

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЫСЫПАНИЙ ЧАСТИЦ ИЗ РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ И КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

Д.Н. Морозова, А.Г. Майоров

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия
dashial10999@mail.ru

RELATIONSHIP BETWEEN PARTICLE PRECIPITATION FROM THE EARTH'S RADIATION BELT AND COSMIC GAMMA-RAY BURSTS

D.N. Morozova, A.G. Mayorov

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
dashial10999@mail.ru

Аннотация. В работе изучается взаимосвязь высыпаний частиц из радиационного пояса Земли и космических гамма-всплесков. Для этого используются экспериментальные измерения потоков заряженных космических лучей в эксперименте PAMELA и наблюдения гамма-всплесков обсерваторией Fermi. Оба прибора одновременно работали на околоземной орбите в 2008–2016 гг. Для поиска возможного сигнала от взаимодействия гамма-всплеска с захваченными заряженными частицами построены ежемесячные фоновые карты темпов счета детекторов времяпролетной системы прибора PAMELA. Анализовалась разница между фоновым темпом счета и темпом счета в момент прихода гамма-всплеска (за несколько минут до и после). Найдено два события, когда возникает значимое отклонение темпа счета от фоновых значений в момент прихода гамма-всплеска. Осуществлен анализ достоверности обнаруженного эффекта путем вычисления количества стандартных отклонений в распределении разницы темпов счета.

Ключевые слова: радиационный пояс, высыпания, гамма-всплеск, PAMELA, Fermi.

Abstract. The paper studies the relationship between particle eruptions from the Earth's radiation belt and cosmic gamma-ray bursts. For this purpose, experimental measurements of charged cosmic ray fluxes in the PAMELA experiment and observations of gamma-ray bursts by the Fermi Observatory are used. Both instruments simultaneously operated in near-Earth orbit in the period from 2008 to 2016. To search for a possible signal from the interaction of a gamma-ray burst with captured charged particles, monthly background maps of the counting rates of the detectors of the time-of-flight system of the PAMELA device are constructed. The difference between the background counting rate and the counting rate at the arrival time of the gamma-ray burst (a few minutes before and after) was analyzed. We found two events with a significant deviation of the counting rate from the background value at the arrival time of the gamma-ray burst. The reliability of the detected effect is analyzed by calculating the number of standard deviations in distribution of the difference in counting rates.

Keywords: radiation belt, precipitations, gamma-ray burst, PAMELA, Fermi.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент проводятся эксперименты, посвященные регистрации потоков заряженных частиц в околоземном пространстве [Александрин и др., 2009; Александров и др., 1988; Бакалдин и др., 2007; Akimov et al., 1988; Baker et al., 1993; Voronov et al., 1991]. Одними из важных результатов этих исследований являются наблюдения периодически происходящих в широком диапазоне энергий всплесков заряженных частиц [Александрин и др., 2015; Гальпер и др., 1988; Aleksandrin et al., 2003; Aleksandrin et al., 2015; Galper et al., 1995; Molchanov et al., 1992]. Изучается взаимосвязь высыпаний частиц из радиационных поясов Земли с всплесками высокоэнергетических частиц, источниками которых являются различные солнечно-магнитные и геофизические процессы, в том числе катастрофические. Однако не обнаружено работ, в которых внимание уделяется изучению подобного эффекта в случае электромагнитных импульсов, имеющих галактическое или внегалактическое происхождение. Целью данной работы является поиск взаимосвязи высыпаний частиц из радиационных поясов Земли и космических гамма-всплесков (ГВ) с помощью данных экспериментов PAMELA [Picozza et al., 2007] и Fermi [von Kienlin et al., 2020].

Космический эксперимент PAMELA проводился с 2006 по 2016 г. и предназначался для изучения

потоков заряженных частиц в околоземном пространстве, в том числе под внутренним радиационным поясом Земли. В частности, эксперимент позволяет анализировать временную зависимость темпов счета регистрируемых событий. В 2008 г. на орбиту была запущена космическая гамма-обсерватория Fermi Gamma-ray Space Telescope, в состав которой входит аппарат Gamma Burst Monitor, задачей которого является регистрация ГВ.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ

В состав спектрометра PAMELA входит времяпролетная система, которая позволяет регистрировать интегральный темп счета попадающих в прибор частиц для шести различных конфигураций ToF1–ToF6 сцинтилляционных плоскостей.

