

4 раздел

**Результаты исследований и наблюдений, полученные
российскими учеными и специалистами в ходе реализации
летних научных программ в сотрудничестве и при содействии
иностраных ученых и специалистов**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Научно-исследовательский институт ядерной физики имени
Д.В.Скобелева Московского государственного университета имени
М.В.Ломоносова (НИИЯФ МГУ)
2. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН)
3. Годдардовский центр космических полетов НАСА

4.1. Астрофизика космических лучей

4.1.1. Частично ионизованная плазма в астрофизике (Научно-

исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелева Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова)

Частично ионизованную плазму обнаруживают во Вселенной в различных астрофизических средах. Она составляет существенную часть солнечной атмосферы, молекулярных облаков, ионосфер планет и протопланетных дисков и проявляет ряд характеристик, отсутствующих в полностью ионизованной плазме. Обзор включает в себя современный взгляд на частично ионизованную плазму, в том числе, самые последние результаты исследований в тех областях, где частичная ионизация играет важную роль. Мы выделяем наиболее выдающиеся наблюдательные и теоретические результаты и обсуждаем возможные направления развития.

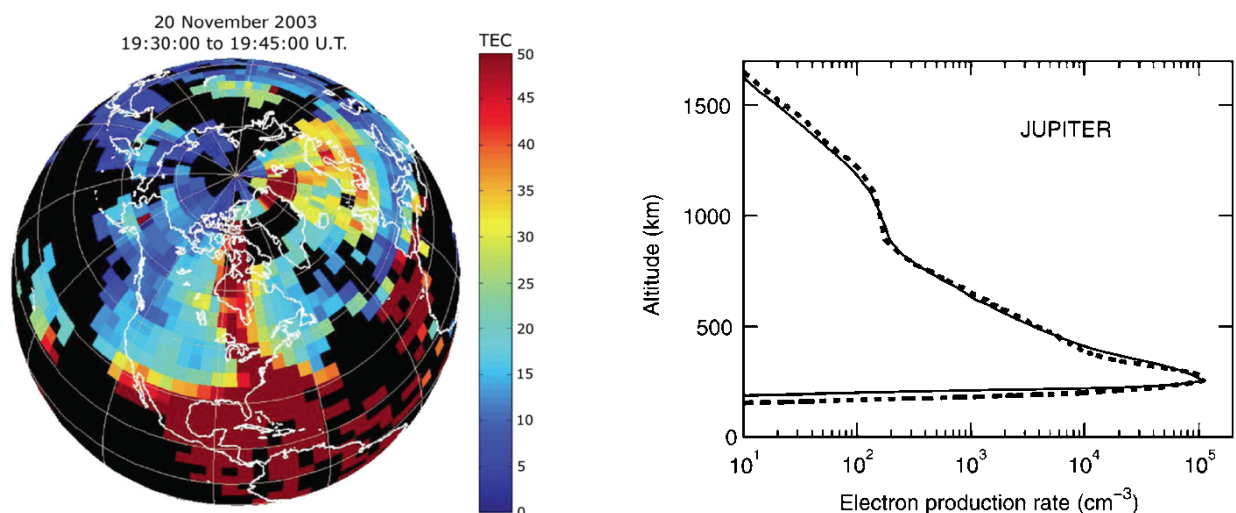


Рис.44. Признаки усиленной бури плотности плазмы в общем содержании электронов (TEC) по наблюдениям 20 ноября 2003 года. Предполагается, что они связаны с эрозией плазмасферы и «выметаются» из внутренней магнитосферы суб-авроральными полями. Сильные градиенты плотности плазмы наблюдались по данным наземных GPS-обсерваторий (рисунок принадлежит A. Coster).

Публикация:

Partially Ionized Plasmas in Astrophysics, Jose Luis Ballester, Igor Alexeev, Manuel Collados, Turlough Downes, Pfaff Robert F., Holly Gilbert, Maxim Khodachenko, Elena Khomenko, Shaikhislamov Ildar F., Roberto Soler, Enrique Vazquez-Semadeni, Teimuraz Zaqarashvili, Space Science Reviews, 2018, arXiv:1707.07975

4.2. Рентгеновская и гамма-астрономия

4.2.1. Наблюдение поляризованного жесткого рентгеновского излучения от Крабовидной туманности по данным PoGOLite Pathfinder *(Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелева Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова)*

Измерена линейная поляризация жесткого рентгеновского излучения от Крабовидной туманности в прежде неисследованном интервале энергий 20-120 кэВ. Измерения поляризованной фракции и угла плоскости поляризации позволяют разделить геометрические и физические эффекты и уточнить геометрию пульсарного ветра и магнитного поля области излучения. Измерения выполнены прибором PoGOLite Pathfinder – поляриметром, запущенном на высотном аэростате на круговую приполярную орбиту. Поляризационные измерения выполнены с применением измерений комптоновского рассеяния в матрице пластических сцинтилляторов расположенной внутри колпака антисовпадатальной защиты. Поляриметрический отклик определялся до полета для поляризованных и неполяризованных калибровочных источников. Измеренная доля поляризованного излучения не превышает 42.4%, при угле поляризации равном примерно (142 ± 16.0) градуса с 99%-ной достоверностью.

Публикации:

«Observation of polarized hard X-ray emission from the Crab by the PoGOLite Pathfinder» Chauvin M., Floren H.-G., Jackson M., Kamae T., Kawano T., Kiss M., Kole M., Mikhalev V., Moretti E., Olofsson G., Rydstroem S., Takahashi H., Iyudin A., Fukazawa Y., Kataoka J., Kawai N., Mizuno T., Ryde F., Tajima H., Takahashi T., Pearce M., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 456, Issue 1, p.L84-L88, (02/2016) .

«The design and flight performance of the PoGOLite Pathfinder balloon-borne hard X-ray polarimeter» Chauvin M., Floren H.-G., Jackson M., Kamae T., Kawano T., Kiss M., Kole M., Mikhalev V., Moretti E., Olofsson G., Rydstroem S., Takahashi H., Lind J., Stroemberg J.-E., Welin O., Iyudin A., Shifrin D., Pearce M., Experimental Astronomy, Volume 41, Issue 1-2, pp. 17-41 (02/2016) .

