

ФИЗИКА КОСМОСА

Председатель:

проф. Свертилов Сергей Игоревич

ГАММА ОБСЕРВАТОРИЯ TAIGA: СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ

Волчугов П.А.

МГУ им. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: pvol4@ya.ru

Гамма астрономия в настоящее время является одним из передовых каналов исследования удаленных объектов галактики и метagalктики, представляющих большой интерес для современной астрофизики. Для эффективного выделения гамма квантов из потока высокоэнергичных частиц, приходящих к нам из космоса, в настоящее время широко используются гибридные установки, включающие в себя, например, черенковские, сцинтилляционные, флуоресцентные и радио детекторы. К такому мультисканальному инструменту изучения далеких объектов относится и экспериментальный комплекс, расположенный в Тункинской долине, в 50 км от озера Байкал. Комплекс состоит из черенковской установки Тунка-133 [1] и гамма-обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray and Gamma Astronomy) [2]. В состав последней входят широкоугольная черенковская установка TAIGA-HiSCORE (High Sensitivity COsmic Rays and gamma Explorer) [3], атмосферный черенковский телескоп установки TAIGA-IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) [4], сцинтилляционная установка Tunka-Grande [5] и радио детектор Tunka-Rex [6]. Совместная работа установок Тунка-133, Tunka-Grande и Tunka-Rex нацелена на изучение заряженных космических лучей в диапазоне энергий от 10 до 1000 ПэВ. Поиск и исследование локальных источников гамма-квантов с энергиями более 30 ТэВ осуществляется при помощи установок TAIGA-HiSCORE и TAIGA-IACT.

Уникальность эксперимента TAIGA с точки зрения детектирования гамма-излучения заключается в методе комбинированной работы детекторов разных типов. Массив широкоугольных черенковских станций установки HiSCORE позволяет с хорошей точностью определять направление и энергию регистрируемой частицы. Дополняет его работу атмосферный черенковский телескоп установки TAIGA-IACT, с углом обзора $\sim 10^\circ$ позволяющий с высокой точностью определять тип частицы. Таким образом, благодаря совместной работе установок TAIGA-IACT и HiSCORE может быть получен широкий спектр параметров регистрируемых гамма-квантов, что впоследствии даст возможность открытия новых источников высокоэнергичных частиц.

В докладе представлен текущий статус гамма-обсерватории TAIGA, приведены основные результаты, описаны действующие на данный момент установки, а также указаны перспективы развития комплекса.

Литература

1. Berezhnev S.F. et al., The Tunka-133 EAS Cherenkov light array: status of 2011, Nucl. Instrum. Meth. A 692 (2012) 98.
2. Буднев Н.М. и др. Эксперимент TAIGA: от физики космических лучей к гамма-астрономии в Тункинской долине.// Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т. 49. Вып. 4. 2018.
3. TAIGA collaboration, O. Gress et al., The wide-aperture gamma-ray telescope TAIGA-HiSCORE in the Tunka Valley: Design, composition and commissioning, Nucl. Instrum. Meth. A 845 (2017) 367.

4. Lubsandorzhev N. Camera of the first TAIGA-IACT: construction and calibration, PoS ICRC2017. 757.
5. Monkhoev R.D. et al. The Tunka-Grande experiment // Journal of Instrumentation **6**†, № 6 (2017) 06019.
6. Fedorov O., et al. - Tunka-Rex Coll. Proceedings of Science PoS(ICRC2017) 387. (2017).

МЕТОД ПОИСКА ШАЛ В ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА ТУС И ПОЛУЧЕННЫЕ С ЕГО ПОМОЩЬЮ РЕЗУЛЬТАТЫ

Гуреев И.А.

МГУ им. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

В 2016 году с космодрома "Восточный" был запущен спутник "Михайло Ломоносов", на борту которого находился первый в мире орбитальный детектор космических лучей предельно высоких энергий ТУС. ТУС представляет собой параболическое зеркало, направленное в сторону поверхности Земли, в фокусе которого находится матрица из 256 ФЭУ с УФ фильтрами. Прибор способен регистрировать в ультрафиолетовом диапазоне различные процессы в ночной атмосфере Земли, включая ШАЛ с энергиями более 100 ЭэВ, транзиентные атмосферные явления, источники антропогенного характера и др.

Данная работа посвящена методу поиска и исследованию именно ШАЛ в данных ТУС. Еще в начале работы детектора был написан соответствующий алгоритм для обнаружения событий такого рода в общем потоке данных, однако сейчас представляется возможность решить эту задачу более аккуратно. Это в первую очередь обусловлено развитием инструментов моделирования ШАЛ в атмосфере Земли. Также при помощи созданного алгоритма осуществлен анализ последних данных ТУС. В докладе описана разработанная методика поиска ШАЛ и полученные с её помощью результаты.

ГРОВОЯЯ АКТИВНОСТЬ И ПОТОКИ НЕЙТРОНОВ НА ВЫСОТАХ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

Зиганшин И.И., Антонюк Г.И., Григорьев А.В., Золотарев И.А., Бенгин В.В.,
Нечаев О.Ю., Петров В.Л., Панасюк М.И., Яшин И.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия
E-mail: Ilyaziganshin@gmail.com

Московский университет разработал научно-образовательный проект «Ломоносов». В рамках проекта был запущен одноименный спутник, в составе которого находился прибор ДЭПРОН (англ. DEPRON — Dosimeter of Electrons, PROtons and Neutrons/дозиметр электронов, протонов и нейтронов). Целью работы эксперимента ДЭПРОН было одновременное измерение радиационной обстановки и нейтронного фона. Запуск был произведен 28 апреля 2016 г.

