

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. Модель сравнительно тонкого токового слоя с учетом продольной неоднородности магнитного поля.

Построена и исследована модель сравнительно тонкого токового слоя с учетом продольной неоднородности магнитного поля. 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 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 и, соответственно, меньше кривизна магнитных силовых линий. В этой области профиль плотности тока имеет характерную многослойную структуру: узкий электронный ток вложен в более широкий протонный ток, а вся эта конфигурация вложена в еще более широкий плазменный слой. Рис.1. демонстрирует самосогласованные распределения плотности тока в двумерной модели в зависимости от спадания нормальной компоненты B_z магнитного поля вдоль слоя. На крае токового слоя, ближнем к Земле (положение планеты показано черным кружком) величина $B_z/B_0=0.3$ (B_0 – полное магнитное поле). На противоположном крае токового слоя $B_z/B_0=0.25$ (a), 0.2 (b) и 0.1 (c)

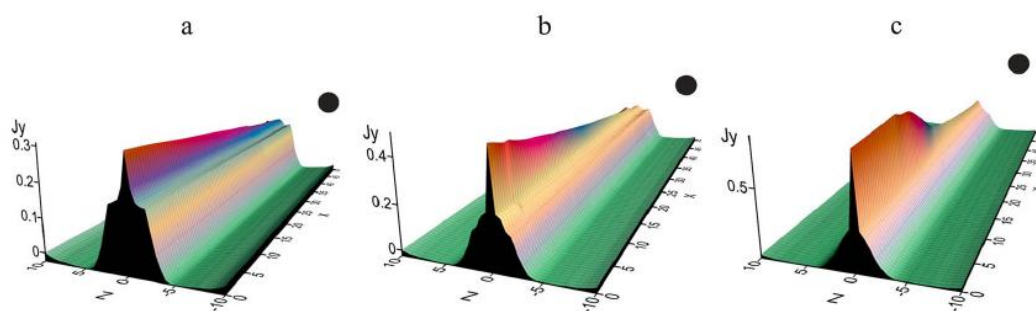


Рис.1. Самосогласованные профили плотности тока для разных зависимостей $B_z(x)$, где x – продольная координата.

На Рис.2. изображены двумерные профили плотности тока для различных плотностей захваченной плазмы в токовом слое. Рисунок (a) соответствует низкой плотности квазизахваченной плазмы. В этом случае в системе доминируют ионный и электронный токи, причем электронный ток кривизны усиливается в области с меньшими значениями B_z . На рисунке (c) показано возможное распределение плотности тока при примерно равных количествах пролетных и квазизахваченных ионов; рисунок (b) соответствует промежуточному случаю.

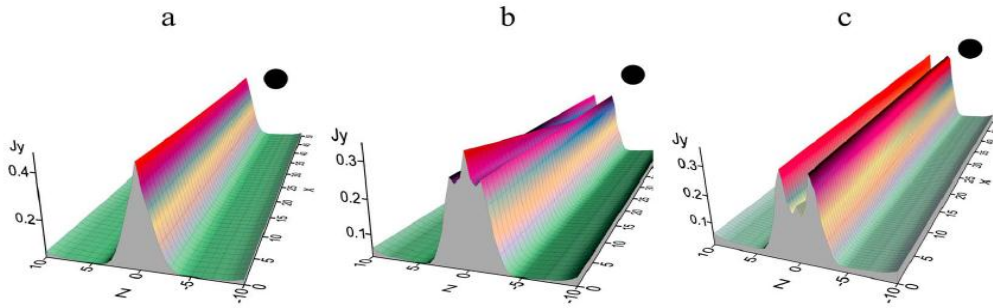


Рис.2. Самосогласованные профили плотности тока в тонком токовом слое при различных относительных концентрациях квазизахваченных частиц (увеличиваются слева направо).

Квазиadiaбатическая модель предсказывает, что тонкие токовые слои в хвосте магнитосферы должны иметь слабую неоднородность магнитного поля вдоль слоя, с сохранением многослойной вложенной конфигурации, чьи масштабы варьируются от толщины порядка электронного гирорадиуса до толщины плазменного слоя.

Malova H.V., V.Yu. Popov, D.C. Delcourt, A. A. Petrukovich, and L. M. Zelenyi, Antisunward structure of thin current sheets in the Earth's magnetotail: implications of quasi-adiabatic theory, J. Geophys. Res, VOL. 118, 4308–4318, doi:10.1002/jgra.50390, 2013.

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

Петрукович Анатолий Алексеевич, Член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., тел. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

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

2. Стационарная осесимметричная самосогласованная МГД-модель магнитодиска Юпитера.

В рамках предложенной модели были найдены профили магнитного поля и азимутальной плотности тока, структура магнитных силовых линий для двух видов связи давления плазмы и её плотности. Учтено влияние вулканизма спутника Юпитера Ио и конечной проводимости ионосферы планеты на формирование распределения угловой скорости магнитодиска. Сделаны оценки величины продольных токов, соединяющих ионосферу и магнитодиск и влияние нарушения коротации. В работе оценены границы магнитодиска в радиальном направлении (см. Таблицу). Для трех радиальных областей магнитодиска (r – расстояние до Юпитера) использованы три аппроксимации относительной угловой скорости вращения плазмы по отношению к скорости планеты $s(r)$. Для них получены радиальные зависимости толщины магнитодиска для изотермического ($T = \text{const}$) и адиабатического ($\gamma = 5/3$) случаев.

	$s(r)$	$T = \text{const}$ $L(r)$	$\gamma = 5/3$ $L(r)$
$r < L_0$	1	r^{-1}	$r^{-2.36}$
$L_0 < r < 47R_J$	$s(r) = e^{-(r-L_0)/L_0} + \frac{L_0^2}{r^2} \tanh\left(\frac{r-L_0}{L_0}\right)$	$\frac{1}{rs^2}$	$\frac{r^{-2.36}}{s^2}$
$47R_J < r < 59R_J$	L_0^2/r^2	r^3	$r^{1.64}$

Показано, что полученные результаты согласуются с экспериментальными данными и другими моделями магнитодиска.

Кислов Р., Х. Малова, И. Васько, Модель магнитодиска Юпитера, Вестник Московского Университета, Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2013. №1, 79-83.

Кислов Роман Анатольевич, м.н.с., аспирант РАН, 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, м.н.с. ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoiy@yandex.ru

3. Новый класс решений уравнений типа Грэда-Шафранова, описывающих плоские и аксиально-симметричные кинетические двухмерные токовые слои.

Показано, что эти уравнения обладают групповой симметрией только для максвелловских и каппа-распределений частиц. Теория групп использована для редукции уравнений типа Грэда-Шафранова к обычным дифференциальным уравнениям с инвариантными решениями. Выведены асимптотики инвариантных решений, в явном виде решения найдены для каппа-распределения с $\kappa=0.72$. Дискутируется различие полученных равновесных решений от равновесий, широко используемых в других исследованиях. Показано, что параметр каппа регулирует уменьшение скорости плазменных характеристик вдоль токового слоя и определяет пространственное распределение компонент магнитного поля. Представленный класс плоских и аксиально – симметричных (дископодобных) токовых слоев включает в себя решения для наклонной нейтральной плоскости.

Vasko, I. Y.; Artemyev, A. V.; Popov, V. Y.; Malova, H. V., Kinetic models of two-dimensional plane and axially symmetric current sheets: Group theory approach, Physics of Plasmas, Volume 20, Issue 2, pp. 022110-022110-9 (2013).

Васько Иван Юрьевич, м.н.с. ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoiy@yandex.ru

Артемьев Антон Владимирович, 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

4. Обзор по квазиadiaбатической динамике частиц.

Последние два десятилетия активно развивается теория квазиadiaбатической динамики заряженных частиц в системах с пространственными масштабами неоднородности магнитного поля существенно меньшими по сравнению с ларморовским радиусом. Применение этой теории для описания различных явлений, наблюдаемых в плазме околоземного пространства, позволило получить ряд новых результатов и объяснить многие эффекты, наблюдаемые искусственными спутниками. Настоящий обзор посвящен последовательному изложению данной теории. Введено понятие квазиadiaбатического инварианта движения, являющегося аналогом магнитного момента для рассматриваемых систем со слабым магнитным полем, и приведен вывод формул, описывающих точность его сохранения. С использованием квазиadiaбатического инварианта описана динамика заряженных частиц в токовых слоях различной конфигурации, включая двухмерные токовые слои, слои с X- и O- линиями магнитного поля, бифурцированные слои и слои с продольной компонентой магнитного поля. На основе теоретической картины динамики частиц проводится последовательное построение теории ускорения частиц при сохранении квазиadiaбатического инварианта: рассмотрены аналоги бетатронного и Ферми ускорения для систем со слабым магнитным полем и описан эффект резонансного ускорения заряженных частиц в токовом слое. Отдельная глава обзора посвящена тем статистическим свойствам ансамблей частиц, которые следуют из сохранения квази-adiaбатического инварианта. Приведены примеры одномерных и двухмерных магнитоплазменных равновесий (токовых слоев), построение которых основано на интегрируемости траекторий заряженных частиц с сохраняющимся квазиadiaбатическим инвариантом. Обзор содержит вывод формул,

описывающих нарушения квазиadiaбатического инварианта за счет пересечения сепаратрисы траекториями частиц на фазовой плоскости движения.

Зеленый Л.М., А.И. Нейштадт, А.В. Артемьев, Д.Л. Вайнштейн, and Х.В. Малова. Квазиadiaбатическое описание динамики заряженных частиц в космической плазме. *Успехи физических наук*, 183(4): 365–415, 2013, <http://ufn.ru/ru/articles/2013/4/b/>.

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru
Нейштадт Анатолий Исерович, д.ф.-м.н., т. 333-51-45, aneishta@iki.rssi.ru
Артемьев Антон Владимирович, к.ф.-м.н., тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru
Вайнштейн Дмитрий Леонидович, к.ф.-м.н., тел. 333-51-45, dmitri@temple.edu
Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

5. Оценка длины магнитосферного хвоста Венеры.

В рамках МГД-модели рассмотрен процесс распрямления силовых трубок магнитосферного хвоста Венеры в процессе их конвекции на ночной стороне. Дана оценка расстояния x_i , на котором силовая трубка полностью распрямляется за счет натяжения силовых линий и заканчивается магнитосферный хвост с характерной для него геометрией силовых линий (“slingshot” geometry). Рассмотрена роль поперечного масштаба токового слоя магнитосферного хвоста на процесс распрямления силовых трубок. Предположение о тонком токовом слое позволяет получить нижнюю оценку длины магнитосферного хвоста, $x_i > 31 R_V$ (R_V – радиус Венеры), тогда как предположение о широком токовом слое позволяет получить верхнюю оценку, $x_i < 44 R_V$. Показано, что кинетические эффекты, связанные с потерями силовой трубкой частиц с малыми питч-углами и с затеканием в силовую трубку плазмы магнитослоя, существенным образом не влияют на оценку длины магнитосферного хвоста. Модель предсказывает наличие в дальнем хвосте энергичных потоков протонов H^+ (2-5 кэВ) и ионов кислорода O^+ (35-80 кэВ).

Васько И. Ю., Л. М. Зеленый, В. Ю. Попов. Оценка длины магнитосферного хвоста Венеры. *Астрономический Вестник* (принята к печати)

Васько Иван Юрьевич, м.н.с. ИКИ РАН, 333-25-00, vaskoiy@yandex.ru
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

6. Исследование нагрева и ускорения электронов в области магнитного пересоединения.

Исследовано формирование спектров электронов за счёт ускорения вблизи области магнитного пересоединения. Оценены вклады различных механизмов ускорения электронов в формирования спектра. Показано, что наличие электростатических полей вблизи области пересоединения приводит к двойной структуре спектра с двумя степенными наклонами. Данные теоретической модели сравнены с данными спутниковых измерений в хвосте земной магнитосферы (см. рисунок).

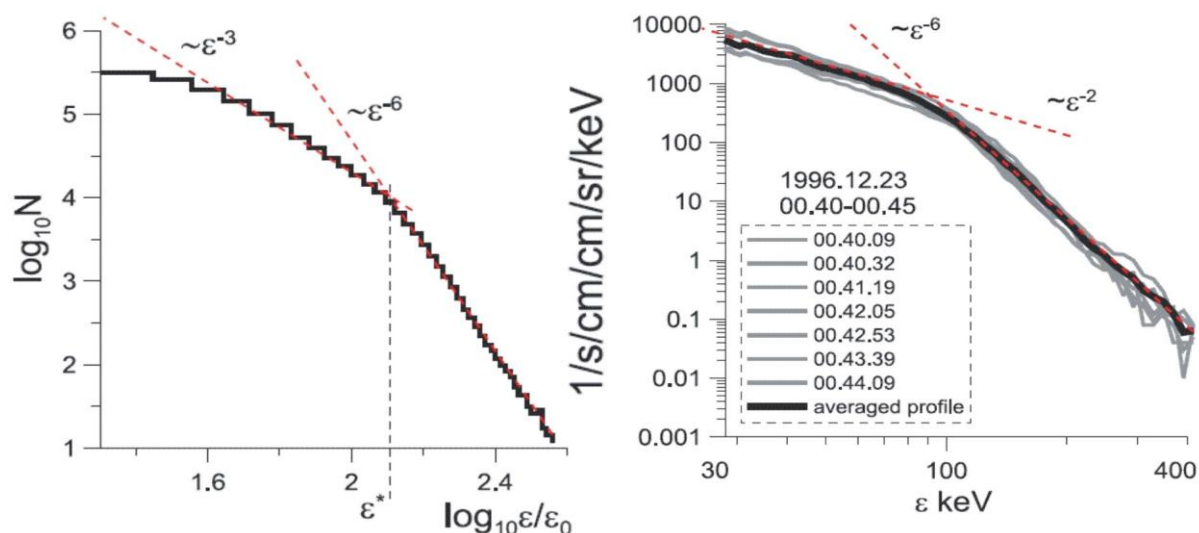


Рисунок. Модельный спектр электронов (левая картинка) и спектр электронов, измеренный спутником Interball-tail (правая картинка)

Artemyev A.V., M. Hoshino, V. N. Lutsenko, A. A. Petrukovich, S. Imada, and L. M. Zelenyi, Double power-law spectra of energetic electrons in the Earth magnetotail. 2013 Ann. Geophys., 31, 91–106.

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

Луценко Вольт Николаевич, к.ф.-м.н., тел. 333-20-00, vlutsenk@iki.rssi.ru

Петрукович Анатолий Алексеевич, Член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., тел. 333-32-67, apetruko@iki.rssi.ru

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

7. Исследование резонансного квазилинейного взаимодействия электронов и волн в радиационных поясах Земли.

В рамках исследования построена статистическая модель распределения свистовых и магнитозвуковых волн в радиационных поясах Земли: получены зависимости интенсивности волн от магнитной широты для различных углов распространения и разных уровней геомагнитной активности. Данная модель использовалась для вычисления коэффициентов диффузии электронов по питч-углам и энергии в широком диапазоне параметров системы. Показано, что существенную роль в процессе ускорения частиц во время геомагнитной бури играет вариация во времени относительного числа волн, распространяющихся под большим углом к магнитному полю. Уменьшение вероятности наблюдения косых волн с ростом геомагнитной активности почти полностью нивелирует рост амплитуд параллельных волн для процессов рассеяния электронов. В результате ускорение электронов за счёт рассеяния на волнах для всех фаз геомагнитной бури проходит в режиме ускорения, ограниченного рассеянием.

Artemyev A. V., Mourenas D., Agapitov O. V., and Krasnoselskikh V. V. Parametric validations of analytical lifetime estimates for radiationbelt electron diffusion by whistler waves. Ann. Geophys., 31, 599–624, 2013

Mourenas D., Artemyev A.V., O.V. Agapitov, V. Krasnoselskikh. Analytical estimates of electron quasi-linear diffusion by fast magnetosonic waves. 2013. *J. Geophys. Res.* 118, 3096–3112, doi: 10.1002/jgra.50349

Agapitov O., A. Artemyev, V. Krasnoselskikh, Y. V. Khotyaintsev, D. Mourenas, H. Breuillard, M. Balikhin, and G. Rolland. Statistics of whistler mode waves in the outer radiation belt: Cluster STAFF-SA measurements. 2013. *J. Geophys. Res.* 118, 3407–3420, doi: 10.1002/jgra.50312

Artemyev A. V., K. G. Orlova, D. Mourenas, O. V. Agapitov, and V. V. Krasnoselskikh Electron pitch-angle diffusion: resonant scattering by waves vs. nonadiabatic effects. 2013. *Ann. Geophys.*, 31, 1485–1490, doi: 10.5194/angeo-31-1485-2013

Artemyev A. V., O. V. Agapitov, D. Mourenas, V. Krasnoselskikh, and L. M. Zelenyi Storm-induced energization of radiation belt electrons: Effect of wave obliquity. 2013. *Geophys. Res. Lett.*, V. 40, 4138–4143, doi:10.1002/grl.50837

Артемьев Антон Владимирович, 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

8. Исследование ускорения электронов и ионов при их взаимодействии с фронтом диполизации.

Рассмотрено резонансное взаимодействие ионов с фронтом диполизации в хвосте земной магнитосферы. Показано, что за счёт особенностей конфигурации магнитного поля фронта возможна реализация захвата ионов в серфортронный режим ускорения. Оценены максимальные энергии, до которых может быть ускорены ионы в магнитосфере Земли. Проведено сопоставления эффективности такого ускорения для магнитосферы Земли и Юпитера. Рассмотрено взаимодействие электронов с волнами свистового диапазона частот, формирующимися вблизи от фронта диполизации. Показано, что такое взаимодействие может приводить к эффективному рассеянию электронов в конус потерь.

Artemyev A.V., S. Kasahara, A.Y. Ukhorskiy, M. Fujimoto. Acceleration of ions in the Jupiter magnetotail: Particle resonant interaction with dipolarization fronts, 2013, V. 82-83, pp. 134–148, doi: 10.1016/j.pss.2013.04.013

Panov E.V., Artemyev A.V., W. Baumjohann, R. Nakamura, V. Angelopoulos. Transient electron precipitation during oscillatory BBF braking: THEMIS observations and theoretical estimates. 2013. *J. Geophys. Res.* 118, 3065–3076, doi: 10.1002/jgra.50203

Ukhorskiy A. Y., M. I. Sitnov, V. G. Merkin, and A. V. Artemyev Rapid acceleration of protons upstream of earthward propagating dipolarization fronts. 2013. *J. Geophys. Res.* V. 118, 4952–4962, doi:10.1002/jgra.50452

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

9. Исследование структуры токовых слоёв в хвосте земной магнитосферы.

По данным спутниковой миссии ТЕМИС исследована продольная структура токового слоя хвоста земной магнитосферы. Показано, что температура электронов растёт линейно с магнитным полем. Спутниковые данные миссии Кластей использованы для исследования поперечной структуры токовых слоёв вблизи области пересоединения. Показано, что существенную роль в формировании таких слоёв играют токи кривизны электронов.

Проведено сопоставления спутниковых наблюдений и лабораторного моделирования токовых слоёв, формирующихся вблизи области пересоединения. Опубликовано два обзора, посвящённые токовым слоям и их устойчивости. В первом обзоре представлена информация о сопоставлении экспериментальных данных с теоретическими моделями токовых слоёв. Второй обзор посвящён разрывной неустойчивости токового слоя, включая роль эффективных столкновений частиц с волнами.

Artemyev A.V., A.A. Petrukovich, R. Nakamura, L.M. Zelenyi. Profiles of electron temperature and Bz along Earth's magnetotail, 2013, V. 31, pp. 1109–1114, doi: 10.5194/angeo-31-1109-2013

Artemyev A.V., A.A. Petrukovich, A.G. Frank, R. Nakamura, L.M. Zelenyi. Intense current sheets in the magnetotail: Peculiarities of electron physics. 2013. J. Geophys. Res. 118, 2789–2799, doi: 10.1002/jgra.50297

Artemyev A.A., Zelenyi L.M. Kinetic Structure of Current Sheets in the Earth Magnetotail. 2013 Space Science Review V. 178, pp. 419–440, doi:10.1007/s11214-012-9954-5

Zelenyi L.M., Artemyev A.A. Mechanisms of Spontaneous Reconnection: From Magnetospheric to Fusion Plasma. 2013 Space Science Review V. 178, pp. 441–457, doi:10.1007/s11214-013-9959-8

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

Петрукович Анатолий Алексеевич, Член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., тел. 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. Волновое описание нижнегибридного отражения свистовых волн в верхней ионосфере.

При описании квазилинейной диффузии энергичных электронов радиационных поясов Земли, обусловленной их резонансным взаимодействием со свистовыми волнами, спектральное распределение последних часто выбирается достаточно произвольным образом (например, в виде гауссова спектра). В действительности же этот спектр определяется самосогласованным взаимодействием волн и частиц, инкрементом циклотронной неустойчивости, приводящей к возбуждению волн, а также условиями отражения и поглощения волн в ионосфере, служащей границей магнитосферного резонатора. Специфика свистовых волн, распространяющихся в магнитосфере в недактированном режиме, состоит в том, что они переходят в квазиэлектростатический режим распространения и отражаются не в области нижней ионосферы, а в верхней ионосфере, где частота волн становится ниже частоты нижнего гибридного резонанса (НГР). В этой области важную роль играет столкновительное поглощение волн, так что использовавшееся ранее геометрооптическое описание НГР отражения становится непригодным, и для вычисления правильных коэффициентов отражения волн требуется решение волновой задачи, что и сделано в работе.

Кузичев, И.В., Д. Р. Шкляр (2013), Волновое описание нижнегибридного отражения свистовых волн, *Физика плазмы*, **39** (10), 891-904.

Шкляр Давид Рувимович, д.ф.-м.н., зав. лаб. 541, +7-495-333 45 34, david@iki.rssi.ru

Кузичев Илья Валерьевич, +7-495-333 45 34, mar-cuss@yandex.ru

11. Исследование вариаций НГР частоты надо областями грядущих землетрясений.

Многие авторы указывали, что вариации распределения плазмы и/или спектральных волновых параметров могут служить предвестниками землетрясений. В литературе

сообщалось об изменениях плотности и температуры плазмы над сейсмическими областями. Известно, что эти величины влияют на профиль частоты ниже гибридного резонанса (НГР) в верхней ионосфере и магнитосфере, которая, в свою очередь, оказывает большое влияние на распространение квазирезонансных ОНЧ волн с частотой, близкой к максимальному значению частоты НГР на пути распространения. Это позволяет использовать ОНЧ сигналы для регистрации ионосферных возмущений. Используя измерения спутника ДЕМЕТЕР за три года, мы построили глобальные карты частоты НГР и карты распределения спектральной интенсивности ОНЧ волн на частотах передатчиков системы "Альфа". Эти карты демонстрируют значимую зависимость спектральной интенсивности в сопряженном передатчику регионе от соотношения между частотой сигнала и частотой НГР над точкой наблюдения. Затем, используя данные измерений ДЕМЕТЕРа и базу данных землетрясений на сервере USGS, мы провели статистический анализ частоты НГР над сейсмическими областями и обнаружили значительные отклонения поведения частоты НГР перед землетрясениями по сравнению с регулярными колебаниями. И хотя эти отклонения являются статистически значимыми, каждый конкретный случай ионосферных возмущений может быть связан с различными процессами в атмосфере, ионосфере и магнитосфере, не относящимися к грядущим землетрясениям. Таким образом необычные вариации частоты НГР могут рассматриваться только как один из индикаторов наряду с другими возможными предвестниками землетрясений.

Vavilov, D. I.; Shklyar, D. R.; Titova, E. E.; Parrot, M., Study of the lower hybrid resonance frequency over the regions of gathering earthquakes using DEMETER data, J. Atm. Sol.-Terr. Phys., V. 100, p. 1-12.

Вавилов Дмитрий Игоревич, асп. ИКИ РАН

Шкляр Давид Рувимович, д.ф.-м.н., зав. лаб. 541, +7-495-333 45 34, david@iki.rssi.ru

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

12. Изучение набора энергии волнами аврорального километрового излучения до экспериментально наблюдаемых значений при их генерации в источнике ограниченных размеров.

Впервые показана возможность набора энергии волнами аврорального километрового излучения до экспериментально наблюдаемых значений при их генерации в источнике ограниченных размеров. Рассмотрено усиление и распространение аврорального километрового излучения (АКР) в узкой трехмерной плазменной каверне, аналогичной наблюдаемым в авроральной области источникам АКР. Исследование проводится методами геометрической оптики, используя дипольную модель геомагнитного поля. Показано, что хотя в линейном приближении максимальными инкрементами обладают волны, распространяющиеся, практически, перпендикулярно магнитному полю в азимутальном направлении, наибольшую энергию приобретают волны, имеющие достаточно большую компоненту волнового вектора направленную к Земле. Эти волны распространяются вниз к Земле до тех пор, пока не достигнут точки отражения, где их групповая скорость обращается в ноль. После отражения они идут вверх, оставаясь внутри источника до тех пор, пока частота отсечки фоновой плазмы, уменьшающаяся с высотой, не станет меньше или равной частоте волны. Чем дольше волна остается внутри источника, тем больше энергии она приобретает. Проведенные расчеты показали, что основной вклад в спектр АКР дают волны, запущенные первоначально с компонентой групповой скорости направленной к Земле и с оптимальным соотношением компонент волнового вектора, контролирующими значение линейного инкремента и время жизни волны внутри источника.

T.M. Burinskaya, Ray tracing model of the auroral kilometric radiation generation in the 3-D plasma cavity, Ann. Geophys., 31, 1-8, 2013, doi:10.5194/angeo-31-1-2013.

Бури́нская Татьяна Михайловна, +7-495-333 45 34 tburinsk@iki.rssi.ru

13. Моделирование нелинейной динамики неустойчивости Кельвина-Гельмгольца для ограниченного в пространстве потока.

Показано, что нелинейная динамика неустойчивости Кельвина-Гельмгольца для ограниченного в пространстве потока при развитии колебаний с длиной волны больше поперечного размера потока принципиально отличается от развития неустойчивости в переходном слое между двумя полубесконечными областями. Исследование нелинейной динамики неустойчивости Кельвина-Гельмгольца проведено с учетом зависимости от начального возмущения, напряжённости магнитного поля и температуры плазмы. Анализ численных расчетов эволюции решений МГД-системы уравнений во времени для различных значений альфвеновского числа Маха при возбуждении неустойчивости периодическими колебаниями показал, что развитие антисимметричного решения может приводить к проникновению плазмы потока в окружающее пространство даже в сильном магнитном поле, когда образование крупных вихрей невозможно, посредством формирования длинных струй вещества. Установлено, что при возбуждении неустойчивости ансамблем случайных возмущений, шумом, развиваются асимметричные решения, которые носят черты антисимметричных колебаний и приводят к возмущениям магнитного поля альфвеновского типа на оси потока. Показано, что для потоков плазмы с поперечным размером порядка ширины переходной области между потоком и окружающим пространством решения слабо зависят от начального возмущения. Для сверхзвуковых потоков плазмы, решения практически не зависят от начального условия при любом отношении ширины потока к ширине переходного слоя между потоком и окружающей плазмой. Посредством численного моделирования сверхзвуковых потоков было также обнаружено образование крупных вихрей на нелинейной стадии, что не наблюдается для переходного слоя между двумя полубесконечными областями, заполненными однородной плазмой.

Шевелёв М.М., Бури́нская Т.М. Нелинейная динамика неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в потоке плазмы конечной ширины // Физика плазмы. 2013. Т. 39. (№6). С. 546-555.

Бури́нская Татьяна Михайловна, ИКИ РАН. e-mail: tburinsk@iki.rssi.ru
Шевелёв Марк Михайлович, ИКИ РАН. e-mail: mposimba@gmail.com

14. Теоретическое исследование процесса магнито-стимулированной диффузии и получено явное аналитическое выражение для коэффициента диффузии в предельном случае высоковозбужденных атомов с большими угловыми моментами.

Работа посвящена изучению вопроса о том, может ли внешнее магнитное поле не подавлять диффузию заряженных частиц (как это имеет место в абсолютном большинстве известных газо-плазменных систем), а наоборот – усиливать ее. Оказывается, что это действительно должно иметь место, например, в холодном разреженном газе высоковозбужденных (или, так называемых, ридберговских) атомов. В основе физического механизма данного явления лежит эффект стохастизации траектории сильно-возбужденного электрона, движущегося при одновременном воздействии на него кулоновской силы, создаваемой центральным ионом, и силы Лоренца, обусловленной внешним магнитным полем. В случае несоизмеримости характерных периодов движения, создаваемых этими двумя силами, возникает эффект случайных толчков, аналогичных тем, что испытывает броуновская частица. В конечном счете, это и приводит к диффузионно-подобному поведению всей системы в целом. В работе

изложена методика квазиклассического расчета и приведено явное аналитическое выражение для коэффициента магнито-стимулированной диффузии в случае атомов с большими угловыми моментами, т.е. со значениями орбитального квантового числа, близкими к главному квантовому числу. Именно эта ситуация характерна для “вторичных” ридберговских атомов, образующихся при рекомбинации холодной сильно-неидеальной плазмы, которая активно изучается в последнее время с использованием магнито-оптических ловушек. В частности, как показывают численные оценки, магнито-стимулированная диффузия может играть существенную роль в экспериментах по синтезу антиводорода из позитрон-антипротонной плазмы, осуществляемых в настоящее время в ЦЕРНе.

Yu. V. Dumin. Magnetically stimulated diffusion of Rydberg gases. *Physical Review Letters*, v.110, p.033004 (2013)

Думин Юрий Викторович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отд. 54
E-mail: dumin@yahoo.com
Тел: +7 915 398 66 51

15. Изучение неустойчивости верхнегибридных волн при наличии горячих электронов имеющих распределение по скоростям типа «подкова».

