

Список работ, подаваемых на конкурс ИКИ (Малова, Григоренко, Попов, Зеленый, Петрукович, Кислов).

В номинации «цикл работ»:

1) Malova H.V., Popov V.Yu, Grigorenko E.E., Petrukovich A.A., Delcourt D., Sharma A.S., Khabarova O.V., Zelenyi L.M., Evidence for Quasi-adiabatic Motion of Charged Particles in Strong Current Sheets in the Solar Wind, *Astrophysical Journal*, т. 834, № 34, с. 1-9, 2017, DOI: [10.3847/1538-4357/834/1/34](https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/1/34), 2017;

2) Delcourt D.C., Malova H.V., Zelenyi L.M., On the response of quasi-adiabatic ions to magnetotail reconfigurations, *Annales Geophysicae*, v. 35, № 1, p. 1-13, DOI: [10.5194/angeo-35-11-2017](https://doi.org/10.5194/angeo-35-11-2017), 2017.

3) Мингалев О.В., И.В. Мингалев, Х.В. Малова*,**, М.Н. Мельник, Л.М. Зелёный, Система уравнений для описания бесстолбовительной плазмы в электронейтральном безызлучательном приближении, *Физика Плазмы*, Т.43, №10, С. 837-849, 2017 (Engl. Transl. O. V. Mingalev, I. V. Mingalev, H. V. Malova, M. N. Melnik, and L. M. Zelenyi, System of Kinetic Equations Describing Large-Scale Processes in Collisionless Space Plasma, *Plasma Physics Reports*, 2017, Vol. 43, No. 10, pp. 1004–1015. 2017).

4) Khabarova Olga V., Malova Helmi V., Kislov Roman A., Zelenyi Lev M., Obridko Vladimir N., Kharshiladze Alexander F., Munetoshi Tokumaru, Sokol Justyna M., Stan Grzedzielski, High-latitude Conic Current Sheets in the Solar Wind, *Astrophysical Journal*, v. 836, № 1, p. 1-14, 2017, DOI: [10.3847/1538-4357/836/1/108](https://doi.org/10.3847/1538-4357/836/1/108), 2017;

5) Попов В.Ю., Х.В. Малова, Е.Е. Григоренко, О.В. Хабарова, Л.М. Зеленый, А.А. Петрукович, Моделирование квазиadiaбатической динамики плазмы в токовых слоях солнечного ветра, *Ученые Записки Физического Факультета*, Т. 4, 1740705-1 - 1740705-5 (2017)

6) Кислов Р.А., МГД–модель высокоширотного токового слоя в гелиосфере. *Ученые Записки Физического Факультета*, Т. 4, С. 1740704-1 - 1740704-9 (2017)

Цикл работ на тему: Структура и динамика токовых слоев в космической плазме

1. Авторы – сотрудники ИКИ РАН:

Malova H.V., Popov V.Yu, Grigorenko E.E., Petrukovich A.A., Zelenyi L.M.

другие авторы:

Delcourt D., Sharma A.S., Khabarova O.V.

2. Название

Evidence for Quasi-adiabatic Motion of Charged Particles in Strong Current Sheets in the Solar Wind

3. Ссылка на публикацию

DOI: [10.3847/1538-4357/834/1/34](https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/1/34)

4. Общая формулировка проблемы.

Исследована квазиadiaбатическая динамика заряженных частиц в сильных токовых слоях (СТС) в солнечном ветре, в том числе, в гелиосферном токовом слое (ГТС). Построена самосогласованная гибридная модель СТС, в которой динамика ионов может быть описана в рамках квазиadiaбатического приближения, в то время как электроны замагничены, их движение рассматривается с помощью приближения ведущего центра.

Моделирование показало, что профили СТС определяются относительными вкладами двух токов: (i) тока размагниченных ионов, движущихся вдоль квазиadiaбатических орбит, и (ii) электронными дрейфовыми токами. По своей структуре СТС, наблюдаемые на расстояниях порядка 1 АЕ, представляют собой многомасштабные конфигурации, состоящие из тонких токовых слоев толщиной $\sim 10^4$ км, вложенных внутрь более толстого плазменного слоя толщиной порядка 10^5 и более км. Показано, что подобная многомасштабная структура является внутренним свойством СТС в солнечном ветре.

