны с более низкой энергией передают часть своей кинетической энергии волнам, в то время как более энергичные электроны поглощают энергию волн, увеличивая свою кинетическую энергию. Это может привести к трансформации высокоэнергетической части распределения электронов от максвелловской к степенной.

#### **16. Определение пространственного распределения параметров каппа-аппроксимаций функций распределения ионов и выделение области максимальных значений каппа-параметра**

Выделение каппа-функций распределения ионов, обладающим максвелловским ядром и степенным хвостом, и определение параметров каппа аппроксимаций имеет

фундаментальное значение для решения задач об ускорении магнитосферных ионов и релаксации к максвелловским распределениям в условиях бесстолкновительной магнитосферной плазмы. Проведен анализ функций распределения ионов по данным находящиеся в открытом доступе спутников миссии THEMIS за время работы миссии с апреля 2007 по февраль 2011 г. Выделены около 125000 ионных спектров, которые могут быть аппроксимированы одним каппа- распределением и проведена каппа-аппроксимация этих спектров. Пример каппа-аппроксимации ионного спектра показан на Рис. 2.16.1a. На Рис. 2.16.1b приведено распределение k-параметра, в котором выделяется область максимальных значений k, имеющая серпообразную форму. Полученные пространственные распределения свидетельствуют о существовании сравнительно быстрых процессов релаксации неравновесных функций распределения к каппа-распределениям. Выделение серпообразной области магнитосферы с максимально большими значениями k-параметра превышающими 10 свидетельствуют о действии в данной области интенсивных процессов релаксации к максвелловскому распределению, в котором степенной спектр хвоста распределения переходит в экспоненциальный.

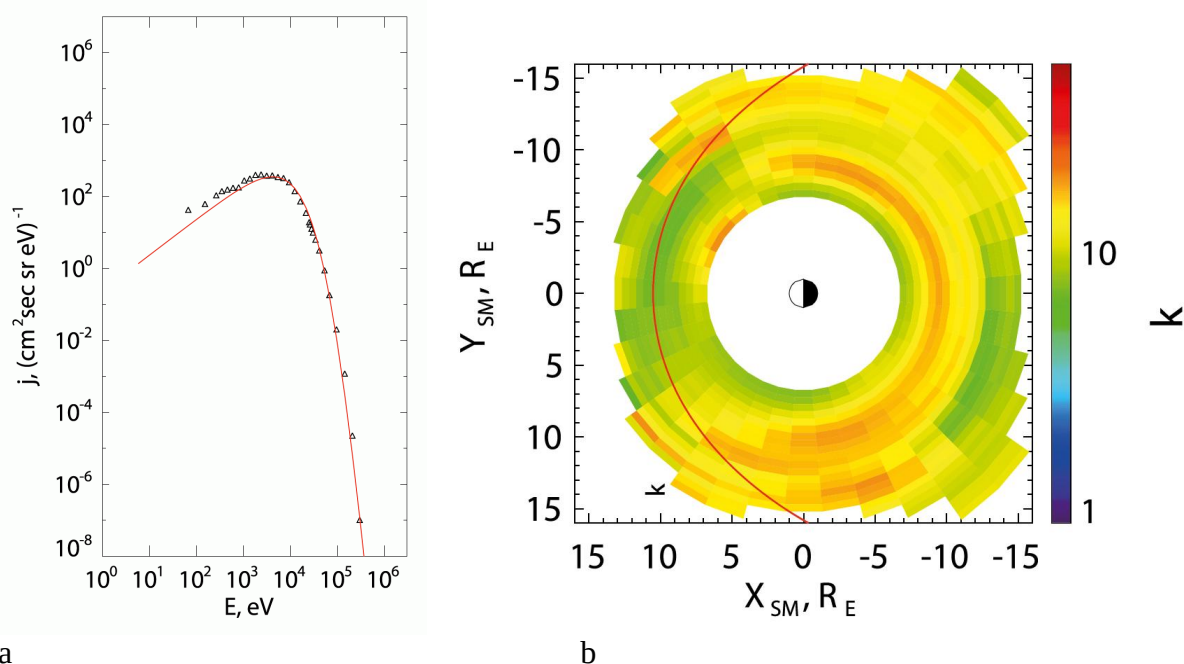


Рисунок 2.16.1 - Пример каппа аппроксимации (красная линия на левом рисунке,  $k=14.1$ ) спектра ионов (черные треугольники) внутри магнитосферы в области максимальных значений  $k$  параметра (a) и распределение  $k$  параметра в экваториальной плоскости (b)

### 17. Зависимость параметров каппа-распределений от уровня турбулентности в хвосте магнитосферы Земли

Проведен предварительный анализ зависимости параметра  $k$  от одновременно определяемого уровня вихревой турбулентности в хвосте магнитосферы. Уровень вихревой турбулентности определялся в ходе вычисления коэффициентов вихревой диффузии вдоль, поперек хвоста и в направлении утро - вечер. Коэффициент вихревой диффузии определялся уровнем флуктуаций скорости плазмы и временем ее автокорреляций. Наблюдаемый перемежающийся характер турбулентности в хвосте магнитосферы Земли позволил зафиксировать падение величины каппа-параметра при росте уровня турбулентности в результате турбулентного ускорения только при коэффициентах вихревой диффузии превышающих  $10^4 \text{ км}^2/\text{с}$ .

## 18. Распределение давления в магнитосфере Земли

Продолжены исследования распределения давления в магнитосфере Земли и процессов, связанных с неоднородным распределением давления, включая магнитные бури и суббури. Определено ионное давление в ночном секторе авроральной зоны в магнитоспокойные периоды при экстремальных значениях динамического давления солнечного ветра ( $P_{sw}$ ) по данным спутников DMSP. Показано, что при экстремально высоких уровнях динамического давления солнечного ветра давление ионов на границе изотропизации увеличивается с ростом  $P_{sw}$  и может достигать уровня 4-6 нПа при  $P_{sw} = 20-22$  нПа. Увеличение  $P_{sw}$  сопровождается не только ростом давления плазмы в авроральной зоне, но и расширением области авроральных высыпаний, главным образом за счет смещения границ изотропизации в более низкие широты. Проведен подробный анализ давления ионов в области высыпаний дневного низкоширотного пограничного слоя. Рассмотрен ряд эффектов, связанных с изменением внутримagnetосферного давления.

## 19. Анализ процессов формирования внешнего радиационного пояса Земли

Проведен предварительный анализ положения границы внешнего радиационного пояса относительно аврорального овала во время ряда магнитных бурь с использованием отечественного спутника Метеор-М № 2 и вариаций потоков релятивистских электронов вблизи максимума формирующегося после бури внешнего радиационного пояса по данным миссии RBSP/Van Allen probes. На Рис. 2.19.1 приведены результаты анализа пересечения спутником Метеор-М № 2 авроральной зоны во время магнитной бури 13 октября 2016 г., при котором наблюдалось совпадение полярной границы внешнего радиационного пояса с полярной границей аврорального овала. Показано, что динамика потоков на главных фазах исследованных бурь и фазах восстановления близки к падениям и возрастаниям потоков за счет адиабатического механизма ускорения. Результат получен совместно с РФФИ 18-05- 00362.

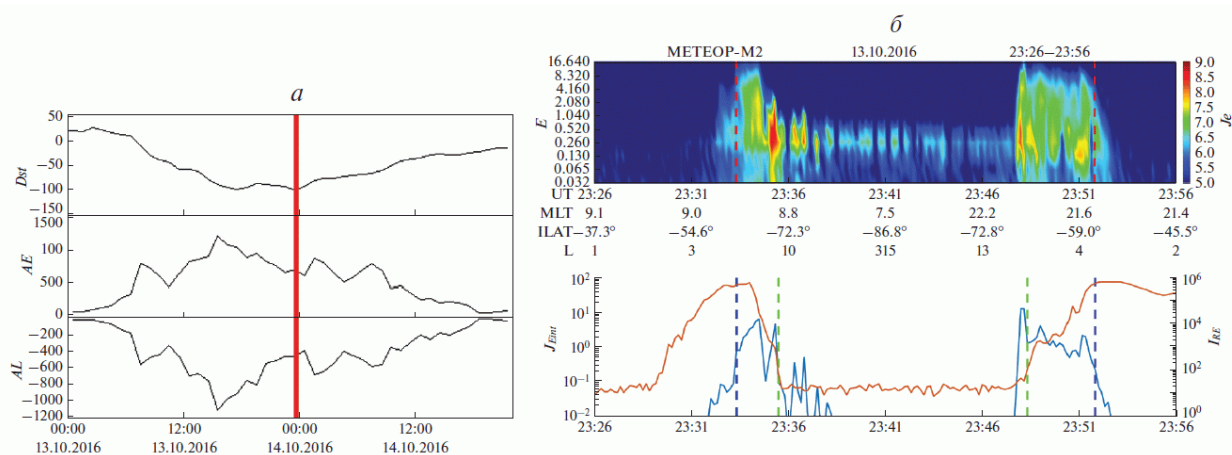


Рисунок 2.19.1 - Вариации Dst, AE и AL индексов в нТл во время бури 13–14 октября 2016 г., вертикальная линия – момент пересечения аврорального овала спутником Метеор-М № 2 (а); спектрограмма авроральных электронов (верхняя панель), потоки энергии авроральных электронов  $J_{Eint}$  в эрг  $\cdot$  см $^{-2}$   $\cdot$  с $^{-1}$  и потоки электронов с энергией >100 кэВ  $I_{RE}$  в см $^{-2}$   $\cdot$  с $^{-1}$  ср $^{-1}$  (нижняя панель) (б); пунктирные линии – положения экваториальной и полярной границ овала

## 20. Механизм формирования бездисперсионных сигнатур ионных пучков токового слоя

Проведен анализ сигнатур ионных пучков – бимлетов токового слоя 1-20 кэВ по данным спутников CLUSTER в авроральной магнитосфере на  $\sim 5R_E$ , где  $R_E$  - радиус Земли. Экспериментальное исследование показало, что картина дисперсии энергия-широта сигнатур различна в зависимости от направления движения спутника по отношению к полярной шапке. При движении по авроральной зоне к полярной шапке наблюдается отрицательная, либо нулевая дисперсия энергия-широта. Предложен физический механизм формирования бездисперсионных авроральных сигнатур. Механизм основан на том, что скорости ионов при пролете их от источника до авроральной зоны –  $v_1$  (TOF – времяпролетный эффект) и при движении частиц в магнитосфере –  $v_2$  ( $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  – конвективный дрейф) равны. Модельные расчеты суперпозиции этих эффектов показали достаточно хорошее согласие с экспериментальными результатами по измерениям магнитного и электрического полей на спутниках CLUSTER, определяющих скорость дрейфа ионов при конвекции. На Рис. 2.20.1 показана модель формирования для двух сигнатур ионных бимлетов без дисперсии энергия-широта (W-ILAT). Показано, что времяпролетный эффект компенсируется эффектом конвективного дрейфа ионов.

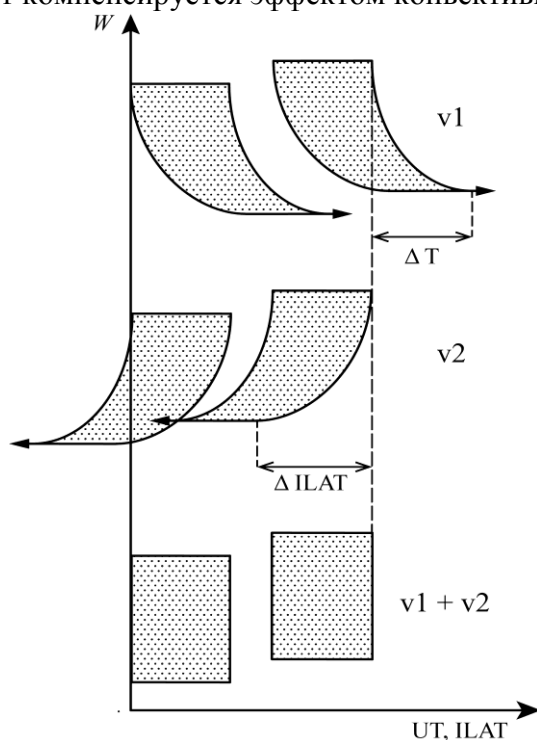


Рисунок 2.20.1 - Модель формирования для двух сигнатур ионных бимлетов

## 21. Исследование мелкомасштабной структуры поляризационного джета во время геомагнитной бури 20 апреля 2018 г

Проведено исследование мелкомасштабной структуры поляризационного джета в субавроральной области во время геомагнитной бури 20 апреля 2018 г. Представлены результаты измерений параметров плазмы внутри поляризационного джета с максимальной частотой опроса 1 кГц с помощью зондов Ленгмюра, установленных на микроспутнике NorSat-1. В результате исследования установлено наличие неоднородностей температуры и концентрации электронов внутри поляризационного джета с пространственными размерами десятки — сотни метров. Показано возрастание температуры электронов внутри поляризационного джета в среднем в 1.5 раза. Подтверждены известные ранее особенности развития поляризационного джета, а также обнаружено, что в рассмотренном случае с развитием геомагнитной активности

распределение температуры электронов внутри джета разделяется на два ярко выраженных пика.

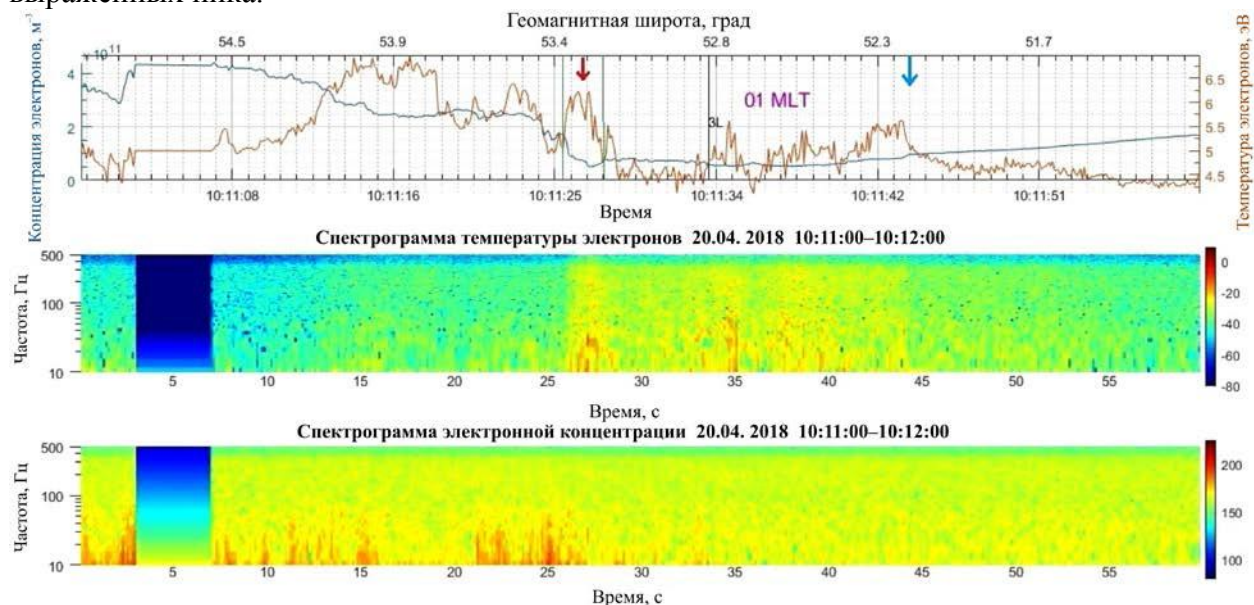


Рисунок 2.21.1 - Изменение концентрации и температуры электронов при пролете в 10 UT и их спектрограммы. Красная стрелка — поляризационный джет; вертикальные зеленые линии — приблизительные границы поляризационного джета; вертикальная черная линия — момент времени, когда спутник пересекал L-оболочку 3; синяя стрелка — предполагаемая экваториальная граница субаврорального потока конвекции на запад

## 22. Пространственная структура поляризационного джета по данным спутников NORSAT-1 и SWARM

В данном исследовании изучается пространственная структура поляризационного джета (ПД) по данным ионосферных спутников NorSat-1 и Swarm во время геомагнитной бури. Проведен сравнительный анализ зависимости концентрации и температуры электронов от инвариантной широты одновременно по измерениям на спутниках NorSat-1 и Swarm C во время пересечения спутниками поляризационного джета. Подтверждена зависимость инвариантной широты поляризационного джета от авроральной геомагнитной активности и от местного магнитного времени. Обнаружена двойная структура поляризационного джета, а также мелкомасштабные пространственные структуры внутри джета размером в  $0.1^{\circ}$ – $0.2^{\circ}$ . Установлено, что пространственные структуры не являются локальными и растянуты по долготе как минимум на 2 часа местного магнитного времени



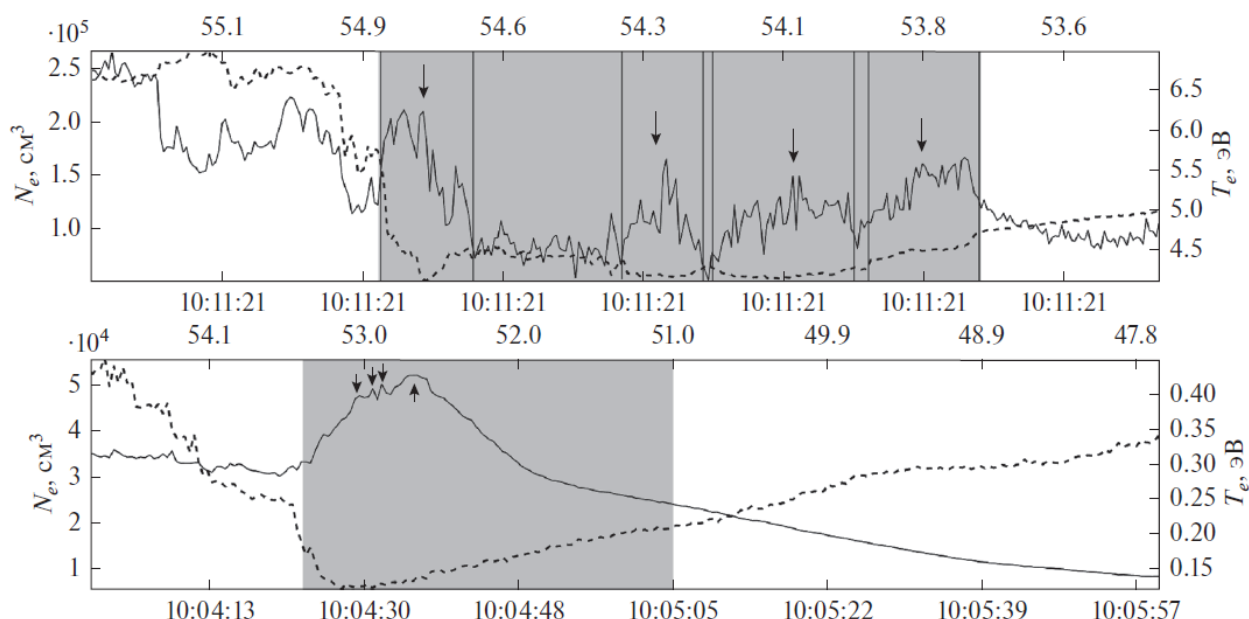


Рисунок 2.22.1 - Изменение температуры (сплошная линия) и концентрации электронов (пунктирная линия) во время пролета спутника NorSat-1 в 10.11.18–10.11.51 UT (верхняя панель) и спутника Swarm C (нижняя панель) в 10.03.48–10.04.58 UT. По верхней горизонтальной оси отложена проекция геомагнитной широты вдоль магнитных силовых линий дипольной модели магнитного поля Земли на высоту 110 км. Серой областью отмечено расположение ПД. Стрелками и вертикальными линиями указаны локальные провалы электронной концентрации внутри ПД

### 23. Развитие методики ионозондовых измерений в полярной и субавроральной ионосфере по исследованиям на Якутской цепочке ионосферных станций вертикального и возвратно-наклонного зондирования в течение 4-х циклов Солнечной активности

Дано описание экспериментальных исследований структуры полярной ионосферы путем регистрации прямых наклонных отражений от ионосферы с применением антенных систем наклонного зондирования (метод НОР) на якутской меридиональной цепочке ионозондов на станциях Якутск ( $L=3.0$ ), Жиганск ( $L=4.0$ ), бухта Тикси ( $L=5.65$ ) за четыре цикла Солнечной активности 1971–2015 гг. Анализируются геофизические ситуации суббурь различной интенсивности и больших мировых бурь. Перекрытие области ионосферы превышает 1500 км по широте. В дневном секторе уверенно регистрируются отражения от области каспа на дальности до 1200 км от полярной станции бухта Тикси, что позволяет изучать динамику дневного полярного каспа в умеренных и сильно возмущенных условиях. Описаны характерные интенсивные радиоотражения от дискретных дуг полярных сияний.

Полярная кромка главного ионосферного провала лоцируется при ее вариациях в пределах 1500 км. Обнаружена и описана структура узкого провала концентрации, связанная с развитием поляризационного джета; быстрого струйного течения плазмы к западу на широтах внутри плазмопаузы вблизи ее внешней границы. Рассчитана сложная реальная картина траекторий радиоволн в структуре распределения ионизации по измерениям радара некогерентного рассеяния. Выполнен траекторный синтез ионограмм, которые будут наблюдаться на станциях ионосферного зондирования при перемещении провала над станциями цепочки.

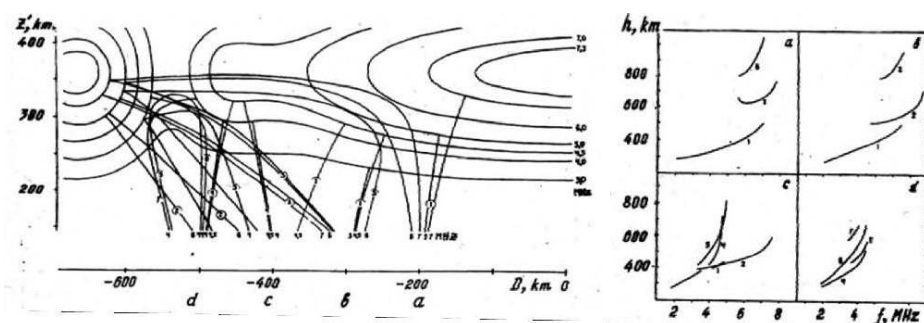
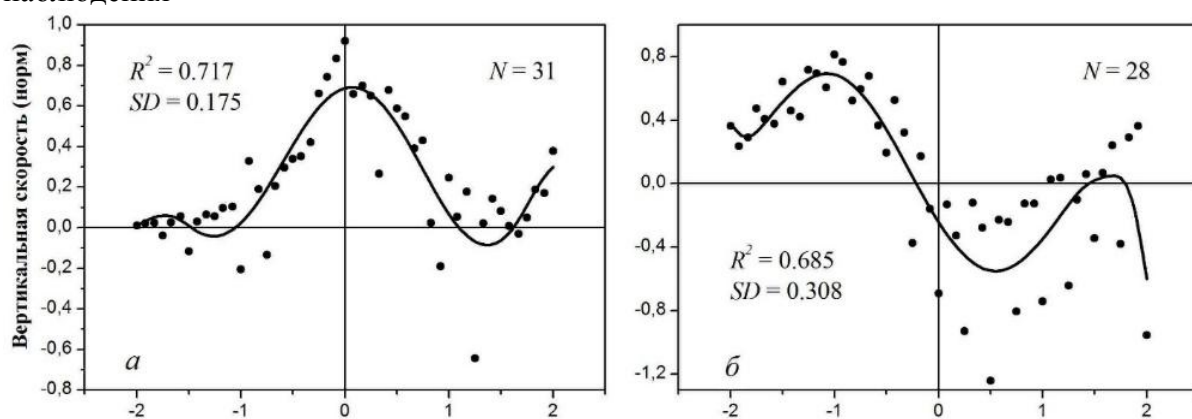


Рисунок 2.23.1 - Картина траекторий радиоволн в структуре провала ионизации в области поляризационного джета. Контуры ионизации заданы по измерениям радара некогерентного рассеяния в Чатанике на Аляске. Выполнен траекторный синтез ионограмм для четырех положений ионозонда относительно структуры провала. Расчетные ионограммы воспроизводятся при ионосферном зондировании

#### 24. Динамика горизонтальных и вертикальных дрейфов в полосе поляризационного джета по Доплеровским измерениям на цифровом ионозонде DPS-4

Доплеровские измерения на субавроральной ионосферной станции Якутск показывают, что во время периода формирования и развития поляризационного джета над станцией наблюдения значения максимумов вертикальных скоростей дрейфа плазмы относительно максимумов горизонтальных скоростей могут не совпадать по времени и направлению, вызывая различные ситуации их взаиморасположения. Сопоставление наземных измерений при наблюдении поляризационного джета и численных расчетов по модели высокоширотной ионосферы демонстрирует, что наличие несовпадающих пиков вертикальных и горизонтальных компонент скорости дрейфа плазмы на высотах слоя F2 приводит к разным вариациям основных параметров слоя. Выявлено, что в некоторых случаях перед формированием поляризационного джета наблюдается повышение критической частоты слоя F2. Возможным объяснением такого поведения является понижение скоростей рекомбинации ионов из-за повышения максимума слоя и, следовательно, их накопления на этих высотах. Такой рост критической частоты слоя F2 может быть дополнительным признаком развития поляризационного джета над станцией наблюдения





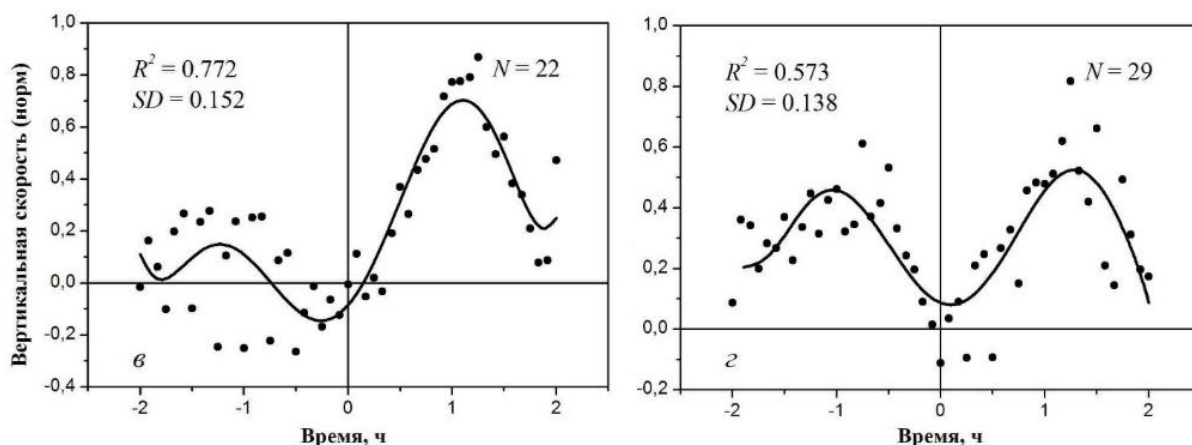


Рисунок 2.24.1 - Вертикальные скорости дрейфа ионосферной плазмы в полосе поляризационного джета. В  $\sim 28\%$  случаев максимальные значения вертикальных скоростей в полосе поляризационного джета совпадали с максимумом горизонтальных скоростей (реперное время) (а); в  $25.5\%$  случаев пик вертикальных скоростей наблюдался за  $\sim 1$  ч до реперного времени (б); в  $20\%$  случаев пик вертикальных скоростей наблюдался спустя  $\sim 1$  ч после реперного времени (в) и в  $26.5\%$  случаев наблюдалось два пика вертикальных скоростей: первый за  $\sim 1$  ч до максимума горизонтальных скоростей, второй спустя  $\sim 1$  ч после максимума горизонтальных скоростей (г)

## 25. Влияние пульсирующей авроры на структуру полярных мезосферных радиоотражений по наблюдениям метеорного радара

Хотя полярные мезосферные радиоотражения (Polar Mesospheric Summer Echoes, PMSE) открыты давно и интенсивно исследуются, но мысль о том, чтобы изучать их посредством метеорного радара раньше никому в голову не приходила. Специфика метеорного радара состоит в том, что он регистрирует радиоотражения только от быстропротекающих (доли секунды) процессов, какими являются вторгающиеся метеороиды в процессе своей абляции. С использованием метеорного радара SKiYMET (36.9 MHz) обс. Соданкюла ( $67^{\circ}22'N$ ,  $26^{\circ}38'E$ . Финляндия) был обнаружен новый тип PMSE, интенсивность которого демонстрировала иррегулярные вариации на частоте несколько Гц (см. Рис. 2.25.1). Эти радиоотражения наблюдались в июне-июле в утреннем секторе (4 -12 MLT) во время геомагнитных бурь в узкой области высот вблизи 82 км, которые соответствуют высотам серебристых облаков, содержащих ледяные частицы с радиусом 50-нм. Во время наблюдения пульсирующих PMSE ионозонд обс. Соданкюла регистрировал высокую плотность электронов вблизи 82 км ( $3 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$ ), и повышенная ионизация D области проявлялась в риометрическом поглощении. Мы связали пульсирующие PMSE с модулирующим влиянием пульсирующей авроры с частотами в несколько Гц. Оценки показывают, что во время каждого всплеска высыпаний 50-100 кэВ – ных электронов ледяные частицы получают дополнительный заряд из-за потока сверхтепловых электронов, что приводит к увеличению интенсивности PMSE. Прерывание всплеска высыпаний приводит к восстановлению равновесного заряда на ледяных частицах (деионизация за счет взаимодействия с ионами) за характерное время 0.2 с.