Исследована устойчивость верхнегибридных волн в плотной замагниченной плазме при наличии горячих электронов имеющих распределение по скоростям типа «подкова» или «оболочка». С помощью численного моделирования получен спектр волн и вид функции распределения энергичных частиц, устанавливающийся в конце нелинейной стадии насыщения неустойчивости. Проведен анализ зависимости инкрементов неустойчивости и продольных и поперечных волновых векторов наиболее неустойчивых волн от соотношения плазменной и электронно-циклотронных частот, угла раскрытия «подковы» и относительной толщины «оболочки». Нелинейная стадия развития неустойчивости исследуется численно с помощью разработанной ранее математической модели описывающей резонансное взаимодействие частиц с широким спектром электростатических волн в плазме с магнитным полем. По результатам моделирования показано, что взаимодействие частиц с волнами при условии циклотронных резонансов высокого порядка (нормальный циклотронный резонанс с $n=2,3,5,7$ играет не меньшую роль, чем резонанс первого порядка. Проанализированы особенности динамики частиц, одновременно взаимодействующих с двумя волнами при разных типах резонанса, и показано, что эти особенности определяют главным образом характер эволюции функции распределения и спектра волн как в случае с небольшим числом волн, так и при практически непрерывном спектре многих волн. При моделировании с квази-непрерывным спектре волн получена полная картина релаксации функции распределения, характеризующаяся заполнением оболочки, в конечной стадии которой функция распределения частиц по скоростям принимает универсальный вид. Также исследована динамика спектра волн и оценена доля энергии, которую частицы отдают волнам в конце эволюции.

C. Krafft and A. Volokitin, Nonlinear saturation of wave packets excited by low-energy electron horseshoe distributions, *Physical Review E* 87, 053107 (2013)

Волокитин Александр Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.,
email: a.volokitin@mail.ru, тел.+7(495) 333-34-45

16. Моделирование взаимодействия электронного пучка, распространяющегося в неоднородной плазме солнечного ветра, с ленгмюровскими волнами, динамика которых описывается одномерным уравнением Захарова.

Показано, что при наличии внешних флуктуаций плотности плазмы солнечного ветра часть энергии ленгмюровских волн перекачивается в длинноволновую область, в результате чего происходит ускорение части электронов до скоростей примерно в два раза превышающих начальную скорость пучка. 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 низкий, $\delta n / n < 3(kL_D)^2$, режим релаксации пучка очень похож на тот, 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 локализуются и формируют четко определенные волновые пакеты (сгустки волн), которые доминируют в полном спектре волн. 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.

Krafft, C.; Volokitin, A. S., Krasnoselskikh, V. V., Interaction of energetic particles with waves in strongly inhomogeneous solar wind plasmas, *Astroph. J.*, 2013, 778, 111

Волокитин Александр Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.,
email: a.volokitin@mail.ru, тел.+7(495) 333-34-45

17. Изучение релаксации потока энергичных ионов в сильно замагниченной плазме с использованием самосогласованного 3D моделирования взаимодействия резонансных частиц с ионно-звуковыми волнами при веерной неустойчивости.

Показано, что в результате развития веерной неустойчивости ионно-звуковых волн релаксации потока энергичных ионов в сильно замагниченной плазме происходит в результате захвата резонансных частиц в потенциальные ямы, формируемые полем нескольких волн, определен спектр волн. Математическая модель основана на гамильтоновском описании взаимодействия волна-частица и расчеты выполняются с использованием симплектического численного кода. Изучена эволюция плотности энергии волн и распределения ионов на протяжении длительного периода времени. В частности, показано, что ионы не столько диффундируют по скоростям как следует из квазилинейной теории слабой турбулентности, а их диффузия происходит в результате переходов между состояниями при которых они совершают много колебаний, будучи захваченными в потенциальную яму образуемую полями нескольких волн. Данный нелинейный механизмы диффузии определяет релаксацию анизотропного «хвоста» ионов и насыщение спектра волн. Кроме того рассмотрено, как перпендикулярной нагрев ионов зависит от основных параметров плазмы и потока ионов, в частности какая доля начальная энергия хвоста трансформируется в поперечную энергию ионов. Параметры, используемые в численном моделировании характерны для области ускорения в полярных сияниях.

C. Krafft, A. Volokitin, Nonturbulent stabilization of ion fluxes by the fan instability, *Physics Letters A*, 2013

Волокитин Александр Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.,

email: a.volokitin@mail.ru, тел.+7(495) 333-34-45

18. Исследование стохастического и резонансных условий ускорения заряженных частиц в магнитосферном хвосте.

В пограничной области плазменного слоя магнитосферы Земли существует два типа ионных пучков (так называемые бимлеты типа I и типа II), изучаемые уже более двух десятилетий. Бимлеты первого типа имеют энергии < 20 кэВ и узкую функцию распределения скоростей, в то время как бимлеты второго типа имеют энергии до 100 кэВ и, как правило, регистрируются с более широким разбросом поперечных скоростей. Считается, что бимлеты типа I образуются в результате неадиабатического и резонансного ускорения в электрическом E_y , существующем поперек плазменного слоя, в то время как бимлеты второго типа образуются в плазменном слое с достаточно высоким уровнем электромагнитных колебаний. Как было неоднократно показано, резонансные условия очень чувствительны к возмущениям и в конечном счете должны разрушаться под воздействием электромагнитного "шума". Нами было выполнено моделирование методом пробных частиц с учетом двух возможных механизмов ускорения заряженных частиц: в стационарном электрическом поле, направленном поперек магнитосферного хвоста и под воздействием стационарного электромагнитного возмущения. Было получено, что бимлеты первого типа можно наблюдать даже в присутствии умеренных уровней возмущения $\delta B \sim B_z$, где B_z является компонентом магнитного поля перпендикулярно к плоскости токового слоя. Повышение уровня возмущений ведет к генерации бимлетов более высоких энергий. Ускорение ионов под воздействием резонансного ускорения и электромагнитных флуктуаций в хвосте магнитосферы приводит к непрерывному переходу от бимлетов типа I в бимлеты типа II.

Dolgonosov, M. S., G. Zimbardo, S. Perri, and A. Greco (2013), On the generation of ion beamlets in the magnetotail: Resonant acceleration versus stochastic acceleration, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, 5445–5453 doi:10.1002/jgra.50490.

Долгоносов Максим Сергеевич, к.ф.-м.н., н.с., e-mail: russia.on.mars@gmail.com

19. Изучение захвата ионов в процессе приобретения заряда поглощающей сферой в бесстолкновительной плазме.

В результате нашей работы были разработаны численные методы «частиц-в-ячейках» исследования захвата ионов в процессе зарядки сферы. В ходе моделирования на больших временах наблюдается формирование асимптотического распределения захваченных частиц и переход физической системы в состояние устойчивого равновесия. Постановка задачи и разработанный алгоритм моделирования дают редкую возможность проследить динамику сильно нелинейного плазменного процесса в реальной, трехмерной, геометрии даже при довольно ограниченных ресурсах вычислительной техники. Ввиду сравнительной простоты постановки, решение сформулированной задачи в некотором смысле может служить своеобразным эталоном среди разнообразных решений подобных, или даже более сложных, задач, например, с учетом движения сферы и столкновительных процессов.

А. А. Киселёв, М. С. Долгоносов, В. Л. Красовский «Захват ионов в процессе приобретения заряда поглощающей сферой в бесстолкновительной плазме», Доклады академии наук, в печати, 2013.

Долгоносов Максим Сергеевич, к.ф.-м.н., н.с., e-mail: russia.on.mars@gmail.com
Красовский Виктор Львович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-78, vkrasov@mx.iki.rssi.ru

20. Дальнейшее развитие методов расчета самосогласованных электромагнитных полей и параметров бесстолкновительной плазмы для локальных и волновых возмущений в магнитосфере Земли.

Проведено усовершенствование техники численного моделирования процесса зарядки поглощающей сферы в плазме. С этой целью были апробированы новые алгоритмы и разностные схемы, проведены многочисленные расчеты-тесты и написан ряд модифицированных программ. Более конкретно протестировано влияние на решение искусственного теплового шума, оптимизирован выбор размера области расчета электрического поля и проведено сравнение результатов моделирования с использованием различных схем интегрирования уравнений Власова-Пуассона. Впервые получено решение задачи о процессе зарядки сферического тела, поглощающего частицы плазмы, с наблюдением динамики частиц в фазовом пространстве.

Выполнен теоретический анализ задачи, ориентированный на понимание и физическую интерпретацию результатов численного моделирования. В частности, очень полезным оказался скейлинг процесса зарядки сферы, позволивший трактовать динамику плазмы на качественном уровне. Установлено, что захваченные ионы обычно группируются вблизи сферы, если ионный дебаевский радиус близок к среднему геометрическому от радиуса сферы и дебаевского радиуса электронов. Численный эксперимент полностью подтвердил этот вывод качественного анализа.

Основные результаты проведенных исследований отражены в статье, подготовленной и отправленной для научного редактирования, нового выпуска книги "Плазменная гелиогеофизика". Статья написана в стиле аналитического обзора современного состояния проблемы определения заряда поглощающего тела, помещенного в плазму, в сочетании с новыми оригинальными результатами, полученными в ходе работ по теме в 2013 году.

В.Л. Красовский. О границе области захвата в задаче о возмущении бесстолкновительной плазмы поглощающей сферой. Физика плазмы, 2013, т. 39, № 6, с.572-577.

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

21. Нелинейное ускорение электронов волнами свистового диапазона частот, распространяющимися под большим углом к магнитному полю.

Проведено исследование нелинейного взаимодействия релятивистских электронов с высокоамплитудными волнами свистового диапазона частот, распространяющимися под большим углом к магнитному полю в радиационных поясах Земли. Рассмотрены захваты электронов в резонанс Ландау и в фундаментальный циклотронный резонанс в дипольной модели магнитного поля. Показано, что захваты в резонанс Ландау приводят к уменьшению экваториальных питч-углов, а захваты в первый циклотронный резонанс - к их увеличению. Для электронов с энергией порядка 100 кэВ рост энергии электронов в обоих случаях приблизительно одинаков. Продемонстрировано, что для электронов с меньшими энергиями ускорение оказывается более эффективным в случае резонанса Ландау. Более того, захват в резонанс Ландау оказывается возможным в более широком диапазоне начальных питч-углов и начальных энергий по сравнению с фундаментальным резонансом. Таким образом, можно заключить, что в высокоамплитудных квазиэлектростатических волнах, распространяющихся под большими углами к магнитному полю, резонанс Ландау в целом играет более важную роль, чем фундаментальный циклотронный резонанс.

A.V. Artemyev, A.A. Vasiliev, D. Mourenas, O.V. Agapitov, and V.V. Krasnoselskikh. Nonlinear electron acceleration by oblique whistler waves: Landau resonance vs. cyclotron resonance. Physics of Plasmas V. 20, 122901 (2013)

Васильев Алексей Алексеевич, д.ф.-м.н., тел.8-495-333-53-46, valex@iki.rssi.ru
Артемьев Антон Владимирович, к.ф.-м.н., тел.8-495-333-25-00, ante0226@yandex.ru

22. Исследование динамики заряженной частицы в хвосте магнитосферы планеты в случае существенной асимметрии магнитного поля хвоста относительно экваториальной плоскости планеты.

Динамика частицы в рассматриваемой задаче описывается гамильтоновой системой с двумя степенями свободы, содержащей быстрые и медленные переменные. На фазовой плоскости быстрых переменных при замороженных значениях медленных переменных имеется сепаратриса. В ходе дрейфа медленных переменных фазовые точки пересекают эту сепаратрису. Дано описание динамики в адиабатическом приближении, учитывающем большие, т.н. геометрические, скачки адиабатического инварианта при пересечении сепаратрисы. Показано, что существуют четыре режима движения. Каждый режим характеризуется определенными величинами асимметрии магнитного поля и энергии частицы. Описано влияние на найденную картину движения неадиабатических эффектов, связанных с т.н. динамическими скачками адиабатического инварианта на сепаратрисе.

A.V. Artemyev, A.I. Neishtadt, L.M. Zelenyi. Ion motion in the current sheet with sheared magnetic field – Part 1: Quasi-adiabatic theory, *Nonlin. Processes Geophys.*, 2013, v.20, p.163–178.

A.V. Artemyev, A.I. Neishtadt, L.M. Zelenyi. Ion motion in the current sheet with sheared magnetic field – Part 2: Non-adiabatic effects, *Nonlin. Processes Geophys.*, 2013, v.20, p.899–919, doi:10.5194/npg-20-899-2013 (2013)

Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, т.8-495-333-25-88, lzelenyi@iki.rssi.ru
Нейштадт Анатолий Исерович, д.ф.-м.н., т.8-495-333-51-45, e-mail: aneishta@iki.rssi.ru
Артемьев Антон Владимирович, к.ф.-м.н., тел.8-495-333-25-00, ante0226@yandex.ru

23. Исследование захвата в резонанс и выхода из резонанса в нелинейном маятнике.

Нелинейный маятник представляет собой одну из основных моделей, используемых при анализе нелинейных явлений в различных областях физики, в том числе в физике плазмы. Была исследована динамика нелинейного маятника под действием периодической внешней силы малой амплитуды и медленно изменяющейся (уменьшающейся) частоты. Известно, что когда частота внешней силы проходит через значение, равное частоте колебаний невозмущенного маятника, маятник может быть захвачен в резонанс. Захваченный маятник совершает колебания таким образом, что маятник остается в резонансе с внешней силой, и, соответственно, амплитуда его колебаний возрастает. Эта задача была рассмотрена в рамках разработанного ранее гамильтоновского подхода к изучению резонансных явлений в системах с быстрыми и медленными движениями. Найдена вероятность захвата в резонанс. Если система проходит через резонанс при достаточно малой начальной амплитуде колебаний маятника, захват происходит с вероятностью единица (так называемый авторезонанс или автофазировка, открытая В. И. Векслером в связи с созданием первого синхротронного ускорителя заряженных частиц). В общем случае, вероятность захвата принимает значения от единицы до нуля, в зависимости от начальной амплитуды. Было показано, что маятник, захваченный в резонанс при малых значениях амплитуды, выходит из резонанса в области колебаний вблизи сепаратрисы (то есть при больших амплитудах колебаний). Вычислена амплитуда колебаний маятника при выходе из резонанса.

A.I. Neishtadt, A.A. Vasiliev, A.V. Artemyev. Capture into resonance and escape from it in a forced nonlinear pendulum. *Regular & Chaotic Dynamics*, 2013, v.18, № 6, p.691-701.

Нейштадт Анатолий Исерович, д.ф.-м.н., т.8-495-333-51-45, aneishta@iki.rssi.ru
Васильев Алексей Алексеевич, д.ф.-м.н., тел.8-495-333-53-46, valex@iki.rssi.ru
Артемьев Антон Владимирович, к.ф.-м.н., тел.8-495-333-25-00, ante0226@yandex.ru

24. Исследование динамики ультрахолодных фермионов в оптических решетках.

В работе сделана попытка смоделировать явление фотопроводимости с помощью оптических решеток и ультрахолодных фермионных атомов, то есть построить так называемый квантовый симулятор. Квантовые симуляторы представляют большой экспериментальный и теоретический интерес: многие явления физики твердого тела сложно полностью понять, так как параметры системы (например, период кристаллической решетки) сложно менять экспериментально, а множество степеней свободы затрудняет детальное численное исследование. Оптическими средствами можно создать квантовую систему, параметрами которой можно легко управлять. Таким образом можно смоделировать и попытаться понять поведение более сложной системы. В частности, в данной работе кристаллическая решетка была смоделирована с помощью стоячей лазерной волны. В нижней зоне были помещены ультрахолодные фермионные атомы, что представляло собой аналог валентной зоны в полупроводнике. Аналогом фотона была модуляция амплитуды оптической решетки. В зависимости от частоты этой модуляции, волновой пакет с определенным квазиимпульсом переводился во вторую возбужденную зону. Поскольку вся система была дополнительно помещена в параболический потенциал, как обычно в таких экспериментах, возбужденный волновой пакет под действием этого потенциала начинал периодические осцилляции в оптической решетке. Квазиклассическими методами было показано, что эффективным классическим Гамильтонианом в данной системе является гамильтониан нелинейного маятника. Была подробно изучена зависимость частоты осцилляций волнового пакета от параметров системы, и найдено отличное соответствие между экспериментальными, теоретическими, и численными данными. Особенный интерес представляла динамика волнового пакета вблизи классической сепаратрисы. Возбуждение волнового пакета сопровождалось образованием аналога "дырки" в распределении частиц основной зоны. Динамика этого распределения также была изучена квазиклассически. Аналитически получена скорость распылывания дырки в зависимости от параметров системы, предсказано явление периодического "восстановления" дырки за счет особенностей классической динамики, что было подтверждено экспериментами.

J.Heinze, J.S. Krauser, N. Fläschner, B. Hundt, S. Götze, A.P. Itin, L. Mathey, K. Sengstock, and C. Becker. Intrinsic Photoconductivity of Ultracold Fermions in Optical Lattices. Phys. Rev. Lett., 2013, v.110, 085302

Итин Александр Петрович, к.ф.-м.н., т.8-495-333-53-46, alx_it@yahoo.com

25. Исследование аномального туннелирование электромагнитных волн через неоднородную плазму с мелкомасштабными структурами большой амплитуды на основе точно решаемых моделей.

Продолжено исследование безотражательного прохождения электромагнитной волны через неоднородную магнитоактивную плазму при наличии мелкомасштабных структур плотности с использованием точного аналитического решения уравнения Гельмгольца. Для точно решаемой модели просветления плазмы волновой вектор взят в виде $p(\xi) = \alpha / [A + B \cdot \sin(2 \cdot \beta \cdot \xi)]$, где α , β , $B = (A^2 - 1)^{1/2}$, $A > 1$ параметры задачи. Соответственно профиль диэлектрической проницаемости плазмы описывается функцией $\epsilon_r(\xi) = \beta^2 + (\alpha^2 - \beta^2) / [A + B \cdot \sin(2 \cdot \beta \cdot \xi)]^2$. Анализ указанной модели просветления плазмы с мелкомасштабными неоднородностями показал, что возможны варианты, когда вариации волнового вектора и амплитуды волны в неоднородном слое значительны, а модуляция эффективной

диэлектрической проницаемости магнитоактивной плазмы весьма мала при близости величин параметров α и β . Изменив параметр A получим другую ситуацию, когда в слое плазмы имеет место солитоноподобный всплеск поля волны с ростом амплитуды, например, в 12 раз. Возможно наличие на профиле $\epsilon_f(\xi)$ довольно широких областей квазиplate, где $\epsilon_f(\xi)$ почти не меняется, а также ситуации, когда появляются области непрозрачности неоднородной плазмы, в которых $\epsilon_f(\xi) < 0$. Развитый подход может представлять интерес для диагностики и нагрева плотной плазмы электромагнитными волнами.

E.S.Merkulov, N.S. Erokhin. Reflectionless propagation of electromagnetic waves in inhomogeneous magnetoactive plasma with small scale structures. Вопросы атомной науки и техники. Серия Плазменная электроника и новые методы ускорения. 2013. № 4 (86). С.130-132.

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

26. Поляризационные эффекты в градиентной наноплазмонике.

Для наноплазмоники спектры отражения S- и P- поляризованных волн от градиентных нанопокровов найдены при произвольных углах падения в рамках точно решаемых моделей таких покрытий, которые могут быть использованы как в видимом, так и в ИК диапазонах для разных частот и толщин покрытий. Показано, что отражение от рассматриваемых градиентных покрытий на порядок слабее, чем отражение от однородных покрытий при равенстве остальных параметров излучения и отражающей системы. Показано, что в градиентных плёнках формируется характерная частота Ω , определяемая градиентом материала покрытия и отсутствующая в однородных плёнках. Предложена новая точно решаемая модель, иллюстрирующая специфический эффект оптики градиентных плёнок - возможность безотражательного прохождения S- волны через такую плёнку (аналог эффекта Брюстера). Отмечены перспективы использования градиентных наноструктур с различными профилями показателя преломления для создания широкополосных безотражательных покрытий, например, в космической аппаратуре.

Н.С.Ерохин, Ю.М.Зуева, А.Б.Шварцбург. Поляризационные эффекты в градиентной наноплазмонике. Квантовая электроника. 2013, т.43, № 9, с.785-790.

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

Шварцбург Александр Борисович, д.ф.м.н., тел. 8-903-660-75-94, Alex-s-49@yandex.ru

27. Резонансное удвоение частоты электромагнитной волны в ионосфере за счет синхронизма первой и второй гармоник.

Рассмотрен нелинейный эффект резонансного удвоения частот радиоволн в неоднородной магнитоактивной плазме применительно к ионосфере в условиях фазового синхронизма волны накачки (необыкновенная мода) и её второй гармоники. Условия синхронизма не связаны с плазменными резонансами, а определяются величиной магнитного поля и электронной плотностью плазмы в области прозрачности плазмы для волн. Для поперечного распространения волн рассчитана эффективность генерации второй гармоники в широкой полосе частот, расположенной выше частот нижнего гибридного резонанса. Показана возможность применения этого эффекта для дистанционной нелинейной диагностики плазмы верхней ионосферы, где характерные размеры области синхронизма гармоник могут составить несколько километров. Для проведения эксперимента предлагается использовать комбинацию спутникового и наземного ионозондов в режиме трансionoносферного зондирования. Поскольку ионозонд излучает прямоугольные импульсы, в излучаемом сигнале всегда будет присутствовать вторая гармоника, и можно ожидать на определенных частотах выполнения условия синхронизма. Даже если излучаемая на спутнике частота ниже

критической частоты ионосферы, ее вторая гармоника может превышать критическую частоту и будет принята на земле наземным ионозондом или специально сконструированным приемником. Возможен также прием отраженного сигнала на второй гармонике на самом спутнике при одновременном использовании режимов зондирования и широкополосного ВЧ радиоспектрометра.

Н.С. Ерохин, А.Б. Шварцбург, С.А. Пулинец. Нелинейное широкополосное удвоение частоты необыкновенной волны в неоднородной магнитоактивной плазме. Физика плазмы. 2013, в печати.

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

Шварцбург Александр Борисович, д.ф.м.н., тел. 8-903-660-75-94, Alex-s-49@yandex.ru

28. Отклик ионосферы на морские землетрясения различных амплитуд.

Недавно было показано, что ионосфера способна отображать изображения разлома вскоре после землетрясения. Это приводит к идее поиска сейсмической информации из ионосферных наблюдений. В качестве первого шага на этом пути, были рассмотрены отличительные черты отклика ионосферы на землетрясения с магнитудами $M = 7.2-9.1$. Используя измерения GPS по полному электронному содержанию ионосферы, мы показываем, что: амплитуда косейсмических вариаций полного электронного содержания в ближней зоне больше после более мощных землетрясений, а сильные землетрясения с $M > 7.9$ характеризуются более длительной отрицательной фазой в сопутствующих косейсмических возмущениях.

Astafyeva E., Shalimov S., Olshanskaya E., Longnonne P., Ionospheric response to earthquakes of different magnitudes: larger quakes perturb the ionosphere stronger and longer. Geophys. Res. Lett., 2013, v. 40, p.1675–1681.

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

29. Анализ механизма образования фронтальных структур ионосферных спорадических слоев E ионосферы.

Рассмотрен механизм образования фронтальных структур в E области ионосферы, основанный на неустойчивости экмановского типа в нейтральной компоненте слабоионизированной плазмы ионосферы, когда важным оказывается учет спиральности крупномасштабного ветра и турбулентности нейтральной компоненты.

Чхетиани О.Г., Шалимов С.Л. О механизме образования фронтальных структур ионосферных спорадических слоев E. Геомагнетизм и аэрономия, 2013, т.53, № 2, с.177-187.

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

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

30. Динамика и электродинамика неоднородностей среднеширотной E области ионосферы.

Рассмотрены современные представления о формировании неоднородностей в плазме среднеширотной нижней ионосферы. Описаны экспериментальные и теоретические результаты, которые свидетельствуют о существовании анизотропных структур, развивающихся на высотах нижней ионосферы и обуславливающих появление сильных электрических полей, узких пиков радиоотражений, а также квазипериодических радиоотражений (регистрируемых посредством когерентных радаров). Проанализированы

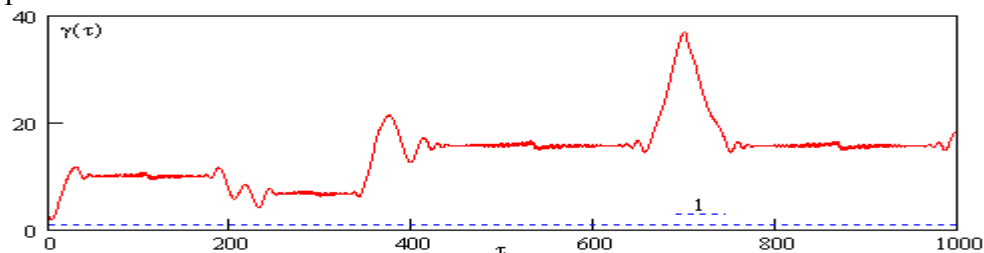
механизмы образования наблюдаемых неоднородностей и структур как в плазменной, так и в нейтральной компоненте нижней ионосферы.

Шалимов С.Л. Динамика и электродинамика неоднородностей среднеширотной E области (обзор). Геомагнетизм и аэрономия, 2013 (в печати).

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

31. Анализ условий для эффективного ультрарелятивистского серфотронного ускорения заряженных частиц в космической плазме волновыми пакетами с плавной огибающей амплитуды при слаборелятивистских начальных энергиях зарядов. Исследование структуры фазовой плоскости ускоряемых частиц.

На основе нелинейных численных расчетов рассмотрен захват слаборелятивистских заряженных частиц (кинетическая энергия порядка $m_e c^2$) в режим ультрарелятивистского серфотронного ускорения пакетом электромагнитных волн с плавной огибающей амплитуды, распространяющимся в плазме поперек 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 имеет место циклотронное вращение заряда во внешнем магнитном поле (для слаборелятивистской частицы период ее вращения невелик). Для пролетной частицы траектория на плоскости, перпендикулярной внешнему магнитному полю, существенно отличается от окружности. Затем после ряда периодов циклотронного вращения в момент выполнения условия черенковского резонанса волна-частица возникает благоприятная для захвата заряда фаза волны на траектории частицы. Происходит захват заряженной частицы волновым пакетом в режим серфинга с последующим ультрарелятивистским ускорением. Следовательно, в пространстве начальных импульсов частиц область их захвата в режим серфинга на волновом пакете является достаточно большой. Для пролетной частицы график релятивистского фактора $\gamma(\tau)$ приведен на рисунке, где $\tau = \omega t$ безразмерное время, ω частота волны. Отметим существенные колебания $\gamma(\tau)$ при циклотронном вращении, обусловленные возникновением локальных резонансов с волновым пакетом.



Согласно расчетам для захваченной пакетом частицы поперечные компоненты импульса ускоряемого электрона возрастают пропорционально времени (постоянный темп ускорения), а компоненты скорости выходят на постоянные асимптотические значения.

Rumen Shkevov, Nikolay Sergeevich Erokhin, Ludmila Anatolievna Mikhailovskaya, Nadezhda Nikolaevna Zolnikova. Numerical investigation of the surfatron acceleration efficiency of charged particles by wave packets in space plasma. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2013, v.99, № 1, p.73-77.

Румен Шкевов, Николай Ерохин, Людмила Михайловская, Надежда Зольникова. Релятивистское ускорение заряженных частиц пакетами электромагнитных волн в космической плазме. Jubilee International Congress Science, Education, Technologies «40 Years Bulgaria – Space Country», Bulgaria, Sofia, Congress Proceedings, 2013, v.1, p.193-202.

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

32. Серфотронное ускорение протонов электромагнитными волнами в гелиосфере.

Рассмотрены захват и последующее сильное серфотронное ускорение слабoreлятивистских протонов электромагнитной волной, распространяющейся в плазме на периферии гелиосферы поперек внешнего магнитного поля. Исследованы условия захвата протонов волной, динамика компонент импульса и скорости частиц, структура фазовой плоскости, траектории частиц и зависимость темпа ускорения от параметров задачи. Рассмотрены оптимальные условия реализации ультрарелятивистского серфотронного ускорения протонов электромагнитной волной. Обоснована возможность возникновения серфотронного механизма отличий в спектрах ускоренных протонов, полученных при обработке экспериментальных данных по регистрации космических лучей (КЛ), от стандартных степенных зависимостей. Показано, что в гелиосфере (в области между ударной волной солнечного ветра и гелиопаузой, на расстоянии ~ 100 а. е. от Солнца) возможно доускорение протонов, имевших начальную энергию порядка нескольких ГэВ, до энергий порядка тысяч ГэВ. Для объяснения спектров протонов в диапазоне энергий $\sim 20\text{--}500$ ГэВ предложена феноменологическая двухкомпонентная модель. Возможность серфотронного ускорения протонов в гелиосфере позволяет понять причину переменности их спектров, измеренных в диапазоне энергий от десятков до сотен ГэВ в период 1992–2008 гг., а также зависимость переменности этих спектров от гелиосферной погоды.

Лозников В.М., Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Михайловская Л.А. Серфотронное ускорение протонов электромагнитной волной на периферии гелиосферы, *Физика плазмы*, 2013, т.39, № 10, с.927-934.

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.

33. Анализ переменности потоков протонов космических лучей в диапазоне энергий $7\div 1000$ ГэВ.

В соответствии с нашей двухкомпонентной моделью, кроме постоянного Галактического фона, на периферии Гелиосферы, между граничной ударной волной солнечного ветра (TS) и гелиопаузой (HP) на расстоянии $\sim 100\text{--}200$ AU от Солнца, существует переменный источник Космических Лучей (КЛ). Переменность и разнообразные особенности в спектре КЛ в энергетическом диапазоне $\sim (7 \text{ ГэВ} - 1 \text{ ТэВ})$ являются следствием работы “серфотронного ускорителя” заряженных частиц (ЗЧ) на периферии Гелиосферы. Серфотронное ускорение возможно при захвате плазменными волнами низкоэнергичных ЗЧ в области с упорядоченным по направлению и почти постоянным по величине магнитным полем. Размеры области ускорения определяют максимальную энергию ускоряемых частиц. Параметры переменных потоков КЛ (амплитуда, индекс наклона, энергия обрезания) зависят от “гелиосферной погоды”.

За отчетный период проведена аппроксимация спектров протонов (p) КЛ двухкомпонентной моделью, описывающей как Галактический фон, так и Гелиосферную компоненту КЛ в диапазоне энергий $\sim (10\text{--}500)$ ГэВ. Численное моделирование релятивистского ускорения низко энергичных протонов в космической плазме при их серфинге на электромагнитных волнах в рамках серфотронного механизма ускорения дает дополнительный к галактическому фону поток протонов в указанном диапазоне энергий частиц.

Erokhin N.S., Loznikov V.M., Mikhailovskaya L.A. Surfatron ultrarelativistic acceleration of protons by electromagnetic waves in space plasmas. *Вопросы атомной науки и техники. Серия Плазменная электроника и новые методы ускорения*, 2013, № 4 (86), с.121-124.