4.3. Космическая физика

4.3.1. Зарождение и ранний этап развития биполярных магнитных областей и групп пятен *(Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелева Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова)*

Разработаны процедуры разносторонней обработки полновекторных наблюдательных данных Hinode и SDO/HMI о магнитном поле и поле скоростей в двух зарождающихся магнитных областях. Эта обработка выявила ряд черт динамики полей на раннем этапе эволюции. Картина этих процессов оказалась резко противоречащей той, которая должна следовать из известной модели всплывающей трубки магнитного потока.

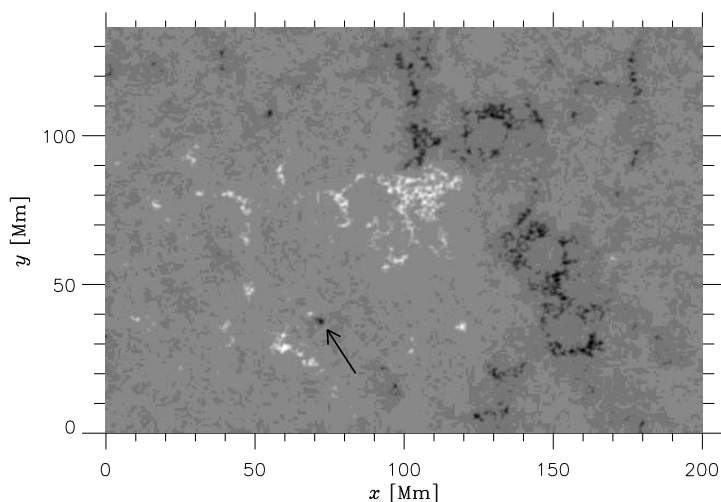


Рис.45. Магнитограмма, иллюстрирующая зарождение биполярной магнитной области. Стрелка показывает магнитный элемент головной полярности, возникший в непосредственной близости к хвостовой полярности.

Публикации:

A.V. Getling, R. Ishikawa, A.A. Buchnev, Doubts about the crucial role of the rising-tube mechanism in the formation of sunspot groups, Advances in Space Research, v. 55, no. 3, pp. 862–870, 2015, doi:10.1016/j.asr.2014.07.024.

A.V. Getling, R. Ishikawa, A.A. Buchnev, Development of active regions: flows, magnetic-field patterns and bordering effect, Solar Physics, v. 291, no. 2, pp. 371–382, 2016, DOI: 10.1007/s11207-015-0844-3.

4.3.2. Надтепловые ионы ^4He , O и Fe на 1 а.е. в спокойное время в 2006–2012 гг. *(Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова)*

Исследуются энергетические спектры ионов ^4He , O и Fe с энергиями 0.04–2 МэВ/нуклон по данным прибора ULEIS на к.а. ACE в спокойное время в 2006–2012 гг. В минимуме 23 цикла нами ранее были выделены 35 периодов, в течение которых на 1 а.е. регистрировались надтепловые ионы в потоках солнечного ветра из приэкваториальных корональных дыр (КД). Полученные здесь спектры надтепловых ионов из КД были аппроксимированы либо степенной функцией либо комбинацией степенной функции и экспоненциальной. По модели Фиска и Глеклера стохастическое ускорение ионов в спокойное время в турбулентной среде приводит к спектру ионов в виде произведения функций степенной и экспоненциальной, при показателе степени $\gamma = 1.5$. В настоящей

работе при аппроксимации 98 спектров были получены величины $2 < \gamma < 6$, что, возможно, указывает на другие условия в областях ускорения частиц в потоках солнечного ветра из КД.

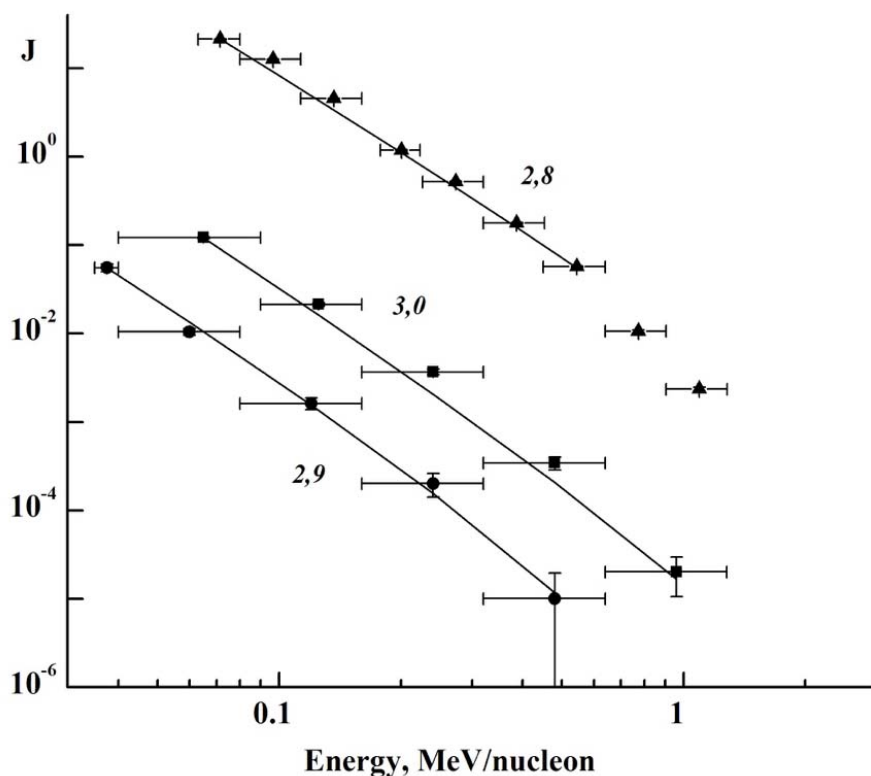


Рис.46. Энергетические спектры ионов ^4He (треугольники), O (квадраты) и Fe (кружки) в потоке солнечного ветра 6-9.08.2009 на 1 а.е. из приэкваториальной корональной дыры SN376. Сплошными линиями обозначены аппроксимации спектров произведением степенной и экспоненциальной функций $J = J_0 \cdot (E - \gamma) \cdot \exp(-E/E_0)$. Показатели γ степенной составляющей спектров ионов даны цифрами над линиями аппроксимации. Величины E_0 определены в модели Фиска. Интенсивность ионов J дана в частицах $(\text{см}^2\text{с ср МэВ/нуклон})^{-1}$.

