Прототип малогабаритного космического спектрометра гамма-излучения

Е.И.Ольшевский[1]

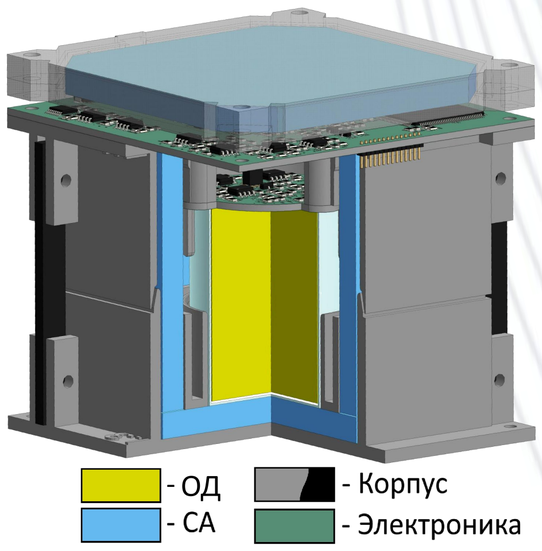
[1]Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ», Москва, Россия

Аннотация

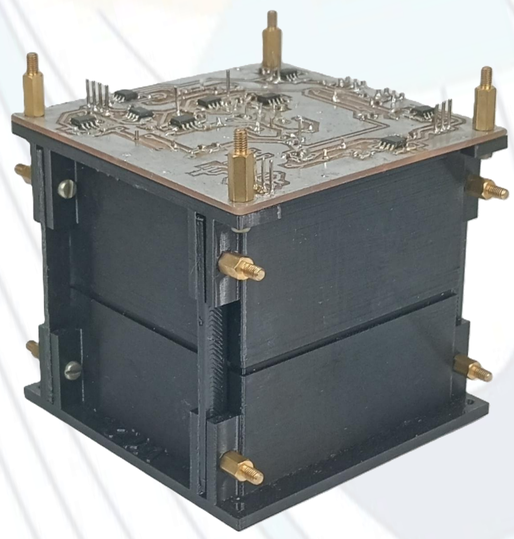
Мониторинг гамма-излучения в диапазоне 0.1–10 МэВ остаётся актуальной задачей астрофизики. Развитие платформы CubeSat и программы «Универсат» упрощает запуск малых аппаратов и открывает возможности для создания орбитальных группировок, предназначенных для наблюдения транзиентных источников — солнечных вспышек и гамма-всплесков. В рамках подготовки эксперимента «Арка» в НИЯУ МИФИ ведётся разработка экспериментального образца спектрометра гамма-излучения для CubeSat, отрабатывающего ключевые узлы детектора. Настоящая работа посвящена созданию прототипа малогабаритного спектрометра, определению его основных характеристик и оценке геометрической эффективности системы антисовпадений.

Модель спектрометра

- Основной детектор (ОД): сцинтиллятор NaI(Tl) цилиндрической формы D = 35 мм, H = 45 мм;
- Фотодетектор: матрица из 6 кремниевых фото-умножителей (SiPM) MicroFC-60035-SMT;
- Система антисовпадений (СА): 6 детекторов на основе органических сцинтилляторов, окружающих ОД.



3D модель гамма-спектрометра



Гамма-спектрометр в процессе сборки с тестовой электроникой

Геометрическая эффективность системы антисовпадений

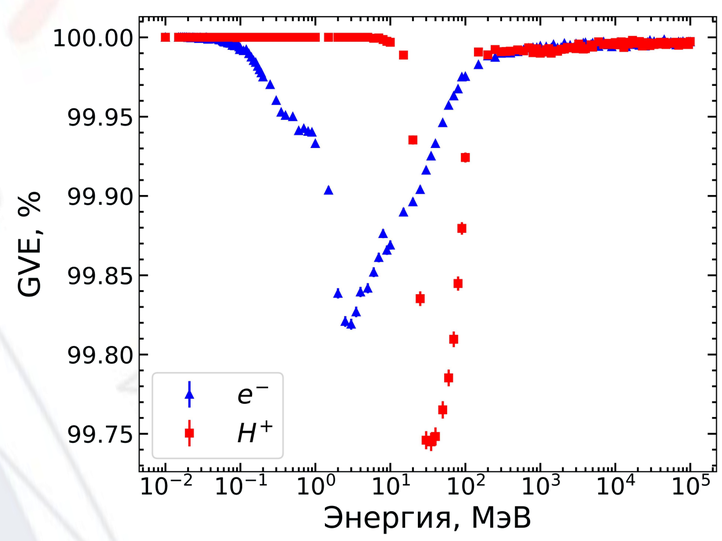
Поскольку система антисовпадений не является замкнутой, особый интерес представляет оценка ее эффективности. С помощью GEANT4 рассчитана геометрическая эффективность СА (GVE) для электронов и протонов при энергиях, характерных для радиационных поясов [1, 2].

$$GVE = 100\% \cdot \left(1 - \frac{N_m}{N_g}\right)$$

N_m - число событий, в которых есть сигнал в ОД и нет в АС;

N_g - общее число событий, приведших к энерговыделению в модели спектрометра.