Лозников В.М., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. О причине переменности спектра протонов космических лучей в диапазоне энергий ~ 20 -500 Гэв. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013. Аннотации докладов. Типография НИЯУ МИФИ, Москва. 2013. Т.2. С.110.

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

34. Возможность появления спиральных эффектов в релятивистской кварк-глюонной плазме на ранних стадиях развития Вселенной.

С целью анализа возможности появления спиральных эффектов в релятивистской кварк-глюонной плазме на ранних стадиях развития Вселенной была рассмотрена модельная ситуация образования кварк-глюонной плазмы при столкновении двух коллинеарных пучков тяжелых ионов. В силу асимптотической свободы кварков при больших импульсах данная ситуация может быть описана в гидродинамическом приближении, с помощью уравнений сжимаемой баротропной жидкости. В такой постановке было получено одномерное спиральное решение $(\sin(e^{-aE} z), \sin(e^{-aE} z), 0)$, волновой вектор которого экспоненциально убывает с ростом кинетической энергии потока.

Для расчета взаимодействия кварков в ИК режиме при образовании кварк-глюонной плазмы техника непрерывного вейвлет-преобразования была использована для вычислений диаграмм Фейнмана в квантовой хромодинамике. Использование непрерывного вейвлет-преобразования позволяет получать конечные результаты для функций Грина зависящих от масштаба, т.е. описывающих рассеяние волновых пакетов конечных размеров. При субсветовых скоростях кварков рассматривалась возможность применения переменных светового конуса для построения непрерывного вейвлет-преобразования в пространстве Минковского.

Рассматривалась также возможность квантования недиспергирующих локализованных волновых пакетов с использованием переменных светового конуса.

M.V.Altaisky and N.E.Kaputkina. Continuous wavelet transform in quantum field theory. Phys. Rev. D., 2013, v.88 (025015)

M.V.Altaisky and N.E.Kaputkina. On quantization of nondispersive wave packets. J.Math.Phys., 2013, v.54 (102101)

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

35. Субкритические зеркальные структуры в анизотропной плазме.

Проведен детальный анализ уравнений Грэда-Шафранова, описывающих с выполнением статического баланса сил зеркальные структуры при учете анизотропии давления. Уравнения состояния получаются из дрейфовых кинетических соотношений в предположении бимаксвелловских начальных условий. Показано, что в двумерной геометрии задача удовлетворяет вариационной формулировке со свободной энергией, определяемой пространственным интегралом. Слегка ниже порога зеркальной неустойчивости получены решения малой амплитуды типа горбов Кадомцева-Петвиашвили и показано, что они неустойчивы. Однако для устойчивых субкритических структур дрейфовое кинетическое приближение нарушается и найденные градиентным методом глубокие магнитные дыры оказываются сильно чувствительными к процессу регуляризации, который более реалистично может быть описан с помощью коррекций, обусловленных конечным ларморовским радиусом, и или захватом частиц.

E.A. Kuznetsov, T. Passot, V.P. Ruban and P.L. Sulem, Subcritical mirror structures in an anisotropic plasma, JETP Letters, 7 pages (2013), принято к печати.

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

36. Анализ энергетических спектров электронов и гамма-частиц в грозовых разрядах.

В продолжение работ по теории спектров излучения атмосферных гамма-всплесков показано, что эти спектры на частотах ν , соответствующих энергии $E \gg 10$ МэВ ($J(\nu) \sim 1/\nu^\beta$, где $\beta = 2,6 \div 4,1$) и энергетические распределения излучающих пучков ультрарелятивистских электронов с энергиями $E > \nu$ ($F(\xi) \sim 1/\xi^\beta$) имеют одинаковый вид. Это Парето-распределения с соответствующими значениями параметра β , наблюдаемый диапазон значений которых соответствует $\beta = 2,6 \div 4,1$ обусловлен зависимостью $\beta = \beta(d)$ от коэффициента вариации (дисперсии) энергии пучка. Поэтому, внешнее воздействие, ускоряя со скоростью w (замедляя при $w < 0$) пучок, приводит на кинетической стадии к увеличению (снижению) энергии пучка D ($\sim w / \gamma d$, γ - константа релаксации системы). При этом, эволюционно (на гидродинамических временах $t > 1/|w| \gg 1/\gamma$) снижая (увеличивая) дисперсию d , не только гиперболически увеличивает (снижает) энергию пучка D , но и меняет показатель $\beta(d)$ в гамма-спектрах – в соответствии с $\partial \beta(d) / \partial d < 0$. Вряд ли можно напрямую утверждать, что такой рост энергии D при $d \rightarrow 0$ носит здесь «взрывной» характер: первое приближение, как правило, указывает лишь на тенденцию. Тем не менее, все это важно учесть в будущих проектах «ЧИБИС-М» при планировании измерений гамма-спектров при $\nu > 10$ МэВ.

Туганов В.Ф. Энергетические спектры электронов и гамма-частиц в грозовых разрядах. Международное совещание “Первые результаты проекта «ЧИБИС-М»”. Представительство «Интеркосмос» ИКИ РАН 13-15 февраля 2013 г., Таруса, Россия. Сборник тезисов докладов, с. 48-49.

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

37. Иницирование разряда в токамаке.

Используя уравнение баланса для концентрации заряженных частиц и их плотности энергии (уравнения Ллойда), находятся необходимые условия для существования порогового напряжения. Выявлена зависимость пороговых параметров плазмы от исходной концентрации нейтральных атомов времени жизни плазмы и параметра $\Pi = V_p / V_v$, где V_p - объем плазменного шнура, V_v - объем между облаками, где электрическое поле $E \neq 0$ (в токамаке V_v - объем камеры). Показано, что с увеличением параметра Π пороговое поле E_p снижается. И это важно, учитывая, что электрическое поле в грозовых облаках никогда не достигает величин, необходимых для обычного разряда в атмосфере. Поставлен и исследован вопрос о влиянии на пороговые значения, равно как и на саму возможность иницирования разряда, такого параметра как эластичность $(I/a)(da/dI)$ радиуса плазменного шнура $a = a(I)$ по току I .

Туганов В.Ф. Проблема иницирования разряда в токамаке, или почему грозы – редкое явление. Международное совещание “Первые результаты проекта «ЧИБИС-М»”. Представительство «Интеркосмос» ИКИ РАН 13-15 февраля 2013 г., Таруса, Россия. Сборник тезисов докладов, с. 46-47.

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

38. Замыкание системы уравнений магнитогидродинамической турбулентности методом теории быстрых искажений.

Получена система уравнений на флуктуации магнитного поля и поля скорости. Рассмотрены два частных случая: случай однородного сдвигового потока и отсутствия магнитного поля, а также случай отсутствия среднего течения при наличии постоянного магнитного поля. Для данных частных случаев решена получающаяся система уравнений на флуктуации и получены энергетические спектры поля скорости и магнитного поля. Разработаны численные алгоритмы для решения уравнений вторых моментов метода быстрых искажений для неоднородного сдвигового течения и для неоднородного магнитного поля. Изучена динамика спектров МГД-турбулентности как функции времени и в зависимости от различных параметров: величины внешнего магнитного поля и параметра сдвига. Обнаружено, что для течения Куэтта в приближении нулевой вязкости (бесконечные числа Рейнольдса) и при отсутствии внешнего магнитного поля кинетическая и магнитная энергии турбулентного течения возрастают для всех волновых чисел, начиная с некоторого момента времени вплоть до времени, определяемым пределом применимости метода быстрых искажений. Показано что, наличие внешнего магнитного поля, перпендикулярного плоскости сдвига вызывает лишь незначительное возрастание магнитной и кинетической энергий для малых значений волновых чисел. Следует отметить, что ранее не было известно ни одного спектра МГД-турбулентности для энергии каждого поля в отдельности.

А.А. Чернышов, К.В. Карельский, А.С. Петросян, Подсеточное моделирование для исследования сжимаемой магнитогидродинамической турбулентности космической плазмы, УФН, 2013, принято к публикации

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

Чернышов Александр Александрович, к.ф.-м.н., н.с.

39. Численный метод высокого порядка точности для трехмерных уравнений магнитной гидродинамики сжимаемой жидкости для сложных течений при наличии разрывов.

Предложен оригинальный метод повышения точности для МГД расчетов спектральными методами типа Риман-солверс, применимый как для регулярных, так и для адаптивных сеток. Традиционно для повышения точности упомянутых методов используется конкретный тип реконструкции переменных на гранях расчетных ячеек в зависимости от того, точность какого типа решения (разрывного или непрерывного) необходимо улучшать. Основная идея предлагаемого нами метода состоит в последовательном использовании различных типов реконструкции в соответствующих местах расчетной области. Предложена оригинальная процедура выявления размываемых особенностей течений на основе анализа пространственной конфигурации дискретного распределения преобладающих типов линейных волн на границах ячеек. Используя предложенную процедуру и точно выявляя на уровне расчетной схемы разрывы, которые на схемах высокого порядка в дальнейшем могут размываться, меняется тип применяемой схемы непосредственно на разрыве. В результате удается избежать как размывости разрывов, так и искажений на гладких решениях, вызванных нефизичными возмущениями от размывших разрывов.

Представлены два оригинальных метода заострения разрывов в МГД течениях (с использованием реконструкции потоковых и консервативных переменных), реализованные для коррекции размывших альфвеновских особенностей. Предложен простой критерий выявления размывших и требующих коррекции решений, работающий за счет отслеживания особенностей дискретного пространственного распределения типов преобладающих волн на гранях расчетных ячеек с прямыми признаками МГД разрывов.

Известно, что в области гладких решений кусочно-параболическая реконструкция или реконструкция более высокого порядка успешно повышает точность решений. Показано, что

при адекватном использовании упомянутого выше метода, на разрывных (размытых схемной вязкостью) особенностях течений, возможно корректное заострение профилей разрывов, соответствующее второму порядку точности решений в области разрывов. При этом используется устойчивый универсальный метод сквозного счета на фиксированной сетке. Так же показано, что существует предел расчетной конечнообъемной схемы на основе решения задачи Римана для максимально заостренных разрывов. Разработан метод сквозного счета с получением решения второго порядка точности на регулярной сетке, с откорректированными разрывными решениями, локализация которых повышена до максимально возможного для схемы Годуновского типа на регулярной неподвижной сетке. При этом метод не теряет общей устойчивости. Проведены одномерные и трехмерные тестовые расчеты, подтверждающие точность и применимость метода.

K. Karelsky and A. Petrosyan, High order of accuracy for Riemann solvers methods in presence of discontinuously solutions. Adaptive-separate reconstruction of MHD variables, In preparation

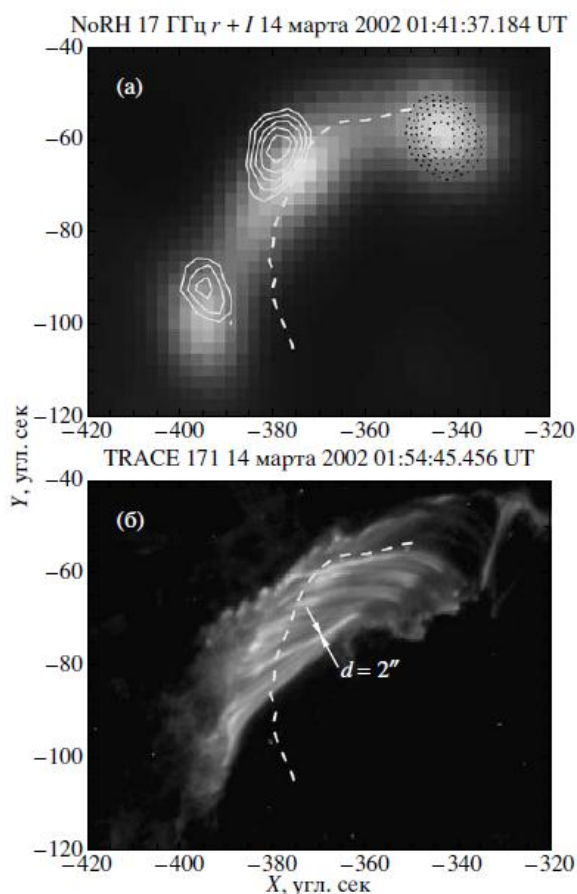
Петросян Аракел Саркисович, д.ф.-м.н. зав. сектора, тел. (495) 333-5478,
e-mail: apetrosy@iki.rssi.ru

Раздел 2.2 Экспериментальные исследования. Руководитель чл.-корр. А.А. Петрукович

1. Тонкая структура источников квазипериодических пульсаций

Квазипериодические пульсации микроволнового излучения являются не следствием колебаний уединенной толстой петли, а результатом последовательного вовлечения множества тонких петель в процесс вспышечного энерговыделения

Анализ наблюдательных данных, полученных с высоким угловым разрешением в диапазонах вакуумного ультрафиолетового (1", TRACE) и жесткого рентгеновского (4", RHESSI) излучения в некоторых вспышках, ранее считавшихся "однопетлевыми", показывает, что они таковыми не являются. Толстые одиночные петли диаметром 13"–21", наблюдаемые в микроволновом диапазоне с угловым разрешением 5"–10" (NoRH), в действительности представляют собой аркады более тонких петель диаметром менее 3". В этом случае наблюдавшиеся квазипериодические пульсации микроволнового излучения являются не следствием колебаний уединенной толстой петли, как обычно предполагается, а результатом последовательного вовлечения множества относительно более тонких петель в процесс вспышечного энерговыделения. Установленные факты накладывают существенные ограничения на модели генерации пульсаций во вспышках.



Сравнение изображения вспышечной "петли" в микроволновом и вакуумном ультрафиолетовом диапазонах.

И. В. Зимовец, С. А. Кузнецов, А. Б. Струминский Тонкая структура источников квазипериодических пульсаций "однопетлевых" солнечных вспышек, письма в астрономический журнал, 2013, том 39, №4, с. 297–309

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

2. Статистика вспышек с жестким рентгеновским излучением

Вспышки с одинаковыми потоками теплового мягкого рентгеновского излучения могут характеризоваться принципиально различными спектрами нетеплового жесткого рентгеновского излучения, так как процесс хромосферного испарения определяется низкоэнергичной частью спектра электронов, величиной низкоэнергичной энергии обрезания и тонкой структурой области энерговыделения (фактором заполнения).

Из каталога RHESSI были отобраны события, которые характеризуются примерно одинаковым классом GOES (высокий C и низкий M), но различаются интенсивностью жесткого рентгеновского излучения (HXR) и его максимальными наблюдаемыми энергиями. Отобранные события были разбиты на две группы: 1) вспышки, в которых HXR излучение наблюдалось RHESSI только в диапазоне энергий ниже 50 кэВ и 2) выше 50 кэВ. Основная цель – определить характерные физические особенности этих двух групп вспышек. Для анализа используются данные RHESSI по рентгеновскому излучению для получения информации о спектре излучения и геометрических характеристиках источников в этих двух группах вспышек. Тепловые и пространственные характеристики вспышек в этих группах различаются слабо, но распределение вычисленных показателей HXR спектра различаются сильно. События второй группы обладают более жестким спектром. Хромосферное испарение, по всей видимости, в основном определяется низкоэнергичной частью спектра электронов, величиной низкоэнергичной энергии обрезания и тонкой структурой области энерговыделения (фактором заполнения). Это дает возможное физическое объяснение, почему вспышки с одинаковыми потоками теплового мягкого рентгеновского излучения характеризуются принципиально различными спектрами нетеплового жесткого рентгеновского излучения.

Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В. Исследование вспышек с различным спектром ускоренных электронов и одинаковым откликом в мягком рентгеновском излучении. Сборник Тезисов ВАК-2013, Присоединенный симпозиум Солнечная и солнечно-земная физика, принято к публикации.

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
Шарыкин И.Н.

3. Метод функции Грина для расчета потенциального магнитного поля в активных областях Солнца

Получена функция Грина уравнения Лапласа внешней шаровой области для нахождения градиента скалярного потенциала магнитного поля с граничным условием – производной потенциала по заданному направлению, и разработан набор программ, использующих данное решение для расчета силовых линий потенциального магнитного поля в активных областях Солнца по известным граничным данным – компоненте поля по лучу зрения на уровне фотосферы.

Садьков В.М., Зимовец И.В. Расчет потенциального магнитного поля в активных областях Солнца // X Конференция молодых ученых “Фундаментальные и прикладные космические исследования”, Москва, 3-5 апреля 2013 (устный доклад)

Sadykov V.M., Zimovets I.V. Computation of potential magnetic fields in solar active regions // 7th International Workshop on Solar Polarization, Kunming, China, 9-14 September 2013 (постер)

Садыков В.М., Зимовец И.В. Расчет потенциального магнитного поля в активных областях Солнца // Всероссийская астрономическая конференция “Многоликая Вселенная” (ВАК-2013), Санкт-Петербург, Россия, 23-27 сентября 2013 (устный доклад)

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

4. Затухание МГД волн в солнечной короне с учетом излучения

Исследовано влияние радиационных потерь на дисперсию и затухание магнитогидродинамических волн в солнечной короне. Определены условия, при которых потери на излучение наиболее существенны. Сделан вывод о том, что в интервале $10^6 - 10^{6.3}$ К преобладает радиационное затухание, с которым может быть связано наблюдаемое быстрое затухание изгибных колебаний корональных петель. Отмечается необходимость учёта радиационных потерь в полных уравнениях магнитной гидродинамики с переносом излучения.

Б. Б. Михалеев, И. С. Веселовский, О. В. Хонгорова. Влияние излучения на поведение МГД-волн в солнечной короне. *Астрономический вестник*, том 47, № 1, 2013, С. 53-60

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

5. Исследование корреляционных связей для параметров, определяющих вспышечную и геомагнитную активность

При анализе статистических свойств геофизических параметров, характеризующих вспышечную и геомагнитную активность (по данным 21, 22 и 23 солнечных циклов), были выделены следующие корреляционные зависимости:

коэффициент корреляции между индексом вспышки Q и F10.7 равен 0.85, а между Rz и F10.7 почти максимальный, 0.97; дневной фон в мягком рентгеновском излучении (в диапазоне 1-8 Å) сильно коррелирует с F10.7 (коэффициент корреляции >0.8) при потоках $<10^{-6}$ W/m² (уровни А и В) и очень слабо коррелирует при больших величинах дневного рентгеновского фона (уровни С и М); корреляция между годовым числом солнечных пятен и количеством SSC за год >0.85, коэффициент корреляции между индексом вспышки и количеством SSC за год ~ 0.85; для среднемесячных величин параметров корреляция между Q и количеством SSC и между Rz и количеством SSC слабая, коэффициенты корреляции < 0,7.

Н. Смирнова, Е. Морозова. Исследование статистических зависимостей гелиофизических параметров по данным 21, 22 и 23 солнечных циклов //Москва, ИКИ РАН, 8-ая конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 4-8 февраля 2013 г.

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

Морозова Е.И., к.ф.-м.н.

6. Исследования аномалий горячего потока

Исследования конвекции плазмы в аномалиях горячего потока подтвердили ранее полученный вывод на три области. Анализ пяти HFAs, которые наблюдались достаточное время, чтобы анализировать их структуру, позволил разделить их на два класса по типу конвекции потока. Эти два типа также разделяются по направлению движения относительно подсолнечной точки околоземной ударной волны: аномалии I типа движутся от подсолнечной точки, в то время как аномалии II типа движутся в сторону подсолнечной точки.

Была проведена оценка количества отражённых ионов при формировании аномалии. Для оценки использовался закон сохранения импульса в одномерном случае. По количеству отражённых ионов аномалии I типа отличаются от аномалий II типа. Так, оценка количества отражённых ионов в аномалии I типа составляет ~ 25%, близкое к известному верхнему пределу для квази-перпендикулярной ударной волны. В то же время аналогичная полученная нами оценка количества отражённых ионов аномалии II типа составляет ~ 60%, что намного превышает возможную величину для стационарного случая. Исходя из этого, а также из типов конвекции плазмы, мы пришли к выводу, что в аномалиях I типа процесс отражения и конвекция являются квази-стационарными, в то время как аномалии II типа находятся в нестационарном режиме.

Были проанализированы распределения ионов по продольным скоростям, как в теле этих аномалий, так и в переходной области за фронтом ударных волн перед этими аномалиями. Для каждой аномалии были выделены сходные типы распределений, и по форме распределений были выделены характерные области. Результаты структурного деления аномалии по продольным скоростям также показывают, что каждая из выделенных областей имеет свой тип распределения ионов по продольным скоростям.

А.Ю. Шестаков, О.Л. Вайсберг. «Структурное деление аномалии горячего потока по функциям распределения ионов» Доклад на десятая конференция молодых учёных.

А.Ю.Шестаков и О.Л.Вайсберг, Структура аномалий горячего потока: два типа конвекции и их возможное объяснение, статья подготовлена к публикации

Шестаков Артем Юрьевич, тел. , +7(495) 333-41-88, sartiom1@yandex.ru

Вайсберг Олег Леонидович, д.ф.-м.н., тел +7(495) 333-34-56, olegv@iki.rssi.ru

7. Анализ работы в полете плазменного эксперимента ROMAP проекта ROSETTA

Проведено сравнение электронных спектров эксперимента ROMAP проекта ROSETTA, полученных при трех разных уровнях напряжений для питания каналотронов (КЭУ) в потоке солнечного ветра в ноябре и декабре 2008 г, во время пролета аппарата вблизи астероида Стайн в сентябре 2008 г., а также в конце 2012 г. при значительных удалениях КА от Солнца (~ 3 а.е.). Сопоставление этих результатов с предыдущей серией измерений в 2004-2005 гг. показало, что интенсивность потоков электронов снизилось практически на порядок величины, что связано с большим удалением аппарата от Солнца.

Обращает на себя внимание тот факт, что количество зарегистрированных частиц не зависит от напряжения питания каналотронов. Это говорит о том, что несмотря на относительно долгую работу каналотронов после старта аппарата в 2004 г., они эффективно работают и при первом уровне ступени питающего напряжения ВЭУ. Это позволяет надеяться на их успешную работу и после посадки спускаемого аппарата на поверхность кометы.

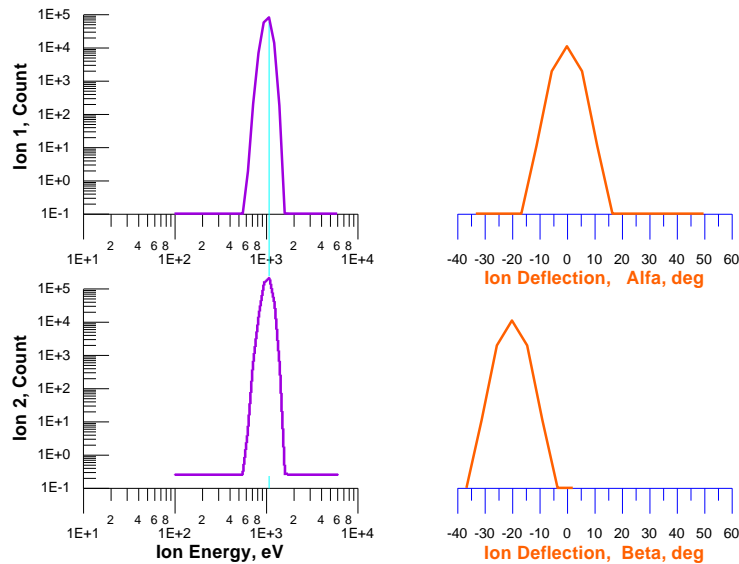


Рис. Энергетические и угловые спектры ионов солнечного ветра в данных прибора РОМАП, ожидаемые на поверхности кометы Чурюмова-Герасименко.

Продолжалась также работа по анализу данных для определения ориентации аппарата после его посадки на поверхность кометы. На рис. 8 показаны результаты моделирования ожидаемых энергетических и угловых спектров ионных потоков прибора РОМАП, ожидаемых на поверхности кометы Чурюмова-Герасименко.

Martin Hilchenbach, Anatoli Remizov, and Hans-Ulrich Auster, Envisaged in-situ plasma observations on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU General Assembly 2013.

Anatoli Remizov, Martin Hilchenbach, and Hans-Ulrich Auster, ROMAP onboard Philae, Philae Workshop, MPS, Lindau, Germany, May 2013.

А.П.Ремизов, с.н.с., aremizov@iki.rssi.ru

8. Экспериментальные исследования и теоретическая интерпретация физических процессов вблизи околопланетных плазменных границ.

В последнее время была экспериментально обнаружена зависимость положения околоземной магнитопаузы от направления межпланетного магнитного поля. Для количественного описания этого эффекта нами были проанализированы результаты 3D МГД моделирования обтекания магнитопаузы солнечным ветром (Stahara, 2002). Показано, что полное давление набегающего потока плазмы в точке его остановки Π может быть описано следующим аналитическим выражением:

$$\Pi = k\rho V^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \left(\frac{M_s^2}{M_a^2} \sin^2 \mathcal{G}_{bv} \right)^{2/3} \right), \text{ где } k = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \left(\gamma - \frac{\gamma-1}{2M_s^2} \right)^{1/(1-\gamma)},$$

\mathcal{G}_{bv} - угол между вектором солнечного ветра и направлением межпланетного магнитного поля, а M_s и M_a – звуковое и Альвеновское числа Маха, соответственно. На Рис. точками показаны перенормированные на динамическое давление солнечного ветра ρV^2 результаты 3D моделирования, взятые из работы Stahara (2002), а сплошной линией – их соответствие вышеприведенному выражению.

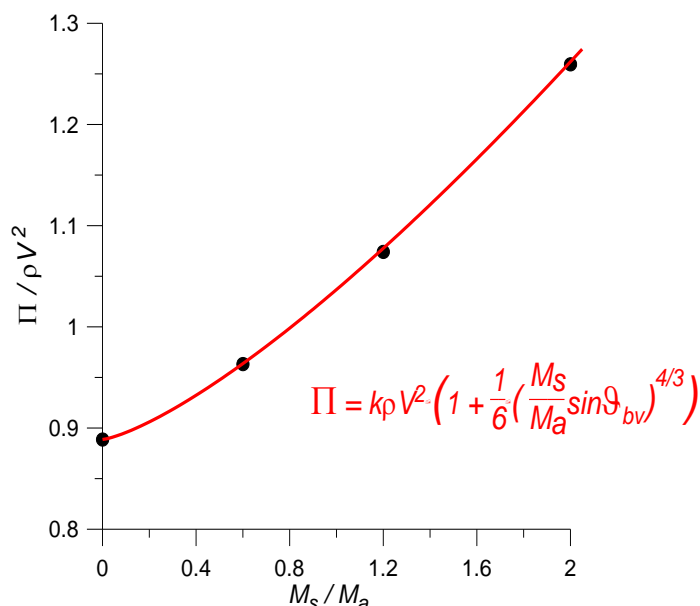


Рис. Сравнение перенормированных на динамическое давление солнечного ветра результатов 3D моделирования Stahara (2002) с полученным нами аналитическим выражением.

Показано, что использование новой аппроксимации для полного давления солнечного ветра у магнитопаузы Π улучшает согласие модели этой границы с ее наблюдениями на спутниках Прогноз, Прогноз 2-6, 9, Интербол.

М.И. Веригин, Г.А. Котова, М. Татральяи, Г. Эрдеши, О влиянии межпланетного магнитного поля на баланс давлений у геомагнитопаузы: Анализ результатов наблюдений. Конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 4-8 февраля 2013, Абстракты, стр.93.

M. Verigin, G. Kotova, M. Tátrallyay, G. Erdős, V. Bezrukikh, and A. Remizov, An analysis of solar wind plasma magnetic field influence on the pressure balance at the magnetopause boundary, 12th Scientific Assembly of IAGA, Merida, Yucatan, Mexico, August 26-31, 2013, Abstract volume, 3-4-9, p.214.

Веригин М.И. , в.н.с., verigin@iki.rssi.ru

9. Анализ связи функции распределения электронов у поверхности Луны с характеристиками лунного реголита при различных условиях в солнечном ветре.

Проведены расчеты концентрации, температуры и функции распределения фотоэлектронов у поверхности Луны. Показана недостаточная обоснованность имеющихся представлений о квантовом выходе лунного реголита. В этой связи, существенный интерес представляет использование возможности измерения квантового выхода и работы выхода лунного реголита непосредственно на поверхности Луны в рамках будущей миссии «Луна-Ресурс». В качестве варианта решения указанной проблемы предлагается проведение экспериментов по измерению квантового выхода реголита непосредственно на поверхности Луны. В работе приведена схема соответствующих экспериментов, которые могут быть осуществлены в рамках будущей миссии «Луна-Ресурс».

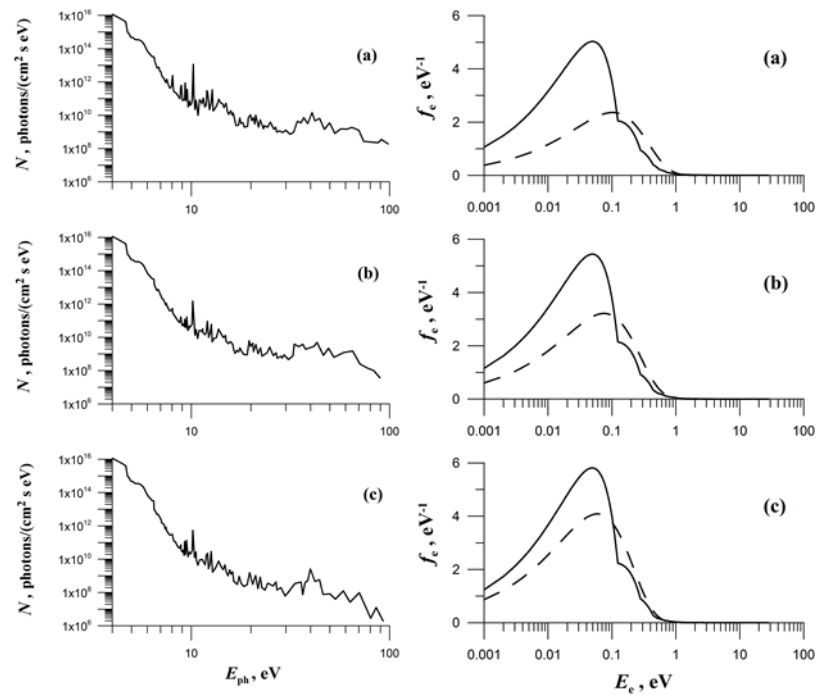


Рис. Потоки солнечного излучения N в зависимости от энергии фотонов E_{ph} (левая панель) и функции распределения фотоэлектронов f_e по энергиям E_e (правая панель, сплошные кривые) у освещенной части поверхности Луны, соответствующие солнечной вспышке класса X28 (a), солнечному максимуму (b) и солнечному минимуму (c). Пунктиром показаны максвелловские распределения, вычисленные для соответствующих значений средней энергии фотоэлектронов.