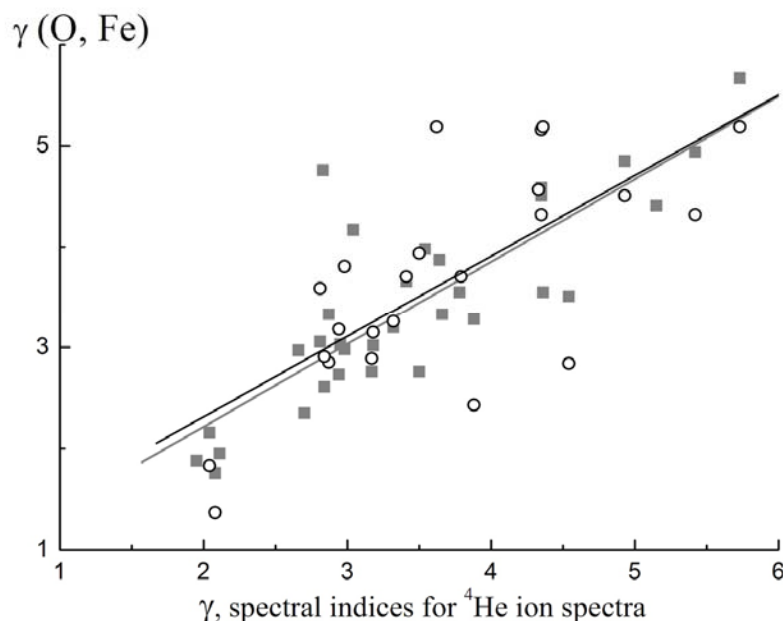


Рис.47. Показатели энергетических спектров надтепловых ионов O (квадраты) и Fe(кружки) в зависимости от показателей спектров надтепловых ионов ^4He в солнечном ветре из 33 приэкваториальных корональных дыр в 2006-2010 гг., потоки надтепловых ионов из этих КД были определены и исследованы по данным ACE/ULEIS.

Публикация:

М.А. Зельдович, Ю.И. Логачев. Надтепловые ионы ^4He , O, Fe на 1 а.е. в спокойное время в 2006-2012 гг. ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2017, Т. 81, № 2, С. 159-161. DOI: 10.7868/S0367676517020478.

4.3.3. Эволюция зарядового состояния солнечного ветра (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелевича Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова)

В рамках сотрудничества НИИЯФ МГУ и ФИАН РАН было проведено комплексное исследование нескольких корональных выбросов массы (КВМ) 2-4 августа 2011 г., транзиентные потоки от которых вызвали сильное геомагнитное возмущение 5 августа 2011 г. Для исследования корональных источников и формирования КВМ были изучены кинематические и термодинамические свойства расширяющихся корональных структур с использованием изображений с космической обсерватории SDO/AIA в ВУФ диапазоне и дифференциальной меры эмиссии. Используя результаты диагностики плазмы и МГД-моделирования, были рассчитаны отношения зарядов ионов углерода ($\text{C}^{6+}/\text{C}^{5+}$) и кислорода ($\text{O}^{7+}/\text{O}^{6+}$), а также среднее зарядное состояние ионов железа $Q\langle\text{Fe}\rangle$ для КВМ от 2 августа 2011 года с учетом процессов нагрева, охлаждения, расширения, ионизации и рекомбинация движущейся плазмы в короне до области «замерзания» ионного состава

плазмы солнечного ветра. Вычисленные значения ионных отношений и среднего заряда железа согласуются с измеренным in-situ в предположении, что расширяющаяся плазма нагревается дополнительным источником. Вероятная скорость нагрева плазмы KBM в низкой короне была оценена путем сопоставления рассчитанных параметров ионного состава KBM с измеренными параметрами in situ. Средняя мощность нагрева уменьшалась с высотой от $\sim 5\text{--}6 \times 10^{-3}$ [эрг $\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$] при $0,5 \div 1,5$ солнечных радиусах до $\sim 1\text{--}2 \times 10^{-5}$ [эрг $\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$] при $1,5 \div 5$. Понимание формирования транзитных потоков в солнечной короне является важным фактором для моделирования и прогнозирования космической погоды.

Публикации:

Rodkin D. D., Goryaev F., Pagano P., Gibb G., Slemzin V., Shugay Yu., Veselovsky I., Mackay D. H. *Origin and Ion Charge State Evolution of Solar Wind Transitions during 4 – 7 August 2011* *Solar Physics*, V 292, № 7, PPC. 90, 2017 DOI: 10.1007/s11207-017-1109-05.1.5. *Study of proton acceleration in solar flares using gamma-ray observations.*

4.3.4. Продольные токи в магнитосфере Сатурна (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова)

На основании данных КА CASSINI построена модель токов в магнитосфере Сатурна, ориентированных по направлению магнитного поля.

