

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области Физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей

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.

Раздел 2.1. Теория плазмы. Руководитель академик РАН Л.М. Зелёный.

1. Построение самосогласованной теории относительно тонких токовых слоев (ТТС) в бесстолкновительной плазме с учетом сдвиговой компоненты магнитного поля.

Рассмотрен общий случай глобальной шировой компоненты $B_y = const$. Проведен анализ плазменных равновесий в рамках аналитической и численной моделей, а также сравнение с экспериментальными данными спутников CLUSTER. Показано, что, по сравнению со случаем $B_y = 0$, характер взаимодействия «частица – ТТС» существенным образом меняется в присутствии магнитного шира: «серпантинные» отрезки траекторий ионов в нейтральной плоскости становятся более запутанными, что приводит к утолщению токового слоя. Показано, что асимметрия профилей магнитного поля, плотности плазмы и токов является характерным свойством ТТС в присутствии постоянного магнитного поля B_y .

Malova, N., V. Yu. Popov, O. V. Mingalev, I. V. Mingalev, M. N. Mel'nik, A. V. Artemyev, A. A. Petrukovich, D. C. Delcourt, C. Shen, and L. M. Zelenyi, Thin current sheets in the presence of a guiding magnetic field in the Earth's magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, VOL. 117, A04212, doi:10.1029/2011JA017359, 2012.

Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., гл. спец., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru

Артемяев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

Петрукович Анатолий Алексеевич, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

Зелёный Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

2. Дрейфовые моды в квази-двухмерном токовом слое.

Исследована устойчивость плазменной конфигурации, состоящей из тонкого одномерного токового слоя, вложенного в двухмерный фоновый токовый слой. Рассматриваются дрейфовые моды, развивающиеся в плазме в виде неустойчивых волн вдоль направления тока. Получены дисперсионные соотношения для изгибной и перетяжной мод возмущений в зависимости от соотношения параметров тонкого и фонового токовых слоев. Показано, что присутствие фонового слоя приводит к уменьшению величин инкрементов неустойчивости и существенному увеличению длин волн возмущений. Обсуждается роль дрейфовых мод в раскачке колебаний, наблюдаемых в токовом слое хвоста земной магнитосферы.

Артемяев А.В., Малова Х.В., Попов В.Ю., Зелёный Л.М., Дрейфовые моды в квази-двухмерном токовом слое, *Физика Плазмы*, Т. 38, № 3, С. 231–243, 2012.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., гл. спец., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru
Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru
Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

3. Квазиadiaбатическая динамика ионов в бифурцированном токовом слое.

В работе исследуется динамика ионов в бифурцированных токовых слоях с двумя максимумами плотности тока, наблюдаемых в хвосте земной магнитосферы и в солнечном ветре. Движение ионов описывается гамильтоновой системой с двумя степенями свободы. При этом наличие малого параметра κ , характеризующего отношение амплитуд нормальной к токовому слою компоненты магнитного поля и тангенциальной компоненты, позволяет разделить переменные на быстрые и медленные и ввести квазиadiaбатический инвариант движения I_z . Сохранение этого инварианта позволяет описать динамику заряженных частиц аналитически. Мы исследуем отклонения динамики частиц от квазиadiaбатической, связанные с нарушением сохранения квазиadiaбатического инварианта движения. Показано, что скачок инварианта ΔI_z степенным образом зависит от малого параметра $\Delta I_z \sim \kappa^h$, где степень h изменяется от единицы до $\frac{3}{4}$ в зависимости от степени бифуркации токового слоя. Полученная зависимость ΔI_z от κ совпадает с аналитическими выражениями для предельных случаев небифурцированного и полностью бифурцированного токовых слоёв.

Карцев Ю.И., А.В. Артемьев, Х.В. Малова, Л.М. Зелёный, Квазиadiaбатическая динамика ионов в бифурцированном токовом слое, Физика плазмы, в печати, 2012.

Карцев Юрий Игоревич, студент МФТИ, тел. 333-25-00, kartsev@email.ru
Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru
Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

4. Моделирование токового слоя на электронных масштабах для исследования структуры токового слоя электронной ширины на ранних стадиях магнитного пересоединения.

В рамках электронной МГД модели проведено моделирование токового слоя на электронных масштабах для исследования структуры токового слоя электронной ширины на ранних стадиях магнитного пересоединения. Токовый слой эволюционирует с образованием расщепленной, филаментированной и трижды расщепленной структуры с разной локализацией в токовом слое. Обращение электрического поля вне нейтральной плоскости, которое чувствительно для электронов, приводит к бифуркации токового слоя на периферии, отдельные пики имеют размеры порядка нескольких электронных скин-длин. Последующие неустойчивости бифурцированных токовых слоев приводят к филаментации слоя на периферии и вблизи сепаратрисной области, в то время как трижды расщепленные структуры формируются в области пересоединения. Эти структуры имеют приложения в свете грядущей спутниковой миссии NASA MMS, предназначенной для измерений на пространственных и временных электронных масштабах в магнитосфере.

Jain N., A. S. Sharma, L. M. Zelenyi, and H. V. Malova, Electron scale structures of thin current sheets in magnetic reconnection, *Ann. Geophys.*, 30, 661–666, www.ann-geophys.net/30/661/2012/, doi:10.5194/angeo-30-661-2012, 2012.

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

5. Исследование процессов ускорения и транспорта заряженных частиц в хвосте магнитосферы Нептуна.

Прецессия магнитного диполя Нептуна приводит к сильным динамическим изменениям его магнитосферы, в результате чего она периодически или принимает форму, близкую к земной, или устанавливается в положение «полосом вперед». В настоящей работе проведено исследование влияния превращений магнитной топологии на процессы ускорения и транспорта заряженных частиц вдоль хвоста магнитосферы. Получены энергетические спектры для протонов, проникающих из солнечного ветра и для тяжелых ионов N^+ , приходящих из ионосферы Нептуна. Показано, что протоны и тяжелые ионы ускоряются, соответственно, до энергий ≈ 300 кэВ и ≈ 150 кэВ. Было показано, что преобразование магнитосферы из положения «полосом вперед» до земного типа способствует более активным процессам ускорения, чем в обратном направлении, - так, больше частиц ускоряется и покидает хвост магнитосферы. Обнаружилось также, что частицы покидают хвост, главным образом, через северное полушарие. Проведено сравнение теоретических выводов с экспериментальными данными и найдено качественное сходство в динамике плазмы хвоста.

Vasko I.Y., H.V. Malova, A.V. Artemyev, L.M. Zelenyi, Particle acceleration at Neptune magnetotail, Planetary and Space Science, in press, 2012.

Васько Иван Юрьевич, математик ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoivy@yandex.ru

Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

6. Точные решения для двумерных цилиндрических токовых слоёв.

Построен и исследован класс решений для изотропных двумерных равновесий в рамках кинетической теории. Показано, что форма магнитных силовых линий и плазменных распределений соответствует решениям типа магнитодиска и может быть применено для описания магнитодиска Юпитера.

Vasko I.Y., A.V.Artemyev, L.M.Zelenyi, H.V.Malova, and R.Kislov, Exact solutions of two dimensional cylindrical current sheets (to the structure of Jupiter magneto-disk), Phys. of Plasmas, in press, 2012.

Васько Иван Юрьевич, математик ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoivy@yandex.ru

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

Кислов Роман Анатольевич, студент МФТИ, тел. 333-25-00, kr-rk@bk.ru

7. Численное моделирование движения заряженных частиц в обращенном магнитном поле токового слоя.

Рассмотрены различные численные методы интегрирования траекторий заряженных частиц в сравнительно тонких токовых слоях в космической плазме. Согласно критерию минимальной ошибки выбран метод интегрирования с использованием полупрозрачных шагов, обеспечивающий наилучшую точность сохранения энергии частиц. Проведено исследование траекторий частиц плазмы и структуры фазового пространства при наличии магнитного шира в системе. Продемонстрирована асимметрия сечений Пуанкаре в направлении «север-юг» в зависимости от величины магнитного шира. Проведено

сравнительное исследование профилей магнитного поля, плотности тока и плазмы в токовом слое для плазмы, включающей пролетные и захваченные частицы.

Улькин А.А., Х.В. Малова, В.Ю. Попов, Численное моделирование движения заряженных частиц в обращенном магнитном поле токового слоя, препринт ПР–2115, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований российской академии наук, М., 2012, 56 с.

Улькин Александр Альбертович, студент МФТИ, тел. 333-25-00, alexulkin@gmail.com.
Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru
Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., гл. спец., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru

8. О влиянии продольной неоднородности магнитного поля на структуру тонких токовых слоев в космической плазме.

Построена и исследована модель сравнительно тонкого токового слоя с учетом продольной неоднородности поперечного магнитного поля B_z . Показано, что нелинейная динамика заряженных частиц плазмы, зависящая от распределения магнитного поля в тонких токовых слоях, полностью определяет их равновесную структуру. Пролетные ионы являются основными носителями тока в системе и поддерживают практически одномерный токовый слой. В то же время квазизахваченные и захваченные протоны, благодаря сохранению продольных адиабатических инвариантов, перераспределяются вдоль токового слоя таким образом, что их концентрация становится выше в области с более сильным поперечным магнитным полем, а создаваемые ими локальные токи частично компенсируют ток носителей. Электронные токи оказываются более сильными на противоположном крае токового слоя, где величина поперечного магнитного поля меньше. Вследствие этого в этой области профиль плотности тока имеет слоистую структуру: узкий электронный ток вложен в более широкий протонный ток, а вся эта конфигурация вложена в еще более широкий плазменный слой. Приложение полученных результатов к объяснению спутниковых данных обсуждается.

Зеленый Л.М. , В.Ю. Попов и Х.В. Малова, О влиянии продольной неоднородности магнитного поля на структуру тонких токовых слоев в космической плазме, Ученые Записки Физического факультета МГУ, №1, с. 120104-1- 120104-8, 2012.

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru
Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., гл. спец., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru
Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

9. Адиабатический нагрев электронов в токовых слоях в хвосте магнитосферы.

По данным спутниковой миссии Cluster рассмотрено распределение электронов в токовом слое в хвосте магнитосферы Земли. Использована статистика 70 быстрых (менее 10 минут) и 12 медленных (более чем 1 час) пересечений горизонтальных токовых слоев. Показано, что для обоих типов токовых слоев электронная температура уменьшается с увеличением магнитного поля $|B_x|$ вдали от центра токового слоя. Использовано приближение $T_{e\perp}/T_{e\perp\max} \approx 1 - \alpha_{T\perp}(B_x/B_{ext})^2$ и $T_{e\parallel}/T_{e\parallel\max} \approx 1 - \alpha_{T\parallel}(B_x/B_{ext})^2$, где B_{ext} - величина B_x в магнитосферных долях. Для статистики быстрых пересечений тонких токовых слоев получены средние значения $\langle \alpha_{T\perp} \rangle \approx \langle \alpha_{T\parallel} \rangle \approx 1$. Для толстых токовых слоев (медленные пересечения) также получены $\langle \alpha_{T\perp} \rangle \approx \langle \alpha_{T\parallel} \rangle$, но $\langle \alpha_{T\perp} \rangle, \langle \alpha_{T\parallel} \rangle > 1$. Анизотропия электронных температур порядка $T_{e\parallel}/T_{e\perp} = 1.1 - 1.2$, и данное соотношение не меняется вдоль слоя. Наблюдаемые вертикальные распределения $T_{e\parallel}$ и $T_{e\perp}$ описаны в рамках аналитической модели электронного нагрева в процессе конвекции к Земле в тонких

токовых слоях с ($B_x(z)$, $B_z(x)$) и в толстых токовых слоях с ($B_x(x, z)$, $B_z(x, z)$). Также показано, что наблюдаемая анизотропия электронных температур поддерживается популяцией электронов с энергиями 50 эВ - 3 кэВ. Холодное ядро электронного распределения (<50 eV) является изотропным, а горячий хвост (>5 keV) имеет $T_{e\parallel}/T_{e\perp} \sim 1$ или даже $T_{e\parallel}/T_{e\perp} < 1$. Рассмотрен тензор электронного давления в наблюдаемом тонком токовом слое и показано, что распределение электронов по скоростям является гиротропным с высокой точностью.

Artemyev, A. V.; Petrukovich, A. A.; Nakamura, R.; Zelenyi, L. M., Adiabatic electron heating in the magnetotail current sheet: Cluster observations and analytical models, *Journal of Geophysical Research*, Volume 117, Issue A6, CiteID A06219, 2012, DOI:10.1029/2012JA017513.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Петрукович Анатолий Алексеевич, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru
Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

10. Устойчивость токовых слоёв в солнечной короне.

Работа посвящена исследованию неустойчивых мод колебаний квазидвухмерного токового слоя со сдвиговой компонентой магнитного поля в условиях, характерных для солнечной короны. Для получения дисперсионных соотношений используется линеаризованная система МГД уравнений. Показано, что симметричные моды осцилляции токового слоя модулируют его толщину вдоль линии инверсии полярности магнитного поля. На основе полученных результатов предложен сценарий, описывающий квазипериодические пульсации в рентгеновском диапазоне и перенос источника излучения вдоль линии инверсии магнитного поля.

Artemyev, A.; Zimovets, I., Stability of Current Sheets in the Solar Corona, *Solar Physics*, Volume 277, Issue 2, pp.283-298, 2012, DOI:10.1007/s11207-011-9908-1.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

11. Двойные степенные спектры энергичных электронов в хвосте магнитосферы Земли.

В работе рассмотрена задача формирования спектра ускоренных электронов в окрестности X-линии. Разработана аналитическая модель, включающая эффекты захвата электронов вблизи от X-линии электростатическими полями и соответствующее серфотронное ускорение. Учтён набор энергии за счёт ускорения спайсеровских частиц, бетатронного и Ферми механизмов. В работе показано, что серфотронное ускорение и адиабатический нагрев приводят к формированию двойного степенного распределения частиц по энергиям в соответствии с предыдущими исследованиями. Получена оценка на энергию излома спектра ~150 кэВ. Мы провели сравнение теоретических оценок и данных спутниковых наблюдений в хвосте земной магнитосферы и показали, что наблюдаемые двойные степенные спектры могут быть описаны предложенной моделью. В рамках работы были также оценены релятивистские эффекты и роль мелкомасштабных флуктуаций магнитного поля: показано, что ускорение релятивистских частиц более устойчиво, в то время как флуктуации магнитного поля с амплитудами, типичными для хвоста земной магнитосферы, не могут существенно повлиять на ускорение частиц.

Artemyev A.V., Hoshino M., Lutsenko V.N., Petrukovich A.A., Imada S., Zelenyi L.M. Double power-law spectra of energetic electrons in the Earth magnetotail. 2012. Ann. Geophys., in press.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

Луценко Вольт Николаевич, в. н. с., к.ф.-м. н., т. 333-2000, vlutsenk@iki.rssi.ru

Петрукович Анатолий Алексеевич, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

12. Обзор по пересоединению магнитных силовых линий.

В статье рассмотрены основные типы магнитного пересоединения в плазме, а также имеющиеся на сегодняшний день модели пересоединения и их приложения к космической плазме.

Зеленый Л.М., Малова Х.В. Пересоединение магнитных силовых линий, Большая Российская энциклопедия, принято к печати, 2012.

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

13. Модель магнитодиска Юпитера.

В рамках МГД приближения построена равновесная аксиально-симметричная модель магнитодиска Юпитера с учетом процессов коротации плазмы и влияния центробежной силы. Модель построена для двух случаев: 1) предполагается, что плазма магнитодиска имеет одинаковую температуру 2) предполагается адиабатическая зависимость плазменного давления от плотности. Получены аналитические выражения, описывающие распределения магнитного поля, плотности тока, температуры и толщины магнитодиска в зависимости от параметров системы: радиального распределения плазменного давления в экваториальной плоскости, величины поперечного магнитного поля в центре слоя и угловой скорости вращения плазмы.

Кислов Р.А., Х.В. Малова, И.Ю. Васько, Модель магнитодиска Юпитера, Вестник МГУ, в печати.

Кислов Роман Анатольевич, студент МФТИ, тел. 333-25-00, kr-rk@bk.ru

Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

Васько Иван Юрьевич, математик ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoiy@yandex.ru

14. Контрастные структуры в космической плазме. Контрастные структуры в галактической и магнитосферной плазме.

Рассмотрен ряд важных и интересных задач современной астрофизики, математической физики и физики плазмы, посвященных исследованию и моделированию эволюции контрастных структур в галактиках и магнитосфере Земли. Представлены разработанные и реализованные в виде комплексов программ эффективные численно-аналитические методы, позволяющие решать широкий класс задач, связанных с нелинейной эволюцией контрастных структур различной природы. Продемонстрировано применение этих методов для решения актуальных задач астрофизики, математической физики и геофизики.

Попов В.Ю. Контрастные структуры в космической плазме. Контрастные структуры в галактической и магнитосферной плазме, монография, Palmarium Academic Publishing

(2012-06-28), ISBN-13:978-3-8473-9593-5, ISBN-10:3847395939, EAN:9783847395935, 2012, 284 с.

Попов Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., гл. спец., тел. 333-25-00, masterlu@mail.ru

15. Ускорение частиц в хвосте магнитосферы и в зоне аврорального ускорения.

Рассмотрены процессы ускорения частиц в хвосте магнитосферы и процессы, усиливающие высыпания частиц из хвоста в ионосферу посредством электрических полей в зоне аврорального ускорения. Опубликован обзор, в котором последовательно доказывается, что ускорение частиц в хвосте магнитосферы тесно связано со суббурями и магнитным пересоединением. Обсуждаются основные достижения в понимании процессов ускорения, полученные на основе простых аналитических моделей, МГД – моделей, трассирования частиц, а также полных электромагнитных кодов. Сделан обзор недавних достижений, которые подчеркивают роль параллельных электрических полей, возникающих при квазистационарных Альфеновских процессах.

Birn, J.; Artemyev, A. V.; Baker, D. N.; Echim, M.; Hoshino, M.; Zelenyi, L. M., Particle Acceleration in the Magnetotail and Aurora, Space Science Reviews, Space Sci Rev (2012) 173:49–102.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

16. Ускорение ионов при взаимодействии с фронтом диполизации в хвосте земной магнитосферы: теория и спутниковые наблюдения.

В работе рассмотрен механизм ускорения ионов при взаимодействии с фронтом диполизации в хвосте земной магнитосферы. В рамках работы была собрана статистика наблюдение фронтов диполизации спутником Interball-tail за три года с 1995 по 1998 (всего 51 событие). Было показано, что в непосредственной близости от фронтов диполизации наблюдаются всплески энергичных ионов с энергиями в диапазоне 100-200 кэВ. Предложена аналитическая модель резонансного взаимодействия ионов с фронтом диполизации, описывающая наблюдаемые эффекты ускорения. Сопоставление моделей и наблюдений позволило оценить пространственный масштаб неоднородности магнитного поля диполизационных фронтов вдоль направления утро-вечер, R_y . Для собранной статистики данный масштаб в среднем составляет $\langle R_y \rangle \sim 6R_E$.

Artemyev A. V., V. N. Lutsenko, and A. A. Petrukovich. Ion resonance acceleration by dipolarization fronts: analytic theory and spacecraft observation. Ann. Geophys., 30, 317–324, 2012.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Луценко Вольт Николаевич, в. н. с., к.ф.-м. н., т. 333-2000, vlutsenk@iki.rssi.ru
Петрукович Анатолий Алексеевич, д.ф.-м.н., тел. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

17. Рассеяние электронов во внешнем радиационном поясе Земли за счёт их взаимодействия с вистлерными волнами.

В работе рассмотрены вопросы рассеяния электронов во внешнем радиационном поясе Земли за счёт их взаимодействия с вистлерными волнами, распространяющимися под углом к внешнему магнитному полю на L-оболочке ~ 4.5 . Мы использовали статистику наблюдений космической миссии Cluster для того, что бы получить функцию распределения углов φ между направлением распространения волн и внешним магнитным полем. В соответствии с данными наблюдений, среднее значение и дисперсия

распределения q быстро растут с ростом магнитной широты. Отклонение распространения волн от параллельного приводит к существенному росту коэффициентов питч-угловой диффузии по сравнению с результатами, полученными в приближении параллельного распространения. Данный эффект роста коэффициентов диффузии наиболее существенен для электронов с малыми питч-углами (вблизи от конуса потерь) и может привести к уменьшению времени жизни электронов в радиационных поясах. В рамках работы мы показали, что рост коэффициентов диффузии может быть объяснён ростом вклада от резонансов на высоких гармониках.

Artemyev, A.; Agapitov, O.; Breuillard, H.; Krasnoselskikh, V.; Rolland, G., Electron pitch-angle diffusion in radiation belts: The effects of whistler wave oblique propagation, *Geophysical Research Letters*, Volume 39, Issue 8, CiteID L08105, 2012, DOI:10.1029/2012GL051393.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

18. Характерные временные масштабы квазилинейной диффузии электронов для низкочастотных вистлерных волн.

Работа посвящена аналитическому и численному исследованию рассеяния электронов во внешнем радиационном поясе Земли за счёт резонансного взаимодействия с вистлерными волнами. Мы используем статистические данные наблюдений спутниковой миссии Cluster для восстановления распределения углов распространения волн на различных магнитных широтах. В рамках работы получены аналитические выражения для коэффициентов диффузии для низкочастотных вистлерных волн. Данные выражения позволили получить оценки времён жизни электронов с различными энергиями. В работе показано, что наличия волн с углами распространения между углом Жандрана и резонансным углом приводят к существенному увеличению коэффициентов питч-угловой диффузии и к соответствующему уменьшению времён жизни электронов. Аналитические оценки коэффициентов диффузии и времён жизни сопоставлены с численными расчётами, основанными на статистических данных, собранных миссией Cluster. Показано, что аналитические выражения находятся в хорошем соответствии с данными численных расчётов для электронов с энергиями от 100 кэВ до 2 МэВ.

Mourenas D., A. V. Artemyev, J.-F. Ripoll, O. V. Agapitov, and V. V. Krasnoselskikh. Timescales for electron quasi-linear diffusion by parallel and oblique lower-band chorus waves. *J. Geophys. Res.*, V. 117, A06234, doi: 10.1029/2012JA017717, 2012.

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

19. Статистическая модель питч-угловой диффузии во внешнем радиационном поясе Земли.

В работе проведён расчёт коэффициентов питч-угловой диффузии с учётом реалистичных распределений углов распространения волн и реалистичного распределения амплитуд волн на различных магнитных широтах. Работа основана на десятилетней статистике, собранной миссией Cluster. В соответствии с данными спутниковых наблюдений интенсивность волн B_w^2 растёт от экватора с увеличением магнитной широты и существенным образом зависит от локального времени и K_p индекса. Мы сравниваем полученные коэффициенты диффузии с результатами расчётов для волн с параллельным распространением и постоянной амплитудой в 100 рТ. Данное сравнение показывает, что реалистичное распределение амплитуд и углов распространения приводит к существенному увеличению коэффициентов диффузии вблизи от конуса потерь. При этом значения коэффициенты диффузии для экваториальных электронов с большими значениями питч-углов были завышены в предыдущих работах, в которых использовалось

приближение о параллельном распространении. Распределение амплитуд волн свидетельствует о том, что примерно 20% наиболее интенсивных волн почти полностью обеспечивают диффузию по питч-углам, в то время как оставшиеся 80% не могут существенно изменить времена жизни электронов.

Artemyev A., O. Agapitov, V. Krasnoselskikh, H. Breuillard, and G. Rolland. Statistical model of electron pitch angle diffusion in the outer radiation belt. 2012. J. Geophys. Res. 117, A08219, doi:10.1029/2012JA017826

Артемьев Антон Владимирович, м.н.с., к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

20. Исследование трансэкваториальных протонных свистов, наблюдаемых на низких широтах, по данным спутника DEMETER.

На основе шестикомпонентных волновых измерений спутника DEMETER выполнено исследование трансэкваториальных протонных свистов, наблюдаемых на низких широтах (Рис. 1). Показано, что в этом случае механизм формирования протонных свистов не включает трансформацию мод, обусловленную их взаимодействием вблизи частоты “crossover”, хотя изменение поляризации волны остается важным элементом в формировании этого волнового явления. Исследованы поляризация и определены волновые вектора излучения. Показано, что отклонение верхней частоты обрезания спектра от экваториальной протонной гирочастоты обусловлено доплеровским сдвигом. Экспериментальное исследование протонных свистов дополнено изучением распространения ионно-циклотронных волн в многокомпонентной магнитоактивной плазме и численным моделированием спектрограмм в рамках геометрической оптики.

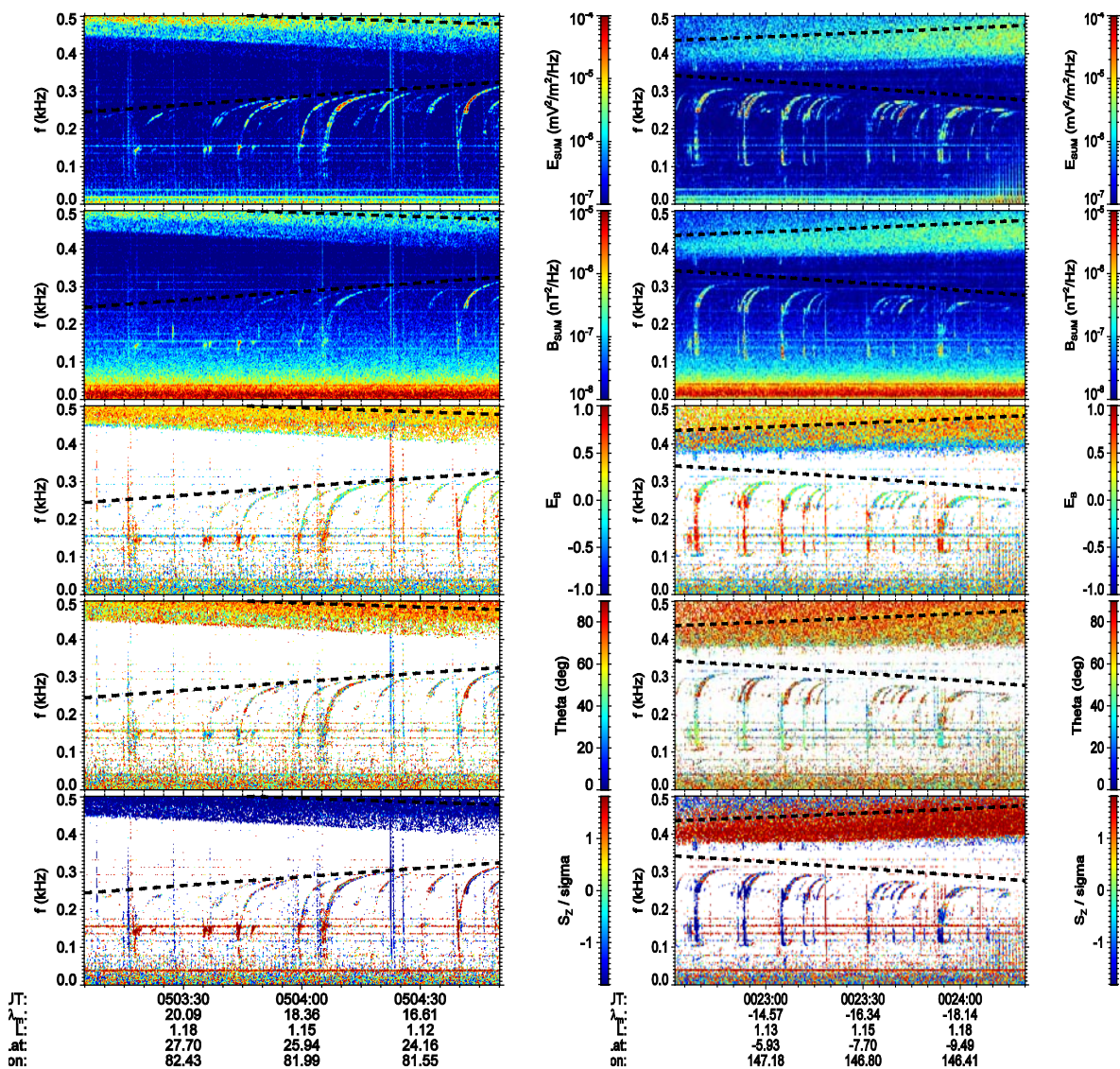


Рис. 1. Протонные свисты, наблюдаемые в северном полушарии при движении спутника к экватору (слева), и в южном полушарии при движении спутника к полюсу (справа). В обоих случаях источник излучения – молниевые разряды – находятся в противоположном (по отношению к наблюдению) полушарии. На панелях (сверху вниз) показаны следующие величины: спектральная интенсивность электрического поля, спектральная интенсивность магнитного поля, поляризация волны (синий цвет – левая, красный цвет – правая, абсолютная величина – эллиптичность), угол волновой нормали и продольная компонента вектора Пойнтинга. Внизу показаны следующие величины вдоль траектории спутника (сверху вниз): всемирное время, геомагнитная широта, L-оболочка, географическая широта и долгота. Черная пунктирная линия вблизи верхней частоты обрезания излучения – экваториальная гирочастота протонов на L-оболочке наблюдения, вторая пунктирная линия – локальная гирочастота протонов вдоль орбиты спутника.

Shklyar, D. R., O. L. Storey, J. Chum, F. Jiricek, F. Nemeц, M. Parrot, O. Santolik, and E. E. Titova (2012). Spectral features of lightning-induced ion cyclotron waves at low latitudes: DEMETER observations and simulation. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2012JA018016.

Шкляр Давид Рувимович, д.ф.-м.н., зав. лаб., тел. 333-45-34, david@iki.rssi.ru
 Титова Елена Евгеньевна, к.ф.-м.н., в.н.с., т. 333-45-34, lena.Titova@gmail.com

21. Характеристики динамического спектра ОНЧ хоров по данным многоспутниковой системы CLUSTER.

Измерения волн и частиц одновременно на нескольких спутниках позволяют разделить пространственные и временные изменения в наблюдаемых спектрах излучений. Используя волновые данные многоспутниковой системы CLUSTER, исследованы характеристики динамического спектра ОНЧ хоров и показано, что их основные характеристики, такие как соотношение между амплитудой и скоростью изменения частоты хоровых элементов и параметрами фоновой и энергичной компонент плазмы могут быть объяснены в рамках модели «лампы обратной волны» применительно к экваториальной области магнитосферы, предложенной ранее В.Ю. Трахтенгерцем.