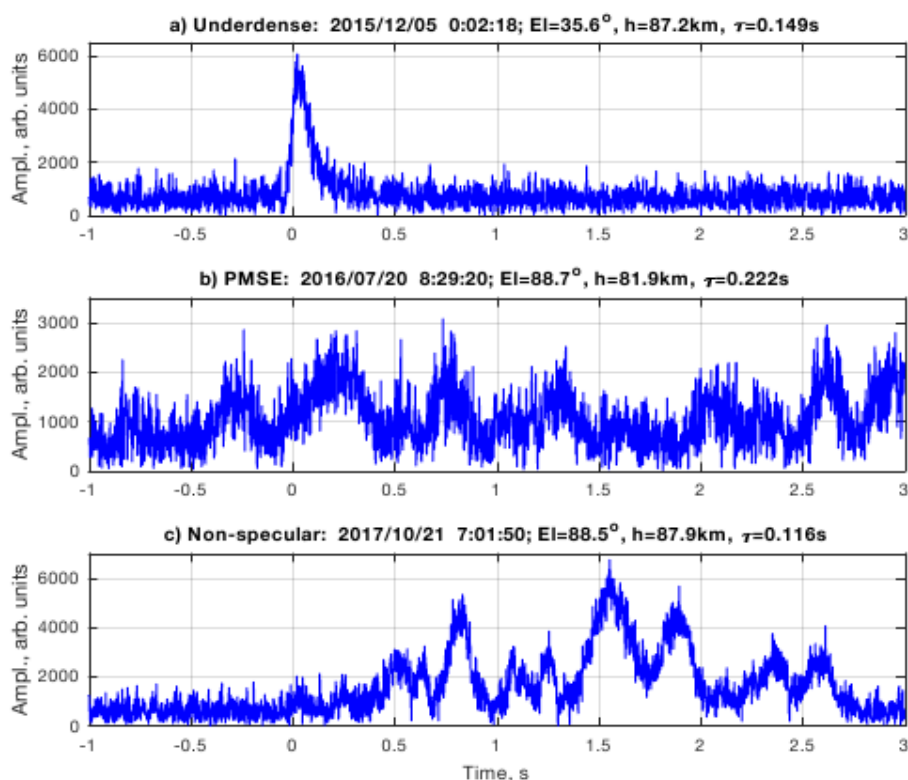


Рисунок 2.25.1 Примеры амплитуд сигналов, зарегистрированных на одной из пяти антенн метеорного радара в зависимости от времени: (а) типичная регистрация метеора; (б) PMSE, зарегистрированное в зените; (с) не френелевское радиоотражение в зените

## 26. О вариациях параметров плазмы ионосферы, наблюдаемых посредством ионозонда и на магнитной станции

Рассмотрены вариации геомагнитного поля и критической частоты F2-слоя в диапазоне периодов планетарных волн в зимний период. Измерения осуществлялись посредством магнитометра и вертикального радиозондирования ионозондом на близких станциях (ст. Бельск и ст. Варшава) и позволяли регистрировать вариации ионосферного тока в нижней и плотности плазмы в верхней ионосфере соответственно. Спектральное оценивание выполнено для зимнего периода 2018–2019 гг. (низкая солнечная активность) и 2014–2015 гг. (высокая солнечная активность). Обнаружено присутствие практически синхронных вариаций в указанном диапазоне периодов как на наземной магнитометрической станции, так и в измерениях критической частоты слоя F2. При этом в спектрах временных вариаций геомагнитного поля и критической частоты F2-слоя в диапазоне планетарных волн в зимний период присутствуют как гармоники, связанные с солнечной активностью (пик  $\sim 30$  сут, соответствующий 27-суточной периодичности; пики  $\sim 13.8$  сут и  $\sim 9$  сут, обусловленные гармониками 27-суточной периодичности), так и вариации, соответствующие квази-16-дневной и квази-10-дневной планетарным волнам (пики с периодами  $\sim 18$  сут и  $\sim 11.2$  сут, соответствующие квази-16-дневной и квази-10-дневной планетарным волнам) (см. рис. 2.26.1). Предложен механизм появления 16- и 10-дневных вариаций в верхней ионосфере.

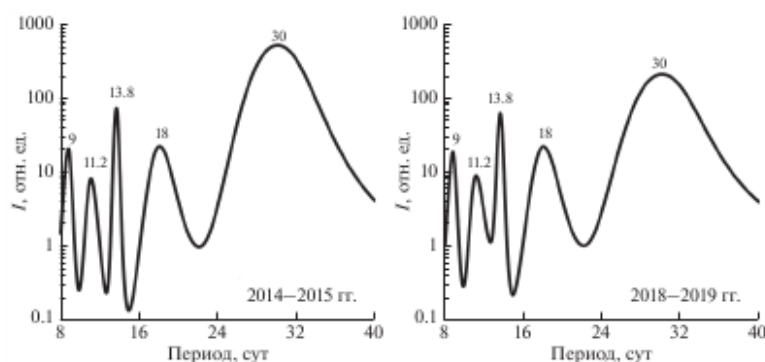
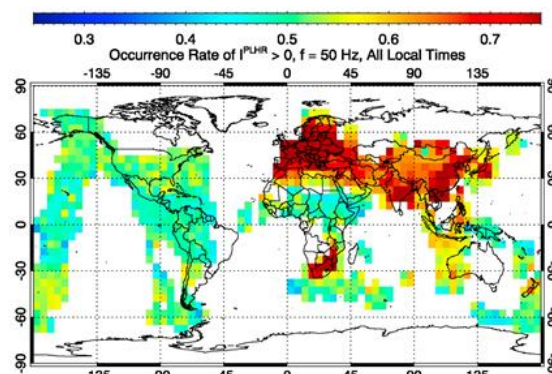
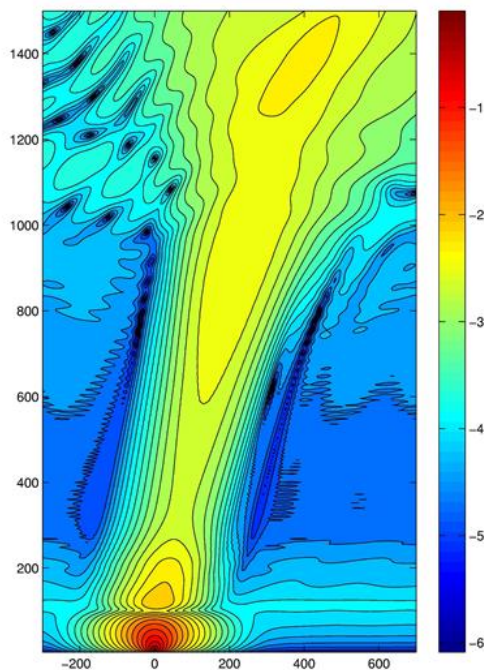


Рисунок 2.26.1 Пример периодограммы вариаций  $f_0F_2$ , определенных по ионограммам, полученным с ионозонда в г. Варшава с 01.12.2014 г. по 28.02.2015 г. и с 01.12.2018 г. по 28.02.2019 г., в диапазоне периодов от 8 до 40 сут.

## 27. Электромагнитное «загрязнение» околоземного космического пространства 50-60 Гц излучениями ЛЭП

Антропогенное электромагнитного загрязнения околоземного пространства постоянно нарастает по мере индустриального прогресса, и уже в ближайшее время Земля будет находиться в электромагнитном окружении, создаваемым не природными процессами, и промышленной деятельностью человека, что с неизбежностью скажется на протекании процессов в плазме околоземного пространства. Сделан подробный обзор спутниковых наблюдений и теоретических моделей распространения электромагнитных излучений от сетей промышленных 50/60 Гц линий электропередач (Power Line Emission) в верхнюю ионосферу Земли [Пилипенко и др., 2021]. Стандартные приближения, используемые при расчетах взаимодействия с ионосферой волн УНЧ диапазона ( $< 1$  Гц) (приближение тонкого слоя) и ОНЧ диапазона ( $> 1$  кГц) (ВКБ приближение), неприменимы в рассматриваемом диапазоне. Полная система уравнений Максвелла численно решается в реалистичной ионосфере с учетом столкновений частиц, анизотропии, резкой неоднородности, наличия двух зацепленных мод, циклотронных резонансов с тяжелыми ионосферными ионами. Просачивание в верхние слои ионосферы увеличивается в ночное время суток и над высокоомными породами. Амплитуды электромагнитного излучения от ЛЭП, регистрируемые спутниками на низких орбитах, соответствуют несбалансированной силе тока примерно 1–10 А, в зависимости от удельного сопротивления земной коры.

Численная модель показывает, что э/м излучения, зарегистрированные в верхней ионосфере, создаются ЛЭП с несбалансированным током  $\sim 10$  А.



Статистика наблюдений PLE на спутнике DEMETER (~700 km) (Nemec et al., 2015).

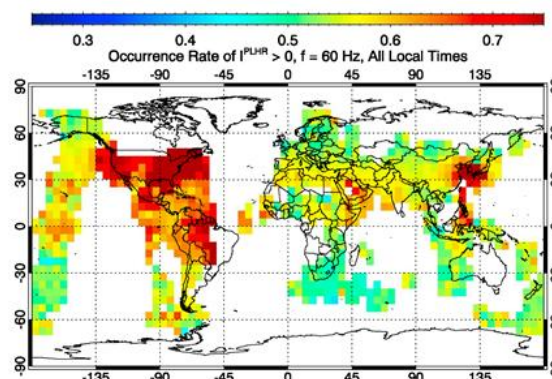


Рисунок 2.27.1 – Электромагнитное “загрязнение” околоземного пространства излучением ЛЭП

## 28. Локализованные импульсные возмущения геомагнитного поля по данным арктических и антарктических станций

На фоне глобальных возмущений геомагнитного поля в ночные часы обнаружен новый тип возмущений - уединенные импульсы большой амплитуды ( $>100$  нТл), названные magnetic perturbation events (MPE) [Engebretson et al., 2021]. Из-за узкой пространственной локализации их удается надежно выделить только на плотной сети магнитных станций (типа CARISMA, IMAGE). Используя данные 2D сети магнитных станций, определена вихревая структура ионосферных токов, связанных с MPE, и установлено, что эти структуры возбуждаются парой продольных магнитосферных токов [Weygand et al., 2021]. Энергия MPE импульсов локализована в области с характерным размером  $\sim 200$ - $300$  км. MPE связаны с авроральными структурами, но их механизм пока твердо не установлен.



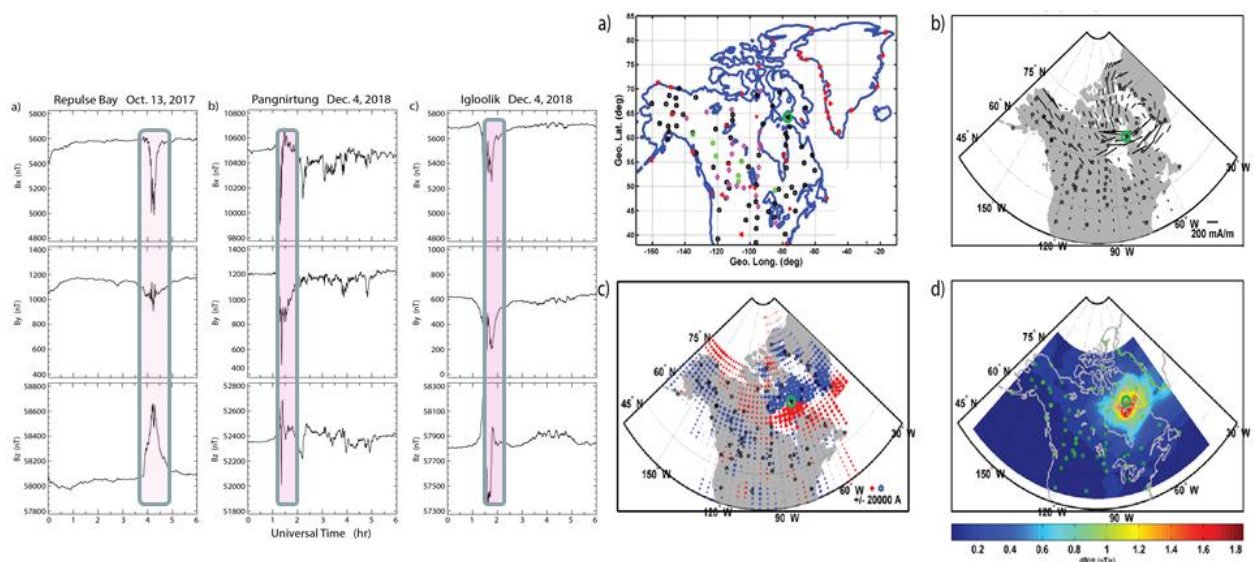


Рисунок 2.28.1 – Локализованные импульсные возмущения геомагнитного поля по данным арктических станций

## 29. Применение зондовых приборов ИЭСП-2 и КМ-7 на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 для определения концентрации электронов в близкой (2-3 RE) магнитосфере

В настоящее время широко применяется метод определения концентрации окружающей плазмы в магнитосфере на основе измерений потенциала космического аппарата относительно плазмы датчиками электрических полей. Если потенциал космического аппарата положительный относительно потенциала плазмы, то баланс токов осуществляется только между электронным током и фототоком. А. Педерсон предложил эмпирическую модель плотности фототока, в которую входят плотность фототока насыщения и измеряемый потенциал спутника. В этой и других подобных моделях плотность фототока имеет конкретное значение, поэтому проводятся калибровки определенной таким методом концентрации электронов с учетом измерений другими приборами. На спутнике *ИНТЕРБОЛ-2* для определения плотности электронов применяется модификация этой методики. Аппаратура *ИНТЕРБОЛ-2* позволяет корректно оценить плотность фототока насыщения на основе сопоставления одновременных измерений электрического потенциала спутника относительно плазмы зондовыми приборами ИЭСП-2 и КМ-7 [Smirnova N.F. and G. Stanev //Geom. Aeron., 2009, V.49, pp. 1204-1207]. Плотность фототока насыщения используется при определении концентрации электронов. Это является важным фактом, так как фототок показывает большие вариации в зависимости от материала поверхности зондов и окружающей плазмы вблизи спутников, а также со временем функционирования на орбите. Датчик электрических полей ИЭСП-2 и измеритель электронной температуры КМ-7 были установлены на спутнике *ИНТЕРБОЛ-2* как отдельные приборы, но в процессе работы с данными выяснилось, что их можно рассматривать как комплекс аппаратуры, который позволяет определить концентрацию окружающей плазмы. Аналоги приборов ИЭСП-2 и КМ-7 следует повторить на других магнитосферных аппаратах с апогеем (2-3)  $R_E$ . На Рис. 2.29.1 иллюстрируется такой подход для определения концентрации электронов на основе совместных измерений потенциала спутника приборами ИЭСП-2 и КМ-7 8 февраля 1997 г.

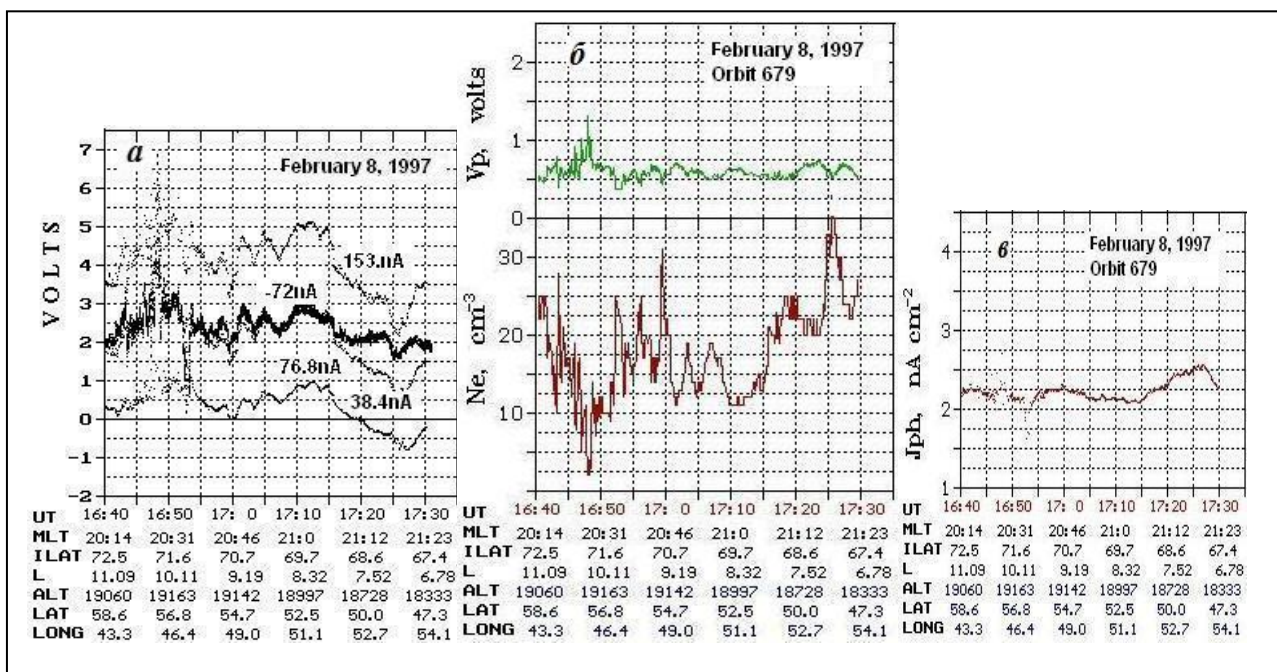


Рисунок 2.29.1 – Орбита 679 (08.02.1997, 1640-1730 UT). *ИНТЕРБОЛ-2* находился в авроральной области, индекс  $K_p=5$ . Демонстрируются измерения разности потенциалов между спутником и зондом  $U_{sp}/ИЭС\text{П-}2$  при токе смещения  $I_b=-72$  нА, для сравнения показаны измерения  $U_{sp}/КМ-7$  при  $I_b=153,6$  нА,  $76,8$  нА,  $38,4$  нА (а); на нижней панели показана плотность электронов плазмы, а на верхней панели потенциал зонда  $V_p/ИЭС\text{П-}2$  (б); плотность фотоэлектронного тока (в).

### 30. Дневные всплески высокочастотных ОНЧ излучений («VLF bursty patches», ранее «птички»)

По данным наземных наблюдений исследованы морфологические особенности нового недавно обнаруженного вида дневных всплесков ОНЧ излучений («VLF bursty patches») на частотах выше 5 кГц, неожиданно обнаруженного после применения цифровой фильтрации атмосфериков, экранирующих все естественные ОНЧ волны. Выявлены две основные спектральные формы излучений: триггерные и типа “dash” (короткие узкополосные «штрихи»). Показано, что генерация первых происходит в очень спокойных геомагнитных условиях, а вторых – в слабо возмущенных.

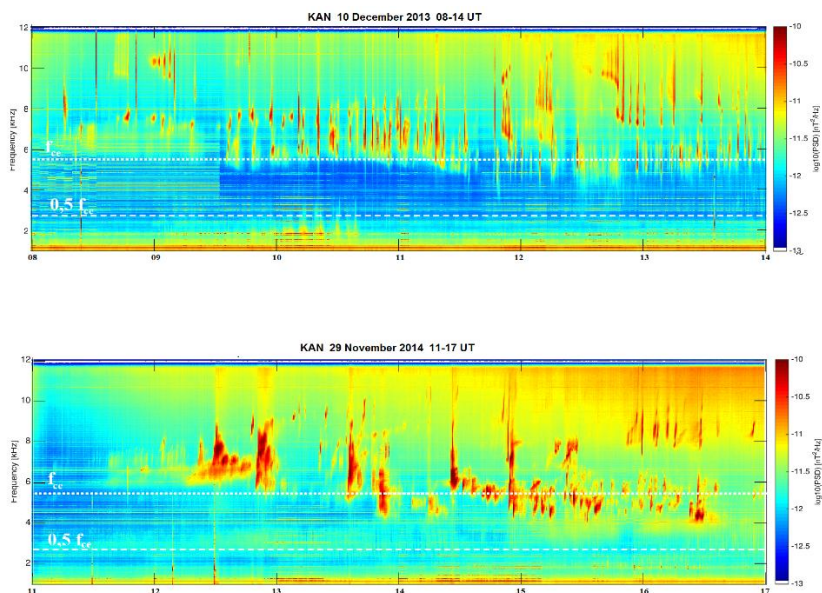


Рисунок 2.30.1 – Дневные всплески ОНЧ излучений

### 31. Основы перспективной экспериментально-модельной методики комплексной диагностики характеристик полярной ионосферы для анализа и краткосрочных прогнозов условий распространения в различных секторах MLT северной полярной зоны

На основе опубликованных зарубежных данных экспериментальных и модельных исследований процессов, происходящих в полярной ионосфере, показавших результаты их влияния на генерацию неоднородностей плазмы в конкретных условиях, приводящих к сцинтилляциям трансполярных сигналов в диапазоне от десятков МГц до десятков ГГц, выработаны основы перспективной экспериментально-модельной методики, которые позволят создать предпосылки к краткосрочным прогнозам условий распространения в различных секторах MLT северной полярной зоны.

### 32. Исследование в ионосфере динамики интенсивности магнитной и электрической компонент КНЧ излучений по данным эксперимента «Обстановка (1 этап)» на борту РС МКС

Продолжается анализ информации из базы данных КЭ «Обстановка 1-й этап» по целому ряду физических параметров плазмы и окружающих МКС электромагнитных полей, содержащей соответствующие орбитальные данные и модельные параметры геомагнитного поля.

На данном этапе была проведена обработка двухточечного синхронного измерения зондами Ленгмюра на МКС. Одновременно с экспериментом «Обстановка (1 этап)» на МКС проводился эксперимент НАСА FPMU (Floating potential measurement unit). Была установлена одинаковая максимальная величина и сходные изменения вдоль орбиты измеренного плавающего потенциала в двух точках МКС. При этом нам по административным причинам было доступно только ограниченное количество данных FPMU.



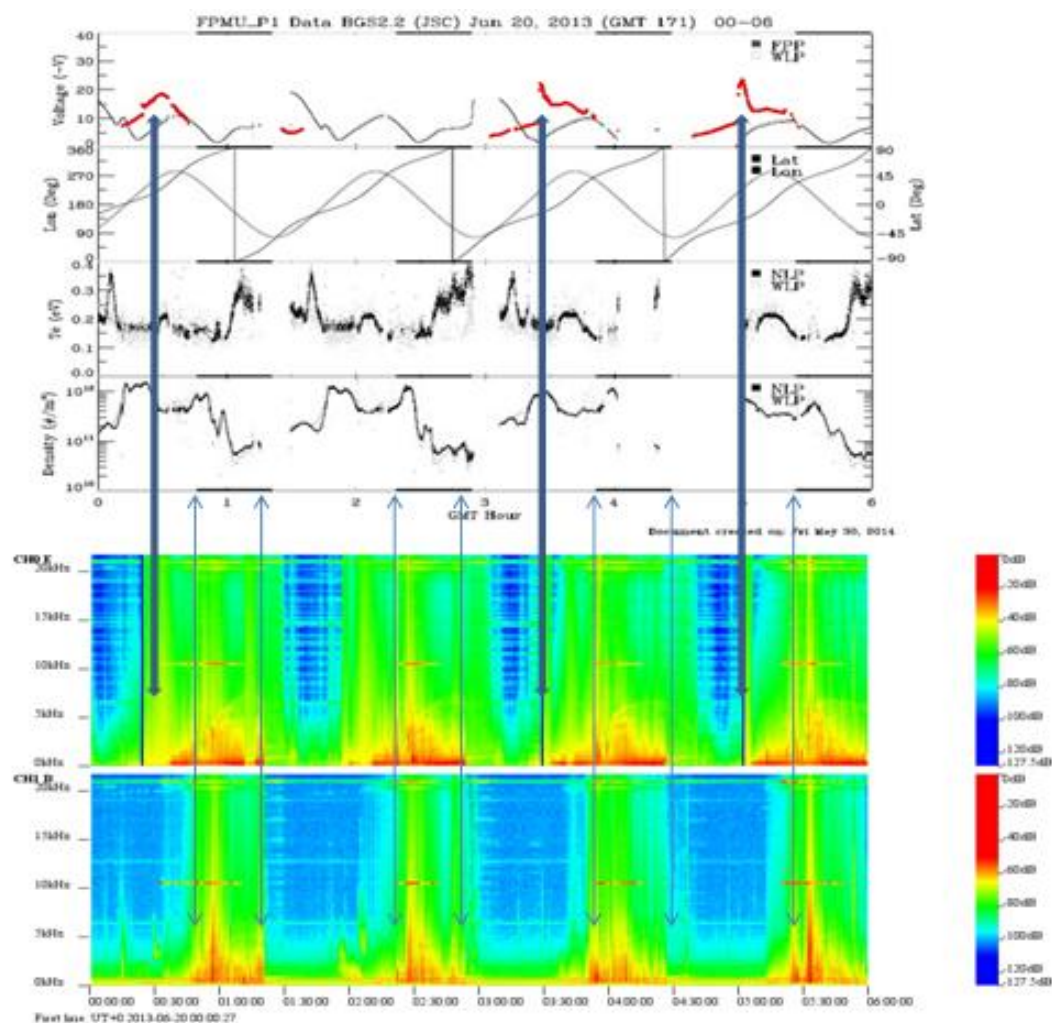


Рисунок 2.32.1 6 часовые измерения приборами FPMU, ЗЛ-1 и КВЗ-1. Сверху вниз: 1 -плавающий потенциал плазмы, чёрный график – FPMU, красный график – ЗЛ-1: наблюдаются близкие по величине максимумы, расходящиеся по времени из-за эффектов различного затенения элементами станции; 2-широта и долгота станции; 3-вычисленное значение температуры электронов по данным FPMU; 4-вычисленная ионная концентрация по данным FPMU; 5, 6-спектры электрического и магнитного поля по данным прибора КВЗ-1: наблюдаем синхронные эффекты затенения при переходах день-ночь (отмечено более тёмными участками на оси времени) и разновременные изменения локальных затенений на графиках плавающего потенциала и спектрах электрического и магнитного поля

В настоящее время изучается возможность получения большего массива данных для проведения оценки совпадений, различия и взаимных фазовых характеристик (Рис. 2.32.2), как для первичных данных, так и для вычисленных параметров плазмы - ионной концентрации и температуры электронов.