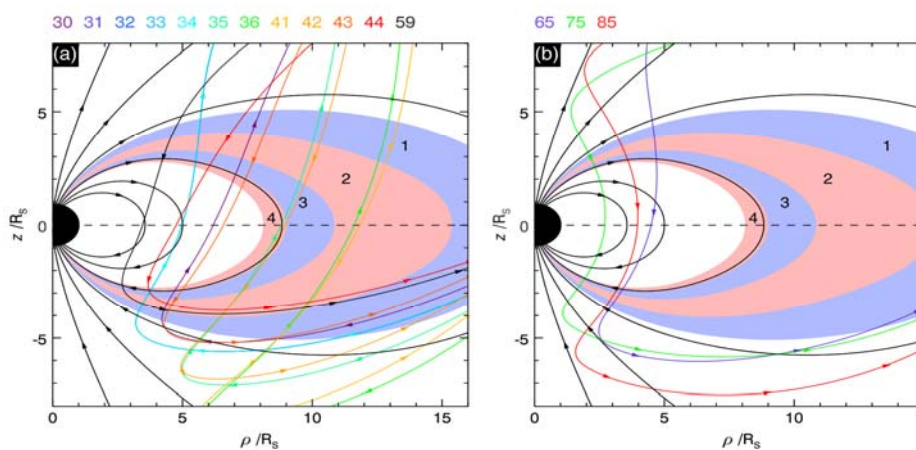


Рис. 48. Слева: Проекция траекторий Cassini на магнитную меридиональную плоскость в цилиндрических координатах (ρ, z) , где z – расстояние вдоль спина планеты, ρ – расстояние от оси. Справа: Траектории оборотов в 2006-2007 гг., использованные в данном исследовании – 30-36, 41-44 обороты и оборот 59 (2008 г.) Цветовое обозначение траекторий приведено в верхней части каждого рисунка, стрелочками показано направление движения КА. Черные линии со стрелками обозначают силовые линии с интервалом 5° .

4.4. Исследования космических гамма-всплесков в российско-американском эксперименте КОНУС-ВИНД на американском космическом аппарате «Винд» *(Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе Российской академии наук, Годдардовский центр космических полетов НАСА)*

Российско-американский эксперимент по исследованию космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров КОНУС-ВИНД успешно проводится на американском космическом аппарате «Винд» с помощью российской научной аппаратуры КОНУС непрерывно с ноября 1994г. по настоящее время. Благодаря высокой чувствительности, исключительно благоприятному месту наблюдений в межпланетном пространстве и детальной программе наблюдений эксперимент КОНУС-ВИНД является уникальным источником информации о временных и спектральных характеристиках гамма-всплесков в широком интервале энергий от 20 кэВ до 15 МэВ. Эти данные составляют неотъемлемую часть современных всеволновых исследований источников гамма-всплесков на космических аппаратах и сети наземных оптических и радиотелескопов и широко востребованы.

1. Методика исследований.

Российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД по исследованию космических гамма-всплесков проводится с на американском космическом аппарате «Винд» с ноября 1994г. по настоящее время с помощью научной аппаратуры КОНУС ФТИ им.А.Ф.Иоффе . Аппаратура находится в исключительно благоприятных условия для наблюдения гамма-всплесков. Орбита космического аппарата расположена вне магнитосферы Земли, обеспечивая тем самым возможность непрерывных наблюдений всей небесной сферы, при стабильном радиационном фоне в отсутствии помех от радиационных поясов и затенения Землей.

Аппаратура КОНУС-ВИНД представляет собой сцинтилляционный гамма-спектрометр, состоящий из двух идентичных детекторов гамма-квантов и электронного блока для регистрации и предварительной обработки сигналов детекторов. Каждый детектор содержит кристалл NaI(Tl) диаметром 130 мм и высотой 75 мм, помещенный в тонкостенный алюминиевый контейнер с бериллиевым входным окном толщиной 1,5 мм и свинцовым стеклом высокой прозрачности для защиты от фона космического аппарата в мягкой области спектра. Такой детектор обеспечивает низкий энергетический порог регистрации излучения 10 – 12 кэВ, диапазон регистрации гамма-квантов до 15 МэВ с энергетическим разрешением 8,5 – 9,0 % на линии Cs137 и чувствительность обнаружения всплесков на уровне $\sim 10^{-7}$ эрг см⁻². По степени защиты детекторов от фона космического

аппарата и ширине энергетического диапазона детекторы эксперимента КОНУС-ВИНД не имеют аналогов в мировой практике наблюдений всплесковых явлений. Детекторы размещены на стабилизированном вращением космическом аппарате таким образом, что они непрерывно осматривают, соответственно, северную и южную небесные полусферы.

Аппаратура функционирует в двух основных режимах: режиме регистрации всплеска и в режиме ожидания всплеска, в котором измеряется фоновое рентгеновское и гамма-излучение также в трех энергетических интервалах: 20 кэВ – 70 кэВ, 70 кэВ – 300 кэВ, 300 кэВ – 1100 кэВ, а также регистрируется скорость счета заряженных частиц с энерговыделением в детекторах более 10 МэВ. Номинальное значение нижних энергетических порогов детекторов в начале эксперимента составляло 12 кэВ. При многолетней непрерывной работе коэффициенты усиления детекторов медленно уменьшались. Возможности их коррекции по командам с Земли были исчерпаны в 1997г. По состоянию на конец 2005 г. нижний порог детектора, осматривающего южную небесную полусферу, составляет 21,5 кэВ, северную – 18,5 кэВ. Для удобства сравнения при обработке данные приводятся к порогу 20 кэВ.

Эксперимент КОНУС-ВИНД имеет следующие преимущества по сравнению с другими приборами, осуществляющими в настоящее время наблюдения космических гамма-всплесков:

1. Аппаратура имеет исключительно благоприятные условия наблюдения гамма-всплесков. Космический аппарат почти все время находится вне магнитосферы Земли, обеспечивая тем самым стабильный радиационный фон, отсутствие помех от радиационных поясов и затенения Землей и возможность непрерывных наблюдений.
2. Два детектора аппаратуры постоянно осматривают всю небесную сферу обеспечивая возможность с одинаковой чувствительностью регистрировать гамма-всплески, приходящие с любых направлений.

В силу указанных выше причин эксперимент КОНУС-ВИНД является в настоящее время уникальным источником наиболее полных данных о временных, спектральных и энергетических характеристиках космических гамма-всплесков в широкой области энергий от 20 кэВ до 15 МэВ.

2. Результаты исследования космических гамма-всплесков в эксперименте КОНУС-ВИНД в период 2016-2017 гг.