Titova, E., A. Demekhov, B. Kozelov, O. Santolik, E. Macusova, J.-L. Rauch, J.-G. Trotignon, D. Gurnett, and J. Pickett (2012). Properties of the magnetospheric backward wave oscillator inferred from CLUSTER measurements of VLF chorus elements, *J. Geophys. Res.*, 117, A08210, doi:10.1029/2012JA017713.

Титова Елена Евгеньевна, к.ф.-м.н., в.н.с., т. 333-45-34, lena.Titova@gmail.com

22. Выход ОНЧ волн на Землю за счёт рассеяния на неоднородностях плотности в ионосфере.

В работе предлагается аналитический подход к решению задачи о рассеянии свистовой волны на неоднородностях плотности, занимающих конечную область пространства, основанный на методе последовательных приближений. Для этого система уравнений Максвелла с помощью метода функции Грина сводится к системе интегральных уравнений, из которых получают выражения для коэффициентов прохождения и отражения во всех порядках метода последовательных приближений.

В первом, борновском, приближении вычислена плотность потока энергии волн, выходящих на Землю за счёт рассеяния на неоднородностях. Проведены расчёты для различных спектральных плотностей неоднородностей: для гауссова распределения и для более реалистичного степенного распределения с обрезанными большими масштабами. Показано, что квазиэлектростатические свистовые волны могут рассеиваться в конус прохождения мелкомасштабными неоднородностями, в то время как квазипродольные свисты, чьи углы падения лежат вне конуса прохождения, эффективно рассеиваются в конус прохождения крупномасштабными неоднородностями.

Полученные результаты применимы, например, к исследованию распространения и выхода на Землю аврорального хисса, играющего важную роль в динамике плазмы в авроральной зоне.

Kuzichev, I. V. (2012), On whistler mode wave scattering from density irregularities in the upper ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 117, A06325, doi:10.1029/2011JA017130

Кузичев Илья Валерьевич, аспирант, м.н.с., т. 333-45-34, kuzichevIV@gmail.com

23. Эффект магнито-стимулированной диффузии в лабораторных и космических условиях.

Работа посвящена рассмотрению специфического типа диффузии холодных сильно-возбужденных газов, которая не подавляется, а наоборот – стимулируется магнитным полем. Физический механизм данного процесса состоит в том, что при наложении внешнего магнитного поля происходит стохастизация орбиты сильно-возбужденного (ридберговского) электрона, движущегося в кулоновском поле ядра, ввиду несоизмерности периодов кеплеровского и ларморовского вращения. В результате этого, ядро атома после каждого оборота вокруг него возмущенного электрона испытывает некоторую силу, направленную случайным образом и формально эквивалентную хаотическим толчкам при броуновском движении.

Для случая приблизительно кругового невозмущенного движения электрона (т.е. больших орбитальных квантовых чисел атома, сопоставимых с его главным квантовым числом) получено следующее аналитическое выражение для коэффициента магнито-стимулированной диффузии:

$$D \approx (e a^{1/2} / m_e^{1/2}) (\Omega_i / \omega_e)^2 (\Omega_e / \omega_e),$$

где e и m_e – заряд и масса электрона, ω_e – кеплеровская частота невозмущенного электрона, Ω_e и Ω_i – ларморовские частоты электрона и иона, соответственно.

Такая диффузия должна играть большую роль, в частности, в установках для синтеза и удержания антиводорода, поскольку вышеприведенный коэффициент достигает величины ~ 1 см²/сек, сопоставимой с характерными пространственно-временными масштабами проводимых в настоящее время экспериментов. В применении к астрофизике, магнито-стимулированная диффузия могла бы играть роль, например, в холодных межзвездных облаках атомарного водорода HI, ответственных за формирование рекомбинационных радиолиний; однако для более точных заключений необходимы дальнейшие расчеты.

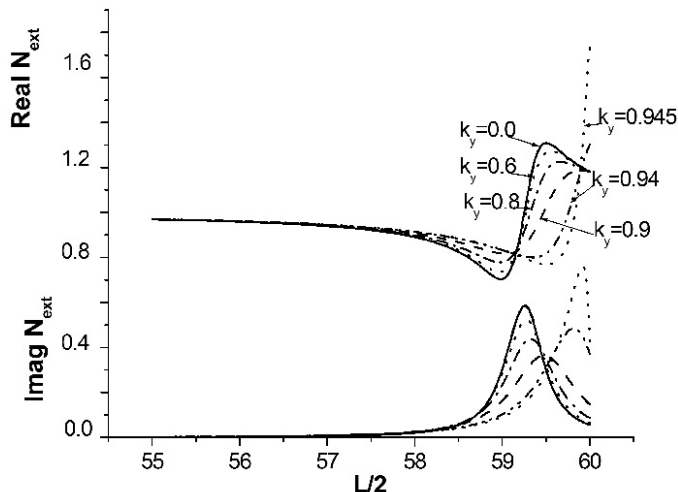
Yu.V. Dumin. Magnetically-Stimulated Diffusion of Rydberg Gases. Статья направлена в “Physical Review E” (2012).

Думин Ю.В., к.ф.-м.н., доц., т.: (915) 398 66 51, dumin@yahoo.com

24. Авроральное километровое излучение из узкой нестационарной плазменной каверны.

Представлены результаты исследования выхода Аврорального километрового излучения (АКР) из источника его генерации, представляющего собой узкую пространственную область с пониженной плотностью плазмы. Принимая во внимание, что в областях генерации АКР, практически, всегда присутствует низкочастотная волновая активность, рассмотрен выход излучения из тонкой плазменной каверны с адиабатически медленно меняющейся шириной и показано, что в этом случае возможно существование пространственно локализованных областей выхода АКР из источника. Результаты исследования показали, что волны, распространяющиеся почти по касательной к граничным поверхностям источника, обладают максимальными инкрементами и наиболее эффективно излучаются в окружающую плазму, что соответствует результатам наблюдений.

На рисунке показаны действительные и мнимые части показателя преломления в зависимости от полуширины источника для волн, распространяющихся под различными углами к поверхности источника. Наглядно видно, что волны, распространяющиеся почти по касательной к граничным поверхностям источника ($k_y > 0.9$), наиболее быстро трансформируются в X моду ($\text{Real } N_{ext} < 1$) с уменьшением ширины источника и, следовательно, имеют возможность наиболее эффективного выхода из области источника.



Burinskaya, T. M. and Rauch, J.-L.: Auroral kilometric radiation from a nonstationary thin plasma cavity, *Ann. Geophys.*, 30, 1093-1097, doi:10.5194/angeo-30-1093-2012, 2012.

Т.М. Буринская, к.ф.-м.н., в.н.с., 333-45-34, tburinsk@iki.rssi.ru

25. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца для ограниченного в пространстве потока плазмы.

В работе проведено исследование развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (К-Г) для потока плазмы, ограниченного в пространстве, на основе плоскопараллельной трёхслойной модели. Подробно изучена линейная стадия развития неустойчивости в отсутствие переходного слоя как для случая несжимаемой плазмы, так и для случая плазмы с конечной температурой. В приближении несжимаемой плазмы аналитически получены области параметров, при которых возможно развитие неустойчивости. Численные решения дисперсионного уравнения показали, что области неустойчивых параметров сохраняются и для случая плазмы с конечной сжимаемостью, причём для волн с длиной порядка или больше ширины потока возможно развитие неустойчивости К-Г даже при нулевой температуре. Однако, величины инкрементов уменьшаются с понижением температуры. На основе численного моделирования с учётом конечной ширины переходной области между потоком и окружающей плазмой проведено исследование влияния температуры плазмы и соотношения ширины переходной области и поперечного размера потока на нелинейную стадию развития неустойчивости К-Г.

Буринская Т.М., Шевелёв М.М. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца для потока плазмы, ограниченного в пространстве. Тезисы 7й Конференции «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ РАН, 2012.

Т.М. Буринская, к.ф.-м.н., в.н.с., 333 45 34, tburinsk@iki.rssi.ru

М.М. Шевелёв, аспирант, м.н.с., mposimba@gmail.com

26. Моделирование плазменно-пучкового взаимодействия в сильно неоднородной плазме.

Рассмотрено взаимодействие электронного пучка, распространяющегося в неоднородной плазме солнечного ветра, с ленгмюровскими волнами, динамика которых описывается одномерным уравнением Захарова, поведение пучка моделируется с помощью макрочастиц, движущихся в электрическом поле ленгмюровских волн. В используемой математической модели учитывается наличие высокого уровня флуктуаций плотности,

которые, как известно, присутствуют в солнечном ветре. Показано, что, когда уровень флуктуаций плотности низкая, $\delta n / n < 3(kL_D)^2$, режим релаксации пучка очень похож на что происходит в однородной плазме и может быть описан квазилинейной (КЛ) теорией. В этом случае длина релаксации очень коротка и соответствует получаемой с использованием КЛ приближения. Напротив, когда уровень флуктуаций плотности преодолевает некоторый предел, т.е. $\delta n / n > 3(kL_D)^2$, где $\delta n / n \ll 1$, они оказывают решающее влияние на процесс релаксации пучка. Во-первых, на стадии линейного роста волны локализируются и формируют четко определенные волновые пакеты (сгустки волн), которые доминируют в полном спектре волн. Этот эффект связан с кинематическими свойствами распространения волн и их резонансного взаимодействия с частицами. Большинство из волновых пакетов растет в областях с большими градиентами плотности. Второй важной особенностью выявленных релаксации пучка состоит в генерации ускоренных электронов со скоростями $V > V_B$ превышающими начальную скорость дрейфа пучка. Функция распределения по скоростям расширяется в обоих направлениях, как в сторону более низких скоростей, так и в более высокие скорости, при этом плотность ускоренных электронов может достигать более 10-20 % плотности пучка и поток энергии переносимой этой популяцией ускоренных частиц может стать больше 40% начального потока энергии пучка.

А. Волокитин, В. Красносельских, К. Крафт и Е. Кузнецов, Моделирование плазменно-пучкового взаимодействия в сильно неоднородной плазме, Солнечный ветер, 13 международная конференция, 18-22 июня 2012.

А. С. Волокитин, ст. научн. сотр., email: a.volokitin@mail.ru, тел. +7(495) 333-34-45

27. Неустойчивости горячей магнитосферной плазмы как возможный триггер взрывной фазы суббури.

Ключевая дилемма физики околоземного пространства связана с определением механизма взрывного начала суббури: в хвосте магнитосферы вследствие магнитного пересоединения или на замкнутых силовых линиях в результате пока не отождествленной неустойчивости? В качестве возможного триггера взрывной фазы суббури часто рассматривается баллонная (ballooning) неустойчивость, представляющая собой локальный "выброс" горячей плазмы в хвост магнитосферы. В реальной магнитосфере эти два механизма, по-видимому, связаны между собой. Так, численные эксперименты с современными МГД моделями магнитосферы показывают, что процесс развития суббури начинается с нарушения баланса между тепловым давлением плазмы и силой Ампера, что приводит к выбросу плазмы в хвост магнитосферы и вытягиванию силовых линий. В результате уменьшение нормальной к токовому слою магнитной компоненты в хвосте магнитосферы приводит к дестабилизации разрывной неустойчивости (tearing) и пересоединению силовых линий. Таким образом, хотя основная энергия суббури высвобождается в результате пересоединения, триггером начала суббури оказывается баллонная неустойчивость.

Чтобы яснее понять, каковы возможные физические механизмы развития суббури, результаты численного моделирования и прямых спутниковых наблюдений необходимо сопоставлять с упрощенными, но наглядными, теоретическими моделями. Теоретические работы по баллонной неустойчивости основываются на системе зацепленных уравнений для полоидальных альфвеновских волн и медленных магнитозвуковых (ММЗ) волн в плазме конечного давления, находящейся в криволинейном магнитном поле. Благоприятные условия для развития неустойчивости создаются при резком спадании к периферии системы давления плазмы, удерживаемой искривленными силовыми линиями. Наглядный анализ устойчивости плазмы и спектральных свойств низкочастотных волновых явлений можно провести с помощью локального дисперсионного соотношения.

Детальный вывод дисперсионного соотношения из исходной системы уравнений для зацепленных МГД мод и переход к различным предельным случаям дан в работе [Мазур и др., 2012а]. Было показано, что баллонная неустойчивость развивается на медленной (ММЗ типа) ветви колебаний, а альфвеновская ветвь всегда устойчива, вопреки имевшимся предсказаниям. В то же время на частотах ниже частоты отсечки возможно возникновение области нераспространения для полоидальных альфвеновских волн.

Влияние дрейфовых эффектов на баллонную неустойчивость было рассмотрено Klimushkin et al. [2012] в гирокинетическом приближении с учетом конечного β , кривизны магнитного поля, и диамагнитного дрейфа в модели с полем постоянной кривизны. Рассмотренная неустойчивость зацепленных полоидальной альфвеновской волны и дрейфовой компрессионной моды названа дрейфовой баллонной неустойчивостью. В отличие от МГД баллонной неустойчивости, при дрейфовой неустойчивости нарастание возмущений происходит не аperiodически, а осцилляторным образом с характерной частотой порядка дрейфовой. При этом возмущение распространяется в азимутальном направлении с фазовой скоростью порядка скорости ионного диамагнитного дрейфа.

Критерии неустойчивости во всех предшествующих работах в локальном приближении на отдельной магнитной оболочке имеют качественный характер из-за использования приближения ВКБ при выводе соответствующих дисперсионных уравнений. Баллонные возмущения в плазме конечного давления, находящейся в криволинейном магнитном поле, описываются системой зацепленных уравнений для альфвеновской и медленной магнитозвуковой мод. В отличие от большинства предшествующих работ, в [Мазур и др., 2012б] проведен глобальный анализ за пределами приближения ВКБ, но в рамках цилиндрической геометрии. Несмотря на относительную простоту этой модели, она сохраняет все особенности, необходимые для образования баллонной моды: кривизну поля и неоднородное тепловое давление плазмы. Учет конечного размера возмущения в радиальном направлении приводит к повышению порога неустойчивости по сравнению с приближением ВКБ. Разработанная модель позволила рассмотреть картину неустойчивых возмущений при произвольных значениях азимутального волнового числа. Неустойчивыми могут оказаться и азимутально крупномасштабные возмущения, хотя инкремент растет с уменьшением азимутального масштаба и достигает насыщения при масштабах порядка размера неоднородности давления.

Продольная структура вдоль силовой линии крупномасштабных тороидальных Pc5 пульсаций хорошо моделируется альфвеновскими колебаниями силовой линии, что согласуется с наблюдениями. В то же время продольная структура азимутально-мелкомасштабных полоидальных Pc5 пульсаций практически неизвестна. Эти пульсации наблюдаются вблизи экваториальной плоскости магнитосферы на восстановительной фазе магнитных бурь при высоких интенсивностях энергичных протонов кольцевого тока и связываются с баллонными возмущениями. Баллонные возмущения описываются системой зацепленных уравнений для альфвеновской и медленной магнитозвуковой (ММЗ) мод. В работе [Мазур и др., 2012с] в качестве равновесной плазменной конфигурации, моделирующей неоднородную магнитосферную плазму конечного давления в криволинейном магнитном поле, выбрана модель Фойгта. Для этой модели рассчитаны спектральные характеристики и пространственная структура собственных баллонных мод. Модельные расчеты показывают возможность образования разных продольных масштабов для поперечной и продольной магнитных компонент колебаний вблизи вершины силовой линии. По результатам теоретического моделирования сформулированы требования к космическому проекту "Резонанс".

Мазур Н.Г., Федоров Е.Н., Пилипенко В.А., Дисперсионное соотношение для баллонных мод и условие их устойчивости в околоземной плазме, Геомагнетизм и аэрономия, 52, N5, 639–648, 2012а.

Мазур Н.Г., Федоров Е.Н., Пилипенко В.А., Глобальная устойчивость баллонной моды в цилиндрической модели, *Геомагнетизм и аэрономия*, 52, 2012б, в печати.
Мазур Н.Г., Федоров Е.Н., Пилипенко В.А., Продольная структура баллонных МГД возмущений в модельной магнитосфере, *Космические исследования*, 51, 2012с, в печати.
Klimushkin D.Yu., P.N. Mager, V.A. Pilipenko, On the ballooning instability of the coupled Alfvén and drift compressional modes, *Earth Planets Space*, 64, 777–781, 2012.
Mazur N.G., Fedorov E.N., Pilipenko V.A., Ballooning modes and their stability in a near-Earth plasma, *Earth, Planets and Space*, 2012, in print.

Пилипенко В.А., д.ф.-м.н., 8-903-6184666, pilipenko_va@mail.ru

28. Импульсное взаимодействие атмосферы и ионосферы/магнитосферы по наземным и спутниковым наблюдениям.

Характерной особенностью природных процессов является то, что наиболее интенсивные возмущения концентрируются преимущественно на малых пространственных и временных масштабах. Мощным, но малоисследованным, каналом воздействия атмосферы на околоземное пространство являются грозные электрические разряды. В работе [Pilipenko, 2012] рассмотрены различные аспекты такого воздействия. В результате грозных разрядов происходит возбуждение и накопление волновой МГД энергии в альвеновском резонаторе и магнитозвуковом волноводе в верхней ионосфере. Детальный анализ наземных наблюдений магнитного отклика в герцовом диапазоне на региональную грозную активность показывает, что основной импульс часто сопровождается вторичным импульсом с задержкой около 1 сек. Появление вторичного импульса вызвано отражением части энергии первичного импульса от верхней стенки ионосферного альвеновского резонатора. Наличие последовательности сильно-нелинейных парных импульсов проявляется на динамическом спектре в ночные часы в виде гармонической спектральной структуры. Численное моделирование УНЧ поля электрического разряда в система ионосфера-атмосфера-земля показывает, что молнии возбуждают связанную систему волноводных и резонаторных МГД мод, в результате чего на земной поверхности должна наблюдаться сложная интерференционная картина. Хорошо известным эффектом воздействия гроз на ионосферу является индуцированное молниевым VLF свистами локальное высыпание магнитосферных электронов. Вопрос о том, может ли происходить аналогичное резонансное рассеяние и высыпание энергичных протонов под действием герцовых излучений грозного разряда, остается открытым. Подчеркнуты уникальные возможности для комплексного исследования механизмов импульсной связи между атмосферой и магнитосферой с помощью серии микро-спутников (типа Чибис) и космических экспериментов и наземных сетей регистрации грозных разрядов.

Теоретически рассчитаны спектры излучений в диапазоне частот ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) как на земной поверхности, так и на ионосферных высотах [Plyasov et al., 2012]. В качестве источника возбуждения ИАР взяты либо единичный молниевый разряд, либо область со стохастической грозной активностью. В спектрах поперечных магнитных и электрических компонент в верхней ионосфере проявляется резонансная спектральная структура. Расчеты показывают, что наиболее эффективно возбуждение ИАР происходит в ночные часы. Рассчитанная теоретическая модель показывает возможность обнаружения ИАР магнитометрами или электрическими датчиками на низкоорбитальных спутниках (типа Чибис).

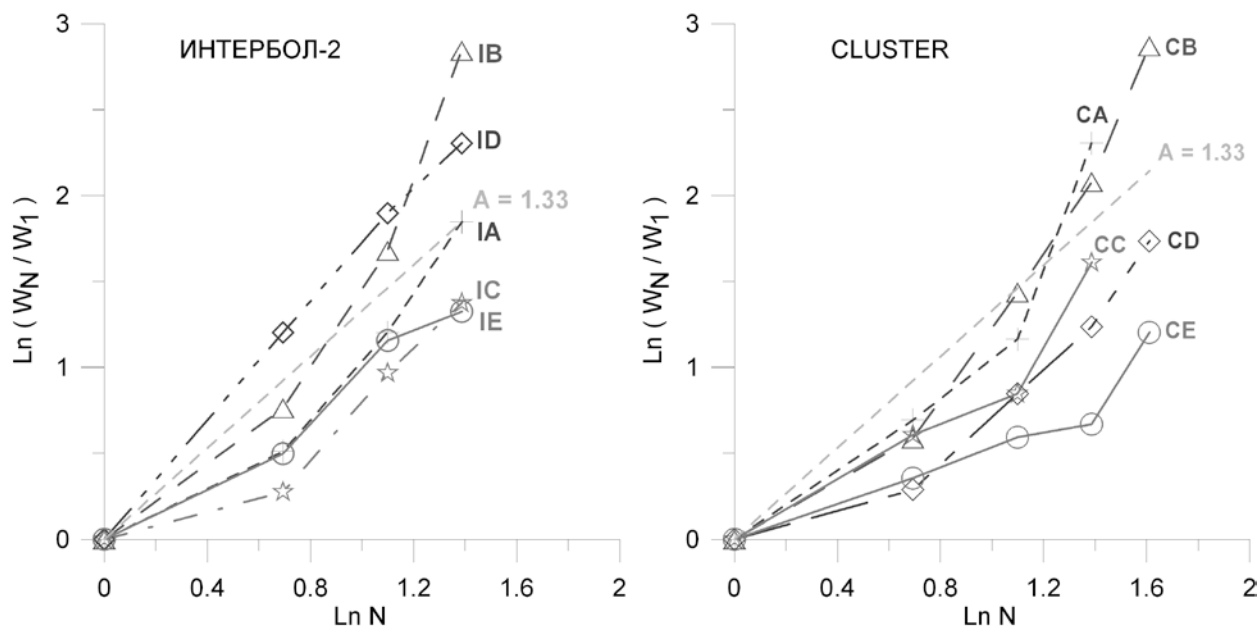
Pilipenko V.A., Impulsive coupling between the atmosphere and ionosphere/magnetosphere, *Space Science Reviews*, 168, N1, 533-550, doi: 10.1007/s11214-011-9859-8, 2012.

Plyasov A.A., V.V. Surkov, V.A. Pilipenko, E.N. Fedorov, V.N. Ignatov, Spatial structure of the electromagnetic field inside the ionospheric Alfvén resonator excited by atmospheric lightning activity, *J. Geophys. Res.*, 117, A09306, doi:10.1029/2012JA017577, 2012.

29. Скейлинг энергии ионных пучков в низковысотном пограничном плазменном слое.

Потоки и пучки, ускоренные в токовом слое (ТС) хвоста и движущиеся к Земле вдоль силовых линий магнитного поля Пограничной области Плазменного Слоя (ППС) высыпаются затем вблизи высокоширотной границы полярного овала, формируя энерго-диспергированные ионные структуры. В более ранних теоретических работах было показано, что ускорение ионов в ТС хвоста может происходить в пространственно-локализованных областях – резонансах, причем в зависимости от положения резонанса в хвосте, локальные условия ускорения (напряженность магнитного поля) могут довольно сильно различаться. В этом случае пучки ускоренных ионов, ускоренные в разных резонансах будут иметь разные энергии, и в результате в ППС будут наблюдаться мультиплетные энергетические спектры. В результате исследований механизма ускорения частиц в ТС хвоста, выполненного в наших предыдущих работах, была найдена закономерность связи между энергией ионного пучка WN , ускоренного в резонансе с порядковым номером N : $WN \sim N^{4/3}$. Эта зависимость (скейлинг) оказалась инвариантной относительно модели магнитного поля и первоначальной функции распределения частиц. Данный закон был получен для идеализированной модели ТС, в которой пренебрегалось нелинейными эффектами, а также не рассматривалось существование электрического поля, перпендикулярного плоскости ТС, E_z . Результаты численного моделирования, выполненного нами за отчетный период, показали, что наличие такого поля приводит к изменению скейлинга энергии бимлетов, причем показатель может быть как больше, так и меньше 1,33. В первом случае резонансные области смещаются к Земле, а во втором - от Земли. Такое смещение происходит в результате нелинейных эффектов из-за влияния E_z . Так как распределение субструктур в высыпающихся энерго-диспергированных ионных структурах (бимлеты), являющихся отображением ионных пучков в авроральной магнитосфере, зависит от инвариантной широты, т.е. от номера N субструктуры, то было чрезвычайно интересно провести экспериментальную проверку закона распределения энергий в ионных структурах и сравнить его с результатами численного моделирования резонансной генерации бимлетов. Такое сравнение было выполнено в рамках данного проекта. Анализ скейлинга резонансных энергий субструктур бимлетов проводился по измерениям ионов спектрометрами экспериментов ИОН на спутнике Интербол-2 вблизи его апогея на геоцентрических расстояниях $R=3 - 4 R_e$ и CIS на спутниках Cluster на перигейной части его орбиты на $R=4 - 5 R_e$. Было установлено, что показатель скейлинга варьируется для всех структур, проанализированных в нашей работе, от $k=0.60$ до $k=1.75$, причем нам не удалось обнаружить корреляции k с геомагнитной активностью во время измерений (с K_p и AE-индексами). Результат скейлинга энергий в бимлетах свидетельствует о достаточно сильном отличии экстремальных экспериментальных значений наклона k по данным обоих спутников от теоретического $k=1.33$, полученного ранее. Для того чтобы понять причины таких изменений в скейлинге было выполнено численное моделирование ускорения ионов в резонансных областях, распределенных вдоль оси хвоста, и с учетом наличия в ТС кроме электрического поля «утро-вечер», дополнительной компоненты электрического поля, перпендикулярной плоскости ТС, E_z .

В результате установлено, что вариации скейлинга могут быть связаны со свойствами ТС



	Событие	Дата	UT	A	Кр-индекс	АЕ-индекс
ИНТЕРБОЛО-2	IA	02.11.1996	12:00	1.17	0+	25
	IB	03.11.1996	16:55	1.75	0+	22
	IC	03.11.1996	16:03	0.87	0+	32
	ID	02.12.1996	09:32	1.69	1	98
	IE	26.07.1997	17:37	0.96	1-	75
CLUSTER	CA	19.03.2001	11:04	1.37	3+	175
	CB	31.01.2003	08:12	1.53	3	155
	CC	03.04.2004	11:30	0.99	3-	248
	CD	28.01.2007	21:23	0.91	0+	135
	CE	19.01.2007	05:32	0.61	4+	274

и электрического поля E_z . Увеличение скейлинга $k > 1,33$ связано с доминированием ионного тока над электронным внутри ТС (и наоборот). Кроме того, пересечения высокоширотной авроральной области спутниками Интербол-2 и Cluster на высотах 3 - 6 R_e происходят довольно быстро (порядка нескольких минут). При столь быстром пересечении аврорального ППС спутник как бы сканирует дальний геомагнитный хвост Земли. В этой связи детальный анализ свойств бимлетов, наблюдаемых в высокоширотной авроральной области, и в частности энергетического скейлинга субструктур бимлетов может стать основой для своего рода “дистанционного зондирования” процессов, развивающихся в ТС дальних областей хвоста.

Р.А. Ковражкин, М.С. Долгоносов, Ж.-А.Сово, «Скейлинг энергии ионных пучков в низковысотном пограничном плазменном слое», Письма в ЖЭТФ, 95:5 (2012), 258–262.

Долгоносов Максим Сергеевич, к.ф.-м.н., н.с., russia.on.mars@gmail.com
Ковражкин Ростислав Алексеевич, отд. 54, rkovrazh@iki.rssi.ru

30. Плазменно-пылевая система в приповерхностном слое освещенной части Луны.

Для самосогласованного расчета концентраций фотоэлектронов и пылевых частиц над поверхностью освещенной части Луны разработаны метод и схема численного моделирования, учитывающие положение места наблюдения, а также эффекты

образования фотоэлектронов на поверхности Луны и поверхностях пылевых частиц, образования электрических полей, динамики электронов, ионов и пылевых частиц, зарядки пылевых частиц за счет их взаимодействия с фотонами солнечного излучения, электронами и ионами солнечного ветра, фотоэлектронами, и применяющие зондовую модель для расчета зарядов пылевых частиц. Произведен расчет высотных распределений фотоэлектронов и заряженных пылевых частиц над освещенными участками поверхности Луны, состоящими из лунного реголита, и участками, обогащенными водородом, для различных значений угла между местной нормалью и направлением на Солнце. Показано, отсутствие мертвой зоны в области лунных широт около 80° , в которой, как ранее предполагалось, частицы пыли не могут подниматься над поверхностью Луны. Таким образом, показано, что не существует существенных ограничений на место посадки аппаратов будущих лунных миссий, изучающих пыль в приповерхностном слое Луны.

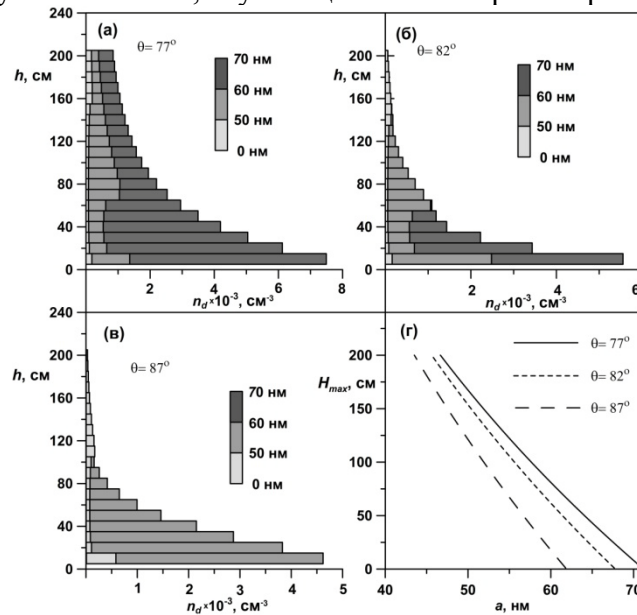


Рис.1. Распределения пылевых частиц над поверхностью Луны для различных значений угла θ между местной нормалью и направлением на Солнце (а-в), а также максимально возможные высоты подъема пылевых частиц H_{max} (г) для условий, соответствующих участкам лунного реголита.

Голубь А.П., Дольников Г.Г., Захаров А.В., Зеленый Л.М., Извекова Ю.Н., Копнин С.И., Попель С.И. Плазменно-пылевая система в приповерхностном слое освещенной части Луны // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 95, № 4. С. 198–204.

Popel S.I., Golub' A.P., Izvekova Yu.N., Kopnin S.I., Dol'nikov G.G., Zakharov A.V., Zelenyi L.M. Plasma-Dust System in Near-Surface Layer of the Moon, 39th EPS Conference & 16th Int. Congress on Plasma Physics (Stockholm, Sweden, 2012), O3.306, 4 pages.

Попель Сергей Игоревич, моб. тел.: +7 916 625 62 64; e-mail: s_i_popel@mail.ru

31. Модель для исследования масштабно-инвариантных спектров турбулентности космической плазмы.

