

# Поиск взаимосвязи высыпаний частиц из радиационного пояса Земли и космических гамма-всплесков.

Морозова Д.Н., Майоров А.Г.

**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 период с 2008 по 2016 год. Для поиска возможного сигнала от взаимодействия гамма-всплеска с заряженными частицами околоземного пространства построены ежегодные фоновые карты темпов счета детекторов время-пролётной системы прибора PAMELA. Анализировалась разница между фоновым темпом счёта и темпом счета в момент прихода гамма-всплеска (в интервале времени за несколько минут до и после). Найдено событие, когда возникает значимое отклонение темпа счёта от фонового значения в момент прихода гамма-всплеска. Проводится анализ полученных результатов.

**Введение.** В период с 2008 по 2016 год на околоземной орбите проводились два независимых друг от друга эксперимента: Fermi и PAMELA, которые позволили провести следующие наблюдения:

- Регистрация космических гамма-всплесков обсерваторией Fermi и определение их характеристик. В работе использованы данные по регистрации гамма-всплесков прибором GBM.
- Прецизионные измерения потоков заряженных космических лучей в околоземном пространстве прибором PAMELA, в том числе в момент прихода электромагнитного излучения от  $\gamma$ -всплеска. В работе используется темп счета частиц, измеренный при помощи времяпролётной системы прибора. В базе эксперимента хранятся данные о темпах счёта триггеров в конфигурациях ToF1-ToF6 для каждого дня проведения эксперимента. Конфигурации отличаются минимальными пороговыми энергиями зарегистрированных частиц.

## Обработка и анализ данных. Построение фоновых карт потоков заряженных частиц.

Для каждого года совместной работы экспериментов построены фоновые карты темпа счёта прибора PAMELA с разделением на восходящие и нисходящие витки в системе координат Мак-Илвейна. При построении фоновых карт координатная плоскость разбивается на бины размером 0.001 Гс по оси абсцисс и 0.03 по оси ординат. В каждый бин помещается величина темпа счета, которая равна усредненной за год сумме всех значений темпов счета, измеренных спектрометром в области, ограниченной рассматриваемым бином. На фоновые карты наложены траектории космического аппарата в диапазоне времени  $\pm 5$  минут от момента прихода гамма-всплеска и длительности всплесков (рис. 1).

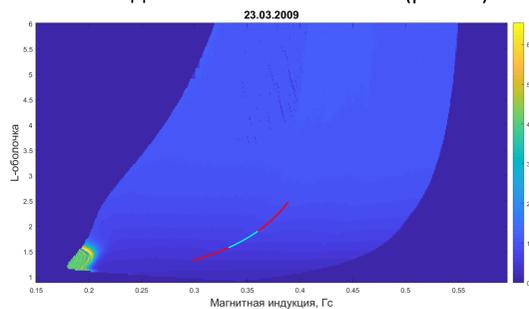


Рис. 1. Фоновый темп счёта прибора PAMELA в 2009 году (нисходящие витки) с наложенной траекторией прибора в момент прихода гамма-всплеска 23 марта.

## Построение графиков зависимости темпа счета заряженных частиц от времени

Построены зависимости темпов счета спектрометра PAMELA от времени в диапазоне времени  $\pm 5$  минут от прихода гамма-всплеска и фонового темпа счета для 6 конфигураций времяпролётной системы прибора. Темп счета в момент прихода гамма-всплеска усреднен методом скользящего среднего. Также нанесена длительность гамма-всплеска, которая изображена голубым цветом (рис. 2).

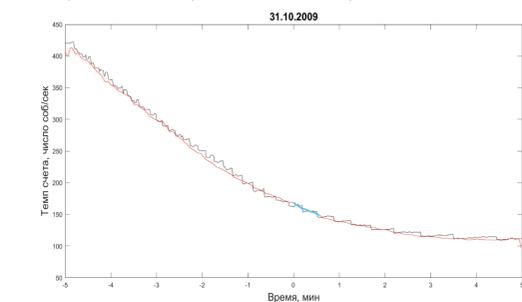


Рис. 2. Зависимость темпа счета прибора PAMELA для 1 триггерной комбинации ВПС от времени в интервале  $\pm 5$  минут от момента регистрации гамма-всплеска для 31 октября 2009 года (12:00:28).