Фоновые значения темпов счета определены путем построения фоновых карт в системе координат Мак-Илвейна: координатная плоскость разбита на бины, и в каждый бин помещена величина темпа счета, равная усредненной за месяц сумме всех значений темпов счета, измеренных спектрометром в области, ограниченной рассматриваемым бином. На рис. 1 изображена фоновая карта темпа счета прибора PAMELA с 8.03.2009 до 7.04.2009 для нисходящих витков; красной линией показана траектория космического аппарата, голубым цветом — длительность ГВ.

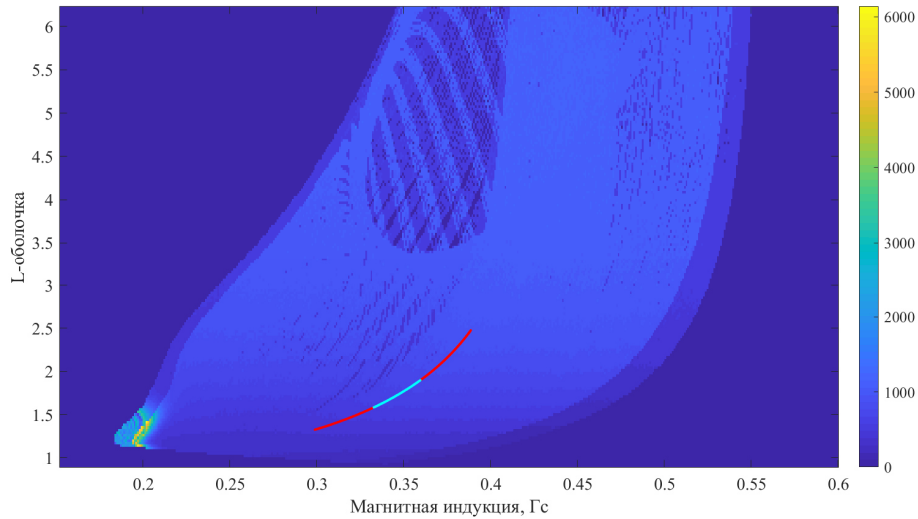


Рис. 1. Фоновая карта темпа счета детекторов PAMELA с 8.03.2009 до 7.04.2009 с нанесенной траекторией спектрометра в диапазоне времени ± 5 мин от регистрации всплеск

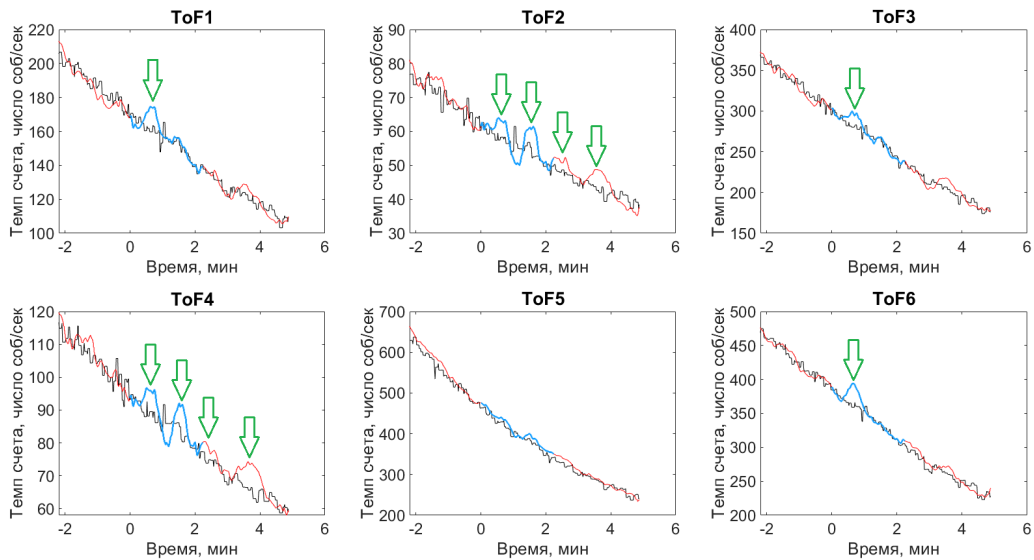


Рис. 2. Временные зависимости темпов счета прибора PAMELA в конфигурациях ToF1-ToF6 в момент регистрации ГВ GRB090323002 обсерваторией Fermi. Красная кривая — темп счета в момент прихода ГВ, черная — фоновый темп счета, голубая — длительность гамма-всплеска, стрелки — резкие отклонения темпа счета от фонового в момент регистрации гамма-излучения