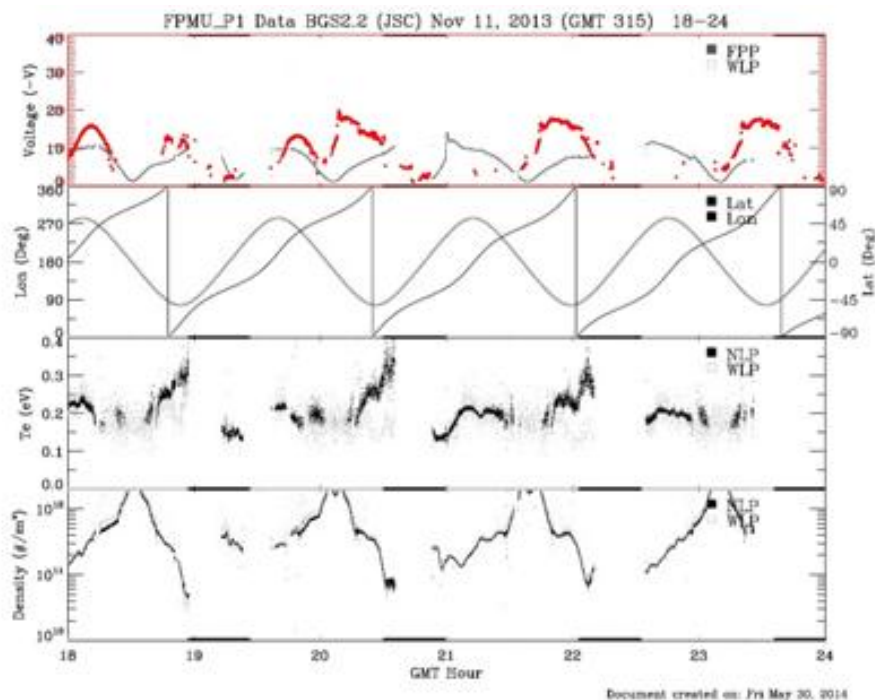


Рисунок 2.32.2 Пример данных FPMU и ЗЛ-1 (красным), где наблюдается большая амплитуда изменения плавающего потенциала у ЗЛ-1 при сходном поведении при переходах день-ночь

На данном этапе изучалась полезность стеклоглеродистых покрытий для применения в датчиках и антеннах. В ЦР «Обстановка 1-й этап» образцы покрытий были установлены на наружной Служебного моля. После ~4-х лет экспозиции образцы были возвращены на Землю для лабораторного анализа. Воздействие окружающей среды на конструкцию было тщательно изучено и подтверждено, что механическая эрозия преобладает из-за энергичных бомбардировок ионизированными частицами. Последние происходят из остаточной атмосферы космического пространства, ионизированной космическими лучами. Как было замечено, рамановские исследования не показывают никаких химических изменений, только изменения толщины покрытия.

Слабый диффузный рефлекс аморфного стекловидного углеродного слоя наблюдался во всех образцах. Неупорядоченный характер слоя был также подтвержден спектроскопией комбинационного рассеяния света, поскольку собранные спектры типичны для стеклообразного углеродного материала. Никаких изменений в структуре стеклообразных углеродных слоев из-за пребывания на МКС не наблюдалось.

Никаких поверхностных химических или структурных изменений не наблюдалось или мы изучили полезность стекловидного углерода покрытия для применения в антеннах.

Воздействие окружающей среды на образцы было тщательно изучено и подтверждено, что механическая эрозия преобладает из-за энергичных бомбардировок ионизированными частицами. Последние происходят из остаточной атмосферы космического пространства, ионизированной космическими лучами.

Никаких изменений в структуре стеклообразных углеродных слоев из-за пребывания на МКС не наблюдалось.

Обсуждаемые результаты, несомненно, показывают, что стекловидные углеродные покрытия, нанесенные на графитовую подложку, могут быть успешно использованы для измерений электрического поля ионосферы. Благодаря своей химической и термической стабильности, а также благоприятным электрическим характеристикам, его применение в антеннах с помощью двойного зонда неоспоримо.

### **33. Аппаратурно-методическая разработка комплекса приборов для измерения плазменно-волновых параметров в эксперименте «Обстановка (2 этап)» на борту РС МКС**

Космический эксперимент (ЦР - Целевая Работа) «Обстановка (2 этап)» является продолжением предшествующих проектов ИКИ РАН по фундаментальным космическим исследованиям, в том числе с участием международной кооперации.

На коллоквиуме КОСПАР-96 Магнитосферные исследования с использованием передовых методов (Beijing, China, 15-19 April 1996) был представлен доклад об активном эксперименте по исследованию распространения электромагнитных полей в ионосфере от электронных и плазменных пучков — **ИНТМИНС (ИНТербол-Мир-ИНСпире)** включающий:

- международный проект ИНТЕРБОЛ с основным спутником «Прогноз»– «Хвостовой зонд» («Интербол-1») и субспутником «Магион-4» (C2-X <http://www.iki.rssi.ru/interball/magion.html>);

- орбитальную станцию МИР, содержащую электронную пушку «Источник» и плазменный генератор «Ариель»;

- ИНСПИРЕ (INSPIRE — Интерактивные радио-эксперименты НАСА по космической физике ионосферы) — проект, призванный заинтересовать школьников и студентов наукой и техникой, который давал им возможность наблюдать радиоволны очень низкой частоты (VLF, от 3 до 30 кГц) с использованием достаточно простых приёмников с антеннами, разработанными высококвалифицированными инженерами и техниками специально для учащихся и учителей.

Рассмотрены организационно-методические и технологические вопросы реализации научно-образовательного проекта типа ИНТМИНС на новом этапе, основываясь, в первую очередь, на Целевых работах, включённых в «Долгосрочную программу целевых работ, планируемых на РС МКС (ДПЦР)»:

- «Исследование природы высотных молний и сопутствующих им процессов в атмосфере и ионосфере Земли на базе микроспутника «Чибис-АИ» с использованием грузового корабля «Прогресс» (Целевая работа «Чибис-АИ»;

- «Мониторинг окружающей космической среды электромагнитно-чистыми микроспутниками, интегрированными в инфраструктуру Международной космической станции» (Целевая работа «ГРАБАНТ»);

- «Исследования в приповерхностной зоне МКС плазменно-волновых процессов взаимодействия сверхбольших космических аппаратов с ионосферой» (Целевая работа «Обстановка (2 этап)»).

- «Модификация ионосферы импульсными источниками плазмы» (Целевая работа («Импульс (2 этап)»)).

Важно отметить, что новый этап основывается на результатах уже реализованных в экспериментах:

- Академический микроспутник «Чибис-М» (2012 – 2014 гг.).

- «Обстановка (1 этап)» на Российском сегменте МКС (27.02.2013г. - 09.05.2015г.).

Эксперимент «Обстановка (1 этап)» засвидетельствовал наличие в субавроральных областях (Рис. 2.33.1) широкополосных электромагнитных излучений, для дальнейшего исследования природы которых крайне необходимо реализовывать научно - образовательную программу типа ИНСПИРЕ. При аппаратурно-методической разработке ЦР «Обстановка (2 этап)» мы принимаем во внимание ориентацию Роскосмоса на новую Российскую национальную орбитальную служебную станцию РОСС, имеющую более высокое, чем МКС наклонение орбиты (~52 град), что будет способствовать охвату всей территории России, включая электромагнитно активные полярные области.

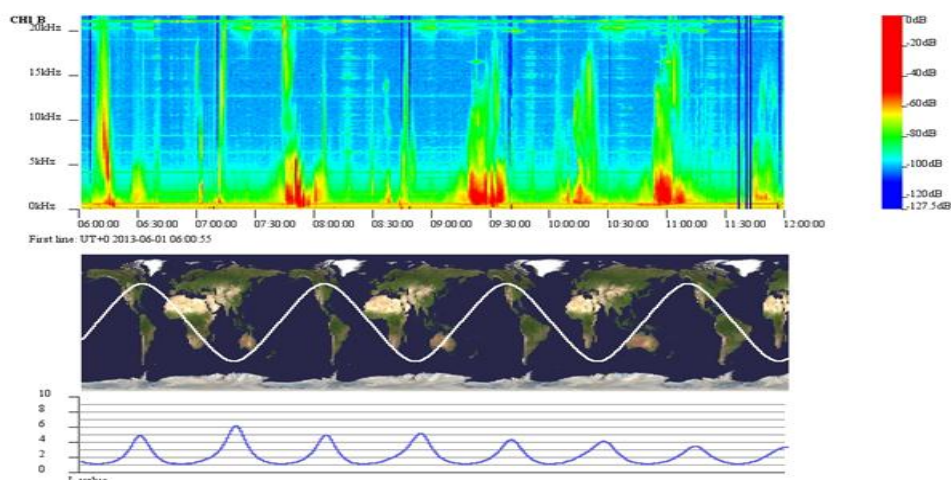


Рисунок 2.33.1 Данные мониторинга электромагнитных излучений эксперимента «Обстановка (1 этап)» 2013/06/01. Верхняя панель – интенсивность (цветовая шкала справа) магнитной компоненты излучений в диапазоне 0,1 – 23 кГц, время UT. Средняя панель – проекция орбиты МКС на земную поверхность. Нижняя панель – L-параметр оболочки магнитного поля Земли

Опыт предшествующих работ свидетельствует, что рассматриваемая научно-образовательная программа может быть осуществлена в ходе реализации, под эгидой Роскосмоса, ЦР: «Чибис-АИ», «ТРАБАНТ», «Обстановка (2 этап)», («Импульс (2 этап)»), так же, как ИНСПИРЕ под эгидой НАСА.

Работы по КЭ (ЦР) «Обстановка (2 этап)» координируются в рамках Совместного Российско-Венгерского научного комитета.

#### **34. Моделирование и разработка перспективных приборов для исследования процессов в околопланетной плазме для отечественных и международных миссий**

В рамках обсуждения с китайской стороной различных аспектов миссии и совместного взаимодействия по созданию комплекса CANPA для миссии ZhengHe были внесены корректирующие поправки в оптико-электронные схемы разрабатываемых ионного (ULTIMAN-I) и электронного (ULTIMAN-E) анализаторов.

Ранее спроектированные оптико-электронные модели приборов были скорректированы необходимым образом для возможности использования предложенной китайской стороной платы анода с установленной электроникой для реализации координатного анализа места прилёта частицы.

Проведено комплексное моделирование полученных оптико-электронных схем приборов, оценены характеристики приборов в части измерений, проведена оценка необходимых напряжений на элементах оптики для корректного функционирования схемы измерений.

На основании компьютерной модели были подготовлены исходные данные для проектирования конструкторской модели. Созданы предварительные конструкторские модели приборов.

#### **35. Аппаратурно-методическая разработка комплекса приборов для разделения пространственно-временных масштабов плазменно-волновых параметров в ионосфере на двух разнесённых (0.1 – 100 км) микроспутниках Трабант.**

Аппаратурно-методически разрабатывается комплекс приборов для исследования механизмов возникновения и динамики ионосферных неоднородностей различного

масштаба в зависимости от активных процессов на Солнце и на Земле с применением синхронных «двухточечных» измерений на двух микроспутниках «Трабант» (МС-Т1 и МС-Т2, Рис. 2.35.1).

Совместная российско-венгерская целевая работа (ЦР) «Трабант» будет реализовываться аппаратным комплексом «Трабант» (АК «Трабант»), доставляемым на МКС транспортно-грузовым кораблем (ТГК) «Прогресс-МС». В АК «Трабант» входят: два идентичных микроспутника с научной аппаратурой (МС-Т1 и МС-Т2) и два идентичных транспортно-пусковых контейнера (ТПК-Т1 и ТПК-Т2). Микроспутники МС-Т1 и МС-Т2 должны последовательно выводиться на орбиту из ТПК-Т1 и ТПК-Т2. Для поддержания во время автономного полета фиксированных взаимных расстояний между микроспутниками МС-Т1 и МС-Т2 каждый из них оснащен газореактивной двигательной установкой (ГРДУ) на холодном газе. Управление автономным полетом микроспутников МС-Т1 и МС-Т2 осуществляет ЦУП ИКИ РАН.

Российские научные коллективы для ЦР «Трабант» разрабатывают и изготавливают МС-Т1 и МС-Т2, ТПК-Т1 и ТПК-Т2, а также научную аппаратуру (в составе каждого микроспутника):

- радиочастотный анализатор (РЧА-Т) электромагнитного поля;
- спектрометр электронов с узким полем зрения (БАЭС-Т);
- ионный энерго-масс спектрометр с широким полем зрения (АРИЕС-Т);
- датчик параметров плазмы ДПП-Т.

Венгерские научные коллективы в рамках целевой работы «Трабант» согласились разработать и изготовить научную аппаратуру.

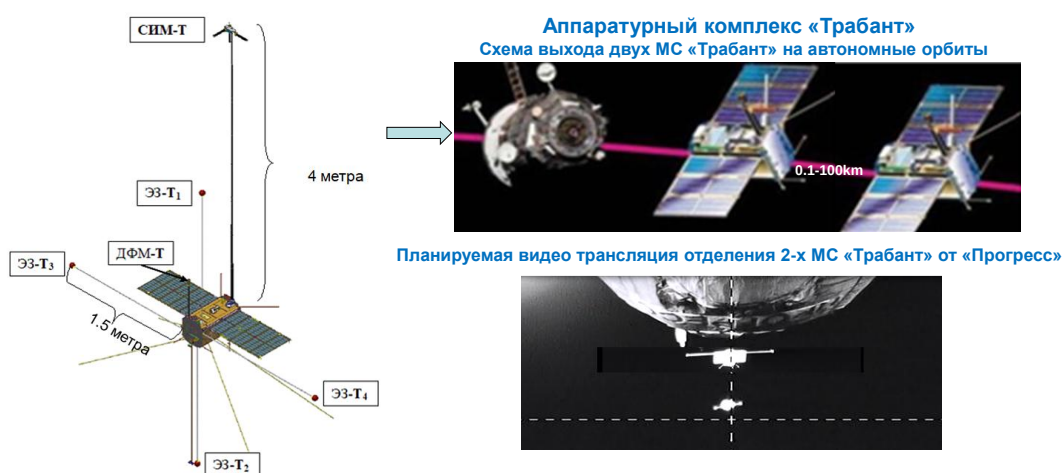


Рисунок 2.35.1 Схема синхронных «двухточечных» измерений на двух микроспутниках «Трабант» (МС-Т1 и МС-Т2)

Решаемые задачи в совместной российско-венгерской ЦР:

1) Создание базы полученных в ходе ЦР экспериментальных данных по электромагнитному состоянию атмосферы Земли для использования в поиске закономерностей изменений плазменно-волновых и электромагнитных параметров в ионосфере природного и техногенного характера в широком динамическом и частотном диапазонах.

2) Отработка методов и параметров контроля параметров «космической погоды» на основе данных по интенсивности электромагнитных параметров в ионосфере.

### **36. Разработка перспективных приборов и проектов для проведения исследований при помощи малых космических аппаратов.**

Разработаны и отмакетированы прототипы «front-end» электроники детекторов солнечного ветра (зонда фарадея), гамма-всплесков, спектрометров энергичных частиц, малогабаритного блока цифровой электроники для перспективных приборов. Ранее часть этих приборов поступала в рамках международной кооперации. Разработка сделана с учетом современной компонентной базы, доступной в РФ, отвечает современным требованиям к уровню шумов, точности и диапазону измерений. В дальнейшем предполагается использование данного задела в будущих проектах федеральной космической программы. Работы выполнены в кооперации с темой «Вектор» ИКИ РАН (приборостроительная тематика). В международной кооперации сформулированы требования к перспективной многоспутниковой миссии для исследования динамики магнитосферы Земли.



### 3. КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Руководитель чл.-корр. А.А. Петрукович

#### 1. Обнаружение фундаментального ослабления солнечного ветра в 23 и 24 солнечных циклах

На основе созданного в ИКИ РАН «Каталога крупномасштабных явлений солнечного ветра», который охватывает период с 1976 года по настоящее время (см. сайт <http://www.iki.rssi.ru/pub/omni>), проведена селекция данных известного каталога OMNI NASA <https://spdf.gsfc.nasa.gov/pub/data/omni> по типам солнечного ветра и выполнено усреднение параметров по типам солнечного ветра и фазам 21-24 солнечных циклов. Типы солнечного ветра включают следующие явления:

I) квазистационарные типы:

- 1 — гелиосферный токовый слой (HCS, heliospheric current sheet),
- 2 — медленные потоки от корональных стримеров (SLOW),
- 3 — быстрые потоки из корональных дыр (FAST);

II) возмущенные типы:

- 4 — сжатые плазменные образования: (a) CIR, Corotating Interaction Region — область сжатия между быстрым потоком из корональной дыры и предшествующим медленным потоком из коронального стримера, и (b) так называемый Sheath («оболочка») перед передней кромкой «поршня», см. ниже),
- 5 — «поршни»: (a) магнитное облако (MC, magnetic cloud) и (b) так называемые Ejecta («выбросы»),
- 6 — разреженная плазма на фронте медленных и быстрых потоков солнечного ветра.

Обнаружено, что за исключением переносной скорости все параметры межпланетной плазмы и магнитного поля уменьшились (на величину 20–40%) в различных типах солнечного ветра и на разных фазах солнечного цикла на фазе минимума между 22 и 23 циклами и сохранились низкими в 23 и 24 циклах. В частности, относительное содержание ионов гелия и поток массы и энергии солнечного ветра упали на 40% в этот период. Все это указывает на изменение физических условий в верхней короне Солнца, которая формирует солнечный ветер.

#### 2. Обзор методов анализа межпланетных драйверов магнитосферных возмущений

Одним из наиболее перспективных методов исследований в солнечно-земной физике является сравнение откликов системы магнитосфера-ионосфера-атмосфера на различные типы межпланетных возмущений (так называемые «межпланетные драйверы»). Растущая популярность этого метода исследования сопровождается ростом некорректных методических подходов в подобных исследованиях. Эти ошибки можно разделить на четыре основных класса: (i) использование неверных данных с идентификацией типов драйверов, опубликованных в других исследованиях; (ii) использование неправильных методов для определения типов драйверов и, как следствие, неправильная классификация причин магнитосферно-ионосферных возмущений; (iii) игнорирование частого случая сложной, составной природой драйвера (наличие последовательности из нескольких простых драйверов) и сопоставление реакции системы только с одним из драйверов; например, магнитная буря часто генерируется оболочкой sheath перед ICME, хотя авторы считают эти события так называемой бурей, вызванной CME, а не бурей, вызванной оболочкой sheath; (iv) игнорирование областей сжатия sheath перед быстрым ICME в случае, когда перед областью сжатия sheath нет межпланетной ударной волны (IS) («sheath без IS» или так называемый «потерянный драйвер»), хотя этот тип драйверов

генерирует около 10% умеренных и сильных магнитных бурь. Результат получен совместно с РФФИ 19-02-00177.

### 3. Вариации направления потока на разных масштабах в различных типах течения солнечного ветра

В работе проведено исследование направления потока плазмы, а также его вариаций на различных пространственных масштабах в разных типах течения солнечного ветра. Известно, что в спокойном невозмущенном солнечном ветре поток распространяется преимущественно радиально, тогда как изменения направления потока часто связаны со сменой типа течения солнечного ветра. В данной работе анализируются статистические распределения величин долготного ( $\phi$ ) и широтного ( $\theta$ ) углов направления потока, а также их вариаций на малых и средних масштабах по измерениям на космическом аппарате WIND за период 1995-2019 гг. и проводится сравнение полученных распределений для различных крупномасштабных типов солнечного ветра. Было выявлено, что максимальные значения модуля долготного и широтного углов и их вариаций наблюдаются внутри возмущенных типов течения Sheath, CIR (потoki сжатой плазмы соответственно перед межпланетными проявлениями корональных выбросов массы и перед высокоскоростными потоками из корональных дыр), и Rare (потoki разреженной плазмы, возникающей, когда быстрый поток удаляется от медленного). При этом вероятность наблюдения больших ( $>5^\circ$ ) отклонений от радиального направления в таких потоках также значительно возрастает. Показано, что при уменьшении масштаба флуктуаций влияние типа СВ ослабевает. Определено, что максимум распределения по долготному углу  $\phi$  смещен в сторону отрицательных значений  $\sim -2^\circ$ , однако при возрастании направленной скорости потока или его температуры вероятность наблюдения  $\phi > 0$  возрастает, и максимум распределения сдвигается к  $0^\circ$ , при этом максимум распределения по широтному углу  $\theta$  приходится на значения  $\sim 1^\circ$  и не зависит от параметров солнечного ветра. Наблюдается также слабая зависимость вероятности появления больших по амплитуде вариаций углов от скорости и температуры протонов. Проведенное исследование может быть полезным для задач космической погоды, так как направление потока солнечного ветра является важным параметром для успешного прогнозирования вероятности и времени прихода крупномасштабных явлений к орбите Земли.

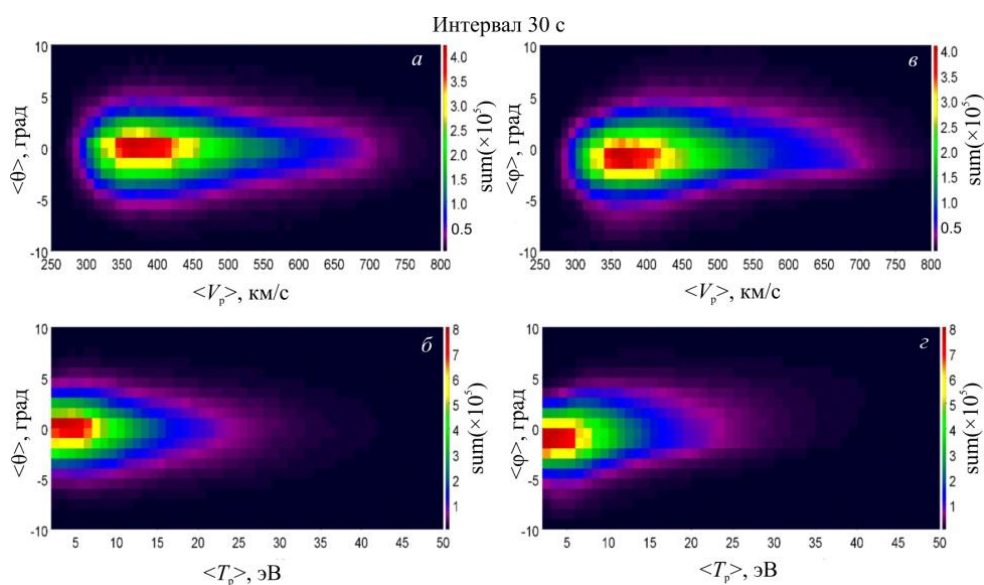




Рисунок 3.3.1 - Зависимости значений широтного  $\theta$  и долготного  $\phi$  углов от скорости  $V_p$  и температуры  $T_p$  протонов

#### 4. Ускорение быстрых корональных выбросов массы на $>1.5r_{\text{sun}}$ в эруптивных вспышках

Электроны и протоны, ускоренные до релятивистских энергий, и быстрые корональные выбросы массы (КВМ) со скоростями  $V_{\text{КВМ}}$ , близкими к максимальным оценкам скорости Альвена в солнечной короне  $V_A \sim 3000$  км/с, являются самыми опасными факторами «космической погоды». Понимание процессов, приводящих к предельным режимам ускорения частиц и КВМ, представляет собой важнейшую задачу физики Солнца. Рассмотрена динамика КВМ  $>1500$  км/с, ассоциируемых с десятью эруптивными вспышками с наличием (1) или отсутствием (2) эффектов в хромосфере. Впервые показано: **А)** средние скорости КВМ  $>3000$  км/с достигались во вспышках (1) с длительной постэруптивной фазой; **Б)** КВМ ускорялись, в двух фазах — импульсной (минуты) и длительной (десять минут); **В)** нетепловое излучение электронов  $>100$  кэВ наблюдалось в обеих фазах ускорения КВМ; **Г)** наибольшая величина ускорения КВМ  $\sim 10$  км/с<sup>2</sup> реализовалась во вспышках (1) на фоне изменений меры эмиссии  $> 10^{50}$  (см<sup>3</sup>мин)<sup>-1</sup>; **Д)** средние скорости КВМ во вспышках (2) могут быть больше, чем во вспышках (1), за счет длительности ускорения. Предложена новая полуэмпирическая модель эруптивных вспышек.

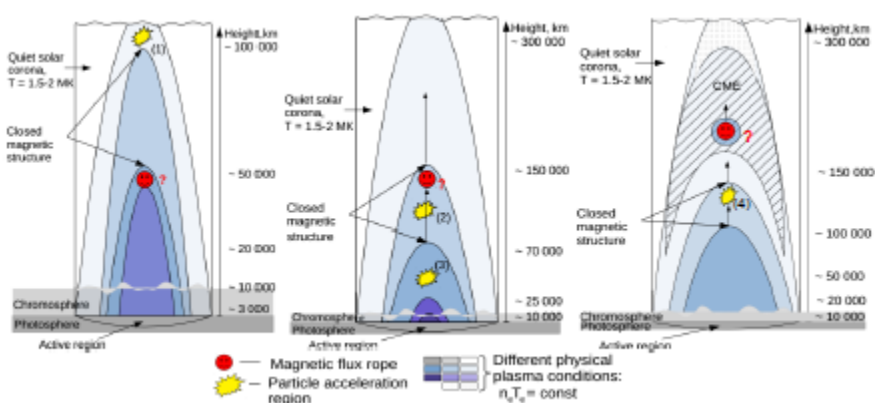


Рисунок 3.4.1 – Схема развития солнечной вспышки вверх в корону, приводящее к выбросу корональной массы

#### 5. Влияние метеорологических и геомагнитных факторов на сердечно-сосудистую систему

Изучение влияния на сердечно-сосудистую систему всех возможных видов геомагнитных возмущений, генерированных солнечной активностью, свидетельствует о развитии «сбоев» биологических часов. Исследования были направлены на определение наиболее биотропного внешнего фактора, а также характерного времени задержки биологической реакции у пациентов с артериальной гипертензией (АГ). Показано, что в группе больных с АГ эффекты погоды и геомагнитной активности выражены в равной степени. Максимальная корреляция уровня артериального давления с кр-индексом геомагнитной активности наблюдается при запаздывании биологической реакции на двое суток, что согласуется с ранее полученными результатами для инфарктов. Проведенное лечение улучшало средние показатели гемодинамики, но практически не влияло на степень магниточувствительности пациентов.

## **6. Влияние слабых электромагнитных полей на физиологические показатели сердечно–сосудистой системы и крови молодых здоровых добровольцев**

Впервые разработана технология неинвазивного контроля состояния капиллярного кровотока у людей. Учитывая высокую чувствительность пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) к изменению солнечной активности и вариациям магнитного поля Земли, эта технология может быть использована для контроля состояния капиллярного кровотока при назначении тромболитиков в период ухудшения космической погоды, как в наземных условиях, так и в условиях космического полета

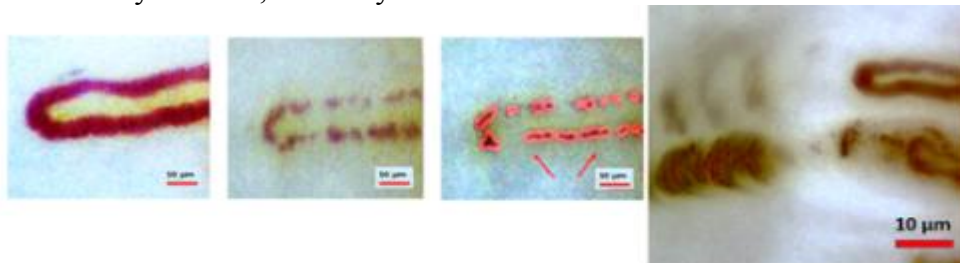


Рисунок 3.6.1 – Визуализация эритроцитов в капиллярном ложе. Слева направо: ламинарный капиллярный кровоток без агрегатов эритроцитов (норма) и капиллярный кровоток с наличием агрегатов эритроцитов. На рисунке справа: микрогеморрагии при передозировке антикоагулянтов - нижний капилляр частично разрушен

## **7. Обзор известных эффектов влияния космической погоды на здоровье человека и их систематизация согласно трем предложенным критериям**

Впервые прослежена взаимосвязь гелиобиологических эффектов, выявляемых на разных пространственно-временных масштабах, а также различие форм их проявления: от постоянной небольшой подстройки частот определенных биологических ритмов под геофизические в спокойных условиях до срыва режимов функционирования больших биологических систем во время значительных возмущений в магнитосфере. Дан обзор известных эффектов влияния космической погоды на здоровье человека и их систематизация согласно трем предложенным критериям: временной масштаб дискретизации данных, уровень организации исследуемой биологической системы и степень ее ответа на воздействие внешних факторов (от нормы до патологии и смерти).