Предложена модель для исследования масштабно-инвариантных спектров турбулентности космической плазмы, основанная на теории линейного форсинга. Проведено сравнение результатов прямого численного моделирования и метода крупных вихрей для различных параметризаций подсеточной турбулентности. Показано, что в отличие от затухающей МГД турбулентности, в МГД турбулентности с вынуждающей внешней силой наилучшие результаты демонстрирует модель подобия масштабов (в затухающей турбулентности модель подобия масштабов не обеспечивает достаточную диссипацию энергии и эту модель следует использовать только вместе с моделями вихревой вязкости, например, с

моделью Смагоринского, что является основной идеей смешанной модели). Основное преимущество подсеточной модели, основанной на гипотезе подобия масштабов, заключается в том, что в ней нет модельного коэффициента. Это особенно важно в космических и астрофизических задачах, так как, плазма в космических условиях, как правило, не доступна для непосредственного экспериментального изучения. Также данная модель обеспечивают высокую корреляцию между модельным и действительным турбулентными тензорами даже в сильно анизотропном течении.

A. Chernyshov, K. V. Karelsky, A. S. Petrosyan «Efficiency of Scale-Similarity Model for Study of Forced Compressible Magnetohydrodynamic Turbulence», Flow Turbulence and Combustion, 25 p., DOI 10.1007/s10494-012-9408-x, (2012)

Петросян А.С. д.ф.-м.н. зав. сектора, тел. (495) 333-5478, e-mail: apetrosy@iki.rssi.ru

32. Нелинейная динамика магнитогидродинамических течений тяжёлой жидкости в приближении мелкой воды на произвольной границе.

Исследована нелинейная динамика магнитогидродинамических течений тяжёлой жидкости в приближении мелкой воды на произвольной границе. Осуществлён вывод системы уравнений МГД мелкой воды из классических уравнений магнитной гидродинамики на неровной границе. Показано, что классические простые волны не являются решениями системы. Установлено, что обобщенные простые волны существуют только в случае линейного профиля подстилающей поверхности. Для случая границы в виде наклонной плоскости получены все непрерывные и разрывные решения в явном виде, найдено аналитическое решение задачи распада произвольного разрыва. Показано, что характеристиками системы уравнений являются параболы, которые переходят в прямые в случае плоской подстилающей поверхности. Найдены все центрированные автомодельные решения системы уравнений магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды: магнитогравиационные волны разрежения, магнитогравиационные ударные волны и альфвеновские волны. Решена задача распада произвольного разрыва для уравнений магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды над неровной поверхностью. Показано, что решение представляет собой одну из пяти конфигураций: «две центрированные магнитогравиационные волны разрежения, две альфвеновские волны», «две магнитогравиационные ударные волны, две альфвеновские волны», конфигурация «магнитогравиационная волна разрежения, обращенная назад, правая магнитогидродинамическая ударная волна, две альфвеновские волны», «левая магнитогравиационная ударная волна, магнитогравиационная волна разрежения, обращенная вперед, две альфвеновские волны», «две гидродинамические волны Римана, зона вакуума».

Из полученных результатов следует, что решение является суперпозицией двух решений: распада разрыва для мелкой воды без магнитного поля (с учётом изменённой скорости звука $c_g = \sqrt{B_1^2 + gh}$) и двух альфвеновских волн. При $B_1 \equiv 0$ две альфвеновские волны совпадают и превращаются в контактный разрыв. Конфигурация «две гидродинамические волны Римана, зона вакуума» существенно отличается от остальных, поскольку может реализовываться лишь при изначальном равенстве нулю нормальной компоненты магнитного поля. Наличие подстилающей поверхности с линейным профилем в приближении магнитогидродинамической мелкой воды вместо плоской поверхности приводит к качественному изменению решений в реализуемых конфигурациях. Вместо областей с однородным течением реализуются области равноускоренного течения, отсутствуют классические простые волны, характеристики и ударные волны распространяются по параболическим траекториям.

K. V. Karelsky, A.S. Petrosyan, S. V. Tarasevich, Nonlinear dynamics of magnetohydrodynamic shallow water flows over an arbitrary surface, Physica Scripta, 2012, accepted for publication

Петросян А.С. д.ф.-м.н. зав. сектора, тел. (495) 333-5478, e-mail: apetrosy@iki.rssi.ru

33. Неустойчивости циркулярно поляризованной волны с захваченными частицами в изотропной плазме.

Рассмотрены строение и устойчивость поперечной электромагнитной волны, распространяющейся со скоростью меньшей скорости света в плазме без внешнего магнитного поля. Стационарная волна конечной амплитуды описывается точными решениями уравнений Власова-Максвелла. Однако, в отличие от хорошо известного электростатического аналога, волны Бернштейна-Грина-Крускала, структура волны тесно связана с наличием захваченных частиц с широким поперечным спектром скоростей, без которого существование волн с показателем преломления большим единицы невозможно. При определенных ограничениях на параметры волны найдены выражения для инкрементов в основных режимах неустойчивости. Если концентрация захваченных частиц не слишком велика, доминирует неустойчивость плазменно-пучкового типа. С ростом концентрации влияние широкого спектра поперечных скоростей ослабляет пучковую неустойчивость.

В.Л. Красовский. Неустойчивости циркулярно поляризованной волны с захваченными частицами в изотропной плазме. Физика плазмы, принята к печати, 2012.

Красовский Виктор Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-78, vkrasov@mx.iki.rssi.ru

34. Исследование электродинамики формирования заряда тела в космической плазме.

2.1. Проведен теоретический анализ задачи о равновесном состоянии возмущенной плазмы в стационарной постановке на основе традиционных методов. В дополнение к расчетам плотности заряда и тока, получены выражения для основных энергетических характеристик плазмы. Весь расчетный материал представлен в универсальном и компактном виде, что облегчает общий анализ структуры возмущенной области. Продемонстрирована роль внешнего радиуса сферического слоя, в котором возможно финитное движение захваченных частиц, как важного параметра задачи. Радиус сферы захвата определен соответствующим граничным условием для уравнения Пуассона.

2.2. Разработан и апробирован алгоритм численного моделирования процесса зарядки поглощающей сферы. В качестве метода решения системы уравнений Власова-Пуассона выбран метод «частиц в ячейках». Для реализации алгоритма в виде совокупности программ проведена работа по адаптации метода применительно к сферической геометрии. Расчеты показали, что поставленная задача вполне решается, в частных случаях даже на персональном компьютере. В целом же, проведенная трудоемкая работа вселяет уверенность в том, что разработанное программное обеспечение в перспективе послужит мощным инструментом для решения разнообразных задач кинетической теории плазмы, включая, например, исследование нелинейной динамики сферических плазменных волн.

В.Л. Красовский. Энергетические характеристики возмущения бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой, представлена в журнал Геомагнетизм и аэронавигация, 2012.

В.Л. Красовский. О границе области захвата в задаче о возмущении бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой, представлена в журнал Физика плазмы, 2012.

Красовский Виктор Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-78, vkrasov@mx.iki.rssi.ru

35. Разрушение адиабатической инвариантности для бильярдов в сильном неоднородном магнитном поле.

Исследование динамики заряженной частицы в окрестности границы между областями с сильным и слабым магнитным полем приводит к модельной задаче о движении заряженной частицы в бильярде при наличии магнитного поля. В работе рассмотрен случай, когда магнитное поле – сильное неоднородное. Показано, что дрейф вдоль границы бильярда обладает адиабатическим инвариантом, построены приближенные уравнения, описывающие этот дрейф, получены условия, при которых возможен отрыв ларморовской траектории от границы, и определено положение точек отрыва. Показано, что многократные отрывы от границы и выходы на границу приводят к разрушению адиабатической инвариантности. Это новый механизм возникновения хаотической динамики в системах с ударами. По результатам работы опубликована статья.

A.Neishtadt, A.Artemyev. Destruction of adiabatic Invariance for billiards in a strong nonuniform magnetic field, *Physical Review Letters*, 2012, v.108, p. 064102

А.И.Нейштадт (руководитель), д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

А.В.Артемьев, к.ф.-м.н., т. 333-2500, e-mail: ante0226@yandex.ru

36. Направленный транспорт в быстрооциллирующем поле сил.

Исследована динамика классической частицы в одномерном пространственно-периодическом потенциале под действием высокочастотной силы с нулевым средним. Получена асимптотическая формула для средней скорости направленного транспорта. По результатам работы опубликована статья.

A.Itin, A.Neishtadt. Directed transport in a classical lattice with a high-frequency driving. *Physical Review E*, 2012, v.86, p.016206

А.И.Нейштадт (руководитель), д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

А.П.Итин, к.ф.-м.н., т. 333-53-46, e-mail: alx_it@yahoo.com

37. Рассеяние на резонансах при дискретизации систем с быстро вращающейся фазой.

Движение заряженных частиц в заданных полях сил при наличии сильного магнитного поля описывается классом систем обыкновенных дифференциальных уравнений, называемых системами с быстро вращающейся фазой. Исследован эффект рассеяния на резонансах, возникающий при численном интегрировании таких систем. Численное интегрирование дифференциальных уравнений стандартными пошаговыми методами сводит задачу с непрерывным временем к задаче с дискретным временем. Полученная задача с дискретным временем может иметь свойства и демонстрировать явления, отсутствующие в исходной задаче. В работе показано, что при численном интегрировании систем с одной быстро вращающейся фазой численное решение демонстрирует рассеяние на резонансах между собственной частотой системы и частотой дискретизации. По результатам работы опубликована статья.

A.Neishtadt, T.Su. On phenomenon of scattering on resonances associated with discretisation of systems with fast rotating phase. *Regular and Chaotic Dynamics*, 2012, v.17, p.359-366.

А.И.Нейштадт, д.ф.-м.н., т. 333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru

38. Механизм вертикального транспорта ионов и атомов металлов в области мезосфера - нижняя термосфера.

Рассмотрены транспортные свойства вторичных вихревых структур, формирующихся на высотах перехода от мезосферы к нижней термосфере. Показано, что многомасштабное развитие вихревых структур в нижней ионосфере может приводить к интенсивному тепло-массопереносу. Эти процессы могут существенно повлиять на рециркуляцию атомов и ионов металлов, которые аккумулируются термическими приливами как раз на этих высотах.

Чхетиани О.Г., Шалимов С.Л. О механизме вертикального транспорта ионов и атомов металлов в области мезосфера - нижняя термосфера // Геофизические исследования, 2012, Т.12, № 4 (в печати)

Чхетиани Отто Гурамович, д.ф.-м.н., тел.8-495-333-22-23, ochkheti@mx.iki.rssi.ru

39. Моделирование спектра антипротонов галактических космических лучей (ГКЛ).

Спектр галактических антипротонов рассчитан с учетом распада антинейтронов и взаимодействия ядер гелия ГКЛ и «третичных» антипротонов с межзвездным водородом. Учёт модуляции галактического спектра в гелиосфере выполнен в приближении «силового поля» («Force field»). Необходимые для моделирования инклюзивные инвариантные сечения ядерных реакций получены с использованием программы Multistage Dynamical Model. Рассчитан также поток антипротонов, генерируемых потоками ГКЛ в атмосфере и захваченных внутренней магнитосферой Земли. Показано, что последний на несколько порядков превышает поток антипротонов ГКЛ. Результаты расчётов находятся в хорошем согласии с результатами измерений как спектров антипротонов ГКЛ, так и антипротонов захваченных в магнитосфере Земли (эксперимент PAMELA)

U.V. Jayanthi, A.A. Gusev. Modeling of the near-Earth low energy antiproton fluxes, *Advances in Astronomy*, 2012, v.201, pp. 1-6, doi:10.1155/2011/471094, ISSN: 1687-7969 (print), 1687-7977 (online)

А.А.Гусев, к.ф.м.н., тел.8-495-333-30-45, vpan-iki@yandex.ru

40. Эмиссия мягкого рентгена из верхней атмосферы Земли.

Спектрометром РПС-1 на борту "Коронас-Ф" на затененных отрезках орбиты была зарегистрирована рентгеновская эмиссия в диапазоне энергией 3-8 кэВ из верхней атмосферы. Анализ данных долговременных наблюдений (с июля 2001 г. по декабрь 2005 г.) позволил выявить корреляцию этого излучения с циклом солнечной активности. Эффект может быть объяснён зависимостью высоты верхней атмосферы и магнитосферной активности от фазы солнечного цикла.

A. Gusev, Inacio M. Martin, G. Pugacheva. The Soft X-ray Emission of Nocturnal Atmosphere During the Descending Phase of the 23rd Solar Cycle. *Sun and Geosphere*, 2012, v.7, № 2, p.127-131.

А.А.Гусев, к.ф.м.н., тел.8-495-333-30-45, vpan-iki@yandex.ru

41. Энергетические спектры электронов и гамма-частиц в грозовых разрядах (взгляд с позиций физической кинетики сложных систем).

Предполагая тормозной механизм гамма-всплесков, выявлена форма (вид) функции распределения электронов, приводящая к наблюдаемым степенным спектрам излучения: с показателями Парето $\beta \sim 3$ для частот $\omega > 10$ МэВ и с $\beta = 1$ при $\omega \ll 10$ МэВ. Используя

регулярный метод нахождения интегралов столкновений и методы физической кинетики сложных систем, удалось не только получить определяющий эту форму закон движения точки в фазовом пространстве, но и перейти от формы распределения к его полной (теоретической) конкретизации. Введя при этом фактор b , «облагающий» прогрессивным «налогом» высокоэнергетическую часть электронов, удалось получить показатели Парето $\beta(d, b)$ как функцию коэффициента вариации энергии электронов d и фактора b . Причем не только для спектров с $\beta \geq 3$ при $b \ll 1$ (стр. 120 в <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>), но и для $\beta < 3$ при $b > b(d)$.

Туганов В.Ф. Энергетические спектры электронов и гамма-частиц в грозовых разрядах (взгляд с позиций физической кинетики сложных систем). 7-я конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 06-10.02.12. ИКИ РАН, Сборник тезисов докладов, с.168 и презентация на сайте <http://plasma2012.cosmos.ru/files/conf-plasma7-iki-feb2012.pdf>

Туганов Валерий Федорович, г. спец., тел.8-495-333-41-00, princet@rambler.ru

42. Проблема инициирования разряда в токамаке, или почему грозы – редкое явление.

Известные проблемы с запуском разряда в токамаках, (10-20) % реализаций из всех подготовленных к запуску, равно как и относительная редкость грозовых разрядов (облаков много, они сближаются – напряжение растет, а разряда нет), - все говорит о том, что при джоулевом нагреве начальная стадия разряда возможна лишь как «фазовый переход» формы вольт-амперной характеристики. В связи с этим был проведен численный расчет системы уравнений Ллойда, который показал, что указанный «фазовый переход» действительно возникает с включением дополнительного нагрева плазмы, порог которого таков, что это может проявиться и в грозах.

Туганов В.Ф. Проблема инициирования разряда в токамаке, или почему грозы – редкое явление. XLVII Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники. Посвящается 100-летию профессора Я.П. Терлецкого, РУДН, 15-18 мая 2012 г. Сборник докладов, с.300-303.

Туганов Валерий Федорович, г. спец., тел.8-495-333-41-00, princet@rambler.ru

43. Точно решаемая модель просветления неоднородной плазмы при больших вариациях амплитуды электромагнитной волны.

Исследовано безотражательное прохождение электромагнитной волны через неоднородную магнитоактивную плазму при наличии мелкомасштабных структур плотности с использованием точных аналитических решений уравнения Гельмгольца. Для варианта точно решаемой модели просветления плазмы волновой вектор зададим функцией $p(\xi) = \alpha / [A + B \cdot \sin(2 \cdot \beta \cdot \xi)]$, где α , β , $B = (A^2 - 1)^{1/2}$, $A > 1$ параметры задачи. Затем из уравнения Гельмгольца получаем эффективную диэлектрическую проницаемость плазмы $\epsilon_f(\xi) = \beta^2 + (\alpha^2 - \beta^2) / [A + B \cdot \sin(2 \cdot \beta \cdot \xi)]^2$. Анализ указанной выше модели просветления плазмы с мелкомасштабными неоднородностями продемонстрировал возможность безотражательного распространения электромагнитной волны через толстые плазменные слои с характерной особенностью динамики поля, когда при достаточно малых вариациях эффективной диэлектрической проницаемости имеет место глубокая модуляция волнового вектора и нормированной амплитуды волнового поля. Кроме того в некоторых субслоях неоднородной плазмы при $\epsilon_f(\xi) < 1$ величина безразмерного волнового вектора может существенно превышать единицу ($ck / \omega > 1$), что представляет интерес для исследования возможности резонансного взаимодействия поперечной волны

с пучками заряженных частиц. В данной точно решаемой модели неоднородность плазмы периодическая, а плазменный слой может включать любое целое число периодов $\delta\xi = \pi / \beta$, причем выбором исходных параметров можно удовлетворить условиям безотражательной сшивки волновых полей на границе плазма-вакуум, что обеспечит полное прохождение падающей из вакуума волны через плазму. При некотором выборе исходных параметров плазменная неоднородность может включать и широкие слои непрозрачности, определяемые условием $\varepsilon_f(\xi) < 0$.

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Л.А. Михайловская, А.П. Тимошенко. Точно решаемая модель просветления неоднородной плазмы при больших вариациях амплитуды электромагнитной волны. XLVIII Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники. Сборник докладов, Москва, РУДН, 2012, с.315-318.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

44. Численный анализ прохождения ВГВ из тропосферы в ионосферу.

На основе анализа лучевых траекторий рассмотрено прохождение крупномасштабных внутренних гравитационных волн из тропосферы через вертикально неоднородные ветровые структуры до ионосферных высот, где они могут возбуждать неоднородности плазмы, создавая индикаторы и предвестники кризисных процессов, например, сейсмической активности, которые могут наблюдаться спутниковой аппаратурой. На основе численных расчетов при различных вариантах выбора исходных параметров изучены специфические особенности поведения лучевых траекторий, связанные с наличием на трассе распространения волн слоев горизонтального и вертикального отражений, а также критического слоя. Показано, что для достаточно крупномасштабных внутренних гравитационных волн возможно прохождение из тропосферы до ионосферных высот. Установлены характерные времена достижения возбуждаемыми в тропосфере волнами ионосферных высот, выявлены большие вариации этих времен при изменении исходных параметров задачи, определены типичные значения горизонтального смещения (относительно источника генерации) волновых пакетов по достижении ими ионосферы.

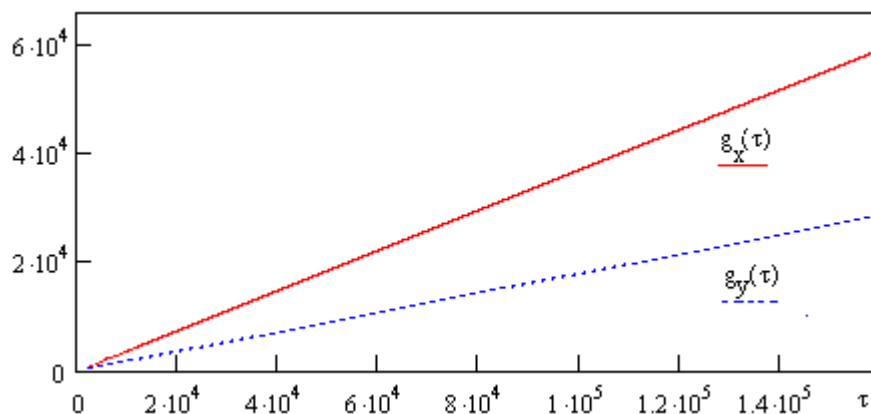
Н.С. Ерохин, Л.А. Михайловская, С.Л. Шалимов. Об условиях прохождения внутренних гравитационных волн через ветровые структуры из тропосферы в ионосферу. Геофизические процессы и биосфера"; 2012, т.13, № 4, - 22 с.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru
Шалимов Сергей Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, pmsk7@mail.ru

45. Захват слаборелятивистских электронов в режим ультрарелятивистского серфотронного ускорения электромагнитной волной в космической плазме.

На основе нелинейных численных расчетов рассмотрен захват слаборелятивистских заряженных частиц (кинетическая энергия порядка $m_e c^2$) в режим ультрарелятивистского серфотронного ускорения электромагнитной волной, распространяющейся в плазме поперек слабого внешнего магнитного поля. Анализ показал, что при амплитуде волны выше порогового значения вне диапазона благоприятных для реализации серфинга начальных фаз волны на траектории частицы вначале происходит вращение заряда во внешнем магнитном поле (для исследуемых начальных энергий заряда период его циклотронного вращения сравнительно невелик). Однако после ряда периодов циклотронного вращения (десятки-тысячи и более) при выполнении условия черенковского резонанса возникает благоприятная для захвата заряда фаза волны на траектории частицы. В результате имеют место захват заряженной частицы волной и

последующее ультрарелятивистское ускорение. Таким образом, в пространстве импульсов частиц область их захвата в режим серфинга на электромагнитной волне оказывается достаточно большой. Для безразмерных (перпендикулярных внешнему магнитному полю, которое параллельно оси z) компонент импульса ускоряемого электрона $g_x = \gamma \beta_x$, $g_y = \gamma \beta_y$, где γ релятивистский фактор, $\beta = v/c$ безразмерная скорость частицы, временная динамика представлена на рисунке. Здесь $\tau = \omega t$ безразмерное время, ω частота волны.



Согласно графикам поперечные компоненты импульса ускоряемого электрона возрастают пропорционально времени (постоянный темп ускорения), что характерно для серфотронного механизма ускорения.

А.Н. Ерохин, Н.С. Ерохин, В.П. Милантьев. Захват слаборелятивистских электронов в режим серфотронного ускорения электромагнитной волной в космической плазме. // Физика плазмы, 2012, т.38, № 5, с.435-446.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

46. Синергетический подход к анализу процессов в системе литосфера-атмосфера-ионосфера.

Применен синергетический подход к проблеме развития взаимосвязанных процессов в системе Литосфера-Атмосфера-Ионосфера при наличии интенсивного источника ионизации. Показано, что нуклеация (формирование аэрозольных частиц за счет конденсации водяного пара на ионах), индуцируемая ионами, представляет собой сильно нелинейный взрывной процесс с наличием ряда пороговых значений, характеризующих точку бифуркации. Процесс имеет также ряд параметров, характерных для синергетики: наличие многофазовости (вода в виде свободного пара, в конденсированном состоянии, и в состоянии присоединения к ионам), наличие подсистем, самоподобие при изменении масштаба процесса. В результате анализа данных о динамике различных параметров атмосферы и ионосферы, показана их взаимная обусловленность, возможность нахождения интегральных параметров, характеризующих направленность процесса («стрелу времени»).

Sergey Pulinets. Low-Latitude Atmosphere-Ionosphere Effects Initiated by Strong Earthquakes Preparation Process. // International Journal of Geophysics, 2012, v.201, Article ID 131842, 14 pages, doi:10.1155/2012/131842

Пулинец Сергей Александрович, д.ф.м.н., тел. 8-495-333-41-00, pulse1549@gmail.com

47. Анализ угловых корреляций флуктуаций температуры микроволнового реликтового излучения.

На основе анализа семилетних данных эксперимента WMAP (Bennett, C.L., et al. (2011). *ApJS*, 192(2), 17) было проведено фитирование угловых корреляций флуктуаций температуры микроволнового реликтового излучения с помощью гипотезы о наличии дискретной симплектической симметрии пространства-времени, связанной с фрактальной структурой квантовой гравитации, которая была изложена ранее в работе Altaisky, M., Bednyakov, V., and Kovalenko S. *Int. J. Theor. Phys.*, 1996, v.35, iss.2, p.253. Показано, что фитирование с учетом дискретной симметрии S_3 для двухточечных корреляций приводит к более узкому коридору, чем стандартная космологическая модель.

Altaisky M.V. and Kaputkina N.E. On discrete symmetries and relic radiation anisotropy. *New advances in physics*, 2012, v.6, No 2, (принята к печати).

Алтайский Михаил Викторович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, altaisky@mail.ru

48. Непрерывное вейвлет преобразование в переменных светового конуса для пространства Минковского.

Развит метод и построено непрерывное вейвлет преобразование в переменных светового конуса для случая пространства Минковского. Рассмотренный подход позволяет, в частности, исследовать локальные свойства объектов, движущихся с субсветовыми скоростями в собственной системе отсчета. Результат представляет интерес для физики космической плазмы.

Алтайский М.В., Капуткина Н.Е. О вейвлет-разложении в переменных светового конуса. *Известия ВУЗов. Физика*, 2012, принята в печать.

Алтайский Михаил Викторович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, altaisky@mail.ru

49. Иерархическая модель сжатия квантовой информации.

Построена иерархическая модель сжатия квантовой информации в системе 2^N квантовых битов. Для тензорного произведения представлений группы $SU(2)$ построена цепочка подпространств, аналогичная последовательности Малла, используемой при вейвлет-сжатии классической информации. Рассмотрена возможность создания иерархических регистров памяти на основе массивов квантовых точек. Проведенное исследование важно, например, для приложений квантово-полевых методов к задачам электродинамики плазмонов и метаматериалов.

Altaisky, M.V. and Kaputkina, N.E. Quantum hierarchic models for information processing. *International Journal of Quantum Information*, 2012, v.10, № 2, pp.1250026.

Алтайский Михаил Викторович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, altaisky@mail.ru

50. Анализ зеркальной неустойчивости для электрон-ионной бимаксвелловской плазмы.

Пересмотрены вычисления инкремента зеркальной неустойчивости для электрон-ионной би-максвелловской плазмы, основанные на низкочастотной кинетической теории. Показано, что роль эффектов конечного электронного ларморовского радиуса по подавлению неустойчивости является, возможно, доминирующей, что имеет место даже вблизи порога неустойчивости для самых коротких неустойчивых возмущений с длинами волн, значительно превышающими электронный гирорадиус. Данные результаты подтверждаются численными расчетами, полученными с помощью полностью кинетического кода WHAMP. Показано, каким образом влияет электронная температура на величину эффекта конечного ионного ларморовского радиуса в малой окрестности

порога неустойчивости, где электронные кинетические эффекты пренебрежимо малы. Полученные результаты важны для интерпретации динамики магнитосферной плазмы. Работа выполнена в Секторе математической физики ФИАН и ИКИ РАН совместно с Лабораторией Лагранжа Обсерватории Ниццы, Франция.

E.A.Kuznetsov, T. Passot, P.L. Sulem. On the mirror instability in the presence of electron temperature anisotropy. *Physics of Plasmas*, 2012, v.19, p.090701.

Кузнецов Евгений Александрович, д.ф.м.н., 8-495-333-41-00, kuznetso@itp.ac.ru

51. Анализ зеркальной неустойчивости с учетом анизотропии электронных температур.

Используя непертурбативные методы, основанные на адиабатичности развития зеркальной неустойчивости, получены аналитические выражения для продольного и поперечного давлений для длинноволновых зеркальных структур с учетом возможной анизотропии электронных температур. Показано, что в пределе малых амплитуд учет электронной компоненты не изменяет структуру асимптотической модели, полученной авторами ранее (E.A. Kuznetsov, T. Passot and P.L. Sulem, *Phys. Rev. Lett.*, v.98, 235003-4 (2007)) в случае холодных электронов, и таким образом влияние электронов не приводит к качественным изменениям закритического поведения зеркальных мод. В слабонелинейном режиме происходит жесткая бифуркация (на начальном этапе - взрывного характера) к состоянию с амплитудой порядка внешнего магнитного поля. Получено модельное уравнение, определяющее профиль надкритических стационарных крупномасштабных зеркальных структур конечной амплитуды.

Работа выполнена в Секторе математической физики ФИАН и ИКИ РАН совместно с Лабораторией Лагранжа Обсерватории Ниццы, Франция.

E.A. Kuznetsov, T. Passot, P.L. Sulem. Nonlinear mirror modes in the presence of hot electrons. *JETP Letters*, 2012, v. 96, issue 10.

Кузнецов Евгений Александрович, д.ф.м.н., 8-495-333-41-00, kuznetso@itp.ac.ru

52. Об амплитуде низкочастотных сигналов в ночной ионосфере над грозовыми разрядами.

Показано, что происхождение аномальных амплитуд УНЧ/КНЧ сигналов в верхней ионосфере над грозовыми разрядами может быть обусловлено существованием областей высокоионизованной плазмы в нижней ионосфере. Переменный ток электромагнитного импульса молнии может генерировать в области высокоионизованной плазмы, созданной в нижней ионосфере из-за воздействия грозовых разрядов, магнитогидродинамические волны, которые распространяются в верхнюю ионосферу. На основе предложенной модели получены оценки амплитуды и длительности альвеновской моды, распространяющейся в верхнюю ионосферу, которые согласуются с измерениями в ракетных экспериментах над грозами.

Шалимов С.Л. Об амплитуде низкочастотных сигналов в ночной ионосфере над грозовыми разрядами. // *Космические исследования*. 2012, № 3, с.219-223.

Шалимов Сергей Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, pmsk7@mail.ru

53. Индуцированные цунами возмущения фазы и амплитуды УНЧ сигналов в нижней ионосфере.

Система УНЧ-приемников на дальнем востоке была использована для наблюдений отклика нижней ионосферы на цунами, возбуждаемые землетрясениями в период с 15 ноября 2006 г. и до 11 марта 2011 г. (Курильский регион и Тохоку). Специфические возмущения фазы и амплитуды УНЧ сигналов были получены для этих местностей. Предложена качественная интерпретация наблюдавшихся эффектов на основе взаимодействия возбуждаемых цунами внутренних гравитационных волн с нижней ионосферой.

Rozhnoi A., S. Shalimov, M. Solovieva, B. Levin, M. Hayakawa, and S. Walker. Tsunami-induced phase and amplitude perturbations of subionospheric VLF signals. // J. Geophys. Res., 2012, v.117, A09313, doi:10.1029/2012JA017761.

Шалимов Сергей Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, pmsk7@mail.ru

54. О переменности потоков электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 7–1000 ГэВ.

Предложена гипотеза, объясняющая наличие переменных компонент потоков e^- и e^+ космических лучей (КЛ) работой “ускорителя заряженных частиц” (при наличии необходимых условий) на периферии гелиосферы, за граничной ударной волной солнечного ветра. Наиболее подходящим механизмом для работы этого “ускорителя” является серфинг зарядов на электромагнитных волнах, обеспечивающий вторичное ускорение низкоэнергичных КЛ до энергий порядка десятков и сотен ГэВ. Представлены результаты численных расчетов захвата и сильного ускорения заряженных частиц пакетами плазменных волн, а также аппроксимации нескольких экспериментальных энергетических спектров КЛ двухкомпонентной моделью.