В приборе были установлены дозиметр заряженных частиц на основе полупроводникового детектора и детекторы тепловых нейтронов на основе газоразрядных счетчиков СИ13Н. Диапазон параметров, измеренных с помощью счетчиков СИ13Н — энергии от 10^{-3} до 10^2 эВ, максимальный счет за одну секунду в ходе измерений — 15. В приборе используются два счетчика СИ13Н, один из них окружен замедлителем из оргстекла для расширения зоны чувствительности в области медленных нейтронов.

Прибор работал в период с 28.04.2016 по 01.01.2017. Статистика по потокам нейтронов имеется примерно по 200 дням работы прибора и составляет 4 Гб данных. Сами данные отражают в основном потоки нейтронов альbedo.

Данные измерений были обработаны и построена их электронная база.

Первичные данные представлены в виде счета нейтронов за одну секунду. Ввиду крайне малой статистики были произведены усреднения по большим промежуткам времени с целью устранить эту проблему и усреднение по пространству с целью определения фона нейтронов альbedo. Сопоставление нейтронных данных эксперимента «ДЕПРОН» и карт грозовой активности по Земному шару обнаружило несколько возможных совпадений повышения счета нейтронов на детекторе с мощными грозами в соответствующем районе пролета спутника. Эта возможная корреляция требует дальнейшего изучения.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ АНОМАЛИЙ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА У МАРСА

Зорина В.О.¹, Шувалов С.Д.², Ермаков В.Н.², Ким К.И.³

¹МФТИ, ИНБИКСТ, ²ИКИ РАН, ³МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва, Россия

E-mail: zorina.vo@phystech.edu

Аномалии горячего потока (АГП) — структуры в плазме, которые наблюдаются в области пересечения плоскости токового слоя и ударной волны. Для таких явлений характерна высокая температура плазмы и низкая плотность частиц в центре, окруженном относительно тонкой областью сжатия с повышенными плотностью и температурой.

АГП на Марсе впервые были обнаружены в 2015 году [1], но статистический анализ ранее не был проведен.

Данные для исследования сняты американским спутником MAVEN, который был запущен на орбиту Марса в 2013 году. Он оснащен приборами для измерения свойств плазмы и магнитометром, что делает возможным выбор нужных событий и осуществление обработки информации с целью анализа свойств АГП.

Используя данные со спутника MAVEN по характерным особенностям [2] были отобраны 23 события, для которых были оценены возраст, размер в момент регистрации и частота фиксирования АГП ($\sim 0.74 \pm 0.33$ событий/день).

Следуя предположениям, что АГП образуются в момент начала взаимодействия плоскости токового слоя и ударной волны Марса и что скорость распространения аномалий можно вычислить как скорость движения этого пересечения по поверхности ударной волны, был оценен возраст событий в момент регистрации спутником [2].

Статистический анализ показал, что возраст и размер никак не коррелируют, из чего можно сделать предположение, что для АГП у Марса верна та же классификация, что и для АГП у Земли, а именно, что события бывают расширяющимися, сужающимися и стабильными [3].

Так же для отобранных случаев возможно оценить минимальный размер АГП, который составил 0.19 радиуса Марса. Для максимальной оценки требуется более точное определение границ профилей.

Литература

1. Collinson, G., et al. (2015), A hot flow anomaly at Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9121–9127, doi:10.1002/2015GL065079.
2. Schwartz, S.J., G. Paschmann, N. Sckopke, T.M. Bauer, M. Dunlop, A.N. Fazakerley, and M.F. Thomsen (2000), Conditions for the formation of hot flow anomalies at Earth's bow shock, *J. Geophys. Res.*, 105(A6), 12,639–12,650, doi: 10.1029/1999JA000320.

- Xiao, T., et al. (2015), Propagation characteristics of young hot flow anomalies near the bow shock: Cluster observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, 4142–4154, doi: 10.1002/2015JA021013.

РОЛЬ АНИЗОТРОПИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ФОРМИРОВАНИИ ТОКОВЫХ СЛОЁВ В ХВОСТОВОЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Камалетдинов С.

МГУ им. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Доклад посвящён исследованию электронной популяции токового слоя хвостовой области магнитосферы Земли. Используя данные спутниковых наблюдений (миссия THEMIS), получены характерные энергетические спектры электронов в токовом слое и получены оценки на тепловую анизотропию электронов. Спектры аппроксимированы аналитической функцией, учитывающий как экспоненциальный завал фазовой плотности электронов на больших (>1 кэВ), так и степенное распределение на малых энергиях. Используя условия квазинейтральности и интегралы от аппроксимированных спектров, получены пространственные распределения компонент электронного тензора давлений. Комбинация данного тензора давлений и уравнений, описывающих модель одномерного токового слоя, позволяет оценить вклад анизотропии электронов в формирование тонких интенсивных токовых слоёв. Основные теоретические результаты сравнены с данными спутниковых наблюдений токов анизотропных электронов в хвостовой области земной магнитосферы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DBM-МОДЕЛИ ДЛЯ ОНЛАЙН ПРОГНОЗА

Капорцева К. Б.