## **8. Новый метод выявления многокритериальной магнито- и метеозависимости сердечнососудистой системы при помощи эволюционирующего ансамбля решающих деревьев**

Получены компактные закономерности влияния окружающей среды (включая магнитное поле) на длину кардиоинтервалов человека. Выявлена связь появления экстремально высоких и низких значений длины кардиоинтервала с динамикой параметров земной и космической погоды при помощи решающих деревьев, полученных методом многокритериальной эволюционной оптимизации. Построение оптимального даже по одному критерию дерева является NP-полной задачей, поэтому разработаны и реализованы новые подходы к кодированию, модификации, гибридизации деревьев, а также уникальный метод эволюционного отбора, позволяющий избежать «застревания» оптимизационной процедуры в локальных минимумах.

В результате было получено решающее дерево (Рис. 3.8.1), предсказывающее экстремальные значения длин кардиоинтервалов. Сравнение прогноза с реальностью демонстрирует хорошую предсказательную силу дерева.

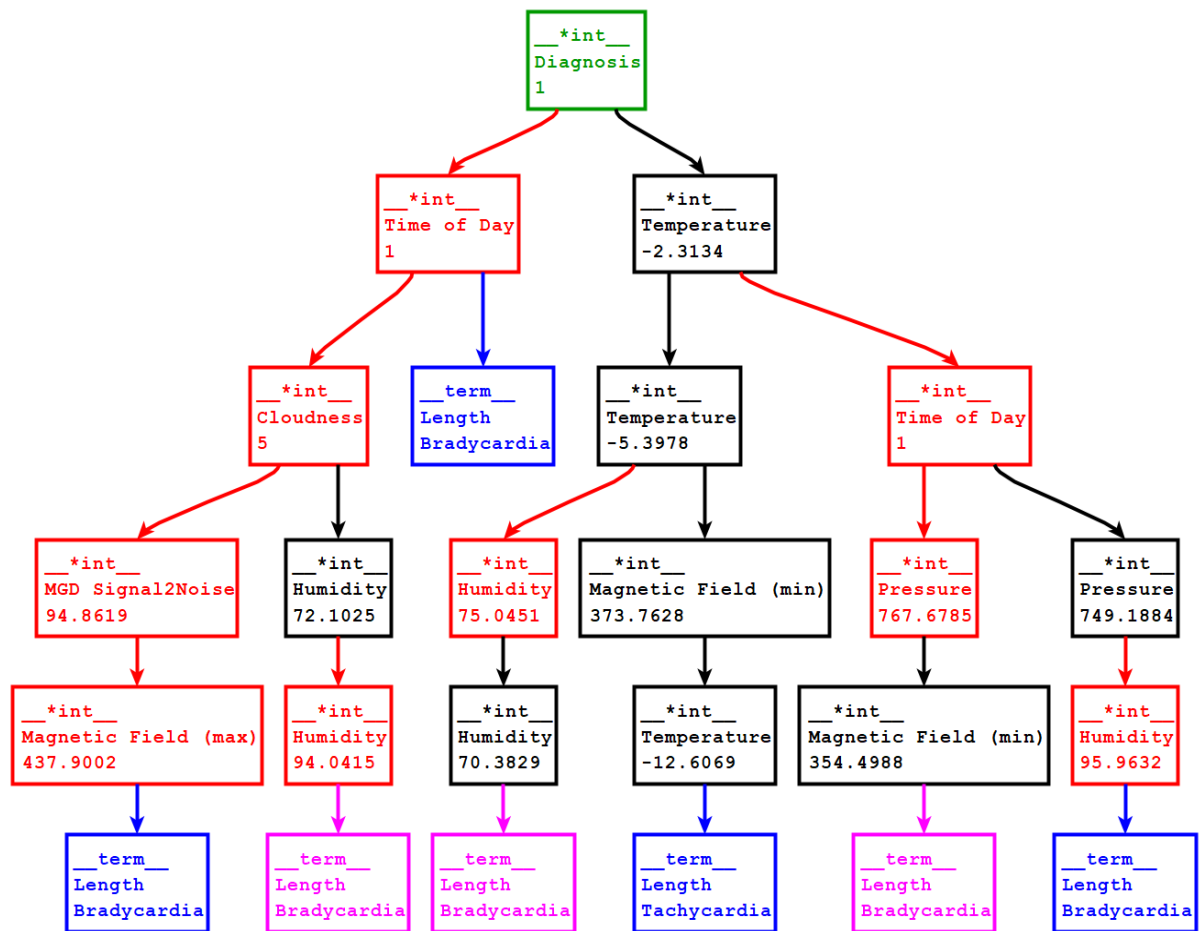


Рисунок 3.8.1 Решающее дерево для предсказания длины кардиоинтервала

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛИОСФЕРЫ

д.ф.-м.н. Измоденов В.В.

##### **Влияние неидеальных МГД-процессов на гелиосферу: сравнение результатов расчетов моделей гелиосферы**

Глобальная модель гелиосферы — важнейший инструмент, используемый при интерпретации гелиосферных наблюдений. На сегодняшний день в научном сообществе существует несколько трехмерных кинетико-магнитогидродинамических (кинетико-МГД) моделей гелиосферы, которые используют различные подходы и предположения. В работе проведено сравнение результатов расчетов двух различных моделей гелиосферы: (1) модели, разработанной в Бостонском университете (Michael et al. 2021), и (2) модели московской группы Izmodenov & Alexashov (2015, 2020). В расчетах в рамках обеих моделей были использованы идентичные граничные условия с целью исследования того, как различные численные подходы и физические допущения влияют на распределения плазменной и нейтральной компонент в гелиосфере. В частности, в расчетах модели, разработанной в Бостонском университете, допускается численная диссипация (в отличие от расчетов московской модели), которая возникает в окрестности тангенциального разрыва (гелиопаузы) и трактуется как эффект магнитного пересоединения. Результаты моделирования показывают различие в ширине гелиосферного ударного слоя (области между гелиосферной ударной волной и гелиопаузой): например, в направлении северного солнечного полюса в модели, разработанной в Бостонском университете, ширина ударного слоя на 15% меньше, чем в модели Izmodenov & Alexashov (2020), а гелиопауза находится на 7% ближе к Солнцу. В рамках двух моделей также были рассчитаны карты потоков энергичных нейтральных атомов (ЭНА), рожденных в области внутреннего ударного слоя при перезарядке захваченных протонов с межзвездными атомами водорода. Показано, что модели воспроизводят сравнимые друг с другом потоки ЭНА, но для количественного соответствия с данными наблюдений космического аппарата IBEX (его инструмента IBEX-Hi) модельные потоки должны быть существенно увеличены (в ~2 раза). Такое различие может являться признаком (а) недостатка межзвездных атомов водорода в используемых моделях гелиосферы и/или (б) существования некоторого дополнительного процесса ускорения захваченных протонов во внутреннем ударном слое, который не учитывался при моделировании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2021г. по теме ПЛАЗМА. Проведение фундаментальных исследований в области физики космической плазмы, солнечно-земных связей и физики магнитосферы.

Результат:

**Обнаружение фундаментального ослабления солнечного ветра в 23 и 24 солнечных циклах**

был признан важнейшим результатом ИКИ РАН, а результат

**Термодинамика сжатия токового слоя магнитосферного хвоста**

наиболее значимым по теме гос. задания

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Список опубликованных работ в 2021 по теме «ПЛАЗМА» (все статьи по направлению, включая гранты):

Всего научных публикаций в 2021г (включая те, что будут опубликованы в 2022г.) – 324

статьи в зарубежных изданиях: 74

статьи в отечественных научных рецензируемых журналах: 50

в печати: 12

статьи в сборниках материалов конференций: 7

доклады, тезисы, циркуляры: 176

статьи в научно-популярных изданиях: 0

статьи в нерцензируемых изданиях: 0

монографии: 5

публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными: 49

число публикаций работников научной организации в базе Web of Science и Scopus: 98

статьи со ссылками на РНФ: 27

статьи со ссылками на РФФИ: 29

По госзаданию:

Всего должно быть статей по теме "ПЛАЗМА" за 2021 г согласно плану НИР - 54.

Фактически опубликовано в 2021 г - 74 (см. раздел «Список публикаций по теме ПЛАЗМА»).

Из них (WoS): Q1 – 10; Q2 – 20; Q3 – 9; Q4 – 19; Без квартиля – 16.

### Статьи в зарубежных рецензируемых изданиях:

1. Antonova E.E., Stepanova M.V. (2021) The impact of turbulence on physics of the geomagnetic tail. *Front. Astron. Space Sci.* 8:622570. doi: 10.3389/fspas.2021.622570 (Q2 IF 6.93)
2. Artemyev A.V., A.I. Neishtadt, A.A. Vasiliev, and D. Mourenas. Transitional regime of electron resonant interaction with whistler-mode waves in inhomogeneous space plasma. *Phys. Rev. E* 104, 055203 (2021) <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.104.055203> (IF 2.529; WoS, Q1) (РНФ № 19-12-0013)
3. Artemyev, A. V., Demekhov, A. G., Zhang, X.-J., Angelopoulos, V., Mourenas, D., Fedorenko, Y. V., et al. (2021). Role of ducting in relativistic electron loss by whistler-mode wave scattering. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029851. doi:10.1029/2021JA029851 (Q2 IF 2.811) (Мин. Обр. ААААА181180124901007)
4. Artemyev, A., Lu, S., El-Alaoui, M., Lin, Y., Angelopoulos, V., Zhang, X.-J., et al. (2021). Configuration of the Earth's magnetotail current sheet. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092153. doi:10.1029/2020GL092153 (Q1 IF 4.75) (РНФ 20-42-04418)
5. Artemyev, A., Neishtadt, A., Albert, J., Gan, L., Li, W., Ma, Q. (2021) Theoretical model of the nonlinear resonant interaction of whistler-mode waves and field-aligned electrons.



- Physics of Plasmas, 28(5), 052902. DOI: 10.1063/5.0046635. (IF 2.023; WoS, Q3) (PHФ 19–12-00313)
6. Artemyev, A., Neishtadt, A., Vasiliev, A., Zhang, X., Mourenas, D., & Vainchtein, D. (2021). Long-term dynamics driven by resonant wave–particle interactions: From Hamiltonian resonance theory to phase space mapping. *Journal of Plasma Physics*, 87(2), 835870201. doi:10.1017/S0022377821000246 (IF 2.014; WoS, Q3) (PHФ № 19-12-0013)
  7. Artemyev Anton, Zimovets Ivan, Sharykin Ivan, Nishimura Yukitoshi, Downs Cooper, Weygand James, Fiori Robyn, Zhang Xiao-Jia, Runov Andrei, Velli Marco, Angelopoulos Vassilis, Panasenco Olga, Russell Christopher, Miyoshi Yoshizumi, Kasahara Satoshi, Matsuoka Ayako, Yokota Shoichiro, Keika Kunihiro, Hori Tomoaki, Kazama Yoichi, Wang Shiang-Yu, Shinohara Iku, Ogawa Yasunobu. COMPARATIVE STUDY OF ELECTRIC CURRENTS AND ENERGETIC PARTICLE FLUXES IN A SOLAR FLARE AND EARTH MAGNETOSPHERIC SUBSTORM // *The Astrophysical Journal*, 2021 (accepted). Квартиль Q1 (WoS). Impact Factor 2021 (<https://impactfactorforjournal.com/>): 5.874. DOI: [10.3847/1538-4357/ac2dfc](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac2dfc) <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ac2dfc> (Источник финансирования: Грант РФФИ 17-72-20134)
  8. Bazzani, A., Caproni, F., Giovannozzi, M., Neishtadt, A. (2021) Adiabaticity of emittance exchange due to crossing of the coupling resonance. *Physical Review Accelerators and Beams*, 24(9), 094002. DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.24.094002. (IF 1.639; WoS, Q3)
  9. Chen Lunjin, Xiao-Jia Zhang, Anton Artemyev, Liheng Zheng, Zhiyang Xia, Aaron W. Breneman, and Richard B. Horne (2021) Electron Microbursts Induced by Nonducted Chorus Waves, *Front. Astron. Space Sci.*, doi:10.3389/fspas.2021.745927 (Q2 IF 6.93)
  10. Cooper, M. B., Gerrard, A. J., Lanzerotti, L. J., Soto- Chavez, A. R., Kim, H., Kuzichev, I. V., & Goodwin, L. V. (2021), Mirror instabilities in the inner magnetosphere and their potential for localized ULF wave generation. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028773. <https://doi.org/10.1029/2020JA028773> (Q2 IF 2.81)
  11. Cornelissen Germaine, Yoshihiko Watanabe, Larry A. Beaty, Chase Turner A., Robert Sothorn, Jarmila Siegelova, Tamara Breus, Denis Gubin, Abdullah A. al-Abdulgader, Rollin McCraty and Kuniaki Otsuka. As-One-Goes Blood Pressure and Heart Rate Monitoring: A Chronobiology Approach with Applications in Clinical Practice and Basic Science. *Cardiol. Vasc. Res.* 2021. 5(1), pp 1-10. DOI: 10.33425/2639-8486.S1-1003.
  12. Demekhov A., E. Titova, J. Manninen, A. Nikitenko, S. Pilgaev, 2021, Short-periodic VLF emissions observed simultaneously by Van Allen Probes and on the ground, *Geophysical Research Letters*, 48(20), DOI:10.1029/2021GL095476 (Q1 IF 4.75)
  13. Engebretson M.J., Ahmed L.Y., Pilipenko V.A., et al. (2021). Superposed epoch analysis of nighttime magnetic perturbation events observed in Arctic Canada. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029465. <https://doi.org/10.1029/2021JA029465>. (Q2 IF 2.81)
  14. Eyselade A.V., Espinoza C.M., Stepanova M., Antonova E.E., Ovchinnikov I.L., Kirpichev I.P. (2021) Influence of MHD turbulence on ion kappa distributions in the Earth's plasma sheet as a function of plasma  $\beta$  parameter. *Front. Astron. Space Sci.* 8:647121. doi:10.3389/fspas.2021.647121 (Q2 IF 6.93)
  15. Fedotova, M., Klimachkov, D., Petrosyan, A., Variable Density Flows in Rotating Astrophysical Plasma. *Linear Waves and Resonant Phenomena, Universe*, 7, p. 87, 2021,

- <https://doi.org/10.3390/universe7040087> (2020), (General Physics and Astronomy) (Q3 IF 2.278) (PФФИ 19-02-00016)
16. *Izvekova Yu.N., Kassem A.I., Popel S.I., Morozova T.I., Zelenyi L.M.* Dusty Plasmas at the Moon: Effects of Magnetic Fields // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1787. P. 012051, 11 pages Doi: 10.1088/1742-6596/1787/1/012051 (Q4)
  17. *Kamaletdinov Sergey R., Ian H. Hutchinson, Ivan Y. Vasko, Anton V. Artemyev, Ajay Lotekar, and Forrest Mozer* (2021) Spacecraft Observations and Theoretical Understanding of Slow Electron Holes, *Phys. Rev. Lett.* 127, 165101, doi:10.1103/PhysRevLett.127.165101(PHФ 19–12-00313)
  18. *Katushkina O.A., Baliukin I.I., Izmodenov V.V., Alexashov D.B.*, “Imprints of the secondary interstellar hydrogen atoms at 1 AU”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2021, Volume 504, Issue 2, pp. 2501-2508. doi: 10.1093/mnras/stab944 (PФФИ №18-32-20085) (Q1)
  19. *Khabarova O., O. Malandraki, H. Malova, R. Kislov, A. Greco, R. Bruno, O. Pezzi, S. Servidio, Gang Li, W. Matthaeus, J. Le Roux, N. E. Engelbrecht, F. Pecora, L. Zelenyi, V. Obridko, and V. Kuznetsov*, Current sheets, plasmoids and flux ropes in the heliosphere. Part I. 2-D or not 2-D? General and observational aspects, *Space Science Reviews*, (2021) 217:38, p. 1-97, <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00814-x>. (PHФ 20-42-04418) (Q1 IF 8.017)
  20. *Khabarova, O., Sagitov, T., Kislov, R., & Li, G.* (2021). Automated identification of current sheets—A new tool to study turbulence and intermittency in the solar wind. Part I. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA029099, <https://doi.org/10.1029/2020JA029099>. (PHФ 20-42-04418) (Q2 IF 2.81)
  21. *Khazanov, G. V., Shen, Y., Vasko, I. Y., Artemyev, A. V., & Chu, M.* (2021). Magnetosphere-ionosphere coupling of precipitated electrons in diffuse aurora driven by time domain structures. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL092655, doi:10.1029/2021GL092655 (Q1 IF 4.75)
  22. *Kim, H., Q. Schiller, M. Engebretson, S. Noh, I. Kuzichev, L. Lanzerotti, A. Gerrard, K.-H. Kim, M. Lessard, H. Spence, D.-Y. Lee, J. Matzka, T. Fromm*, (2021), Observations of particle loss due to injection- associated electromagnetic ion cyclotron waves, *JGR: Space Physics*, 126, e2020JA028503. <https://doi.org/10.1029/2020JA028503> (Q2 IF 2.81)
  23. *Kirpichev, I. P., Antonova, E. E., Stepanova, M., Eyelade, A. V., Espinoza, C. M., Ovchinnikov, I. L., Vorobjev, V. G., Yagodkina, O. I.* (2021). Ion kappa distribution parameters in the magnetosphere of the Earth at geocentric distances smaller than 20 RE during quiet geomagnetic conditions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029409. doi:10.1029/2021JA029409 (Q2 IF 2.81)
  24. *Kornbleuth M., Opher M., Baliukin I., ..., Izmodenov V.*, “Signature of a heliotail organized by the solar magnetic field and the role of non-ideal processes in modeled IBEX ENA maps: a comparison of the BU and Moscow MHD models”, *The Astrophysical Journal*, 2021, 921, 164, doi: 10.3847/1538-4357/ac1e2a (Q1 IF 5.874)
  25. *Kotova G., M. Verigin, T. Gombosi, K. Kabin, J. Slavin, V. Bezrukikh.* Physics-Based Analytical Model of the Planetary Bow Shock Position and Shape, *J. Geophys. Res.*, 2021, V. 126, No. 6, <https://doi.org/10.1029/2021JA029104>
  26. *Kozlovsky A., Shalimov S., Lester M., Belova E.* Polar Mesosphere Summer Echoes and Possible Signatures of Pulsating Aurora Detected by the Meteor Radar // *Journal of*

- Geophysical Research: Space Physics. (2021). doi.org/10.1029/2020JA028855 (IF 2.8; WoS, Q2)
27. Krafft, C. & Volokitin, A. S. Dynamics of Langmuir Wave Spectra in Randomly Inhomogeneous Solar Wind Plasmas The Astrophysical Journal, American Astronomical Society, 2021, 923, 103 <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac2153>
  28. Kronberg E. A., J. Gorman, K. Nykyri, A. G. Smirnov, J. W. Gjerloev, E. E. Grigorenko, L. V. Kozak, X. Ma, K. J. Trattner and M. Friel,, Kelvin-Helmholtz Instability Associated with Reconnection and Ultra Low Frequency Waves at the Ground: A Case Study, Front. Phys., 9:738988, doi:10.3389/fphy.2021.738988, 2021 (Q2 IF 4.52) X/д № 1745
  29. Kronberg E.A., P.W. Daly, E.E. Grigorenko, A.Yu. Malykhin, B. Klecker, A.G. Smirnov, Energetic charged particles in the terrestrial magnetosphere: Cluster/RAPID results, J. Geophys. Res., Space Physics, 126, e2021JA029273, <https://doi.org/10.1029/2021JA029273>, 2021.(Q2 IF 2.81) x/д № 1745.
  30. Kropotina, J.A., Webster, L., Anton V. Artemyev, Andrei M. Bykov, Dmitri L. Vainchtein, Vasko, I.Y. (Jun 2021). Solar Wind Discontinuity Transformation at the Bow Shock. Astrophysical Journal, 913 (2), Article Number 142. (IF 5.745; WoS, Q1) (PHФ 21-72-20020)
  31. Leonenko M.V., E.E. Grigorenko, L.M. Zelenyi, H.V. Malova, A.Yu. Malykhin, V.Yu. Popov, J. Büchner, MMS observations of Super Thin electron-scale current sheets in the Earth's magnetotail, J. Geophys. Res., 126, e2021JA029641, <https://doi.org/10.1029/2021JA029641>, 2021 (Q1-Q2). PHФ № 20-42-04418.
  32. Li, J.- H., Zhou, X.- Z., Yang, F., Artemyev, A. V., & Zong, Q.- G. (2021). Helical magnetic cavities: Kinetic model and comparison with MMS observations. Geophysical Research Letters, 48, e2021GL092383. doi:10.1029/2021GL092383 (Q1 IF 4.75)
  33. Lu, S., Angelopoulos, V., Pritchett, P. L., Nan, J., Huang, K., Tao, X., et al. (2021). Electrodynamical contributions to the Hall- and parallel electric fields in collisionless magnetic reconnection. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2021JA029550. doi:10.1029/2021JA029550 (Q2 IF 2.81)
  34. Lukin A. S., A. V. Artemyev, A. A. Petrukovich, and X.-J. Zhang (2021). Charged particle scattering in dipolarized magnetotail, Physics of Plasmas 28, 102901 doi:10.1063/5.0062160 (PHФ 17–72-20134) (Q2 IF 2.39)
  35. Lukin A. S., A. V. Artemyev, and A. A. Petrukovich (2021). On application of stochastic differential equations for simulation of nonlinear wave-particle resonant interactions, Physics of Plasmas 28, 092904. doi:10.1063/5.0058054 (Базис 19-1-5-141-1) (Q2 IF 2.39)
  36. Malykhin A.Yu., E.E. Grigorenko, D.R. Shklyar, E.V. Panov, O. Le Contel, A. Avanov, B. Giles, Characteristics of resonant electrons interacting with whistler waves in the nearest dipolarizing magnetotail, J. Geophys. Res., Space Physics, 126, e2021JA029440, <https://doi.org/10.1029/2021JA029440>, 2021 (Q2 IF 2.81).
  37. Manninen J., Kleimenova N., Turunen T., Nikitenko A., Gromova L., Fedorenko Yu. (2021). New type of short VLF patches («VLF birds») above 4-5 kHz.// J. Geophys. Res., Space Physics. V. 126, 2021 <https://doi.org/10.1029/2020JA028601> (Q2 IF 2.81)
  38. Milovanov Alexander V., Jens Juul Rasmussen, and Guilhem Dif-Pradalier, Self-consistent model of the plasma staircase and nonlinear Schrödinger equation with subquadratic power nonlinearity, Physical Review E vol. 103, art. 052218 (2021) 22 pages (Q2 IF 3.54)

39. Morozova T.I., Kopnin S.I., Popel S.I., Borisov N.D. Some aspects of modulational interaction in Earth's dusty ionosphere // *Physics of Plasmas*. 2021. V. 28. No. 3. P. 033703, 8 pages. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0040271> (Q3 IF 2.023)
40. Nakariakov V.M., Anfinogentov S.A., Antolin P., Jain R., Kolotkov D.Y., Kupriyanova E.G., Li D., Magyar N., Nistico G., Pascoe D.J., Srivastava A.K., Terradas J., Vasheghani Farahani S., Verth G., Yuan D., Zimovets I.V. Kink oscillations of coronal loops // *Space Science Reviews*, Vol. 217, Iss. 6, article id.73, 2021. (Q1 IF 8.017) (PHФ PФФИ)
41. Neishtadt, A., Sheng, K., Sidorenko, V. (2021) Stability analysis of apsidal alignment in double-averaged restricted elliptic three-body problem. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 133(10), 45. DOI: 10.1007/s10569-021-10042-8. (Q2 IF 2.121) (PФФИ 20-01-00312A)
42. Orsini S., S. A. Livi, H. Lichtenegger, et. al. SERENA: Particle Instrument Suite for Determining the Sun-Mercury Interaction from BepiColombo. *Space Sci Rev* 217, 11 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00787-3> Q1
43. Page Brent, Ivan Y. Vasko, Anton V. Artemyev, and Stuart D. Bale, (2021) Generation of High-frequency Whistler Waves in the Earth's Quasi-perpendicular Bow Shock, *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 919, Number 2, doi:10.3847/2041-8213/ac2748 (Q1 IF 14.12)
44. Panasyuk M. I., E. I. Zhukova, V. V. Kalegaev, H. V. Malova, V.Yu. Popov, N. A. Vlasova, L. M. Zelenyi, Earth's magnetotail as the reservoir of accelerated single- and multicharged oxygen ions replenishing radiation belts, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028217. <https://doi.org/10.1029/2020JA028217>, 2021. (PФФИ 19-02-00957) (Q2 IF 2.81)
45. Petrukovich, A. A., & Chugunova, O. M. (2021). Detailed structure of very high- $\beta$  Earth bow shock. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA029004. <https://doi.org/10.1029/2020JA029004> (PHФ 19-12-00313) (Q2 IF 2.81)
46. Pezzi O. , F. Pecora, J. le Roux, N. E. Engelbrecht, A. Greco, S. Servidio, H. V. Malova, O. V. Khabarova, O. Malandraki, R. Bruno, W. H. Matthaeus, G. Li, L. M. Zelenyi, R. A. Kislov, V. N. Obridko, V. D Kuznetsov, Current sheets, plasmoids and flux ropes in the heliosphere Part II: Theoretical aspects, *Space Science Reviews*, (2021) 217:39, p.1-70, <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00799-7>. (PФФИ 19-02-00957) (Q1 IF 8.017)
47. Pilipenko V.A., V.A. Martines-Bedenko, S. Coyle, E.N. Fedorov, M.D. Hartinger, M.J. Engebretson, T.R. Edwards (2021) Conjugate properties of magnetospheric Pc5 waves: Antarctica-Greenland comparison, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028048, doi:10.1029/2020JA028048. PФФИ 20-05-00787 (Q2 IF 2.81)
48. Pilipenko V.A., E.N. Fedorov, V.A. Martines-Bedenko, E.A. Bering (2021) Electric mode excitation in the atmosphere by magnetospheric impulses and ULF waves, *Frontiers in Earth Science*, 8, 687, doi: 10.3389/feart.2020.619227. Q2 PФФИ 20-05-00787
49. Rakhmanova L., Riazantseva M., Zastenker G. Plasma and Magnetic Field Turbulence in the Earth's Magnetosheath at Ion Scales. *Front. Astron. Space Sci.*, 2021, <https://doi.org/10.3389/fspas.2020.616635>
50. Retinò Alessandro, Yuri Khotyaintsev, Olivier Le Contel, ..., Anatoli Petrukovich, ... Particle energization in space plasmas: towards a multi-point, multi-scale plasma observatory. *Exp Astron* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09797-7> (Q3)