Лозников В.М., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. О переменности потоков электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 7–1000 ГэВ. Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники, посвященная 100-летию профессора Терлецкого Я. П., Россия, г. Москва, РУДН, Сборник докладов, 2012, с.288-291.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru
Лозников Владимир Михайлович, тел.8-985-641-92-72, vladimirloznikov@gmail.com

55. Функции распределения ультрарелятивистских электронов в грозовых разрядах.

Функции распределения ультрарелятивистских электронов, необходимые для объяснения гамма-спектров в грозовых разрядах, будучи полученными методами физической кинетики сложных систем, обнаруживают огромное сходство с вероятностью распределения доходов конкурирующих субъектов: по сути дела это тот же пучок с неравным нулю средним значением и соответствующей дисперсией («температурой») доходов d . И при всей этой аналогии с электронами, здесь еще имеется и большая эмпирическая база об эволюции этой конкурирующей системы при внешних воздействиях. В частности, ее дисперсия (температура) снижается, но при этом растет средний душевой доход (энергия) и задаваемая им численность субъектов – известный гиперболический закон роста Хайнца фон Фёрстера (Nature, 1960), приводящий к их расходимости при $d \rightarrow 0$. Это и инициировало задачу теоретического обоснования хотя бы таких известных фактов. Ведь сегодня подобные наблюдения эволюции системы электронов в грозовых разрядах невозможны: проектом «Чибиc-М» исследования гамма-спектров с энергией $E > 10$ МэВ - не предусмотрены. А только здесь и может быть обнаружена, например, эволюция показателя Парето $\beta(d)$ степенных спектров ($\propto 1 / E^{\beta(d)}$)

- как для электронов, так и для наблюдаемого излучения, в силу их зависимости от дисперсии d (см. в <http://solarwind.cosmos.ru/txt/2011/conf2011thesis.pdf>, стр.120),. Спектры же на меньших энергиях ($0.1 < \varepsilon < 10$ МэВ), где ведутся измерения сегодня, будучи универсальными ($\propto 1 / \varepsilon$), такой информации не дают.

Туганов В.Ф. Физика в смежных науках: самосогласованное «поле» инвестиций и «Судный день» Хайнца фон Ферстера. XLVII Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники. Посвящается 100-летию профессора Я.П. Терлецкого, РУДН, 15-18 мая 2012 г. Сборник докладов, с.133-136.

Туганов Валерий Федорович, г.спец., тел.8-495-333-41-00, princet@rambler.ru

2.2 Экспериментальные исследования руководитель чл.-корр. РАН А.А. Петрукович

1. Модель магнитного поля во внутренней гелиосфере с учетом выравнивания радиальной напряженности в короне Солнца

Модель представляет собой дальнейшее развитие и модификацию широко используемой модели «потенциального поля с поверхностью источника» (PFSS). В дополнение к фотосферной поверхности и поверхности источника солнечного ветра в модели введена новая разграничивающая сферическая поверхность («поверхность выравнивания»), на которой модуль радиальной составляющей магнитного поля полагается равным константе, а ее знак скачкообразно изменяющимся при переходе от одной полусферы к другой. Модель описывает результаты, полученные на КА «Улисс» и состоящие в том, что радиальная составляющая магнитного поля практически не зависит от угловых координат вне плоскости эклиптики. Получены общие аналитические формулы для расчета потенциала и вектора напряженности поля в рамках данной модели. Подробные расчеты выполнены на примере дипольных и квадрупольных гармоник. Найдены выражения для поверхностных токов. Обсуждаются результаты визуализации магнитного поля для случая аксиального диполя. Модель отличается от подобных аналогов тем, что правильно воспроизводит основные характеристики магнитного поля в области формирования солнечного поля и главную особенность, состоящую в существовании гелиосферного токового слоя.

И.С. Веселовский, А.Т. Лукашенко. Модель магнитного поля во внутренней гелиосфере с учетом выравнивания радиальной напряженности в короне Солнца. *Астрономический Вестник* 2012. Т.46. №2. С.162-172.

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

2. Динамика энергетических спектров солнечных протонных событий по наблюдениям в 23-м солнечном цикле

Выявлена и проанализирована зависимость от времени энергетических спектров $I(E,t)$ протонов в области десятков мегаэлектронвольт по наблюдениям на ИСЗ GOES в период протонных возрастаний в 23-м цикле солнечной активности. Построена аппроксимация энергетических спектров степенными функциями и найдено большое разнообразие

функций $I(E,t)$ для исследованных событий. Какая-либо универсальная зависимость спектров от времени отсутствует, однако некоторые общие черты обнаруживаются для трех групп протонных событий, что позволяет приблизиться к их эмпирической классификации в будущем с использованием ряда безразмерных масштабных параметров. Свой вклад в формирование этих закономерностей вносят динамические процессы на Солнце, в гелиосфере и магнитосфере.

И. С. Веселовский, И. Н. Мягкова, О. С. Яковчук, Динамика энергетических спектров солнечных протонных событий по наблюдениям в 23-м солнечном цикле, *Астрономический Вестник*, том 46, № 3, с. 235-258

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

3. Пространственно-разрешенные наблюдения расщепленного коронального радиовсплеска II типа

Происхождение корональных радиовсплесков типа II, а также их частотного расщепления до сих пор не установлено, несмотря на то, что предложено несколько моделей для объяснения. По большей мере данное обстоятельство связано с нехваткой детальных пространственно-разрешенных наблюдений динамики источников радиовсплесков типа II относительно магнитоплазменных структур в родительских активных областях. Цель настоящей работы – продвинуться в решении обозначенной проблемы на основе комплексного анализа экстремально детально наблюдавшегося солнечного эруптивного события. Для достижения поставленной цели была исследована относительная динамика эруптивной плазмы частично-залимбовой вспышки 3 ноября 2010 г. по данным наблюдений телескопа AIA, установленного на борту космической обсерватории SDO, и источников радиовсплеска типа II, наблюдавшегося радиогелиографом Нансе на второй гармонике на частотах от 151 до 445 МГц. Особое внимание было уделено изучению частотного расщепления радиовсплеска. Исследование дополнено анализом корональных источников жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ), наблюдавшихся космическим телескопом-спектрометром RHESSI. Установлено, что импульсная фаза вспышки сопровождалась формированием двойного коронального источника ЖРИ, верхняя часть которого совпадала в пространстве с горячим ($T \sim 10$ МК) эруптивным плазмодом, а нижняя со вспышечными петлями. Фронт эруптивной плазмы ($T \sim 1-2$ МК) распространялся со скоростью $v \sim 900-1400$ км/с. Источник радиовсплеска типа II сформировался над вершущкой фронта эруптивной плазмы и двигался в том же направлении и примерно с той же скоростью. Однако спустя 20 с, он стал двигаться в два раза быстрее, не изменяя при этом направления движения. В каждый момент времени источник низкочастотного компонента расщепленного радиовсплеска располагался над источником высокочастотного компонента, который, в свою очередь, располагался над фронтом эруптивной плазмы. Также обнаружено, что на любой заданной частоте источник высокочастотного компонента располагался ближе к фотосфере, чем источник низкочастотного компонента. Полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что ударная волна, которая могла быть ответственной за генерацию радиовсплеска типа II, изначально была инициирована эруптивной плазмой (поршнем), но позднее трансформировалась в свободно-распространяющуюся ударную волну. Частотное расщепление радиовсплеска типа II, по всей видимости, связано с пространственной неоднородностью его источников. Низкочастотный компонент испускался из невозмущенной зоны впереди фронта ударной волны, тогда как высокочастотный компонент испускался из возмущенной зоны позади

фронта волны. Показано, что в данном случае ударная волна должна была быть субкритической.

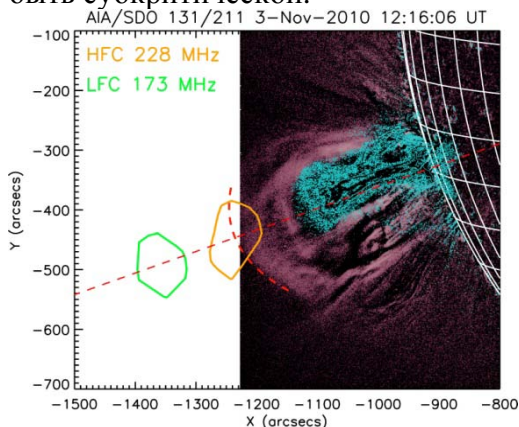


Рис. Эруптивная магнитоплазменная структура и источники расщепленного радиовсплеска типа II солнечного вспышечного события 3 ноября 2010 г. Изображения AIA/SDO в каналах 131 А (голубой цвет) и 211 А (пурпурный цвет). HFC и LFC – источники, соответственно, высокочастотного и низкочастотного компонента радиовсплеска по данным наблюдений радиогелиографа Nancay. Штриховая параболическая красная линия – аппроксимация края эруптивной плазмы. Штриховая красная прямая – проекция на плоскость рисунка радиус-вектора, соединяющего центр Солнца и корональный источник вспышечного рентгеновского излучения.

Zimovets I., Vilmer N., A. C.-L. Chian, Sharykin I., Struminsky A. *Spatially resolved observations of a split-band coronal type II radio burst* // *Astronomy & Astrophysics*, Volume 547, id.A6 13pp, DOI: 10.1051/0004-6361/201219454

И.В. Зимовец, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, ivanzim@iki.rssi.ru

4. Ускорение электронов без нагрева корональной плазмы

Представлены наблюдения редкого длительного солнечного события класса X1.2 GOES 26 октября 2003 года. В этом событии наблюдался значительный всплеск жесткого рентгеновского и микроволнового излучения с запаздыванием более 60 мин относительно основной импульсной фазы, который не сопровождался заметным откликом в мягком рентгеновском излучении (“burst-on-tail”). Основываясь на наблюдениях TRACE растущей аркады вспышечных петель, сделаны простые оценки, которые показывают, что отклик плазмы активной области на ускоренные электроны может значительно изменяться. В момент “burst-on-tail” нетепловые электроны инжектируются в магнитные петли большего пространственного масштаба, чем во время импульсной фазы, что приводит к значительно меньшим значениям температуры и меры эмиссии в корональном объеме петель, а, следовательно, и интенсивности мягкого рентгеновского излучения. Природа длительной задержки “burst-on-tail” относительно импульсной фазы вспышки остается невыясненной.

Обнаруженные всплески нетеплового излучения, которые не проявляются в мягком рентгеновском излучении и задержаны относительно импульсной фазы на десятки минут, показывают наличие ускорения частиц в длительных вспышках после отрыва КВМ.

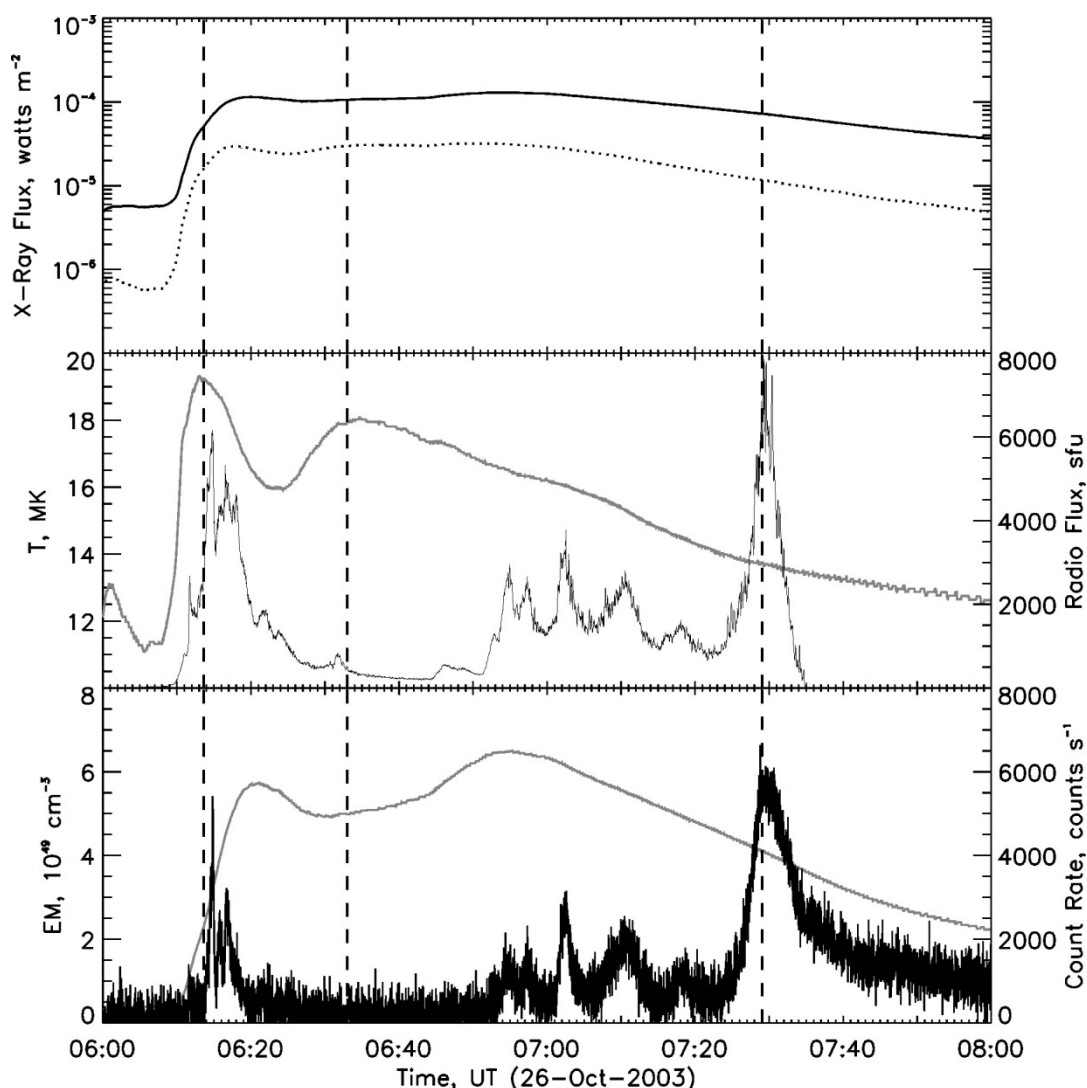


Рис. Верхняя панель – интенсивность мягкого рентгеновского излучения GOES; средняя панель – сравнение температуры вспышечной плазмы и плотности потока микроволнового излучения; нижняя панель – сравнение меры эмиссии и интенсивности жесткого рентгеновского излучения >150 кэВ.

Zimovets I., Struminsky A., "Non-thermal" burst-on-tail" of long-duration solar event on 26 October 2003, *Solar Physics*, DOI 10.1007/s11207-0112-8

И.В. Зимовец, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, ivanzim@iki.rssi.ru

А.Б. Струминский, д.ф.-м.н., т. 333-14-67, astrum@iki.rssi.ru

5. Энергетика и морфология мощных импульсных солнечных вспышек

Были проанализированы данные наблюдений жесткого (спектры, изображения и временные профили интенсивности 3-300 кэВ по данным наблюдений RHESSI) и мягкого (GOES 0.5-4 и 1-8 Å) рентгеновского излучения в двух импульсных солнечных вспышках класса X1.7 1 января 00:26:00 UT и 13 сентября 23:17:00 UT 2005 г.

Показано, что нагрев плазмы в этих мощных импульсных событиях был обусловлен ускорением электронов в нескольких последовательных эпизодах выделения энергии. В первом эпизоде выделения энергии корональная область SXR-излучения нагревалась непосредственно потоком ускоренных электронов с мягким спектром, при этом преимущественно наблюдался корональный источник HXR-излучения (рис. 1а). По мере роста потока и ужесточения спектра ускоренных электронов они начинают достигать

хромосферы, становятся видимыми HXR источники в основаниях вспыхивающих петель (рис. 1б). Эпизоды ускорения электронов с жестким спектром незначительно изменяют температуру плазмы вспыхивающих петель, но приводят к существенному росту меры эмиссии. Для выполнения баланса между энергией нетепловых электронов и тепловой энергией плазмы с учетом потерь на излучение и теплопроводность по мере развития событий необходимо предположить изменение низкоэнергетической границы спектра взаимодействующих электронов.

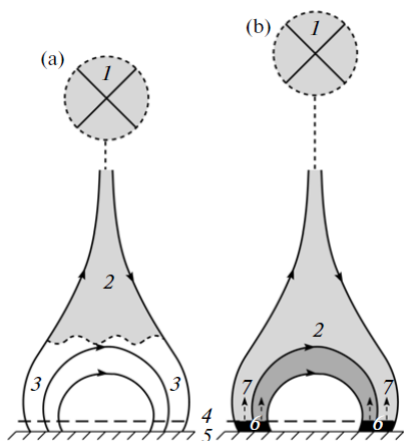


Рис. 1 Схематическое изображение источников мягкого и жесткого рентгеновского излучения в разные моменты развития солнечной вспышки: 1- область ускорения электронов; 2-корональный источник жесткого и мягкого рентгеновского излучения; 3 – область петли, не излучающая рентген в начале события; 4 – уровень хромосферы; 5 – уровень фотосферы; 6 – хромосферные источники жесткого рентгена; 7 – «испаряющаяся» хромосферная плазма.

Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В. Энергетика и морфология мощных импульсных солнечных вспышек // Письма в Астрономический журнал, 2012, т. 38, № 10, с. 751-760, DOI: [10.1134/S1063773712090058](https://doi.org/10.1134/S1063773712090058)

Защищена магистерская диссертация на кафедре космической физики МФТИ.

Шарыкин И.Н.

А.Б. Струминский, д.ф.-м.н., т. 333-14-67, astrum@iki.rssi.ru

И.В. Зимовец, к.ф.-м.н., т. 333-14-67, ivanzim@iki.rssi.ru

6. Большие протонные события 2012 года: приход первых протонов и функция инжекции

Временные профили интенсивности протонов в событиях 27 января и 17 (71 наземное возрастание) мая 2012, 13 (70 наземное возрастание) и 14 декабря 2006 годов сравнивались относительно нулевого момента (рис. 1-2), выбранного для каждой родительской вспышки. Относительно нулевого момента солнечные протоны 100 МэВ достигали Земли одновременно, т.е. долготный эффект не наблюдался для солнечных долгот E10-W80. Скорость роста и величина максимума интенсивности протонов определялись только функцией источника в сферически – симметричной диффузионной модели распространения. Первое 71-ое GLE текущего цикла зарегистрировано 17 мая 2012, оно произошло примерно в такое же время дня UT, что и 70-ое событие 13 декабря 2006 года. Уловия их наблюдения в одной и той же точке на Земле должны быть схожими. Возрастания темпа счета НМ Оулу совпадали первые 30 мин после нуля (рис. 2), это означает, что и спектры солнечных протонов и их анизотропия вблизи Земли были также одинаковыми.

Солнечное протонное событие 7 марта 2012, связанное с двумя восточными вспышками N17E27 и N22E12, было наибольшим из событий, зарегистрированных в 24-ом солнечном цикле на спутниках вблизи Земли (рис. 1). Приход солнечных протонов и

максимум их интенсивности 7 марта 2012 были задержаны относительно родительских вспышек, а протоны релятивистских энергий не достигли Земли, рассматриваемая модель к нему не применима.

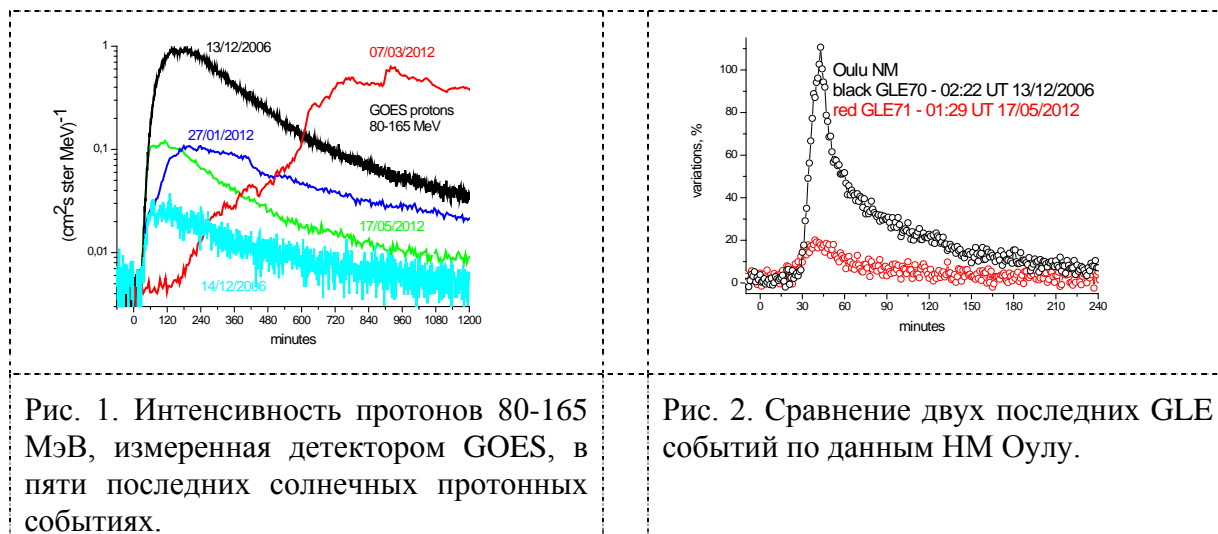


Рис. 1. Интенсивность протонов 80-165 МэВ, измеренная детектором GOES, в пяти последних солнечных протонных событиях.

Рис. 2. Сравнение двух последних GLE событий по данным НМ Оулу.

Принято в печать *The Journal of Physics, Conference series*

Struminsky A., Large SEP events of 2012: proton onset and source function, *The Journal of Physics, Conference series*, accepted for publication, ECRS-2012

Struminsky A., Energetic particles in the heliosphere and GCR modulation: Reviewing of SH-posters, *The Journal of Physics, Conference series*, accepted for publication, ECRS-2012

А.Б. Струминский, д.ф.-м.н., т. 333-14-67, astrum@iki.rssi.ru

7. Исследование коронального нагрева по данным проектов Интербол и RHESSI

По данным проекта RHESSI в мягкой компоненте рентгеновского излучения Солнца исследованы энергетический спектр временных профилей вспышек малой мощности и структура излучения теплового фона солнечной короны за январь–февраль 2003 г. Обнаружено падение интенсивности рентгеновского излучения солнечных событий и теплового фона короны в диапазоне энергий от 2 до 15 кэВ. Проведен сравнительный анализ данных проекта RHESSI с данными проекта «Интербол–Хвостовой зонд». На основе полученных результатов предложен новый механизм нагрева солнечной короны

И.К. Мирзоева, “Падение интенсивности рентгеновского излучения Солнца в диапазоне энергий от 2 до 15 кэВ и нагрев солнечной короны”, “Физика плазмы”, №3, 2013г.

Мирзоева И.К., к.ф.-м.н., 333-14-67, colombo2006@mail.ru

8. Оценки энергии нейтронов космических лучей, пробеги которых до распада превышают расстояние от ближайших остатков сверхновых звезд до Солнечной системы

На основании полученных оценок, сделан вывод, что если существующие представления о происхождении галактических космических лучей соответствуют действительности, то ближайшие сверхновые можно рассматривать как источники высокоэнергичных нейтронов. Вывод о возможном существовании нейтронной компоненты в

высокоэнергичной части спектра галактических космических лучей является важным. Если этот вывод будет подтвержден тем, что будут обнаружены потоки нейтронов от ближайших остатков сверхновых, то это приведет к созданию нового направления в астрофизике – нейтронной астрофизики. Если потоки нейтронов в высокоэнергичной части спектра галактических космических лучей не будут обнаружены, то это послужит основанием для пересмотра существующих представлений о происхождении галактических космических лучей.

Безродных И.П., Тютнев А.П., Семенов В.Т. Ближайшие остатки сверхновых - вероятные источники нейтронов высоких энергий // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ». -2012, том. 130, №5. (в печати)

Безродных И.П., снс

9. Экспериментальное обнаружение излома частотного спектра вариаций параметров плазмы солнечного ветра, интерпретируемого как граница между его инерциальной и диссипативной ветвями

Было проведено исследование спектральных свойств плазмы солнечного ветра в малоизученной области сравнительно высоких частот на основе систематических измерений с рекордно высоким временным разрешением (до 0.03 с) с помощью спектрометра плазмы БМСВ на борту высокоапогейного спутника Спектр-Р.

Эти данные позволяют построить частотный спектр вариаций величины потока ионов в диапазоне от 0.01 Гц до 10 Гц, ранее недоступном прямым измерениям. Типичный пример такого спектра приведен на Рис.4. Важнейшей характеристикой этого спектра является очевидное разделение частотной зависимости на две ветви – низкочастотную (от 10^{-2} Гц и примерно до 1 Гц) и высокочастотную (от примерно 1 Гц и до 10 Гц).

Это разделение качественно соответствует предсказанию частотных свойств солнечного ветра, сделанному на основе рассмотрения фрактальных особенностей солнечной короны и измерений магнитного поля солнечного ветра. В нашей работе эта гипотеза впервые была подтверждена по данным прямых измерений плазмы.

Наклоны полученных спектров были аппроксимированы прямыми линиями (см. Рис.). Для данного примера спектральные индексы составляют для низкочастотной области $P1 = -1.54$ (что близко к оценке Колмогорова), а для высокочастотной области $P2 = -3.05$.

Частотная граница между этими областями, определяемая из точки пересечения двух линейных аппроксимаций, и является границей между инерциальным (низкочастотным) и диссипативным (высокочастотным) диапазонами вариаций потока ионов, связанных, с вариациями плотности плазмы.

Статистика значений граничной частоты указывает на ее высокую изменчивость при изменении условий в солнечном ветре. Среднее значение граничной частоты по нашим данным составляет 1.40 ± 0.63 Гц, что на порядок превышает величину гирочастоты протонов для рассмотренного периода.

Спектральные характеристики вариаций других параметров солнечного ветра - направления вектора потока, скорости и плотности ионов, оказываются аналогичными.

Таким образом, можно заключить, что в нашем эксперименте впервые было показано наличие в спектре мощности вариаций параметров плазмы солнечного ветра двух ветвей частот (инерциальной и диссипативной) с разными наклонами спектра и определено положение частотной границы между ними.

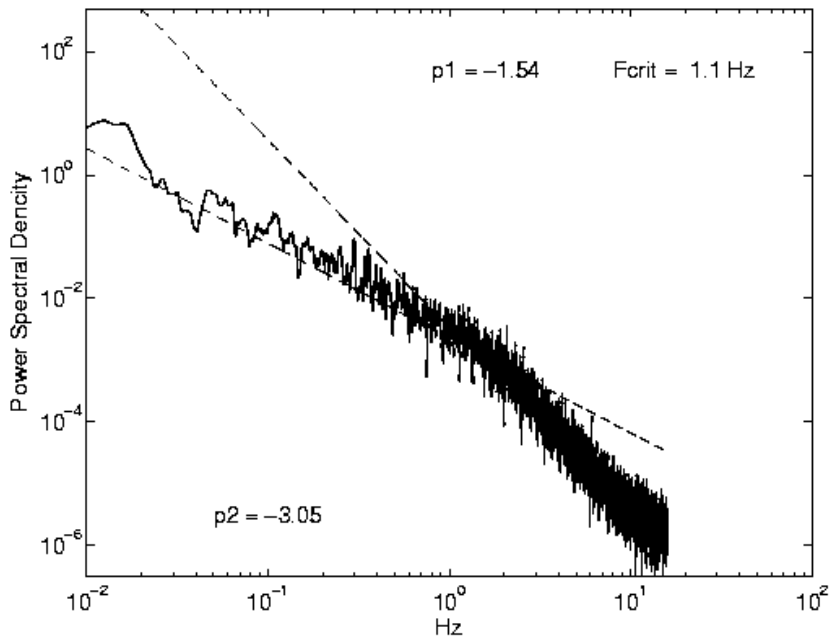


Рис. Пример спектра мощности вариаций потока ионов солнечного ветра.

G. Zastenker , M. Ryazantseva , O. Chugunova , J. Safrankova , Z. Nemecek, L. Prech Spectral Properties of Fast Variations of Solar Wind Parameters, Annales Geophysicae, подготовлена к печати.

Г.Н. Застенкер, проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru

Н.Л. Бородкова, И.В. Колоскова, М.О. Рязанцева, Т.И. Гагуа, И.Т. Гагуа, В.В. Храпченков, П.А. Далин, О.М. Чугунова, Е.А. Гаврилова, А.В. Дьячков, Ю.Н. Агафонов, Я.И. Марков, Е.Е. Рязанова, Л.С. Рахманова

10. Прямой механизм переноса плазмы через магнитосферные границы и краевые области термоядерных установок

Показано, что аномальный перенос в погранслоях магнитосферной плазмы может обеспечиваться прямым проникновением сверхплотных плазменных струй. Сравнение данных спутников ИНТЕРБОЛ, КЛАСТЕР, ТЕМИС, ВИНД, ГЕОТЕЙЛ и ПОЛАР показывает, что именно плазменные струи, непосредственно проникающие в пограничные слои за счет многократно сконцентрированного динамического давления, могут обеспечить перенос плазмы на порядок больший, чем дает классическая диффузия или пересоединение внешних и внутренних магнитных полей (см. Рис. и [1]). Наблюдается подобие статистических свойств турбулентности на магнитосферных границах погранслоев со свойствами периферийной турбулентности в термоядерных установках, в том числе статистики экстремальных событий переноса плазмы; такие всплески обеспечивают «дальнодействие» и межмасштабное взаимовлияние.