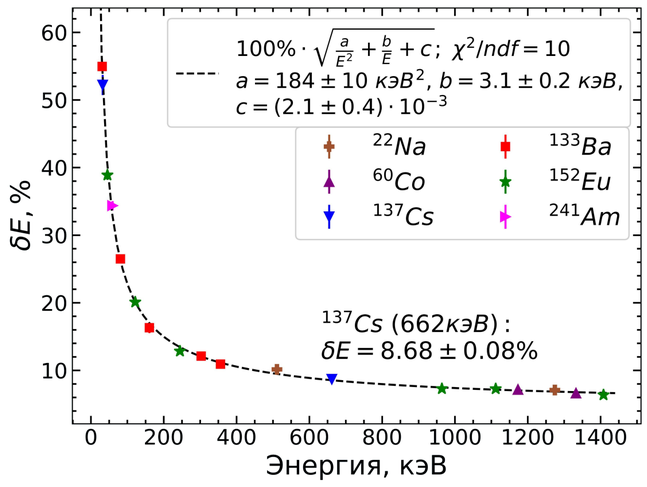
- Поток частиц - изотропный;
- Факт регистрации события - ненулевое энерговыделение в чувствительном объеме.

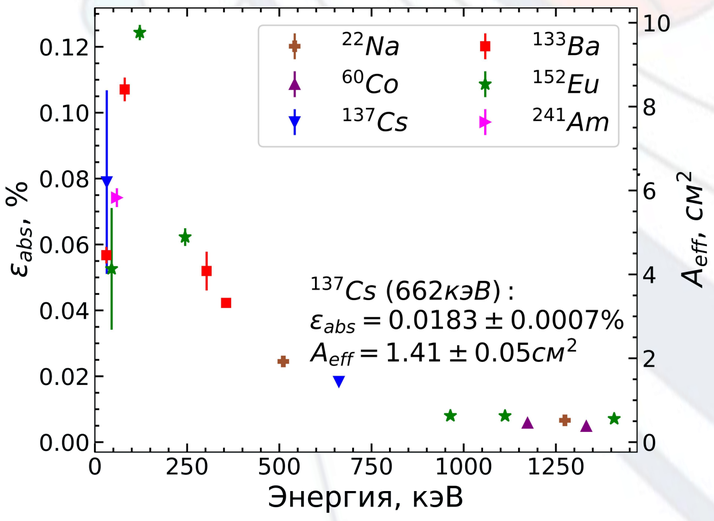


Уменьшение GVE с ростом энергии частицы связано с рассеянием первичных и генерацией вторичных частиц, что увеличивает вероятность «обхода» системы антисовпадений и регистрации события в ОД. При дальнейшем повышении энергии рост множественности вторичных частиц приводит к компенсации этого эффекта и улучшению эффективности СА.

Энергетическое разрешение и эффективность регистрации

В ходе наземных испытаний были набраны спектры источников ОСГИ и получены зависимости энергетического разрешения δE, абсолютной эффективности регистрации по фотопику ε_{abs} и эффективной площади A_{eff} от энергии гамма-квантов.





$$\varepsilon_{abs} = 100\% \cdot \frac{\text{число зарегистрированных гамма-квантов в фотопике}}{\text{число испущенных гамма-квантов источником}}$$

В дальнейшем планируется увеличить число считывающих SiPM до 9 и использовать специализированный оптический клей для оптического контакта сцинтиллятора с SiPM, что должно привести к улучшению энергетического разрешения.

Заключение

- Создан прототип полезной нагрузки мало-габаритного космического спектрометра гамма-излучения;
- Полученные в ходе работы значения спектрометрических параметров основного детектора выступают в качестве исходных данных для сравнения с параметрами последующих модификаций детектора;
- Рассчитанная геометрическая эффективность системы антисовпадений представляет собой теоретический предел, с которым будут сопоставляться результаты реальных измерений.

1. Baker D. N. et al. Space weather effects in the Earth's radiation belts // Space Science Reviews. – 2018. – Т. 214. – №. 1. – С. 17.
2. Millan R. M., Baker D. N. Acceleration of particles to high energies in Earth's radiation belts // Space Science Reviews. – 2012. – Т. 173. – №. 1. – С. 103-131.