

2. Результаты научных исследований по завершённым космическим проектам, полученные российскими учеными в 2014-2015 годах

2.1 Механизм усиления сдвиговой компоненты магнитного поля в тонких токовых слоях внутри замкнутых магнитных конфигураций

Впервые предложена концепция усиления сдвиговой компоненты магнитного поля в тонких токовых слоях внутри замкнутых магнитных конфигураций за счет генерации электрического тока, создаваемого неадиабатическими ионами при взаимодействии со слоем.

Установлено, что при наличии небольшой сдвиговой компоненты магнитного поля (возникающей, например, за счет проникновения в хвост межпланетного магнитного поля) появляется асимметрия север-юг в отражении/преломлении траекторий неадиабатических ионов при взаимодействии со слоем.

При наличии замкнутой магнитной конфигурации (типа плазмоида) электрический ток, создаваемый такими ионами замыкается, формируя токовую петлю, внутри которой сдвиговая компонента магнитного поля усиливается. Данный механизм подтверждается многоспутниковыми наблюдениями CLUSTER динамики ионов и структуры токового слоя в хвосте магнитосферы Земли вблизи области магнитного пересоединения, а также численным моделированием траекторий неадиабатических ионов в токовом слое с реально наблюдаемой магнитной конфигурацией.

Григоренко Е.Е., ИКИ РАН, elenagrigorenko2003@yandex.ru

Малова Х.В., ИКИ РАН, hmalova@yandex.ru

Малыхин А.Ю., ИКИ РАН, anmaurdreg@gmail.com

Зеленый Л.М., ИКИ РАН, lzelenyi@iki.rssi.ru

Публикации

1. Е.Е. Григоренко, Х.В. Малова, А.Ю. Малыхин, Л.М. Зеленый, Возможный механизм усиления и поддержания сдвиговой компоненты магнитного поля в токовом слое хвоста магнитосферы Земли, Физика плазмы, т.41, №1, с. 92-106, 2015.

2. Malova H.V., Mingalev O.V., Grigorenko E.E., Mingalev I.V., Melnik M.N., Popov V.Yu., Delcourt D.C., A.A. Petrukovich, Shen C., Rong D., Zelenyi L.M., Formation of self-organized shear structures in thin current sheets, *J. Geophys. Res., Space Physics*, 120, doi:10.1002/2014JA020974.2015, 2015.
3. E.E. Grigorenko, A. Yu. Malykhin, E.A. Kronberg, Kh.V. Malova, P.W. Daly, Acceleration of ions to suprathermal energies by turbulence in the plasmoid-like magnetic structures, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1002/2015JA021314, 2015.

2.2 Новый тип волновой активности в ионосфере

Предсказано, обнаружено экспериментально и объяснено теоретически новое волновое явление в КНЧ диапазоне частот, наблюдаемое на низких широтах в верхней ионосфере – Ионосферно-отраженные протонные свисты, спектрограмма которых представлена на Рис. 1.

Показано, что формирование ионосферно-отраженных протонных свистов связано со свойствами распространения ионно-циклотронных волн в плазме, содержащей несколько сортов ионов, при котором возможно отражение волн на межиионном гибридном резонансе. Это отражение аналогично хорошо известному отражению свистовых волн вблизи частоты нижнего гибридного резонанса, приводящему к формированию магнитосферно-отраженных свистов.