МГУ им. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
kb.kaportceva@physics.msu.ru

Корональные выбросы масс (КВМ) — это спорадические события, которые характеризуются большими скоростями и плотностями плазмы и являются основными источниками сильных геомагнитных возмущений. Для обеспечения радиационной безопасности полетов и прогнозирования магнитных бурь необходимо уметь точно предсказывать время прихода коронального выброса массы на Землю. Существуют различные модели распространения КВМ в гелиосфере, DBM-модель — одна из относительно простых моделей, которую можно использовать в режиме реального времени с достаточно высоким качеством прогноза

В данной работе была рассмотрена Basic Drag-Based Model, применительно к межпланетным корональным выбросам массы (МКВМ), приведенным в каталогах Richardson/Cane ICME List [1,2] и GMU CME/ICME List [3] с мая 2010 по декабрь 2011 года. Основными входными параметрами модели являются время наблюдения и скорость КВМ на расстоянии 20 солнечных радиусов. Были использованы наблюдения с коронографов из открытых баз данных пересчитанные на 20 солнечных радиусов. Основная идея модели DBM состоит в том, что единственная сила, обуславливающая движение КВМ после 20 солнечных радиусов — сила вязкого трения, зависящая от разности скоростей выброса и окружающего солнечного ветра [4]. Скорость окружающего солнечного ветра берется из онлайн прогноза Центра анализа космической пого-

ды НИИЯФ МГУ [5]. В ходе работ были проанализированы параметры КВМ из различных источников и получен прогноз для ряда событий за 2010–2011 годы.

Автор выражает благодарность Шугай Ю.С. за помощь и содействие при выполнении исследования.

Литература

1. Richardson and Cane, Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections During Solar Cycle 23 (1996–2009): Catalog and Summary of Properties // Solar Physics, 2010.
2. <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm>
3. http://solar.gmu.edu/heliophysics/index.php/GMU_CME/ICME_List
4. T. Žic, B. Vršnak and M. Temmer, Heliospheric propagation of Coronal Mass Ejections: Drag-Based Model fitting // Astrophys. J. Supp., 2015.
5. <http://swx.sinp.msu.ru/index.php>

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ИОНОСФЕРЫ МАРСА

Ким К.И.¹, Шувалов С. Д.², Ермаков В.Н.², Вайсберг ОЛ.²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, ²ИКИ РАН, Москва, Россия

E-mail: kimarik97@gmail.com

В докладе рассматривается неоднородная структура вертикального профиля концентрации электронов, зарегистрированных в верхних слоях ионосферы с помощью радиозатменного эксперимента MaRS (Mars Radio Science Experiment) спутника Mars Express. На основе этих данных изучаются параметры данной структуры, локализация подобных событий по географическим долготе и широте, а также проводится выявление факторов сопутствующих образованию этих неоднородностей. В работе также проводится сравнительный анализ измерений электронной плотности прибором SWEA (Solar Wind Electron Analyzer) спутника MAVEN и MaRS Mars Express, проводится анализ параметров ионосферной плазмы в высокоширотной области с помощью данных STATIC (SupraThermal and Thermal Ion Composition) MAVEN. Ожидается, что результаты анализа позволяет сделать вывод о причинах возникновения данных неоднородностей.

Литература

1. R. Schunk, A. Nagy, Ionospheres: Physics, Plasma Physics, and Chemistry. Cambridge University Press, 2009.
2. M. Patzold, B. Yfusler, G.L. Tyler, T. Andert et al. Mars Express 10 years at Mars: Observations by the Mars Express Radio Science Experiment (MaRS) // Planetary and Space Science.

ПОИСК НОВЫХ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ МАССЫ ПЕРВИЧНОГО ЯДРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА СФЕРА-2

Кобякова Е.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: jaysmilt@yandex.ru

Энергетический спектр первичных космических лучей охватывает более 12 порядков по энергии, и если частицы с энергиями до 10^{15} эВ могут регистрироваться пря-

мыми методами, то малая интенсивность частиц сверхвысоких энергий позволяет судить о их энергетическом спектре и химическом составе только по характеристикам широких атмосферных ливней (ШАЛ).

В эксперименте СФЕРА-2 использовался метод регистрации отраженного от снежной поверхности черенковского света ШАЛ, генерируемого космическими лучами сверхвысоких энергий. По результатам обработки экспериментального материала установки на данный момент можно разделить первичные ядра на две группы — лёгкую и тяжёлую. Использованный критерий — параметр показателя наклона поперечного распределения ЧС ШАЛ — эффективен лишь для ливней, близких к вертикали (зенитный угол до ~ 30 градусов), однако значительная часть зарегистрированных событий лежит вне данного диапазона зенитных углов. Так как критерий не является универсальным и не может быть использован при анализе ливней при больших зенитных углах, возникает необходимость создания нового критерия для уточнения химического состава ПКЛ.

Для разработки нового критерия, принадлежащего классу Байесовых классификаторов, минимизирующих вероятность ошибки решения, в данной работе анализируются формы углового распределения ЧС ШАЛ, имеющих угол наклона оси более 40 градусов. Общим свойством относительных критериев формы является их слабая зависимость от энергии первичной частицы, что делает их универсальными. В данном случае в качестве критерия используется отношение интегралов по прямоугольным областям, разнесённым вдоль длинной оси пятна ЧС. Интегралы по прямоугольникам, перпендикулярным длинной оси, представляют продольный профиль черенковского образа, отражающий продольное развитие ШАЛ. Использование построенного классификатора частиц по их первичной массе позволяет разделить их на три группы ядер.