С.И. Попель, А.П. Голубь, Ю.Н. Извекова, В.В. Афонин, Г.Г. Дольников, А.В. Захаров, Л.М. Зеленый, О.Ф. Петров, В.Е. Фортов, Фотоэлектроны над освещенной частью Луны, представлена в Письма в ЖЭТФ, 2013.

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

10. Взаимодействия солнечного ветра с областью аномальной намагниченности на поверхности Луны.

Рассмотрены процессы взаимодействия солнечного ветра с областью аномальной намагниченности на поверхности Луны, а именно наблюдаемое отражение протонов. На примере одного из событий, показано, что в случае достаточно сильного магнитного поля аномалии и, практически, незамагниченного солнечного ветра большая интенсивность потока отраженных протонов может быть объяснена отражением ионов магнитным полем аномалии.

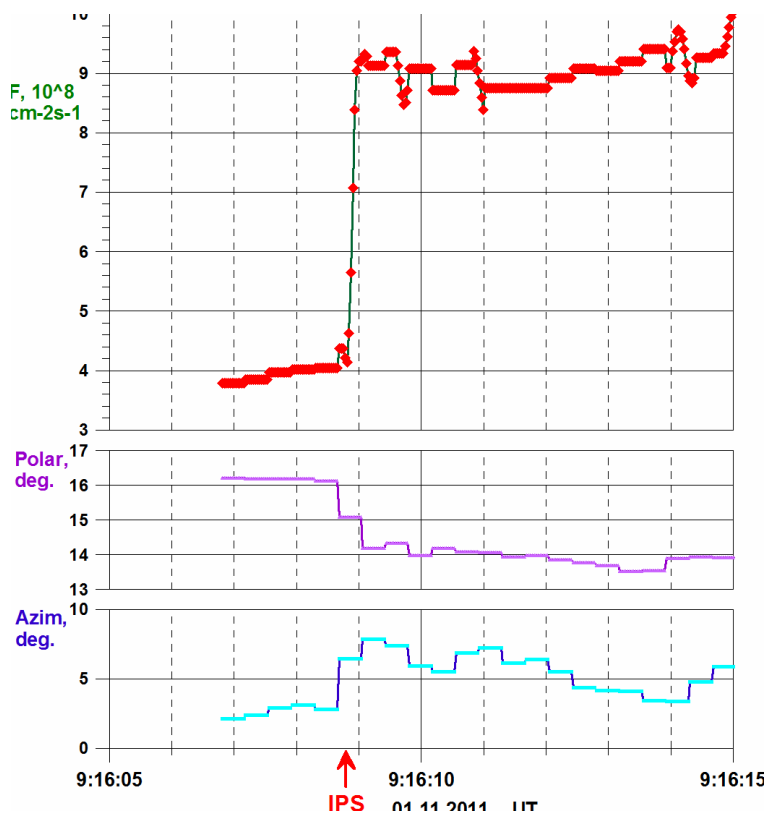
Sadovski A., A.Skalsky, Coupling of Earth's magnetosphere, solar wind and lunar plasma environment, *Advances in Space Research*, in press (online 29 July 2013), 2013.

Скальский, А.А., к.ф.-м.н., с.н.с. отдела №54, (495) 333-40 24, skalsky@iki.rssi.ru

11. Определение толщины фронтов межпланетных и околоземной ударных волн.

С помощью работающего на спутнике "Спектр-Р", прибора БМСВ, обладающего рекордно высоким временным разрешением, были впервые измерены в солнечном ветре длительности прохождения фронтов межпланетных ударных волн (МУВ), составляющие, как оказалось,

десятые доли секунды. Толщины плазменных фронтов составляют 60-450 км, в среднем, около 200 км. По порядку величины это несколько (3-4) гирорадиусов протонов по их тепловым скоростям на фронте. Длительности фронтов околоземной ударной волны в соответствии с меньшими скоростями ее движения составляют от одной до нескольких секунд. В ряде событий за фронтом как межпланетных, так и околоземной УВ наблюдались осцилляторные (квазигармонические) вариации всех параметров солнечного ветра с периодом около 0.2-0.5 сек.



Nemecek, Z., J. Safrankova, O. Goncharov, L. Prech and G. N. Zastenker, Ion scales of quasi-perpendicular low-Mach-number interplanetary shocks, *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/grl.50814, 2013.

Застенкер Г.Н., Рязанцева М.О., Колоскова И.В., Храпченков В.В., Далин П.А.

12. Изучение быстрых вариаций относительного содержания ионов гелия в солнечном ветре.

Было продолжено изучение быстрых вариаций содержания дважды ионизованных ионов гелия в солнечном ветре. В отличие от большого числа прежних работ нами было показано на множестве примеров, что содержание гелия в солнечном ветре может меняться в широких пределах (от долей процента и до 10-15 процентов) за весьма малые времена – десятки секунд и даже единицы секунд. При этом нами было установлено, что плотности протонов и ионов гелия на малых временных масштабах не связаны функциональной зависимостью и их соотношение (и даже знак кросс-корреляции) существенно изменяются от случая к случаю. Полученные данные позволяют выдвинуть гипотезу о мелкой «зернистости» солнечной короны в отношении содержания ионов гелия в области формирования солнечного ветра. Причем оценка размеров этих «зерен» в короне может быть порядка всего лишь тысячи км.

Г.Н. Застенкер, И.В. Колоскова, М.О. Рязанцева, А.С. Юрасов, Я. Шафранкова, З.Немечек, Л. Прех, «Космические исследования», т.52, №1, 2014 г.

Г.Н. Застенкер, И.В. Колоскова, М.О. Рязанцева

13. Магнитная турбулентность в области каспа

Проведены исследования статистических характеристик спектров магнитной турбулентности в области высотного каспа земной магнитосферы с использованием измерений на околоземной орбите четырех аппаратов Кластера. Разработана методика нахождения энергетического вклада величины завихренности в турбулентность магнитного поля. Найден новый подход к задаче, позволяющий оценивать спектральные характеристики завихренности.

Романов, С. А. Магнитная турбулентность в области каспа: трехмерные спектры и вихревые каскады. Геомагнетизм и аэрономия, 2013, том 53, №6, с.779-787.

Романов С.А., к.ф.-м.н., с.н.с. отдела №54, (495) 333-11 00, sroman@mx.iki.rssi.ru

14. Исследование нелинейных каскадов и резонансов во внешней магнитосфере.

Проведено исследование нелинейных взаимодействий контролирующего взаимодействие потока солнечной плазмы с магнитосферой.

Впервые продемонстрировано на данных динамического давления с 4 спутников (CLUSTER, DOUBLE STAR, GEOTAIL, ACE), что за счет доминирующей кинетической энергии солнечного ветра:

(1) возбуждаются пограничные (поверхностные) резонансы и их гармоники, которые модулируют появление сверхзвуковых плазменных струй (СПС) в местах искажения формы ударной волны резонансными волнами;

(2) возбуждаются дискретные 3х- волновые каскады, которые размываются и сливаются на высоких частотах в бесструктурный турбулентный каскад с наклоном спектра «-1» (что соответствует Фликкер – шуму);

(3) статистически возбуждаемые плазменными струями каскады вызывают аномальный перенос как солнечной плазмы внутрь периферийной магнитосферы (по предварительным оценкам, в несколько раз больший переноса за счет пересоединения магнитных полей, поскольку СПС, имея превосходящее давление непосредственно пронизывают магнитопаузу), так и – что показывается впервые – синхронный отток энергичного кислорода из магнитосферы в солнечный ветер (потоки кислорода в форшоке коррелируют с проходом СПС сквозь периферийную магнитопаузу примерно в 30 радиусах Земли вниз по потоку!).

Показана как прямая модуляция на низких (< 0.15 мГц) частотах пограничных процессов солнечным ветром, так и накачка на более высоких частотах резонансных колебаний (до порядка величины по мощности) в пока еще мало понятные резонансы форшока, ударной волны и магнитослоя (на 0.2 – 10 мГц). Форшок параллельной ударной волны создает собственные возмущения и резонансы, что подтверждается и современным численным моделированием, однако корреляция динамического давления в форшоке (CLUSTER) и в магнитослое (DOUBLE STAR) не превышает 22%.

Savin, S., E. Amata, V. Budaev, L. Zelenyi, E.A. Kronberg, J. Buechner, J. Safrankova, Z. Nemecek, J. Blecki, L. Kozak, S. Klimov, A. Skalsky, L. Lezhen, On nonlinear cascades and resonances in the outer magnetosphere, *JETP Letters.*, (2013, in press)].

Савин, С.П., д.ф.-м.н., в.н.с. отдела №54, (495) 333-40 24, ssavin@iki.rssi.ru

15. Механизм усиления сдвиговой компоненты магнитного поля в тонких токовых слоях

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

Установлено, что при наличии небольшой сдвиговой компоненты магнитного поля возникает асимметрия север-юг в отражении/преломлении траекторий неадиабатических ионов при взаимодействии со слоем. При наличии замкнутой магнитной конфигурации (типа плазмоида) электрический ток, создаваемый такими ионами замыкается, формируя токовую петлю, внутри которой сдвиговая компонента магнитного поля усиливается (рис.). Данный механизм подтверждается многоспутниковыми наблюдениями CLUSTER динамики ионов и структуры токового слоя в хвосте магнитосферы Земли вблизи области магнитного пересоединения, а также численным моделированием траекторий неадиабатических ионов в токовом слое с реально наблюдаемой магнитной конфигурацией.

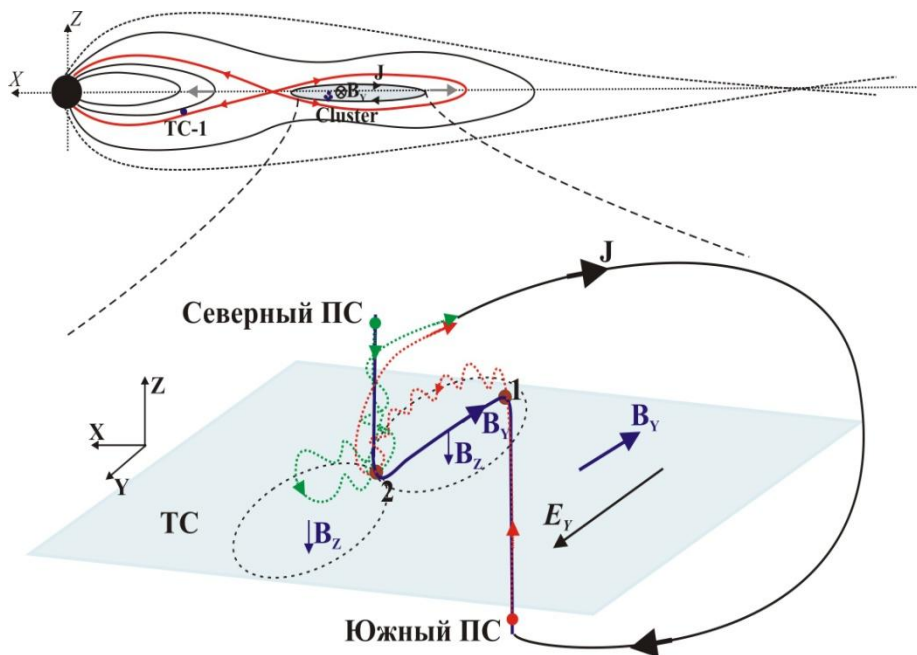


Рис. Усиление сдвигового магнитного поля B_y в ТС хвоста (показан голубым цветом) за счет формирования в плазменном слое (ПС) токовой петли J . В данной магнитной конфигурации ионы, приходящие из северной доли (показаны зеленым цветом) после взаимодействия с ТС инжектируются назад в северный ПС, при этом, ионы, приходящие из южной доли (показаны красным цветом), также инжектируются в северный ПС. В результате возникает асимметрия север-юг в инжекции неадиабатических ионов. Такие ионы создают противоположно направленные токи в северном и южном ПС (токовую петлю) внутри которой поле B_y усиливается.

E.E. Grigorenko, H. V. Malova, A. V. Artemyev, O.V. Mingalev, E. Kronberg, R. Koleva, P. W. Daly, J. B. Cao, J.-A. Sauvaud, C. J. Owen, L.M. Zelenyi, Current sheet structure and kinetic properties of plasma flows during a near-Earth magnetic reconnection under the presence of a guide field, *J. Geophys. Res.*, 118, 3265–3287, doi:10.1002/jgra.50310, 2013.

Григоренко Елена Евгеньевна, д.ф.-м.н., внс лаб.546, тел. 333-14-67 e-mail: elenagrigenko2003@yahoo.com

Малова Хельми Витальевна, д.ф.-м.н., внс лаб 541, тел. 333-25-00, hmalova@yandex.ru

Артемьев Антон Владимирович, к.ф.-м.н, н.с. лаб. 541, тел. 333-25-00, ante0226@yandex.ru

16. Статистические исследования положения источников ускорения ионов разных масс в хвосте магнитосферы Земли

На основе спутниковых наблюдений CLUSTER статистически исследована возможность ускорения ионов, в том числе ионосферного кислорода, в области магнитного пересоединения в ближнем хвосте магнитосферы Земли (на расстоянии от Земли $< 15 R_E$, R_E – радиус Земли).

Установлено, что в периоды наблюдения быстрых плазменных потоков, направленных в хвост и отрицательной величины B_Z -компоненты магнитного поля (косвенных признаков наличия ближней X-линии) наблюдается уменьшение показателя энергетического спектра в потоках энергичных ионов (H^+ , He^+ , O^+), направленных в хвост. Данные результаты указывают на то, что наиболее вероятным механизмом сильного ускорения ионов, в том числе ионов O^+ , в ближнем хвосте является магнитное пересоединение [1,2].

1. E. A. Kronberg, E. E. Grigorenko, S. E. Haaland, P. W. Daly, L. M. Kistler, and I. Dandouras, Oxygen and hydrogen ion abundance in the near-Earth magnetosphere: Spatial distributions, *J. Geophys. Res.*, 2013, в печати.
2. H. Luo, E. A. Kronberg, E. E. Grigorenko, M. Fränz, G. X. Chen, A. M. Du, P. W. Daly, L. M. Kistler, and Y. Wei, Evidence of strong energetic ion acceleration in the near-Earth magnetotail, *Geophys. Res. Lett.*, послана в печать, 2013.

Григоренко Елена Евгеньевна, д.ф.-м.н., внс лаб.546, тел. 333-14-67
e-mail: elenagrigenko2003@yahoo.com

17. Эффекты колебаний быстрых потоков плазмы при их торможении в ближнем хвосте магнитосферы Земли.

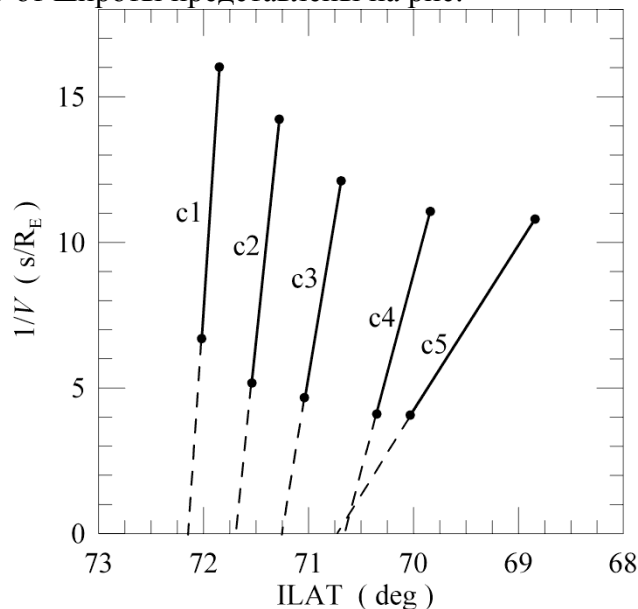
Исследованы затухающие колебания (к Земле – от Земли) потоков плазмы по данным спутников THEMIS. Определены периоды и декременты затухания, совпадающие в целом с диапазоном $Pi2$. Колебания проявляются и в наземных наблюдениях магнитных пульсаций, ионосферных токов, авроральных свечений. По данным проекта Cluster изучена пространственная структура магнитных полей и плазмы, связанная с колебаниями в хвосте магнитосферы. Показано, что при колебаниях образуются и мелкомасштабные структуры с размерами порядка сотен километров («ионный» масштаб), определяющие ускорение ионов и электронов. В целом впервые непосредственно изучены непосредственные источники магнитных пульсаций, находящиеся в хвосте магнитосферы.

- Nakamura, R., W. Baumjohann, E. Panov, M. Volwerk, J. Birn, A. Artemyev, A. A. Petrukovich, O. Amm, L. Juusola, M. V. Kubyshkina, S. Apatenkov, E. A. Kronberg, P. W. Daly, M. Fillingim, J. M. Weygand, A. Fazakerley, and Y. Khotyaintsev (2013), Flow bouncing and electron injection observed by Cluster, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, 2055–2072, doi:10.1002/jgra.50134.
- Panov, E. V., M. V. Kubyshkina, R. Nakamura, W. Baumjohann, V. Angelopoulos, V. A. Sergeev, and A. A. Petrukovich (2013), Oscillatory flow braking in the magnetotail: THEMIS statistics, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2505–2510, doi:10.1002/grl.50407.
- Panov, E. V., W. Baumjohann, R. Nakamura, O. Amm, M. V. Kubyshkina, K.-H. Glassmeier, J. M. Weygand, V. Angelopoulos, A. A. Petrukovich, and V. A. Sergeev (2013), Ionospheric response to oscillatory flow braking in the magnetotail, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, 1529–1544, doi:10.1002/jgra.50190.

Петрукович А.А., 333-3267 (apetruko@iki.rssi.ru)

18. Процессы ускорения и транспорта ионных структур в плазменном слое.

Проведены исследования наблюдения в авроральной магнитосфере 03.11.1996 г. множественных дисперсионных ионных структур по измерениям электронов и ионов в кэвном диапазоне энергий со спутника ИНТЕРБОЛ-2 на геоцентрическом расстоянии ~ три радиуса Земли. Структура в полярной области, обладающая прямой дисперсией от энергии и инвариантной широты - VDIS, ассоциируется с генерацией ионных пучков (бимлетов) в выделенных резонансных областях токового слоя вдоль пограничного плазменного слоя. Ранее результаты численного моделирования показали, что в плазменном слое могут образовываться «эхо»-бимлеты. В данном случае выявлено пять дисперсионных структур c1-c5 в центральном плазменном слое; средняя энергия каждой последующей структуры возрастает по мере приближения к Земле. Структуры являются следами ионных эхо-кластеров – основных наполнителей центрального плазменного слоя. Величины обратной скорости структур c1-c5 от широты представлены на рис.



Протоны с бесконечной скоростью ($1/V=0$) для c1-c4 не идут на одну широту; что свидетельствует об инжекции из разных областей токового слоя. Транспорт пучка может осуществляться следующим образом: ионы первичного бимлета распространяются в силовой трубке, отражаются в зеркальной точке и вновь взаимодействуют с токовым слоем в более близкой области к Земле, образуя вторичный эхо-бимлет или эхо-кластер, затем процесс повторяется. Анализ показал, что дисперсия объясняется фильтрацией протонов по скоростям в поле конвекции $E \times B$ в магнитосфере.

Наполнение центрального плазменного слоя только эхо-кластерами ионного пучка может быть связано с магнитно-спокойным периодом в течение трех суток перед пролетом спутника, когда осуществлялся режим длительной диффузии плазмы. Кластер c5 имеет наклон, отличный от c1-c4 (рис. 1); он мог появиться в результате импульса давления ионов, наблюдавшегося по данным космического аппарата WIND в солнечном ветре; дисперсия структуры может быть связана с времяпролетным (TOF) эффектом.

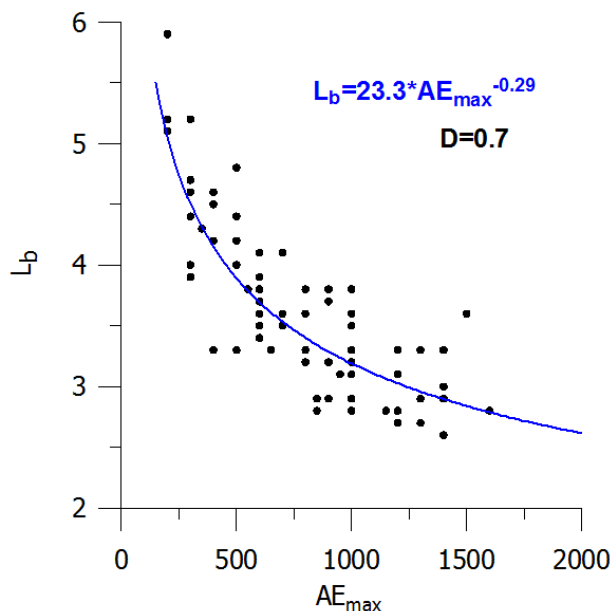
Р.А. Ковражкин, Ж.-А. Сово, Д.Ш. Делькур, О формировании центрального плазменного слоя эхо-кластерами ионных пучков, Письма в ЖЭТФ (в печати, 2013).

Ковражкин Ростислав Алексеевич, д.ф.-м.н., rkovrazh@iki.rssi.ru

19. Связь границы инжекции энергичных ионов L_b с величиной AE индекса.

Проанализированы данные измерений спутником АМРТЕ/ССЕ границы инжекции энергичных ионов во внутренней магнитосфере при суббуревых возмущениях различной интенсивности. За 1984-1988гг было найдено 79 событий, для которых можно однозначно сопоставить регистрацию границы инжекции энергичных ионов L_b с развитием конкретной суббури. Выявлена зависимость положения этой границы L_b от величины AE индекса, соответствующего началу вспышки суббуревой активности AE_{max} (Рис.). Зависимость хорошо описывается степенной функцией $L_b = 23.3 AE_{max}^{-0.29}$.

Рис. Зависимость положения границы инжекции энергичных ионов во внутренней магнитосфере L_b от величины AE индекса в начале вспышки суббуревой активности AE_{max} . Спутниковые измерения 25 сентября 1987 г. показывают, что уже через 30 минут после начала суббури энергичные ионы в околополночном секторе могут достигать оболочки $L = 3.0$.



В.Л. Халипов, Исследование зависимости границы инжекции энергичных ионов во внутренней магнитосфере от геомагнитной активности. Конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 4-8 февраля 2013, Абстракты, стр.118.

V.L. Khalipov, Dependence of the injection boundary of energetic ions in the inner magnetosphere on geomagnetic activity, 12th Scientific Assembly of IAGA, Merida, Yucatan, Mexico, August 26-31, 2013, Abstract volume, J8-6p, p.51.

Халипов В.Л. , н.с., khalipov@iki.rssi.ru

20. Возмущение магнитного поля диполя и генерация токовых систем асимметричным давлением плазмы

Проведен анализ нелинейного возмущения поля диполя асимметричным распределением давления плазмы в предположении выполнения условия магнитостатического равновесия при конечных значениях плазменного параметра в области максимума давления. Получены распределения изолиний постоянного значения B_z компоненты магнитного поля и объема магнитной силовой трубки в плоскости экватора. Показано, что при конечном давлении плазмы образуются локальные минимумы и максимумы магнитного поля. Образование локальных максимумов и минимумов приводит к формированию не окружающих Землю контуров $B_{min} = \text{const}$, где B_{min} – минимальное значение магнитного поля на магнитной силовой линии. При этом изменяется направление градиента объема магнитной силовой трубки. Определена конфигурация возникающих продольных токов. Обсуждена применимость полученных результатов для объяснения ряда наблюдаемых эффектов в магнитосфере Земли.

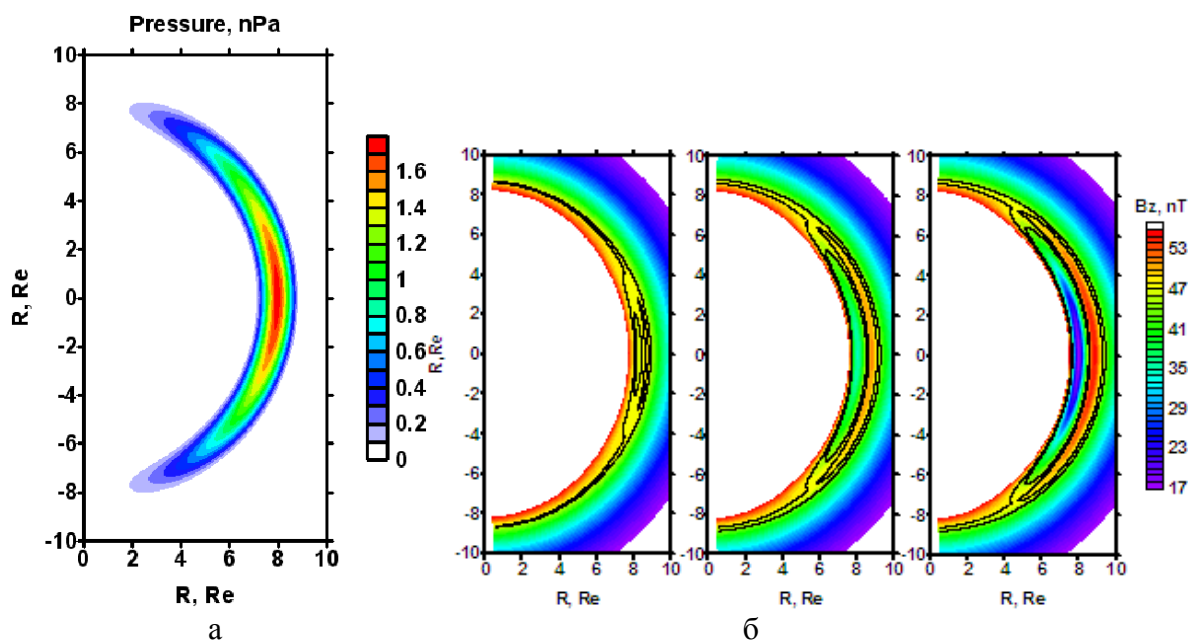


Рис. Моделируемое распределение давления в плоскости экватора (а) и полученные в результате нелинейного моделирования значения магнитного поля в экваториальной плоскости при значениях плазменного параметра $\beta=2\mu_0 P/B^2$ (где B - магнитное поле в плоскости экватора, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума) в максимуме давления (слева направо) равном 0.8, 1.0 и 1.2 (б).

Вовченко В. В., Е. Е. Антонова, Возмущение магнитного поля диполя и генерация токовых систем асимметричным давлением плазмы, Геомагнетизм и аэронавтика, т. 54 , № 2, 2014 г.

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

21. Распределение токов в окружающем Землю плазменном кольце на геоцентрических расстояниях от 6 до $12R_E$

На основе анализа данных наблюдений международной миссии THEMIS впервые получена глобальная усредненная (вблизи экваториальной плоскости, в магнитоспокойных условиях) картина распределения плазменного давления и плотностей поперечных токов на геоцентрических расстояниях от 6 до $\sim 12R_E$ в ночные часы и до модельной магнитопаузы в дневные.

Известно, что деформация магнитосферы солнечным ветром приводит к смещению минимумов магнитного поля в дневные часы от экватора на более высокие широты (один минимум на экваторе расщепляется на два – в южном и северном полушарии). Этот эффект приводит как к изменению дрейфовых траекторий частиц (экваториальные частицы из ночного сектора могут проникать даже в область каспа), так и к видоизменению геометрии токов в этой области – образование разрезного кольцевого тока CRC.

В результате этого анализ экваториального распределения поперечных токов не дает возможности точного восстановления глобальной трехмерной геометрии распределения токов в рассматриваемом диапазоне расстояний. Необходима оценка распределения проинтегрированного вдоль силовой линии поперечного тока. Получение такой оценки требует использования модели магнитного поля, так как все измерения миссии THEMIS

проводились в экваториальной плоскости. В данной работе была использована модель Цыганенко-2001.

Основной результат работы демонстрирует принципиально новую возможную схему распределения токовой системы вокруг Земли. Кольцевой ток (оранжевая область) не прерывается на расстояниях превышающих $8 R_E$, он продолжает существовать. Изменяется только геометрия линий тока (смещение на большие широты в дневные часы), замкнутость кольца при этом сохраняется вплоть до магнитопаузы (синяя область). Такая картина может стать принципиально важной в периоды геомагнитных возмущений, когда плотности тока становятся значительно больше. Токи в ночном секторе на расстояниях от 8 до $12 R_E$, считавшиеся ранее токами ближнего хвоста, дают вклад не в плоский токовый слой, а могут быть рассмотрены как CRC. При этом интегральный CRC будет формировать дополнительное кольцо тока с величиной превышающей $2.5 \cdot 10^5$ А. При этом увеличивается вклад всего (с учетом CRC) кольцевого тока при формировании Dst вариаций.

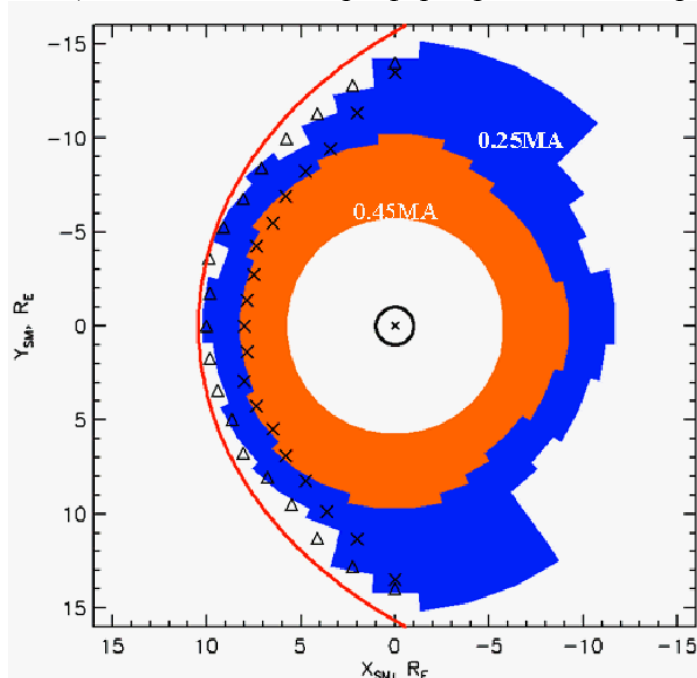


Рис. Экваториальная проекция интегральных поперечных токов. \times – граница, разделяющая области с одним приэкваториальным минимумом магнитного поля и двумя внеэкваториальными минимумами, Δ – выход силовой линии за пределы магнитопаузы или ее отклонение от меридиональной плоскости более чем на 20°

Кирпичев И. П., Е. Е. Антонова, Оценка плотности тока и анализ геометрии окружающей Землю токовой системы, Космические исследования, принято к печати 2014, том 52, № 1.