51. Ruderman M.S., Petrukhin N.S., “Resonant Instability of Kink Oscillations in Magnetic Flux Tubes with Siphon Flow”, *Solar Physics* (Q2 IF 3.74), 2021, Volume 296, Issue 6, article id. 106. doi: 10.1007/s11207-021-01842-0 (РФФИ №19-02-00111) (Q2 IF 3.74)
52. Ruderman M.S., Petrukhin N.S., Pelinovsky E., “Decayless Kink Oscillations Excited by Random Driving: Motion in Transitional Layer”, *Solar Physics*, 2021, Volume 296, Issue 8, article id. 124. doi: 10.1007/s11207-021-01867-5 (РФФИ №19-02-00111) (Q2 IF 3.74)
53. Runov A., V. Angelopoulos, A.V. Artemyev, J.M. Weygand, S. Lu, Y. Lin, X.-J. Zhang (2021), Global and local processes of thin current sheet formation during substormgrowth phase, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 220, 105671 doi: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105671> (Q3 IF 1.89)
54. Ryabov A.V., V.A. Pilipenko, E.N. Ermakova, N.G. Mazur, E.N. Fedorov, A.A. Zhamaletdinov, A.N. Shevtsov (2021), Recording and modeling of ULF–ELF signals at the Staraya Pustyn station during the FENICS-2019 experiment, *Seismic Instruments*, 57, No. 3, 329–342. DOI: 10.3103/S0747923921030129. The study was carried out under the state tasks assigned by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation: IPE RAS and GI KSC RAS (topic no. 0226-2019-0052), CES KSC RAS (topic no. 0226-2019-0067)
55. *Sánchez-Cano* Beatriz, Mark Lester, David J. Andrews, et. al. Mars’ plasma system. Scientific potential of coordinated multipoint missions: “The next generation”, *Experimental Astronomy*, 2021, Q3 , <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09790-0>
56. Sasunov Yu. L., M. L. Khodachenko, I. V. Kubyshkin, N. Dwivedi, I. I. Alexeev, E. S. Belenkaya, H. V. Malova, and N. Kulminskaya, The transient particle acceleration by dawn-dusk electric field in a current sheet, *Physics of Plasmas*, v. 28, 042902, pp. 1-13 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0037060>. (Q2 IF 2.39)
57. Scalisi J., Oxley W., Ruderman M.S., Erdelyi R., “Propagation of Torsional Alfven Pulses in Zero-beta Flux Tubes”, *The Astrophysical Journal*, 2021, Volume 911, Issue 1, id. 39. doi: 10.3847/1538-4357/abe8db (Q1 IF 5.874)
58. Scalisi J., Ruderman, M.S., Erdelyi, R., “Reflection and evolution of torsional Alfven pulses in zero-beta flux tubes”, *The Astrophysical Journal*, 2021, 922 118. doi: 10.3847/1538-4357/ac2509 (Q1 IF 5.847)
59. Shen, Y., Vasko, I. Y., Artemyev, A., Malaspina, D. M., Chu, X., Angelopoulos, V., & Zhang, X.-J. (2021). Realistic electron diffusion rates and lifetimes due to scattering by electron holes. *Journal of Geophysical Research:Space Physics*, 126, e2021JA029380. doi:10.1029/2021JA029380 (Q2 IF 2.81) (PHФ 15-32-21078)
60. Shklyar, D. R. (2021). A theory of interaction between relativistic electrons and magnetospherically reflected whistlers. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028799. <https://doi.org/10.1029/2020JA028799> (РФФИ) (Q2 IF 2.81)
61. Shustov Pavel I., Ilya V. Kuzichev, Ivan Y. Vasko, Anton V. Artemyev, and Andrew J. Gerrard (2021) The dynamics of electron holes in current sheets. *Phys. Plasmas*, 28, 012902; doi:10.1063/5.0029999 (PHФ 19–12-00313) (Q2 IF 2.39)
62. Stadnichuk E., E. Svechnikova, A. Nozik, D. Zemlianskaya, T. Khamitov, M. Zelenyy, M. Dolgonosov Relativistic runaway electron avalanches within complex thunderstorm electric field structures, *JGR: Atmospheres* <https://doi.org/10.1029/2021JD035278> (Svechnikova a grant from the Government of the Russian Federation contract no. 075-15-2019-1892) (Q2 IF 4.26)



63. Viktorov M., A. Chernyshov, D. Chugunin, M. Mogilevsky "Possibilities of a laboratory experiment on investigation of auroral kilometric radiation in the near-Earth plasma", *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 2021, Volume 63, Number 7, 075014, <https://doi.org/10.1088/1361-6587/ac0111> Q2 PΦΦИ No. 18–29–21037
64. Wang, R., Vasko, I. Y., Mozer, F. S., Bale, S. D., Kuzichev, I. V., Artemyev, A. V., et al. (2021). Electrostatic solitary waves in the Earth's bow shock: Nature, properties, lifetimes, and origin. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029357. doi:10.1029/2021JA029357(PHΦ 19–12–00313) (Q2 IF 2.81)
65. Webster, L., Vainchtein, D. and Artemyev, A. (Jun 2021). Solar Wind Discontinuity Interaction with the Bow Shock: Current Density Growth and Dawn-Dusk Asymmetry. *Solar Physics*, 296 (6), Article Number 87. DOI:10.1007/s11207-021-01824-2 (IF 2.503; WoS, Q2)
66. Wellenzohn S., R. Nakamura, T.K.M. Nakamura, A. Varsani, V. A. Sergeev, S. V. Apatenkov, J. C. Holmes, E. E. Grigorenko, J. L. Burch, B. L. Giles, R. B. Torbert, Remote Sensing of Magnetic Reconnection in the Magnetotail Using In Situ Multipoint Observations at the Plasma Sheet Boundary Layer, *J. Geophys. Res.*, 126, 1, <https://doi.org/10.1029/2020JA028917>, 2021 (Q2 IF 2.81) PHΦ 18-47-05001
67. Weygand J.M., Engebretson M.J., Pilipenko V.A., et al. (2021). SECS analysis of nighttime magnetic perturbation events observed in Arctic Canada. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029839. <https://doi.org/10.1029/2021JA029839> (Q2 IF 2.81)
68. Yermolaev Y. I., Lodkina I. G., Khokhlachev A. A., Yermolaev M. Y., Riazantseva M. O. Rakhmanova, L. S., Borodkova N. L., Sapunova O. V., Moscaleva A. V. Drop of solar wind at the end of the 20th century. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2021, 126 (9), e2021JA029618, <https://doi.org/10.1029/2021JA029618> (Q2, IF 2.8)
69. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Dremukhina L.A., Yermolaev M.Y., Khokhlachev A.A. What Solar–Terrestrial Link Researchers Should Know about Interplanetary Drivers. *Universe*, 2021, 7(5), 138, <https://doi.org/10.3390/universe7050138> (Q2, IF 0.83) PΦΦИ 19-02-00177
70. Yushkov, E. V., Petrukovich, A. A., Artemyev, A. V., & Nakamura, R. (2021). Thermodynamics of the magnetotail current sheet thinning. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028969, doi:10.1029/2020JA028969 (Q2 IF 2.81)
71. Zenchenko T.A., Breus T.K. The Possible Effect of Space Weather Factors on Various Physiological Systems of the Human Organism. *Atmosphere*, 2021, 12, 346. <https://doi.org/10.3390/atmos12030346>. IF = 4.4. Q3
72. Zhang, X.-J., Demekhov, A. G., Katoh, Y., Nunn, D., Tao, X., Mourenas, D., et al. (2021). Fine structure of chorus wave packets: Comparison between observations and wave generation models. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029330. doi:10.1029/2021JA029330 (Q2 IF 2.81) (PHΦ 21-12-00416)
73. Zimovets I.V., McLaughlin J.A., Srivastava A.K., Kolotkov D.Y., Kuznetsov A.A., Kupriyanova E.G., Cho I.-H., Inglis A.R., Reale F., Pascoe D.J., Tian H., Yuan D., Li D., Zhang Q.M. Quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares: a review of underpinning physical mechanisms and their predicted observational signatures // *Space Science Reviews*, Vol. 217, Iss. 5, article id.66, 2021. (Q1 18.017) DOI: 10.1007/s11214-021-00840-9 ( PHΦ PΦΦИ )
74. Zimovets I., Sharykin I., Myshyakov I. Quasi-Periodic Energy Release in a Three-Ribbon Solar Flare // *Solar Physics*, V. 296, Iss. 12, id.188 (12/2021). Квартиль WoS: Q2. DOI:

**Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:**

1. Безродных И.П., Е.И. Морозова, А.А. Петрукович, М.В. Кожухов Тонкая структура периодических вариаций солнечных пятен (17 - 24-й циклы солнечной активности). i. динамика структуры вариаций солнечных пятен в 17 - 24-м циклах солнечной активности для периодов // Вопросы электромеханики. «Труды ВНИИЭМ» – Москва : АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2021. – Т. 182 – № 3. – С. 1 – 8. Сайт <http://d54x.ru/radiationbeltsrus.aspx>
2. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны. Геомагнетизм и аэрономия, 2021, 61 (5), 560-571, <https://doi.org/10.31857/S0016794021050047> (Q4, IF 0,63) РФФИ 19-02-00177
3. Бреус Т.К., М.И. Веригин, Г.А. Котова, Дж.А. Славин, Особенности магнитосферы Марса по данным спутников МАРС-3 и ФОБОС-2: сопоставление с результатами MGS и MAVEN, Космические Исследования, 2021, Т. 59, № 6, С.. 504-518. DOI: 10.31857/S0023420621060017. , IF= 1.86, Q4.
4. Воробьев В. Г., О. И. Ягодкина, Е. Е. Антонова, Давление ионов в области высыпаний дневного низкоширотного граничного слоя. Известия РАН. Серия физическая, 2021, том 85, № 3, с. 336–340. doi: 10.31857/S0367676521030315
5. Голубь А.П., Попель С.И. Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности Фобоса // Письма в ЖЭТФ. 2021. Т. 113. № 7. С. 440-445. (Q3 IF 1.53)
6. Голубь А.П., Попель С.И. Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности спутника Марса – Деймоса // Физика плазмы. 2021. Т. 47. № 8. С. 741-747. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0367292121070088> (Q4)
7. Гурфинкель Ю.И., Мацкеплишвили С.Т., Ремизова Ю.А., Пигуренко А.А., Новиков Н.Д., Камиллов К.К., Тишин А.М. 2021 Влияние слабых электромагнитных полей на эндотелиальную функцию молодых здоровых добровольцев , Технологии живых систем, Издательство "Радиотехника" (Москва), том 18, № 2, с. 5-14 <https://doi.org/10.18127/j20700997-202102-01>
8. Дорохов В.Б., Арсеньев Г.Н., Сахаров Д.С., Ткаченко О.Н., Диатроптов М.Е., Зенченко Т.А. Синхронизация показателей цикла «активность-покой» у мышей с вариациями геомагнитного поля в миллигерцовом диапазоне частот. Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20. № 3. С. 76-90.Q4. <https://doi.org/10.21455/gpb2021.3-5> РФФИ - № 20-013-00603а.
9. Думин Ю.В. О влиянии межатомных взаимодействий на эффективность ридберговской блокады // Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2021. № 6. С. 12-18.
10. Заславская Р.М., Тейблум М.М. Проблема воздействия космической и земной погоды в экстремальных условиях. The scientific heritage. 2021. №58, Р. 11-19. Венгрия. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-58-2-11-19
11. Заславская Р.М., Щербань Э.А., Тейблум М.М. Влияние метеорологических и геомагнитных факторов на сердечно-сосудистую систему. International Independent Scientific Journal. 2021, №23, Р. 5-15. Польша.



12. Заславская Р.М., Щербань Э.А., Тйбллом М.М. Оценка метеорологических и геомагнитных реакций мозгового кровотока методом транскраниальной доплерографии. *Annali d' Italia*. 2021, №15, Р.45-51. Италия.
13. Заславская Р.М., Щербань Э.А., Тейбллом М.М. Взаимодействие погодных факторов с нормальным и пограничным уровнем артериального давления. *Osterreichisches multiscience journal*. 2021. № 37. Р. 9-15. Австрия.
14. Зелёный Л.М., Х.В. Малова, В.Ю. Попов, Е.Е. Григоренко, J. Buchner, Альберт Галеев: проблема метастабильности и взрывного пересоединения, *Физика Плазмы*, Т.47, №9, С. 771-792, 2021, Doi: 10.31857/S0367292121090092 (РНФ 20-42-04418) (Q4)
15. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Бисерные молнии как стохастические структуры электростатических возмущений и динамика вихрей. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021. № 1. С. 46–50. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13172> (РИНЦ)
16. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Электростатические возмущения неоднородной плазмы, вихревые структуры и космические лучи. *Евразийское Научное Объединение*. 2021. № 1(71). С. 31–34. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4526601> (РИНЦ)
17. Каданова И.М., Незнанов А.И., Луговцов А.Е., Гурфинкель Ю.И., Пигуренко А.А., Дячук Л.И., Приезжев А.В. Взаимосвязь параметров капиллярного кровотока, измеренных *in vivo*, и микрореологических параметров крови, измеренных *in vitro*, при артериальной гипертензии и ишемической болезни сердца, в журнале *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2021, СП Минимакс (СПб.), том 20, № 1, с. 17-24. <https://doi.org/10.18127/j20700997-202102-01>. РНФ № 20-45-08004.
18. Ким К. И., Шувалов С. Д., Наблюдение неустойчивости плазмы между ионосферой и обтекающим потоком на дневной стороне Марса, 2021, *Космические исследования*, т. 9, № 6, с. 519-526, DOI: 10.31857/S0023420621060030 РНФ 21-42-04404
19. Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Громов С.В., Л.М. Малышева С.В. Высокоширотные геомагнитные возмущения и продольные токи в восстановительную фазу большой магнитной бури 21-26 июня 2015 г. // *Геомагнетизм и Аэрономия*, 2021, том 61, № 4. С. 257-467. <https://doi.org/10.31857/S0016794021040076>
20. Климов С.И., В.А. Грушин, К. Балайти, [Д. Бачваров], С.М. Беляев, Я. Бергман, [Л. Боднар], Ч. Ференц, К. Георгиева, М.-П. Гаф, А.Б. Беликова, Л.Д. Белякова, Т.В. Гречко, В.П. Коношенко, [Ю. Юхневич], В.Е. Корепанов, Б. Киров, О.В. Лапшинова, Я. Лихтенбергер, А. Марусенков, М. Моравски, Я.З. Надь, [Р. Недков], [С. Нейчев], Д.И. Новиков, В.Г. Родин, Х. Роткель, Г. Станев, Ш. Салаи, П. Сегеди. Исследования в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды в эксперименте «Обстановка (1 этап)» на Российском сегменте МКС. *Космическая техника и технологии* № 1(32)/2021, стр. 20-41. DOI 10.33950/spacetech-2308-7625-2021-1-20-41
21. Колпак В.И., Могилевский М.М., Чугунин Д.В., Чернышов А.А., Моисеенко И.Л., Кумамото А., Тсучия Ф., Касахара Е., Шойи М, Миэши Е., Шинохара И. Статистические свойства аврорального километрового радиоизлучения по наблюдениям на спутнике ERG (Arase). *Солнечно-земная физика*. 2021. Т. 7, № 1. С. 13–20. DOI: 10.12737/szf-71202102 РФФИ No. 18–29–21037
22. Копнин С.И., Попель С.И. Пылевые звуковые солитоны в плазме запыленной

- экзосферы Луны // Письма в ЖТФ. 2021. Т. 47. № 9. С. 29-32. DOI: <https://doi.org/10.21883/PJTF.2021.09.50904.18660> (Q4 IF 0.714)
23. Левашов Н. Н., В.Ю. Попов, Х. В. Малова, Л. М. Зеленый, Исследование процессов ускорения заряженных частиц в турбулентной космической плазме с перемежаемостью, Ученые Записки Физического Факультета Московского Университета №4, С. 2140802-1 2140802–6 (2021), <http://uzmu.phys.msu.ru/toc/2021/4>
24. Леоненко М. В., Е. Е. Григоренко, Л. М. Зеленый, Пространственные масштабы сверхтонких токовых слоев по наблюдениям спутников MMS в хвосте магнитосферы Земли, Геомагнетизм и Аэрономия, Т.61, №5, 583-591, doi: 10.31857/S0016794021050096, 2021 (Q4).
25. Малыхин А.Ю., Григоренко Е.Е., Наблюдения спутниками MMS мелкомасштабных магнитных и токовых структур во время продолжительных диполизаций в ближнем геомагнитном хвосте, Физика плазмы, 47, 5, 401-414, 2021, doi: 10.31857/S0367292121050061(Q3) РФФИ №19-32-90009
26. Малыхин А.Ю., Григоренко Е.Е., Шкляр Д.Р. Наблюдение узкополосных квазипараллельных свистовых волн в зоне торможения быстрых потоков в ближнем геомагнитном хвосте по данным MMS, Космические исследования, т. 59, №16 с. 9-18, 2021, doi: 10.31857/S0023420621010052. РФФИ №19-32-90009 (Q4)
27. Мингалев О.В., П.В. Сецко, М.Н. Мельник, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.М. Мерзлый, Силовой баланс в токовых слоях в бесстолкновительной плазме, Солнечно-земная физика, (2021), Т. 7, № 2, С. 12–23. DOI: 10.12737/szf-72202102.
28. Могилевский М.М., Д.В. Чугунин, А.А. Чернышов, Т.В. Романцова, И.Л. Моисеенко, А. Кумамото, Й. Касахара, Ф. Тсучаи, Локализация источников двух типов "континуум" излучения, Письма в ЖЭТФ, т. 114, вып. 1, с. 18-23, 2021 <https://doi.org/10.31857/S123456782113005X> (Q3 IF 1.5) грант Министерства высшего образования и науки 075-15- 2020-780 (N13.1902.21.0039)
29. Морозова Т.И., Попель С.И. Модуляционное взаимодействие в пылевой плазме хвостов метеороидов // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61. № 6. С. 794-802. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016794021060122> (Q4 IF 0.701)
30. Москалева А.В., Рязанцева М.О., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Вариации направления потока в различных типах течения солнечного ветра. Солнечно-земная физика, 2021, 7 (4), <https://doi.org/10.12737/szf-74202102> (Q4,IF 0.417)
31. Нейштадт, А., Трещев, Д. (2021) Динамические эффекты, связанные с потерей устойчивости положений равновесия и периодических траекторий. Успехи математических наук. Т. 76. Вып. 5. С. 147-194. <https://doi.org/10.4213/rm10023> (IF 1.909; WoS, Q1) (РНФ 20-11-20141)
32. Онищенко О.Г., Похотелов О.А., Беляев В.С., Загребев Б.В., Матафонов А.П. Модель генерации джетов в космической плазме // Геомагнетизм и аэрономия. 2021. Т. 61. № 1. С. 16–19. doi: 10.31857/S0016794020060103 (РИНЦ) (РНФ №18-29-21021 мк) (IF 0.701; WoS, Q4)
33. Пилипенко В.А., Федоров Е.Н., Мазур Н.Г., Климов С.И. Электромагнитное «загрязнение» околоземного космического пространства излучением ЛЭП. Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 3–12. Q4 DOI: 10.12737/stp-73202107
34. Рахманова Л.С., Рязанцева М.О., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Развитие турбулентного каскада за околоземной ударной волной при спокойных условиях в солнечном ветре. Геомагнетизм и аэрономия, 2021, 61 (5), 592-598,

35. Рябов А.В., В.А. Пилипенко, и др., (2021), Регистрация искусственных УНЧ-сигналов на магнитной станции Старая Пустынь во время эксперимента FENICS-2019, Геомагнетизм и Аэронавигация. 61, №3, 354-365. DOI: 10.1134/S0016793221030130 РФФИ 18-05-00108 and 18-05-00528
36. Рябова С.А., Шалимов С.Л. О вариациях параметров плазмы ионосферы, наблюдаемых посредством ионозонда и на магнитной станции в диапазоне периодов планетарных волн // Физика Земли. 2021. № 6. С. 122-130. DOI: 10.31857/S0002333721060065 (IF 1.144; WoS, Q4)
37. Савин С.П., Ляхов В.В., Нещадим В.М., Зеленый Л.М., Немечек З., Шафранкова Я., Климов С.И., Скальский С.А., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ванг Ч., Ли Х., Бленцки Я., Рош Ж.-Л., Козак Л., Суворова А., Лежен Л.А. Собственные колебания границы магнитного барьера, обтекаемого плазмой: мембранная модель границы, линейные и нелинейные резонансы и связи с внутренними модами. ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 2, стр. 339–349. DOI: 10.31857/S0044451021020139 Q3
38. Синевич А.А., Чернышов А.А., Чугунин Д.В., Милох В.Я., Могилевский М.М. «Исследование мелкомасштабной структуры поляризационного джета во время геомагнитной бури 20 апреля 2018 г» Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, No 1. С. 21–33. DOI:10.12737/szf-71202103. [http://ru.iszf.irk.ru/images/5/5b/812722\\_21-33.pdf](http://ru.iszf.irk.ru/images/5/5b/812722_21-33.pdf)
39. Синевич А.А., Чернышов А.А., Чугунин Д.В., Милох В.Я., Могилевский М.М. «Пространственная структура поляризационного джета по данным спутников NorSat-1 и Swarm». Космические исследования. 2021. Т. 59. No 6. С. 489-497. DOI:10.31857/S0023420621060091
40. Сотников Н. В., Е. Е. Антонова, И. Л. Овчинников, В. Г. Воробьев, О. И. Ягодкина, М. С. Пулинец, Формирование внешнего радиационного пояса во время геомагнитных бурь и адиабатический механизм падения и возрастания потоков релятивистских электронов. Известия РАН. Серия физическая. 2021, том 85, № 3, с. 416–421. doi:10.31857/S0367676521030297 РФФИ 18-05- 00362
41. Степанов А.Е., Гололобов А.Ю., Халипов В.Л., Голиков И.А. Вариации ионосферных параметров при формировании поляризационного джета // Геомагнетизм и аэронавигация. – №1, С. 60-65, 2021. DOI: 10.31857/S0016794021010156. (РФФИ 18-45-14-00-37 программа РАН П7)
42. Струминский А.Б., И. Ю. Григорьева, Ю. И. Логачев, А. М. Садовский «Связь между длительностью и величиной ускорения корональных выбросов массы» Геомагнетизм и Аэронавигация, том 61, № 6, с. 683–693, 2021. Кварталь Q4 (WoS). DOI: 10.31857/S001679402105014X. (РФФИ 19-02-00264) (Струминский – Плазма)
43. Струминский А.Б., И.Ю. Григорьева, Ю.И. Логачев, А.М. Садовский, «Солнечные электроны и протоны во вспышках с выраженной импульсной фазой», Известия РАН, Серия Физическая, том 83, № 8, С. 1180. 2021. DOI: 10.31857/S0367676521080305 . (РФФИ 19-02-00264) (Струминский – Плазма)
44. Хохлачев А.А., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Вариации протонов и дважды ионизированных ионов гелия в солнечном ветре. Космические Исследования, 2021, 59 (6), 443-453, <https://doi.org/10.31857/S0023420621060029> (Q4, IF 0.480)
45. Царева О. О. , Е. П. Попова, В. Ю. Попов, Х.В. Малова, Л. М. Зеленый, Моделирование распределения доз радиации электронов на поверхности спутника Юпитера Европы для различных моделей магнитного поля, Астрономический

- Вестник. Исследования солнечной системы, Т.55, №4, С. 334-340 , 2021, DOI: 10.31857/S0320930X21040113 (РНФ 17-11-01052 Мин.Обр.Науки 075-15-2020-780)
46. Царёва О.О., В.Ю. Попов, Х.В. Малова, Л.М. Зеленый / Аналитическая двумерная модель магнитосферы планеты // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. No. 5, С. 29–33. (2021) (нет doi)
  47. Grigor'eva I.Yu. and A.B. Struminsky “Flares Unaccompanied by Interplanetary Coronal Mass Ejections and Solar Proton Events”, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 61, No. 8, pp. 1263-1273, 2021, Квартиль Q4 (WoS). DOI: 10.1134/S0016793221080090.
  48. Nechaeva A.B., Sharykin I.N., Zimovets I.V., Chen F. Relationship of the horizontal gradient of the vertical magnetic field with the horizontal electric current on the photosphere in a model active region of the sun // *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 61, No. 7, pp. 956-963, 2021. Квартиль Q4 (WoS). Impact Factor 2021 (<https://impactfactorforjournal.com/>): 0.701. DOI: 10.1134/S0016793221070148
  49. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G. Comment on “A Statistical Study of the Plasma and Composition Distribution inside Magnetic Clouds: 1998–2011” by J. Huang et al. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2021, 61 (3), 416–417, <https://doi.org/10.1134/S001679322103018X> (Q4, IF 0.63)
  50. Кузьмин А.К., Мерзлый А.М., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Садовский А.М., Позин А.А., Щукин Ю.А., Потанин Ю.Н., Основы перспективной методики комплексных исследований влияния авроральных характеристик полярной ионосферы на условия распространения трансполярных сигналов. Обзор зарубежных экспериментов и результаты некоторых моделей. // «Гелиогеофизические исследования» 2021. № 32. С. 3-60. doi 10.54252/2304-7380\_2021\_32\_3

### Монографии:

1. Ablizen, R., Monastyrskiy, M., Neishtadt, A., Makarov, A., Grinfeld, D., Scoblin, M. (2021) Quasi-analytical modelling of charged particle ensembles in neutral gas flow and electric fields. In *Advances in Imaging and Electron Physics*, Elsevier, V. 219. P. 211-227. ISBN: 9780128246122
2. Artemyev A.V., Neishtadt A.I., Vasiliev A.A. Kinetic Equation for Systems with Resonant Captures and Scatterings. In: Volchenkov D. (eds) *Nonlinear Dynamics, Chaos, and Complexity. Nonlinear Physical Science*. Springer, Singapore, 2021. ISBN 978-981-15-9034-4. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9034-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9034-4_10) (РНФ № 19-12-0013)
3. Gurfinkel Yury I., Pishchalnikov Roman Y., Tishin Alexander, The effect of natural as well as artificial magnetic fields on the cardiovascular system of healthy volunteers and patients with cardiovascular pathology. 2021. *Magnetic Materials and Technologies for Medical Applications*, 1st Edition, Woodhead Publishing Ltd. (United Kingdom). Chapter 1, ISBN 978-0-12-822532-5, 662 p.
4. *Pilipenko, V.A., M.J. Engebretson, M.D. Hartinger, E.N. Fedorov, S. Coyle* (2021), Electromagnetic fields of magnetospheric disturbances in the conjugate ionospheres: Current/voltage dichotomy, in *Cross-Scale Coupling and Energy Transfer in the Magnetosphere-Ionosphere-Thermosphere System*, 1st Edition, edited by T. Nishimura, O. Verkhoglyadova, and Y. Deng, Elsevier B.V., Amsterdam, 2021, ISBN: 9780128213667 Book chapter РФФИ
5. Зеленый Л.М., Малова Х.В., Идеи Кадомцева и развитие моделей космической плазмы, В кн.: Борис Борисович Кадомцев, серия: «Выдающиеся ученые

Курчатовского Института», под ред. А.Ю. Гагаринского, С.Е. Воиновой, Л.К. Кузнецовой, А.В. Тимофеева, М., «НИИ Курчатовский Институт», 2020, 364 стр.: ил, ISBN 978-5-00004-059-1, С. 272-279

### Приняты в печать:

1. Artemyev Anton\*, Zimovets Ivan\*, Sharykin Ivan\*, Nishimura Yukitoshi, Downs Cooper, Weygand James, Fiori Robyn, Zhang Xiao-Jia, Runov Andrei, Velli Marco, Angelopoulos Vassilis, Panasenco Olga, Russell Christopher, Miyoshi Yoshizumi, Eduard Dubinin, Markus Fraenz, Ronan Modolo, Martin Pätzold, Silvia Tellmann, Oleg Vaisberg, Sergey Shuvalov, Lev Zelenyi, Lihui Chai, Yong Wei, James P. Mcfadden, Gina DiBraccio, Jared Espley, Induced magnetic fields and plasma motions in the inner part of the Martian magnetosphere. Принята к печати в Journal of Geophysical Research: Space physics 16.11.2021 <https://jgr-spacephysics-submit.agu.org/cgi-bin/main.plex?el=A6FM3GXgB4C5GgxX1F4A9ftdtqLox0L6t75mJuNj9sbIAZ>. РНФ 21-42-04404
2. Kornbleuth M., Opher M., Baliukin I., ..., Izmodenov V., Alexashov D. et al., “The development of a split-tail heliosphere and the role of non-ideal processes: a comparison of the BU and Moscow models”, The Astrophysical Journal, 2021 (accepted), arXiv: 2110.13962 (Q1 IF 5.874)
3. Zimovets I., Sharykin I. A brief review on vertical electric currents in flaring active regions at the sun // Сборник трудов Всероссийской Астрономической Конференции (ВАК-2021): “Астрономия в эпоху многоканальных исследований”, 2021 (в печати). <https://www.vak2021.ru/proceedings/> (Источник финансирования: Грант РНФ 17-72-20134)
4. Григорьева И.Ю., А.Б. Струминский, А.Н. Шаховская «Импульсная вспышка C7.2 22 декабря 2009 года в минимуме солнечной активности без хромосферных эффектов», Труды XXV конференции «Солнечная и солнечно-земная физика-2021», 2021, (в печати).
5. Кислов Р. А., Солнечный ветер и токовые слои: классические представления и новые результаты. Земля и Вселенная, 2021
6. Ковражкин, А.Л. Глазунов, Г.А. Владимирова, Ж.-А. Сово «Бездисперсионные авроральные сигнатуры ионных пучков токового слоя», Письма в ЖЭТФ (в печати).
7. Мингалев О.В., П.В. Сецко, М.Н. Мельник, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.В. Артемьев, А.М. Мерзлый, Л.М. Зеленый, Роль ионов кислорода в токовом слое ближнего хвоста магнитосферы, Физика Плазмы, 2021
8. Моисеенко Д. А., Вайсберг О. Л., Журавлев Р. Н., Шувалов С. Д., Шестаков А. Ю. Широкоугольный ионный энерго-масс анализатор АРИЕС-Л // Астрономический вестник. 2021. Т. 55. № 6. С. 1-12. (принята к публикации)
9. Савин С. П., Ляхов В. В., Нещадим В.М., Зеленый Л. М., Nemesek Z., Safrankova J., Wang C., Климов С. И., Скальский С. А., Рязанцева М. О., Рахманова Л. С., Blecki J., Козак Л., Лежен Л. А.. Собственные колебания головной ударной волны и их взаимосвязь с магнитосферными резонансами. Принято в ЖЭТФ.