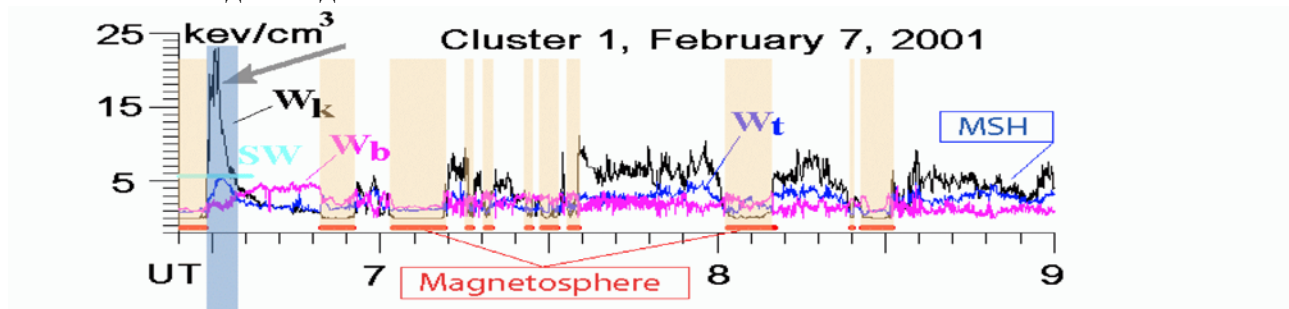


Рис. 7 февраля 2001 г., КЛАСТЕР- 1. Кинетическое W_k (черная кривая), тепловое ионное W_t (синяя кривая) и магнитное W_b (фиолетовая кривая) давления; кинетическое давление с КА ВИНД в солнечном ветре (СВ) во время пересечения первой струи (серая стрелка, см. [1,3]) дано горизонтальной линией, обозначенной “SW”. Линии над горизонтальной осью и вертикальная заливка дают времена нахождения КА в магнитосфере; спокойный магнитослой между ударной волной и магнитопаузой обозначен “MSH”. Оценка потока плазмы в 06-07 UT дает ~60% в СВ (ср. <10% для других процессов [1-3]).

[1]. S. Savin, E. Amata, L. Zelenyi, ..., V. Budaev et al., Ann. Geophys., 30, 1–7, 2012.

[2]. Л. В. Козак, С. П. Савин, В. П. Будаев и др., ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ, т. 52, с. 470–481, 2012.

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

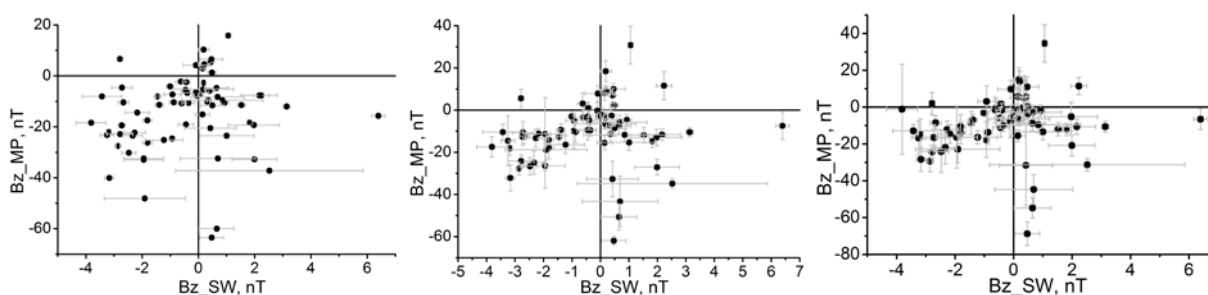
С.П. Савин, д.ф.-м.н., т. (8495)3334024, ssavin@iki.rssi.ru

В.П. Будаев, Л.М. Зеленый, В.Н. Луценко, Н.Л. Бородкова, (ИКИ РАН совместно с «РНЦ Курчатовский институт»)

11. Зависимость магнитного поля у магнитопаузы от магнитного поля перед ударной волной и баланс давлений на магнитопаузе по данным миссии THEMIS

Продолжены исследования турбулентности магнитослоя и баланса давлений на магнитопаузе с использованием данных наблюдений международной миссии ТЕМИС.

Пятиспутниковая миссия THEMIS давала возможность сравнивать поле непосредственно перед ударной волной и у магнитопаузы. Проводилось усреднение 3 с измерений за 30 и 90 с. На Рис. показаны результаты сопоставления поля перед ударной волной с полем у магнитопаузы без усреднения поля у магнитопаузы, при 30 с усреднении и 90 с усреднении. Учитывалась временная задержка при распространения солнечного ветра через магнитослой. Из Рис. следует, что B_z компонента поля у магнитопаузы сравнительно плохо коррелирует с магнитным полем перед ударной волной вплоть до несовпадения знака в значительном числе событий.



Elizaveta E. Antonova, Maria S. Pulinets, Maria O. Riazantseva, Svetlana S. Znatkova, Igor P. Kirpichev, Marina V. Stepanova, Turbulence in the magnetosheath and the problem of plasma penetration inside the magnetosphere, Chapter 18, Exploring the solar wind, ed. M. Lazar, INTECHOPEN.COM, ISBN 978-953-51-0339-4, pp. 417-438, 2012.

Пулинец М.С., М.О. Рязанцева, Е.Е. Антонова, И.П. Кирпичев, Зависимость параметров магнитного поля вблизи подсолнечной точки магнитосферы от межпланетного

магнитного поля по данным эксперимента THEMIS, Геомагнетизм и аэрономия, т. 52, № 6. С. ??, 2012.

Pulinets M.S., M.O. Riazantseva, E.E. Antonova, I.P. Kirpichev, Magnetic field parameters near the subsolar magnetopause in accordance with THEMIS data, "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXV Annual Seminar, Apatity, 2012, p. 45-48.

Pulinets M.S., M.O. Riazantseva, E.E. Antonova, I.P. Kirpichev, The characteristics of plasma and magnetic field at the subsolar magnetopause in accordance with data of THEMIS mission, Proceedings of 9th International Conference Problems of Geocosmos, September, 2008, St. Petersburg, Russia, 2012, in press.

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@oearm.msk.ru
Кирпичев И. П., к.ф.-м.н., т. 333-1467, ikir@iki.rssi.ru

12. Тестирование модели земной магнитопаузы, примененное для необычных условий в солнечном ветре

При построении моделей земной магнитопаузы обычно полагается, что давление солнечного ветра на подсолнечную часть этой границы Π определяется динамическими и тепловыми свойствами солнечного ветра: $\Pi \approx \rho v^2$. Влиянием межпланетного магнитного поля на положение этой границы обычно пренебрегается, или ищется чисто эмпирическая зависимость положения магнитопаузы от B_z компоненты ММП. Недавно Dušík et al. [2010] выявили зависимость расстояния до магнитопаузы от угла между направлениями скорости солнечного ветра и вектора ММП (cone angle). С учетом влияния этого угла нами был построен тестовый вариант модели земной магнитопаузы, воспроизводящий такую зависимость (см. Рис.).

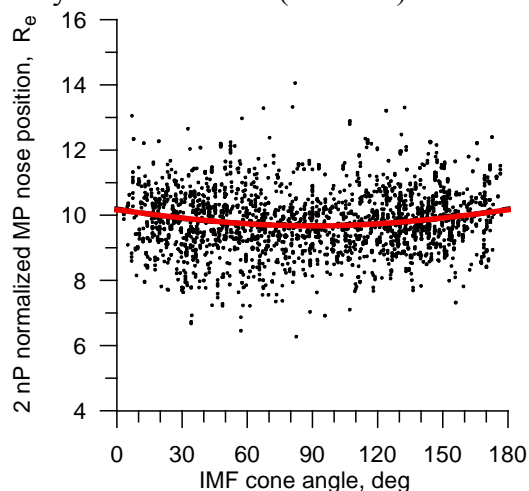


Рис. Зависимость положения подсолнечной точки магнитопаузы от угла между направлениями скорости солнечного ветра и вектора ММП по данным 2986 наблюдений этой границы спутниками серии ПРОГНОЗ. Результаты наблюдений отображены в подсолнечную точку и нормированы на 2 nP. Красная линия – модельная зависимость.

Какой либо зависимости положения магнитопаузы от B_z компоненты ММП по наблюдениям этой границы спутниками ПРОГНОЗ выявлено не было.

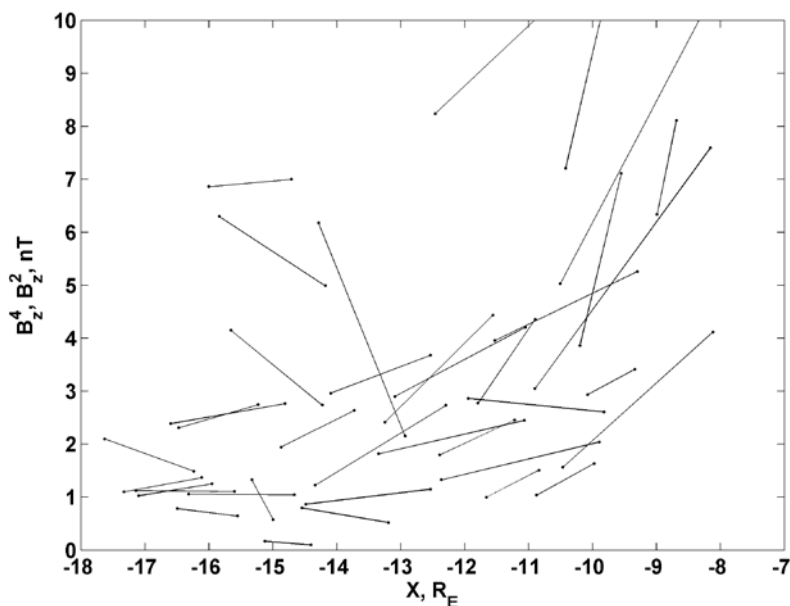
Построенная модель земной магнитопаузы также достаточно хорошо описывает как обычное положение этой границы около $\sim 10 R_e$ наблюдавшееся на спутниках CLUSTER, так и чрезвычайно близкие к Земле положения магнитопаузы, наблюдавшиеся спутником GOES 12 на геостационарной орбите $\sim 6.6 R_e$ при экстремальных условиях в солнечном ветре.

M. Tátrallyay, G. Erdős, Z. Németh, M. I. Verigin, and S. Vennerstrøm, Multispacecraft observations of the terrestrial bow shock and magnetopause during large geomagnetic storms, Annales Geophysicae, 2012 (accepted).

13. Градиент магнитного поля B_z в тонком токовом слое хвоста магнитосферы Земли

По наблюдениям проекта Кластер в течение 2005-2009 с большим расстоянием между спутниками (около 10 000 км) была проанализирована структура тонкого токового слоя, образующегося в хвосте перед внезапным началом суббури. Собрана база из около 50 событий, в которых можно достоверно вычислить как величину плотности поперечного электрического тока, так и градиент магнитного поля B_z вдоль хвоста. Последний определяет (слабую) двумерность конфигурации. Вблизи Земли (в пределах 14 R_E) во время фазы накопления уменьшается как B_z , так и его градиент. Особый интерес представляет обнаружение отрицательных градиентов B_z (профили с максимумом B_z вдоль хвоста). Показано, что интервалы с отрицательным градиентом B_z (в пределах 0.5-2 нТ/ R_E) могут наблюдаться в любой части фазы накопления, хотя и тяготеют к ее окончанию, где B_z меньше. Не обнаружено какой-либо закономерности появления отрицательного градиента непосредственно перед локальным всплеском активности (внезапным началом суббури). Длительность интервалов отрицательного градиента составляет порядка 5-10 мин, что позволяет связать их с мезо-масштабными (1-2 R_E) вариациями в тонком вытянутом токовом слое, в том числе, связанными с быстрыми потоками плазмы. Показано, что наклон токового слоя далеко не всегда может объяснить наблюдаемые вариации B_z . В целом гипотеза о формировании зоны отрицательного градиента B_z перед онсетом, как условия возникновения неустойчивости не нашла прямого подтверждения.

На рисунке представлены величины B_z , измеренные спутниками C2 и C4 непосредственно перед онсетом для всех событий. C2 обычно наиболее удален от Земли, C4 – ближе к Земле. Наклон отрезков, соединяющих значения поля, дает представление о градиенте.



A.A. Petrukovich, A.V.Artemyev, R. Nakamura, Downtail gradients of B_z in the thin current sheet, подготовлено для отправки в *Annales Geophysicae*, 2012

Петрукович А.А., чл.-корр., д.ф.-м.н., 333-3267 (apetruko@iki.rssi.ru)

14. Статистическое исследование плазменных характеристик Пограничного Плазменного Слоя (ППС) хвоста магнитосферы Земли с целью создания алгоритма для автоматического поиска интервалов пересечений ППС по спутниковым данным

На основе статистического анализа характеристик плазмы и магнитного поля, измеренных спутниками Cluster в 100 интервалах пересечений Пограничного Плазменного Слоя (ППС) хвоста и прилежащих к нему областей высокоширотной доли хвоста и Плазменного Слоя (ПС), разработан алгоритм автоматического (без визуального анализа) поиска интервалов пересечения спутником области ППС. Интервалы пересечения спутником высокоширотной доли хвоста, ППС и ПС предварительно выбирались с помощью визуального анализа ионных спектрограмм и функций распределения ионов по скоростям. Затем, полученные результаты сравнивались с результатами автоматического поиска ППС по заданным пороговым значениям различных плазменных параметров: плазменное β , динамическое давление, скорость ионов вдоль магнитного поля и плотность ионов, вычисленные как по полному спектру (0.02 - 40 кэВ), так и для его высокоэнергичной части (2 - 40 кэВ), отношения X-компоненты магнитного поля к модулю магнитного поля. В результате установлено, что для идентификации ППС наилучший результат (ошибка < 30%) может быть получен при использовании для автоматического поиска пороговых значений скорости ионов вдоль магнитного поля ($|V_{\text{par}_X}| > 400$ км/с) и плотности ионов ($> 0.01 \text{ см}^{-3}$), вычисленных для высокоэнергичной части спектра (2 - 40 кэВ).

E.E. Grigorenko, L.M. Zelenyi M.S. Dolgonosov, A.V. Artemyev, C.J. Owen, J.-A. Sauvaud, M. Hoshino, M. Hirai, Non-adiabatic ion acceleration in the Earth magnetotail and its various manifestations in the Plasma Sheet Boundary Layer, Space Sci. Rev., 2012, 164, N1, 133-181.

E.E. Grigorenko, R. Koleva, J.-A. Sauvaud, On the problem of Plasma Sheet Boundary Layer identification from plasma moments in Earth's magnetotail, Ann. Geophysicae, 2012, 30, 1331-1343.

Григоренко Елена Евгеньевна внс лаб. 546 тел. 333-14-67
elenagrigorenko2003@yahoo.com grig@romance.iki.rssi.ru

15. Статистические исследования динамики потоков высокоэнергичных ионов O^+ и H^+ в плазменном слое ближней области магнитосферного хвоста по данным спутников Cluster

Впервые, на большом статистическом материале, включающем данные семилетних измерений потоков энергичных ионов разных масс спектрометрами энергичных частиц RAPID, установленными на спутниках проекта Cluster, систематически исследована динамика потоков сильно ускоренных ионов O^+ и H^+ (> 274 кэВ) в плазменном слое ближней области магнитосферного хвоста ($-10 R_E \leq X < -6 R_E$, R_E – радиус Земли) в зависимости от уровня геомагнитной активности, направления межпланетного магнитного поля (ММП) и динамического давления солнечного ветра. Установлено, что: 1) пространственное распределение ионов O^+ имеет более выраженную асимметрию в направлении утро-вечер, чем распределение H^+ ; 2) концентрация энергичных ионов O^+ возрастает в периоды южного направления ММП; 3) отношение концентраций энергичных ионов кислорода и протонов, nO^+/nH^+ , может превышать 0.5 в периоды геомагнитных возмущений ($AE \geq 300$ nT). Данные результаты указывают на то, что наиболее вероятным механизмом сильного ускорения ионов O^+ является магнитное пересоединение. Время взаимодействия тяжелых ионов с токовым слоем хвоста больше, чем для легких ионов и в результате, ионы O^+ более эффективно смещаются в сторону вечернего фланга, чем протоны.

E.A. Kronberg, S.E. Haaland, P.W. Daly, E.E. Grigorenko, L.M. Kistler, M. Fränz, I. Dandouras, Oxygen and hydrogen abundance in the near-Earth magnetosphere: Statistical results

Григоренко Елена Евгеньевна внс лаб. 546 тел. 333-14-67
elenagrigenko2003@yahoo.com grig@romance.iki.rssi.ru

16. Распределение давления плазмы в области $15R_E > X_{SM} > -15R_E$ и $15R_E > Y_{SM} > -15R_E$ по данным международной миссии THEMIS

Продолжены работы по изучению распределения давления плазмы в магнитосфере Земли по данным международной миссии THEMIS. Основное внимание было сконцентрировано на расширении базы данных и привязке данных конкретных измерений к одновременно измеряемым параметрам солнечного ветра. В ходе проводимых работ из базы данных выделялись интервалы, в которых фиксировалось несовпадение спектров, измеренных прибором ESA (электростатическим анализатором ионов в диапазоне энергий от 1.6 эВ до 25 кэВ и электронов от 2 эВ до 32 кэВ) со спектрами, измеренными прибором SST (твердотельным телескопом, регистрирующий ионы в диапазоне энергий от 25 кэВ до 6 МэВ и электроны от 25 кэВ до ~900 кэВ) в перекрывающихся энергетических диапазонах. Данные интервалы исключались при анализе распределения давления. Очищенная база данных использовалась для построения распределения давления в зависимости от динамического давления солнечного ветра и значений межпланетного магнитного поля. Данные разбивались на группы в соответствии со значениями давления солнечного ветра, когда подсолнечная точка магнитопаузы по модели Shu-1998 находилась на геоцентрических расстояниях $11 \pm 0.5 R_E$, $10.5 \pm 0.5 R_E$, $10 \pm 0.5 R_E$, $9.5 \pm 0.5 R_E$, $9 \pm 0.5 R_E$. На Рис. 1 показана картина распределения перпендикулярной и параллельной компонент давления плазмы при динамическом давлении солнечного ветра в 2,5 нПа, когда магнитопауза по модели Shu-1998 должна была бы находиться на $10R_E$. Величины давлений показаны на цветной шкале в правой части рисунка. Красная линия показывает положение магнитопаузы по модели Shu-1998. Черными линиями показаны изолинии одновременно измеренного значения магнитного поля. На рис. 2 показана зависимость анизотропии давления от геоцентрического расстояния на меридианах день-ночь и утро вечер при северном и южном направлениях ММП. Из рисунков следует, что на геоцентрических расстояниях от 6 до $10 R_E$ давление магнитосферной плазмы близко к изотропному.

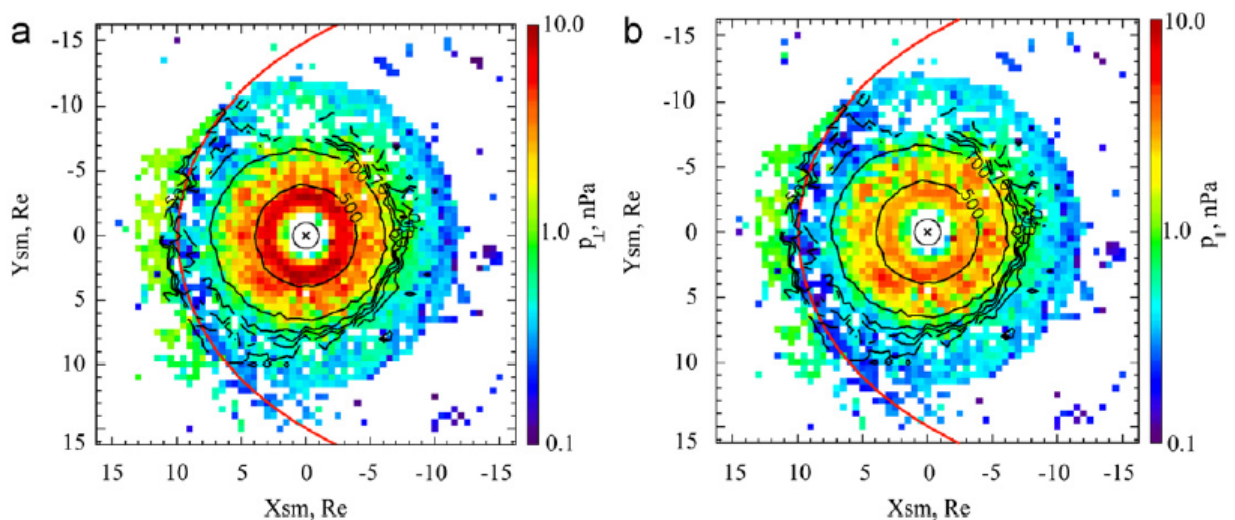


Рис. 1.

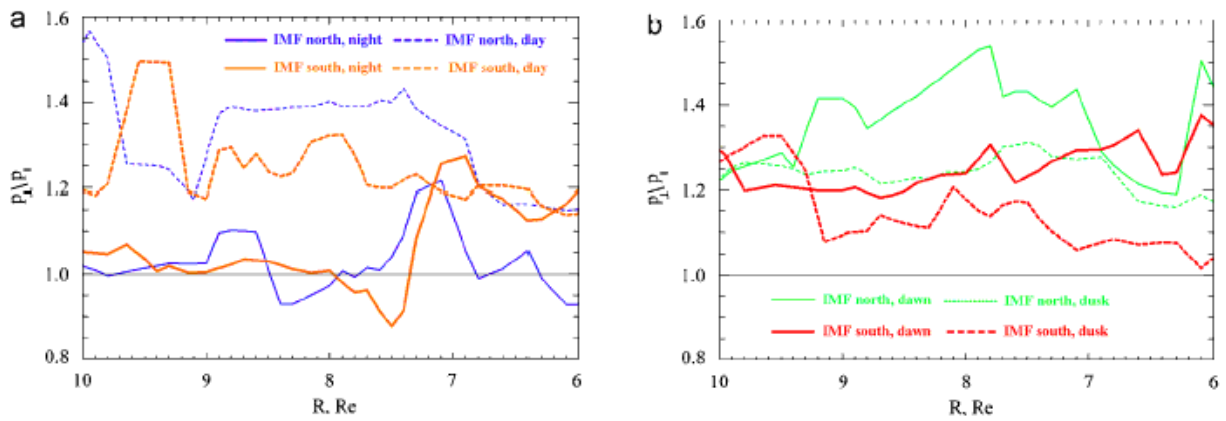


Рис. 2.

Antonova E.E., I.P.Kirpichev, V.V.Vovchenko M.V.Stepanova, M.O.Riazantseva, M.S.Pulinets, I.L.Ovchinnikov, S.S.Znatkova, Characteristics of plasma ring, surrounding the Earth at geocentric distances $\sim 7-10RE$, and magnetospheric current systems, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.08.013>. 2012.

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru
 Кирпичев И. П., к.ф.-м.н., т. 333-1467, ikir@iki.rssi.ru
 В.В. Вовченко, Рязанцева М.О.

17.Определение роли симметричной компоненты давления кольцевого тока в создании Dst вариации во время магнитных бурь

Продолжены исследования вклада кольцевого тока магнитосферы Земли в создание Dst вариации во время магнитных бурь с учетом нелинейного характера возмущения магнитного поля во внешних областях магнитосферы конечным давлением плазмы при плазменном параметре сравнимым с 1. Работа является составной частью исследований природы возникновения увеличенных потоков релятивистских электронов (электронов «киллеров») во время магнитных бурь. Проведено исследование роли симметричной части кольцевого тока в создании Dst. Использована ранее разработанная программа расчета возмущений магнитного поля диполя известным азимутально симметричным распределением давления плазмы при конечном значении плазменного параметра. Использованы данные наблюдений на высокоапогейных спутниках для магнитных бурь 16-18 декабря 1971 г. (Explorer 45), магнитных бурь 4-7 сентября 1984 г. и 30 ноября 1988 г. (AMPTE/CSE), для которых были получены относительно стабильные радиальные профили давления (длительные бури). Данный выбор связан с тем, что профиль давления может существенно изменяться за время пересечения спутником диапазона геоцентрических расстояний, вносящих основной вклад в радиальный профиль давления. События -7 сентября 1984 г. и 30 ноября 1988 г. соответствовали наблюдениям во время главной фазы бури в дневном и утреннем секторах, что позволяло измерить азимутально симметричную часть азимутально асимметричного давления. Рис. 1 и 2 иллюстрируют полученные результаты. Показаны: Dst вариация и временной диапазон, в котором проводились измерения - (а), положение орбиты спутника - (б), измеренный профиль плотности энергии - (в) и полученные в результате расчетов возмущение поля в экваториальной плоскости - (г). Результаты моделирования хорошо соответствовали величине Dst вариации, что привело к выводу о доминирующем вкладе в создание Dst во время всех фаз магнитных бурь средней интенсивности симметричной частью кольцевого тока.

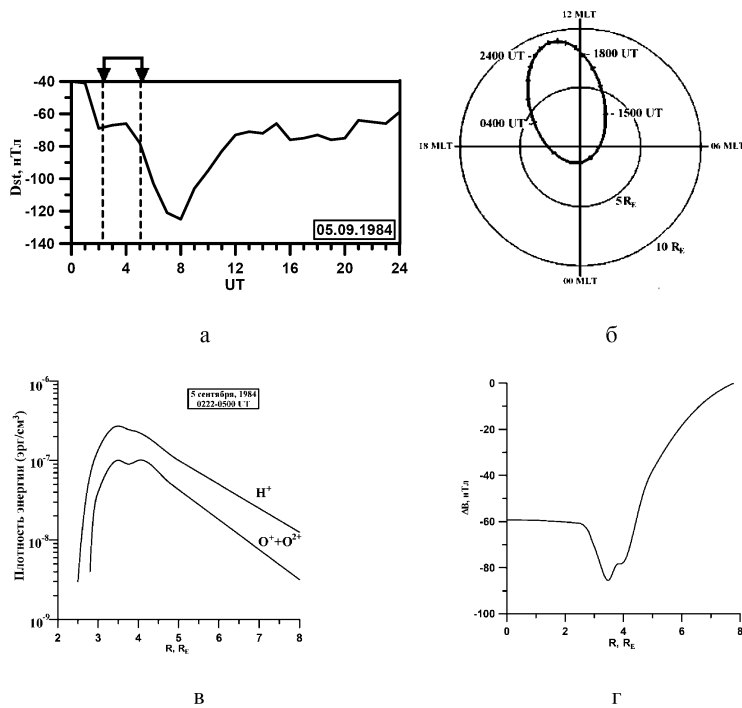


Рис. 1.

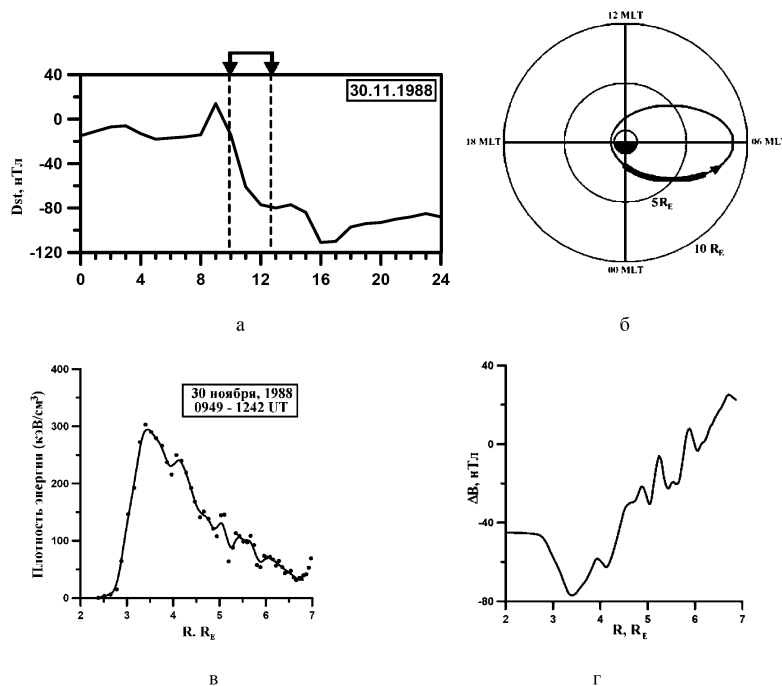


Рис. 2.

Вовченко В. В., Е. Е. Антонова, Зависимость объемов магнитных силовых трубок от давления плазмы в осесимметричном магнитном поле и Dst вариация, Геомagnetизм и аэрoнoмия, т. 52, № 1. 52-63. С. 2012 г.

Antonova E.E., I.P. Kirpichev, V.V. Vovchenko, M.O. Riazantseva, M.S. Pulinets, I.L. Ovchinnikov, S.S. Znatkova, M.V. Stepanova, Magnetospheric storms and substorms, nature and topology of high latitude current systems, "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXV Annual Seminar, Apatity, 2012, p. 9-16.

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@oearm.msk.ru
В.В. Вовченко

18. Природа процессов во время магнитосферной суббури

Проведены работы в области физики магнитосферных суббурь, связанные с анализом распределения давления в высокоширотной магнитосфере. Результаты анализа наземных наблюдений позволили выделить особый тип высокоширотных суббурь, при которых наблюдаются интенсивные геомагнитные пульсации в диапазоне $Pi2$ и $Pi3$, амплитуды которых более чем на порядок превышающих типичную амплитуду этих пульсаций в авроральных широтах. Результаты наблюдений позволяют связать природу суббурного взрыва с неустойчивостью вытекающего продольного тока зоны 1 Ииджимы и Потемры в вечернем секторе, что соответствует модели суббури, разработанной и опубликованной в 2002 г. (Antonova [Adv. Space Res. Vol. 30, No. 7, pp. 1671-1676.2002], Stepanova et al. [JGR, Vol. 107, NO. A7, 1134, 10.1029/2001JA003503, 2002]).

Проведен предварительный анализ формирования дискретных авроральных дуг на границах или внутри структур типа перевернутого V.

Антонова Е.Е., И.П. Кирпичев, М.О. Рязанцева, Б.В. Марьин, М.С. Пулинец, С.С. Знаткова, М.В. Степанова, Магнитосферная суббуря и дискретные дуги полярного сияния, Вестник МГУ, Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. № 6. с. 31-38, 2012.

Клейменова Н.Г., Антонова Е.Е., Козырева О.В., Малышева Л.М., Корнилов И.А., Корнилова Т.А., Волновая структура магнитосферных суббурь в полярных широтах, Геомагнетизм и аэрономия, т. 52, № 6. С. ??, 2012.