Литература

1. Бахромзод Р. Галкин В.И. Поиск оптимальных критериев для выделения широких атмосферных ливней от γ -квантов Ученые записки физического факультета Московского университета. № 3. 2018.
2. Антонов Р.А., Аулова Т.В., Бонвеч Е.А. и др. Регистрация отраженного черенковского света ШАЛ в эксперименте СФЕРА как метод изучения космических лучей. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2015. Т. 46. Вып. I
3. Мукумов А.Р., Галкин В.И. Оценка первичных параметров широкого атмосферного ливня по данным детекторов частиц высокогорных установок. Ученые записки физического факультета Московского университета. № 3. 2018.
4. Antonova R.A., Bonvecha E.A., Chernova D.V., Dzhatdoeva T.A., Galkin V.I., Podgrudkov D.A., Roganova T.M. Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal. Astroparticle Physics 108. 2019.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ИОНИЗИРОВАННОГО ГАЗА В ОКОЛОСОЛНЕЧНОМ ПРОТОПЛАНЕТНОМ ДИСКЕ

Кукса М.М.

ИГиАХ им. В.И. Вернадского РАН, Отдел планетных исследований,

Москва, Россия

E-mail: max@kuksa.ru

Наблюдения газопылевых дисков около звезд солнечного типа и численные расчеты показали, что турбулентность играет важнейшую роль в эволюции протопланетных дисков. Магниторотационная неустойчивость является одним из источников турбулентности, которая обеспечивает эффективный отвод углового момента на периферию диска, а также действует как МГД-динамо, т.е. генерирует и поддерживает магнитное поле в присутствии диссипации [1].

Поскольку магнитные поля и турбулентные течения ионизированного газа оказывают значимое влияние на структуру протопланетных аккреционных дисков, целесообразно построить модель диска, учитывающую согласованное развитие и взаимодействие этих факторов.

Математическую модель газа в режиме развитой турбулентности составляет система осредненных уравнений сжимаемой магнитной гидродинамики при воздействии гравитационного и магнитного поля звезды [2].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} = -\bar{\rho} \nabla \cdot \langle \mathbf{u} \rangle - \langle \mathbf{u} \rangle \nabla \bar{\rho} \\ \frac{\partial \langle \mathbf{u} \rangle}{\partial t} + \langle \langle \mathbf{u} \rangle \cdot \nabla \rangle \langle \mathbf{u} \rangle = -\bar{c}_{s0}^2 \frac{\nabla \bar{\rho}}{\bar{\rho}} \left(\frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho}_0} \right)^{\gamma-1} - \nabla \Phi_{\text{grav}} + \frac{(\nabla \times \bar{\mathbf{B}}) \times \bar{\mathbf{B}}}{4\pi \bar{\rho}} + \\ \quad + 2\nu_{\text{turb}} \left(\frac{\nabla \bar{\rho}}{\bar{\rho}} \cdot \bar{\mathbf{D}} + \nabla \cdot \bar{\mathbf{D}} \right) - \frac{2}{3} \nu_{\text{turb}} \left(\frac{\nabla \bar{\rho}}{\bar{\rho}} \nabla \cdot \langle \mathbf{u} \rangle + \nabla \nabla \cdot \langle \mathbf{u} \rangle \right), \\ \frac{\partial \bar{\mathbf{B}}}{\partial t} = \nabla \times (\langle \mathbf{u} \rangle \times \bar{\mathbf{B}}) - \eta_{\text{turb}} \nabla \times \nabla \times \bar{\mathbf{B}} \\ \bar{\mathbf{B}} = \bar{\mathbf{B}}_{\text{disk}} + \bar{\mathbf{B}}_{\text{star}} \\ \nabla \cdot \bar{\mathbf{B}} = 0 \end{array} \right.$$

где t — время, $\bar{\rho}$ и $\bar{\rho}_0$ — средняя плотность и ее начальное значение, $\langle \mathbf{u} \rangle$ — вектор средней скорости, \bar{c}_{s0} — средняя начальная скорость звука, $\gamma=5/3$ — показатель адиабаты, Φ_{grav} — гравитационный потенциал, $\bar{\mathbf{B}}$ — вектор средней магнитной индукции, $\bar{\mathbf{D}}$ — осредненный тензор деформаций, ν_{turb} — коэффициент турбулентной кинематической вязкости, η_{turb} — коэффициент турбулентной магнитной диффузии.

Моделирование коэффициентов турбулентного переноса ν_{turb} и η_{turb} основывается на подходе [3], учитывающем влияние магнитного поля на турбулентное течение посредством пути смешения. Масштаб турбулентности принят равным толщине диска.

Численное решение системы дифференциальных уравнений ищется в узлах регулярной ортогональной сетки с помощью явной трехэтапной схемы Рунге-Кутты третьего порядка аппроксимации.