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

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

В.В. Вовченко, Рязанцева М.О.

22. Анализ и построение модели изменений характеристик плазмы в плазмосфере на границе оптической тени Земли.

Рассмотрено влияние оптической тени Земли на параметры плазмосферной плазмы и потенциал космического аппарата, пересекающего плазмосферу.

Для обработки данных космических аппаратов ИНТЕРБОЛ использовалась специально разработанная методика. Потенциал космического аппарата аппроксимировался потенциалом заряженного шара с экранированием. Длина экранирования (Дебая) и величина потенциала

наряду с плотностью и температурой плазмы определялись по измерениям широкоугольных анализаторов ионов на борту космических аппаратов.

По созданной базе данных проанализировано воздействие пересечения космическим аппаратом границы оптической тени Земли на определяемые параметры плазмы (рис.1).

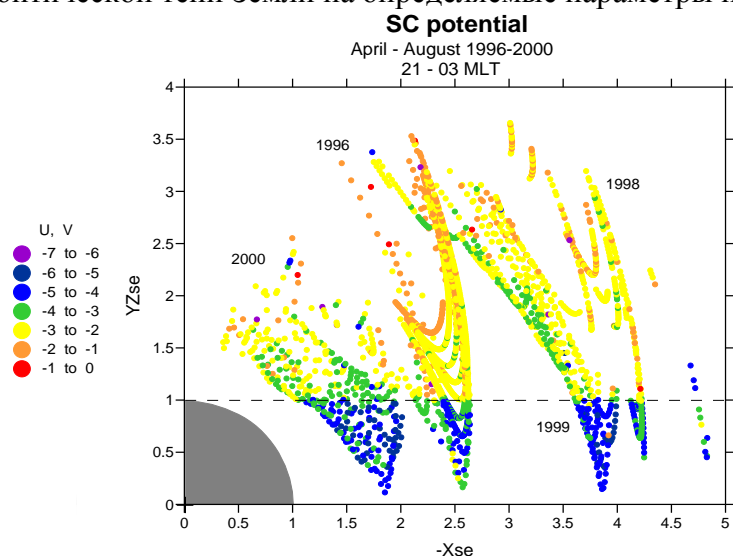


Рис.1. Карта значений потенциала КА в цилиндрических координатах: $X = -XSE$ направлено от Солнца противоположно направлению оси X в солнечно-эклиптических координатах, Y – расстояние от линии Солнце-Земля. Пунктирной линией отмечена граница оптической тени Земли.

Показано, что при входе космического аппарата в оптическую тень Земли его потенциал резко уменьшается на 2 – 3 В. (Потенциал спутника внутри плазмосферы Земли всегда отрицательный.) Вместе с тем плотность и температура плазмы не претерпевают резких изменений на этой границе. Отсутствие таких изменений свидетельствует о применимости использованной методики для расчетов параметров плазмы по измерениям широкоугольными анализаторами на космических аппаратах Интербол.

Показано, что изменения температуры в плазмосфере на ночной стороне Земли связаны со степенью освещенности ионосферы в основании силовых линий магнитного поля, на которых проводились измерения (рис.2). Наименьшие температуры в среднем наблюдаются тогда, когда оба основания силовых линий в ионосфере в области максимума фотоионизации (слой F1) находятся в тени Земли (темно-серая штриховка на рис.2).

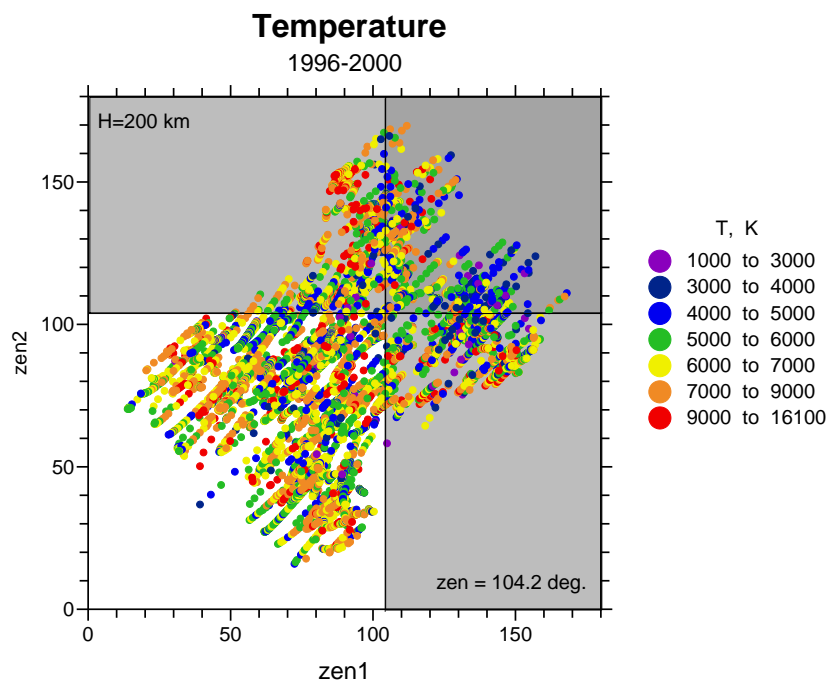


Рис.2. Распределение температуры протонов в плазмосфере в зависимости от зенитных углов оснований силовых линий магнитного поля в ионосфере на высоте 200 км. Zen1 – зенитный угол основания силовой линии ближайшего к точке измерения, Zen2 – зенитный угол основания силовой линии в другой полусфере Земли.

Г.А. Котова, М.И. Веригин, В.В. Безруких, Анализ изменений характеристик плазмы в плазмосфере на границе оптической тени Земли. Конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 4-8 февраля 2013, Абстракты, стр.95.

G.A. Kotova, M.I. Verigin, V.V. Bezrukikh, A.P. Remizov, V.L. Khalipov, Behavior of plasmaspheric plasma at the boundary of the Earth's optical shadow, 12th Scientific Assembly of IAGA, Merida, Yucatan, Mexico, August 26-31, 2013, Abstract volume, III-7, p.63.

Котова Г.А., с.н.с., kotova@iki.rssi.ru

23. Долготные особенности ОНЧ излучений в авроральных широтах.

Впервые выполнены одновременные наблюдения ОНЧ излучений в авроральных широтах ($L = 5.3$) в двух точках, расположенных на близких геомагнитных широтах и разнесенных по долготе на 400 км: финской станции Kannuslehto ($\Phi = 64.2^\circ$) и российской обс. Ловозеро ($\Phi = 64.1^\circ$). Использовалась регистрирующая аппаратура с близкими частотными характеристиками. Первые результаты сопоставления одновременных наблюдений показали, что в подавляющем числе случаев всплески ОНЧ излучений в обеих точках начинались синхронно с одинаковой, чаще правой поляризацией магнитного поля ОНЧ волн, что может свидетельствовать о больших размерах области выхода ОНЧ волн из ионосферы. Подробно обсужден одновременный всплеск квазипериодических ОНЧ излучений 02 февраля 2013 г., наблюдавшийся во время суббури в 23–24 UT. Кроме того, были зарегистрированы ОНЧ всплески, наблюдавшиеся только в одной точке, как, например появление левополяризованных периодических излучений (PE) в полосе 2.5–4.0 кГц с периодом повторения 3–4 с.

Ю. Маннинен, Ю. В. Федоренко, Н. Г. Клейменова, О. В. Козырева, А. С. Никитенко. Первые результаты одновременной регистрации ОНЧ излучений в двух близко расположенных пунктах в авроральных широтах // Геомагнетизм и Аэрoномия №1, 2014. (принята в печать)

24. Динамика полярной границы аврорального овала по данным спутника IMAGE

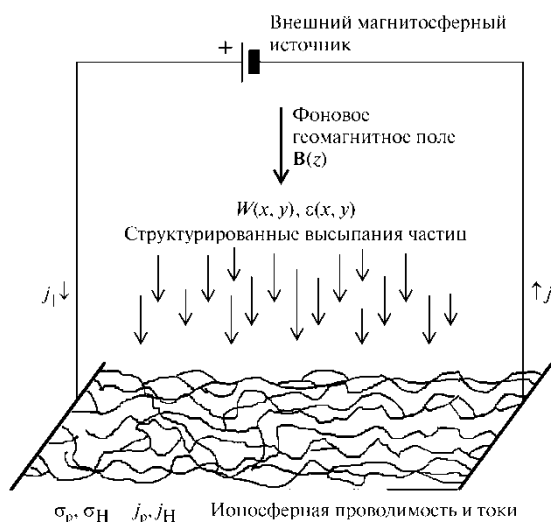
На основе новой базы данных о положении границ аврорального овала по измерениям спутника IMAGE в 2000–2002 гг. с корректным определением границ свечения построена статистическая модель широтного положения границы полярной шапки (ГПШ) в зависимости от V_y и V_z ММП. При нулевом ММП в полуденном (полуночном) секторе ГПШ расположена приблизительно 80° (76°) CGMLat. Смещение ГПШ вдоль меридиана полдень-полночь местного времени контролируется V_z ММП и в полуденном (полуночном) секторе составляет 0.45° (0.15°) CGMLat при изменении V_z на 1 нТл. Смещение ГПШ вдоль утренне-вечернего меридиана зависит от V_y ММП и составляет 0.1° CGMLat на 1 нТл V_y , при этом северная полярная шапка как целое сдвигается на утреннюю (вечернюю) сторону при $V_y > 0$ ($V_y < 0$). Проанализирована эволюция ГПШ во время магнитных бурь. Показано, что после поворота ММП к северу в восстановительную фазу бури на дневной стороне ГПШ смещается к полюсу практически без временной задержки. На ночной стороне в течение длительного времени ГПШ наблюдается значительно экваториальнее, чем то положение, которое дают оценки для соответствующей величины $V_z > 0$, основанные на статистике для внебуревых периодов. Разница может достигать 10° и сохраняться достаточно большой ($\sim 4^\circ$ для рассматриваемых бурь) в течение 20 и более часов. Линейная аппроксимация скорости сдвига ночной ГПШ к полюсу в восстановительную фазу дает значение $0.3^\circ/\text{час}$.

Лукьянова Р.Ю., Козловский А., Динамика полярной границы аврорального овала по данным спутника IMAGE. Космические исследования, Т.51, №.1. С. 46–53. 2013

Лукьянова Рената Юрьевна д.ф.-м.н., инж., r.lukianova@gcras.ru

25. Фрактальный подход к описанию авроральной области

Плазма авроральной области, где происходят высыпания энергичных частиц из магнитосферы в ионосферу, характеризуется сильной неоднородностью и нестационарностью. Поэтому традиционные методы классической физики плазмы в этой области становятся не применимы. Для корректного описания динамических режимов, переходных процессов, флуктуации, самоподобного скейлинга могут быть использованы методы нелинейной динамики на основе представлений фрактальной геометрии и теории перколяции. В данной работе фрактальная геометрия и теория перколяции использованы для описания пространственной структуры ионосферной проводимости. Теоретически получены топологические величины, фрактальные размерности и индексы связности, характеризующие структуру педерсеновской и холловской проводимостей на ночной стороне авроральной зоны. Проанализированы ограничения, накладываемые на фрактальные оценки условием протекания ионосферных токов. Показано, что наблюдаемый в авроральной зоне скейлинг во флуктуациях электрических полей и аврорального свечения хорошо укладывается в ограничения, накладываемые критическим условием на протекание педерсеновских токов. Тем самым демонстрируется, что фрактальный подход является перспективным и удобным методом для исследования свойств ионосферы. На рисунке изображено Схематичное фрактальное представление ионосферы авроральной области Земли.



В представленной работе для описания пространственной структуры ионосферной проводимости использован подход на основе фрактальной геометрии и теории перколяции. Такой подход имеет существенные преимущества, так как позволяет включить в рассмотрение более широкий класс наблюдаемых в природе структур. Геометрические параметры перколирующих кластеров вблизи порога перколяции слабо зависят от деталей мелкомасштабного устройства, что делает теорию перколяции привлекательным подходом для исследования свойств среды.

Используя известные в литературе полуэмпирические соотношения, аналитически получены топологические величины, фрактальные размерности и индексы связности, характеризующие структуру педерсеновской и холловской проводимостей на ночной стороне авроральной зоны. Проанализированы ограничения, накладываемые на фрактальные оценки условием перколяции (протекания) ионосферных токов. Результаты теоретических оценок позволяют оценить свойства ионосферной плазмы и токов в ионосфере. Показано, что для протекания педерсеновских токов фрактальная размерность пространственного распределения ионосферной проводимости должен быть больше 1.38, а индекс связности меньше 0.09. Для протекания холловских токов фрактальные характеристики проводимости должны удовлетворять условиям (менее 1.85 и менее 0.77). Полученные значения фрактальных параметров полностью описывают фрактальную геометрию токов Педерсена и Холла вблизи порога протекания. В работе продемонстрировано, что наблюдаемый в авроральной зоне скейлинг во флуктуациях электрических полей и аврорального свечения хорошо укладывается в ограничения, накладываемые критическим условием на протекание педерсеновских токов. Соответствие теоретических оценок и результатов экспериментов указывает на правомерность фрактального подхода для описания процессов в авроральной области Земли. Таким образом показано, что фрактальный подход является перспективным и удобным методом для исследования свойств ионосферы.

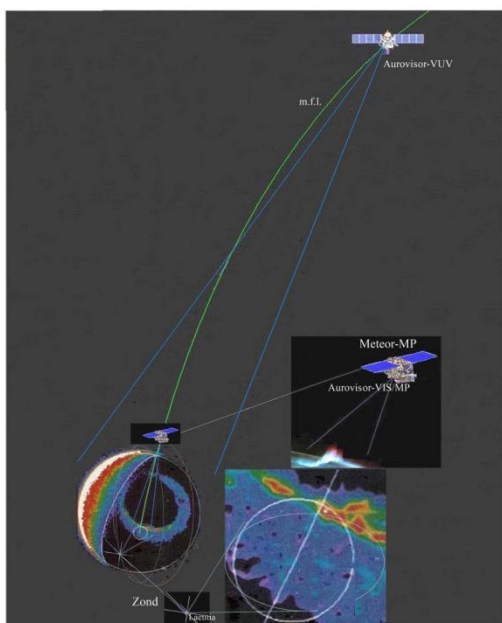
A.A. Chernyshov, M.M.Mogilevsky and B.V.Kozelov, Use of fractal approach to investigate ionospheric conductivity in the auroral zone. *Jornal Geophysical Research: Space Physics*, vol.118, p.1-11, doi: 10.1002/jgra.50321,2013.

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

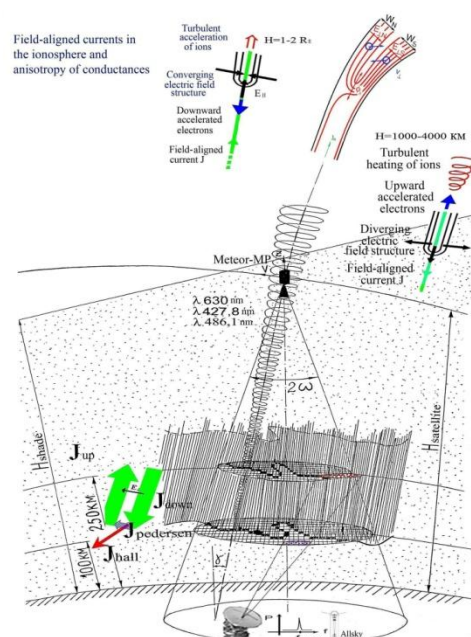
26. Методика спектрофотометрической диагностики состояния полярной ионосферы. Подготовка новых перспективных орбитальных экспериментов в видимом и ВУФ диапазонах спектра.

Изображения свечения эмиссий верхней атмосферы и ионосферы обеспечивают информацию о распределениях (глобальных и локальных) энергетических характеристик заряженных частиц, высыпающих из магнитосферы, а, в конечном счете, об электродинамических характеристиках ионосферы, которые отображают динамику условий распространения сигналов в среде. В рамках подготовки задела для перспективных проектов Роскосмоса разработан (совместно с коллегами из ОАО НПП Геофизика-Космос и ИПГ Росгидромет) аванпроект на создание перспективных оптических комплексов в диапазоне вакуумного ультрафиолета (Авровизор-ВУФ). Продолжаются работы по моделированию взаимодействия заряженных частиц с верхней атмосферой и ионосферой, которые в перспективе войдут в состав ассимиляционной модели взаимодействия магнитосферы с полярной ионосферой. Создан вариант диалоговой программы-справочника Вектор-М по расчетам сопутствующей геофизической информации. Продолжаются работы по моделированию и коррекции авральных изображений.

Conditions and geometry of auroral observations from perspective Russian satellites: Electro-VO, Meteor-MP and Zond (Ionozond Project)



Conditions and geometry of auroral structures observations from the orbit of perspective Meteor-MP satellite (imager Aurovisor-VIS/MP)



Кузьмин А.К., Мерзлый А.М., Крученицкий Г.М., Потанин Ю.Н., Ситдииков И.Т., Шадрин Д.Г., Баньщикова М.А., Чувашов И.Н. «Методическая специфика дистанционной оптической диагностики энергетических и электродинамических характеристик полярной ионосферы с орбит перспективных российских КА в интересах решения научных и прикладных задач» на секции Дистанционные исследования ионосферы 11-ой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 13 ноября 2013 г., ИКИ РАН.

Кузьмин А.К., Мёрзлый А.М., Никольский Ю.В., Потанин Ю.Н., Возможности дистанционного зондирования характеристик полярной ионосферы в российских перспективных орбитальных проектах., V международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиофизики» «АПР – 2013», г. Томск, 1-6 октября 2013 г.:

Авдюшев В.А., Баньщикова М.А., Козелов Б.В., Крученицкий Г.М., Кузьмин А.К., Мёрзлый А.М., Потанин Ю.Н., Чувашев И.Н. Некоторые результаты использования программы «Вектор-М» для решения задач пространственного и магнитного сопряжения между направлениями наблюдений прибора «Авровизор-ВИС/МП» с орбиты перспективного КА «Метеор-МП» и конкретными точками на высотах свечения и земной поверхности, [Всероссийская конференция по математике и механике](#), 2 - 4 октября 2013 г., г. Томск

27. Подавление аврорального километрового излучения ВЧ нагревным стендом

По результатам совместного эксперимента нагревного стенда Тромсе и спутника ИНТЕРБОЛ-2 показано, что потоки ускоренных ионосферных электронов достигают области генерации аврорального километрового излучения, что приводит к его подавлению.

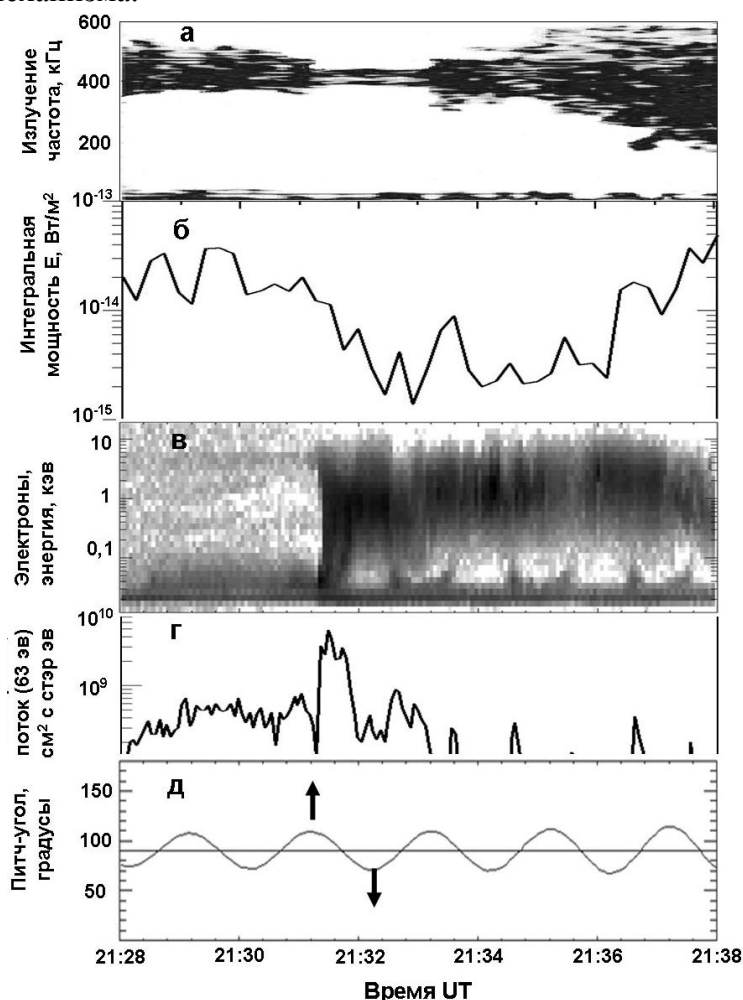
По-видимому, впервые измерено время распространения ионосферной плазмы из искусственно нагретой области в магнитосферу на высоту 11 тыс. км.

По результатам измерений на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 в области, сопряженной искусственно нагретой ионосфере, можно выделить следующие:

- интенсивность АКР внутри силовой трубки, сопряженной нагретой ионосфере, уменьшается на порядок;

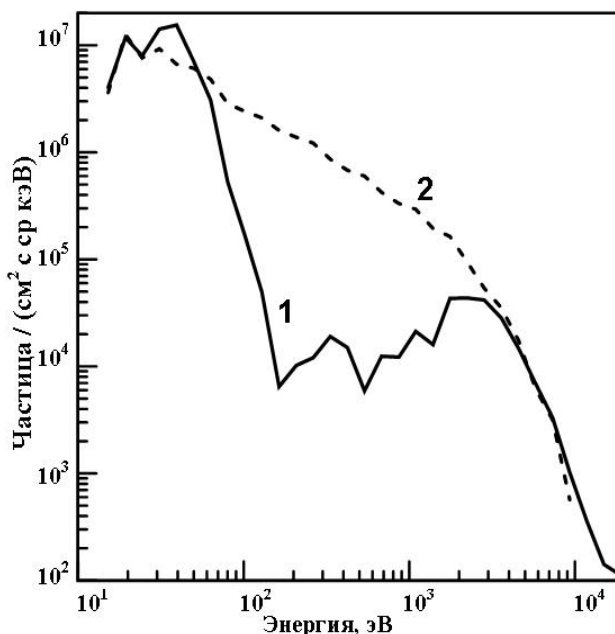
- ионосферные частицы, ускоренные под действием волны накачки от нагревного стенда, доходят до высоты 11 тыс. км за время не более 140 с.

Предложено два механизма подавления АКР: первый механизм связан с процессом генерации излучения, а второй – с особенностями распространения АКР в неоднородной среде. Показано, что если размеры области генерации АКР поперек магнитного поля достаточно велики и превышают размеры возмущенной силовой трубки, то могут реализоваться оба механизма.



Как для первого, так и для второго механизма необходимо, чтобы ионосферные электроны успели подняться из области нагретой ионосферы до высот генерации АКР (2-3

тыс. км). Более того, измерения на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 ионосферных электронов показывают, что они достигают высоты 11 200 км за ~ 140 с. Однако, для соблюдения условия квазинейтральности необходимо, чтобы вместе с электронами двигались и ионы. Для этого необходимо, чтобы ионы были ускорены (разогреты) до величины 65-75 эВ. В настоящее время вопрос о механизме нагрева и выносе из ионосферы в магнитосферу ионов остается открытым.



М. М. Могилевский, Д. В. Чугунин, И. Л. Моисеенко, Т. В. Романцова, Подавление аврорального километрового излучения ВЧ нагревным стендом, КИ, том. 52, № 1, 2014

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

28. Моделирование низкочастотных волновых явлений в околоземной среде для проекта Резонанс

Проведен цикл работ, посвященный как разработке теоретических моделей волновых явлений в магнитосфере и ионосфере Земли, так и анализу данных спутниковых и наземных наблюдений [Engebretson et al., 2013; Knipp et al., 2013; Romanova et al., 2013]. Из теоретических работ, нацеленных на создание интерпретационных моделей для космического проекта "Резонанс", можно выделить расчеты пороговых условий для баллонной неустойчивости [Mazur et al., 2013] и спектральных свойств баллонных мод в двухкомпонентной плазме [Kozlov et al., 2013]. Разработанная модель позволила рассмотреть картину баллонных мод при произвольных соотношениях между плотностями горячей и холодной компонент плазмы. В рамках равновесной конфигурации, моделирующей неоднородную магнитосферную плазму конечного давления в криволинейном магнитном поле, были рассчитаны спектральные характеристики и пространственная структура собственных баллонных мод [Mazur et al., 2013].

Мазур Н.Г., Федоров Е.Н., Пилипенко В.А. Глобальная устойчивость баллонной моды в цилиндрической модели, Геомагнетизм и аэронавигация, 53, №4, 476–485, 2013.

Engebretson M.J., T. K. Yeoman, K. Oksavik, F. Søråas, J.I. Moen, M.G. Johnsen, V.A. Pilipenko, J.L. Posch, M.R. Lessard, et al., Multi-instrument observations from Svalbard of a traveling

convection vortex, electromagnetic ion cyclotron wave burst, and proton precipitation associated with a bow shock instability, *J. Geophysical Research*, 118, №6, 2975–2997, 2013.

Knipp, D., L. Kilcommons, L. Hunt, M. Mlynczak, V. Pilipenko, B. Bowman, Y. Deng, K. Drake, Thermospheric damping response to sheath-enhanced geospace storms, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1263–1267, 2013.

Kozlov, D.A., N.G. Mazur, V.A. Pilipenko, E.N. Fedorov, Dispersion equation for ballooning modes in two-component plasma, *J. Plasma Physics*, doi:10.1017/S0022377813001347, 2013.

Mazur N.G., Fedorov E.N., Pilipenko V.A., Ballooning modes and their stability in a near-Earth plasma, *Earth, Planets and Space*, 65, 1-9, 2013.

Romanova N., N. Crosby, V. Pilipenko, Relationship of world-wide rocket launch crashes with geophysical parameters, *International Journal of Geophysics*, vol. 2013, Article ID 297310, 2013. doi:10.1155/2013/297310.

д.ф.-м.н. Пилипенко В.А., отд. 54, (903-6184666, pilipenko_va@mail.ru)

29. Теоретическое моделирование просачивания УНЧ-КНЧ излучений грозových разрядов в верхнюю ионосферу для проекта Чибис

В этих исследованиях мы попытались ответить на вопрос: возможно ли с помощью магнитометров и электрических датчиков на борту низкоорбитальных спутников зарегистрировать в верхней ионосфере УНЧ-КНЧ электромагнитные структуры, возбуждаемые атмосферной грозовой активностью: ионосферный альвеновский резонатор (ИАР) и шумановский резонанс (ШР)? Хотя наземные проявления этих структур хорошо известны, возможность их просачивания в верхнюю ионосферу оставалась весьма гипотетичной. Анализ данных электрического датчика микроспутника Чибис, несмотря на их отрывочность, показал возможность триггерного возбуждения ИАР и просачивания ШР в верхней ионосфере. Для моделирования этих эффектов была разработана численная модель электромагнитного отклика атмосферы и ионосферы на молниевый разряд. Расчеты показали, что чувствительность электрических датчиков низкоорбитальных спутников Чибис и C/NOFS достаточна для регистрации просачивания ШР

Surkov V.V., N.S. Nosikova, A.A. Plyasov, V.A. Pilipenko, V.N. Ignatov, Penetration of Schumann resonances into the upper ionosphere, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65-74, doi: 10.1016/j.jastp.2013.02.015, 2013.

д.ф.-м.н. Пилипенко В.А., отд. 54, (903-6184666, pilipenko_va@mail.ru)

30. Воздействие УНЧ волн на ионосферу

Радарные наблюдения волновых и динамических процессов в ионосфере является одной из немногих возможностей для прямого изучения процессов переноса энергии и импульса из околоземной среды в верхнюю атмосферу. Одновременные измерения электрической компоненты волны в ионосфере и магнитной компоненты на земле или в ионосфере дают возможность оценить входной импеданс системы ионосфера - атмосфера - земля и даже проводить магнитотеллурическое зондирование планетной проводимости по спутниковым данным [Федоров и Пилипенко, 2014]. Pi2 сигналы, свидетельствующие о начале суббури, были зарегистрированы одновременно установкой по доплеровскому зондированию ионосферы, радаром SuperDARN, и наземными магнитометрами на Камчатке [Pilipenko et al., 2013]. Для интерпретации этих эффектов была разработана теоретическая модель, связывающая возмущения ионосферного электрического поля, доплеровской скорости, и геомагнитного поля при падении МГД волны на ионосферу. Согласно модельным расчетам, падающие Pi2 волны на средних широтах являются смешанной альвеновской и быстрой

магнитозвуковой модой. Исследование одновременных $Pc5$ пульсаций в геомагнитном поле, интенсивности полярных сияний и риометрическом поглощении по данным канадских станций сетей *CARISMA*, *NORSTAR* показали, что авроральные пульсации могут генерироваться за счет периодического ускорения магнитосферных электронов в поле $Pc5$ волны [Белаховский и др., 2013].

Федоров Е.Н., В.А. Пилипенко, Электромагнитное зондирование планет с низкоорбитального зонда, *Космические исследования*, 52, №1, 1–6, doi: 10.7868/S0023420614010038, 2014.
Pilipenko V.A., E.N. Fedorov, M. Teramoto, K. Yumoto, The mechanism of mid-latitude Pi2 waves in the upper ionosphere as revealed by combined Doppler and magnetometer observations, *Ann. Geophys.*, 31, 689–695, 2013.