- 2.1. Важным результатом исследований стала подготовка и публикация второго каталога коротких гамма-всплесков эксперимента КОНУС-ВИНД (D.S. Svinkin et

al, *Astrophysical Journal Supplement Series*. 224:10, 2016 May). В каталоге представлены результаты систематического изучения 295-ти коротких гамма-всплеска, зарегистрированных в эксперименте в период с 1994 по 2010г.г. На основе данных временного и спектрального анализа гамма-всплесков в каталоге рассмотрены длительности всплесков, временные задержки между компонентами излучения всплесков с различной энергией, результаты описания формы энергетических спектров всплесков тремя модельными функциями, общие энергетические потоки всплесков и пиковые потоки излучения для всех включенных в каталог коротких всплесков. В каталоге обсуждаются свидетельства присутствия дополнительной степенной спектральной компоненты и компоненты дополнительного излучения (extended emission) у части коротких гамма-всплесков. База данных эксперимента КОНУС-ВИНД по коротким всплескам с дополнительным излучением наиболее полная в настоящее время. В заключение, рассматриваются два типа событий, приводящих к коротким гамма-всплескам – в результате слияния релятивистских объектов и в результате их коллапса.

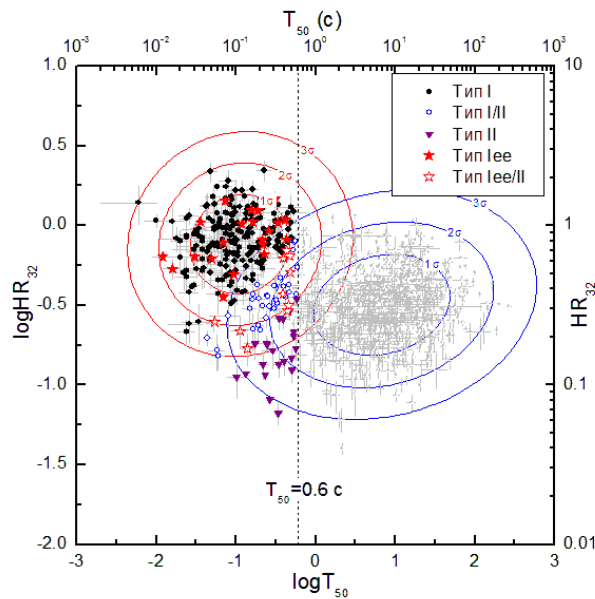


Рис. 1. Классификация 1143 ярких гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте Конус-Винд. Черные точки – всплески, связанные со слияниями компактных объектов: двух нейтронных звёзд или нейтронной звезды и чёрной дыры (Тип I). Круги – неопределённый тип (I/II), треугольники – всплески, связанные с коллапсом ядра массивных звёзд (Тип II), звёздами показаны начальные импульсы всплесков типов Iee (Тип I с продлённым излучением) и Iee/II (короткие всплески с продлённым излучением, начальный импульс которых отнесён к неопределённому типу). Вертикальной пунктирной линией обозначена граница между длинными и короткими всплесками $T_{50} = 0.6$ с.

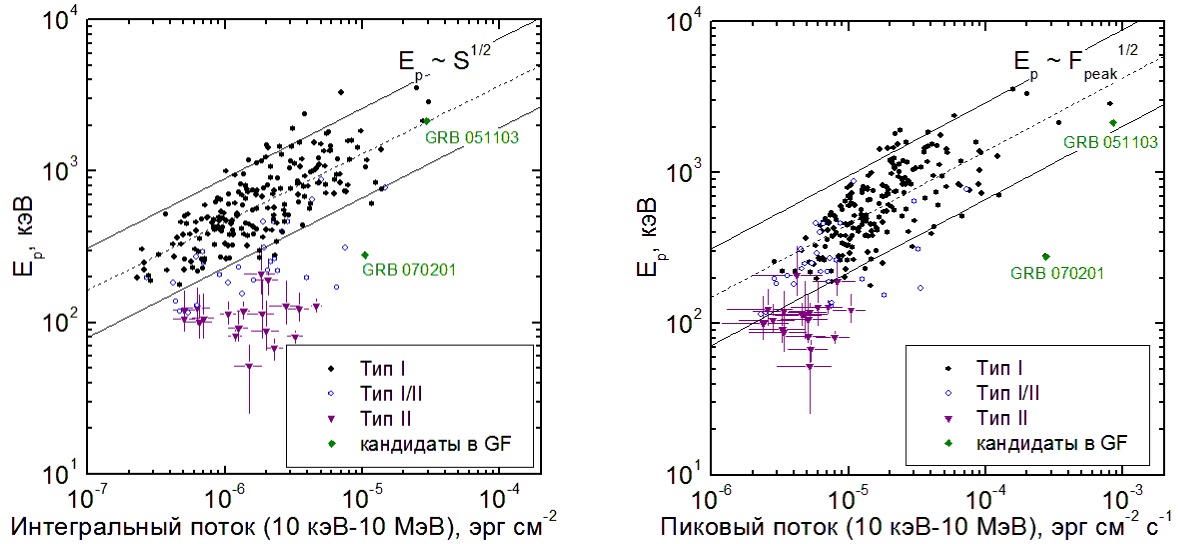


Рис. 2. Соотношения жёсткость-интенсивность. На левой панели показано соотношение пиковой энергии спектра (E_p) и интегрального энергетического потока (S) для 204 всплесков типа I; 29 всплесков типа I/II (пустые точки); и для 19 всплесков типа II (треугольники). На правой панели показано соотношение E_p и пикового энергетического потока на масштабе 16 мс (F_{peak}) для того же набора всплесков. Для всплесков типов I и I/II ошибки не показаны. Кандидаты в гигантские вспышки магнетаров в близких галактиках обозначены ромбами. Пунктирная линия соответствует степенной аппроксимации соотношений для всплесков типа I, в обоих случаях индекс близок к 0.5, сплошные линии - границы области, содержащей 90% всплесков типа I.