Пространственные производные приближаются конечными разностями шестого порядка аппроксимации

$$\frac{\partial f(r_i, z_j)}{\partial r} = \frac{45[f(r_{i+1}, z_j) - f(r_{i-1}, z_j)] - 9[f(r_{i+2}, z_j) - f(r_{i-2}, z_j)] + f(r_{i+3}, z_j) - f(r_{i-3}, z_j)}{60\Delta r},$$

$$\frac{\partial^2 f(r_i, z_j)}{\partial r^2} = \frac{-490f(r_i, z_j) + 270[f(r_{i+1}, z_j) + f(r_{i-1}, z_j)] - 27[f(r_{i+2}, z_j) + f(r_{i-2}, z_j)] + 2[f(r_{i+3}, z_j) + f(r_{i-3}, z_j)]}{180(\Delta r)^2},$$

где Δr — шаг сетки по радиусу. Производные по оси z , совпадающей с осью вращения диска, вычисляются аналогичным образом.

В работе рассматриваются два способа организации параллельных вычислений с использованием Parallel Computing Toolbox в среде MATLAB:

- 1) параллельный код для центрального процессора с несколькими ядрами;
- 2) параллельный код для графического процессора с технологией CUDA.

Проводится сравнительный анализ преимуществ и недостатков каждого из двух вариантов и предлагается оптимальный способ организации параллельных вычислений для конкретной аппаратной конфигурации.

Полученные в результате вычислительных экспериментов распределения осредненной плотности и скорости, конфигурация собственного магнитного поля в диске, а также оценка темпа аккреции вещества на звезду согласуются с наблюдательными данными о классических звездах на стадии Т Тельца.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-02-00507А).

Литература

1. Hawley J.F., Gammie C.F., Balbus S.A. Local three-dimensional simulations of an accretion disk hydromagnetic dynamo // *Astrophys. J.* 1996. V. 464. P. 690–703.
2. Маров М.Я., Кукса М.М. Численное моделирование турбулентных течений ионизованного газа в околосолнечном протопланетном диске // *Астрономический вестник.* 2015. Т. 49. № 5. С. 1–15.
3. Колесниченко А.В., Маров М.Я. О влиянии спиральности на эволюцию турбулентности в солнечном протопланетном облаке // *Астрономический вестник.* 2007. Т. 41. № 1. С. 3–23.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТУРЫ ОЛВЭ

Курбанов А.Т.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: at.kurbanov@physics.msu.ru

В настоящее время, одним из ключевых вопросов астрофизики является происхождение, ускорение, химический состав и распространение галактических космических лучей (ГКЛ). Одной из основных проблем является излом спектра (феномен колена «Христиансена–Куликова», не поддающийся интерпретации на протяжении 60 лет), изучение данного вопроса может прояснить фундаментальные процессы в Галактике.

Необходим эксперимент, который подведет итоги исследований КЛ прошедших десятилетий в области изучения хим.состава и энергетических спектров КЛ, даст информацию для новых исследований в астрофизике на ближайшие десятилетия. Таким экспериментом может стать Обсерватория Лучей Высоких Энергий (ОЛВЭ), которая будет иметь высокий фактор экспозиции, который должен превышать на полтора порядка таковой у всех проведенных и запланированных экспериментов за последние пятьдесят лет исследования.

В данной работе проведено моделирование аппаратуры ОЛВЭ с учетом актуальной геометрии для энергий 0.1–100 ТэВ, проведена обработка полученных банков данных, выявлены наиболее подходящие параметры для выделения первичной энергии и величины зарядового числа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕКОВ ЯДЕР ОТДАЧИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ПОИСКУ ЧАСТИЦ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ NEWSdm

Курочкин Е.В.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

В настоящее время имеются убедительные доказательства существования во Вселенной темной материи. Было достигнуто общее согласие в отношении необходимости расширения чувствительности экспериментов за пределами нейтринного фона и создания направленного чувствительного детектора для дополнительного подтверждения или опровержения результатов, полученных в других экспериментах. Направленно-чувствительные эксперименты по поиску темной материи позволяют выявить присутствие WIMP (слабо взаимодействующих массивных частиц).

В предлагаемом эксперименте NEWSdm (Nuclear Emulsion WIMPSearch dark matter) [1] будет использован детектор на основе ядерных эмульсий для измерения направления движения низко энергичных ядер отдачи, вызванных WIMP. Длина треков отдачи не превышает 1 мкм. Поэтому для их регистрации требуется мелкозернистая ядерная эмульсия с размерами зерна 20 нм 40 нм.

В настоящее время в Японии в университете Нагойя создано производство ядерных эмульсионных пленок с нанометровыми зернами [2]. В нескольких экспериментах продемонстрирована возможность обнаруживать субмикрометрические треки, оставленные ионами низких энергий в таких эмульсионных пленках [3, 4].

В работах японских физиков [2–3] предложен и оттестирован новый метод производства эмульсии с измельченными кристаллами). При этом эффективно контролируется размер кристалла от 20 нм до 50 нм. Авторы назвали два типа созданной эмульсии наноэмульсиями и ультра-наноэмульсиями. Результаты тестирования показали, что эти эмульсии позволяют обнаружить чрезвычайно короткие треки.

Литература

1. A. Aleksandrov et al. (NEWS Collaboration.) NEWS: Nuclear Emulsions for WIMP Search // e-Print: arXiv:1604.04199 [astro-ph.IM]
2. T. Asada et al. The development of a super-fine-grained nuclear emulsion // Prog. Theor. Exp. Phys. 2017, P063H01 (9 pages) DOI: 10.1093/ptep/ptx076
3. M. Kimura et al. WIMP tracking with cryogenic nuclear emulsion // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2017. V. 845. Pp.373–377 J. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.06.052>
4. M. Natsuma et al. Low-velocity ion tracks in fine grain emulsion // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2007. Vol.A 575 . Pp/ 439–443 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.nima.2007.02.109>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ПОИСКА КОСМИЧЕСКИХ СТРУН

Моргунова А.В.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
E-mail: arina.morgunova@yandex.ru

Одно из актуальных направлений наблюдательной астрономии — поиск космических струн. Это предсказываемые широким классом физических теорий одномерные объекты космологических масштабов, которые могли образоваться на ранних стадиях эволюции Вселенной в процессе фазовых переходов или как результат взаимодействия

многомерных пространств. Обнаружение космических струн послужило бы уникальным наблюдательным тестом современных космологических теорий, в том числе, многомерных моделей.