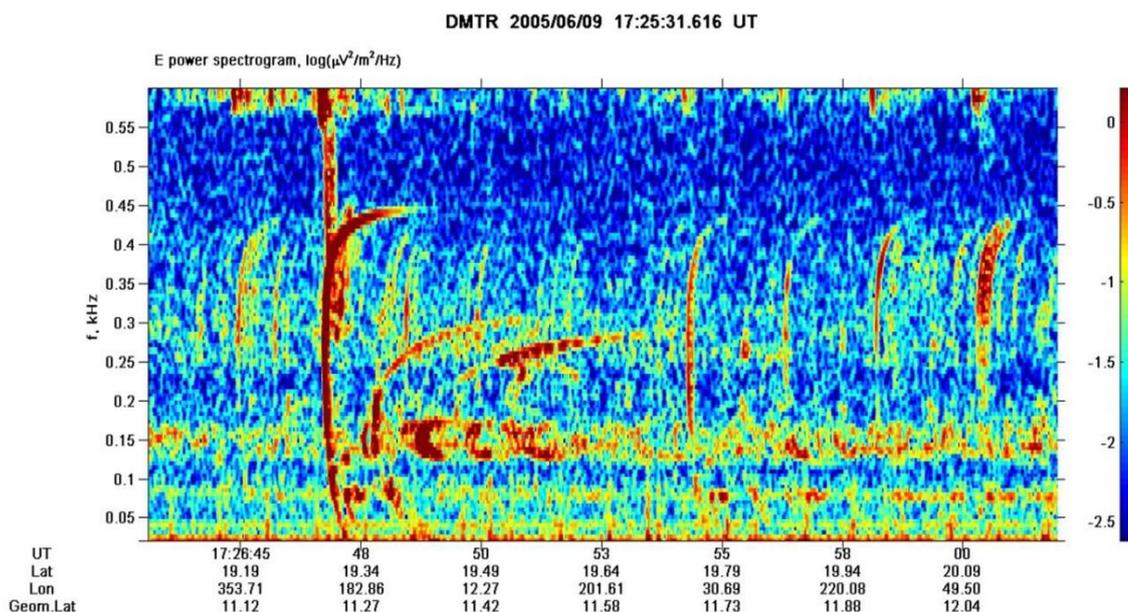


Рис. 1. Различные типы протонных свистов. Ионосферно-отраженный протонный свист – третий интенсивный след слева.

Контакты:

Вавилов Д.И., vavilov86@yandex.ru

Шкляр Д.Р., david@iki.rssi.ru

Публикации

Vavilov, D. I., and D. R. Shklyar (2014), Ionospherically reflected proton whistlers, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, doi:10.1002/2014JA020510

2.3 Создание модели давления плазмы на геоцентрическом расстоянии от 6 до $12R_E$ с использованием данных миссии THEMIS

Создана модель давления плазмы в магнитоспокойных условиях, включающая вклады ионов и электронов на основе анализа данных наблюдений миссии THEMIS.

Глобальная усредненная картина распределения плазмы в экваториальной плоскости получена впервые. Эмпирическая модель включает двумерного распределения давления плазмы в магнитоспокойных условиях в зависимости от динамического давления солнечного ветра и V_z компоненты межпланетного магнитного поля на геоцентрических расстояниях от 6 до $12R_E$.

Двумерное распределение полного плазменного давления для динамического давления солнечного ветра от 0.5 нПа до 2.1 нПа, ММП V_z от -3.5 нТл до 3.5 нТл и соответствующую численную информацию можно свободно получить с сайта <http://stdad.iki.rssi.ru/pressuremodel/pressure.php>.