2.2 Еще одним важным результатом эксперимента КОНУС-ВИНД явилось исследование гамма-всплесков с известным космологическим «красным смещением» (А. Tsvetkova et al., *Astrophysical Journal*, 830, 161, 2017 December 1). В опубликованном каталоге таких событий представлены результаты систематического изучения гамма-всплесков с известными надежно определенными красными смещениями, зарегистрированными в эксперименте КОНУС-ВИНД в триггерном режиме в период с февраля 1997г. до июня 2016г. Набор таких событий состоит из 150 гамма-всплесков (включая 12 коротких жестких всплесков) и представляет собой наибольший в настоящее время набор гамма-всплесков с известным космологическим «красным смещением», изученным в широкой области энергий. На основании временного и спектрального анализа всплесков в каталоге представлены длительности гамма-всплесков, спектральные задержки, результаты фитирования спектров всплесков двумя модельными функциями, полные потоки энергии и пиковые потоки энергии во всплесках. На основании космологических красных смещений всплесков z , которые охватывают диапазон от 0,1 до 5 оценивается

энергия всплесков в системе координат источника, изотропно эквивалентная энергия и пиковая светимость всплесков. Для 32-х гамма-всплесков с разумно ограниченными изломами в кривых яркости приводятся поправленные на коллимацию излучения значения энергетики всплесков. Рассмотрены соотношения Амати и Ионетоку для всплесков с известными космологическими красными смещениями. Поправки на коллимацию излучения не улучшают применимость указанных выше соотношений для гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте КОНУС-ВИНД. Обсуждается влияние инструментальных эффектов селекции на параметры распределений гамма-всплесков и оценивается горизонт регистрации всплесков в эксперименте КОНУС-ВИНД, который простирается до $z \sim 16.6$, что подчеркивает значимость гамма-всплесков как инструмента исследования ранней Вселенной. Принимая во внимание пороги аппаратуры КОНУС-ВИНД, оценены светимость всплесков, ее эволюция и изотропное выделение энергии в гамма-всплесках с известным космологическим красным смещением и определено, что эти данные находятся в хорошем согласии с данными других экспериментов.

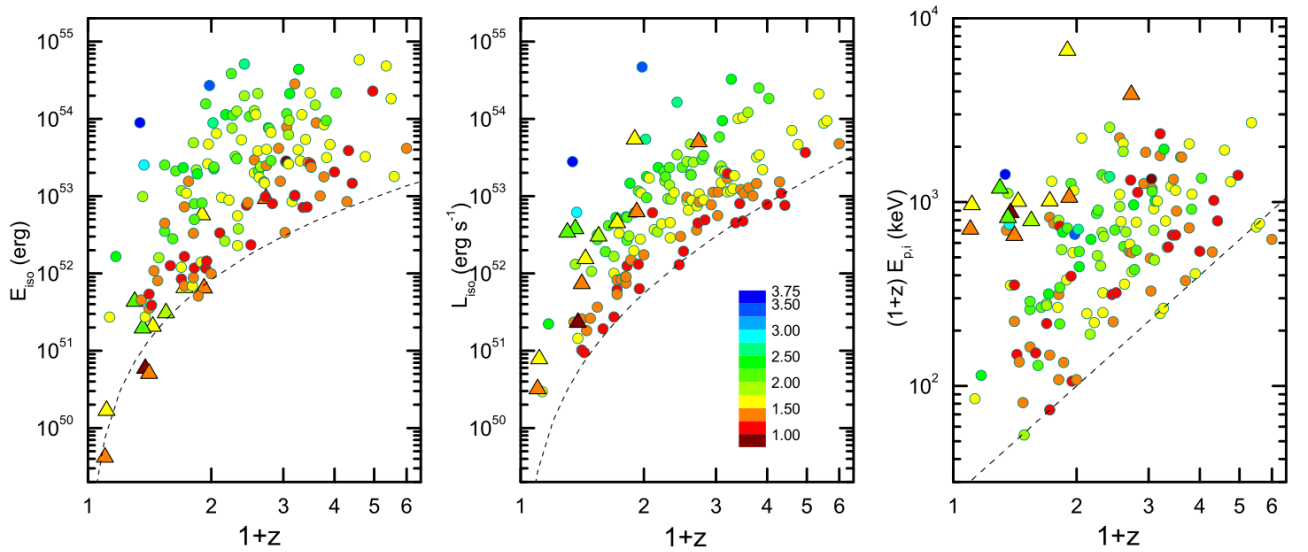


Рис. 3. Зависимость изотропного энерговыделения (E_{iso}), изотропной пиковой светимости (L_{iso}) и пиковой энергии интегрального спектра ($E_{p,i}$) в космологической системе отсчёта от красного смещения гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте Конус-Винд. Всплески типа I обозначены треугольниками, всплески типа II — окружностями. Цвет символов соответствует логарифму статистической значимости всплеска в единицах стандартных отклонений фона. Штриховыми линиями обозначены пороговые значения энергетики и пиковой энергии, определяющие наблюдательную селекцию в космологической системе отсчёта.

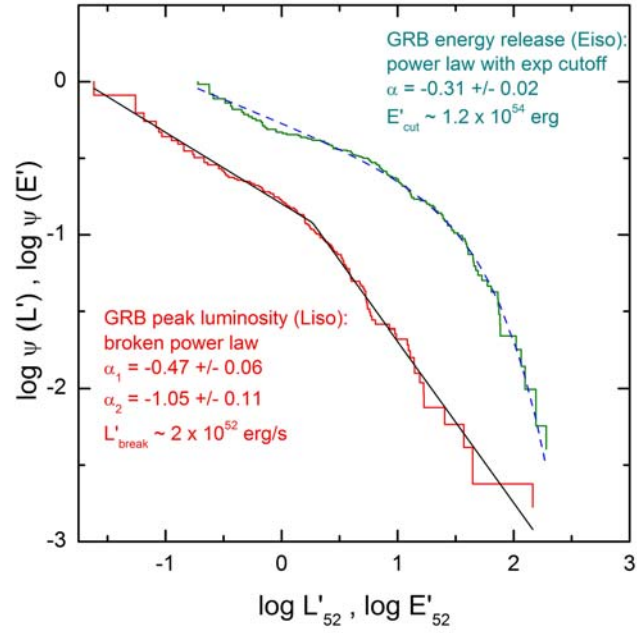


Рис. 4. Кумулятивные функции изотропной светимости и изотропного энерговыделения. Функции светимости (красная гистограмма) и энерговыделения (зелёная гистограмма), полученные без коррекции на эволюцию энергетики. Справа: функции светимости (красная гистограмма) и энерговыделения (зелёная гистограмма), полученные с учётом коррекции на эволюцию энергетики: $L' = L_{iso}/(1+z)^{1.7}$ и $E' = E_{iso}/(1+z)^{1.1}$. Распределения нормированы на единицу в точках, соответствующих наименьшей энергетике. Штриховой линией обозначены наилучшие аппроксимации двухстепенной моделью и степенной моделью с экспоненциальным завалом для функций светимости и энерговыделения, соответственно.