Космические струны обладают рядом хорошо описанных астрофизических свойств, благодаря которым они могут быть обнаружены. Поскольку такие объекты движутся с релятивистскими скоростями, то они могут проявлять себя посредством эффекта Доплера в реликтовом микроволновом фоне (СМВ), [3]. Кроме того, влияя на глобальную структуру пространства-времени, космические струны должны порождать характерные цепочки гравитационно-линзовых событий. Обычные события гравитационного линзирования образуются при искажении лучей света от далеких источников вблизи массивных тел. Однако события гравитационного линзирования на струнах обладают характерным, локализованным вдоль линии, избыточным распределением, что отличает их от событий обычного гравитационного линзирования.

В данной работе ставится задача статистического сравнения количества гравитационно-линзовых пар источников (галактик) в полях, заведомо не содержащих струн, с количеством аналогичных пар в поле, где по данным анизотропии реликтового излучения [3] расположен кандидат в космическую струну. Выявленное различие послужит дополнительным аргументом в пользу наличия в исследуемом поле космической струны.

Сравнительный анализ плотности распределения пар линзированных галактик проводится путем доказательства неоднородности двух наборов статистических данных. Выбранные для этой цели методы математической статистики, а именно непараметрические ранговые критерии сдвига [1, 2], позволяют работать с малыми выборками, законы распределения вероятностей в которых заранее не известны. Кроме того, обсуждаются пределы применимости соответствующих критериев и особенности их практической реализации. В качестве итога проведенной работы предоставляются результаты, указывающие на статистический избыток гравитационно-линзовых событий в исследуемом поле по сравнению с обычными полями.

Литература

1. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006.
3. Sazhina, O.S., Scognamiglio, D., Sazhin, M.V. Observational constraints on the types of cosmic strings // *Eur. Phys. J. C.* 2014, Vol. 74, no. 8. P. 2972.

ГАММА-ТЕЛЕСКОП С КОДИРУЮЩЕЙ МАСКОЙ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ

Новиков А.А.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: novikart@inbox.ru

Одними из объектов изучения космофизики является гамма-всплески — выбросы энергии взрывного характера в самой жёсткой части электромагнитного спектра. Ввиду малой продолжительности некоторых вспышек (сотые доли секунды [2]) необходим детектор, постоянно обзорающий большую область неба. Для этого используются позиционно-чувствительные гамма-телескопы с кодирующей маской [1]. В них направление прихода фотона кодируется до регистрации; изображение неба получается путем последующего декодирования наблюдательных данных.

Направлением моей деятельности является создание рабочего макета гамма-телескопа с позиционно-чувствительным гамма-детектором на основе SiPM для проекта УНИВЕРСАТ. Полученный макет используется для исследования поведения детектора при различных температурах, так как коэффициент усиления кремниевых фотомножителей сильно зависит от температуры. Полученная зависимость позволяет создать обратную связь в детекторе для того, чтобы его работа не зависела от температуры.

Литература

1. Fenimore, E. E., Cannon, T.M. Coded aperture imaging with uniformly redundant arrays // *Applied Optics* 1978, v.17, pp. 337–347.
2. http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0673.html

МОДЕЛЬ ТОКОВОГО ДИСКА ЮПИТЕРА С КУСОЧНО ЗАДАННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ТОКА

Пенсионеров И.А.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
E-mail: pensionerov@gmail.com

Существует множество моделей описывающих магнитное поле токового диска Юпитера. В работе [1] была предложена эмпирическая модель магнитодиска. В этой модели диск расположен в магнитном экваторе и имеет постоянную толщину; плотность тока в диске обратно пропорциональна расстоянию до оси диполя планеты между некоторым внутренним и внешним радиусами, вне этого диапазона она равна нулю. Глобальная модель магнитосферы Юпитера описанная в работе [2] включает собственную модель магнитодиска. В ней диск также расположен строго в магнитном экваторе, но имеет бесконечно малую толщину и плотность тока обратно пропорциональна квадрату расстояния до оси диполя планеты.

Модель описанная в работе [3] использует формализм Эйлеровых потенциалов. Эта модель включает в себя модель не только полоидального, но также и азимутального поля диска. В работе [4] была предложена модель отклонения токового диска от магнитного экватора. В работе [5] модель [3] была существенно развита, в частности было учтено отклонение токового диска от магнитного экватора с помощью параметризации представленной в [4].

Помимо описанных выше эмпирических моделей, существуют так называемые самосогласованные модели. В них рассчитывается баланс электромагнитных сил, силы градиента давления и центробежной силы, действующих на плазму магнитосферы. Для Юпитера такая модель была впервые предложена в работе [6]. Подход был впоследствии развит в работах [7] и [8], где в числе прочего была учтена анизотропия давления плазмы и введена полноценная модель зависимости угловой скорости плазмы от расстояния до планеты.