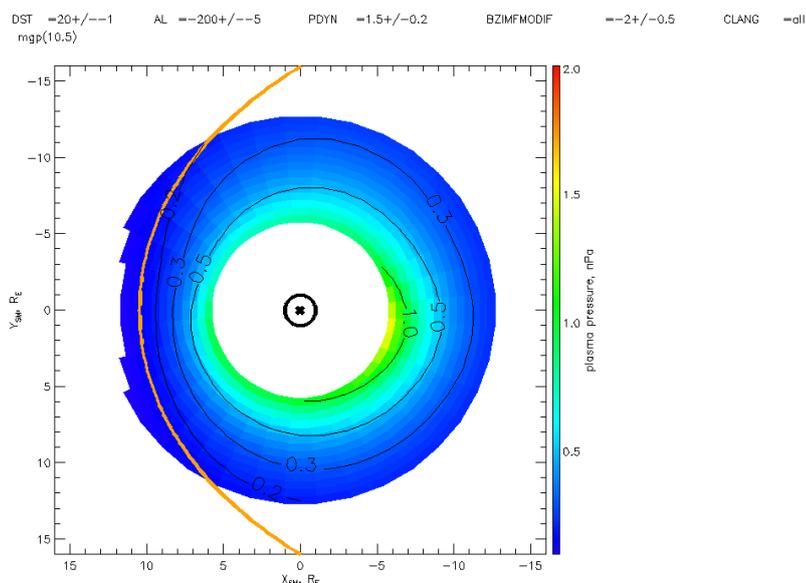


Рис. 1. Показывает пример распределения давления, когда динамическое давление солнечного ветра составляло $P_{din}=1.5$ нПа, а ММП $B_z=-2$ нТл.

Оранжевая кривая на рисунке дает положение магнитопаузы по модели Shue et al. [JGR, 1998, doi:10.1029/98JA01103] model.

Модель использована для решения актуальных проблем физики магнитосферы, включая проецирование аврорального овала на экваториальную плоскость без использования моделей магнитного поля.

Контакты:

Кирпичев И.П., ИКИ РАН, ikir@iki.rssi.ru

Публикации

1. Кирпичев И.П., Антонова Е.Е., Оценка плотности тока и анализ геометрии окружающей Землю токовой системы, *Космические исследования*, том 52, № 1, с. 54–62, DOI: 10.7868/S002342061401004X, 2014.
2. Antonova E.E., I.P. Kirpichev, M.V. Stepanova, Plasma pressure distribution in the surrounding the Earth plasma ring and its role in the magnetospheric dynamics, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Doi:10.1016/j.jastp.2013.12.005, 2014.
3. Антонова Е.Е., В. Г. Воробьев, И. П. Кирпичев, О. И. Ягодкина, Сравнение распределения давления плазмы в экваториальной плоскости и на малых высотах в магнитоспокойных условиях, *Геомагнетизм и аэрономия*, том 54, № 3, с. 300–303, DOI:10.7868/S001679401403002X, 2014.
4. Antonova E. E., V. G. Vorobjev, I. P. Kirpichev, O. I. Yagodkina, Stepanova M. V., Problems with mapping the auroral oval and magnetospheric substorms, *Earth, Planets and Space*, 67:166, DOI:10.1186/s40623-015-0336-6, 2015.

2.4 Анализ внутренней структуры аномалий горячего потока

Аномалии горячего потока представляют собой скопления горячей плазмы, формирующиеся при взаимодействии межпланетных токовых слоёв с ударными волнами. По данным аппарата «Интербол», хвостовой зонд, были отобраны 5 событий, с длительностью, достаточной для анализа внутренней структуры.

Все отобранные аномалии были зарегистрированы при переходе между квази-параллельной и квази-перпендикулярной геометрии ударной волны и с флангов окаймлены собственными отошедшими ударными волнами.

Было обнаружено, что некоторые зоны в аномалиях сходны между собой по свойствам и могут быть различены в каждой из исследованных аномалий. Мы выделили ведущую и замыкающую части, а так же короткую промежуточную область, разделяющую их.

Промежуточная область, по-видимому, является областью взаимодействия токового слоя и ударной волны, где отражённые частицы инжектируются в токовый слой, передавая энергию для формирования торможения и разогрева плазмы тела аномалии.

Путём вычитания измеренной и средней скоростей плазмы были вычислены конвективные скорости. При рассмотрении этих скоростей в системе координат, связанной с нормалью к токовому слою и ударной волне, чётко видно разделение аномалий на 3 части: ведущую, узкую промежуточную и замыкающую.