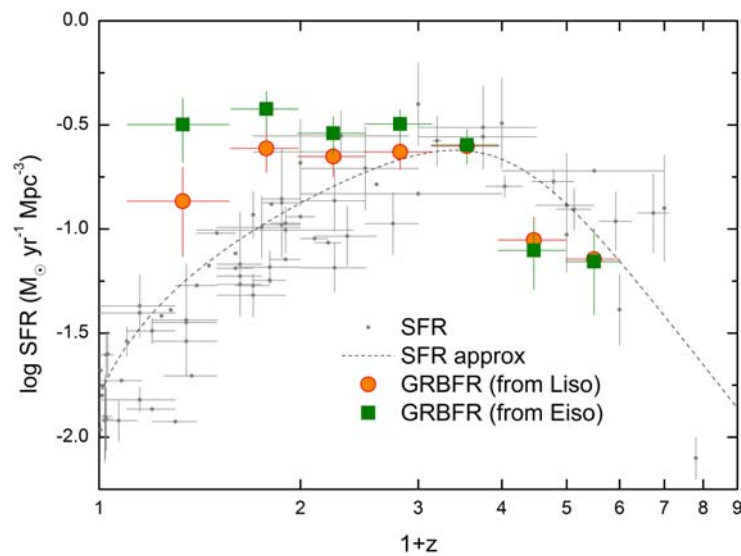


Рис. 5. Сравнение темпа образования гамма-всплесков по данным эксперимента КОНУС-ВИНД со скоростью звездообразования (SFR) по данным из литературы. Темп

образования гамма-всплесков вычислен по двум наборам данных: $z-L'$ и $z-E'$ (квадраты с заливкой). Серыми точками обозначена скорость звездообразования из литературы. Сплошной чёрной линией обозначена аппроксимация скорости звездообразования из работы Li L.-X., MNRAS 2008, 388, 1487. Нормировка темпа образования гамма-всплесков соответствует скорости звездообразования при $(1+z) \sim 3.5$.

- 2.3 Еще одно исследование гамма-всплесков с известным космологическим красным смещением было выполнено по данным экспериментов КОНУС-ВИНД и Ферми/ГБМ, двух приборов, которые измеряют форму спектра гамма-всплесков и их энергетику наиболее точно (J.-I. Atteia, ... D.D. Frederiks et al, Astrophysical Journal, 837, 119, 2017, March 10). Гамма-всплески являются источниками экстремальных потоков электромагнитной энергии, выделяющейся на протяжении коротких интервалов времени. Потоки гамма-излучения, выделяющиеся на протяжении нескольких секунд в источнике всплеска, являются настолько яркими, что они наблюдаются в видимой части Вселенной. Изучение этих экстремальных по энергетике событий может дать ключ к пониманию природы источников всплесков и физических процессов в их источниках. В работе рассмотрены гамма-всплески с космологическим красным смещением $z = 1-5$, которые содержат большое число гамма-всплесков с высокой энергетикой. В работе предложен простой метод определения пределов яркости таких гамма-всплесков. Было найдено, что распределение энергии гамма-всплесков с указанными выше значениями z не может быть описано простым степенным законом и требует резкого порога выше $1-3 \times 10^{54}$ эрг. Результаты работы позволяют рассматривать эту особенность как внутренний предел на выделяемую в гамма-всплеске энергию в единице телесного угла.
- 2.4 Данные эксперимента КОНУС-ВИНД сыграли важную роль в исследовании природы экстраординарного по яркости всплеска GRB160625B, наблюдавшегося одновременно в гамма-лучах и оптическом диапазоне длин волн (B.B. Zhang, ... R. Aptekar, et al, Nature Astronomy, vol. 2, January 2018, 69-75). В гамма-диапазоне излучение всплеска состояло из трех изолированных эпизодов, разделенных длительными периодами малой интенсивности излучения всплеска с длительностями эпизодов 0,8 сек, 35 сек и 212 сек. Высокая интегральная яркость всплеска позволила провести детальный спектральный и временной анализ каждого эпизода от «прекурсора» до основного эпизода и «продленного» излучения всплеска. Спектральные свойства первых двух эпизодов всплеска четко различаются позволяя впервые наблюдать переход от теплового к нетепловому механизму генерации излучения в пределах одного гамма-всплеска.

2.5 Эксперимент КОНУС-ВИНД как опорный сегмент межпланетной сети IPN космических аппаратов с детекторами гамма-излучения принял участие в поиске гамма-излучения от источника гравитационных волн LIGO GW150914 (K. Hurley, D.S. Swinkin et al, Astrophysical Journal Letters, 812, L12, 2016 September 20). Был выполнен поиск переменных источников гамма-излучения произвольной длительности и с произвольным энергетическим спектром вокруг времени гравитационного события LIGO GW150914 по данным сети из 6 космических аппаратов с детекторами гамма-излучения (IPN). Четыре гамма-всплеска было зарегистрировано в течение 30 часов до события LIGO и в течение 6,1 часа после, но ни один из них не мог быть ассоциирован с событием LIGO. Не было зарегистрировано транзиентного события в диапазоне энергий 15-150 кэВ с потоками $5 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-7}$ эрг см⁻². В работе обсуждается стратегия поисков гамма-всплесков, которые могут быть ассоциированы с событиями LIGO и сообщается об отрицательном результате поиска в данных эксперимента Fermi/GBM в связи с событием GW150914.