д.ф.-м.н. Пилипенко В.А., отд. 54, (903-6184666, pilipenko_va@mail.ru)

31. Дальнейшее развитие физической модели воздействия мощных источников ионизации на термодинамические и электродинамические процессы в атмосфере, ионосфере и магнитосфере.

В рамках темы проводились исследования возникновения атмосферных аномалий в результате интенсивной ионизации приземного слоя атмосферы в области сейсмической активности. Экспериментально установлено повышение температуры воздуха и понижение относительной влажности, сопровождаемое образованием кластерных ионов, достигающих размеров порядка микрон (фактически речь идет об образовании аэрозолей). В результате развития этих эффектов образуются линейные облачные структуры, которые могут представлять собой как линейное облако, так и линейный просвет в сплошной облачности. Установлена четкая временная последовательность появления описанных выше аномалий. По результатам этих исследований подготовлена публикация.

S.A. Pulinets, L.I. Morozova, I.A. Yudin. Synchronization of atmospheric indicators at the last stage of earthquake preparation cycle. *Research in Geophysics*, 2013 (в печати).

Пулинец Сергей Александрович, д.ф.м.н., тел. 8-963-760-67-98, pulse1549@gmail.com

32. Экспериментальное исследование природы высотных молний и сопутствующих им процессов в атмосфере и ионосфере Земли на микроспутнике «Чибис-М»

Основным методом исследования физических процессов при атмосферных грозовых разрядах является детальное количественное сопоставление предсказаний различных теорий высотного молниевых разряда, включая модель с убегающими электронами, с результатами регистрации вспышек оптического, электромагнитного, рентгеновского и гамма излучений в области грозовых центров на спутниках и наземных обсерваториях. Исследование физических процессов при атмосферных грозовых разрядах на базе микроспутника «Чибис-М» проводится с помощью установленного на нем КНА «Гроза».

Используется вариант регистрации молниевых разрядов по триггеру радиочастотного анализатора РЧА. Этот вариант является одним из 6-ти заложенных в программу работы КНА «Гроза». За прошедшие 22 месяца работы «Чибис-М» зарегистрировано несколько сотен срабатываний триггера, из них более сотни, связанных с короткими и мощными грозовыми разрядами, также регистрируемых прибором ДУФ.

Наземный сегмент проекта «Чибис-М» обеспечивает информационную поддержку задач управления полетом, а также распределения, обработки и архивация научной телеметрической информации.

Прямые измерения КНА «Гроза» показали, что характерные условия, возникающие в наэлектризованном грозовом облаке, из-за их большой размерности не воспроизводимы в лабораторных условиях. Данные КНА «Гроза» показали необходимость учета фрактальных свойств распределения зарядов в облаке и перколяционных эффектов протекания разрядов в неоднородной турбулентной среде, на которые ранее мало обращали внимание при изучении атмосферного электричества.

Разработанная методика коррелированного анализа массива РГД с массивом РЧА будет способствовать нахождению реальных грозовых событий, сопровождаемых одновременно гамма- и радио- излучениями.

1. 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., Ferencz Cs. Academic microsatellite "Chibis-M". Algorithm of the formation of high altitude atmospheric lightning trigger testing. Small Satellites for Earth Observation. Digest of the 9th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA), Berlin, April 8-12, 2013. Editors: Rainer Sandau, Hans-Peter Roeser, Arnoldo Valenzuela. Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin, p. 121-124.

2. Nazarov V., R.Nazirov, L.Zelenyi, V.Angarov, O.Batanov, L.Bodnar, N.Eismont, V.Gotlib, V.Karedin, S.Klimov, F.Korotkov, I.Kozlov, A.Ledkov, A.Melnik, A.Papkov, V.Rodin, A.Ryabova, Ya.Shmelauer, A.Tretiakov. Ground segment and operations for microsatellite "Chibis-M": Learned lessons, current status and prospective evolutions. Small Satellites for Earth Observation. Digest of the 9th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA), Berlin, April 8-12, 2013. Editors: Rainer Sandau, Hans-Peter Roeser, Arnoldo Valenzuela. Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin, p. 217-220.

3. Климов С.И., Эксперимент на академическом микроспутнике «Чибиc-M». Земля и Вселенная, №3, 2013, с. 17-27.

4. Зелёный Л.М., А.В.Гуревич, С.И.Климов, В.Н.Ангаров, Л.Боднар, Г.К.Гарипов, В.М.Готлиб, М.Б.Добрян, 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 «Чибиc-M». Космические исследования (принято к печати, 2014г. №1).

5. Csaba Ferencz, Stanislav Klimov, † László Bodnár, Péter Szegedi, Péter Steinbach, Vladimir Gotlib, Denis Novikov, Serhiy Belyayev, Andrey Marusenkov, Orsolya Ferencz, Valery Korepanov, János Lichtenberger and Dániel Hamar. First results of MWC SAS3 electromagnetic wave experiment on board of the CHIBIS-M satellite (Advances in Space Research, принято к печати).

Основные исполнители

Научный со-руководитель проекта Зелёный Л.М., ИКИ РАН, акад. (495) 333-25-88, lzelenyi@iki.rssi.ru

Научный со-руководитель проекта Гуревич А.В., ФИРАН, акад. (499) 132-64-14, alex@lpi.ru
зам. научного руководителя проекта Климов С.И., проф., д.ф.-м.н., (495) 333-11-00, sklimov@iki.rssi.ru

Гарипов Г.К., НИИЯФ МГУ, к.ф.-м.н., (495) 939-44-96, ggkmsu@yandex.ru

Готлиб В.М., ИКИ РАН, к.ф.-м.н., (495) 333-21-77, gotlib@iki.rssi.ru

Долгоносков М.С., ИКИ РАН, к.ф.-м.н., (495) 333-25-00, russia.on_mars@gmail.com

Корепанов В.Е., ЛЦ ИКД НАН-ГКА Украины, д.т.н., 38 032 263-91-63, vakor@istr.lviv.ua

Назаров В.Н., ИКИ РАН, (495) 333- 40-45, vnazarov@romance.iki.rssi.ru

Свертилов С.И., НИИЯФ МГУ, д.ф.-м.н., (495) 939-36-06 sis@coronas.ru

Ференц Ч., Ун-т Ётваса, Будапешт, csaba@sas.elte.hu

33. Каталог событий компактных межоблачных разрядов (CID), зарегистрированных микроспутников «Чибис-М».

Общее число событий на конец сентября 2013 г. (17 месяцев работы) составило 280. Нами показано, что наиболее вероятными областями регистрации CID являются районы западный экваториальный берег Африки, Центральная Америка и Индонезия (Малайский архипелаг). Нами впервые показано, что приэкваториальные области не являются основными районами генерации такого рода разрядов, что может привести к кардинальному пересмотру оценок глобального распределения CID.

M.S. Dolgonosov, V.M. Gotlib, L.M. Zelenyi and Chibis-M team "Chibis-M" observations of lightning radio-emission: capabilities and basic results", Proceeding of the symposium "Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration", Nor Amberd, Armenia, 2013 (in print).

Долгоносов Максим Сергеевич, к.ф.-м.н., н.с., e-mail: russia.on.mars@gmail.com
Зеленый Лев Матвеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., т. 333-25-88, lzeleny@iki.rssi.ru

34. Исследование фотоэмиссии со спутника Интербол-2 в магнитосфере при низкой солнечной активности.

После годичного пребывания Интербола-2 на орбите средняя плотность фотоэлектронного тока с его поверхности выросла приблизительно на 60% и составила $3.6-4.0 \text{ nA cm}^{-2}$, при этом поток L_{α} за этот период увеличился только на 10%. Такой фототок регистрируется на ионосферных спутниках только в максимуме солнечной активности. Экспериментально показана связь фототока с поверхности спутника с интенсивностью рентгеновского излучения Солнца. На левой панели рис.6 показан пример вариации фототока со спутника во время вспышки класса C, которая наблюдалась 24 марта 1998 г. в интервале времени 0433-0459 UT, а на правой панели – результаты измерения мягкого рентгена в двух диапазонах, полученные со спутника GOES-9 также 24 марта 1998 г. Вертикальными линиями на правой панели выделен промежуток времени соответствующий измерениям на левой панели.

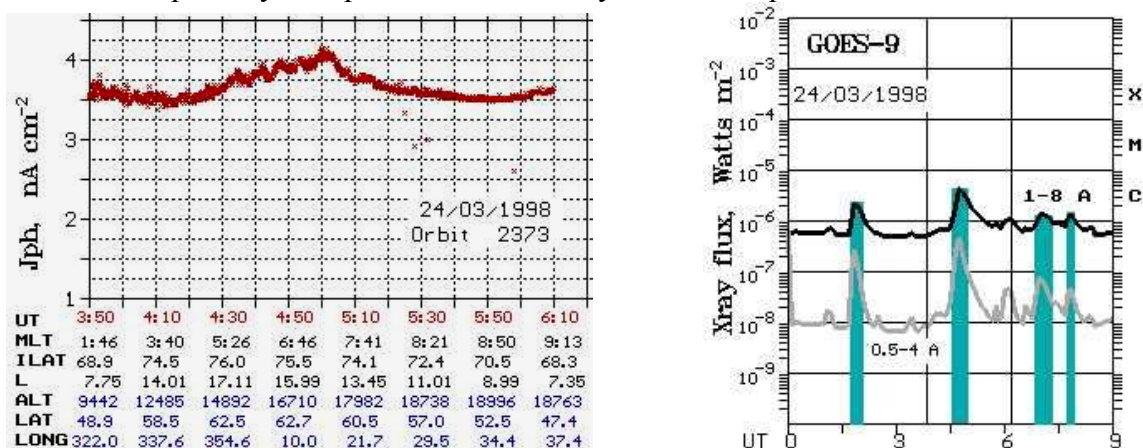


Рис. Пример кратковременного увеличения фототока со спутника Интербол – 2 (левая панель) во время рентгеновской вспышки (правая панель).

Смирнова Н.Ф., Станев Г., Мулярчик Т.М. Фотоэмиссия космических аппаратов в магнитосфере при низкой солнечной активности согласно исследованию фототока со спутника Интербол-2. // тезисы докладов "Всероссийская конференция по солнечно-земной физике, посвященная 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН В.Е. Степанова", 16-21 сентября 2013 г., Иркутск, с. 39.

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

Раздел 2.3 Космическая погода.Руководитель чл.-корр. А.А. Петрукович

1. Источники рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра и радиационная обстановка в околоземном космическом пространстве

Проанализированы вариации потоков релятивистских и суб-релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе Земли, вызванные приходом рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра в течение трех последовательных оборотов Солнца. Исследован период времени с апреля по июль 2010 года, который связан с ростом потоков релятивистских электронов после того, как они достигали минимума в ноябре 2009 - январе 2010. Источниками высокоскоростных потоков солнечного ветра были две корональные дыры различной полярности, геометрии и расположения относительно солнечного экватора. Подтверждена связь эффективности ускорения электронов до релятивистских энергий с амплитудой и длительностью высокоскоростных потоков солнечного ветра и геомагнитных возмущений, а также с волновой активностью в диапазоне 2-7 мГц, характеризуемой ULF-индексом. Значимые возрастания потока релятивистских электронов внешнего радиационного поясе Земли наблюдались для рассмотренного интервала времени при среднечасовой скорости потоков солнечного ветра выше 550 км/с и длительностью более 7 суток. Получено, что спектр электронов внешнего радиационного поясе Земли в рассматриваемый период времени был менее жестким при прохождении потоков солнечного ветра, источником которого была корональная дыра положительной полярности даже при амплитуде скорости солнечного ветра выше 550 км/с.

И. Н. Мягкова, Ю. С. Шугай, И. С. Веселовский, О. С. Яковчук. Сравнительный анализ влияния рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра на радиационное состояние околоземного космического пространства в апреле–июле 2010 года. *Астрономический вестник*, том 47, № 2, 2013, С. 141-155.

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

2. Временная вариация Dst индекса на главной фазе магнитных бурь, индуцированных разными типами солнечного ветра, т.е. в зависимость Dst профиля от условий в межпланетной среде.

На базе OMNI данных межпланетных измерений за период 1976 – 2000 г проанализировано 798 геомагнитных бурь с $Dst < -50$ nT и 5 разных типов течений солнечного ветра в качестве их межпланетных источников: коротирующие области взаимодействия (CIR), межпланетные корональные выбросы (ICME), включая магнитные облака (MC) и поршни (ejecta) и область сжатия Sheath перед обоими типами ICME (SHEMC и SHEEj, соответственно). Показано, что самые короткие главные фазы магнитных бурь наблюдаются для областей сжатия в солнечном ветре: Sheath и CIR, т.е. для тех бурь, для которых восстановительная фаза оказывается наиболее продолжительной. Важно отметить, что антикорреляция между длительностями главной и восстановительной фаз наблюдается не только в среднем для различных типов солнечного ветра, но и набора событий внутри отдельных типов Sheath и CIR (для ICME тенденция явно не видна из-за большого разброса данных), причем антикорреляция наиболее наглядно проявляется для умеренных магнитных бурь $-100 < Dst < -50$ nT и отсутствует у сильных бурь $Dst < -100$ nT.

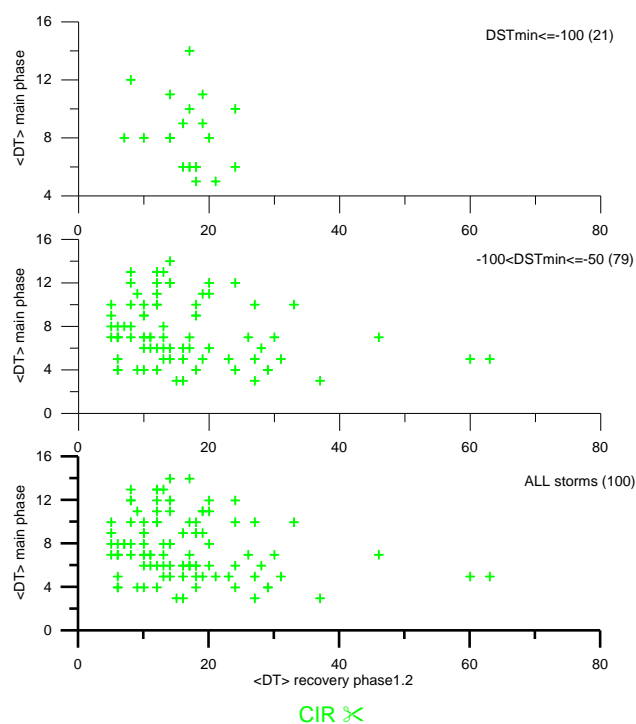


Рис. Зависимость длительностей главной и восстановительных фаз магнитных бурь, генерированных CIR, для сильных (верхняя панель), умеренных (средняя) и всех (нижняя) бурь.

Подготовлена публикация для JGR: Yermolaev, Y. I., I. G. Lodkina, N. S. Nikolaeva, and M. Y. Yermolaev Influence of the interplanetary driver type on the durations of main and recovery phases of magnetic storms

Ермолаев Юрий Иванович, д.ф.-м.н., зав.лаб. 546, 495-333-1388, yermol@iki.rssi.ru

3. Глобальное электронное содержание в ионосфере и плазмосфере во время двух фаз бури

Создан алгоритм для вычисления глобального электронного содержания до высоты 20200 км. Выполнены расчеты этой величины с использованием данных системы глобального позиционирования о полном электронном содержании в каждой ячейке интегрирования с учетом высотной зависимости электронной концентрации и стандартной модели ионосферы. Эта величина служит индикатором инжекции плазмы в ионосферу и плазмосферу во время положительной фазы буревых возмущений в течение 24 часов на величину 10-20% с последующим спадом и выбросом плазмы в течение 40 час. Используется метод наложенных эпох, центрированных на начало отрицательной фазы в глобальном электронном содержании ионосферы и плазмосферы в пределах трех земных радиусов на фоне спокойных условий по пятидневному медианному значению в 2001-2011 гг., Установлено, что уменьшение глобального электронного содержания начинается синхронно с уменьшением скорости солнечного ветра.

Gulyaeva, T. and I. S. Veselovsky, Two-phase storm profile of global electron content in the ionosphere and plasmasphere of the earth, J. Geophys. Res., doi:10.1029/2012JA018017, 2012.

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

4. Определение электромагнитных параметров среднеширотной и приэкваториальной ионосферы с помощью измерений в космическом эксперименте «Обстановка 1-й этап» на Российском сегменте МКС

Электромагнитными параметрами, измеряемыми плазменно-волновым комплексом (ПВК, состоящий из комплектов КВД1 и КВД2) в космическом эксперименте «Обстановка 1-й этап» (<http://www.cosmos.ru/obstanovka/news.htm>) на Российском сегменте МКС (РС МКС), являются:

- спектральная плотность электростатических плазменных волн и электрической компоненты электромагнитных излучений E в диапазоне 0.1-15 МГц (три компоненты) – прибор РЧА;
- спектральная плотность магнитной компоненты электромагнитных излучений H в диапазоне 0.1-15 МГц (три компоненты) – прибор РЧА;
- спектральная плотность магнитной компоненты электромагнитных излучений B в диапазоне 0.01-40 кГц (две компоненты) – приборы КВ31, КВ32, ШАШ3;
- спектральная плотность флуктуаций плотности тока J в диапазоне 0.01-40 кГц (две компоненты) - приборы КВ31, КВ32, ШАШ3;
- спектральная плотность электрической компоненты электромагнитных излучений E в диапазоне 0.01-40 кГц (одна компонента) - приборы КВ31, КВ32, ШАШ3;
- вектор напряженности постоянного магнитного поля B (+/- 50000 нТл) и его флуктуации до 100Гц – приборы ДФМ1, ДФМ2;
- вектор напряженности квазистационарного электрического поля E (+/- 10 В/м) и градиент поля ΔE (10-200 мВ/м) по нормали к поверхности ОС – приборы ДП1, ДП2;
- потенциал "земляной" точки ОС относительно плазмы ϕ (0-200 В) – приборы ДП1, ДП2;
- параметры тепловой и низкоэнергичной плазмы N_e, N_i, T_e, T_i – приборы ЗЛ1, ЗЛ2;
- спектры электронов в диапазоне энергий 10эВ – 10кэВ – прибор КОРЕС.

Измерение части вышеуказанных параметров началось 23 апреля 2013г., когда от служебных систем РС МКС электропитание поступило только на комплект КВД1 (КВ31, ДФМ1, ДП1, ЗЛ1, ШАШ3). В период до конца сентября 2013г. производились кратковременные сбросы на Землю телеметрической информации (ТМИ). После проведения на борту РС МКС ряда технических мероприятий, в том числе с участием российских космонавтов, 02 октября 2013г. было осуществлено включение всей аппаратуры ПВК, в том числе полное раскрытие антенн прибора РЧА.

Исходя из вышеизложенного, до настоящего времени осуществлялось эпизодическое определение электромагнитных параметров космической погоды, в частности вектор напряженности постоянного магнитного поля B (+/- 50000 нТл) и его флуктуации до 100Гц – прибор ДФМ1 (рис. 1) а также параметры тепловой и низкоэнергичной плазмы N_e, N_i, T_e, T_i – прибор ЗЛ1 (рис. 2).

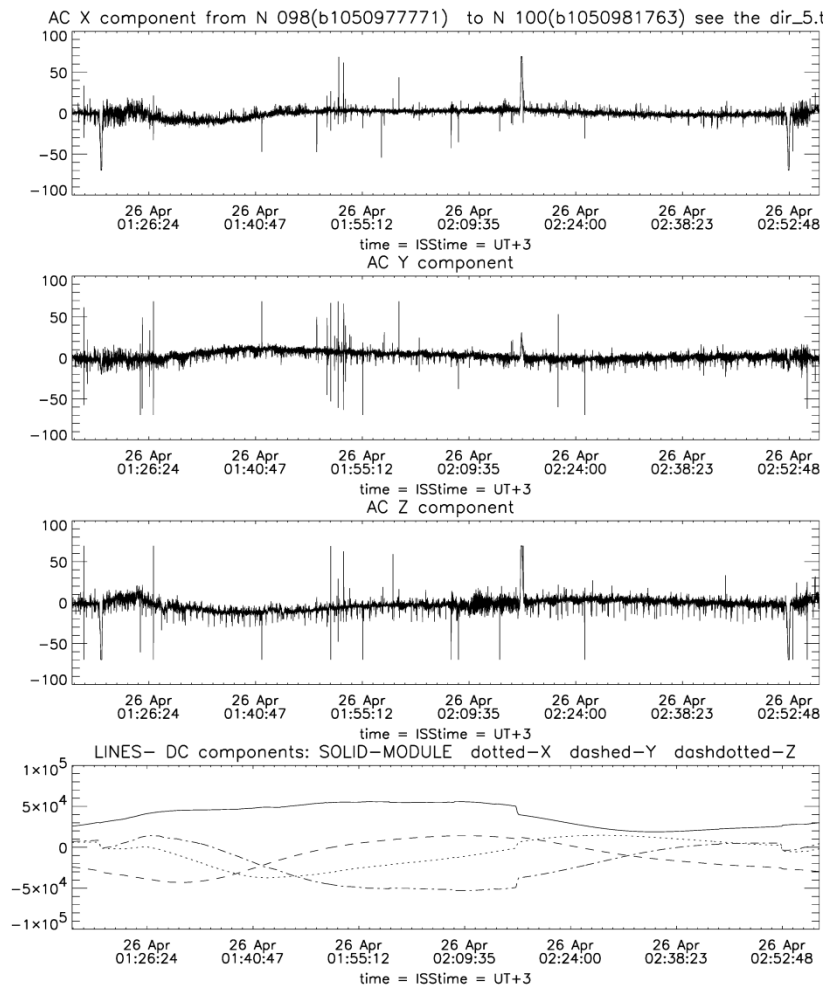


Рис 1. Пример данных прибора ДФМ1: нижняя панель - DC компоненты МПЗ; снизу вверх AC (< 100Гц) флуктуации компонент МПЗ: Z, Y, X.

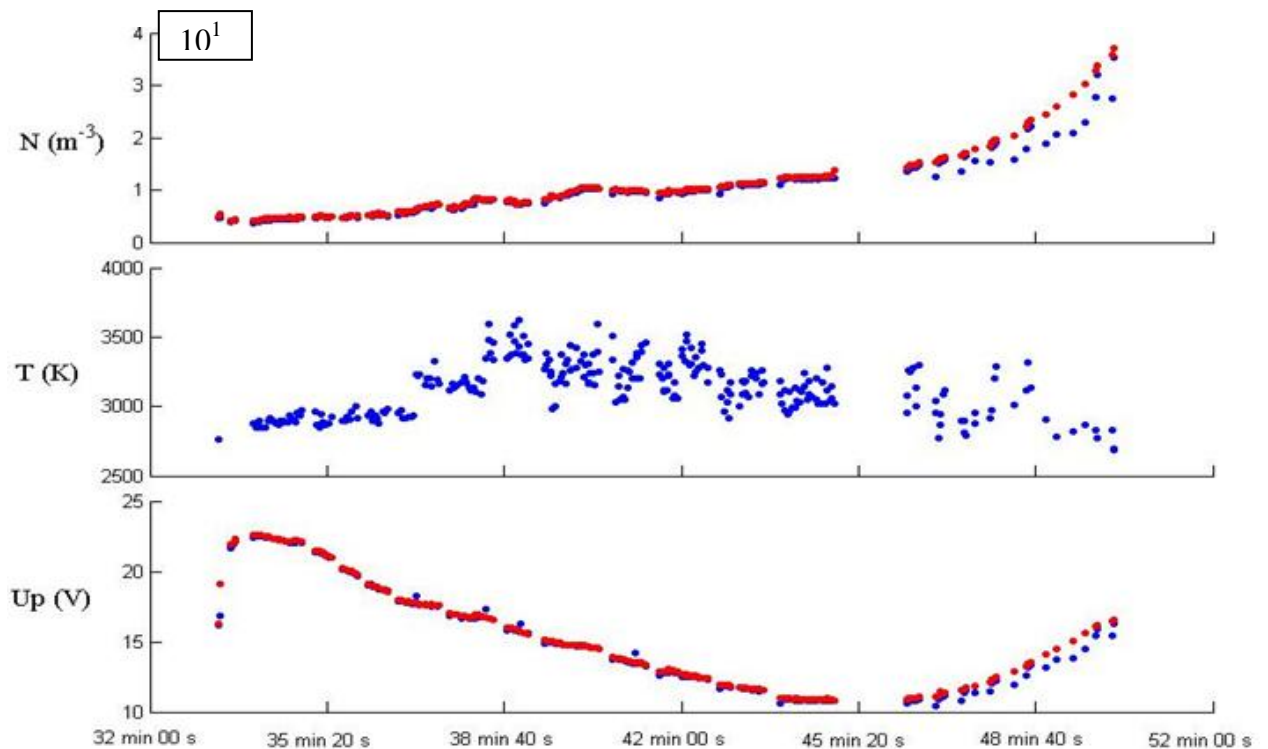


Рис 2. Временной ход параметров, измеренных ЗЛ1 23 апреля 2013г. Начальное время 14:32 (декретное время).

1. Klimov, S., V. Grushin, D. Novikov, L. Belyakova, P. Getsov, R. Nedkov, G. Stanev B. Kirov, S. Neycey, K. Georgieva, D. Batchvarov. Проекты «Взаимодействие» и «Заряд». Первый этап реализации КЭ «Обстановка 1-й этап». *Fifth Workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere. Nessebar, Bulgaria, 3-7 June 2013*

2. Asenovski, S., B. Kirov, K. Georgieva, D. Bachvarov, S. Klimov, V. Grushin. First results from Langmuir Probe measurements aboard the International Space Station. *Ninth scientific conference "Space Ecology Safety" SES2013, Sofia, 20.11.2013*

д.ф.-м.н. С.И.Климов, к.ф.-м.н. В.А.Грушин

5. Исследования влияния компенсированного магнитного поля Земли («нулевого») на параметры сердечнососудистой системы (установка «АРФА»)

С помощью сконструированной установки «АРФА» удалось моделировать внутри нее параметры магнитного поля до нулевых значений включительно (характерных для условий межпланетного полета и пребывания на немагнитных планетах, таких как Марс и Луна). Впервые получены результаты, показывающие негативные изменения скорости капиллярного кровотока, функции эндотелия, вариабельности сердечного ритма человека в нулевом поле. Все эти модельные исследования зависимостей физиологических параметров от величины низких (почти нулевых) значений магнитного поля проводились впервые, имеют практическую ценность для космонавтики (в особенности для длительных межпланетных перелетов) и не имеют аналогов в мировой литературе.



Рис. Блок экспозиции системы «Арфа»

- 1 – передвижная платформа;
- 2 – опорная стойка;

- 3 – оси вращения бокса;
- 4 – подвижный бокс;
- 5 – электростатический экран;
- 6 – витки колец Гельмгольца (7 витков)

Характеристики системы «Арфа» позволяют в течение нескольких часов обеспечивать стабильный (неизменный) уровень магнитного поля, составляющий на широте Москвы, примерно 48 мкТл, а также компенсацию геомагнитного поля до 10–50 нТл (ГМУ)

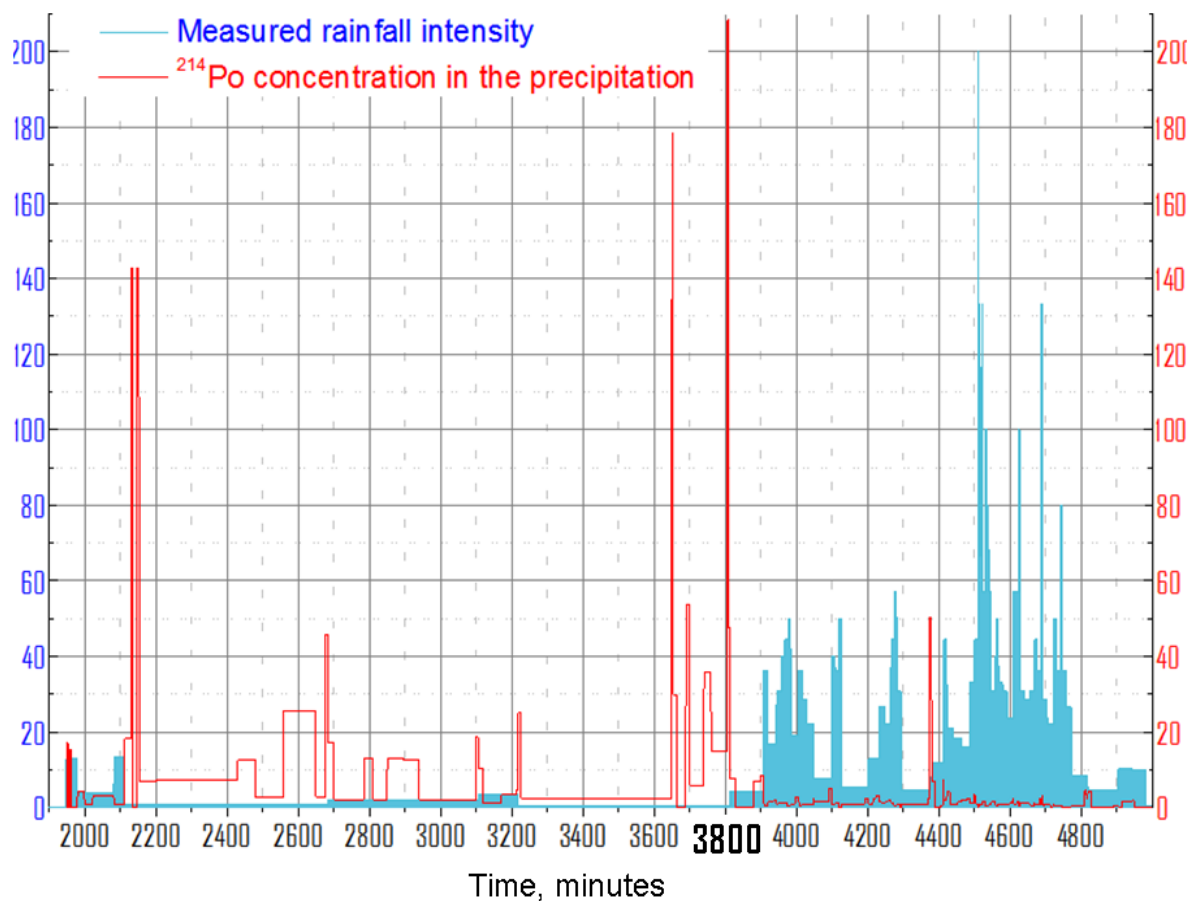
И. Гурфинкель А.Л. Васин, Т.А. Матвеева, Реакция сердечно-сосудистой системы здоровых добровольцев на нулевое магнитное поле в условиях эксперимента, Труды Международной конференции «Влияние космической погоды на человека в Космосе и на Земле, под ред. Академиков А.И. Григорьева и Л.М. Зеленого в ИКИ РАН 4-8 Августа 2012г., том 2, стр.619-632, 2013г

Yu. I. Gurfinkel^{1/2}, Tamara K. Breus², How space weather could influence on human cardiovascular system and microcirculation, Report to 10th European Space Weather Week(ESWW10). November 18-22, 2013, Antwerp, Belgium

Гурфинкель Ю.И. д.мн. ведущий инженер, отд 54, yugurf@yandex.ru тел 8(495)333 30 12

6. Одновременный мониторинг естественного радиационного фона и метеорологических параметров.