Исследовались зависимости темпов счета спектрометра PAMELA от времени в диапазоне времени ± 5 мин от прихода ГВ и фонового темпа счета для шести конфигураций времяпролетной системы прибора. Темп счета в момент прихода ГВ усреднен методом скользящего среднего. В результате обнаружен ГВ, для которого на пяти из шести конфигурациях (рис. 2) наблюдаются резкие отклонения темпа счета от фонового в момент регистрации гамма-излучения. Обнаруженное событие в каталоге Fermi носит обозначение GRB090323002. В некоторых каналах отклонения периодически повторяются, что может быть связано с долготным дрейфом частиц. Эффект на приведенных графиках выглядит по-разному из-за различающихся триггеров, что соответствует разным энергиям регистрируемых частиц. Вероятно, в конфигурации ToF5 не появляется отклонений из-за низкой пороговой энергии для регистрации заряженных частиц.

На рис. 3 показаны временные зависимости и распределения для ГВ GRB090323002. Для анализа достоверности обнаруженного события проведен расчет значимости. Количество стандартных отклонений для рассматриваемого события ~ 4.5 .

Обнаружен еще один случай видимого отклонения темпа счета после прихода ГВ (рис. 4). Для ГВ GRB120526303 проведен аналогичный анализ достоверности события. Количество стандартных отклонений для ГВ GRB120526303 ~ 3.6 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена гипотеза о существовании взаимосвязи высыпаний частиц из радиационных поясов Земли с космическими гамма-всплесками. Обнаружено два события, когда в результате прихода излучения от ГВ произошло значимое отклонение темпа счета прибора PAMELA от фоновых вели-

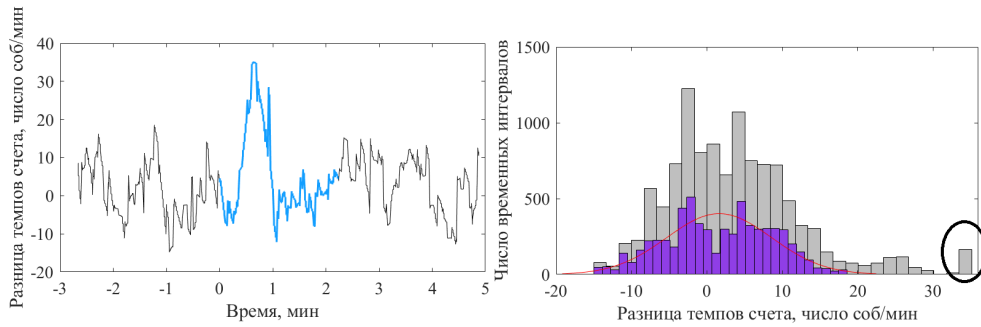


Рис. 3. Разница между темпом счета в момент прихода ГВ GRB090323002 в конфигурации ToF6 и фоновым значением темпа счета с усреднением за месяц (слева). Для анализа достоверности обнаруженного события проведен расчет значимости. Справа — распределения разности темпов счета без учета прихода ГВ (фиолетовый цвет) и с его учетом (серый цвет) эффекта для определения значения разности темпов счета в области, выделенной овалом