10. Степанов А. Е., А. Ю. Гололобов, С. Е. Кобякова, В. Л. Халипов. Дрейфы ионосферной плазмы в области F во время развития поляризационного джета // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2021 г.
11. Халипов В.Л., А.Е. Степанов. Развитие методики ионозондовых измерений в полярной и субавроральной ионосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 2021 г.
12. Чернышов А.А., М.М. Могилевский, Д.В. Чугунин, В.И. Колпак, А. Кумамото, Й. Касахара, Ф. Тсучаи, Одновременное наблюдение Аврорального Километрового Радиоизлучения от северных и южных источников, Известия РАН, Серия физическая, принята в печать.

#### **Статьи в сборниках материалов конференций:**

1. Antonova E.E., N.V. Sotnikov, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, I.P. Kirpichev, I.L. Ovchinnikov, M.S. Pulinets, M.V. Stepanova, Problems of the outer radiation belt formation and topological features of high latitude magnetosphere, "Physics of Auroral Phenomena", "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XLIV Annual Seminar, Apatity, pp. 7-11. 2021. doi:10.51981/2588-0039.2021.44.001
2. Petrukovich A., M. Mogilevskii, I. Kozlov, S. Pulinets, Y. Dobrolenskii, K. Anufreichik, D. Chugunin, V. Nazarov, A. Abbakumov, V. Kuznetsov, S. Andrievskii, Y. Mikhailov, M. Panasyuk, S. Svertilov, I. Yashin, V. Bogomolov, A. Iyudin, V. Kalegaev, V. Osedlo, V. Petrov, A. Shemukhin, A. Repin, N. Kotanaeva, P. Moiseev, S. Poljakov, Y. Shlugaev, V. Asmus, S. Uspenskii, L. Makridenko, A. Gorbunov and V. Kozhevnikov, Monitoring of Physical Processes in Upper Atmosphere, Ionosphere and Magnetosphere in Ionosphere Space Missions, EPJ Web of Conferences, 254, 02010 (2021) <https://doi.org/10.1051/epjconf/202125402010> чисто
3. Struminsky Alexei \*, and Andrei Sadovski\*, and Irina Grigorieva, « CME acceleration in impulsive (X6.9 09.08.2011) and gradual (M3.7 07.03.2011) solar flares», Proc.Russian Astron.Conf.-2021, Moscow, 23-28 Aug. 2021. MSU (в печати).
4. Teodosiev Dimitar, Anna Bouzekova-Penkova, Korneli Grigorov, Rumen Nedkov, Peter Tzvetkov, Boyko Tsyntsarski, Angelina Kosateva, Stanislav Klimov, Valery Grushin. Structural and mechanical properties of glass-carbon coatings after an extended stay on the International Space Station (ISS). Доклады на Българската академия на науките. Comptes rendus de l'Academie Bulgare des Sciences. Tome 74, No 2, с. 197-206, 2021. DOI:10.7546/CRABS.2021.02.05 (C. R. Acad. Bulg. Sci., 74, No 2, 2021).
5. Yermolaev Yu.I., Lodkina I.G., Khokhlachev A.A., Yermolaev M.Yu. Decrease in Solar Wind Parameters after a Minimum of 22-23 Solar Cycles, Proceedings of the Thirteenth Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere" September, 2021, p. 117-121, Doi: 10.31401/WS.2021.proc (без кватиля) (без благодарностей на гранты)
6. Воробьев В.Г., О.И. Ягодкина, Е.Е. Антонова, И.П. Кирпичев, Давление ионов в ночной авроральной зоне при экстремальных значениях динамического давления солнечного ветра, "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XLIV Annual Seminar, Apatity, pp. 59-62. 2021. doi:10.51981/2588-0039.2021.44.013
7. Струминский А.Б., И.Ю.Григорьева «Последовательные вспышки X5.4 И X1.3 7 марта 2012 и сопровождавшие их корональные выбросы массы», Труды конференции XXV «Солнечная и солнечно-земная физика-2021», 2021, (в печати).



### Доклады, тезисы, циркуляры:

1. Абушзаде И.З., Юшков Е.В., Эволюция спектра магнитной спиральности в рамках турбулентного динамо, XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН Россия, 14-16 апреля 2021
2. Аллахвердиев Р., Юшков Е.В., Соколов Д.Д., Мультипликативный метод усреднения уравнения магнитной индукции в турбулентном потоке, XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН, Россия, 14-16 апреля 2021
3. Антонова Е. Е., М. В. Степанова, И. П. Кирпичев, И. Л. Овчинников, М. С. Пулинец Баланс давлений в магнитосфере Земли и магнитосферная динамика, Материалы 13-ой международной школы-конференции «Проблемы Геокосмоса» (24-27 марта 2021 г., Санкт-Петербург, Россия), с. 300-309
4. Антонова Е.Е., М.В. Степанова, И.Л. Овчинников, И.П. Кирпичев, Н.В. Сотников, В. Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, М.С. Пулинец, С.К. Мить, Каппа распределения и турбулентность в магнитосфере Земли, Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8-12 февраля 2021, ИКИ РАН. Тезисы докладов. С. 121.
5. Балюкин И.И., Измоденов В.В., "Исследование эффекта параллакса потоков гелиосферных энергичных нейтральных атомов" (Устный), 16-я ежегодная конференция "Физика плазмы в Солнечной системе", ИКИ РАН, Россия, 8-12 февраля 2021 [https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/1\\_Program\\_PLASMA2021-v0207.pdf](https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/1_Program_PLASMA2021-v0207.pdf)
6. Балюкин И.И., Измоденов В.В., "Исследование эффекта параллакса потоков гелиосферных энергичных нейтральных атомов" (Устный), XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН, Россия, 14-16 апреля 2021 [https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis\\_kmu\\_2021.pdf](https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis_kmu_2021.pdf)
7. Балюкин И.И., Измоденов В.В., "Математическое моделирование потоков энергичных атомов в гелиосфере и анализ данных КА Айбекс" (Устный), Конференция международных математических центров мирового уровня, Сочи, Россия, 9-13 августа 2021 <https://siriusmathcenter.ru/all-russian-conference/program#section-11>
8. Безруких В.В., Котова Г.А., Характеристики холодной плазмы в пограничном слое плазмосферы, в сб. «Шестнадцатая ежегодная конференция Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021 г., М., ИКИ РАН, с. 143.
9. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны, 16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.88 (устный доклад).
10. Бреус Т.К., Веригин М.И., Котова Г.А. Старые экспериментальные данные, полученные вблизи Марса, в свете современных представлений, в сб. «Шестнадцатая ежегодная конференция Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021 г., М., ИКИ РАН, с. 132. ISSN 0010-9525.
11. Вайсберг О.Л., Шувалов С.Д., Свойства и источники дневной магнитосферы Марса, 16-я ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», Москва, 2021

12. Годенко Е.А., Измоденов В.В., "Моделирование распределения межзвездной пыли в гелиосфере. Исследование эффектов, связанных с нестационарностями гелиосферного токового слоя." (Устный), XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН, Россия, 14-16 апреля 2021 [https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis\\_kmu\\_2021.pdf](https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis_kmu_2021.pdf)
13. Годенко Е.А., Измоденов В.В., "Особенности распределения межзвездной пыли в гелиосфере. Влияние нестационарности гелиосферного токового слоя." (Устный), 16-я ежегодная конференция "Физика плазмы в Солнечной системе", ИКИ РАН, Россия, 8-12 февраля 2021 [https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/1\\_Program\\_PLASMA2021-v0207.pdf](https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/1_Program_PLASMA2021-v0207.pdf)
14. Годенко Е.А., Измоденов В.В., "Эйлеров и лагранжевы подходы при моделировании распределения пылевой компоненты в гелиосфере." (Устный), Конференция международных математических центров мирового уровня, Сочи, Россия, 9-13 августа 2021 <https://siriusmathcenter.ru/all-russian-conference/program#section-11>
15. Годенко Е.А., Измоденов В.В., "Моделирование распределения межзвездной пыли в гелиосфере. Влияние межзвездного магнитного поля и нестационарности токового слоя." (Устный), XXVIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2021», Москва, Россия, 13-15 апреля 2021 [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2021/data/22114/131461\\_uid163418\\_report.pdf](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/22114/131461_uid163418_report.pdf)
16. Григорьева И.Ю., А.Б. Струминский\*, «Формирование условий мощного источника солнечного протонного события 17 мая 2012 года», Крымская научная конференция «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2021», КрАО, пгт. Научный, 31.08-03.09.2021. (постер), on-line.
17. Григорьева И.Ю., А.Б. Струминский\*, А.Н. Шаховская «Импульсная вспышка C7.2 22 декабря 2009 года без хромосферных эффектов в минимуме солнечной активности», XXV всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика -2021», 5-8 октября 2021, ГАО РАН, Санкт-Петербург (устный), on-line.
18. Григорьева И.Ю., Струминский А.Б.\* «Ускорение КВМ и ускорение заряженных частиц в длительных солнечных вспышках», XVI ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», ИКИ РАН, Москва, 8-12 февраля 2021. (устный), очно. <https://plasma2021.cosmos.ru/>
19. Грушин В.А., С.И. Климов, Б. Киров, Е.М. Твердохлебова, Д.И. Новиков, Л.А. Осадчая. Сравнительный анализ результатов измерений потенциала и параметров плазмы в приповерхностной зоне мкс по данным экспериментов «Обстановка (1 этап)» на Российском сегменте МКС и FPMU на Американском сегменте МКС. Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 08-12 февраля 2021, ИКИ РАН, <https://plasma2021.cosmos.ru/> с. 182.
20. Зелёный Л.М., Х.В. Малова, В.Ю. Попов, Е.Е. Григоренко, Метастабильность и взрывное пересоединение в космической плазме, Шестнадцатая XVI конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г., ИКИ РАН, Москва, Россия, сборник тезисов, с. 308.
21. Зимовец И.В.\*, Артемьев А.В.\*, Шарыкин И.Н.\*, Nishimura Y. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ТОКОВЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ И МАГНИТОСФЕРНОЙ СУББУРИ // 16я ежегодная конференция "Физика плазмы в

- солнечной системе”, ИКИ РАН, Москва, 8-12 февраля 2021 (УСТНЫЙ ДОКЛАД)  
<https://plasma2021.cosmos.ru/>
22. Зимовец И.В.\*, Шарыкин И.Н.\* КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКОЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ В ТРЕХЛЕНТОЧНОЙ ВСПЫШКЕ // 16я ежегодная конференция “Физика плазмы в солнечной системе”, ИКИ РАН, Москва, 8-12 февраля 2021 (УСТНЫЙ ДОКЛАД) <https://plasma2021.cosmos.ru/>
  23. Зимовец И.В.\*, Шарыкин И.Н.\* СОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА И ИХ СВЯЗЬ СО ВСПЫШКАМИ // Всероссийская Астрономическая Конференция (ВАК-2021): Астрономия в эпоху многоканальных исследований, 23-28 августа 2021 г., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия. (ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД) <https://www.vak2021.ru>
  24. Камалетдинов Сергей Раильевич, Васько И.Ю., Юшков Е.В., Артемьев А.В. Анализ когерентных электростатических структуры на головной ударной волне. Шестнадцатая конференция Физика плазмы в солнечной системе, Москва, Россия, 8-12 февраля 2021
  25. Камалетдинов С. Р., Васько И.Ю., Юшков Е.В., Артемьев Анализ когерентных электростатических структуры на головной ударной волне А.В. XXVIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021» Секция «Физика», Москва, Россия, 12-23 апреля 2021
  26. Камалетдинов С. Р., Васько И.Ю., Юшков Е.В., Артемьев Анализ когерентных электростатических структуры на головной ударной волне А.В. XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования" 14–16 апреля 2021 г., ИКИ РАН, ИКИ РАН, Россия, 14-16 апреля 2021
  27. Ким К.И., Observation of foreshock structures during near-radial IMF conditions at Mars (SM25B-2006), AGU Fall meeting 2021
  28. Ким К.И., Шувалов С.Д., Вайсберг О.Л., Наблюдение неустойчивости плазмы в области между ионосферой и обтекающим потоком на дневной стороне Марса, 16-я ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», Москва, 2021
  29. Ким К.И., Шувалов С.Д., Вайсберг О.Л., Наблюдение плазменных структур в области между обтекающим потоком и ионосферой на дневной стороне Марса, 18-я ежегодная конференция «Фундаментальные и прикладные космические исследования», Москва, 2021
  30. Кирпичев И.П., Антонова Е.Е., Зависимость показателя политропы плазмы от каппа-параметра в условиях магнитосферы Земли, Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8-12 февраля 2021, ИКИ РАН. Тезисы докладов. С. 122.
  31. Кислов Р.А., О.В. Хабарова, Х.В. Малова, Исследование режима магнитного пересоединения в зависимости от гелиоцентрического расстояния, Шестнадцатая XVI конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г., ИКИ РАН, Москва, Россия, сборник тезисов, с.313.
  32. Кислов Р.А., Хабарова О.В., Сагитов Т.М., Малова Х.В., Пространственная эволюция турбулентных областей взаимодействия разноскоростных потоков // XVIII Конференция молодых учёных “Фундаментальные и прикладные космические исследования”, Москва, ИКИ РАН, 14-16 апреля 2021, [https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis\\_kmu\\_2021.pdf](https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis_kmu_2021.pdf) (устный)

33. Климов С.И., Грушин В.А., Новиков Д.И., Осадчая Л.А., Лихтенбергер Я., Сегеди П. Частотно-временные характеристики плазменно-волновых излучений в ионосфере. Эксперимент «Обстановка (1 этап)» на Российском сегменте МКС. Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 08-12 февраля 2021, ИКИ РАН, <https://plasma2021.cosmos.ru/> с. 274.
34. Корольков С.Д., "Исследование влияния солнечного цикла на глобальную структуру гелиопаузы: новый эффект стабилизации гелиопаузы периодичным ветром" (Устный), Конференция-конкурс молодых ученых Научно-исследовательского института механики МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, 19-20 октября 2021 <http://youngschool.imec.msu.ru/index.php/ru/component/zoo/item/vliyanie-chisla-knudsena-na-astrosfery-ot-svobodno-molekulyarnogo-techeniya-do-sploshnoj-sredy?Itemid=268>
35. Корольков С.Д., Измоленов В.В., "Исследование влияния азимутальной компоненты магнитного поля на форму тангенциального разрыва в задаче о взаимодействии сверхзвукового источника с набегающим сверхзвуковым потоком." (Устный), "Ломоносовские чтения - 2021", Секция механики, Москва, Россия, 20-26 апреля 2021 [https://conf.msu.ru/rus/event/schedule/980?event\\_schedule\\_filter%5Bsection%5D=23441&date=2021-04-26#7482](https://conf.msu.ru/rus/event/schedule/980?event_schedule_filter%5Bsection%5D=23441&date=2021-04-26#7482)
36. Корольков С.Д., Измоленов В.В., "Современное представление о форме гелиопаузы и других астропауз: стационарные идеальные МГД-решения" (Устный), Конференция международных математических центров, Сочи, Россия, 9-13 августа 2021 <https://siriusmathcenter.ru/all-russian-conference/program#section-11>
37. Котова Г.А., Веригин М.И., Безруких В.В. Физическая аналитическая модель околопланетной ударной волны, в сб. «Шестнадцатая ежегодная конференция Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021 г., М., ИКИ РАН, с. 133. ISSN 0010-9525.
38. Кузичев И.В., Васько И.Ю., Артемьев А.В, Свистовые неустойчивости в солнечном ветре, Шестнадцатая конференция Физика плазмы в солнечной системе, Москва, Россия, 8-12 февраля 2021
39. Кузьмин А.К., Мерзлый А.М., Моисеев П.П., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Позин А.А., Щукин Ю.А., Янаков А.Т., Перспективная технология диагностики полярной ионосферы на основе МКА в интересах решения задач связи и радиолокации. Конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению Малые космические аппараты», 27-30 июля, 2021. Презентация (24 слайда).
40. Кузьмин А.К., Мерзлый А.М., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Моисеев П.П., Позин А.А., Щукин Ю.А., Баньщикова М.А., Авдющев В.А., Дистанционная глобальная и локальная диагностика мгновенного состояния и динамики характеристик полярной ионосферы с орбит перспективных КА и зондирующих ракет оптическим и прямыми методами в интересах решения научных и прикладных задач. 16-я Конференция Физика плазмы в солнечной системе, февраль 2021, Презентация (26 слайдов, выложена на сайте).
41. Куликов С.В., Климов С.И., Савин С.П., Стяжкин В.А., Заруцкий А.А., Скальский А.А., Сантолик О., Колмашова И., Лан Р. Планируемые электромагнитные измерения на орбите вокруг Луны. Проект «Луна-26». Шестнадцатая ежегодная

- конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 08-12 февраля 2021, ИКИ РАН, <https://plasma2021.cosmos.ru/> с. 258.
42. Левашов Н.Н., Попов В.Ю., Малова Х.В., Моделирование турбулентности с перемежаемостью в космической плазме, Шестнадцатая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г., ИКИ РАН, Москва, Россия, сборник тезисов, с. 322.
  43. Лодкина И.Г., Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю., Хохлачев А.А. Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра в 2019-2020гг, 16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.112 (стендовый доклад), <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12590.43840>
  44. Лужковский А.А., Шкляр Д.Р., Самосогласованное описание резонансного взаимодействия электронов с сигналом наземного ОНЧ-передатчика, 64 Всероссийская научная конференция МФТИ, секция «Космические исследования и современная астрофизика», 29 ноября – 3 декабря 2021, ИКИ РАН (устный). Аффилиация: ИКИ РАН.
  45. Лужковский А.А., Шкляр Д.Р., Роль сигналов наземных ОНЧ передатчиков в динамике энергичных электронов радиационных поясов Земли, 16 ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», секция «Волновые процессы», 8-12 февраля 2021, ИКИ РАН (устный). Аффилиация: МФТИ, ИКИ РАН.
  46. Лужковский А.А., Шкляр Д.Р., Ускорение релятивистских электронов радиационных поясов Земли в результате взаимодействия с монохроматическими сигналами наземных ОНЧ передатчиков, 18 конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», секция «Теория и моделирование физических процессов», 14-16 апреля 2021, ИКИ РАН (устный). Аффилиация: МФТИ, ИКИ РАН.
  47. Лукин А.С., Артемьев А.В., Петрукович А.А., Рассеяние электронов в токовых слоях со сложной конфигурацией магнитного поля (устный), Шестнадцатая конференция Физика плазмы в солнечной системе, Москва, Россия, 8-12 февраля 2021, <https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf>
  48. Маевский Е.В., Малова Х.В., Попов В.Ю., Данные ulysses и осесимметричная мгд-модель солнечного ветра, Шестнадцатая XVI конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г., ИКИ РАН, Москва, Россия, сборник тезисов, с. 310.
  49. Мирзоева И.К. Космос как основа // Поиск. 2021. № 15(1661). С. 9.
  50. Мирзоева И.К. Космос как основа национальной идеологии // Русский Космос, май, 2021 г., стр.54.
  51. Могилевский М.М., Чугунин Д.В., Чернышов А.А., Романцова Т.В., Моисеенко И.Л., Кумамото А., Касахара Й., Тсучия Ф.. Два типа «континуум» излучения., The 44th annual seminar "Physics of auroral phenomena", Abstracts, 15 – 19 March 2020, Apatity
  52. Могилевский М.М., Чугунин Д.В., Чернышов А.А., Романцова Т.В., Моисеенко И.Л., Кумамото А., Касахара Й., Тсучия Ф.. Локализация источников "континуум" излучения, Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8-12 февраля 2021, ИКИ РАН
  53. Москалева А.В., Рязанцева М.О., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Вариации направления потока солнечного ветра в различных типах течения солнечного ветра,

16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.114 (стендовый доклад).  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28764.72325>

54. Нечаева А.Б.\*, Зимовец И.В.\*, Шарыкин И.Н.\*, Chen F. ИЗУЧЕНИЕ 3D СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В МОДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ОБЛАСТИ СОЛНЦА // 16я ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", ИКИ РАН, Москва, 8-12 февраля 2021 (ПОСТЕРНЫЙ ДОКЛАД)  
<https://plasma2021.cosmos.ru/>
55. Нечаева А.Б.\*, Зимовец И.В.\*, Шарыкин И.Н.\*, Chen F. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРЁХМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МОДЕЛЬНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ // XVIII конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН, Москва, 14-16 апреля 2021 (УСТНЫЙ ДОКЛАД)  
<https://kmu.cosmos.ru/>
56. Ожередов В.А., Бреус Т.К., Сасонко М.Л. Эволюционный алгоритм построения ансамбля решающих деревьев на основе оптимизации многокритериальной целевой функции. 16 ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021 г., С. 280. ISSN 0010-9525.
57. Петрукович А.А., международное сотрудничество в освоении космоса: современное состояние и новые перспективы. российская научная космическая программа XLV АКАДЕМИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ ПО КОСМОНАВТИКЕ, МГТУ, Москва, 30 марта 2021 г. - 2 апреля 2021 г.
58. Петрукович А.А., перспективные задачи фундаментальных исследований, ОТРАСЛЕВАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КОСМОНАВТИКА XXI ВЕКА», ЦНИИМАШ, 12 и 14 мая 2021
59. Петрукович А.А. (ИКИ РАН) «Текущие и перспективные российские космические проекты» ВАК-2021, Москва, 23-28 августа 2021 года
60. Петрукович А.А., перспективные задачи фундаментальных исследований и пилотируемая космонавтика 14 Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос», ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 17–19 ноября 2021 г.
61. Петрукович А.А., М.М.Могилевский, С.А. Пулинец, М.И. Панасюк, В.И. Оседло, В.Д. Кузнецов, С.Е. Андриевский, В.В. Асмус, О.Е. Милехин, С.А. Успенский, А.Ю. Репин, С.В. Кузин, Научные задачи и измерительные возможности системы мониторинга ионосферы "Ионозонд-2025", Шестнадцатая конференция Физика плазмы в солнечной системе, Москва, Россия, 8-12 февраля 2021
62. Радивон А.В.\*, Зимовец И.В.\*, КИНЕМАТИКА ЭРУПТИВНОГО ПРОТУБЕРАНЦА ВО ВРЕМЯ МОЩНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ // XVIII конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", ИКИ РАН, Москва, 14-16 апреля 2021 (УСТНЫЙ ДОКЛАД)  
<https://kmu.cosmos.ru/>
63. Рахманова Л.С., Рязанцева М.О., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Развитие турбулентного каскада за околосолнечной ударной волной при спокойных условиях в солнечном ветре, 16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.107 (устный доклад).
64. Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Застенкер Г.Н., Чесалин Л.С., Шафранкова Я., Немечек З., Прех Л. Масштабы перехода к режиму диссипации в различных типах течения солнечного ветра, 16-ая конференция

- "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.108 (устный доклад).
65. Савин С.П., Ляхов В.В., Нешадим В.М., Зеленый Л. М., Климов С.И., Скальский С.А., Лежен Л.А. Собственные колебания на внешних границ магнитосферы и их связь с магнитосферными резонансами. Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 08-12 февраля 2021, ИКИ РАН, <https://plasma2021.cosmos.ru/> с. 233.
  66. Сапунова О. В., Бородкова Н. Л., Застенкер Г. Н., Ермолаев Ю. И. Поведение ионов  $\text{He}^{++}$  на фронте межпланетной и околоземной ударных волн, 16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.89 (устный доклад).
  67. Смирнова Н.Ф., Станев Г. Применение зондовых приборов ИЭСП-2 и КМ-7 на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 для определения концентрации электронов в близкой (2-3 RE) магнитосфере // в сб. «Шестнадцатая ежегодная конференция Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021 г., М., ИКИ РАН, с. 157. ISSN 0010-9525.
  68. Сотников Н.В., Антонова Е.Е., Овчинников И.Л., Рязанцева М.О. Формирование затравочной популяции энергичных электронов внешнего радиационного пояса и их ускорение до релятивистских энергий во время магнитных бурь, 16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.158 (стендовый доклад).
  69. Сотников Н.В., Е.Е. Антонова, И.Л. Овчинников, М.О. Рязанцева, Формирование затравочной популяции энергичных электронов внешнего радиационного пояса и их ускорение до релятивистских энергий во время магнитных бурь, Шестнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8-12 февраля 2021, ИКИ РАН. Тезисы докладов. С. 158.
  70. Степанов А. Е., А. Ю. Гололобов, С. Е. Кобякова, В. Л. Халипов. Дрейфы ионосферной плазмы в области F во время развития поляризационного джета // Распространение радиоволн, Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции, 28 июня — 3 июля 2021 года, Калининград. Научное электронное издание, с.208-213, 2021.
  71. Степанов А.Е., В.Л. Халипов, А.Ю. Гололобов, И.А. Голиков, С.Е. Кобякова, Е.Д. Бондарь. Субавроральные потоки ионов из ионосферы в области развития поляризационного джета // Proc. 43rd Annual Seminar "PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA", 10 – 13 March 2020, Apatity, 2020, декабрь 2020 г. DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.032.
  72. Струминский А.Б. \*, А.М. Садовский\*, И.Ю. Григорьева, «Ускорение КВМ в солнечных вспышках: импульсной (X6.9 09.08.2011) и постепенной (M3.7 07.03.2011)», ВАК2021, секция «Солнце», ГАИШ МГУ 23-28 августа 2021 года, устно, on-line. <https://www.vak2021.ru>
  73. Струминский А.Б., И.Ю. Григорьева, «Последовательные вспышки X5.4 и X1.3 7 марта 2012 и сопровождавшие их корональные выбросы массы», XXV всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика - 2021», 5-8 октября 2021, ГАО РАН, Санкт-Петербург (устно), on-line.
  74. Струминский А.Б.\*, «Солнечные вспышки и корональные выбросы массы – характерные времена, радиочастоты и длины. Законы сохранения и элементарная кинематика», Семинар ГАО РАН (очно), Санкт-Петербург, 30.06.2021 (устный).