Совместно со специалистами университета г. Таубате (штат Сан Пауло, Бразилия) спроектирован и запущен комплекс аппаратуры для одновременного мониторинга естественного радиационного фона и метеорологических параметров. Установка обеспечивает непрерывное измерение параметров окружающей среды с временным разрешением до 1 минуты. Подобная точность позволяет детальное сравнение временных профилей осадков и сопутствующей радиации, что необходимо для исследования динамики изменения концентрации изотопа ^{214}Pb в дождевых осадках. (^{214}Pb является дочерним продуктом распада природного ^{222}Ra .) Количество осаждаемого ^{214}Pb (fallout) определялось сравнением измеренного профиля интенсивности гамма-квантов с их выходом рассчитанным для цепи распада $^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$. Подбирался такой временной профиль выпавшего ^{214}Pb , который обеспечивал наилучшее совпадение рассчитанного и измеренного временных профилей потока распадных гамма-квантов. Концентрация ^{214}Pb в осадках рассчитывалась, как отношение определенного указанным выше образом выпавшего ^{214}Pb , к одновременно измеряемой интенсивности дождевых осадков. Обеспечиваемое установкой достаточно высокое временное разрешение впервые позволило определить реальный диапазон изменения концентрации изотопа в дождевых осадках. Показано что концентрация ^{214}Pb может варьироваться в пределах двух порядков как от одного дождя к другому, так и в ходе одного дождя. При этом наблюдается явная антикорреляция между интенсивностью дождевых осадков и концентрацией в них ^{214}Pb . Большая концентрация наблюдается в продолжительных морозящих дождях или в начале более сильных дождей. По-видимому, эффект может быть объяснен существованием двух механизмов попадания находящихся в атмосфере радионуклидов в дождевые капли: непосредственно при формировании капель в дождевом облаке (in-cloud scavenging) или через адсорбцию на поверхности дождевых капель при их движении из облака к поверхности земли (below-cloud scavenging). Моделирование этих процессов предполагается выполнить в ближайшее время.



В качестве иллюстрации на рисунке выше показаны измеренная интенсивность дождя (голубой цвет) и восстановленная скорость осаждения ^{214}Pb за период с 22 по 26 июля 2012 года.

I.M. Martin A.A Gusev, M.A. Alves and G.I. Pugacheva. Monitoring of Natural Background Gamma Radiation at Ground Level in São José dos Campos, SP, Brazil. Journal of Aerospace Technology and Management, 2013, v.2, serie 1, p.32-35, ISSN 2175-9146

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

7. Вычисление оптимальной толщины защитного экрана для высокоорбитальных и геостационарных космических аппаратов.

На основании данных о проникающей способности частиц радиационного пояса Земли и их энергетического и пространственного распределения в околоземном космическом пространстве сделан вывод, что для солнечно-синхронных космических аппаратов увеличение массовой толщины защитного экрана более $2,0 \text{ г/см}^2$ не целесообразно. Для высокоорбитальных и геостационарных космических аппаратов не целесообразно увеличивать массовую толщину защитного экрана более $2,5 \text{ г/см}^2$. Вышеуказанные защитные экраны позволяют отсечь мягкую (наиболее интенсивную) компоненту ионизирующего излучения. Под защитными экранами остается только жёсткая компонента ионизирующего излучения с большой проникающей способностью. По этой причине дальнейшее увеличение толщины защитного экрана не приведёт к существенному снижению поглощенной дозы. В случае, если указанные толщины экранов не обеспечивают необходимый уровень надёжности функционирования электронных систем, рекомендуется заменить проблемные электронные компоненты более радиационно-стойкими.

На основании расчётов поглощённых доз радиации от частиц радиационных поясов Земли, сделано заключение, что при выводе космического аппарата с промежуточной околоземной орбиты (наклонение орбиты 51° , перигей 220 км, апогей 13 000 км, аргумент перигея 270° , время пребывания на орбите около 6 ч) на межпланетную траекторию, в отсутствие солнечных вспышек, наибольшую радиационную опасность представляют релятивистские электроны внешнего радиационного пояса. Пилотируемые космические аппараты, использующие вышеуказанную промежуточную орбиту, для радиационной защиты экипажа должны иметь экран из алюминия массовой толщиной не менее 3 г/см^2 . При данных параметрах экрана, не зависимо от состояния внешнего радиационного пояса, поглощённая доза радиации от частиц радиационных поясов с вероятностью 99,9% не превысит 12 рад.

Безродных И.П., Морозова Е.И., Петрукович А.А., Семенов В.Т. / Оценка оптимальных параметров экранов для защиты электронных систем космических аппаратов от ионизирующих излучений // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ». -2012. - том. 131. -№6. -с. 15-18

Безродных И.П., Морозова Е.И., Петрукович А.А., Семенов В.Т., Долкерт В.М. / Радиационные нагрузки на электронные системы космических аппаратов при выводе их на межпланетную траекторию // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ». -2013. -том. 132. -№1. -с. 7-12

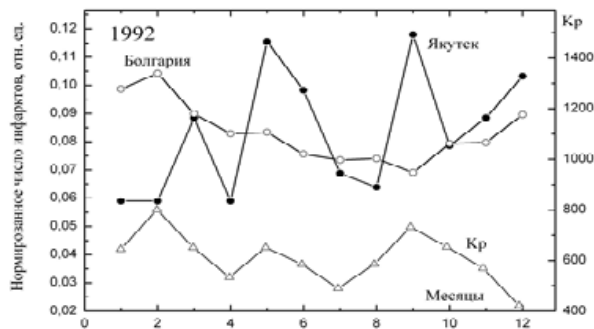
Безродных И.П., снс

Морозова Е.И., к.ф.-м.н.

Петрукович А.А., 333-3267 (apetruko@iki.rssi.ru)

8. Влияние геомагнитной активности на сердечно-сосудистую систему в средних и субавроральных широтах

Исследована связь числа вызовов скорой медицинской помощи (СМП) по поводу инфарктов миокарда в г. Якутск (субавроральные геомагнитные широты) с параметрами космической погоды в годы вблизи максимума (1992г.) и минимума (1998г.) геомагнитной активности. Сравнение сезонного хода числа вызовов СМП к больным в субавроральных широтах с одновременным сезонным ходом смертных случаев от инфаркта в низких широтах (Болгария) показало их существенное отличие. Так, в Болгарии максимум инфарктов отмечался зимой, а минимум летом, а в Якутске наблюдалось несколько максимумов, совпадающих с резкими и значительными возрастаниями уровня планетарной геомагнитной возмущенности. Анализ экспериментальных результатов позволил предположить, что в субавроральных широтах, в отличие от низких широт, большую роль в обострении инфарктов играет увеличение геомагнитной активности, а именно, появление ночных магнитосферных суббурь, которые в магнитовозмущенное время наблюдаются и в субавроральных широтах. Суббури всегда сопровождаются иррегулярными геомагнитными пульсациями P_1 с периодами (0,5-3,0) Гц. Эти пульсации, могут быть биотропными, как и устойчивые квази-синусоидальные геомагнитные пульсации P_1 с близкими периодами, наблюдаемые в средних и низких широтах.



Годовое распределение Кр-индекса и отнормированного числа инфарктов в Богарии и Якутске в 1992г.

Клейменова Н.Г Пульсации в геомагнитном поле как важный биотропный фактор космической погоды. //Тр. Межд. Кон. Влияние космической погоды на человека в космосе и на земле" 4-8 июня 2012 г. в г. Москва, Т.1 с.163-183. 2013.

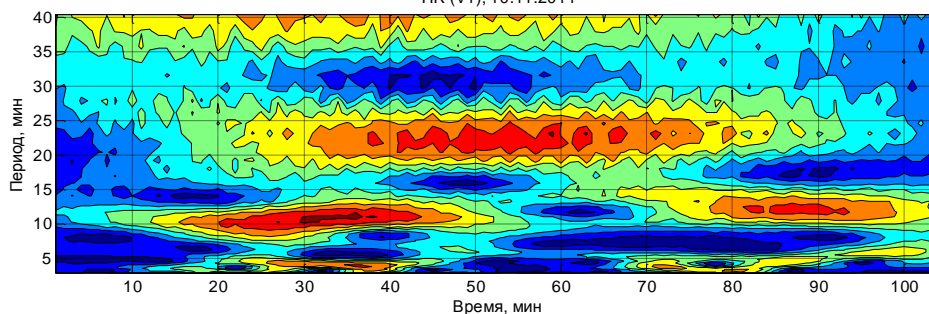
Самсонов С.Н., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Петрова П.Г. Влияние космической погоды на заболевания сердечно-сосудистой системы человека в субавроральных широтах (г. Якутск). // Геофизические процессы и биосфера 2013 (в печати).

Клейменова Н.Г. д.ф.м.н. . вед инженер отд 54. kleimen@ifz.ru Тел 8(495) 333 3012
Козырева О.В.

9. Синхронизация показателей сердечного ритма человека и вариаций геомагнитного поля в миллигерцовом диапазоне

Экспериментально обнаружено явление синхронизации динамики пульса здорового человека, находящегося в покое, с вариациями вектора индукции геомагнитного поля. Обнаружено не только совпадение величин периодов колебаний длительностью 4-30 минут, но и приблизительная синхронность моментов их возникновения и исчезновения. Показано, что данный эффект проявляется примерно в 60% случаев как при обследовании группы здоровых добровольцев (30 человек), так и многократных последовательных измерениях (30 измерений) одного и того же человека. Обнаруженный эффект может стать инструментом для планомерного изучения физиологических механизмов реакции организма человека на изменения геомагнитного поля не только в периоды магнитных бурь, но и при геомагнитно-спокойных условиях, а также поиска возможных первичных мишеней магниточувствительности биологических систем.

HR (V1), 10.11.2011



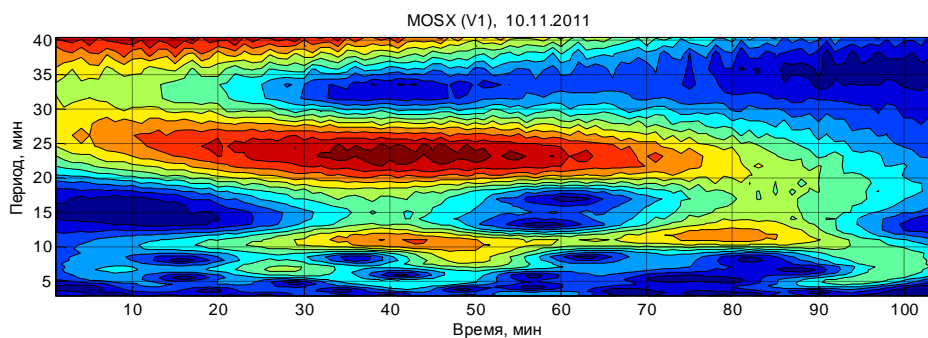


Рис. Частотно-временные распределения спектральной плотности синхронных временных рядов (ЧСС здорового добровольца (вверху) и минутных значений горизонтальной компоненты вектора геомагнитного поля (внизу)), полученных методом комплексного вейвлет-преобразования в эксперименте за 10.11.2012. По оси абсцисс – время эксперимента, по оси ординат – величина периода, цвет – спектральная плотность.

Т.А. Зенченко, А.А. Медведева, Н.И. Хорсева, Т.К. Бреус. Синхронизация показателей сердечного ритма человека и вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 0.5-3 мГц. // Геофизические процессы и биосфера, 2013, №4, принято к печати.

Зенченко Татьяна Александровна, к.ф.м.н., снс отд. 54 ИКИ РАН, zench@mail.ru, тел 8(495)3333012

10. Формирование ритмической структуры биологических объектов в процессе эволюции.

В настоящую эпоху, с развитием космических и геофизических исследований, достижений генетики и статистики, с появлением компьютеров удалось выявить множество новых (помимо суточных или циркадианных) копериодизмов почти что всех физиологических и популяционных показателях и гелиогемагнитных факторов., что является аргументами в пользу идеи, что «эхо» Чижевского - это циклы, частично встроенные в самой биосфере авторезонансом с космической погодой, где "авто" обозначает длительное существование компонент в биосфере в отсутствие экологического аналога. Влияние внеземной и земной погоды еще должны быть оптимизированы. На протяжении исследования старения человека, циклы должны рассматриваться наряду с трендами, если только эндокринные заменители или гипертензивная терапия не применялись. Механизмы, лежащие в основе старения лучше всего решать с помощью рассмотрения циклов.

Бреус Т. К. Формирование ритмической структуры биологических объектов в процессе эволюции. Труды Международной конференции «Влияние космической погоды на человека в Космосе и на Земле», под ред. А. И. Григорьева, Л. М. Зелёного, в ИКИ РАН, Москва, Россия, 4–8 июня 2012 г. ТОМ 2, стр.463-484, 2013г

Бреус Т.К.д.ф.м.н. главный науч.сотр. отд 53 ИК РАН, brus36@mail.ru Тел. 8(495)3333012

11. Оценки функционального отклика центральной нервной системы человека (ЦНС) на изменение космофизических факторов.

Использовались различные психофизиологические показатели (электрическая активность головного мозга, сенсомоторные, моторные реакции, высшие психические функции – внимание, память). Физиологический ответ ЦНС на воздействие космофизических факторов был показан на примере изменения времени простой слухо-моторной реакции (ПСМР) человека во время геомагнитных возмущений. Для этого были организованы и проведены

мониторинги изменения параметров ПСМР (время реакции, число запаздывающих и пропущенных реакций) с помощью программных продуктов, размещённых на web-портале www.umon.org.ua («Универсальный мониторинг экологического здоровья человека»), а также компьютерной программы «Локальный универсальный мониторинг» - LUM (Рег. № 2012660066 от 08.11.2012 г.) (Россия: Москва, Архангельск, Томск; Украина: Симферополь). Полученные данные позволили установить, что статистическое значимое ($p < 0.01$) увеличение времени ПСМР выявлено в сутки начала главной фазы магнитных бурь. Данная закономерность стабильно воспроизводится как для индивидуальных и групповых исследований, так и для всего массива данных в целом. Данный эффект может быть использован для прогноза физиологического ответа организма для лиц, работа которых связана с экстремальными ситуациями и операторской деятельностью.

Работа выполнена совместно с Крымским Государственным медицинским Университетом, Симферополь (Украина)

Хорсева Н.И. Возможность использования психофизиологических показателей для оценки влияния космофизических факторов (обзор) // Геофизические процессы и биосфера, 2013, т.12, № 2 стр. 34-56 (импакт фактор 0,865)

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е., Килесса Г.В., Дмитриева К.В. Информационная система мониторинга психофизиологических показателей и её локальный аналог. Известия высших учебных заведений. Физика 2013Т.56, 3 10/3, с.97-100 (ВАКовский журнал)

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е., Поскотинова Л.В., Килесса Г.В., Гливенко А.В. Интегративный подход к изучению влияния космофизических факторов на функциональное состояние человека. Международный проект. Труды Международной конференции «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле». под редакцией академиков А.И.Григорьева и М. Зеленого, ИКИ РАН Москва, Россия 4-8 июня. том 2, стр.756-767, 2013г

Н.И.Хорсева, кбн, вед. инженер отд 54 ИКИ РАН, sheridan1957@mail.ru, 8(495)3333012

12. Оптимизация лечения метео и магнито - чувствительных больных артериальной гипертензией и ишемической болезнью сердца с использованием адаптогенов.

Проводились исследования по изучению влияния погодных земных и космических факторов на параметры гемодинамики тяжелых больных с артериальной гипертензией и ишемической болезнью сердца. 350 пациентов были разделены на 7 групп по 50 человек в каждой. 2 группы не получали терапии, 3-я группа получала традиционную терапию, а 4,5,6 группы на фоне традиционной терапии получали препараты с адаптогенным действием - мелатонин, элтацин, мибикар соответственно. Обнаружены слабые и средней степени корреляционные связи в 1-х 3-х группах, которые не изменялись в динамике. В 4,5 и 6 группах установлена положительная динамика в виде снижения корреляционных связей вплоть до их исчезновения в группах, получавших адаптогены.

Наиболее выраженным метеопротективным и магнитопротективным действием обладал мелатонин. Специальные исследования были проведены по изучению влияния мелатонина на важнейшие параметры кардиогемодинамики и определения сравнительной адаптогенной эффективности мелатонина, элтацина и мибикара. Подтвердилась ведущая роль адаптогена мелатонина.

Работа выполнена в сотрудничестве с Белгородской областной клинической больницей и внедрена на 200 пациентах

Монография «Оптимизация лечения метео- магниточувствительных больных с артериальной гипертонией, ишемической болезнью сердца с помощью адаптогенов» , 2012 1-е издание и 2-е издание за 2013г хропереработанное и дополненное, изд. МЕДПРАКТИКА, 231стр

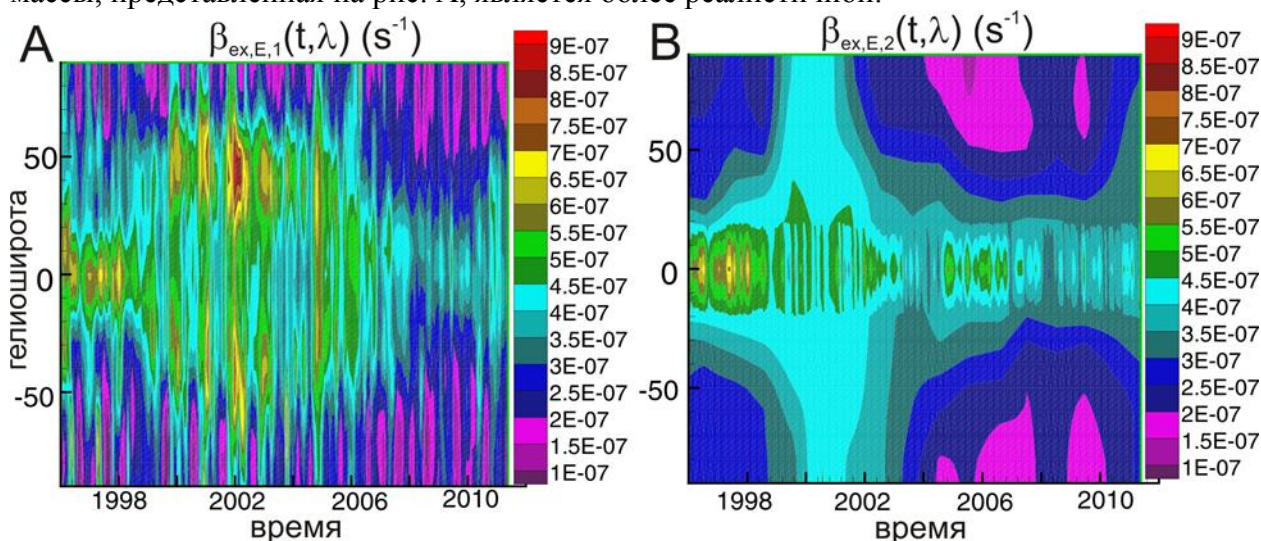
Заславская Рина Михайловна, дмн. вед специалист отд.54 ИКИ РАН, тел 8.(495)3333012

Раздел 2.4 Исследования гелиосферы.
Руководитель д.ф.-м.н. В.В. Измоленов.

1. Исследование зависимости потока массы солнечного ветра от гелиошироты в различные фазы цикла солнечной активности на основании анализа данных SOHO/SWAN по интенсивности рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения.

Задача определения параметров солнечного ветра в зависимости от гелиошироты в течение 11-летнего цикла солнечной активности является важной и актуальной, в частности, для трехмерного моделирования границы гелиосферы. На сегодняшний день имеется два косвенных способа определения зависимости потока массы солнечного ветра от времени и гелиошироты. Первый способ основан на анализе карт неба в интенсивности рассеянного Лайман-альфа излучения, получаемых на аппарате SOHO прибором SWAN. Второй способ основан на данных измерений Ulysses, данных по межпланетным мерцаниям и некоторых предположениях. На рис. приведены графики зависимости частоты перезарядки атомов водорода (которая пропорциональна потоку массы солнечного ветра) от времени и гелиошироты, полученные двумя указанными способами. Как видно из рис. результаты двух методов качественно отличаются друг от друга.

Были проведены расчеты распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере в рамках трехмерной нестационарной кинетической модели с учетом обоих наборов данных для частоты перезарядки. Затем были вычислены карты неба в интенсивности рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения и проведено сравнение этих карт с экспериментальными данными SOHO/SWAN в 1997-2009 гг. Сравнение показало, что второй способ определения потока массы солнечного ветра приводит к значительным отличиям от данных SWAN в интенсивности рассеянного Лайман-альфа излучения. В то время как первый способ очень хорошо согласуется с данными. Из этого можно сделать вывод, что зависимость потока массы, представленная на рис. А, является более реалистичной.



Katushkina O.A., Izmodenov V.V., Quemerais E., Sokol J.M., Heliolatitudinal and time variations of the solar wind mass flux: inferences from the solar Lyman-alpha intensity maps // Journal of Geophysical Research. –2013. –V. 118. –P. 2800-2808.

Измоленов Владислав Валерьевич, д.ф.-м.н., зав.лаб., тел. 333-53-01, izmod@iki.rssi.ru
Катушкина Ольга Александровна, м.н.с., тел. 333-53-01, okat@iki.rssi.ru

2. Структура течения плазмы солнечного ветра в гелиосферном ударном слое при распространении в нем возмущений.

Проведено теоретическое исследование структуры течения плазмы солнечного ветра в гелиосферном ударном слое при распространении в слой возмущения, включающего в себя две ударных волны – переднюю и обратную. Структура с двумя ударными волнами часто возникает на фронте ускоренных выбросов солнечной плазмы в гелиосферу. Наиболее характерных для максимума солнечной активности. Такие возмущения наблюдались во внешней гелиосфере на космическом аппарате Вояджер 2, однако их возможные эффекты на течение в гелиосферном ударном слое изучены не были. Исследование проводится с использованием двухкомпонентной трехмерной МГД модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой, в которой учитывается влияние межзвездных атомов водорода на течение плазмы, а также межзвездного и гелиосферного магнитных полей. В качестве граничных условий в сверхзвуковом солнечном ветре задается скачок скорости потока плазмы. Численные расчеты и обработка результатов проводились с использованием суперкомпьютеров. Описана структура магнитогидродинамического течения плазмы в гелиосферном ударном слое при взаимодействии передней и обратной ударных волн с гелиосферной ударной волной, показана эволюция образовавшегося возмущения в ударном слое, описано взаимодействие ударной волны с гелиопаузой, показано отражение магнитозвуковых волн в гелиосферном ударном слое. Разработанные модели и полученные оценки амплитуд возмущений параметров плазмы в гелиосферном ударном слое будут использованы для анализа данных аппарата Вояджер 2 по измерениям плазмы солнечного максимума в ударном слое.

Provornikova E.A., Opher M., Izmodenov V.V., Toth G. Propagation into the heliosheath of a large-scale solar wind disturbance bounded by a pair of shocks // *Astron. and Astrophys.* 2013. V. 552. A99. DOI: 10.1051/0004-6361/201220892.

Измоденов Владислав Валерьевич, д.ф.-м.н., зав.лаб., тел. 333-53-01, izmod@iki.rssi.ru
Проворникова Елена Александровна, м.н.с., тел. 333-53-01

3. Влияние анизотропии свойств переноса в магнитном поле потока плазмы межзвездной среды на физические процессы в гелиосферном ударном слое.

Используя экспериментальные данные, полученные приборами, установленными на американских космических аппаратах «Вояджер – 1» и «Вояджер - 2», запущенных в середине 70-х годов прошлого столетия, и данные астрономических наблюдений, был проведен анализ безразмерных параметров, определяющих течение во внутреннем и внешнем ударных слоях. Эти ударные слои образуются в результате взаимодействия сверхзвукового солнечного ветра со сверхзвуковым набегающим потоком газа локальной (в окрестности солнечной системы) межзвездной среды (ЛМС).

В результате анализа безразмерных параметров, рассчитанных на основе данных наблюдений, показано, что течение во внутреннем ударном слое является «бесстолкновительным» (большие числа Кнудсена), а влияние магнитного поля солнечного происхождения (МГД-эффекты), несущественное в сверхзвуковом солнечном ветре, может быть важным во внутреннем ударном слое (альфвеновское число Маха порядка единицы).

Оценка влияния вязкости (число Рейнольдса), теплопроводности (число Пекле) и электропроводности (магнитное число Рейнольдса) затруднено «бесстолкновительным» характером течения, поскольку коэффициенты переноса для таких течений до сих пор не определены. Анализ безразмерных параметров для внешнего ударного слоя показал, что, во-первых, в этом слое могут быть существенны процессы, связанные с теплопроводностью, а анизотропия коэффициентов переноса в магнитном поле и, в частности, коэффициента теплопроводности приводит к тому, что для течения во внешнем ударном слое эффекты Эттингсхаузена и Ледюка – Риги могут быть важны. Для малых характерных размеров задачи (волновые процессы или структура гелиопаузы) важны также и эффекты, связанные с

холловской дисперсией.

Baranov V.B., Ruderman M.S., On the effect of transport coefficient anisotropy on the plasma flow in heliospheric interface // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. -2013. -V. 434. –Is. 4. -P.3202-3207.

Рудерман Михаил Соломонович, к.ф.-м.н., тел. 333-53-01.

Раздел 2.5 Исследования звёзд.

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

1. Исследование магниторотационного (MP) механизма взрыва сверхновой в двумерной постановке.

Продолжено исследование магниторотационного (MP) механизма взрыва сверхновой в двумерной постановке. Для моделирования использовались уравнения состояния Shen et al. В дополнение к уравнению состояния Shen'a было проведено вычисление параметров электрон-позитронного вырожденного газа. Учет переноса нейтрино был сделан при помощи процедуры ограничения потоков. Полученные таблицы могут быть использованы и для других уравнений состояния (например, Lattimer-Swesty EoS). Было проведено сравнение результатов расчетов MP взрыва при различных уравнениях состояния. Показано, что MP механизм взрыва сверхновых с коллапсирующим ядром слабо зависит от выбора уравнения состояния и деталей учета нейтринного переноса. Неустойчивость, приводящая к экспоненциальному росту всех компонент магнитного поля, представляет собой неустойчивость типа Тейлера (Taylor). Отличие неустойчивости, возникающей при моделировании MP сверхновой от неустойчивости Тейлера, состоит в наличии вращения. Нами предложено назвать такую неустойчивость Магнито-Дифференциально-Вращательная Неустойчивость. В отличие от Магнито Ротационной Неустойчивости, возникающей во вращающейся жидкости с магнитным полем вдоль оси вращения, полученная нами неустойчивость развивается в ситуации, когда тороидальное магнитное поле преобладает над полоидальным (см. Рисунок).

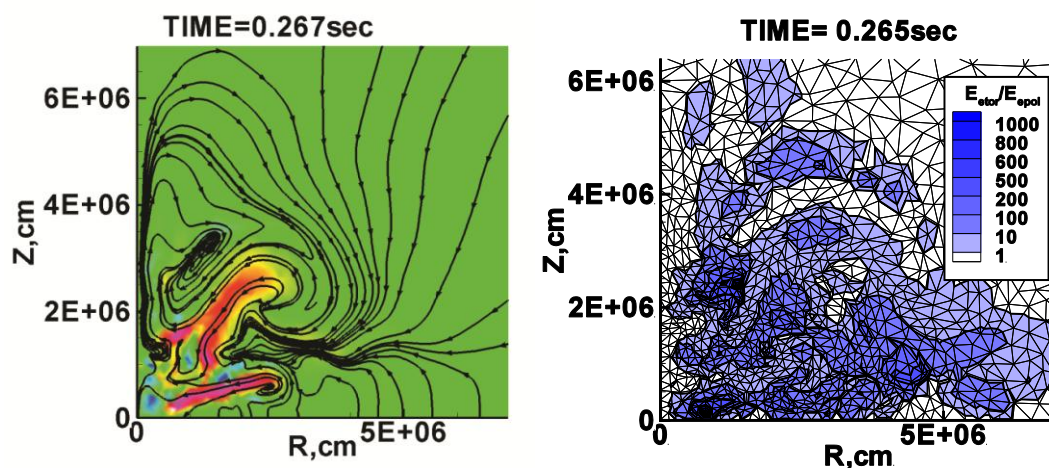


Рисунок. Развитие Магнито-Дифференциально-Вращательной Неустойчивости. Силовые линии - полоидальное магнитное поле – линии, заливка – тороидальное магнитное поле

(слева). Отношение тороидальной магнитной энергии к полоидальной магнитной энергии (справа)

Продолжена разработка трехмерной программы для моделирования МР астрофизических процессов.

S.G. Moiseenko, G.S. Bisnovaty-Kogan, «Magnetorotational supernovae and magnetorotational instability» Odessa Astronomical publications (accepted), 2013

G. S. Bisnovaty-Kogan, S. G. Moiseenko, N. V. Ardeljan, “Magnetorotational Explosions of Core-collapse Supernovae” Numerical Modeling of Space Plasma Flows (ASTRONUM2012). Proceedings of a 7th International Conference held at Big Island, Hawaii, USA June 25-29, 2012. Edited by N.V. Pogorelov, E. Audit and G.P. Zank. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.47, 2013.

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

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

2. Изучение свойств релятивистских изображений при гравитационном линзировании на шварцшильдовской черной дыре, окруженной однородной плазмой.