Актуальность. Актуальность состоит в необходимости объяснения наблюдаемых данных, которые поступают со спутников в солнечном ветре.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение.

В работе решалась задача интерпретации наблюдаемых в солнечном ветре тонких токовых структур (включая гелиосферный токовый слой) и механизмов их формирования.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Рассмотрение проведено в рамках гибридной модели многомасштабного токового слоя с изотропным распределением давления, внутри которого вложен предельно тонкий токовый слой с квазиadiaбатической динамикой протонов и анизотропным тензором давлений. Использованы данные STEREO-A для анализа и сопоставления с результатами моделирования.

7. Полученные результаты и их значимость.

Найдено объяснение механизма формирования тонкого гелиосферного и окружающих его сильных токовых слоев как структур, в которых ток в слое поддерживается квазиadiaбатическими протонами и дрейфовыми электронными токами.

1. Авторы – сотрудники ИКИ РАН:

Malova N.V., Zelenyi L.M.

другие авторы: Delcourt D.C.

2. Название On the response of quasi-adiabatic ions to magnetotail reconfigurations

3. Ссылка на публикацию DOI: 10.5194/angeo-35-11-2017

4. Общая формулировка проблемы.

Исследована квазиadiaбатическая динамика частиц в условиях быстрой перестройки хвоста магнитосферы

Актуальность. Задача изучения динамики частиц в токовых слоях в нестационарных условиях актуальная и имеет большое значение для интерпретации данных наблюдений.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение.

Впервые рассмотрена задача о квазиadiaбатическом поведении частиц в условиях, когда магнитная конфигурация резко меняется, например, магнитное плечо хвоста магнитосферы испытывает диполизацию.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

В работе использован метод трассирования частиц в заданном магнитном поле токового слоя с нестационарным поведением. Оригинальность метода состоит в новом подходе к вычислению усредненного параметра адиабатичности κ , который в нестационарных условиях невозможно определить. Однако усредненное значение параметра κ , как оказалось, дает важную информацию о динамике заряженных частиц.

7. Полученные результаты и их значимость.

Исследована динамика квазиadiaбатических частиц в ответ на изменение конфигурации магнитных силовых линий хвоста магнитосферы. Хотя частицы пересекают область резкого

изменения поля с характерным масштабом длины меньше их ларморовских радиусов, они испытывают пренебрежимо малые изменения магнитных моментов. Исследована устойчивость такого квазиadiaбатического поведения в присутствии сильного изменяющегося электрического поля, индуцированного магнитным полем реконфигурации магнитных линий (происходящей во взрывной фазе суббури). Показано, что, короткоживущее электрическое поле может привести к существенному неadiaбатическому нагреву частиц, при этом квазиadiaбатичность сохраняется для тех из них, чьи скорости больше скорости дрейфа $E \times B$. Из-за изменяющегося во времени магнитного поля, использование параметра адиабатичности κ для описания движения частиц затруднено. Поэтому значения параметра κ рассчитываются усреднено при пересечении частицами экваториальной плоскости. Показано, что частицы, пересекающие область изменения магнитного поля на ранней стадии реконфигурации, могут испытывать сильно энергизуются и быстро колеблются в направлении, нормальном к экваториальной плоскости. Напротив, частицы, взаимодействующие с меняющимся полем на поздней стадии, приобретают меньшие энергии и медленнее осциллируют. Показано, что ускорение квазиadiaбатических частиц при нестационарных магнитоплазменных процессах может приводить к энергетической и временной дисперсиям на низких широтах, что и наблюдается в пограничном плазменном слое. Данные результаты являются новыми и имеют большое значение в понимании динамики плазмы в течение быстрых конфигурационных изменений хвоста магнитосферы Земли.