2.6 База данных солнечных вспышек, зарегистрированных инструментом КОНУС-ВИНД.

Данные для всех солнечных вспышек, зарегистрированных КОНУС-ВИНД в триггерном режиме в настоящее время, опубликованы он-лайн по адресу <http://www.ioffe.ru/LEA/kwsun/index.html>. База данных содержит энергетические спектры и матрицы отклика детектора в формате FITS, наряду с кривыми блеска в каналах G1, G2, G3 в форматах ASCII и IDL SAV. Подробное описание данных и работы с ними также доступно на сайте базы данных <http://www.ioffe.ru/LEA/kwsun/kw-info.html>. Новые наблюдения добавляются в базу по мере их поступления. На рисунке представлен скриншот страницы из базы KW-Sun с данными по вспышке класса X9.3 2017-Sep-06. Энергетический диапазон КОНУС-ВИНД (в настоящее время ~20 кэВ – 15 МэВ) покрывает область излучения от ускоренных в солнечных вспышках электронов и ионов, высокое временное разрешение в триггерном режиме позволяет изучать тонкие временные структуры жёсткого рентгеновского излучения Солнца. На данный момент КОНУС-ВИНД является единственным инструментом в жёстком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах, наблюдавшем полностью два одиннадцатилетних солнечных цикла, что, наряду с широким энергетическим диапазоном и отсутствием затенений Землёй, делает базу данных KW-Sun уникальной.

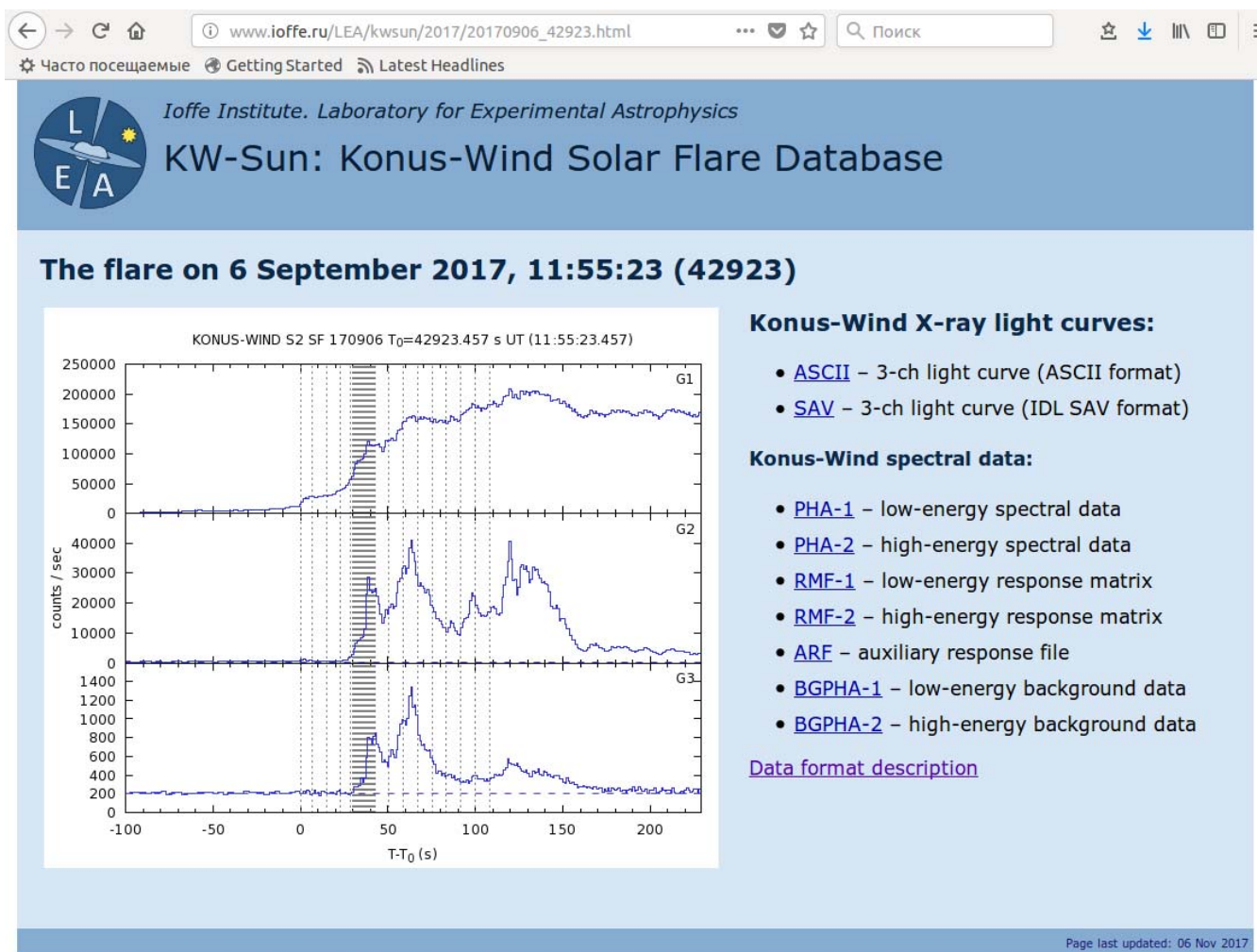


Рис. 6. Пример страницы сайта базы данных о солнечных вспышках эксперимента КОНУС-ВИНД.

Заключение

Российско-американский эксперимент КОНУС-ВИНД, который успешно функционирует на протяжении более 23-х лет, предоставляет важные и, часто, уникальные данные о различных характеристиках космических гамма-всплесков и других транзиентных источниках гамма-излучения в области энергий 20 кэВ – 15 МэВ. Эксперимент КОНУС-ВИНД по важности, качеству и полноте получаемой информации занимает одно из лидирующих мест в исследованиях экстремальных взрывных явлений во Вселенной. Благодаря высокой чувствительности аппаратуры, оптимальной программе регистрации временных и спектральных характеристик гамма-всплесков и орбите аппарата в межпланетном пространстве данные эксперимента КОНУС-ВИНД широко востребованы в современных исследованиях космических гамма-всплесков.