В этой работе мы представляем новую эмпирическую модель токового диска Юпитера, основанную на успешных элементах предыдущих моделей [1][2][5]. В нашей модели плотность тока зависит от расстояния кусочно, с участками обратно пропорциональными расстоянию до оси диполя планеты и обратно пропорциональными квадрату этого расстояния. В нашей модели учтено отклонение токового диска от магнитного экватора, с помощью подхода аналогичного [5].

Литература

1. Connerney, J. E. P., Acuña, M. H., and Ness, N. F.: Modeling the Jovian current sheet and inner magnetosphere // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 1981. 86, 8370–8384.

2. Alexeev, I. I. and Belenkaya, E. S.: Modeling of the Jovian Magnetosphere // *Annales Geophysicae*. 2005. 23, 809–826.
3. Goertz, C. K.: The current sheet in Jupiter's magnetosphere, *J. Geophys. Res.* 1976. 81(19), 3368–3372.
4. Khurana, K. K.: A generalized hinged-magnetodisc model of Jupiter's nightside current sheet // *J. Geophys. Res.* 1992. 97, 6269.
5. Khurana, K. K.: Euler potential models of Jupiter's magnetospheric field // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 1997. 102, 11 295–11 306.
6. Caudal, G.: A self-consistent model of Jupiter's magnetodisc including the effects of centrifugal force and pressure // *Journal of Geophysical Research*. 1986. 91, 4201.
7. Nichols J. D. Magnetosphere-ionosphere coupling in Jupiter's middle magnetosphere: Computations including a self-consistent current sheet magnetic field model // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2011.
8. Nichols, J. D., Achilleos, N., and Cowley, S. W. H.: A model of force balance in Jupiter's magnetodisc including hot plasma pressure anisotropy, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2015. 120, 10, 185–10, 206.

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОКОВОМ СЛОЕ ХВОСТОВОЙ ОБЛАСТИ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Тоноян Д. С.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
E-mail: cutest.ghost@yandex.ru

Важной задачей физики космической плазмы является определение потоков энергичных заряженных частиц (по большей части электронов), высыпających в авроральную область ионосферы Земли из магнитосферы, так как потоки этих частиц приводят к формированию индуцированных токов в ионосфере, вносящих существенные помехи в работу спутников связи. Одним из наиболее существенных источников таких высыпаний является хвостовая область магнитосферы Земли. Динамика электронов в хвостовой области магнитосферы существенным образом определяется эффективностью их рассеяния в окрестностях экваториальной плоскости на сильных градиентах магнитного поля. Основную роль в таком рассеянии играет токовый слой магнитосферы, в области которого конфигурация силовых линий магнитного поля наиболее способствует эффективному рассеянию электронов. Хорошо исследована простейшая конфигурация силовых линий с единственным минимумом кривизны в окрестности экваториальной плоскости [1]. Однако современные спутниковые наблюдения указывают на существование токовых слоёв, силовые линии магнитного поля в которых обладают минимумом кривизны вдали от экватора [2]. Изучению рассеяния электронов в таких конфигурациях посвящен данный доклад.

Используя модельную форму силовых линий магнитного поля, исследована зависимость интенсивности рассеяния электронов от их энергий и питч-углов для токовых слоев с различными конфигурациями силовых линий. Аналитические результаты сопоставлены с данными численного интегрирования траекторий электронов.

Литература

1. Birmingham T.J. Pitch Angle Diffusion in the Jovian Magnetodisk // *J. Geophys. Res.* V. 89. P. 2406–2420, 1984.
2. Runov A. et al. Dipolarization fronts in the magnetotail plasma sheet // *Planetary and Space Science* 59 (2011) 517–525.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ЗНАЧЕНИЯМИ ПОТОКОВ ПРОТОНОВ ВНЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Трутовская Ю.Б.

МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
E-mail: kikulia@list.ru

Космические лучи (СКЛ и ГКЛ) оказывают существенное влияние на многие процессы, идущие на Земле, а также представляют угрозу для здоровья космонавтов и качества работы электронных приборов в космическом пространстве. Выявление связи между среднегодовыми значениями потоков протонов и числами Вольфа необходимо для долгосрочного прогнозирования потоков протонов в окрестностях Земли, вне ее магнитосферы.

В работе исследована корреляция между годовыми флюенсами протонов вне магнитосферы Земли и числами Вольфа. Были собраны и рассмотрены данные о потоках протонов вне магнитосферы Земли за 1972-2018 годы, полученные на аппаратах серии IMP.

Были рассчитаны годовые флюенсы (интегралы по времени от ежесуточного потока частиц) и рассчитаны их десятичные логарифмы. Дальнейшая задача состояла в построении бинарных отношений значений десятичных логарифмов годовых флюенсов протонов для разных энергий (> 1 МэВ; > 2 МэВ; > 4 МэВ; > 10 МэВ; > 30 МэВ; > 60 МэВ) и среднегодовых чисел Вольфа. Были установлены зависимости годовых флюенсов протонов указанных энергий, а также их среднеквадратичных отклонений, с числами Вольфа.

Была произведена проверка на нормальность распределения при помощи теста на нормально-вероятностной бумаге, а также при помощи критерия Пирсона.