75. Струминский А.Б.\*, Григорьева И.Ю., Садовский А.М.\*, Логачев Ю.И., «Связь между длительностью и величиной ускорения корональных выбросов массы в импульсных вспышках» XVI ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», ИКИ РАН, Москва, 8-12 февраля 2021. (устный), очно. <https://plasma2021.cosmos.ru/>
76. Титова А.В., Корольков С.Д., Измоленов В.В., "Неустойчивость тангенциальных разрывов в задаче об обтекании сверхзвукового источника с учетом высвечивания" (Стендовый), Конференция международных математических центров, Сочи, Россия, 9-13 августа 2021 <https://siriusmathcenter.ru/all-russian-conference/program#section-11>
77. Титова Е.Е., Демехов А.Г., Маннинен Ю, Любчик А.А., Никитенко А.С., Одновременные наблюдения ОНЧ периодических излучений на спутниках Van Allen Probes. 16-ая конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021., ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов докладов, стр. 239, 2021.
78. Халипов В.Л., А.Е. Степанов. Развитие методики ионизационных измерений в полярной и субавроральной ионосфере // Распространение радиоволн, Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции, 28 июня — 3 июля 2021 года, Калининград. Научное электронное издание, с.407-411, 2021.
79. Халипов В.Л., Леонович А.С., Sibeck D.G, Влияние турбулентности магнитного поля солнечного ветра на процессы во внутренней магнитосфере Земли, Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 8-12 февраля 2021 г., М., ИКИ РАН.
80. Хохлачев А.А., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ермолаев Ю.И. Вариации содержания гелия в различных крупномасштабных явлениях солнечного ветра, 16-ая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г. ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов, С.90 (устный доклад). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29603.58409>
81. Царева О.О. Динамика заряженных частиц в геомагнитном поле в процессе инверсии // Конференция молодых ученых ИКИ РАН, Москва, Россия, 14.04.2021-16.04.2021
82. Царева О.О., Е. П. Попова, В. Ю. Попов и др. Радиационный фон на поверхности Европы — спутника Юпитера // Конференция «Физика плазмы солнечной системе» ИКИ РАН, Москва, Россия, 08.02.2021-12.02.2021
83. Царева О.О., Попова Е. П., Попов В. Ю., Малова Х. В., Зеленый Л. М., Радиационный фон на поверхности Европы — спутника Юпитера, Шестнадцатая конференция "Физика плазмы в солнечной системе", 8 - 12 февраля 2021 г., ИКИ РАН, Москва, Россия, сборник тезисов, с. 129.
84. Шарыкин И.Н.\*, Зимовец И.В.\*, МЕШАЛКИНА Н.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕКУРСОРОВ ЭРУПТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ X4.9 GOES КЛАССА, ПРОИЗОШЕДШЕЙ 25 ФЕВРАЛЯ 2014 Г: ФОРМИРОВАНИЕ ЭРУПТИВНОГО ЖГУТА, НАГРЕВ И ТЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ, НАЧАЛО ВСПЫШКИ // Всероссийская астрономическая конференция «Магнетизм и активность Солнца и звезд - 2021», КРАО РАН, п. Научный, Крым, 31 августа – 3 сентября 2021 г. (УСТНЫЙ ДОКЛАД) <https://sun.crao.ru/conferences/magnetism-and-activity-of-the-sun-and-stars-2021>
85. Шарыкин И.Н.\*, Зимовец И.В.\*, Мышьяков И.И. ГЕЛИОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ В СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ БЕЗ «ЭФФЕКТИВНОГО» УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ// 16я ежегодная конференция “Физика плазмы в

солнечной системе”, ИКИ РАН, Москва, 8-12 февраля 2021 (УСТНЫЙ ДОКЛАД)  
<https://plasma2021.cosmos.ru/>

86. Шевелёв М.М. Численное моделирование квазилинейного приближения в задаче о вистлерной неустойчивости в солнечном ветре «Физика плазмы в солнечной системе 2021», Россия, Москва, ИКИ РАН.  
<https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf> С.296
87. Шевелёв М.М., Васько И.Ю., Артемьев А.В. Численное моделирование неустойчивости теплового потока в рамках квазилинейного приближения Physics of Auroral Phenomena, Полярный геофизический институт РАН, Россия, Апатиты, (online) <http://pgia.ru:81/seminar/archive/> Р. 40
88. Шустов П.И., Артемьев А.В., Васько И.Ю., Петрукович А.А., Юшков Е.В., Формирование энергетических спектров электронов в хвосте магнитосферы, Шестнадцатая конференция Физика плазмы в солнечной системе, Москва, Россия, 8-12 февраля 2021
89. Юшков Е.В., Аллахвердиев Р., Камалетдинов С.Р., Соколов Д.Д., Генерация среднего магнитного поля в турбулентном неоднородном плазменном потоке, Шестнадцатая конференция Физика плазмы в солнечной системе, Москва, Россия, 8-12 февраля 2021
90. Юшков Е.В., Аллахвердиев Р.Р., Соколов Д.Д., Уравнения среднего поля и турбулентного динамо в рамках мультипликативного подхода, XXII Зимняя школа по механике сплошных сред, Пермь, Россия, 22-27 марта 2021
91. Abushzade I., Yushkov E., Small-scale Kazantsev Dynamo-model in the Frame of Turbulent Cascade Approach, Week of Doctoral Students, Charles University in Prague Faculty of Mathematics and Physics, Прага, Чехия, 15-17 июня 2021
92. Allahverdiyev R., Yushkov E., Sokolof D., Mean Field Dynamo-model in Locally Anisotropic Inhomogeneous Turbulent Flow, Week of Doctoral Students, Charles University in Prague Faculty of Mathematics and Physics, Прага, Чехия, 15-17 июня 2021
93. Antonova E.E., M.V. Stepanova, Ovchinnikov, N.A. Sotnikov, M.O. Riazantseva, I.P. Kirpichev, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, V.A. Pinto, Acceleration and loss of the outer radiation belt electrons and auroral processes, 3rd ISEE Symposium PWING-ERG conference and school, Nagoia University, Japan. ONLINE CONFERENCE. March 8-12, 2021, Abstract book, p. 3.
94. Antonova E.E., N.V. Sotnikov, V.G. Vorobjev, O.I. Yagodkina, I.P. Kirpichev, I.L. Ovchinnikov, M.S. Pulinets, M.V. Stepanova, M. Rojas Gamarra, J. Gonzalez, Topological features of high latitude magnetosphere and problems of outer radiation belt formation, The 44th annual seminar "Physics of auroral phenomena", Abstracts, March 2021, p. 25
95. Antonova E.E., Stepanova M.V., Kirpichev I.P., Ovchinnikov I.L., Vorobjev V.G., Yagodkina O.I., Pulinets M.S., Pressure balance in the Earth's magnetosphere and magnetospheric dynamics, XIII школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса» 24-27 марта 2021
96. Antonova, E.E., Sotnikov N.V. , Riazantseva M.O., Ovchinnikov I.L., Kirpichev I.P., Stepanova M.V., Pinto V.A., Moya P.S., The Tverskaya relation and the outer radiation belt formation, Abstracts of IAGA-IASPEI 2021, 21-27 August 2021, Hyderabad, India, Sr No: 205, p. 159-160.

97. Artemyev A.V., A.I. Neishtadt, A.A. Vasiliev, and D. Mourenas, On a transitional regime of electron resonant interaction with whistler-mode waves in inhomogeneous space plasma, Preprint: arXiv:2107.13511 [physics.space-ph] Jul 2021. (PHΦ № 19-12-0013)
98. Bemporad A., Katushkina O., Izmodenov V., Koutroumpa D., Quemerais E., "Evolution of solar wind flows from the inner corona to 1 AU: constraints provided by SOHO UVCS and SWAN data", the 23rd EGU General Assembly, held online 19-30 April, 2021 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11921>
99. Bloecker A., E. A. Kronberg, G.B. Clark, E.E. Grigorenko, L. Kozak, M.F. Vogt, Statistical Survey of Ion Acceleration in Plasmoids in the Jovian Magnetotail with JUNO Data, AGU Fall Meeting, New Orleans, 13-17 December, 2021, <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Paper/945456>.
100. Borodkova N., Sapunova O., Eselevich V., Zastenker G., Yermolaev Y. Comparison of Plasma and Magnetic Overshoots of Interplanetary Shocks, EGU General Assembly Conference Abstracts, 2021, EGU21-10163, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-10163>
101. Cooper Matthew Blake, Andrew J Gerrard, and Ilya Kuzichev, Results of a polynomial model recreation of inner magnetospheric proton, helium, and oxygen flux measurements taken by the Van Allen Probes RBSPICE mission, AGU Fall Meeting 2021, 13-17 December 2021.
102. Cucho-Padin G., Godinez H.C., Henderson M.G., Baliukin I.I., Bhattacharyya D., Waldrop L., Sibeck D. G. "Characterization of the temporal and spatial scales of the terrestrial exosphere based on ensemble data assimilation", AGU Fall Meeting 2021, New Orleans, USA, 13 December, 2021 <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Paper/989051>
103. Demekhov A., Titova E.E., Lubchich A.A., Nikitenko A.S., Manninen J., Pasmanik D.L. Conjugate ground-spacecraft observations of VLF emissions // Abstracts of The 3rd ISEE Symposium "PWING-ERG Conference and School" (virtual meeting), 08-12.03.2021. P.13. <https://is.isee.nagoya-u.ac.jp/pwing-erg/>
104. Espinoza J.M., R.A. López, M. Stepanova, E.E. Antonova, Study of the increase in plasma pressure in the Earth's magnetosphere during geomagnetic storms, Abstracts of the XII COLAGE 2021, ONLINE (in Chile) from November 22-26, 2021
105. Eyelade A.V., C.M. Espinoza, M. Stepanova, E.E. Antonova, I.L. Ovchinnikov, I.P. Kirpichev, Influence of MHD Turbulence on Ion Kappa Distributions in the Earth's Plasma Sheet as a Function of Plasma  $\beta$  Parameter, Abstracts of the XII COLAGE 2021, ONLINE (in Chile) from November 22-26, 2021
106. Frantsuzov V. A., Shustov P. I., Artemyev A. V., 44rd Annual Seminar of Physics of Auroral Phenomena, Whistler wave instability in multi-component electron plasma of the Earth's magnetosphere, March 10
107. Frantsuzov V. A., Shustov P. I., Artemyev A. V., Week of Doctoral Students 2021, Whistler wave instability in multi-component electron plasma of the Earth's magnetosphere, June 15-17, 2021, Charles University Faculty of Mathematics and Physics, Czech Republic. <https://www.mff.cuni.cz/veda/konference/wds/>
108. Frantsuzov V. A., Shustov P. I., Artemyev A. V., XVIII Conference of young scientists "Fundamental and applied space investigations", Whistler wave instability in multi-component electron plasma of the Earth's magnetosphere, April 14-16, 2021, Space Research Institute (IKI), RAS, Russia. <https://kmu.cosmos.ru/>

109. Godenko E.A., Izmodenov V.V., "Modelling of the interstellar dust distribution under the influence of the interstellar magnetic field." (Online), Fourth Virtual Workshop in Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, Novosibirsk, Russia, 12-14 Октября 2021 [http://conf.nsc.ru/files/conferences/mhd2021/669765/Schedule\\_MHD-PP\\_2021.pdf](http://conf.nsc.ru/files/conferences/mhd2021/669765/Schedule_MHD-PP_2021.pdf)
110. Grigorenko E.E., A. Yu. Malykhin, D. R. Shklyar, E.V. Panov, O. LeContel, B. Lavraud, E.A. Kronberg, L. Avanov, B. Giles, Characteristics of Resonant Electrons Interacting with Quasi-Parallel Whistler Waves Observed During the Intervals of Earthward and Tailward Bursty Bulk Flows, SM44A-08, AGU Fall Meeting, New Orleans, 13-17 December, 2021, <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Paper/862096>.
111. Grigorenko E.E., L.M. Zelenyi, H.V. Malova, V.Yu. Popov, M.V. Leonenko, Thin current sheets in planetary magnetotails: from ion to sub-ion kinetic scales, 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January - 4 February, 2021. Abstract D3.1-0006-id, 108021, 2021, invited talk
112. Grigorenko E.E., Leonenko M.V., Zelenyi L.M., Malova H.V., Kronberg E.A., Super thin current sheets of electron scales observed in planetary magnetotail, 13th Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", Primorsko, Bulgaria, 13 - 17 September 2021, Book of Abstracts, p.17.
113. Grigorenko E.E., Leonenko M.V., Zelenyi L.M., Malova H.V., Malykhin A.Yu., Popov V.Yu., Buchner J., Super Thin Electron-Scale Current Sheets observed in the Earth's Magnetotail by MMS mission, AGU Fall Meeting, New Orleans, 13-17 December, SM23A-02, <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Paper/886829>, 2021
114. Grigorenko E.E., M.V. Leonenko, L.M. Zelenyi, H.V. Malova, V.Yu. Popov, Thin current sheets of sub-ion scales observed in planetary magnetotails, the 23rd EGU General Assembly, held online 19-30 April, 2021, id.EGU21-10978, 2021, invited talk.
115. Izmodenov V., "Modeling of the global heliosphere: challenges appeared after Voyager crossings of the heliopause" (Online), 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January - 4 February, 2021 [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=872](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=872)
116. Kamaletdinov S., I. Vasko, E. Yushkov, A. Artemyev, R. Wang Slow electrostatic solitary waves in the Earth's magnetosphere (oral) Physics of Auroral Phenomena. 44rd Annual Seminar., Апатиты, Мурманская область, Россия, 15-19 марта 2021
117. Kamaletdinov Sergey, Vasko Ivan, Artemyev Anton On slow electron holes in the Earth's magnetosphere (Устный) Week of Doctoral Students (Charles University in Prague Faculty of Mathematics and Physics, 2021), Прага, Чехия, 15-17 июня 2021
118. Kamaletdinov Sergey, Vasko Ivan, Yushkov Egor, Artemyev Anton, Wang Rachel Slow electrostatic solitary waves in the Earth's magnetosphere (poster) EGU 2021, Вена, Австрия, 19-30 апреля 2021
119. Khabarova Olga, Timothy Sagitov, Roman Kislov, and Gang Li, Multi-year statistical analysis of properties of current sheets at 1 AU // EGU General Assembly 2021, Вена, 19-30 апреля 2021, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-13510.html>, doi: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13510> (устный, соавтор)
120. Khalipov V.L., A.S. Leonovich, D. Sibeck, The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth's inner magnetosphere, "Physics of Auroral Phenomena", 44 th Annual Seminar, 15-19 марта 2021, Abstracts, p.32.
121. Khalipov V.L., A.S. Leonovich, D. Sibeck, The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth's inner magnetosphere, сб.

Тезисов XII международной конференции «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», 27 сентября - 1 октября 2021 г., с. Паратунка, Камчатский край, с. 180.

122. Khokhlachev A., Riazantseva M., Rakhmanova L., Yermolaev I., Lodkina I. Local variations of helium abundance in different large scale solar wind structures, XIII школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса», 24-27 марта 2021, онлайн, abstract ID STP059 (устный доклад).
123. Khokhlachev A., Riazantseva M., Rakhmanova L., Yermolaev Y., Lodkina I. Dynamics of helium abundance in magnetic clouds, EGU General Assembly Conference Abstracts, 2021, EGU21-11947, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11947>
124. Kim Hyomin, Sungjun Noh, Ilya Kuzichev, Dogacan Su Ozturk, Zhonghua Xu, James M Weygand, Hui Zhang, Andrew Vu, Michael Hartinger, Xueling Sh4, Mark J. Engebretson, and Andrew J Gerrard, Interhemispheric Observations of Geomagnetic Pulsations Associated with Foreshock Transient Events, AGU Fall Meeting 2021, 13-17 December 2021.
125. Kislov Roman, Timothy Sagitov, and Helmi Malova, Spatial evolution of turbulent regions associated with stream interaction regions in the solar wind // EGU General Assembly 2021, Вена, 19-30 апреля 2021, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-5595.html>, doi: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-5595> (oral)
126. Kislov, R., Sagitov, T., and Malova, H.: Spatial evolution of turbulent regions associated with stream interaction regions in the solar wind, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-5595, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-5595>, 2021. (<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/session/40147>).
127. Kornbleuth M., Opher M., Baliukin I., ..., Izmodenov V.V., ..., Alexashov D. B., et al., “A comparison of heliotail configurations arising from different treatments of non-ideal MHD effects with ENA maps at IBEX energies” (Invited), AGU Fall Meeting 2021, New Orleans, USA, 14 December, 2021 <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Paper/950698>
128. Kornbleuth M., Opher M., Toth G., Tenishev V., Izmodenov V., Baliukin I., Michael A., "The Structure of the Heliosphere as revealed by modeled ENA maps at IBEX energies", 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January - 4 February, 2021 [https://www.cospar-assembly.org/admin/session\\_cospar.php?session=873](https://www.cospar-assembly.org/admin/session_cospar.php?session=873)
129. Kosovichev A.G., Sharykin I.N.\*, CHARACTERISTICS OF SUNQUAKE EVENTS OBSERVED IN SOLAR CYCLE 24 // the 23rd EGU General Assembly, 19-30 апреля, онлайн (УСТНЫЙ ДОКЛАД) <https://www.egu21.eu/>
130. Kotova G., Verigin V., Bezrukikh V., Analytical dicription of the planetary bowshock based on the MHD and HD modeling, 43rd COSPAR Scientific Assembly 2021, D3.4-0011-21.
131. Kotova G., Verigin V., Bezrukikh V., Lemaire J., Pierrard V., Plasmaspheric boundary layer as detected by the MAGION 5 satellite, 43rd COSPAR Scientific Assembly 2021, D-3.1 -0014-21.
132. Kuzichev Ilya and Angel Rualdo Soto-Chavez, On Resonant Interaction of Electrons with Falling-Tone Chorus Waves, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-14307, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14307>, 2021.

- 133.Kuzichev Ilya and Angel Rualdo Soto-Chavez, Test Particle Simulations of Electron Dynamics in the Falling-Tone Chorus Wave Field, AGU Fall Meeting 2021, 13-17 December 2021.
- 134.Kuzichev Ilya, Ivan Vasko, Joseph Torsiello, Lynn B Wilson III, and Anton Artemyev, Whistler Wave Generation Around Interplanetary Shocks, AGU Fall Meeting 2021, 13-17 December 2021.
- 135.Kuzichev Ilya, Whistler Wave Generation Around Interplanetary Shocks, Virtual GEM Summer Workshop, July 25-30, 2021
- 136.Lukin A.S., A.V. Artemyev, A.A. Petrukovich, Stochastic differential equations for modeling of nonlinear waveparticle Interaction (устный), Physics of Auroral Phenomena. 44rd Annual Seminar, March 15-19, 2021, Polar Geophysical Institute, Apatity, Murmansk region, Russia, [http://pgia.ru/seminar/abstracts\\_book2021.pdf](http://pgia.ru/seminar/abstracts_book2021.pdf)
- 137.Lukin,Alexander Anton Artemyev and Anatoly Petrukovich, Stochastic differential equations for modeling of nonlinear wave-particle interaction, EGU 2021, Вена, Австрия (online), 19-30 апреля 2021, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-6508.html>
- 138.Malova Helmi, Lev Zelenyi, Elena Grigorenko, Victor Popov, and Eduard Dubinin Universal scaling of thin current sheets in space plasma, EGU21-3521, EGU General Assembly 2021 (vEGU21: Gather Online), 19–30 April 2021 (ST1.6 Dynamical processes and particle acceleration associated with current sheets, magnetic islands and turbulence-borne structures in space plasmas), <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-3521>
- 139.Malova Helmi, Lev Zelenyi, Victor Popov, and Elena Grigorenko, Thin current sheets as key structures in space plasma (приглашенный) EGU General Assembly 2021 (vEGU21: conference Online), 19–30 April 2021, EGU21-9219 ( solicited, ST1. Theory and Simulation of Solar System Plasmas), <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-9219>.
- 140.Mayyasi M., Clarke J. T., Quemerais E., Katushkina O.A., Izmodenov V.V. et al., “Interplanetary Hydrogen Properties as Probes into the Heliospheric Interface”, AGU Fall Meeting 2021, New Orleans, USA, 14 December, 2021 <https://agu.confex.com/agu/fm21/meetingapp.cgi/Paper/840442>
- 141.Moskaleva A., Riazantseva M., Yermolaev Y., Lodkina I. Statistical analysis of flow direction and its variations in different types of solar wind streams, EGU General Assembly Conference Abstracts, 2021, EGU21-13829, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13829>
- 142.Petrukovich, Anatoli; Chugunova, Olga Detailed structure of a high-beta Earth's bow shock 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January - 4 February, 2021. Abstract D3.4-0009-21 (oral), id.1126.
- 143.Petrukovich, Anatoli ; Nazarov, Vladimir ; Anufrejchik, Konstantin ; Polyanskiy, Ivan Russian Lunar orbiter mission Luna-26 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January - 4 February, 2021.
- 144.A.A. Petrukovich. Russian Program for Basic Space Research 2021-2030 5th Korea-Russia Science Day> on December 22-23, 2021
- 145.Popov Victor, Helmi Malova, and Marina Belyalova, Quasi-adiabatic particle dynamics in thin current sheets with a magnetic shear, EGU21-10417, EGU General Assembly 2021 (vEGU21: Gather Online), 19–30 April 2021, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/session/40147>

146. Rakhmanova L., Riazantseva M., Zastenker G., Yermolaev Y. Solar wind and bow shock parameters affecting turbulence development inside the magnetosheath, EGU General Assembly Conference Abstracts, 2021, EGU21-12053, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12053>
147. Rakhmanova L., Riazantseva M., Zastenker G., Yermolaev Y., Lodkina I. Turbulent features of the magnetosheath plasma affected by upstream solar wind parameters, XIII школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса», 24-27 марта 2021, онлайн, abstract ID STP027 (устный доклад).
148. Rakhmanova L., Yermolaev Y., Lodkina I., Zastenker G., Riazantseva M. Evolution of the magnetosheath turbulence around ion scales affected by upstream solar wind parameters, 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January-4 February, 2021, Abstract D3.4-0022-21, id p.1131
149. Riazantseva M., Rakhmanova L., Yermolaev Y., Lodkina I., Zastenker G., Safrankova J., Nemecek Z., Prech L. Ion-scale break of the plasma fluctuation spectra in different large-scale solar wind streams, EGU General Assembly Conference Abstracts, 2021, EGU21-13569, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13569>,
150. Rodriguez Gomez, Jenny Marcela ; Podlachikova, Tatiana ; Veronig, Astrid; Ruzmaikin, Alexander ; Feynman, Joan ; Petrukovich, Anatoly Clustering of Fast Coronal Mass Ejections during Solar Cycles 23 and 24 and Implications for CME-CME Interactions vEGU21, the 23rd EGU General Assembly, held online 19-30 April, 2021, id.EGU21-3990
151. Sapunova O., Borodkova N., Yermolaev Y., Zastenker G. He<sup>++</sup> behavior on the an interplanetary shock wave, EGU General Assembly Conference Abstracts, 2021, EGU21-6073 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6073>
152. Shkevov R., Erokhin N.S., Zolnikova N.N., Mikhailovskaya L.A. On the origin of short term variable sources of relativistic protons and the generation high-speed streams of particles. 43rd COSPAR Scientific Assembly, 28 January-4 February 2021, Sydney, Australia. Paper No.: FSSMTW - 284 E1.16-0091-21 (<https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-21/>)
153. Shkevov R., Erokhin N.S., Zolnikova N.N., Mikhailovskaya L.A. Phase plane structure and particle's dynamics analysis in the case of resonant acceleration of electrons by a wave packet in space plasma. 43rd COSPAR Scientific Assembly, 28 January-4 February 2021, Sydney, Australia. Paper No.: FSSMTW-176 D1.1-0028-21. (<https://www.cospar-assembly.org/abstractcd/COSPAR-21/>)
154. Shkevov, R., Erokhin, N.S., Zolnikova, N.N., Mikhailovskaya L.A. and Sheiretsky K. Relativistic electrons resonant acceleration – an analysis of the analytical approximation model. Thirteenth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Primorsko, Bulgaria, 13 -17 September 2021. (<http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>)
155. Shkevov, R., Erokhin, N.S., Zolnikova, N.N., Mikhailovskaya L.A. and Sheiretsky K. Analytical approximation formula study of low relativistic electrons surfatron acceleration in space plasma. Seventeenth International Scientific Conference "Space Ecology Safety" SES 2021, Sofia, 20 – 22 October 2021. Conference program p. 6. ([http://space.bas.bg/SES/index/2021/2021\\_SES\\_Program.pdf](http://space.bas.bg/SES/index/2021/2021_SES_Program.pdf))
156. Shklyar David R.. Energy Exchange between Energetic Electrons via Interaction with Magnetospherically Reflected Whistlers. URSI GASS 2021, Rome, Italy, 28 August – 4 September 2021.