При анализе пяти аномалий, было выделено два типа конвекции. Аномалии первого типа проявляют группировку конвективных скоростей в направлении от токового слоя по обе стороны. Из закона сохранения импульса была проведена количественная оценка необходимой доли отражённых частиц для формирования аномалии с заданными параметрами.

Для аномалий первого типа доля отражённых частиц составила порядка 25%, что близко для верхней оценки отражения частиц на сильных квази-перпендикулярных ударных волнах. Эта оценка согласуется с предположением о квази-статическом реформировании таких аномалий. Это так же подтверждается конвекцией плазмы в направлении от центральной области.

Аномалии второго типа проявляют группировку конвективных скоростей в направлении вдоль токового слоя по обе стороны от него. Для аномалий второго типа оценка доли отражённых частиц составляет порядка 70%, что не согласуется с предположением о продолжающейся реформации таких структур.

Контакты:

Шестаков А.Ю., ИКИ РАН, sartiom1@yandex.ru

2.5 Атмосферные потери Марса, индуцированные солнечным ветром

Потери атмосферы Марса под воздействием солнечного ветра были обнаружены в 1970-х годах на Марсе-2, -3 и -5 и изучены более подробно на Фобосе-2 и Mars Express.

Были выделены три канала потерь:

1. Захват электрически полем солнечного ветра экзосферных нейтральных атомов, ионизированных солнечным ультрафиолетовым излучением, с образованием марсианской магнитосферы и убегание этих ионов через хвост магнитосферы,
2. Ускорение атмосферных ионов под действием $V \times B$ силы в хвосте магнитосферы, и
3. Утечки ионосферных ионов.

Была найдена зависимость этих потерь от солнечного цикла; при этом потери в максимальной фазе солнечной активности на порядок превышают потери во время минимальной фазы солнечной активности. Средняя величина потери массы, индуцированной солнечным ветром, как следует из четырех десятилетий наблюдений на спутниках Марса, составляет 2×10^{24} тяжелых ионов в секунду.

Потери, вызванные солнечным ветром в течение космогонического времени в 4,5 миллиарда лет сопоставимы с массой марсианской атмосферы в настоящее время. Таким образом, индуцированные солнечным ветром атмосферные потери играют решающую роль в эволюции атмосферы и содержания воды на Марсе.

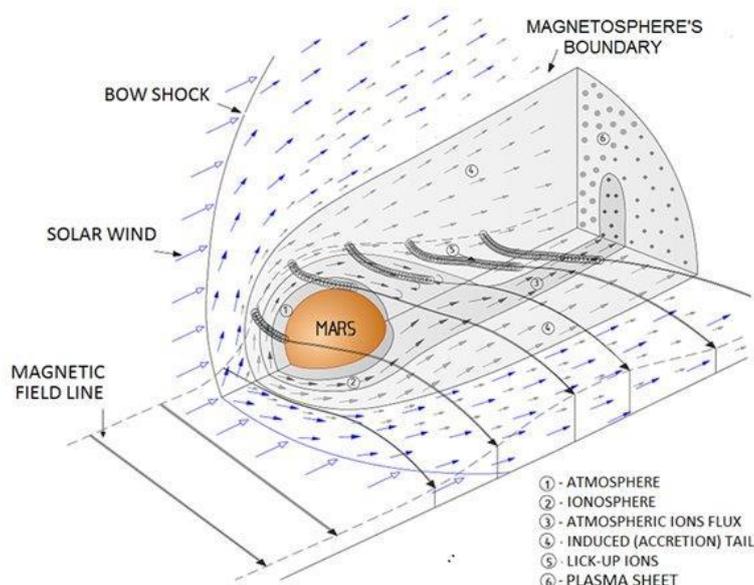


Рис. 1. Модель индуцированной (аккреционной) магнитосферы Марса и атмосферных потерь, индуцированных солнечным ветром.

Контакты:

Вайсберг О.Л., ИКИ РАН, olegv@iki.rssi.ru