1. Авторы – сотрудники ИКИ РАН:

Х.В. Малова, Л.М. Зелёный

другие авторы: Мингалев О.В., И.В. Мингалев, М.Н. Мельник,

2. Название Система уравнений для описания бесстолкновительной плазмы в электронейтральном безызлучательном приближении

3. Ссылка на публикацию DOI: 10. 7868/S036729211710002X

4. Общая формулировка проблемы.

Сформулирована система уравнений Власова-Максвелла, позволяющая в Дарвинском приближении решать самосогласованные задачи в космической плазме. Приближенный подход позволяет найти численные решения для сложных магнитоплазменных конфигураций.

Актуальность. Задача крайне актуальная для всех физиков, занимающихся численными моделями в плазме, поскольку подобный подход предложен впервые.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение.

Решается задача построения самосогласованной системы уравнений Власова – Максвелла с учетом медленных волновых процессов в системе и замагниченных бoльцмановских электронов.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Это аналитическая разработка, основанная на построении самосогласованной системы уравнений Власова-Максвелла в Дарвинском приближении.

7. Полученные результаты и их значимость.

В работе выводится система кинетических уравнений, описывающая достаточно медленные крупномасштабные процессы в бесстолкновительных магнитоплазменных структурах с пространственным разрешением порядка характерного ионного гирорадиуса. В этой системе плазма считается квазинейтральной, магнитное и электрическое поля определяются текущими распределениями концентрации, плотности тока и тензора напряжений всех плазменных компонент в приближении мгновенного дальнего действия. Получен вариант системы уравнений для случая замагниченных электронов, описываемых уравнением Власова в дрейфовом приближении. Полученные системы уравнений могут быть применены для разработки как глобальной численной

кинетической модели земной магнитосферы с пространственным разрешением около 100 км, так и аналогичных локальных моделей отдельных областей земной магнитосферы с более высоким разрешением.

1. Авторы – сотрудники ИКИ РАН:

Malova Helmi V., Kislov Roman A., Zelenyi Lev M

другие авторы: **Khabarova O.V., Obridko V.N., Kharshiladze A.F., Munetoshi T., Sokol J.M., Grzedzielski S.,**

2. Название High-latitude Conic Current Sheets in the Solar Wind

3. Ссылка на публикацию DOI: 10.3847/1538-4357/836/1/108

4. Общая формулировка проблемы.

Необходимо было дать объяснение данным спутника Ulysses при его пересечении некоторой магнитной структуры над Южным солнечным полюсом в 1994 и 2007 годах.

Актуальность. Данная работа является новой и актуальной – впервые объяснены наблюдаемые особенности плазменно-магнитной конфигурации в полюсной области Солнца.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение. С помощью наблюдательных данных показано существование крупномасштабного цилиндрического (или конического) токового слоя на высокой гелиошироте.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Восстановлены линии коронального магнитного поля над южным полюсом Солнца и показано существование долгоживущих низкоскоростных областей, окруженных полярным высокоскоростным солнечным ветром в периоды солнечного минимума. Построена простая МГД модель ЦТС, чтобы проиллюстрировать процесс формирования цилиндрического токового слоя в полярном солнечном ветре.

7. Полученные результаты и их значимость.

С помощью наблюдательных данных показано существование крупномасштабного цилиндрического (или конического) токового слоя (ЦТС) на высокой гелиошироте. Долгоживущий ЦТС был обнаружен спутником Улисс при его пересечении над Южным солнечным полюсом в 1994 и 2007 годах. ЦТС можно было наблюдать на 2-3 а.е. в течение нескольких месяцев. Характерный масштаб ЦТС в несколько раз меньше типичного масштаба корональных дыр. Пересечения характеризуются резким снижением скорости солнечного ветра и бета-плазмы, а также увеличением плотности, характерной для прогнозируемых профилей ЦТС. Улисс несколько раз пересекал один и тот же ЦТС на разных гелиоширотах в 1994 году, так как ЦТС был отклонен от оси вращения и вращался совместно с Солнцем. В 2007 году ЦТС был обнаружен прямо над Южным полюсом и сильно подсвечивался в результате взаимодействия с кометой МакНаута. Восстановление линий коронального магнитного поля показывает появление конических магнитных сепараторов над солнечными полюсами как в 1994, так и в 2007 годах. Анализ данных подтверждает существование долгоживущих низкоскоростных областей, окруженных типичным полярным высокоскоростным солнечным ветром в периоды солнечного минимума. Усиление энергичных частиц до нескольких МэВ/нукл наблюдается по краям ЦТС. Построена простая МГД модель ЦТС, чтобы проиллюстрировать, как ЦТС может сформироваться в полярном солнечном ветре. ЦТС может формироваться благодаря несоосности оси вращения Солнца с магнитной осью, как предсказывалось в модели Фиска-Паркера в модификации Бургера и др.