157. Shklyar David. Resonant interaction between quasi-monochromatic waves and energetic particles in an inhomogeneous plasma (magnetosphere). Short course at URSI GASS 2021. Saturday, Aug. 29, 9:00 -12:30; 14:00 - 17:20.
158. Shustov P.I., Artemyev A.V., Zhang X.J., Petrukovich A.A., Formation of thermal electron population in the magnetotail: convection heating and scattering induced losses, 44-й ежегодный Апатитский семинар "Физика авроральных явлений", Апатиты, Россия, 15-19 марта 2021
159. Shustov Pavel, Artemyev Anton, Volokitin Alexander, Vasko Ivan, Zhang Xiao-Jia, Petrukovich Anatoliy, Sub-ion magnetic holes in the plasma injection region: origins and dynamics, European Geosciences Union General Assembly 2021, Вена, Австрия, 19-30 апреля 2021
160. Stepanova M., E.E. Antonova, N. Romanova, M. Martínez-Ledesma, M. Rojas-Gamarra, P. Moya, V. Pinto, Variation of plasma pressure in the inner magnetosphere during geomagnetic storms and substorms, Abstracts of 43th COSPAR Scientific Assembly, 28 January – 4 February 2021, Sydney, Australia, D3.2-0017-21, 25211
161. Stepanova M., E.E. Antonova, V. Pinto, Variations of relativistic electron fluxes in the outer radiation belt during geomagnetic storms, Abstracts of the XII COLAGE 2021, ONLINE (in Chile) from November 22-26, 2021, <https://ccc.ciencias.uchile.cl/2021colage/prog.php>
162. Struminsky and A. Sadovski, CME Acceleration in Solar Flares, National Astronomy Meeting, Bath, England, poster, on-line, July 2021.
163. Sung Jun Noh, Hyomin Kim, Ilya Kuzichev, Dogacan Su Ozturk, Zhonghua Xu, James M Weygand, Hui Zhang, Andrew Vu, Michael Hartinger, Xueling Shi, Mark J. Engebretson and Andrew J Gerrard, Pc 1 wave observations associated with foreshock transient events, AGU Fall Meeting 2021, 13-17 December 2021.
164. Titova A., Izmodenov V., Korolkov S. "Effects of radiative energy losses on the structure of stellar wind interaction with interstellar medium" (Online), Fourth Virtual Workshop in Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, Novosibirsk, Russia, 12-14 Октября 2021 [http://conf.nsc.ru/files/conferences/mhd2021/669765/Schedule\\_MHD-PP\\_2021.pdf](http://conf.nsc.ru/files/conferences/mhd2021/669765/Schedule_MHD-PP_2021.pdf)
165. Titova E.E., A.G. Demekhov, J. Manninen, A.A. Lubchich, A.S. Nikitenko Simultaneous ground and space observations of VLF periodic emissions. Труды конференции "Physics of Auroral Phenomena". Proc. 44nd Annual Seminar 15 – 19 March 2021, p. 36, 2021
166. Titova Elena, Andrei Demekhov, Jyrki Manninen, Andris Lubchich, Aleksandr Nikitenko. Conjugate observations of VLF periodic emissions by Van Allen Probe and ground-based station: a case study // 13th International Conference "Problems of geocosmos" (St. Petersburg, Petrodvorets, March 24–27, 2021), STP035., St. Petersburg, 2021. <https://geo.phys.spbu.ru/geocosmos/2020/Program/STP-program.html>
167. Tsareva O.O., Atmospheric escape from the Earth during geomagnetic reversal / // Workshop «Influence of a Global Magnetic Field on Ion and Atmospheric Loss and Planetary Habitability», NASA's MACH Center, 15.06.2021-17.06.2021
168. Vaisberg O.L., R.N. Zhuravlev, D.A. Moiseenko, A.Yu. Shestakov, S.D. Shuvalov, P.P. Moiseev, M.V. Mitjurin, I.I. Nechushkin, A.D. Vasilyev, E.I. Rodkin, V.V. Letunovsky INSTRUMENTS ARIES-L AND LINA-R FOR INVESTIGATION OF SPACE PLASMA INTERACTION WITH THE LUNAR REGOLITH, THE TWELFTH MOSCOW SOLAR SYSTEM SYMPOSIUM 2021

169. Vorobjev V.G., O.I. Yagodkina, E.E. Antonova, Solar wind kinetic pressure influence on the plasma pressure in dayside precipitation regions, The 44th annual seminar "Physics of auroral phenomena", Abstracts, 15 – 19 March 2020, Apatity, Abstracts, p. 20-21.
170. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Dremukhina L.A., Yermolaev M.Y., NL Borodkova N.L., Riazantseva M.O., Rakhmanova L.S., Khokhlachev A. A. What we learned about the Solar Wind - Magnetosphere interaction from the analysis of various interplanetary drivers, Eleventh Workshop "Solar wind–Magnetosphere Interaction", on-line, Aug 30 – Sep 2, Sep 13 – 16, Bulgaria, 2021, DOI: 10.13140 / RG.2.2.30581.09442
171. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Yermolaev M.Y., Khokhlachev A. A. The fall of the solar wind parameters below the "floor" in minimum of 22/23 cycles, online, XVIIth Hvar Astrophysical Colloquium "The Sun and Heliosphere", 20 - 24 september, Hvar, Croatia.
172. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G., Yermolaev M.Y., Riazantseva M.O., Khokhlachev A. A. Decrease in solar wind parameters after a minimum of 22-23 solar cycles, 13th Workshop "Solar Influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere", Primorsko, Bulgaria, 13-17 september 2021, online.
173. Yushkov E., Allahverdiyev R., Sokoloff D., Dynamo model in anisotropic uniform turbulent flow with shorttime correlations, IV Russian Conference on Magneto Hydrodynamics, Россия, 20-22 сентября 2021
174. Zhukova Elena, Victor Popov, Helmi Malova, and Lev Zelenyi, Charged particle acceleration in the CS of the Mercury magnetosphere: comparison of different mechanisms EGU21-14920ECS, EGU General Assembly 2021 (vEGU21: Gather Online), 19–30 April 2021, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/session/40147>.
175. Zimovets I.V.\* QUASI-PERIODIC ENERGY RELEASE IN A TRIPLE-RIBBON SOLAR FLARE //The 1st Conference of the HERMES DRIVE SCIENCE CENTER, 25-28 January 2021, online (УСТНЫЙ ДОКЛАД)
176. Zimovets I.V.\*, Sharykin I.N.\*, Myshyakov I.I. QUASI-PERIODIC ENERGY RELEASE IN A THREE-RIBBON SOLAR FLARE // RHESSI-20 Workshop: Preparing for the Next Decade in High-Energy Solar Physics Research, 6-9 июля 2021 г., онлайн (УСТНЫЙ ДОКЛАД) <https://agenda.infn.it/event/25934/>

## Список публикаций по теме ПЛАЗМА

1. Antonova E.E., Stepanova M.V. (2021) The impact of turbulence on physics of the geomagnetic tail. *Front. Astron. Space Sci.* 8:622570. doi: 10.3389/fspas.2021.622570 (Q2 IF 6.93)
2. Bazzani, A., Capoani, F., Giovannozzi, M., Neishtadt, A. (2021) Adiabaticity of emittance exchange due to crossing of the coupling resonance. *Physical Review Accelerators and Beams*, 24(9), 094002. DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.24.094002. (IF 1.639; WoS, Q3)
3. Chen Lunjin, Xiao-Jia Zhang, Anton Artemyev, Liheng Zheng, Zhiyang Xia, Aaron W. Breneman, and Richard B. Horne (2021) Electron Microbursts Induced by Nonducted Chorus Waves, *Front. Astron. Space Sci.*, doi:10.3389/fspas.2021.745927 (Q2 IF 6.93)
4. Cooper, M. B., Gerrard, A. J., Lanzerotti, L. J., Soto- Chavez, A. R., Kim, H., Kuzichev, I. V., & Goodwin, L. V. (2021), Mirror instabilities in the inner magnetosphere and their potential for localized ULF wave generation. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028773. <https://doi.org/10.1029/2020JA028773> (Q2 IF 2.81)
5. Cornelissen Germaine, Yoshihiko Watanabe, Larry A. Beaty, Chase Turner A., Robert Sothorn, Jarmila Siegelova, Tamara Breus, Denis Gubin, Abdullah A. al-Abdulgader, Rollin McCraty and Kuniaki Otsuka. As-One-Goes Blood Pressure and Heart Rate Monitoring: A Chronobiology Approach with Applications in Clinical Practice and Basic Science. *Cardiol. Vasc. Res.* 2021. 5(1), pp 1-10. DOI: 10.33425/2639-8486.S1-1003 (No Q)
6. Engebretson M.J., Ahmed L.Y., Pilipenko V.A., et al. (2021). Superposed epoch analysis of nighttime magnetic perturbation events observed in Arctic Canada. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029465. <https://doi.org/10.1029/2021JA029465>. (Q2 IF 2.81)
7. Eyelade A.V., Espinoza C.M., Stepanova M., Antonova E.E., Ovchinnikov I.L., Kirpichev I.P. (2021) Influence of MHD turbulence on ion kappa distributions in the Earth's plasma sheet as a function of plasma  $\beta$  parameter. *Front. Astron. Space Sci.* 8:647121. doi:10.3389/fspas.2021.647121 (Q2 IF 6.93)
8. Grigor'eva I.Yu. and A.B. Struminsky "Flares Unaccompanied by Interplanetary Coronal Mass Ejections and Solar Proton Events", *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 61, No. 8, pp. 1263-1273, 2021, Квартиль Q4 (WoS). DOI: 10.1134/S0016793221080090.
9. Izvekova Yu.N., Kassem A.I., Popel S.I., Morozova T.I., Zelenyi L.M. Dusty Plasmas at the Moon: Effects of Magnetic Fields // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1787. P. 012051, 11 pages Doi: 10.1088/1742-6596/1787/1/012051 (Q4)
10. Khazanov, G. V., Shen, Y., Vasko, I. Y., Artemyev, A. V., & Chu, M. (2021). Magnetosphere-ionosphere coupling of precipitated electrons in diffuse aurora driven by time domain structures. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL092655, doi:10.1029/2021GL092655 (Q1 IF 4.75)
11. Kim, H., Q. Schiller, M. Engebretson, S. Noh, I. Kuzichev, L. Lanzerotti, A. Gerrard, K.-H. Kim, M. Lessard, H. Spence, D.-Y. Lee, J. Matzka, T. Fromm, (2021), Observations of particle loss due to injection- associated electromagnetic ion cyclotron waves, *JGR: Space Physics*, 126, e2020JA028503. <https://doi.org/10.1029/2020JA028503> (Q2 IF 2.81)
12. Kirpichev, I. P., Antonova, E. E., Stepanova, M., Eyelade, A. V., Espinoza, C. M., Ovchinnikov, I. L., Vorobjev, V. G., Yagodkina, O. I. (2021). Ion kappa distribution parameters in the magnetosphere of the Earth at geocentric distances smaller than 20 RE during quiet geomagnetic conditions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029409. doi:10.1029/2021JA029409 (Q2 IF 2.81)
13. Kornbleuth M., Opher M., Baliukin I., ..., Izmodenov V., "Signature of a heliotail organized by the solar magnetic field and the role of non-ideal processes in modeled IBEX ENA maps: a comparison of the BU and Moscow MHD models", *The Astrophysical Journal*, 2021, 921, 164, doi: 10.3847/1538-4357/ac1e2a (Q1 IF 5.874)

14. Kotova G., M. Verigin, T. Gombosi, K. Kabin, J. Slavin, V. Bezrukh. Physics-Based Analytical Model of the Planetary Bow Shock Position and Shape, *J. Geophys. Res.*, 2021, V. 126, No. 6, <https://doi.org/10.1029/2021JA029104> (Q2)
15. Kozlovsky A., Shalimov S., Lester M., Belova E. Polar Mesosphere Summer Echoes and Possible Signatures of Pulsating Aurora Detected by the Meteor Radar // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. (2021). [doi.org/10.1029/2020JA028855](https://doi.org/10.1029/2020JA028855) (IF 2.8; WoS, Q2)
16. Krafft, C. & Volokitin, A. S. Dynamics of Langmuir Wave Spectra in Randomly Inhomogeneous Solar Wind Plasmas *The Astrophysical Journal*, American Astronomical Society, 2021, 923, 103 <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac2153> (Q1)
17. Li, J.- H., Zhou, X.- Z., Yang, F., Artemyev, A. V., & Zong, Q.- G. (2021). Helical magnetic cavities: Kinetic model and comparison with MMS observations. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL092383. [doi:10.1029/2021GL092383](https://doi.org/10.1029/2021GL092383) (Q1 IF 4.75)
18. Lu, S., Angelopoulos, V., Pritchett, P. L., Nan, J., Huang, K., Tao, X., et al. (2021). Electrodynamics contributions to the Hall- and parallel electric fields in collisionless magnetic reconnection. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029550. [doi:10.1029/2021JA029550](https://doi.org/10.1029/2021JA029550) (Q2 IF 2.81)
19. Malykhin A.Yu., E.E. Grigorenko, D.R. Shklyar, E.V. Panov, O. Le Contel, A. Avanov, B. Giles, Characteristics of resonant electrons interacting with whistler waves in the nearest dipolarizing magnetotail, *J. Geophys. Res., Space Physics*, 126, e2021JA029440, <https://doi.org/10.1029/2021JA029440>, 2021 (Q2 IF 2.81).
20. Manninen J., Kleimenova N., Turunen T., Nikitenko A., Gromova L., Fedorenko Yu. (2021). New type of short VLF patches («VLF birds») above 4-5 kHz.// *J. Geophys. Res., Space Physics*. V. 126, 2021 <https://doi.org/10.1029/2020JA028601> (Q2 IF 2.81)
21. Milovanov Alexander V., Jens Juul Rasmussen, and Guilhem Dif-Pradalier, Self-consistent model of the plasma staircase and nonlinear Schrödinger equation with subquadratic power nonlinearity, *Physical Review E* vol. 103, art. 052218 (2021) 22 pages (Q2 IF 3.54)
22. Morozova T.I., Kopnin S.I., Popel S.I., Borisov N.D. Some aspects of modulational interaction in Earth's dusty ionosphere // *Physics of Plasmas*. 2021. V. 28. No. 3. P. 033703, 8 pages. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0040271> (Q3 IF 2.023)
23. Orsini S., S. A. Livi, H. Lichtenegger, et. al. SERENA: Particle Instrument Suite for Determining the Sun-Mercury Interaction from BepiColombo. *Space Sci Rev* 217, 11 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00787-3> Q1
24. Page Brent, Ivan Y. Vasko, Anton V. Artemyev, and Stuart D. Bale, (2021) Generation of High-frequency Whistler Waves in the Earth's Quasi-perpendicular Bow Shock, *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 919, Number 2, [doi:10.3847/2041-8213/ac2748](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac2748) (Q1 IF 14.12)
25. Rakhmanova L., Riazantseva M., Zastenker G. Plasma and Magnetic Field Turbulence in the Earth's Magnetosheath at Ion Scales. *Front. Astron. Space Sci.*, 2021, <https://doi.org/10.3389/fspas.2020.616635>
26. Runov A., V. Angelopoulos, A.V. Artemyev, J.M. Weygand, S. Lu, Y. Lin, X.-J. Zhang (2021), Global and local processes of thin current sheet formation during substormgrowth phase, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 220, 105671 [doi: https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105671](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105671) (Q3 IF 1.89)
27. Sánchez-Cano Beatriz, Mark Lester, David J. Andrews, et. al. Mars' plasma system. Scientific potential of coordinated multipoint missions: "The next generation", *Experimental Astronomy*, 2021, <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09790-0> (Q3 IF 2.012)
28. Scalisi J., Oxley W., Ruderman M.S., Erdelyi R., "Propagation of Torsional Alfvén Pulses in Zero-beta Flux Tubes", *The Astrophysical Journal*, 2021, Volume 911, Issue 1, id. 39. [doi: 10.3847/1538-4357/abe8db](https://doi.org/10.3847/1538-4357/abe8db) (Q1 IF 5.874)

29. Scalisi J., Ruderman, M.S., Erdelyi, R., “Reflection and evolution of torsional Alfvén pulses in zero-beta flux tubes”, *The Astrophysical Journal*, 2021, 922 118. doi: 10.3847/1538-4357/ac2509 (Q1 IF 5.847)
30. Webster, L., Vainchtein, D. and Artemyev, A. (Jun 2021). Solar Wind Discontinuity Interaction with the Bow Shock: Current Density Growth and Dawn-Dusk Asymmetry. *Solar Physics*, 296 (6), Article Number 87. DOI:10.1007/s11207-021-01824-2 (IF 2.503; WoS, Q2)
31. Weygand J.M., Engebretson M.J., Pilipenko V.A., et al. (2021). SECS analysis of nighttime magnetic perturbation events observed in Arctic Canada. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029839. <https://doi.org/10.1029/2021JA029839> (Q2 IF 2.81)
32. Yermolaev Y. I., Lodkina I. G., Khokhlachev A. A., Yermolaev M. Y., Riazantseva M. O. Rakhmanova, L. S., Borodkova N. L., Sapunova O. V., Moscaleva A. V. Drop of solar wind at the end of the 20th century. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2021, 126 (9), e2021JA029618, <https://doi.org/10.1029/2021JA029618> (Q2, IF 2.8)
33. Yermolaev Y.I., Lodkina I.G. Comment on “A Statistical Study of the Plasma and Composition Distribution inside Magnetic Clouds: 1998–2011” by J. Huang et al. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2021, 61 (3), 416–417, <https://doi.org/10.1134/S001679322103018X> (Q4, IF 0.63)
34. Yushkov, E. V., Petrukovich, A. A., Artemyev, A. V., & Nakamura, R. (2021). Thermodynamics of the magnetotail current sheet thinning. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028969, doi:10.1029/2020JA028969 (Q2 IF 2.81)
35. Zenchenko T.A., Breus T.K. The Possible Effect of Space Weather Factors on Various Physiological Systems of the Human Organism. *Atmosphere*, 2021, 12, 346. <https://doi.org/10.3390/atmos12030346>. IF = 4.4. Q3
36. Zimovets I., Sharykin I., Myshyakov I. Quasi-Periodic Energy Release in a Three-Ribbon Solar Flare // *Solar Physics*, V. 296, Iss. 12, id.188 (12/2021). Квартиль WoS: Q2. DOI: 10.1007/s11207-021-01936-9 <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS0016793221070148>
37. Безродных И.П., Е.И. Морозова, А.А. Петрукович, М.В. Кожухов Вопросы электромеханики. «Труды ВНИИЭМ» – Москва : АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2021. – Т. 182 – № 3. – С. 1 – 8. Сайт <http://d54x.ru/radiationbeltsrus.aspx>
38. Бреус Т.К., М.И. Веригин, Г.А. Котова, Дж.А. Славин, Особенности магнитосферы Марса по данным спутников МАРС-3 и ФОБОС-2: сопоставление с результатами MGS и MAVEN, *Космические Исследования*, 2021, Т. 59, № 6, С.. 504-518. DOI: 10.31857/S0023420621060017. , IF= 1.86, Q4.
39. Воробьев В. Г., О. И. Ягодкина, Е. Е. Антонова, Давление ионов в области высыпаний дневного низкоширотного граничного слоя. *Известия РАН. Серия физическая*, 2021, том 85, № 3, с. 336–340. doi: 10.31857/S0367676521030315
40. Голубь А.П., Попель С.И. Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности Фобоса // *Письма в ЖЭТФ*. 2021. Т. 113. № 7. С. 440-445. (Q3 IF 1.53)
41. Голубь А.П., Попель С.И. Нестационарные процессы при формировании пылевой плазмы у поверхности спутника Марса – Деймоса // *Физика плазмы*. 2021. Т. 47. № 8. С. 741-747. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0367292121070088> (Q4)
42. Думин Ю.В. О влиянии межатомных взаимодействий на эффективность ридберговской блокады // *Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия*. 2021. № 6. С. 12-18.
43. Заславская Р.М., Тейблум М.М. Проблема воздействия космической и земной погоды в экстремальных условиях. *The scientific heritage*. 2021. №58, Р. 11-19. Венгрия. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-58-2-11-19



44. Заславская Р.М., Щербань Э.А., Тейблом М.М. Влияние метеорологических и геомагнитных факторов на сердечно-сосудистую систему. *International Independent Scientific Journal*. 2021, №23, Р. 5-15. Польша.
45. Заславская Р.М., Щербань Э.А., Тейблом М.М. Оценка метеорологических и геомагнитных реакций мозгового кровотока методом транскраниальной доплерографии. *Annali d' Italia*. 2021, №15, Р.45-51. Италия.
46. Заславская Р.М., Щербань Э.А., Тейблом М.М. Взаимодействие погодных факторов с нормальным и пограничным уровнем артериального давления. *Osterreichisches multiscience journal*. 2021. № 37. Р. 9-15. Австрия.
47. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Бисерные молнии как стохастические структуры электростатических возмущений и динамика вихрей. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021. № 1. С. 46–50. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13172> (РИНЦ)
48. Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. Электростатические возмущения неоднородной плазмы, вихревые структуры и космические лучи. *Евразийское Научное Объединение*. 2021. № 1(71). С. 31–34. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4526601> (РИНЦ)
49. Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Громов С.В., Л.М. Малышева С.В. Высокоширотные геомагнитные возмущения и продольные токи в восстановительную фазу большой магнитной бури 21-26 июня 2015 г. // *Геомагнетизм и Аэрoномия*, 2021, том 61, № 4. С. 257-467. <https://doi.org/10.31857/S0016794021040076> (Q4)
50. Копнин С.И., Попель С.И. Пылевые звуковые солитоны в плазме запыленной экзосферы Луны // *Письма в ЖТФ*. 2021. Т. 47. № 9. С. 29-32. DOI: <https://doi.org/10.21883/PJTf.2021.09.50904.18660> (Q4 IF 0.714)
51. Левашов Н. Н., В.Ю. Попов, Х. В. Малова, Л. М. Зеленый, Исследование процессов ускорения заряженных частиц в турбулентной космической плазме с перемежаемостью, *Ученые Записки Физического Факультета Московского Университета* №4, С. 2140802-1 2140802–6 (2021), <http://uzmu.phys.msu.ru/toc/2021/4>
52. Леоненко М. В., Е. Е. Григоренко, Л. М. Зеленый, Пространственные масштабы свертонких токовых слоев по наблюдениям спутников MMS в хвосте магнитосферы Земли, *Геомагнетизм и Аэрoномия*, Т.61, №5, 583-591, doi: 10.31857/S0016794021050096, 2021 (Q4).
53. Мингалев О.В., П.В. Сечко, М.Н. Мельник, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.М. Мерзлый, Силовой баланс в токовых слоях в бесстолкновительной плазме, *Солнечно-земная физика*, (2021), Т. 7, № 2, С. 12–23. DOI: 10.12737/szf-72202102. (Q4)
54. Морозова Т.И., Попель С.И. Модуляционное взаимодействие в пылевой плазме хвостов метеороидов // *Геомагнетизм и аэрoномия*. 2021. Т. 61. № 6. С. 794-802. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016794021060122> (Q4 IF 0.701)
55. Москалева А.В., Рязанцева М.О., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Вариации направления потока в различных типах течения солнечного ветра. *Солнечно-земная физика*, 2021, 7 (4), <https://doi.org/10.12737/szf-74202102> (Q4,IF 0.417)
56. Nechaeva A.B., Sharykin I.N., Zimovets I.V., Chen F. Relationship of the horizontal gradient of the vertical magnetic field with the horizontal electric current on the photosphere in a model active region of the sun // *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 61, No. 7, pp. 956-963, 2021. Квартиль Q4 (WoS). Impact Factor 2021 (<https://impactfactorforjournal.com/>): 0.701. DOI: 10.1134/S0016793221070148

57. Пилипенко В.А., Федоров Е.Н., Мазур Н.Г., Климов С.И. Электромагнитное «загрязнение» околоземного космического пространства излучением ЛЭП. Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 3. С. 3–12. DOI: 10.12737/stp-73202107 (Q4)
58. Рябова С.А., Шалимов С.Л. О вариациях параметров плазмы ионосферы, наблюдаемых посредством ионозонда и на магнитной станции в диапазоне периодов планетарных волн // Физика Земли. 2021. № 6. С. 122-130. DOI: 10.31857/S0002333721060065 (IF 1.144; WoS, Q4)
59. Савин С.П., Ляхов В.В., Нецадим В.М., Зеленый Л.М., Немечек З., Шафранкова Я., Климов С.И., Скальский С.А., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ванг Ч., Ли Х., Бленцки Я., Рош Ж.-Л., Козак Л., Суворова А., Лежен Л.А. Собственные колебания границы магнитного барьера, обтекаемого плазмой: мембранная модель границы, линейные и нелинейные резонансы и связи с внутренними модами. ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 2, стр. 339–349. DOI: 10.31857/S0044451021020139 Q3
60. Синевич А.А., Чернышов А.А., Чугунин Д.В., Милох В.Я., Могилевский М.М. «Исследование мелкомасштабной структуры поляризационного джета во время геомагнитной бури 20 апреля 2018 г» Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 1. С. 21–33. DOI:10.12737/szf-71202103. [http://ru.iszf.irk.ru/images/5/5b/812722\\_21-33.pdf](http://ru.iszf.irk.ru/images/5/5b/812722_21-33.pdf) (Q4)
61. Синевич А.А., Чернышов А.А., Чугунин Д.В., Милох В.Я., Могилевский М.М. «Пространственная структура поляризационного джета по данным спутников NorSat-1 и Swarm». Космические исследования. 2021. Т. 59. № 6. С. 489-497. DOI:10.31857/S0023420621060091 (Q4)
62. Хохлачев А.А., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г. Вариации протонов и дважды ионизированных ионов гелия в солнечном ветре. Космические Исследования, 2021, 59 (6), 443-453, <https://doi.org/10.31857/S0023420621060029> (Q4, IF 0.480)
63. Царёва О.О., В.Ю. Попов, Х.В. Малова, Л.М. Зеленый / Аналитическая двумерная модель магнитосферы планеты // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. No. 5, С. 29–33. (2021)
64. Neishtadt, A., Sheng, K., Sidorenko, V. (2021) Stability analysis of apsidal alignment in double-averaged restricted elliptic three-body problem. Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, 133(10), 45. DOI: 10.1007/s10569-021-10042-8. (Q2 IF 2.121) (РФФИ 20-01-00312А)
65. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Анализ поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута межпланетной ударной волны. Геомагнетизм и аэрономия, 2021, 61 (5), 560-571, <https://doi.org/10.31857/S0016794021050047> (Q4, IF 0,63) РФФИ 19-02-00177
66. Климов С.И., В.А. Грушин, К. Балайти, [Д. Бачваров], С.М. Беляев, Я. Бергман, [Л. Боднар], Ч. Ференц, К. Георгиева, М.-П. Гаф, А.Б. Беликова, Л.Д. Белякова, Т.В. Гречко, В.П. Коношенко, [Ю. Юхневич], В.Е. Корепанов, Б. Киров, О.В. Лапшинова, Я. Лихтенбергер, А. Марусенков, М. Моравски, Я.З. Надь, [Р. Недков], [С. Нейчев], Д.И. Новиков, В.Г. Родин, Х. Роткель, Г. Станев, Ш. Салаи, П. Сегеди. Исследования в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды в эксперименте «Обстановка (1 этап)» на Российском сегменте МКС. Космическая техника и технологии № 1(32)/2021, стр. 20-41. DOI 10.33950/spacetech-2308-7625-2021-1-20-41 РФФИ
67. Струминский А.Б., И. Ю. Григорьева, Ю. И. Логачев, А. М. Садовский «Связь между длительностью и величиной ускорения корональных выбросов массы» Геомагнетизм и



- Аэрономия, том 61, № 6, с. 683–693, 2021. Квартиль Q4 (WoS). DOI: 10.31857/S001679402105014X. (РФФИ 19-02-00264) (Струминский – Плазма)
68. Струминский А.Б., И.Ю. Григорьева, Ю.И. Логачев, А.М. Садовский, «Солнечные электроны и протоны во вспышках с выраженной импульсной фазой», Известия РАН, Серия Физическая, том 83, № 8, С. 1180. 2021. DOI: 10.31857/S0367676521080305 . (РФФИ 19-02-00264) (Струминский – Плазма)
  69. Fedotova, M., Klimachkov, D., Petrosyan, A., Variable Density Flows in Rotating Astrophysical Plasma. Linear Waves and Resonant Phenomena, Universe, 7, p. 87, 2021, <https://doi.org/10.3390/universe7040087> (2020), (General Physics and Astronomy) (Q3 IF 2.278) (РФФИ 19-02-00016)
  70. Artemyev, A. V., Demekhov, A. G., Zhang, X.-J., Angelopoulos, V., Mourenas, D., Fedorenko, Y. V., et al. (2021). Role of ducting in relativistic electron loss by whistler-mode wave scattering. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2021JA029851. doi:10.1029/2021JA029851 (Q2 IF 2.811) (Мин. Обр. ААААА181180124901007)
  71. Nakariakov V.M., Anfinogentov S.A., Antolin P., Jain R., Kolotkov D.Y., Kupriyanova E.G., Li D., Magyar N., Nistico G., Pascoe D.J., Srivastava A.K., Terradas J., Vasheghani Farahani S., Verth G., Yuan D., Zimovets I.V. Kink oscillations of coronal loops // Space Science Reviews, Vol. 217, Iss. 6, article id.73, 2021. (Q1 IF 8.017) (РНФ РФФИ) (Зимовец – Плазма)
  72. Zimovets I.V., McLaughlin J.A., Srivastava A.K., Kolotkov D.Y., Kuznetsov A.A., Kupriyanova E.G., Cho I.-H., Inglis A.R., Reale F., Pascoe D.J., Tian H., Yuan D., Li D., Zhang Q.M. Quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares: a review of underpinning physical mechanisms and their predicted observational signatures // Space Science Reviews, Vol. 217, Iss. 5, article id.66, 2021. (Q1 18.017) DOI: 10.1007/s11214-021-00840-9 (РНФ РФФИ) (Зимовец ПЛАЗМА)
  73. Кузьмин А.К., Мерзлый А.М., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Садовский А.М., Позин А.А., Щукин Ю.А., Потанин Ю.Н., Основы перспективной методики комплексных исследований влияния авроральных характеристик полярной ионосферы на условия распространения трансполярных сигналов. Обзор зарубежных экспериментов и результаты некоторых моделей. // «Гелиогеофизические исследования» 2021. № 32. С. 3-60. doi 10.54252/2304-7380\_2021\_32\_3
  74. Retinò Alessandro, Yuri Khotyaintsev, Olivier Le Contel, ..., Anatoli Petrukovich, ... Particle energization in space plasmas: towards a multi-point, multi-scale plasma observatory. Exp Astron (2021). <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09797-7> (Q3)