Клейменова Н. Г., д.ф.-м.н., проф., 254-42-90, kleimen@ifz.ru

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru

Кирпичев И. П., к.ф.-м.н., т. 333-1467, ikir@iki.rssi.ru

М.О. Рязанцева, к.ф.м.н., т. 333-13-88, oream@hotbox.ru

19. Исследование возрастания потоков релятивистских электронов к полюсам от полярных границ внешнего электронного радиационного пояса

Проведена проверка полученных ранее результатов по возрастаниям потоков энергичных электронов к полюсу от внешней границы внешнего электронного радиационного пояса с использованием данных отечественных спутников КОРОНАС-ФОТОН и Метеор-М № 1. Спутники работали одновременно в ноябре 2009 г. Анализировались измерения потоков электронов с энергией >200 МэВ на спутнике КОРОНАС-ФОТОН и авроральной плазмы с энергией 0.1 – 16 кэВ на спутнике Метеор-М № 1. Получена статистическая картина распределений событий возрастаний потоков энергичных электронов по магнитному локальному времени. В полученном распределении выделены максимумы вблизи полуночи и на 10 h MLT. Показано, что все наблюдаемые события возрастания потоков энергичных электронов локализованы на широтах аврорального овала. Наблюдение квазистационарных возрастаний на нескольких орбитах подтверждают возможность появления сравнительно долгоживущих ловушек для энергичных частиц.

Riazantseva M.O., I.N. Myagkova, M.V. Karavaev, E.E. Antonova, I.L. Ovchinnikov, B.V. Marjin, M.A. Saveliev, V.M. Feigin, M.V. Stepanova, Enhanced energetic electron fluxes at the region of the auroral oval during quiet geomagnetic conditions November 2009, Advances in Space Research 50, 623–631. 2012.

М.О. Рязанцева, к.ф.м.н., т. 333-13-88, oream@hotbox.ru

Антонова Е. Е., проф., д.ф.-м.н., т. 333-13-88, antonova@orearm.msk.ru

20. Получение и анализ трехмерных распределений флуктуаций магнитного поля по волновым векторам в турбулентной плазме в области магнитосферного каспа Земли по данным измерений Кластера и нахождение эмпирического степенного закона для описания инерционной области анизотропных спектров турбулентности

По результатам обработки измерений флуктуаций полей и плазмы четырех КА Кластера в области внешнего каспа Земли построен динамический ряд трехмерных распределений колебаний магнитного поля по волновым векторам. Исследована форма 3D \mathbf{k} -спектров в области значений волновых чисел от 0.002 до 0.6 рад/км (длин волн от ~3000 до ~10 км), перекрывающих МГД и ионные масштабы. Получены следующие новые результаты.

В магнитослое вблизи каспа и в каспе обнаружены вихревые каскады, характеризующиеся анизотропными вращающимися спектрами, у которых параметры анизотропии зависят от волнового числа. Найдено, что с ростом $|\mathbf{k}|$ возрастает угловая дисперсия волновых векторов. Изменения угловых распределений происходят скачком вблизи резонансных значений волновых чисел, соответствующих гирорадиусам протонов и альфа-частиц. Наряду с вихрями, выделены не вращающиеся структуры, которые также характеризуются анизотропными спектрами с большим разнообразием формы.

В задаче описания турбулентности анизотропной магнитоактивной плазмы применен новый подход, основанный на определении трехмерных пространственных распределений. Суть этого подхода заключается в нахождении зависимости спектральной плотности мощности от модуля волнового вектора $|\mathbf{k}| = (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)^{1/2}$ - с учетом всех трех компонент. Соответствующие спектры были получены для 288 интервалов измерений, относящихся к разным пространственным областям, в которых наблюдались разные плазмы, в разных турбулентных состояниях. В результате было найдено, что в интервале длин волн от ~ 3000 км до ~ 10 км плотность энергии магнитных флуктуаций, отнесенная к единице объема в пространстве волновых векторов, усредненная по полному телесному углу, спадает с величиной $|\mathbf{k}|$ по степенному закону с показателем степени $\alpha = -5.0 \pm 0.3$ независимо от величины и характера анизотропии. Таким образом, впервые было показано, что все многообразие пространственных спектральных распределений колебаний магнитного поля в условиях сильной и слабой турбулентности плазм с разным набором основных плазменных параметров описывается в инерционной области (с возможными небольшими отклонениями) общим степенным законом, сформулированным выше.

С. А. Романов, С. И. Климов, С. П. Савин. Эмпирический степенной закон для спектров магнитной турбулентности анизотропной плазмы. Письма в ЖЭТФ, том 96, вып. 10. 2012.

Романов С.А., к.ф.-м.н., с.н.с. отдела №54, sroman@mx.iki.rssi.ru

21. ОНЧ-излучения в авроральных широтах

Обнаружена серия неизвестных ранее типов квазипериодических ОНЧ излучений, наблюдаемых на земной поверхности в авроральных широтах ($L \sim 5.3$) в магнитоспокойное время ($K_p = 0-1$). В отличие от типичных квазипериодических ОНЧ излучений с максимумом появления в дневные часы летом, обнаруженные излучения были зарегистрированы вблизи зимнего солнцестояния ночью и ранним утром. В отличие от типичных случаев с квазипериодом в 20-30 с, были выявлены случаи как постепенного возрастания, так и постепенного убывания квазипериодом повторения дискретных форм ОНЧ излучений от десятков секунд до нескольких минут. Установлено, что временная

динамика квазипериодических ОНЧ излучений резко меняется при появлении в солнечном ветре скачков динамического давления и смены знака V_z компоненты ММП.

Тонкая структура отдельных дискретных ОНЧ сигналов состояла из суперпозиции волн разного частотного диапазона с различной временной динамикой и, вероятно, разных источников возбуждения. Выявлены случаи, когда появление отдельных интенсивных низкочастотных ($f < 2$ кГц) ОНЧ сигналов являлось триггером для генерации более высокочастотных (2-5 кГц) дискретных сигналов с быстро возрастающей верхней граничной частотой волн.

Теория генерации выявленных новых типов квазипериодических ОНЧ излучений пока не разработана. Однако отдельные случаи могут найти объяснение в рамках теории генерации собственных колебаний циклотронной неустойчивости радиационных поясов Земли, предложенной в работах В.Ю. Трахтенгерца и П.А. Беспалова

Результат принят в печать в статье J. Manninen, N.G. Kleimenova, O.V. Kozyreva, P.A. Bepalov, A.E. Kozlovsky, Non-typical ground-based quasi-periodic VLF emissions observed at $L \sim 5.3$ under quiet geomagnetic conditions at night, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Available online 26 May 2012, ISSN 1364-6826, 10.1016/j.jastp.2012.05.007.

Клейменова Н. Г., д.ф.-м.н., проф., 254-42-90, kleimen@ifz.ru
Козырева О.В.

22. МГД моделирование амплитуды отклика магнитного поля на геосинхронной орбите на резкое изменение давления солнечного ветра

Проведено 3D МГД моделирование отклика магнитного поля на геосинхронной орбите в ответ на большое и резкое возрастание динамического давления солнечного ветра. На примере детального изучения измерений в солнечном ветре и в магнитосфере для трех выбранных событий, было проведено сравнение модельных значений V , V_x , V_y и V_z с измеренными значениями геосинхронного магнитного поля. Сравнение модельных и измеренных значений показало, что геосинхронное магнитное поле предсказываются МГД моделью с высокой степенью точности (коэффициент эффективности предсказания $R_E \sim 1$ в полуденной области) на дневной стороне магнитосферы, и с несколько меньшей точностью – на ночной стороне. Для этих же событий было проведено моделирование отклика геосинхронного поля с помощью эмпирической модели T01. Показано, что точность предсказания магнитного поля по модели T01 ниже, чем у МГД модели.

T. R. Sun, C. Wang, N. L. Borodkova, and G. N. Zastenker. Geosynchronous magnetic field responses to fast solar wind dynamic pressure enhancements: MHD field model. *Ann. Geophys.*, 30, 1285–1295, 2012, doi:10.5194/angeo-30-1285-2012.

Н.Л. Бородкова, к.ф.-м.н., т.: 333-13-88, nlbor@mail.ru
Г.Н. Застенкер, проф., д.ф.-м.н., т.: 333-13-88, gzastenk@iki.rssi.ru

23. Структура низкочастотных гидромагнитных колебаний по наблюдениям на высоко- и низко апогейных спутниках

Проанализированы колебания диапазона Pc5 (периоды порядка нескольких мГц), зарегистрированные во внешней области вечерней магнитосферы на 5 спутниках Themis, когда все аппараты двигались с небольшим разносом по одной орбите. Определены градиенты пространственной структуры колебаний и потоков энергичных протонов. Наблюдаемые фазовые сдвиги поля колебаний между аппаратами предположительно вызваны их распространением в солнечном (западном) направлении с азимутальными

волновыми числами $m \sim 30-60$. По данным детекторов частиц определена неравносность распределения протонов: немонотонность распределения по энергии и резкая пространственная неоднородность. Рассчитанные параметры плазмы и колебаний не согласуются с широко распространенным предположением о дрейфово-зеркальной неустойчивости как источнике колебаний.

Сопоставление наблюдений УНЧ волн диапазона Pc5 на меридиональной сети станций в Гренландии и измерений электромагнитного поля в верхней ионосфере на микро-спутнике Astrid-2 дало возможность изучить связь между авроральными дугами, авроральным электроджетом, и электромагнитными возмущениями различных пространственно-временных масштабов. Спектральный анализ с помощью метода максимальной энтропии выявил усиление спектральной плотности электромагнитных всплесков на частотах порядка нескольких герц, что соответствует пространственным масштабам около нескольких км. Возможный механизм частотно-зависимого усиления электромагнитных шумов может быть связан с резонансной конверсией крупномасштабных УНЧ возмущений в дисперсионные альвеновские волны.

Были проанализированы наблюдения ионно-циклотронных (ИЦ) волн на спутниках ST-5 в верхней ионосфере (высоты от нескольких сотен до тысяч км). В этом проекте три идентичных микро-спутника находились на практически одинаковых орбитах с разном от первых тысяч км до сотен км между ними в течение 3 месяцев в 2006 г. Все зарегистрированные на 2-3 аппаратах ИЦ волновые пакеты наблюдались при пересечении одной и той широты, что свидетельствует об их узкой локализации по широте, с характерным масштабом от первых десятков до 100 км. Ни в одном событии ИЦ волны не были зарегистрированы с сопоставимыми амплитудами всеми 3 аппаратами. В тоже время, для случаев пролета ST5 вблизи наземного индукционного магнитометра, всплеску ИЦ волн в верхней ионосфере соответствовало длительное излучение в том же частотном диапазоне на Земле. Это обстоятельство может свидетельствовать о том, что ИЦ неустойчивость развивается не непрерывно, а в пульсирующем режиме с характерным временем до ~ 10 мин. Характерной особенностью поляризационной структуры зарегистрированных поперечно-поляризованных волн является изменение направления вращения при пересечении спутником волновой структуры.

Принципиальным результатом наблюдений является то, что даже максимальный наблюдаемый масштаб $\Delta \sim 10^2$ км, соответствует не режиму квази-продольного распространения, как предполагается во всех теориях ИЦ неустойчивости, а режиму квази-поперечного распространения, $k_{\perp} > k_{*}$. Таким образом представления о генерации ИЦ волн энергичными протонами в магнитосфере Земли должны быть дополнены механизмом формирования их сильно локализованной радиальной структуры. Проведенный в работе анализ показал, что характерной особенностью структуры зарегистрированных поперечно-поляризованных волн является эллиптическая поляризация и изменение направления вращения в области максимальных амплитуд. Этот эффект может свидетельствовать о захвате волн в магнитосферный волновод, хотя имеющиеся теоретические модели не объясняют количественно этот эффект. Этот волновод, по-видимому, формируется на участке силовой линии, примыкающем к ее вершине. Сопоставление спутниковых и наземных наблюдений подводит к выводу, что ИЦ неустойчивость протонов кольцевого тока работает не как конвективный усилитель многократно осциллирующих волновых пакетов, а как система локальных генераторов кратковременных (< 10 мин) волновых всплесков.

Меликян К.А., В.А. Пилипенко, О.В. Козырева, Пространственная структура Pc5 волн во внешней магнитосфере по наблюдениям на спутниках Themis, Космические исследования, 51, №3, 2013.

Пилипенко В.А., Полозова Т.Л., Энгебретсон М., Пространственно-временная структура ионно-циклотронных волн в верхней ионосфере по наблюдениям на спутниках ST5, *Космические исследования*, 50, N5, 1-11, 2012.

Пилипенко В.А., д.ф.-м.н (8-903-6184666, pilipenko_va@mail.ru)

24. Модуляция магнитосферной и ионосферной плазмы МГД волнами

Скоординированные наблюдения на сети магнитометров IMAGE и радаре EISCAT глобальных Pc5 пульсаций на восстановительной фазе сильной магнитной бури 31.10.2003 обнаружили неожиданно глубокую (до ~60%) модуляцию Pc5 пульсациями электронной плотности в E-слое, интегральной по высоте ионосферной проводимости, и ионной температуры в F-слое. Эта модуляция наблюдалась при отсутствии квази-периодического высыпания энергичных электронов, как показали риометрические данные. В основе наблюдаемых модуляционных эффектов возможно лежат джоулев нагрев ионосферы электрическим полем УНЧ волны, и опустошение/подкачка электронного содержания нижней ионосферы продольным током, переносимым альвеновской волной. С помощью метода фазового портрета пульсаций, показано, что воздействие УНЧ волны на ионосферные параметры приводит к нелинейному искажению волновой формы пульсаций.

Pilipenko, V., V. Belakhovsky, A. Kozlovsky, E. Fedorov, and K. Kauristie, ULF wave modulation of the ionospheric parameters: Radar and magnetometer observations, *J. Atmosph. Solar-Terr. Physics*, 2012.

Пилипенко В.А., д.ф.-м.н (8-903-6184666, pilipenko_va@mail.ru)

25. Обзор научных задач проекта РЕЗОНАНС

Подготовлен обзор, в котором представлены научные задачи и эксперименты планируемого космического проекта РЕЗОНАНС и современное состояние его подготовки. Проект направлен на решение таких ключевых проблем физики внутренней магнитосферы Земли как динамика волн и частиц в радиационных поясах, различные режимы работы «магнитосферного мазера», механизмы ускорения, питч-угловой диффузии и высыпания энергичных частиц из радиационных поясов, генерация хорových излучений и аврорального километрового излучения и др.

M. M. Mogilevsky, L. M. Zelenyi, A. G. Demekhov, A. A. Petrukovich, D. R. Shklyar and RESONANCE Team (2012). RESONANCE Project for Studies of Wave-Particle Interactions in the Inner Magnetosphere. *Geophysical Monograph Series*, 10.1029/2012GM001334.

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

Петрукович Анатолий Алексеевич, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., т. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

Шкляр Давид Рувимович, д.ф.-м.н., зав. лаб., тел. 333-45-34, david@iki.rssi.ru

26. Исследование возрастания величины фотоэлектронного тока со временем функционирования космического аппарата в магнитосфере

Как правило, фотоэлектронный ток возрастает со временем нахождения аппарата в космосе, но этот эффект был обнаружен только в магнитосфере. Исследование возрастания фототока с магнитосферного спутника со временем его работы на орбите

особенно интересно провести при низкой солнечной активности, при небольшом росте L_{α} . Таким спутником является Интербол-2, который функционировал в период низкой солнечной активности 23-го цикла. Сопоставление одновременных измерений потенциала спутника Интербол-2 относительно плазмы зондовыми приборами ИЭСП-2 (измеритель электрических полей) и КМ-7 (датчик электронной температуры) позволяет оценить плотность фотоэлектронного тока за период октябрь 1996 г. - март 1998 г. Фотоэлектронная плотность тока на спутнике Интербол-2 в Авроральной зоне магнитосферы находится, как правило, в диапазоне $1.83.6 \text{ nAcm}^{-2}$, т.е. имеет значения, определенные для ионосферных спутников, но фототок быстро возрастает со временем функционирования аппарата в космосе, что характерно для магнитосферных спутников. В феврале-марте 1998 года фотоэлектронная плотность тока на спутнике Интербол-2 достигает пределов $3.64.0 \text{ nAcm}^{-2}$, а такие величины регистрируются на ионосферных спутниках только в максимуме солнечной активности.

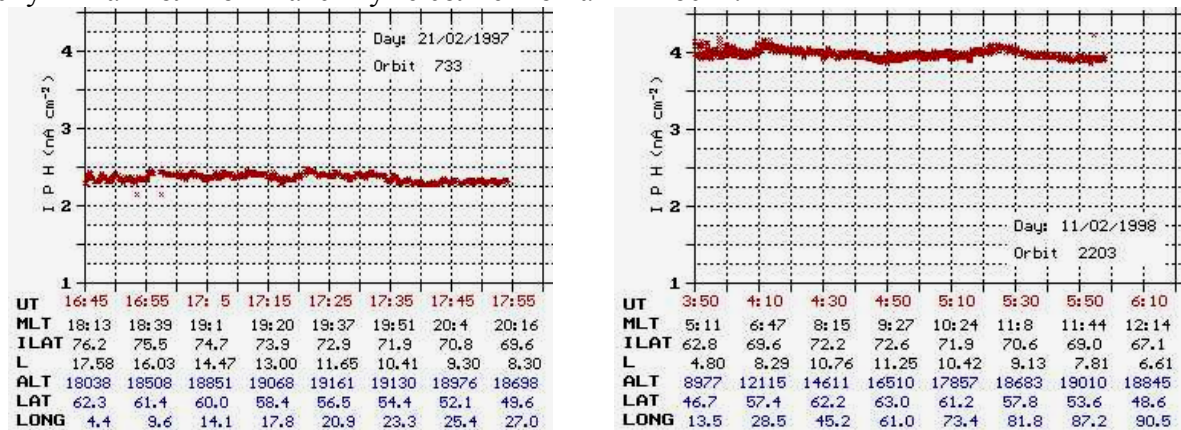


Рис. Фототок со спутника Интербол-2 21 февраля 1997 г. (левая панель) и 11 февраля 1998 г. (правая панель). В результате годового пребывания спутника на орбите величина фототока выросла приблизительно на 60%, а поток L_{α} излучения Солнца - только на 10%.

Прототип ИЭСП-2 прибор ИЭСП-1 был установлен на ионосферном спутнике Болгария-1300, который функционировал в период максимума солнечной активности 21-го цикла. На орбите этого спутника есть участки, на которых проводились измерения электрического поля методом двойного зонда прибором ИЭСП-1, когда один из зондов затенен. Показано, что на этих участках можно грубо оценить величину фототока для сопоставления с результатами Интербол-2. Полученные оценки составляют $\sim 3.8 \text{ nAcm}^{-2}$ для измерений, проведенных в сентябре 1981г., когда наблюдалась высокая солнечная активность.

Смирнова Н.Ф., Станев Г., Годориева Л., Лукарски Х. Исследование фотоэмиссии космических аппаратов в зависимости от солнечной активности и положения орбиты на основе данных со спутников Болгария-1300 и Интербол-2. //сборник тезисов конференции "Физика плазмы в солнечной системе", 06-10 февраля 2012 г., ИКИ РАН, с. 117.

Смирнова Н.Ф., н.с., nsmirnova@romance.iki.rssi.ru

27. Восстановление трехмерного распределения плазмы в земной плазмосфере по результатам измерений вдоль орбиты КА

Имеющиеся в настоящее время теоретические модели распределения плазмы в плазмосфере достаточно сложны и непригодны для практического применения, а эмпирические модели ограничиваются экваториальной плоскостью и основаны на

соотношениях, не поддающихся физической интерпретации. Изменение плотности плазмы в плазмосфере вдоль силовых линий геомагнитного поля и экспериментально исследовано довольно плохо.

Нами развивается полуэмпирическая модель плазмосферы Земли, которая позволяет по измерениям вдоль одного пролета спутника через плазмосферу восстановить распределение плазмы во всей меридиональной плоскости. Модель основывается на теоретических выражениях Lemaire and Scherer [1974] для случаев теплового равновесия и бесстолкновительного частичного заполнения плазмосферных оболочек, поэтому ее параметры имеют ясный физический смысл и позволяют, в частности, оценить степень заполненности плазмосферы. Проведено тестирование модели по данным всех измерений холодной плазмы в эксперименте АЛЬФА-3 на спутнике ИНТЕРБОЛ-1 (1995-2000 гг.).

На рис. показаны примеры сравнения построенной модельной зависимости (сплошная линия) с экспериментальными данными (точки) при разной геомагнитной активности. Два левых графика соответствуют спокойным геомагнитным условиям, коэффициент заполнения плазмосферы $\alpha = 1.0$, средние графики соответствуют высокой геомагнитной активности, и коэффициент заполнения плазмосферы близок к нулю (≈ 0.01), правые графики получены для промежуточного случая ($\alpha = 0.37$).

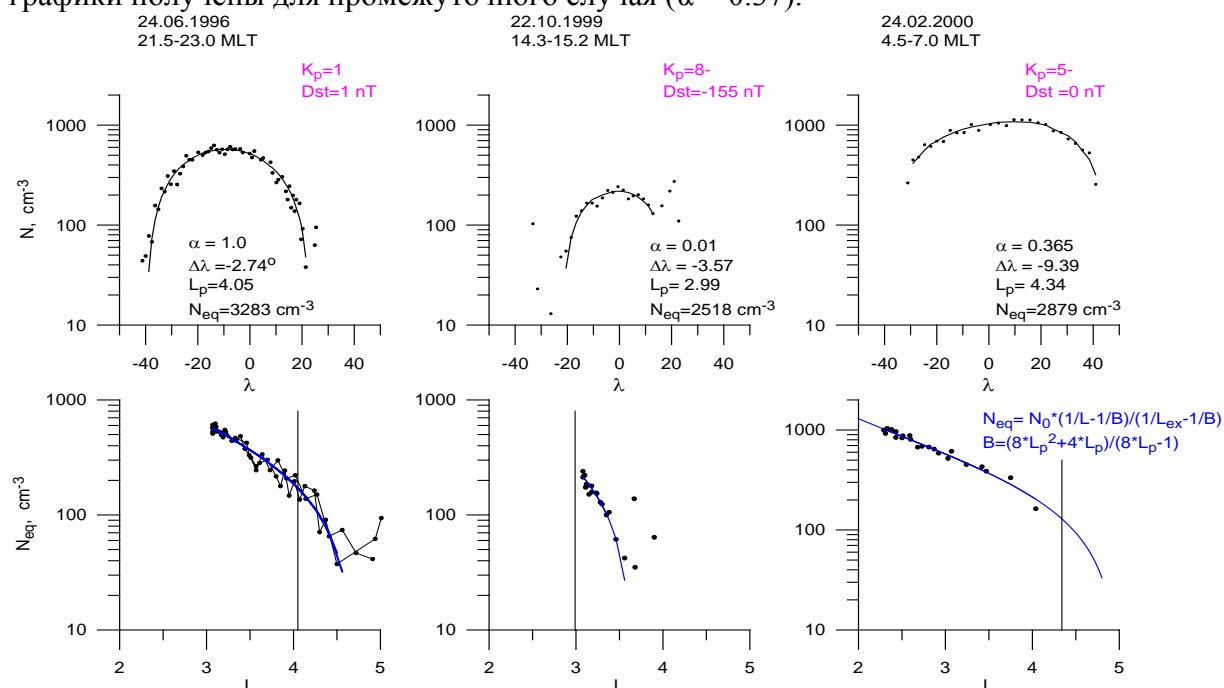


Рис. Примеры распределения плотности ионов в плазмосфере вдоль орбиты спутника Интербол-1 и в плоскости магнитного экватора. Точками показаны экспериментальные данные, сплошной линией – модельные расчеты с указанными параметрами, где α – коэффициент заполнения плазмосферы, $\Delta\lambda$ – сдвиг по широте, L_p – положение плазмопаузы, N_{eq} – плотность плазмы в экваториальной плоскости на высоте экзобазы.

Построенная модель также была проверена с использованием данных космического аппарата IMAGE. Показано, что наша физическая модель может быть использована вместо полностью эмпирической модели, предложенной ранее для описания данных IMAGE.

М. И. Веригин, Г. А. Котова, В. В. Безруких, О.С. Акенътиева, Восстановление распределения плотности протонов в плазмосфере Земли по измерениям вдоль орбиты спутника ИНТЕРБОЛ-1, *Геомагн. и Аэроном.*, 2012, т. 52, №. 6, стр. 763–768.

28.Отрицательная обратная связь в генераторе АКР

Основным направлением работ 2012 года было определение динамических характеристик выноса ионосферной плазмы в магнитосферу. Для решения этой задачи были использованы результаты измерения интенсивности Аврорального километрового излучения (АКР), полученные на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 во время пересечения им силовой трубки, сопряженной с нагретой ионосферой. АКР генерируется на локальной гирочастоте электронов в результате развития циклотронной мазерной неустойчивости, развивающаяся в областях с пониженной плотностью плазмы, т.е. при выполнении условия $(\omega_{Be} / \omega_{pe})^2 \ll 1$. Мы использовали чувствительность АКР к изменению плотности плазмы в области генерации для определения характеристик движения ионосферных частиц вдоль силовой трубки. Результаты анализа показали, что время распространения фронта потока ионосферной плазмы из нагретой области до высоты генерации АКР составляет 30 – 90 секунд. Это время согласуется с результатами компьютерного моделирования.

В работе использовались измерения АКР, выполненные на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 во время совместного эксперимента с ВЧ нагревным стендом Тромсе. Выбор интервалов работы стенда проводился с учетом времени и местоположения прохождения спутником ИНТЕРБОЛ-2 области, вблизи стенда. При пересечении спутником силовой трубки, сопряженной с искусственно нагретой ионосферой, наблюдается изменение спектральных характеристик и интенсивности АКР.

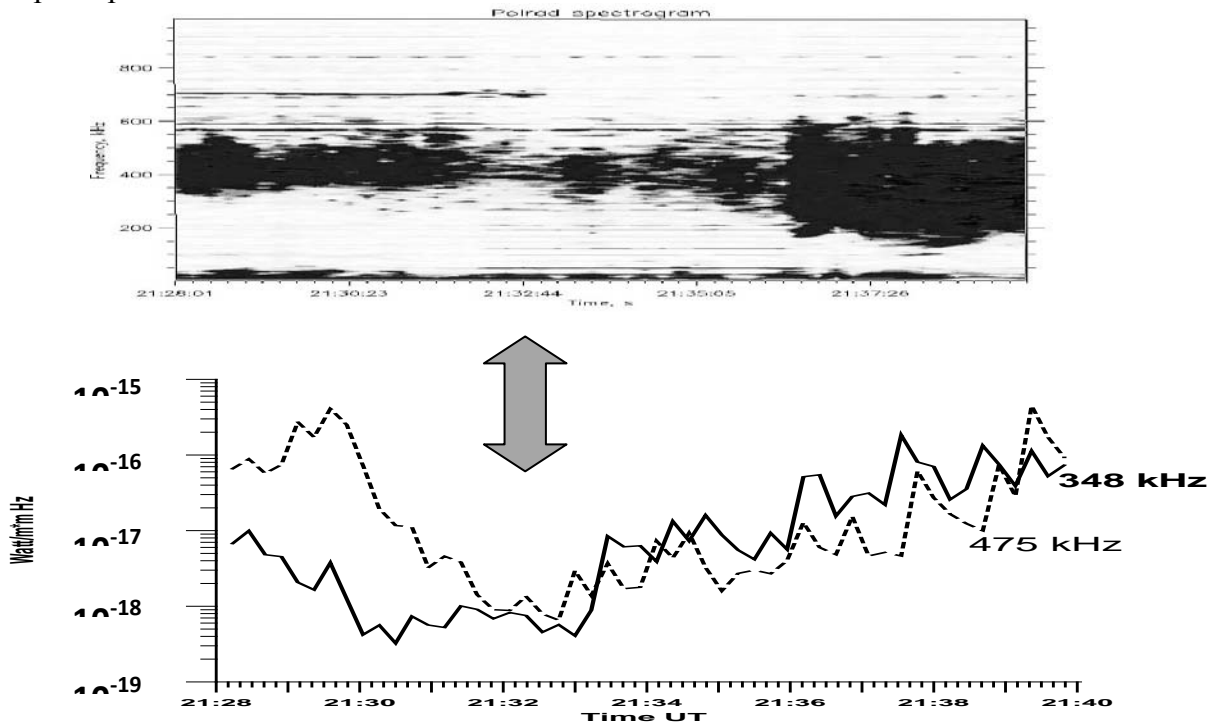


Рис. 1. На верхней панели приведена динамическая спектрограмма АКР во время пересечения силовой трубки магнитного поля, сопряженной с ионосферой над нагревным стендом в Тромсе. На нижней панели – изменение интенсивности выбранных частот (348 кГц – пунктирная кривая и 475кГц - сплошная кривая). Стрелкой отмечен момент времени, когда спутник находился на минимальном расстоянии от центра силовой трубки.

Начало работы нагревного стенда – 21.28,5 UT. Частота 475 кГц соответствует высоте генерации 2700 км, а частота 348 кГц – 3700 км. Используя задержку изменения

интенсивности двух частот можно оценить скорость движения ионосферной плазмы на высотах генерации АКР. Эта скорость составляет ~ 20 км/с, что соответствует энергии нагретых ионов 60 эВ. Оценки энергии ионов на других частотах дают значения 35 – 80 эВ. Анализ скорости движения ионов в зависимости от высоты показывает, что с увеличением высоты скорость уменьшается. По-видимому, это связано с функцией распределения ионов и недостаточной плотностью восходящих потоков для «гашения» циклотронной неустойчивости на высотах превышающих $\sim 6-8$ тысяч километров.

Аналогичный механизм приводит к модуляции интенсивности АКР при естественных процессах – формированию т.н. барстеров.