1. Авторы – сотрудники ИКИ РАН: Попов В.Ю., Х.В. Малова, Е.Е. Григоренко, Л.М. Зеленый, А.А.

другие авторы: О.В. Хабарова

2. Название Моделирование квазиadiaбатической динамики плазмы в токовых слоях солнечного ветра

3. Ссылка на публикацию

<http://uzmu.phys.msu.ru/abstract/2017/4/1740705/>

4. Общая формулировка проблемы.

Моделирование тонкого вложенного слоя в гелиосферном плазменном слое

Актуальность.

Задача новая и актуальная, подобная модель предлагается впервые в мире.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение.

Задача состоит в необходимости построения модели, которая бы позволила провести сравнение модельных результатов и данных, получаемых спутниками в солнечном ветре

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Разработанная гибридная модель является новой и оригинальной.

7. Полученные результаты и их значимость.

Исследуется квазиadiaбатическая динамика заряженных частиц в сильных токовых слоях (СТС) в солнечном ветре (СВ), включая гелиосферный токовый слой (ГТС). Разработана самосогласованная гибридная модель СТС, в которой динамика ионов описывается в рамках квазиadiaбатического подхода, а движение замагниченных электронов рассматривается в приближении ведущего центра. Моделирование показало, что профиль СТС определяется относительным вкладом тока размагниченных протонов на разомкнутых квазиadiaбатических орбитах и дрейфовым током замагниченных электронов. Показано, что универсальной особенностью СТС в СВ является многомасштабная структура, которая представляет собой тонкий токовый слой (ГТС) (шириной ~ 104 км), вложенный в более «толстый» плазменный слой (ПС) (шириной порядка 10^5 км). Эти результаты хорошо согласуются с данными наблюдений СТС на расстояниях ~ 1 а. е.

1. Авторы – сотрудники ИКИ РАН:

Кислов Р.А.

другие авторы:

2. Название МГД–модель высокоширотного токового слоя в гелиосфере

3. Ссылка на публикацию <http://uzmu.phys.msu.ru/abstract/2017/4/1740704/>

4. Общая формулировка проблемы. Построить модель, которая бы описывала основные черты наблюдаемой магнитоплазменной структуры над Солнцем

Актуальность. Задача актуальная и требует построения физической модели

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение.

Построение аналитической модели, которая бы позволила описать наблюдаемое спутниками над южным полюсом Солнца резкое увеличение магнитного поля (по сравнению с окружающим солнечным ветром), концентрации плазмы, электрического поля, температуры, а также провалы в величине скорости солнечного ветра и плазменного бета.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Используются аналитические уравнения для описания цилиндрического равновесия в космической плазме в рамках МГД-приближения

7. Полученные результаты и их значимость.

Построена аналитическая МГД–модель квазистационарного конусообразного токового слоя (магнитной «трубы»), который был обнаружен по данным Ulysses над южным

полюсом Солнца. В рамках стационарной одножидкостной МГД–модели удаётся описать основные черты наблюдаемой структуры: резкое увеличение по сравнению с окружающим солнечным ветром магнитного поля, концентрации плазмы, электрического поля, температуры, а также провалы в величине скорости солнечного ветра и плазменного бета.