Величины среднего и среднеквадратичного отклонения являются параметрами нормального распределения, на основании чего была вычислена нормальная функция распределения вероятности, которая показывает вероятность, что протонный поток одной из указанной выше энергии не превышает определенного значения.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ 27-ДНЕВНЫХ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ГКЛ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ РАМЕЛА ПРИ ПОМОЩИ КОРОТИРУЮЩИХ ОБЛАСТЕЙ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Юлбарисов Р.Ф.¹, Дунаева О.А.²

НИЯУ «МИФИ», ИЯФУТ, Москва¹, ЯГУ им. П.Г. Демидова, Ярославль²,
E-mail: starwarskust@mail.ru

Работа посвящена анализу характеристик корональных дыр (КД) на Солнце и поиску взаимосвязи между ними и 27-дневными вариациями потока галактических космических лучей (ГКЛ), которые наблюдались в эксперименте РАМЕЛА [1] с сентября 2007 года по сентябрь 2008 года.

Для идентификации корональных дыр создан алгоритм, обрабатывающий цифровые изображения Солнца в УФ диапазоне длин волн, полученные обсерваторией SOHO [2]. При сравнении с результатами аналогичной обработки другими алгоритмами [3] наблюдается согласие, однако предложенный алгоритм является более гибким в использовании и включает настройку критериев поиска КД.

Определение корреляции между характеристиками КД и вариациями потока ГКЛ проводилось при помощи вейвлет-анализа, позволяющего работать с нестационарными временными рядами и выделять 27-дневные гармоники в различные моменты времени. Во временном профиле площади КД обнаружен 27-дневный период, который близок ко времени обращения Солнца вокруг своей оси в экваториальной зоне (рис. 1).



Рис.

1. Зависимость суммарной площади корональных дыр от времени (сверху) и временные вариации потока галактических протонов по данным эксперимента PAMELA (снизу).

Такой же период будут иметь коротирующие области в межпланетном пространстве, которые могут формироваться при взаимодействии высокоскоростного солнечного ветра из области КД с потоком стационарной солнечной плазмы [4]. В результате корреляционного анализа различных характеристик гелиосферы и потока ГКЛ обнаружено, что одним из наиболее важных параметров, определяющих возникновение временных вариаций, является плотность межпланетной плазмы. Это подтверждает формирование коротирующих областей, во взаимодействии с которыми галактические космические лучи приобретают 27-дневную периодичность.

Литература

1. Picozza P., Galper A.M., Castellini G. et al. PAMELA: A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. // *Astroparticle Physics*, v. 27, 2007, p. 296–315.
2. J.-P. Delaboudinière, G.E. Artzner and other: EIT: Extreme-ultraviolet Imaging Telescope for the SOHO mission. // *Solar Physics*, vol.162, 1995, p.291-312.
3. Krista LD, Gallagher PT. 2009. Automated coronal hole detection using local intensity thresholding techniques. // *Sol Phys* 256: 87–100, DOI:10.1007/s11207-009-9357-2.
4. Guo X., Florinski V.: Corotating interaction regions and the 27 day variation of galactic cosmic rays intensity at 1 AU during the cycle 23/24 solar minimum. // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, v. 119, 2014, p. 2411–2429.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА КОСМОСА

Гамма обсерватория TAIGA: статус и перспективы.....	736
Волчугов П.А.	
Метод поиска ШАЛ в данных детектора ТУС и полученные с его помощью результаты.....	737
Гуреев И.А.	
Грозная активность и потоки нейтронов на высотах низкоорбитальных спутников	737
Зиганшин И.И., Антонюк Г.И., Григорьев А.В., Золотарев И.А., Бенгин В.В., Нечаев О.Ю., Петров В.Л., Панасюк М.И., Яшин И.В.	
Анализ свойств аномалий горячего потока у марса	738
Зорина В.О., Шувалов С.Д., Ермаков В.Н., Ким К.И.	
Роль анизотропии электронов в формировании токовых слоёв в хвостовой области магнитосферы Земли.....	739
Камалетдинов С.	
Использование DBM-модели для онлайн прогноза.....	739
Капорцева К. Б.	
Исследование условий формирования неоднородных структур в верхних слоях ионосферы Марса	740
Ким К.И., Шувалов С.Д., Ермаков В.Н., Вайсберг О.Л.	
Поиск новых информативных признаков массы первичного ядра для эксперимента СФЕРА-2.....	740
Кобякова Е.А.	
Численная модель турбулентных течений ионизированного газа в околосолнечном протопланетном диске	741
Кукса М.М.	
Моделирование аппаратуры ОЛВЭ.....	743
Курбанов А.Т.	
Моделирование треков ядер отдачи в эксперименте по поиску частиц темной материи NEWSdm.....	744
Курочкин Е.В.	
Использование непараметрических методов статистики для поиска космических струн	744
Моргунова А.В.	
Гамма-телескоп с кодирующей маской на основе матрицы кремниевых фотоумножителей	745
Новиков А.А.	
Модель токового диска Юпитера с кусочно заданной плотностью тока.....	746
Пенсионеров И.А.	
Рассеяние электронов в токовом слое хвостовой области магнитосферы Земли	747
Тоноян Д. С.	
Связь между значениями потоков протонов вне магнитосферы Земли и солнечной активностью	748
Трутовская Ю.Б.	
Интерпретация измерений 27-дневных вариаций потоков ГКЛ в эксперименте PAMELA при помощи коротящих областей в межпланетном пространстве	748
Юлбарисов Р.Ф., Дунаева О.А.	