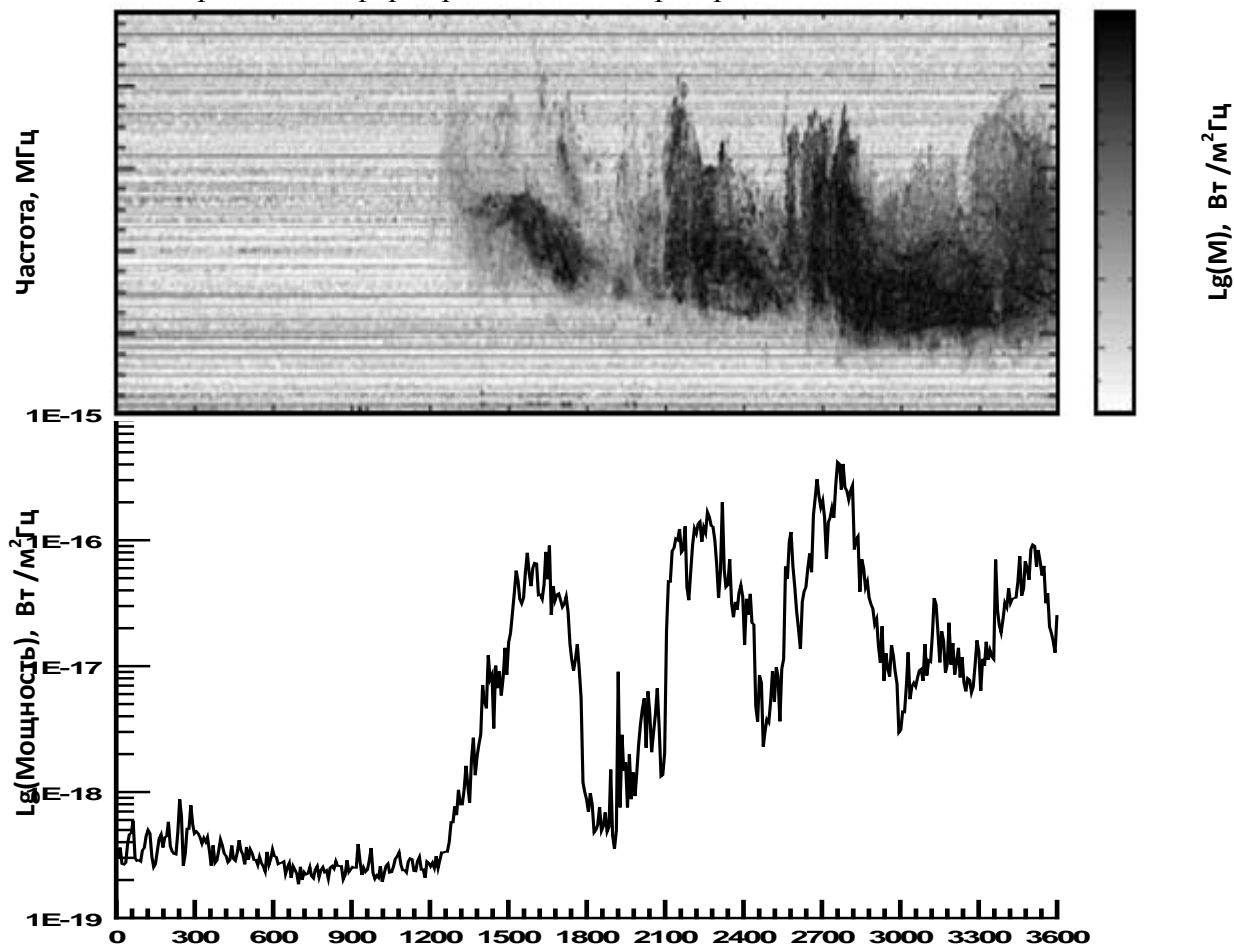


Рис. 2. Пример барстерной структуры АКР. Верхняя панель – динамическая спектрограмма мощности АКР, иллюстрирующая развитие трех барстеров в частотно-временном пространстве, по измерениям со спутника ИНТЕРБОЛ-2 за 24.02.1997г. Мощность излучения кодирована интенсивностью черного цвета (белый цвет-отсутствие сигнала). Горизонтальные линии на спектрограмме - бортовые помехи. Нижняя панель – изменение интегральной мощности АКР в частотном диапазоне 405,5-802,8 кГц.

Квазипериодическая структура формируется в результате «гашения» АКР потоками восходящей ионосферной плазмы: потоки энергичных частиц, которые являются источником энергии АКР, высыпаются в ионосферу, разогревают ее и стимулируют потоки восходящих частиц, которые приводят к падению интенсивности излучения, что уменьшает потоки высыпающихся частиц.

Следует отметить, что аналогичный механизм подавления АКР был использован для интерпретации сезонных изменений спектра АКР.

М.М. Могилевский, Т.В. Романцова, И.Л. Моисеенко, Д.В. Чугунин, Я. Ханаш, Р. Шрайбер, Подавление АКР наземным нагревным стендом, Письма в ЖЭТФ (послана в редакцию).

И.Л. Моисеенко, М.М. Могилевский, Т.В. Романцова, Барстерная структура Аврорального километрового излучения, ДАН (в печати).

М.М. Могилевский, к.ф.-м.н., т. 333-14-33, mogilevsky@romance.iki.rssi.ru

И.Л. Моисеенко, м.н.с., т. 333-14-33

Т.В. Романцова, Д.В. Чугунин

29. Структура авроральной плазмы как результат взаимодействия ионосферы и магнитосферы

С использованием известных в литературе полуэмпирических соотношений аналитически выведены топологические величины (фрактальные размерности и индексы связности), характеризующие пространственную структуру педерсеновской и холловской проводимости на ночной стороне авроральной зоны. Проанализированы ограничения, накладываемые на эти величины условием протекания ионосферных токов. Показано, что наблюдаемый в авроральной зоне скейлинг во флуктуациях электрических полей и авроральном свечении хорошо согласуется с полученными оценками.

А.А. Чернышов, М.М. Могилевский, Б.В. Козелов, Фрактальный подход к описанию авроральной области, Физика плазмы, (принята в печать).

М.М. Могилевский, к.ф.-м.н., т. 333-14-33, mogilevsky@romance.iki.rssi.ru

И.Л. Моисеенко, м.н.с., т. 333-14-33

Т.В. Романцова, Д.В. Чугунин

30. Интерпретация наблюдений энергичные протонов вблизи Марса прибором SLED на КА Phobos 2 при помощи кинетической модели

Проведено сравнение результатов применения кинетической 3-D самосогласованной модели НУВ-Mars с результатами наблюдений солнечных энергичных протонов (СЭП) прибором СЛЕД вблизи Марса на круговой орбите с высотой $2.8 R_M$. Модель была дополнена модулем отслеживания траекторий СЭП и несколькими диагностическими инструментами для сопоставления имитированных и реально наблюдаемых потоков СЭП. Показано, что модель успешно воспроизводит некоторые особенности наблюдений:

- возрастание потоков СЭП вблизи ударной волны при входе КА в магнитошит,
- зависимость этого возрастания от энергии,
- образование магнитной тени в области уменьшения потока СЭП по сравнению с их значениями в солнечно метре,
- зависимость области возрастания потоков и размеров магнитной тени от энергии налетающих частиц.

В целом, продемонстрировано, что образовавшаяся в результате взаимодействия Марса с солнечным ветром магнитосфера существенно модулирует структуру энергичных потоков вблизи Марса.

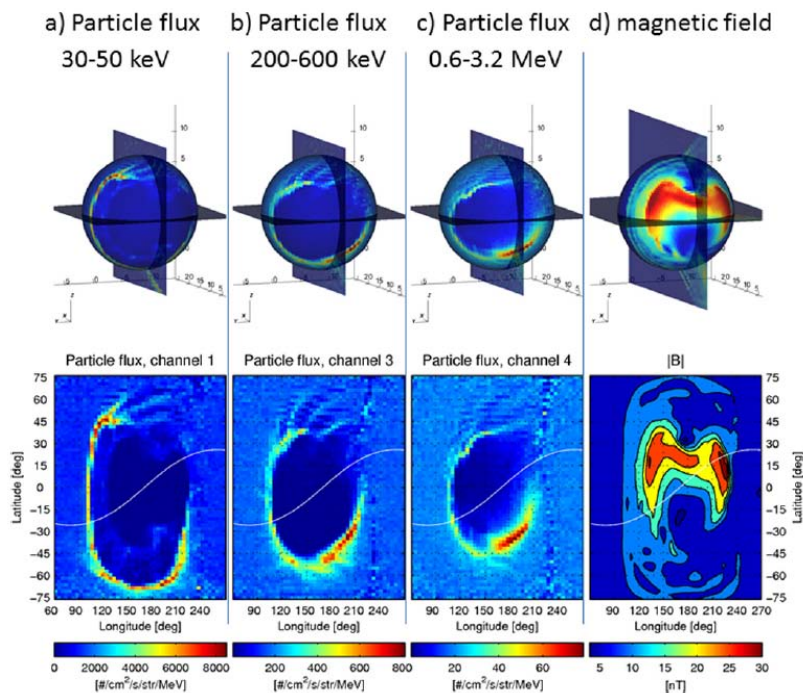


Рис. Результаты модельных расчетов потока солнечных энергичных протонов (а-с) и магнитного поля (d) на сферической оболочке радиуса $r = 2.8 R_M$ содержащей орбиту спутника Фобос. В нижней части рисунка эти же данные показаны в координатах долготы-широты.

E. Kallio, S. McKenna-Lawlor, M. Alho, R. Jarvinen, S. Dyadechkin, and V. V. Afonin, Energetic protons at Mars: interpretation of SLED/Phobos-2 observations by a kinetic model, *Ann. Geophys.*, 30, 1–15, 2012.

Афонин В.В. , в.н.с., vafonin@iki.rssi.ru

2.3 Космическая погода руководитель чл.-корр. РАН А.А. Петрукович

1. Исследование зависимости вероятности генерации магнитных бурь различными типами солнечного ветра от величины магнитной бури

На основе данных межпланетных измерений базы OMNI за период 1976-2000 г анализируются 798 магнитных бурь с $\leq Dst -50$ нТл и их межпланетные источники: коротящие области взаимодействия (CIR), межпланетные CME (ICME), включающие магнитные облака (MC), поршни (Ejecta), их суммы $ME=MC+Ejecta$ и области сжатия перед ними (Sheath). Для каждого типа межпланетного источника определены вероятности генерации бурь сильнее некоторого порога: $Dst < -50, -70, -100, -150$ и -200 нТл (см. рисунок). Наибольшая вероятность наблюдается для магнитных облаков, а для остальных источников в 5-7 раз ниже для бурь с $Dst < -50$ и в 10-40 раз ниже для бурь с $Dst < -200$. Для всех типов источников вероятность убывает с ростом силы бури по нелинейному закону: скорость убывания вероятности растет с величиной бури. При этом скорость убывания вероятности наиболее низкая для MC и наиболее высокая для CIR. Полученные данные вносят существенный вклад в предсказания «Космической погоды», так как они в совокупности с данными о частоте появления различных типов солнечного

ветра на орбите Земли позволяют оценить среднюю частоту появления на Земле экстремально сильных магнитных бурь.

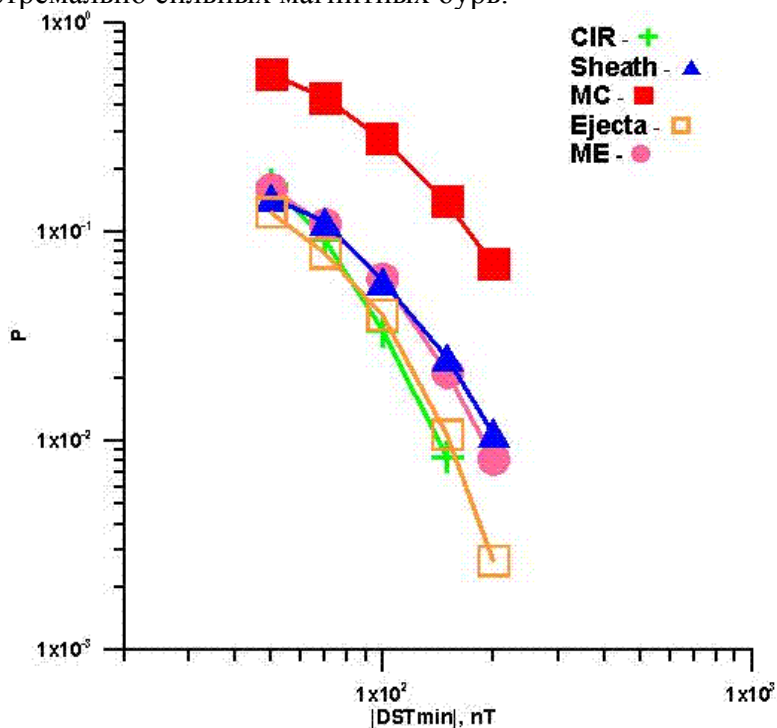


Рис. Зависимость вероятности генерации магнитных бурь разной интенсивности $P(|Dst| > Dst_0)$ различными типами солнечного ветра.

Yermolaev, Y. I., N. S. Nikolaeva, I. G. Lodkina, and M. Y. Yermolaev (2012), Geoeffectiveness and efficiency of CIR, sheath, and ICME in generation of magnetic storms, *J. Geophys. Res.*, 117, A00L07, doi:10.1029/2011JA017139.

Yermolaev, Yu. I.; Lodkina, I. G.; Nikolaeva, N. S.; Yermolaev, M. Yu., Occurrence rate of extreme magnetic storms, submitted to special issue of JGR "Sun-Earth System Response to Extreme Solar and Seismic Events" (see preprint <http://arxiv.org/pdf/1211.4417v1.pdf>)

Ермолаев Ю. И., д.ф.-м.н., зав.лаб., т.333-13-88, yermol@iki.rssi.ru

Николаева Н. С., к.ф.-м.н., с.н.с., 333-11-78, nnikolae@iki.rssi.ru

2. Средние свойства геомагнитных бурь в 1932-2009 гг

Составлена и исследована обширная база данных, включающая в себя 1268/362/134/59 событий, соответственно с глобальным геомагнитным Dst индексом менее -50/-100/-150/-200 нТ и наименьшим локальным Dst индексом -137/-214/-285/-350 нТ. База данных оказалась полезной для изучения средних пространственно-временных характеристик и картины отдельных геомагнитных возмущений в низкоширотной магнитосфере. Амплитуда локальных индексов типично на 25–30% выше глобальных значений. Наибольшие возмущения наблюдаются преимущественно в районе 18 часов местного времени. В соответствии с западным дрейфом ионов локальные индексы достигают наибольшей амплитуды в более раннее местное время с разницей около двух часов относительно самого глубокого минимума. Наибольшая асимметрия по долготе составляет от 70 до 150 нТ для бурь с амплитудой от 50 до 200 нТ. Асимметрия в отдельных случаях может достигать 200 нТ. Более сильные бури в среднем оказываются симметричнее слабых возмущений. Развитие асимметрии для сильных бурь происходит

приблизительно вдвое быстрее, чем для слабых бурь.

O. S. Yakovchouk, K. Mursula, L. Holappa, I. S. Veselovsky, A. Karinen. Average properties of geomagnetic storms in 1932–2009. *J. Geophys. Res.* VOL. 117, A03201, 13 PP., 2012 doi:10.1029/2011JA017093

Веселовский Игорь Станиславович, д.ф.-м.н., проф., т. 939-1298, veselov@dec1.sinp.msu.ru

3.Выявление событий экстремальных высокоскоростных потоков солнечного ветра за 100-летний период

На основе анализа кратковременных вариаций и векового хода геомагнитного поля на арктических и антарктических полярных обсерваториях показано, что исключительно интенсивные высокоскоростных потоков солнечного ветра (ВСП СВ) в 2003 г. были причиной экстремального усиления аврорального западного электроджета (WEJ) в ионосфере и возмущения спокойного уровня WEJ. Эффект усиления WEJ, обусловленный ВСП-2003, вызвал нарушение обычно гладкого и медленно меняющегося векового хода вертикальной (Z) компоненты геомагнитного поля в полярных шапках обоих полушарий. Подобный, но более слабый, эффект в вековом ходе выделен и для других лет ВСП на фазе спада предыдущих солнечных циклов. Анализ наиболее длинных существующих рядов геомагнитных наблюдений в высоких широтах северного полушария (Годхавн и Соданкюля), показал, что другое экстремальное событие в солнечном ветре, аналогичное по мощности событию 2003 г., произошло за 60 лет ранее, на спаде солнечного цикла 18 в 1952 г. Получены характеристики линейной регрессии для соотношения между среднегодовыми значениями скорости СВ по спутниковым измерениям и параметра Z (разность между наиболее возмущенным и наиболее спокойным уровнем вертикальной геомагнитной компоненты) на обс. Годхавн, а также параметра H (разность для горизонтальной геомагнитной компоненты) на обс. Соданкюля. Коэффициент корреляции между скоростью СВ и этими параметрами составил 0.78. Восстановлен достоверный ряд СВ в доспутниковую эру с 1914 г.

Lukianova, R., K. Mursula, and A. Kozlovsky (2012), Response of the polar magnetic field intensity to the exceptionally high solar wind streams in 2003, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L04101, doi:10.1029/2011GL050420.

Р.Ю. Лукьянова, к. ф.-м.н., renata_lukianova@mail.ru

4.Экспериментальные исследования в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды

Магнитно-волновым комплексом – МВК академического микроспутника «Чибис-М» реализуется научная задача - мониторинг электромагнитных параметров космической погоды. За время нахождения «Чибис-М» на орбите наземными станциями наблюдалась различная геомагнитная активность, что отображено на Рис. 1.

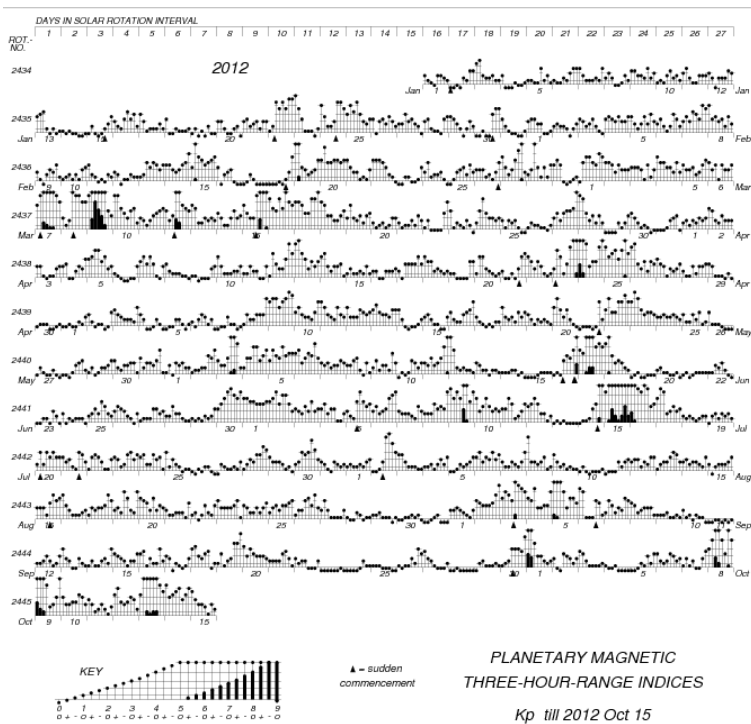


Рис. 1. K_p – индекс за 2012 г.

На Рис. 2а – 2в представлены данные об увеличении волновой активности одной электрической (E_x) и трёх ортогональных магнитных компонент (B_x , B_y , B_z) в КНЧ-ОНЧ диапазоне на субавроральных широтах при увеличении геомагнитной активности за 13 октября 2012 г., когда $K_p > 9$.

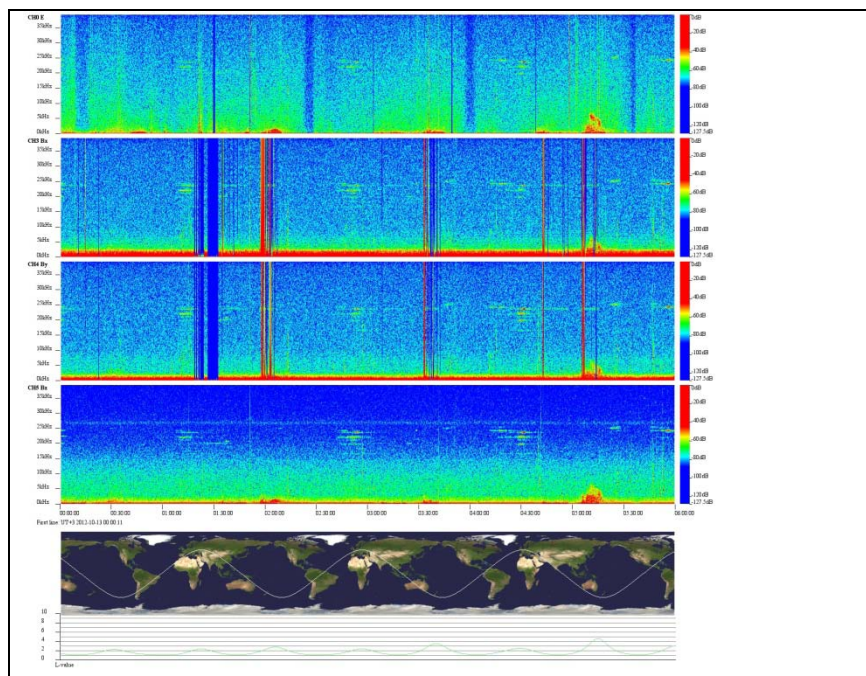


Рис. 2а. Начало геомагнитного возмущения, 13 октября 2012 г, начало отсчёта времени UT+3 00:00:11. Панели сверху вниз: E_x , B_x , B_y , B_z , проекция траектории «Чибис-М» на земную поверхность, значения геомагнитного L-параметра.

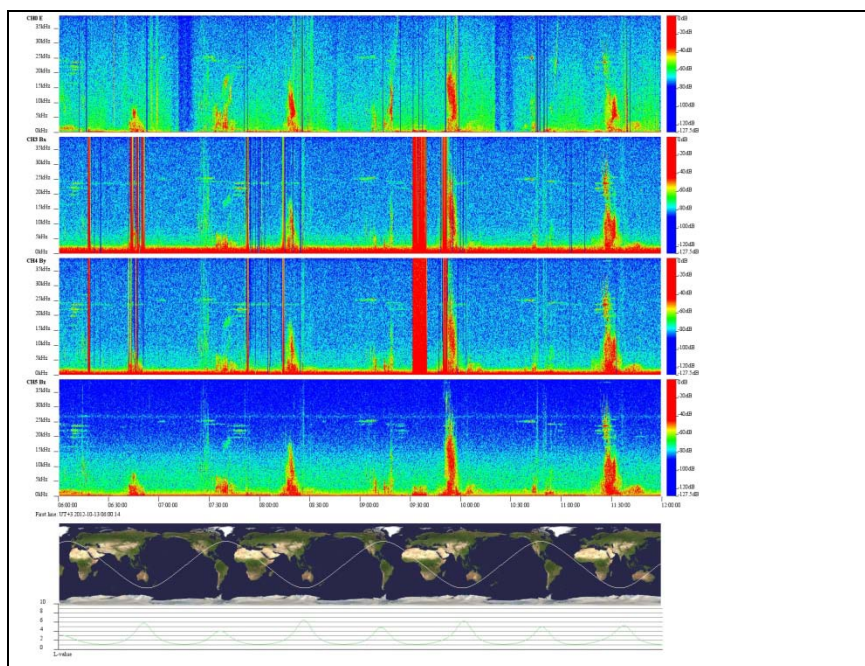


Рис. 2б. Геомагнитная буря, 13 октября 2012 г, начало отсчёта времени UT+3 06:00:14.

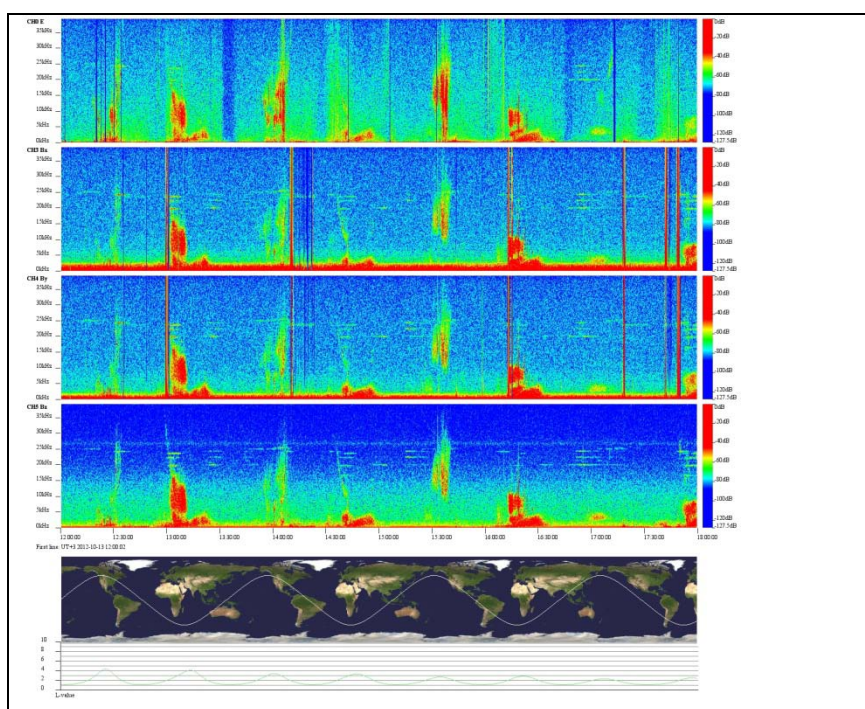


Рис.2в. Геомагнитная буря, 13 октября 2012, начало отсчёта времени UT+3 12:00:02

На основе представленных на Рис. 2а – 2в данных можно сделать вывод, что увеличение волновой электромагнитной активности на субавторальных широтах в диапазоне 15-25 кГц является хорошим индикатором увеличения геомагнитной активности и наблюдательным параметром космической погоды, регистрируемым в ионосфере на космических аппаратах.

Анализ представленных данных неразрывно связан с управлением МВК в полёте. Для этого формируются циклограммы работы МВК, учитывающие прохождение «Чибис-М» по орбите над областями на Земле с высокой грозовой активностью, наиболее оптимальный режим работы по частотному и временному разрешению, функционирование различных служебных систем микроспутника. Эти данные регулярно

передаются в Центр управления полётом «Чибис-М» с последующим экспресс-анализом получаемой телеметрической информации.

Klimov, S.I., A.A. Petrukovich, L.M. Zelenyi. Global monitoring of the electromagnetic parameters of space weather in the frame of the ISS infrastructure. *Proceedings '2012 ESA Workshop on Aerospace EMC', Venice, Italy, (ESA SP-702, May 2012)*, s4_10klimov.pdf.

Зелёный, Л.М., А.В.Гуревич, С.И.Климов, В.Н.Ангаров, Л.Боднар, Г.К.Гарипов, В.М.Готлиб, М.Б.Добряня, А.В.Калюжный, С.О.Карпенко, В.М.Козлов, И.В.Козлов, В.Е.Корепанов, А.А.Лизунов, А.В.Марков, В.Н.Назаров, Д.И.Новиков, М.И.Панасюк, А.П.Папков, В.Г.Родин, С.И.Свертилов, А.А.Суханов, Ч.Ференц, Н.А.Эйсмонт, И.В.Яшин. Академический микроспутник «Чибис-М» (Космический эксперимент «Микроспутник» на Российском сегменте Международной космической станции). Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук, Пр-2166 ротاپринт ИКИ РАН. Представлено к печати зам. директора ИКИ РАН Р.Р.Назирова, Москва 2012, 23 стр.

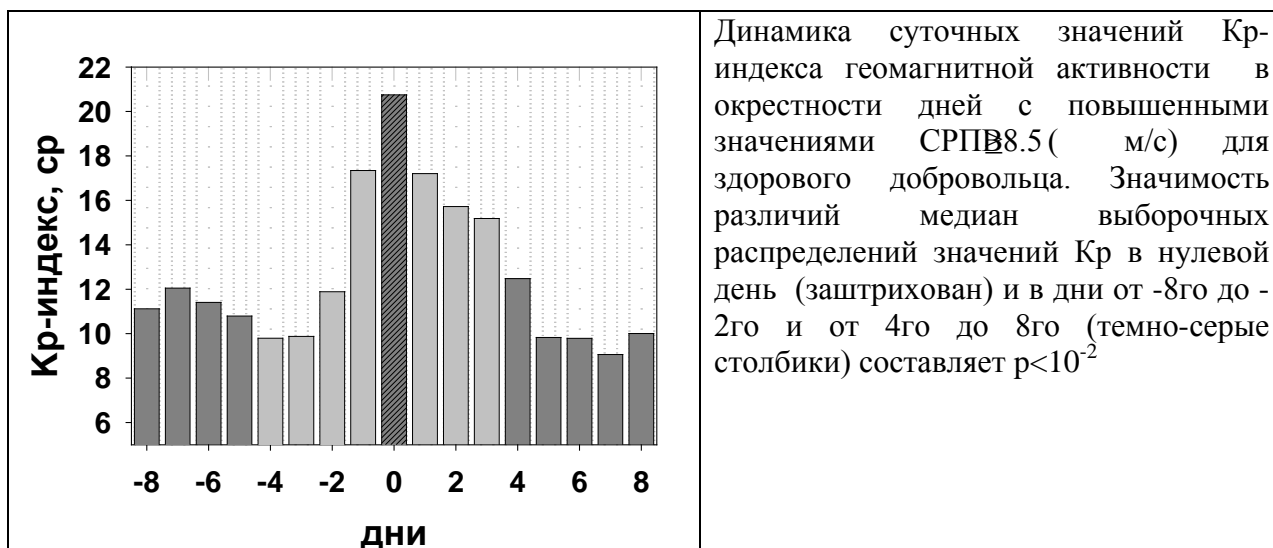
Зелёный, Л.М., В.Н.Ангаров, М.Б.Добряня, В.М.Готлиб, С.И.Климов, В.Г.Родин, В.Н.Назаров, А.В.Гуревич, Г.К.Гарипов, М.И.Панасюк, С.И.Свертилов. Исследования физических процессов при высотных атмосферных грозовых разрядах. Академический микроспутник «Чибис-М». VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012г., Санкт-Петербург, Сборник трудов, с. 81.