В результате обработки данных обнаружен гамма-всплеск, зарегистрированный 23 марта 2009 года, для которого на 5 из 6 конфигурациях (рис. 3) наблюдаются резкие отклонения темпа счета от фонового в момент регистрации гамма-излучения. Они обозначены стрелками и могут свидетельствовать о возможных высыпаниях частиц под влиянием электромагнитного импульса гамма-всплеска. Обнаруженное событие в каталоге Fermi носит обозначение GRB090323002.

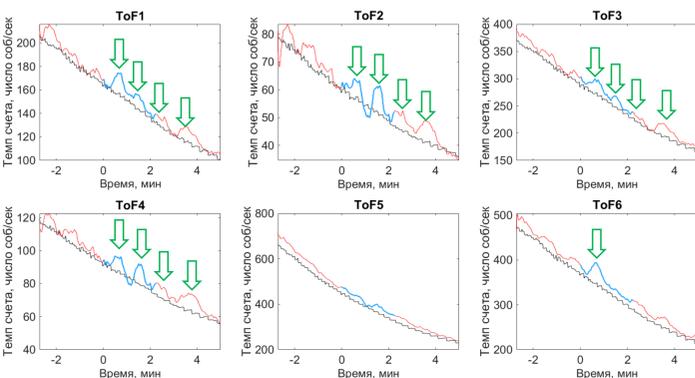


Рис. 3. Временные зависимости темпов счета прибора PAMELA в конфигурациях ToF1-ToF6 в момент регистрации гамма-всплеска обсерваторией Fermi 23 марта 2009 года (00:02:42).

## Анализ полученных результатов. Проверка достоверности полученного результата.

Рассмотрены альтернативные причины, которые могли бы привести к несоответствию темпов счета на рис. 4 (для анализа выбрана конфигурация ToF6):

### 1. Большой временной промежуток для усреднения при построении фоновой карты.

Для проверки эффекта найдены фоновые значения темпа счета прибора PAMELA с усреднением данных не за весь 2009 год, а в диапазоне времени  $\pm 15$  дней от 23 марта 2009 года (рис. 4)

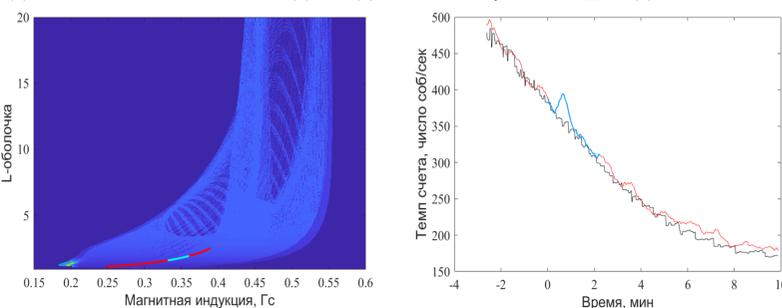


Рис. 4. Слева - фоновая карта темпа счета за период времени  $\pm 15$  дней от даты регистрации всплеска. Справа - график временной зависимости темпа счета прибора PAMELA для конфигурации ToF6.

## 2. Неправильный выбор параметра скользящего среднего. Для проверки построены графики временных зависимостей темпов счета с применением метода скользящего среднего с разными параметрами. На рисунке 5 показаны случаи сглаживания временных зависимостей темпов счета для гамма-всплеска GRB090323002 при шести различных параметрах.