Релятивистские изображения образуются фотонами, совершающими один или несколько оборотов вокруг черной дыры. При наличии однородной плазмы гравитационное отклонение фотона отличается от вакуумного случая и зависит от частоты фотона. В результате релятивистские изображения имеют различные угловые положения для фотонов разных частот. Эти угловые положения были аналитически вычислены, в приближении однородной плазмы. Поток от линзированного изображения отличается от потока нелинзированного источника, их отношение называется коэффициентом усиления. Были аналитически найдены коэффициенты усиления для релятивистских изображений при гравитационном линзировании на шварцшильдовской черной дыре, при наличии однородной плазмы. Коэффициенты усиления для релятивистских изображений очень малы. Показано, что наличие однородной плазмы приводит к увеличению потока от релятивистских изображений, по сравнению со случаем вакуума. Этот эффект в космических условиях существенен только для радиоволн.

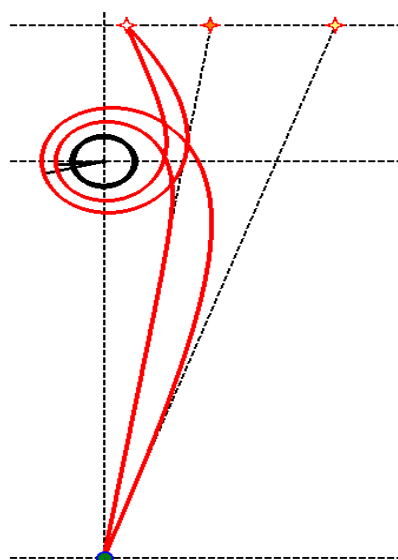


Рисунок. Формирование релятивистских изображений на разных частотах при линзировании в однородной плазме. Фотоны меньших частот, излучаемые удаленным источником,

отклоняются черной дырой на большие углы. В результате наблюдатель видит не одно релятивистское изображение, а размытое «линейное» изображение, каждая точка которого образована фотонами какой-то одной частоты. На картинке представлены два изображения (две точки длинного изображения).

Oleg Yu. Tsupko and Gennady S. Bisnovatyi-Kogan, Gravitational lensing in plasma: Relativistic images at homogeneous plasma, Physical Review D 87, 124009 (2013)

Oleg Yu. Tsupko, Magneto-plasma processes in relativistic astrophysics: modern developments, International Journal of Modern Physics D, Vol. 22, No. 7 (2013) 1330016

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

Олег Юрьевич Цупко к.ф.-м.н. 8-495-333-45-88 tsupko@iki.rssi.ru

3. Моделирование движения нейтронной звезды через межзвездную среду.

При помощи численного МГД моделирования исследована задача о прохождении нейтронной звезды с дипольным магнитным полем через плотные облака и зоны турбулентности межзвездной среды. Была получена картина течения вещества для разных параметров магнитного поля звезды, скорости движения звезды и плотности межзвездной среды. При используемых параметрах радиус магнитосферы звезды существенно больше аккреционного радиуса ($R_m > R_{acc}$), что соответствует режиму георотатора для одиночных нейтронных звезд.

Сначала звезда движется через однородную среду, силовые линии магнитного поля вытягиваются в направлении потока вещества вне магнитосферного радиуса R_m и образуют длинный хвост магнитосферы. В хвосте наблюдается пересоединение магнитных силовых линий.

Затем звезда проходит через неоднородную межзвездную среду (плотное холодное облако), при этом форма хвоста магнитосферы изменяется в зависимости от плотности межзвездной среды. При увеличении плотности ширина хвоста уменьшается, затем при уменьшении плотности хвост магнитосферы восстанавливает свою форму.

При помощи численного МГД моделирования исследована задача о прохождении нейтронной звезды с дипольным магнитным полем через плотные облака и зоны турбулентности межзвездной среды. Была получена картина течения вещества для разных параметров магнитного поля звезды, скорости движения звезды и плотности межзвездной среды. При используемых параметрах радиус магнитосферы звезды существенно больше аккреционного радиуса ($R_m > R_{acc}$), что соответствует режиму георотатора для одиночных нейтронных звезд.

Сначала звезда движется через однородную среду, силовые линии магнитного поля вытягиваются в направлении потока вещества вне магнитосферного радиуса R_m и образуют длинный хвост магнитосферы. В хвосте наблюдается пересоединение магнитных силовых линий.

Затем звезда проходит через неоднородную межзвездную среду (плотное холодное облако), при этом форма хвоста магнитосферы изменяется в зависимости от плотности межзвездной среды. При увеличении плотности ширина хвоста уменьшается, затем при уменьшении плотности хвост магнитосферы восстанавливает свою форму.

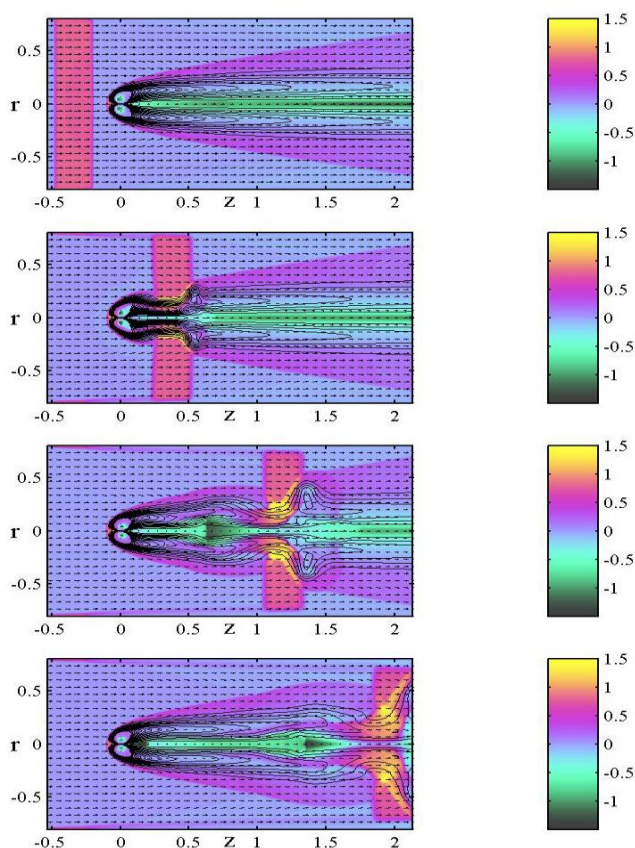


Рисунок. Движение нейтронной звезды с магнитным полем через плотное холодное облако межзвездной среды. Заливкой показан логарифм плотности, стрелками – векторы скоростей, сплошные линии – силовые линии магнитного поля.

O.D. Toropina, M.M. Romanova, R.V.E. Lovelace “Magnetized Neutron Stars in the Interstellar Medium”, 2013, труды 8-й международной конференции по численному моделированию потоков космической плазмы «ASTRONUM 2013», Биарриц, Франция, 1 - 5 июля 2013
Astronomical Society of the Pacific, принято в печать

Торопина Ольга Дмитриевна к.ф.-м.н. 8-495-333-45-88 toropina@iki.rssi.ru

4. Расчёт кинетических коэффициентов вырожденной плазмы вблизи поверхности нейтронной звезды.

Рассчитаны кинетические коэффициенты вырожденной плазмы электронов в приповерхностном слое одиночной замагниченной нейтронной звезды. Решено уравнение Больцмана с учетом магнитного поля, методом последовательных приближений Чепмена-Энскога. Получено более точное приближение для коэффициентов теплопроводности и электропроводности вырожденных электронов, по сравнению с использованным в предшествующих работах по данной теме.

M.V. Glushikhina, G.S. Bisnovatyi-Kogan, Calculation of thermal conductivity coefficients for magnetized neutron star, arXiv:1304.4752, 2013; Proc. 13 Marsell Grossman meeting (accepted)

Геннадий Семёнович Бисноватый-Коган д.ф.-м.н.8-495- 333-45-88 gkogan@iki.rssi.ru
Мария Владимировна Глушихина, м.н.с., 8-495-333-45-88 m.glushikhina@iki.rssi.ru

5. Исследование гамма-всплесков и моделирование рентгеновских источников.

Исследована новая модель мягких гамма повторителей (МГП), не связанная с широко распространенной моделью магнетара. Отмечены факты противоречия модели магнетара с наблюдениями: существование МГП с обычными «пульсарными» магнитными полями, наличие обычных радиопульсаров с «магнетарными» полями, а также различные теоретические возражения против этой модели. Предложена новая модель МГП, основанная на ядерных взрывах в оболочках маломассивных нейтронных звезд, с триггером в виде аккреции из диска, оставшегося после взрыва сверхновой.

Разработана модель нестационарной дисковой аккреции на нейтронную звезду в двойном рентгеновском транзиентном источнике A0535+26/HDE245770, объясняющая наблюдаемую 8-дневную задержку рентгеновской вспышки по сравнению с оптической в течение 110 дневного цикла, связанного с эллиптичностью орбиты в двойной системе.. Модель основана на рассмотрении нестационарной дисковой аккреции, и позволяет оценить альфа параметр турбулентной вязкости, который используется при моделировании дисковой аккреции.

Г.С. Бисноватый-Коган, Н.Р. Ихсанов, Новый взгляд на аномальные рентгеновские пульсары. Астрон. Ж., 2013. (принята к печати)

F. Giovannelli, G. S. Bisnovatyi-Kogan, and A. S. Klepnev, Time delay between the optical and X-ray outbursts in the high-mass X-ray transient A0535+26/HDE245770, Astron. Ap. 2013 (accepted)

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

6. Модели скоплений галактик в присутствии темной энергии.

Исследована структура скопления галактик в созвездии Кома с учетом влияния темной энергии на строение внешних областей скопления. Предложена новая модель распределения массы (барионной и темной материи) в скоплении, которая не содержит сингулярности в центре, и наиболее близко воспроизводит распределение массы по различным наблюдениям. Получен верхний предел на радиус скопления Кома, который равен радиусу нулевой гравитации, появление которого связано с равенством сил притяжения материи и отталкивания за счет темной энергии. Наличие горячего газа в скоплениях галактик может привести к истечению из них вещества. Под действием антигравитации темной энергии происходит ускорение истекающего газа до больших скоростей. Получено численное решение уравнений движения газа при наличии темной энергии и сделаны оценки для скопления Кома. Отмечено, что при столкновении таких ветров, либо при взаимодействии такого ветра с другим скоплением возможно образование наблюдаемых космических лучей самых высоких энергий, объяснение происхождения которых было затруднительно.

Chernin A.D., Bisnovatyi-Kogan G.S., Teerikorpi P. et al., Dark energy and the structure of the Coma cluster of galaxies (2013) Astron. Ap., 553, 101

Bisnovatyi-Kogan G.S., Merafina M., Galactic cluster winds in presence of a dark energy (2013) MNRAS, 434, 3628

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

7. Экспериментальные исследования гамма-всплесков.

Построена кривая блеска оптического послесвечения космического гамма-всплеска GRB 130427A, одного из самых ярких гамма-всплесков в гамма- и оптическом диапазоне в истории наблюдений. Оптические наблюдения области локализации всплеска на были начаты через 110 секунд после начала всплеска. Был открыт яркий ($\sim 11^m$) оптический компонент, который

наблюдался на телескопах 15 обсерваторий участвующих совместно с ИКИ в международной сети наблюдения гамма-всплесков: в Новой Зеландии (Bootes-3), США (Нью-Мексико), России (Уссурийск, Благовещенск, Монды, Терскол, Ростов на Дону), Узбекистане (Майданак, Китаб), Монголии (Хурелтогот), Украине (Харьковский университет, КрАО), Грузии (Абастумани), Испании (Сьерра-Невада), Индии (ARIES). По полученным данным построена детальная кривая блеска от 0,0016 до 22,42 дня после начала всплеска в 5 оптических фильтрах (UBVRI), причем кривая блеска в фильтре R непрерывна с 0,0016 до 0,678 дня после начала всплеска. Для этого гамма-всплеска была найдена спектроскопически подтвержденная сверхновая 2013sq, связанная со всплеском. Проведен анализ данных эксперимента SPI-ACS. Проведено моделирование кривой блеска, в частности, обнаружено продленное гамма-излучение длительностью более 5000 с. Построены спектры события в широком энергетическом канале от радио- до гамма-диапазона в различные моменты времени. По результатам наблюдений подготовлено две статьи.

Построена однородная кривая блеска оптического послесвечения космического гамма-всплеска GRB 130702A и связанной с ним сверхновой 2013dx на стадии роста и максимума блеска. Гамма-всплеск GRB 130702A был открыт космической обсерваторией Fermi. Наблюдения оптического компонента всплеска нашей сетью оптических телескопов начались на второй день после начала всплеска. Наблюдения проводились в Узбекистане (Майданак), Украине (КрАО), Грузии (Абастумани). Основной ряд данных получен на обсерватории Майданак, где проводился еженочный мониторинг источника. В полученном ряде детектирован фотометрический признак присутствия сверхновой.

Построена кривая блеска космического гамма-всплеска GRB 130831A и ассоциированной с ним сверхновой 2013fu. Наблюдения проводились в России (Уссурийск, Монды, Кисловодск), Украине (КрАО, Харьков), Узбекистане (Майданак) и Таджикистане (Гиссар). На кривой блеска оптического послесвечения в фильтре R была открыта сверхновая, наличие которой впоследствии было подтверждено спектроскопически.

Проведен анализ спектрально-временных задержек отдельных структур (импульсов) в кривой блесков гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте SPI INTEGRAL. Обнаружено, что для таких структур не существует отрицательных спектрально-временных задержек.

Проведен поиск гамма-всплесков земного происхождения (TGF) в данных эксперимента SPI INTEGRAL. Обнаружено более 600 событий на временном масштабе 1 мс в данных общей длительностью около 500 кс. Проведена классификация обнаруженных событий. Отобрано 29 кандидатов в гамма-всплески земного происхождения. Сделана оценка чувствительности телескопа SPI к событиям данного типа и оценка верхнего предела на интенсивность TGF.

Выпущено 57 циркуляров сети GCN (<http://gcn.gsfc.nasa.gov/>):

The host-galaxy response to the afterglow of GRB 100901A

Hartoog O.E., Wiersema K., Vreeswijk P.M., Kaper L., Tanvir N.R., Savaglio S., Berger E., Chornock R., Covino S., D'Elia V., Flores H., Fynbo J.P.U., Goldoni P., Gomboc A., Melandri A., Pozanenko A., Schaye J., Postigo A.d.U., Wijers R.A.M.J., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2013, v. 430, pp. 2739-2754.

Gamma-ray burst observations with ISON network.

Pozanenko, A.; Elenin, L.; Litvinenko, E.; Volnova, A.; Erofeeva, A.; Matkin, A.; Ivanov, A.; Ivanov, V.; Varda, D.; Sinyakov, E.; Nevski, V.; Krugly, Yu.; Erofeev, A.; Tungalag, N.; Inasaridze,

R.; Kvaratskhelia, O.; Kouprianov, V.; Molotov, I.; European Astronomical Society Publications Series, 2013, v. 61, pp. 259-261.

A case study of dark GRB 051008.

Volnova, A.; Pozanenko, A.; Gorosabel, J.; Perley, D.; Kann, D. A.; Frederiks, D.; Rummyantsev, V.; Castro-Tirado, A. J.; Minaev, P.; European Astronomical Society Publications Series, 2013, v. 61, pp. 275-278.

Astronomical Hosting in Central Asia.

Pozanenko, A.; Volnova, A.; Guziy, S.; Tungalag, N.; Klunko, E.; Molotov, I.; European Astronomical Society Publications Series, 2013, v. 61, pp. 495-497.

The Afterglow of GRB 130427A from 1 to 10^{16} GHz.

D.A. Perley, S.B. Cenko, A. Corsi, N.R. Tanvir, A.J. Levan, D.A. Kann, E. Sonbas, K. Wiersema, W. Zheng, X.-H. Zhao, J.-M. Bai, M. Bremer, A.J. Castro-Tirado, L. Chang, K.I. Clubb, D. Frail, A. Fruchter, E. Göğüş, J. Greiner, T. Güver, A. Horesh, A. V. Filippenko, S. Klose, J. Mao, A.N. Morgan, A.S. Pozanenko, S. Schmid, B. Stecklum, M. Tanga, A.A. Volnova, A.E. Volvach, J.-G. Wang, J.-M. Winters, and Y.-X. Xin, 2013, принята к печати в *Astrophysical Journal*.

Short duration gamma-ray burst with extended emission. Pozanenko A. and Barkov M., European Astronomical Society Publications Series, 2013, v. 61, pp. 319-323.

Gamma-ray bursts: the dependence of the spectral lag on the energy.

Minaev P., Pozanenko A., Grebenev S. and Molkov S., European Astronomical Society Publications Series, 2013, v. 61, pp. 75-78.

The first months in the lifetime of the newly born jet associated to Swift J1644+57.

Castro-Tirado A.J., Gómez J.L., Agudo I., Guerrero M.A., Bremer M., Winters J.M., Gorosabel J., Sánchez-Ramírez R., Guziy S., Jelínek M., Tello J.C., Pérez-Ramírez D., Reyes-Iturbide J., Park I.H., Jeong S., Pozanenko A.S., Highlights of Spanish Astrophysics VII, 2013, pp. 185-189.

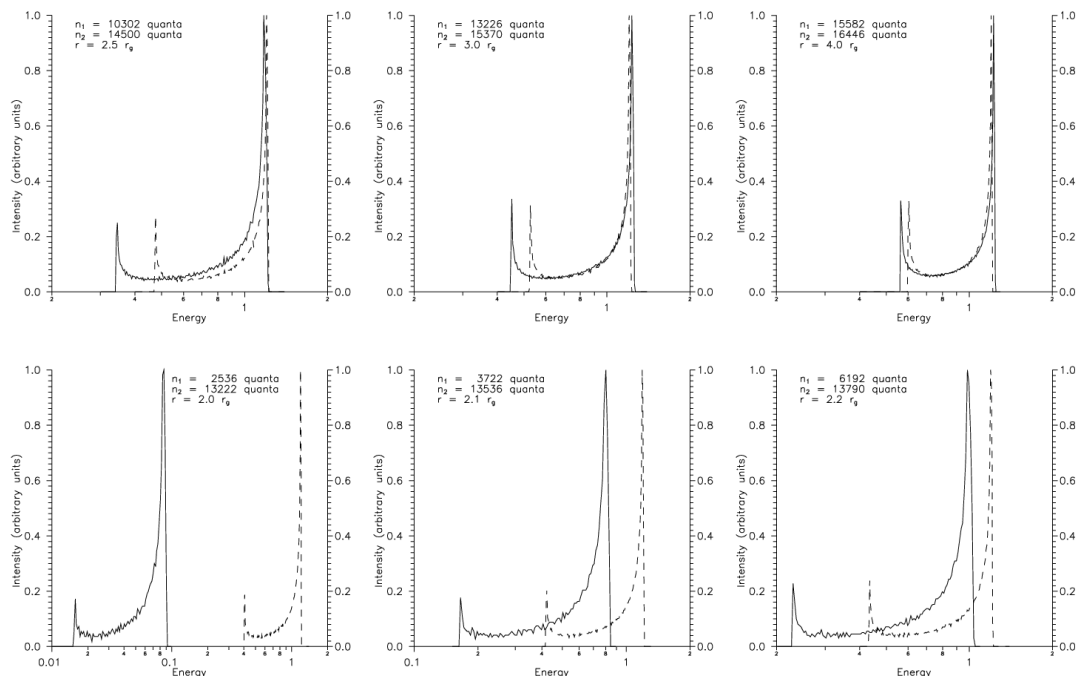
Позаненко Алексей Степанович, к.ф-м.н. 8-495-333-53-66, apozenen@iki.rssi.ru

Вольнова Алина Александровна, 8-495-333-53-66, alinusss@gmail.com

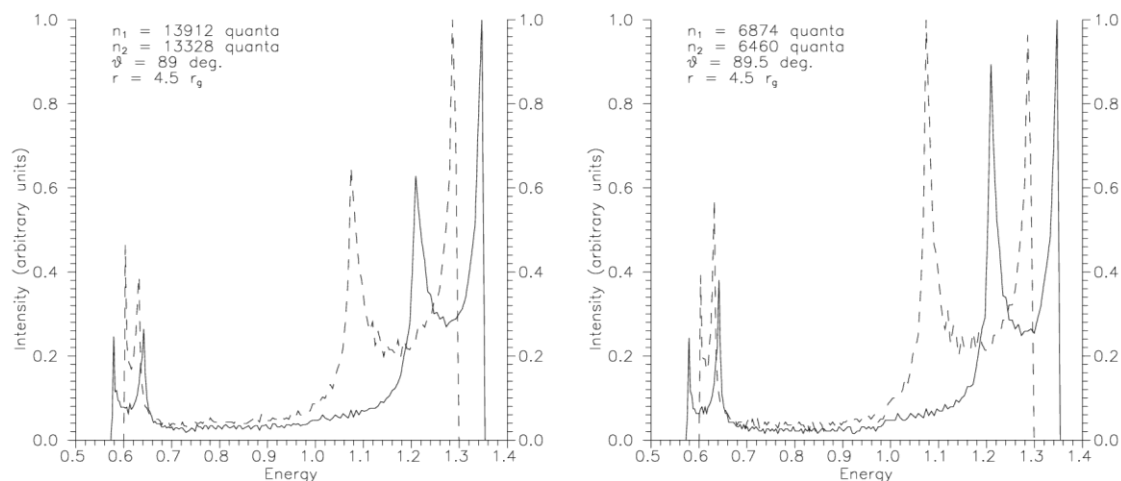
Минаев Павел Юрьевич, 8-495-333-53-66, minaevp@mail.ru

8. Наблюдательные проявления общей теории относительности в аккреционных дисках с обратным вращением.

Проводимые в последние годы рентгеновские наблюдения сейфертовских галактик и микроквazarов обнаруживают и их спектрах широкие эмиссионные линии, которые могут возникать в самых внутренних областях аккреционных дисков. Традиционно считается, что диск вращается в том же направлении, что и центральная черная дыра. Однако, обратное вращение не противоречит никаким физическим моделям. В представленной работе приведены профили линии, излучаемой горячим пятном в поле Керра при обратном вращении для различных значений радиальной координаты и угла наклона диска. Проведено сравнение полученных профилей с профилями линии для прямого вращения. Построен профиль линии всего диска с обратным вращением для простейшей модели однородно излучающего диска. Показано, что спектр горячего пятна и диска с обратным вращением можно отличить от тех же спектров с прямым вращением только для больших углов наклона $\vartheta > 85^\circ$ или на неустойчивых орбитах.



На рисунке показан спектр горячего пятна для орбит с прямым и обратным вращением и различными значениями радиальной координаты, где достаточно отчетливо видна разница. Для обратного вращения эти орбиты являются неустойчивыми.



На рисунке приведен спектр горячего пятна для больших углов наклона диска. В этом случае разница оказывается достаточно отчетливой, чтобы можно было провести наблюдения. Возможные объекты для наблюдений – двойные системы и микроквезары.

По результатам работы сделан доклад на семинаре теор.отдела АКЦ ФИАН и отправлена статья в *Астрономический журнал*, которая будет опубликована в середине 2014 года.

В вышедшей из печати книге «Галактики» совместно с Б.В.Комберггом опубликована глава: «Активные ядра галактик и квазары». (Галактики / ред.-сост. В.Г.Сурдин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 432 с. – (Астрономия и астрофизика)).

Репин С.В. м.н.с. 495-333-53-66

9. Процессы установления гравитационного равновесия в ускоренно движущихся плотных газовых слоях.

Представлены численные исследования процессов установления гравитационного равновесия применительно к расширению области НП в плотном облаке, окруженном более разреженной межзвездной средой. Принималось, что движение происходит под действием разности давлений ($p_0 - p_2$) на обеих сторонах слоя и полагалось $p_0 > p_2$. Найдены следующие особенности неустановившегося ускоренного движения первоначально однородного слоя:

а) Классифицирована структура течения в зависимости от параметра β , равного отношению характерной величины гравитационного ускорения в слое ($2\pi G \rho_1 h$) к ускорению $W = (p_0 - p_2) / (h \rho_1)$, обусловленному разностью давлений на сторонах слоя (G - гравитационная постоянная, ρ_1 - плотность в слое в начальный момент времени). Так что $\beta = 2\pi G \rho_1 h / W$.

б) При $\beta \rightarrow 0$ самогравитация незначительна. Течение характеризуется возникновением комплекса разрывов с последующим ускорением слоя.

в) Для $\beta \geq 1$ роль самогравитации оказывает значительное влияние на параметры среды. Выявлено, что под действием самогравитации намного возрастает плотность вещества слоя. Усложняется по сравнению со случаем $\beta \ll 1$ и структура течения, о которой дает представление рис. 1. для $\beta = 3.1$.

Начальные условия на рис. 1: $\rho_1 / \rho_0 = 25$; $\rho_2 / \rho_0 = 1$; $p_1 / p_0 = 1$; $p_2 / p_0 = 0.04$; $h/L = 0.5$ (где L - произвольный масштаб, а ρ_0 и p_0 - в горячем газе позади слоя; ρ_2 , p_2 - в холодном газе перед слоем; показатель адиабаты $\gamma = 5/3$). На рис.1. видно, что при малых t вследствие гравитационного сжатия возникают отличные от нуля скорости и внутри слоя формируется максимум плотности и давления (кривые 1). По мере роста этого максимума происходит отток газа из области повышенного давления - кривые 2. Поэтому образуются волны сжатия, распространяющиеся в противоположных направлениях (кривые 3, 4). Наблюдаются процессы последовательного сжатия-расширения газа. Расчеты показывают, что на рассматриваемых характерных временах параметры слоя не удовлетворяют состоянию гравитационного равновесия. Это следует учитывать при исследованиях возмущенных многомерных движений, где одномерное движение выбирается в качестве основного невозмущенного течения

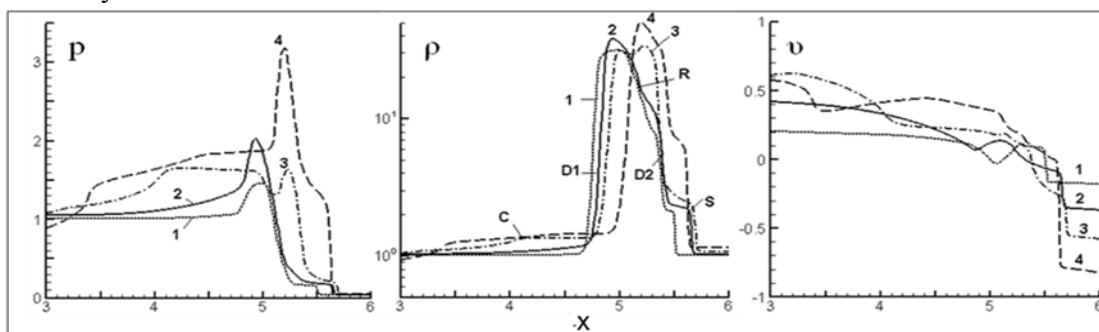


Рис. 1. - Распределение давления p , плотности ρ и скорости v по координате x при $t=0.8, 1.6, 2.4, 3.2$ - кривые 1-4 (в единицах $p_0, \rho_0, v_0 = (p_0/\rho_0)^{1/2}, L$ и $L(\gamma-1)^{1/2}/v_0$). Положения ударной волны обозначено как S, контактных разрывов - D1 и D2, волны разрежения - R, волны сжатия - C.

Краснобаев К.В., Тагилова Р.Р. Неустойчивые двумерные движения самогравитирующих газовых слоев при их ускорении в нормальном направлении // Изв. РАН. МЖГ. 2013. № 5. С. 26-36.

Краснобаев Константин Васильевич, д.ф.-м.н., 333-53-01, kvk-kras@list.ru
Тагилова Рената Рифовна, к.ф.-м.н., 333-53-01, rtaghirova@gmail.com

10. Применение результатов численного моделирования к проблеме происхождения неоднородной структуры Галактической области Н II RCW 82.

Наблюдения областей активного звездообразования позволяют сопоставить данные о распределении вещества и о скорости расширения околозвездной плазмы с предсказываемыми моделью триггерного механизма возникновения звезд. Так, согласно работе [Romares M. et al. A&A, 2009, v. 494, p. 987], туманность RCW 82 возникла в облаке с массой $\sim 2520 M$ и с начальной концентрацией частиц $n_0=10^3 \text{ см}^{-3}$. Область Н II порождена потоком ионизирующих квантов $\Phi=9 \cdot 10^{48} \text{ с}^{-1}$. Оцениваемый возраст туманности $0.4 \cdot 10^6$ лет, современный радиус зоны Стремгrena 3 пк. Используя эти данные, авторы работы [Romares M. et al. A&A, 2009, v. 494, p. 987] пришли к выводу, что возраст туманности меньше характерного времени фрагментации и необходимо учитывать дополнительные процессы возникновения неоднородной структуры туманности. В связи с этим авторами настоящего проекта предложена новая модель расширения туманности RCW 82. Вытекающие из модели следствия:

- а) В соответствии с классическими теориями расширения областей Н II [Баранов В.Б., Краснобаев К.В. Гидродинамическая теория космической плазмы. М.: Наука, 1977. 335с.; Спитцер Л. Физические процессы в межзвездной среде. М.: Мир, 1981] и на основании численных расчетов [Котова Г.Ю., Краснобаев К.В. Письма в Астрон. журн. 2009. Т. 35. № 3. С. 189–198] показано, что при первичном радиусе облака 2.92 пк за время $\sim 0.23 \cdot 10^6$ лет могла сформироваться ускоренно движущаяся нейтральная оболочка.
- б) Оценки и результаты проведенных расчетов позволили определить характерную величину ускорения оболочки $W \sim 8 \cdot 10^{-8} \text{ см с}^{-2}$ и соответствующее этому W значение параметра $\beta = 0.02$.
- в) Найдено, что для наблюдаемых неоднородностей с масштабом ~ 3 пк характерное время развития неустойчивости составляет примерно $0.14 \cdot 10^6$ лет и, следовательно, меньше возраста RCW 82. Таким образом, молодые объекты в области Н II RCW 82 могли сформироваться в результате развития неустойчивости типа Рэля–Тейлора с последующей фрагментацией крупномасштабных конденсаций.

Краснобаев К.В., Тагилова Р.Р. Кумуляция массы в ускоренно движущихся самогравитирующих газовых слоях // Письма в Астрон. Ж. 2013, т. 39, № 9, с. 651-659.

Краснобаев Константин Васильевич, д.ф.-м.н., 333-53-01, kvk-kras@list.ru
Тагилова Рената Рифовна, к.ф.-м.н., 333-53-01, rtaghirova@gmail.com