Gotlib V.M., Karedin V.N., Klimov S.I., Kozlov V.M., Kozlov I.V., Vavilov D.I., Dolgonosov M.S., Garipov G.K., Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Yashin I.V., Korepanov V.E., Bodnar L., Ferenz Cs. Academic microsatellite "Chibis-M". Testing of the algorithm of altitude atmospheric lightning trigger. IAA-B9-0501 - 9th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation Berlin, Germany, April 8 – 12, 2013

Климов С.И., проф., д.ф.-м.н., т.: 333-11-00, sklimov@iki.rssi.ru
Д.И. Новиков, М.С.Долгоносков, Д.И. Вавилов

5.Выявление нового физиологического показателя, чувствительного к воздействию факторов космической и земной погоды

Выявлен новый физиологический показатель - скорость распространения пульсовой волны (СРПВ), определяемый с помощью нового разработанного и внедренного прибора «Тонокард». Повышение СРПВ в принципе по известным медицинским данным является независимым предвестником ишемических заболеваний сердца и инсультов. Оказалось, что СРПВ позволяет более прицельно исследовать действие внешних факторов, в том числе, космической погоды, чем традиционно измеряемые показатели артериального давления



Динамика суточных значений Кр-индекса геомагнитной активности в окрестности дней с повышенными значениями СРПВ8.5 (м/с) для здорового добровольца. Значимость различий медиан выборочных распределений значений Кр в нулевой день (заштрихован) и в дни от -8го до -2го и от 4го до 8го (темно-серые столбики) составляет $p < 10^{-2}$

Yury Gurfinkel, Tamara Breus, Tatyana Zenchenko, Vadim Ozheredov, Investigation of the Effect of Ambient Temperature and Geomagnetic Activity on the Vascular Parameters of Healthy Volunteers, Open Journal of Biophysics, 2012, 2, 46-doi:10.4236/ojbiphy.2012.22007 Published Online April 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/ojbiphy>)

Гурфинкель, Ю.И., дмн.ведспец отд 54

Бреус Т.К. – дфмн, главн.н.с. отд 53, 8.495 333-3012, breus36@mail.ru

Зенченко Т.А., кфмн, снс. отд 54

Ожередов В.А. кфмн, вед математик отд.54

6. Оценка амплитуд индивидуальных реакций показателей артериального давления здоровых лиц на вариации метеорологических факторов

На основании результатов четырехлетних наблюдений ежедневных вариаций уровня артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) у семи здоровых волонтеров были обнаружены два типа реакции комплекса физиологических показателей (ФП) на изменение метеопараметров (в первую очередь – температуры воздуха - Т): а) монотонное (но неравномерное по скорости) снижение уровня систолического давления САД с ростом температуры при более слабой реакции диастолического ДАД и отсутствии реакции ЧСС (у четверых волонтеров), б) двухфазное поведение, которое совпадает с первым типом в диапазоне низких температур и характеризуется положительной корреляцией обоих показателей АД и ЧСС с Т при $T > -5^{\circ}\text{C}$ (у двоих волонтеров). В области высоких значений Т реакция САД на Т может быть вызвана снижением тонуса вен и артерий кожи и уменьшением объема циркулирующей жидкости. При низких (отрицательных) значениях Т, по-видимому, доминирует эффект, связанный с активацией щитовидной железы. Второй тип реакции по всему комплексу признаков совпадает с развитием компенсаторно-приспособительной реакции на недостаток содержания кислорода в воздухе (внешняя гипоксия). Средние значения коэффициентов линейной регрессии составляют 0.15-0.40 мм рт.ст./ $^{\circ}\text{C}$. что означает, например, увеличение среднего уровня САД на 15-16 мм рт. ст. при понижении Т с -5 до -25°C . Показано, что на основе обнаруженных закономерностей можно объяснить результаты, полученные в более ранних работах.

Т.А. Зенченко, А.Н. Скавуляк, Н.И. Хорсева, Т.К. Бреус. Характеристики индивидуальных реакций сердечно-сосудистой системы здоровых людей на изменение метеорологических

факторов в широком диапазоне температур. // Геофизические процессы и биосфера, 2013, № 1 (в печати)

Зенченко Т.А. – кфмн, ст.н.с.отд 54 8 495 333 30 12, zench@mail.ru

Хорсева Н.И., к.н, вед инж.отд 54

Бреус Т.К., дфмн, гл н сотр.отд 53

7.Эффекты влияния геомагнитных возмущений на функциональное состояние человека в космическом полете

Впервые выявлены эффекты воздействия геомагнитных возмущений на регуляцию сердечного ритма и сосудистый тонус космонавтов во время одного месяца, шести месяцев полета на КА «СОЮЗ» и станции «МИР» и при посадке во время завершения экспедиций. Эффект. выражается в нарушении вегетативного баланса, а именно возникновении неспецифической реакции адаптационного стресса (возрастании частоты сердечных сокращений, снижении вариабельности сердечного ритма– стабилизации пульса, возникновение аритмий), а также в напряжении сосудистого тонуса типа метеотропных реакций. Результаты имеют фундаментальное значение – так как впервые выявлен и подтвержден характер реакции человеческого организма в стрессе (в данном случае, невесомости) на воздействие слабых переменных эдектро-магнитных полей естественного происхождения, а также и прикладное значение для профилактики космических продолжительных полетов и условий возвращения на Землю.

Tamara K. Breus, Roman M. Baevskii, Anna G. Chernikova Effects of geomagnetic disturbances on human functional state in space flight, J. Biomedical Science and Engineering, 2012, 5, 341-355 JBiSE doi:10.4236/jbise.2012.56044 Published Online June 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/jbise/>)

Т.К.Бреус, дфмн.гл.научн.с.отд 53 , 8495 333 3012 breus36@mail.ru

Работа выполнена совместно с ИМБП

8.Реакция сердечнососудистой системы здоровых добровольцев на нулевое магнитное поле в условиях эксперимента

Впервые получены результаты исследований двух групп здоровых добровольцев (всего 27 человек) в условиях нулевого магнитного поля. с использованием специально разработанной и построенной установки «Арфа», позволяющей моделировать внутри ее параметры магнитного поля до нулевых значений включительно. Показаны негативные изменения скорости капиллярного кровотока, функции эндотелия, вариабельности сердечного ритма. Эти исследования представляют интерес с точки зрения длительного пребывания человеческих экспедиций в межпланетном пространстве и на поверхностях немагнитных планет (Луна, Марс)

Гурфинкель Ю.И., Васин А.Л., Матвеева Т.А, Реакция сердечнососудистой системы здоровых добровольцев на нулевое магнитное поле в условиях эксперимента. Труды конференции «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле», 4-8 июня 2012г. Москва (в печати)

Гурфинкель Ю.И. – дмн, вед.специалист.отд 54. 8 495 333 3012, yugurf@yandex.ru

Работа выполнена совместно с Научным клиническим Центром ОАО РЖД, Москва

9. Поиск фармакологической защиты метеочувствительных пожилых пациентов с артериальной гипертонией и ишемической болезнью сердца

Установлено, что пациенты с нормальным и умеренно повышенным артериальным давлением АД в одинаковой степени подвержены воздействию метеофакторов; при высокой артериальной гипертонии (АГ), а также при АГ в сочетании с ишемической болезнью сердца ИБС, число взаимосвязей между показателями АД и факторами погоды увеличивается более чем в 3 раза, возрастает степень метеозависимости. Выявлены метеопротективные свойства лекарственных препаратов с адаптогенным действием (мелаксена, мебикара, элтацина), а также магнитопротективные свойства мелаксена и мебикара, что может быть использовано для лечения метео- и магнитоочувствительных больных с АГ II-III стадии, 2-3 степени и ИБС (стенокардией напряжения I-II ФК, постинфарктным кардиосклерозом).

Э.А.Щербань, М.М. Тейблум. Монография «Оптимизация лечения метео-магнитоочувствительных больных артериальной гипертензией и ишемической болезнью сердца с использованием адаптогенов» // Р.М.Заславская, Издательство «Медпрактика - М», Москва, 2012 256с.

R.Zaslavskaya, Y.Lilitsa, E.Kalinina . «Efficacy role of melaxen in longevity complex therapy of old patients with postinfarctional cardiosclerosis and cardiac failure» // In: Journal «European Geriatric Medicine », September, 2012, V.3, Suppl.1, p.s.-S 156. P.023 8th Congress of the EUGMS, Brussels, Belgium.

Заславская Р.М. – д.м.н., глав. спец. отд.54, 8-495 333 3012,
Работа выполнена совместно с аспирантами ПМГМУ им Сеченова

2.4 Исследования гелиосферы.

Руководитель д.ф.-м.н. В.В. Измоленов

1. Кинетико-магнитогидродинамическое моделирование гелиосферного ударного слоя

Было проведено параметрическое исследование и определены диапазоны для концентрации протонов в локальной межзвездной среде (ЛМС), величины и направления межзвездного магнитного поля, а также температуры ЛМС, при которых возможно существование головной ударной волны в межзвездной среде перед гелиопаузой. Показано, что для принятых в настоящее время параметрах ЛМС головная ударная волна должна отсутствовать, поскольку из-за наличия достаточно большого (>3 мкГаусс) межзвездного магнитного поля скорость плазмы ЛМС относительно Солнца меньше скорости быстрых МГД волн. Проведенные численные расчеты в рамках самосогласованной кинетико-МГД модели гелиосферного ударного слоя подтвердили отсутствие внешней ударной волны.

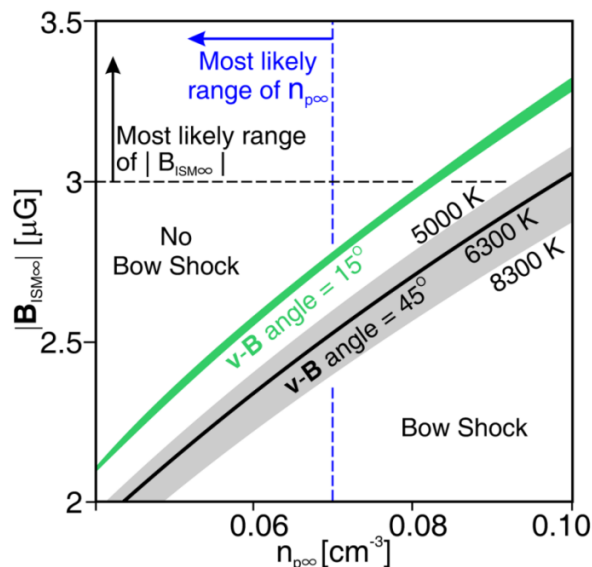


Рис.1. Результаты параметрического исследования, которые показывают, при каких параметрах ЛМС существует, и при каких не существует головная ударная волна.

McComas, D. J.; Alexashov, D.; Bzowski, M.; Fahr, H.; Heerikhuisen, J.; Izmodenov, V.; Lee, M. A.; Möbius, E.; Pogorelov, N.; Schwadron, N. A.; Zank, G. P., The Heliosphere's Interstellar Interaction: No Bow Shock, Science, Volume 336, Issue 6086, pp. 1291, 2012.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru
Алексашов Д. Б., с.н.с., т. 333-41-88.

2. Исследование структуры гелиосферного ударного слоя с помощью анализа данных Hubble Space Telescope по поглощению Лайман-альфа излучения от ближайших звезд

Были проведены расчеты спектров поглощения в направлении ближних звезд в линии Лайман-альфа. Для этого использовались распределения атомов водорода в гелиосфере, полученные в рамках самосогласованной кинетико-МГД модели гелиосферного ударного слоя с удлиненной хвостовой областью. Показано, что полученное теоретически поглощение в носовой части гелиосферы хорошо совпадает с последними измерениями на Hubble Space Telescope. Однако, поглощение во внутреннем ударном слое в хвостовой части, полученное в рамках модели, превышает поглощение, измеренное на HST. Также были предложены способы удаленной диагностики параметров астросфер у других звезд, основанные на интерпретации данных измерений спектров поглощения в линии Лайман-альфа.

Wood, Brian E.; Izmodenov, Vladislav V.; Alexashov, Dmitry, Exploration of the heliosphere and astrospheres with HST, PHYSICS OF THE HELIOSPHERE: A 10 YEAR RETROSPECTIVE: Proceedings of the 10th Annual International Astrophysics Conference. AIP Conference Proceedings, Volume 1436, pp. 356-362, 2012.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru
Алексашов Д. Б., с.н.с., т. 333-41-88.

3. Распространение ударных волн в гелиосферном ударном слое

В рамках численной трехмерной МГД модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой исследовано распространение ударных волн в области гелиосферного ударного слоя. Рассмотрена эволюция пары ударных волн, образующихся в структуре мощных корональных выбросов солнечной плазмы, движущихся в

гелиосфере. При распространении пары ударных волн в гелиосферном ударном слое образуются сильные разрывы (ударные волны и контрактные разрывы) и волны, формирующие существенно нестационарное течение солнечного ветра в этой области. Определены амплитуды изменений параметров плазмы солнечного ветра в гелиосферном ударном слое. Проведено исследование эволюции ударных волн, образующихся на фронте высокоскоростного потока солнечного ветра в коротационных областях взаимодействия. При распространении таких структур во внешнюю гелиосферу происходит взаимодействие ударных волн с волнами разрежения. Важным результатом этого исследования является объяснение эффекта ослабления ударных волн в гелиосферном ударном слое, наблюдаемого на космическом аппарате Вояджер 2 в период солнечного минимума.

Provornikova, E., Opher, M., Izmodenov, V., Toth, G., Do corotating interaction region associated shocks survive when they propagate into the heliosheath? The Astrophysical Journal Letters, 756, Issue 2, ID L37, 2012.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru
Проворникова Е. А., м.н.с., т. 333-41-88, provea@iki.rssi.ru

4. Исследование влияния гелиосферного ударного слоя на спектральные характеристики рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения

В 2012 г. было проведено исследование влияния эффектов, связанных с гелиосферным ударным слоем, на спектральные характеристики рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения. Параметры рассеянного Лайман-альфа излучения вычислялись на основании распределений межзвездных атомов водорода в гелиосфере, полученных в рамках кинетической модели, как с учетом, так и без учета эффектов границы гелиосферы. Сравнение результатов показало, что наиболее чувствительной характеристикой рассеянного излучения к кинетическим эффектам границы гелиосферы является ширина линии рассеянного излучения. Было показано, что зависимость ширины линии рассеянного излучения от направления луча зрения наблюдателя качественно различается для моделей с учетом и без учета эффектов границы гелиосферы.

Катушкина О.А., Измоденов В.В., Влияние эффектов гелиосферного ударного слоя на параметры рассеянного солнечного Ly-alpha излучения, измеряемого на орбите Земли, Космические исследования, Т.50, № 2, С. 147-157, 2012.

Измоденов В. В., д.ф.-м.н., т. 333-41-88, izmod@iki.rssi.ru
Катушкина О. А., м.н.с., т. 333-41-88, okat@iki.rssi.ru

Раздел 2.5. Исследования звезд.

Руководитель д.ф.-м.н. Бисноватый-Коган Г.С.

1 .Магниторотационные сверхновые.

Продолжено исследование задачи о магниторотационном (MP) взрыве сверхновой с коллапсирующим ядром в двумерной постановке. Показано, что в процессе эволюции магнитного поля возникает неустойчивость, приводящая к экспоненциальному всех компонент магнитного поля и существенному сокращению времени развития MP взрыва. Как показывают расчеты, даже при слабых магнитных полях ($E_{mag0}/E_{grav0} \sim 10(-12)$, отношение начальной магнитной и гравитационной энергий) время развития MP взрыва составляет не более 0.5с. Анализ возникающей неустойчивости показывает, что она представляет собой неустойчивость Тейлора (Taylor).

Проведены расчеты магниторотационного взрыва сверхновой с новым уравнением состояния (Shen et al.), для начального магнитного поля $H_z=10(9);10(12)$ Гаусс и для

начальной энергии вращения, составляющей 1% и 2% от начальной гравитационной энергии. Начата разработка 3-х мерной программы для расчета астрофизических магниторотационных процессов.

Получено аналитическое решение для кинетического равновесия по бета-процессам в нуклонной плазме с релятивистскими парами. Нуклоны (n, p) предполагаются нерелятивистскими и невырожденными (их масса считается бесконечной), в то время как электроны и позитроны предполагаются ультрарелятивистскими из-за большой температуры ($T > 6 \cdot 10^9 \text{K}$), или высокой плотности ($\rho > \mu 10^6 \text{g/cm}^3$), или то и другое вместе. Здесь μ определяет число нуклонов на один электрон. Рассмотрение удается упростить благодаря аналитической связи плотности с химическим потенциалом электронов в ультрарелятивистской плазме, а также использованию модифицированного метода Гаусса для вычисления функций Ферми. Химический потенциал электронов и число нуклонов на один начальный электрон рассчитаны как функции ρ и T

S.G.Moiseenko «MHD PROCESSES NEAR BLACK HOLES AND MAGNETOROTATIONAL SUPERNOVAE (REVIEW)» Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, edited by Thibault Damour, Robert T. Jantzen and Remo Ruffini. ISBN 978-981-4374-51-4. Singapore: World Scientific, p.543-562, 2012

S.G.Moiseenko, G.S.Bisnovaty-Kogan, N.V.Ardeljan «Magnetorotational processes in core-collapse supernovae.» Numerical modeling of space plasma flows (astronom 2011). Proceedings of a 6th international conference held at Valencia, Spain June 13-17, 2011. ASP Conference Series, Vol. 459. Edited by N.V. Pogorelov, J.A. Font, E. Audit, and G.P. Zank. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.131-136, 2012,

Г.С. Бисноватый-Коган “Аналитическое решение для кинетического равновесия по бета-процессам в нуклонной плазме с релятивистскими парами” Астрофизика Т. 55, No. 3, стр.. 433-442 (2012).

С.Г.Моисеенко д.ф.-м.н. 495-333-45-88 moiseenko@iki.rssi.ru

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 495-333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

2 Сильное гравитационное линзирование в плазме.

Продолжены исследования сильного гравитационного линзирования в плазме.

Рассмотрен случай линзирования на шварцшильдовской черной дыре, когда прицельные параметры налетающих фотонов близки к критическому значению. В этом случае фотоны, испущенные удаленным источником, совершают один или несколько оборотов вокруг черной дыры вблизи гравитационного радиуса и потом летят к наблюдателю. Эти фотоны образуют так называемые релятивистские изображения источника. Присутствие плазмы влияет на свойства таких изображений, так как в присутствии плазмы изменяется гравитационное отклонение фотонов и возникает зависимость угла отклонения от частоты.

В приближении сильного отклонения получены аналитические формулы для угла отклонения фотона, движущегося около шварцшильдовской черной дыры в однородной плазме, в зависимости от различных параметров. Аналитически рассчитаны положения релятивистских изображений в случае гравитационного линзирования на черной дыре, в присутствии однородной плазмы. В частности, показано, что наличие однородной плазмы увеличивает угловые расстояния релятивистских изображений от гравитирующего центра.

O.Yu. Tsupko and G.S. Bisnovaty-Kogan, «Gravitational Lensing in Plasma», Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, edited by T. Damour, R.T. Jantzen and R. Ruffini, World Scientific, Singapore, p. 1117, 2012

O. Yu. Tsupko and G. S. Bisnovaty-Kogan, «On Gravitational Lensing in the presence of Plasma», Gravitation and Cosmology, Vol. 18, No. 2, pp. 117–121, 2012

G. S. Bisnovatyi-Kogan and O. Yu. Tsupko, «Gravitational lens», *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, v.83, p.54, 2012

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н.495- 333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

О.Ю.Цупко к.ф.-м.н. 495-333-45-88 tsupko@iki.rssi.ru

3 МГД моделирование аккреции на нейтронную звезду с магнитным полем.

Для исследования аккреции Бонди-Хойла на одиночную нейтронную звезду с магнитным полем было проведено численное осесимметричное МГД моделирование. Предполагалось, что звезда движется в межзвездной среде со сверхзвуковой скоростью, обладает дипольным магнитным полем, и вектор поля сонаправлен с вектором скорости звезды. Радиус магнитосферы R_m меньше аккреционного радиуса R_{BH} (радиуса Бонди-Хойла), таким образом, гравитационная фокусировка была существенной. Межзвездное вещество захватывается нейтронной звездой, если радиус магнитосферы $R_m < R_{BH}$. Вблизи звезды аккрецирующее вещество падает на поверхность звезды вдоль магнитных полюсов, большой поток массы идет с подветренной стороны звезды. Даже в случае относительно слабого поля темп аккреции на звезду с магнитным полем меньше, чем в случае немагнитной звезды с теми же параметрами. В случае относительно сильного магнитного поля звезды ($R_m > R_{BH}$) силовые линии магнитного поля вытягиваются в направлении потока вещества вне магнитосферного радиуса R_m . В случае относительно слабого магнитного поля ($R_m < R_{BH}$) наблюдаются осцилляции замкнутой магнитосферы. Эти осцилляции сопровождаются колебаниями темпа аккреции вещества. Темп аккреции уменьшается с увеличением магнитного момента. Для нейтронной звезды, движущейся сквозь межзвездную среду с числом Маха = 3, мы оценили аккреционную светимость как $< 10^{30}$ эрг / сек. В общем случае скорость движения звезды, магнитный момент и вектор угловой скорости могут иметь разные направления, поэтому аккреционная светимость будет модулироваться скоростью вращения звезды. Следовательно, старые медленно вращающиеся радиотихие нейтронные звезды могут быть видны в рентгеновском диапазоне благодаря аккреции межзвездного вещества.

Toropina, O. D.; Romanova, M. M.; Lovelace, R. V. E., Bondi-Hoyle accretion on to a magnetized neutron star, 2012, *MNRAS*, Volume 420, Issue 1, pp. 810-816

O.D. Toropina, M.M. Romanova, R.V.E. Lovelace; "MHD Simulation of Bondi-Hoyle Accretion onto Magnetized Neutron Star"; Numerical modeling of space plasma flows (Astronom 2011). Proceedings of a 6th international conference held at Valencia, Spain June 13-17, 2011. ASP Conference Series, Vol. 459. Edited by N.V. Pogorelov, J.A. Font, E. Audit, and G.P. Zank. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2012., p.173

O.D. Toropina, M.M. Romanova, R.V.E. Lovelace; "Propagation of magnetars through the interstellar medium" Proseedings of the twelfth Marcel Grossmann meeting on general relativity, UNESCO Headquarters, Paris, France 12-18 July 2009, Edited by T. Damour, R. Jantzen and R. Ruffini; World Scientific Publishing 2012, p.1111

О.Д.Торопина к.ф.-м.н. 495-333-45-88 toropina@iki.rssi.ru

4 Общие уравнения переноса тепла в замагниченной нейтронной звезде.

Проводится исследование анизотропии излучения замагниченной нейтронной звезды. Предшествующие исследования предполагали сферически симметричное распределение температуры в НЗ. Однако, это не так, для большинства наиболее близких нейтронных звезд, тепловое излучение которых видимо в рентгеновском диапазоне электромагнитного спектра. В сильном магнитном поле тепловой поток становится анизотропным, что приводит к неоднородному распределению температуры по поверхности. Анизотропное распределение температуры может появляться не только в областях с малой плотностью, но и в областях средней плотности, таких как твердая кора, где сложная геометрия

магнитного поля может вызывать магнитно-тепловые эффекты. Для того, что бы получить распределение температуры по поверхности нейтронной звезды, рассматриваем уравнение переноса тепла, в котором коэффициент теплопроводности определяется тензором. Рассчитаны коэффициенты теплопроводности электронов в коре нейтронной звезды на основе решения уравнения Больцмана методом Чепмена-Энскога. Рассмотрен случай полностью ионизованной вырожденной плазмы. Получено новое приближение для коэффициентов электронной теплопроводности в направлении вдоль и поперек линий магнитного поля.

Тезисы IX конференции молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", 12-14 апреля 2012, ИКИ РАН, Москва.

Тезисы конференции Marcel Grossmann - MG13. 1-7 July 2012, Stockholm.

M.V. Glushikhina, G.S. Bisnovaty-Kogan, Coefficients of thermal conductivity in magnetized neutron star.

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 8-495-333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

М.В.Глушихина м.н.с. 8-495-333-45-88 mg.fpfe@gmail.com

5 Аккреция на компактные объекты и исследование джетов

Исследовалась стационарная задача аккреции на вращающуюся черную дыру. Эта задача решалась с учетом адвекции и использованием обобщенных формул для радиационного давления, описывающих одновременно оптически тонкий и оптически толстый случаи. Исследуются свойства глобальных решений для аккреционного диска, описывающих непрерывный переход между оптически толстой внешней и оптически тонкой внутренней областями. Также впервые было получено самосогласованное решения для адвективного аккреционного диска вокруг вращающейся черной дыры с учетом использованием обобщенных формул для радиационного давления, описывающих одновременно оптически тонкий и оптически толстый случаи. Была написана система уравнений, описывающих структуру аккреционного диска с учетом процессов рождения и аннигиляции электронно-позитронных пар.

A.S. Klepnev, G. S. Bisnovaty-Kogan "Accretion Disks Around Black Holes with Advection and Optical Depth Transition", Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, edited by T. Damour, R.T. Jantzen and R. Ruffini, World Scientific, Singapore, 2012, p.1092.

Клепнев А.С., м.н.с. 495-333-45-88 klepnev.alexander@gmail.com

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 495-333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

6 Вертикальная структура аккреционного диска с магнитным полем

Рассчитана вертикальная структура аккреционного диска с полоидальным магнитным полем. Показано что в стационарном состоянии аккреционный поток вещества на лучистой границе диска равен нулю, а вещество движется к черной дыре по турбулентной внутренней области диска. При этом возникает сильный вертикальный градиент угловой скорости диска.

G.S. Bisnovaty-Kogan, R. Lovelace "VERTICAL STRUCTURE OF STATIONARY ACCRETION DISKS WITH A LARGE-SCALE MAGNETIC FIELD" The Astrophysical Journal, 750:109 (4pp), 2012 May 10

Г.С.Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 495-333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru

7 Нагрев астрофизических джетов

Рассмотрены различные процессы нагрева рентгеновского джета при учете остывания плотных джетов за счет тормозного излучения. Исследуется нагрев джета за счет обратного Комптон-эффекта жестких рентгеновских квантов из горячей короны на электронах джета, влияние прохождения ударных волн по джету на его нагрев, а также механизм трансформации кинетической энергии джета в тепловую за счет кулоновских столкновений протонов джета и короны. Численные значения получены для галактического микроквара SS433. Наиболее важным механизмом нагрева джета для этого источника являются столкновения частиц джета с окружающим газом.

Г.С. Бисноватый-Коган, Ю.М. Кривошеев “Исследование механизмов нагрева джетов на примере микроквара SS433” АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2012, том 89, №3, с. 195–207

G.S. Bisnovatyi-Kogan, Yu.M. Krivosheev “Heating mechanisms for subrelativistic jets” Gravitation and Cosmology, vol. 18, issue 1, pp. 76-78 (2012)

Г.С. Бисноватый-Коган д.ф.-м.н. 495-333-45-88 gkogani@iki.rssi.ru

Ю.М. Кривошеев м.н.с. 495-333-45-88 krivosheev@mail.ru

8 Исследование гамма-всплесков

Предложена модель продленного излучения коротких гамма-всплесков, объясняющая наблюдаемые свойства излучения группы коротких всплесков. Предложен новый метод исследования спектрально-временной переменности излучения космических гамма-всплесков. На примере всплесков, зарегистрированных КА ИНТЕГРАЛ, показано, что для статистически хорошо выделяемых импульсов на кривой блеска не наблюдается отрицательных лагов. Зарегистрированы оптические компоненты для 15 GRB. Проведены глубокие наблюдения и в оптическом, и ИК-диапазоне площадок GRB для исследования свойств родительских галактик GRB051008, GRB110402.

Zheng, W.; Shen, R. F.; Sakamoto, T.; Beardmore, A. P.; De Pasquale, M.; Wu, X. F.; Gorosabel, J.; Urata, Y.; Sugita, S.; Zhang, B.; Pozanenko, A.; Nissinen, M.; Sahu, D. K.; Im, M.; Ukwatta, T. N.; Andreev, M.; Klunko, E.; Volnova, A.; Akerlof, C. W.; Anto, P.; Barthelmy, S. D.; Breeveld, A.; Carsenty, U.; Castillo-Carrión, S.; Castro-Tirado, A. J.; Chester, M. M.; Chuang, C. J.; Cunniffe, R.; De Ugarte Postigo, A.; Duffard, R.; Flewelling, H.; Gehrels, N.; Güver, T.; Guziy, S.; Hentunen, V. P.; Huang, K. Y.; Jelínek, M.; Koch, T. S.; Kubánek, P.; Kuin, P.; McKay, T. A.; Mottola, S.; Oates, S. R.; O'Brien, P.; Ohno, M.; Page, M. J.; Pandey, S. B.; Pérez del Pulgar, C.; Rujopakarn, W.; Rykoff, E.; Salmi, T.; Sánchez-Ramírez, R.; Schaefer, B. E.; Sergeev, A.; Sonbas, E.; Sota, A.; Tello, J. C.; Yamaoka, K.; Yost, S. A.; Yuan, F., "Panchromatic Observations of the Textbook GRB 110205A: Constraining Physical Mechanisms of Prompt Emission and Afterglow", The Astrophysical Journal, V. 751, article id. 90 2012.

Xin, L. P.; Pozanenko, A.; Kann, D. A.; Xu, D.; Gorosabel, J.; Leloudas, G.; Wei, J. Y.; Andreev, M.; Qin, S. F.; Ibrahimov, M.; Han, X. H.; de Ugarte Postigo, A.; Qiu, Y. L.; Deng, J. S.; Volnova, A.; Jakobsson, P.; Castro-Tirado, A. J.; Aceituno, F.; Fynbo, J. P. U.; Wang, J.; Sanchez-Ramirez, R.; Kouprianov, V.; Zheng, W. K.; Tello, J. C.; Wu, C., "The shallow-decay phase in both the optical and X-ray afterglows of Swift GRB 090529A: energy injection into a wind-type medium?", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 422, pp. 2044-2050 2012.

П. Ю. Минаев, С.А. Гребенев, А. С. Позаненко, С. В. Мольков, Д. Д. Фредерикс, С. В. Голенецкий, "GRB 070912 - a gamma-ray burst recorded from the direction to the galactic center", Astronomy Letters, Volume 38, Issue 10, pp.613-628, 2012.

А.С. Позаненко, к.ф.-м.н., 495-333-53-66 apozenen@iki.rssi.ru
П.Ю. Минаев, м.н.с, 495-333-53-66 minaevp@mail.ru
А. Вольнова м.н.с, 495-333-53-66 alinusss@gmail.com

9 Статистика квазаров

Проверяется утверждение о возможной периодичности в распределении квазаров по красным смещениям, используя каталоги 2dF и SDSS (около 85 тысяч квазаров). Для выделения периодичности были использованы четыре различных критерия и преобразование Фурье. Анализ показывает, что периодическая компонента в распределении квазаров по красному смещению отсутствует на сколько-нибудь существенном уровне достоверности.

С.В.Репин, Б.В.Комберг, В.Н.Лукаш «Отсутствие периодической компоненты в распределении квазаров по красному смещению.» *Астрономический журнал*, том 89, номер 9, стр. 778-786, (2012).

С.В.Репин м.н.с. 495-333-53-66