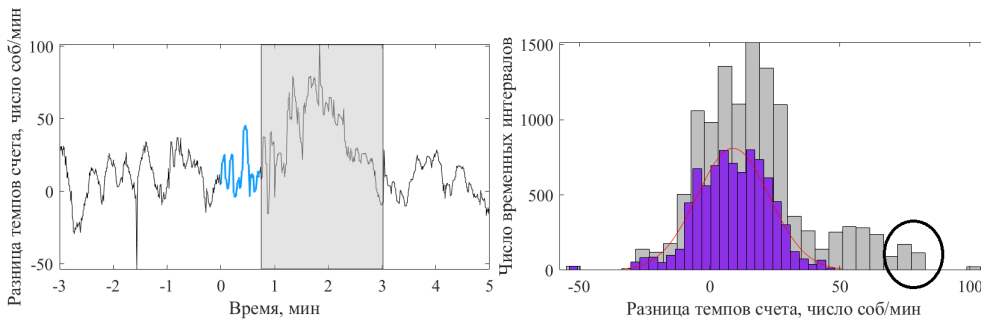


Рис. 4. Слева — разница между измеренным темпом счета в момент прихода ГВ GRB120526303 и фоновым темпом счета как функция времени. Видимое отклонение темпа счета после прихода ГВ показано затененной областью. Справа — распределения разности темпов счета без учета эффекта от гамма-всплеска (фиолетовый цвет) и с учетом (серый цвет)

чин. Проведен анализ достоверности замеченного эффекта: вычислено количество стандартных отклонений в распределении разности темпов счета между фоновыми значениями и в момент регистрации ГВ. Обнаруженные события могут указывать на существование механизма взаимодействия электромагнитного излучения высокой энергии от ГВ с космическими лучами в околоземном пространстве.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10161).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрин С.Ю. и др. Наблюдение солнечно-магнитосферных и геофизических эффектов в потоках электронов и протонов в спутниковом эксперименте АРИНА. *Изв. РАН. Сер. физическая*. 2009. Т. 73, № 3. С. 379–381.

Александрин С.Ю. и др. Временные и энергетические характеристики всплесков электронов высоких энергий в магнитосфере Земли, связанных с геофизическими процессами. *Вестник РАН. Физика*. 2015. Т. 79, № 5. С. 646–648.

Александров А.П. и др. *Эксперимент по исследованию потоков заряженных частиц высоких энергий на орбитальном научном комплексе «Мир» (эксперимент «Мария-2»)*. М.: МИФИ, 1988.

Бакалдин А.В., Батищев А.Г., Воронов С.А. и др. Эксперимент «АРИНА» на КА «Ресурс-ДК1» по изучению прогностических характеристик всплесков высокоэнергичных заряженных частиц — предвестников землетрясений. *Научная сессия МИФИ-2007*. Т. 7. Астрофизика и космофизика. Проблемы современной математики. Физика пучков и ускорительная техника. С. 66–68.

Гальпер А.М., Дмитриенко В.В., Никитина Н.В. и др. *О возможности предсказания землетрясений по изменению*

потоков высокоэнергичных заряженных частиц в околоземном космическом пространстве. М.: МИФИ, 1988.

Akimov V.V., Voronov S.A., Galper A.M., et al. Gamma-ray telescope GAMMA-1. *Space Sci. Rev.* 1988. Vol. 49. P. 111–124.

Aleksandrin S.Yu., Galper A.M., Koldashov S.V., et al. High-energy charged particle bursts in the near-Earth space as earthquake precursors. *Ann. Geophys.* 2003. Vol. 21. P. 597.

Aleksandrin S.Yu., et al. Temporal and energy characteristics of high energy electron bursts in the Earth's magnetosphere that are associated with geophysical processes. *Bull. RAS: Physics*. 2015. Vol. 79, no. 5. P. 646–648.

Baker D.N., Mason G.M., Figueroa O., et al. An overview of the Solar Anomalous and Magnetospheric Particle Explorer (SAMPEX) Mission. *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*. 1993. Vol. 31. P. 531–541.

Galper A.M., Koldashov S.V., Voronov S.A. High energy particle flux variations as earthquake predictors. *Adv. Space Res.* 1995. Vol. 15. P. 131.

von Kienlin A. et al. The Fourth Fermi-GBM gamma-ray burst catalog: a decade of data. *Astrophys. J.* 2020. Vol. 893. P. 46.

Molchanov O.A., Majaeva O.A., Protopopov M.L. Observation of electromagnetic emissions of seismic origin on board INTERCOSMOS-24 satellite. *Cosmic Res.* 1992. Vol. 32, no. 6. P. 128–137.

Picozza P., et al. PAMELA — A Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics. *Astroparticle Physics*. 2007. Vol. 27, no. 4. P. 296–315.

Voronov S.A., Galper A.M., Koldashov S.V., et al. MARIA-2 charged particles' magnetic spectrometer. *Pribori i Tehnika Eksperimenta*. 1991. Vol. 2. P. 59–63.