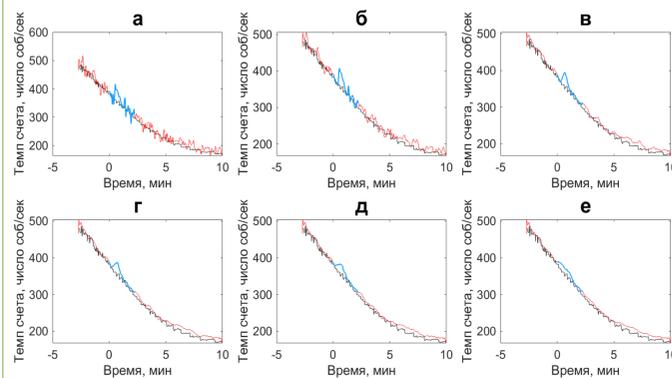


Рис. 5. Временная зависимость темпа счета прибора PAMELA для фоновых значений (черная линия) и в момент прихода гамма-всплеска (красная линия) с нанесением длительности всплеска (голубая линия) для разных параметров скользящего среднего: а – 5 секунд; б – 10 секунд; в – 30 секунд; г – 42 секунды; д – 50 секунд; е – 83 секунды.

## Оценка значимости результата

Вычислена разница между темпом счета в момент прихода гамма-всплеска и фоновым значением темпа счета для периода в  $\pm 15$  дней от даты регистрации, в качестве примера рассмотрена конфигурация ToF6 (рис. 6). Виден пик, наблюдаемый в области, выделенной голубым цветом, которая соответствует длительности гамма-всплеска.

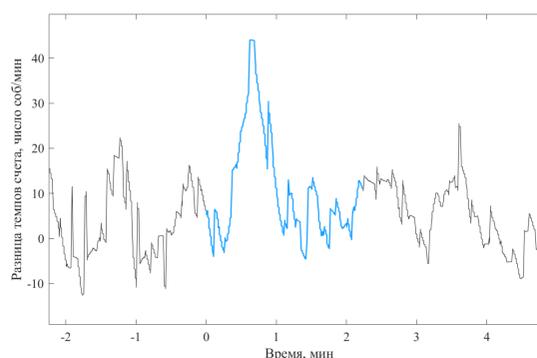


Рис. 6. Разница между измеренным темпом счета в момент прихода гамма-всплеска в интервале  $\pm 5$  минут от начала всплеска и фоновым темпом счета, как функция времени.

Проведен расчет статистической значимости. Построены гистограммы (рис. 7) для графика разности темпов счета, сначала без учета прихода гамма-всплеска, по которой вычислено среднеквадратичное отклонение, затем гистограмма с учетом эффекта, по которой посчитан центр масс. Количество стандартных отклонений для рассматриваемого события  $\sim 4.7$ .

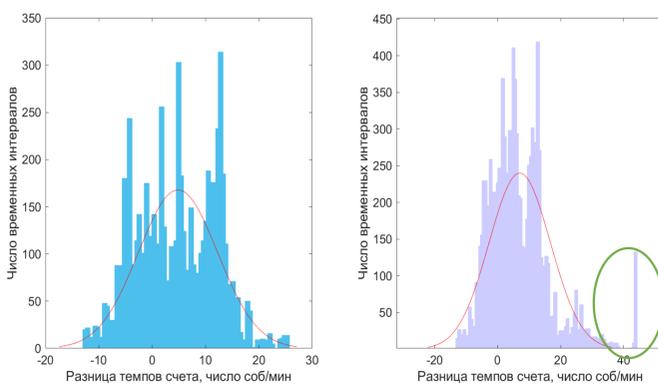


Рис. 7. Слева - график временной зависимости разницы между измеренным темпом счета на следующей орбите, спустя полный период обращения спектрометра PAMELA от момента прихода гамма-всплеска, и фоновым темпом счета; справа - распределение разницы темпов счета для следующей орбиты.

## Заключение.

Обнаружено событие с заметными отклонениями темпа счета от фонового в момент регистрации гамма-всплеска, проведен анализ достоверности обнаруженного эффекта, который подтвердил наличие взаимосвязи между возмущением потока заряженных частиц и космическим гамма-всплеском.

Следующая задача - найти параметр, который поможет статистически отобрать другие события с аналогичным эффектом. Подходящим критерием может оказаться стандартное отклонение между разностями темпов счета с учетом прихода гамма-всплеска. Также планируется рассчитать взаимодействие электромагнитного излучения гамма-всплеска с захваченным корпускулярным излучением в радиационном поясе Земли.