Гамма-спектрометр для платформы CubeSat с системой активного подавления фона

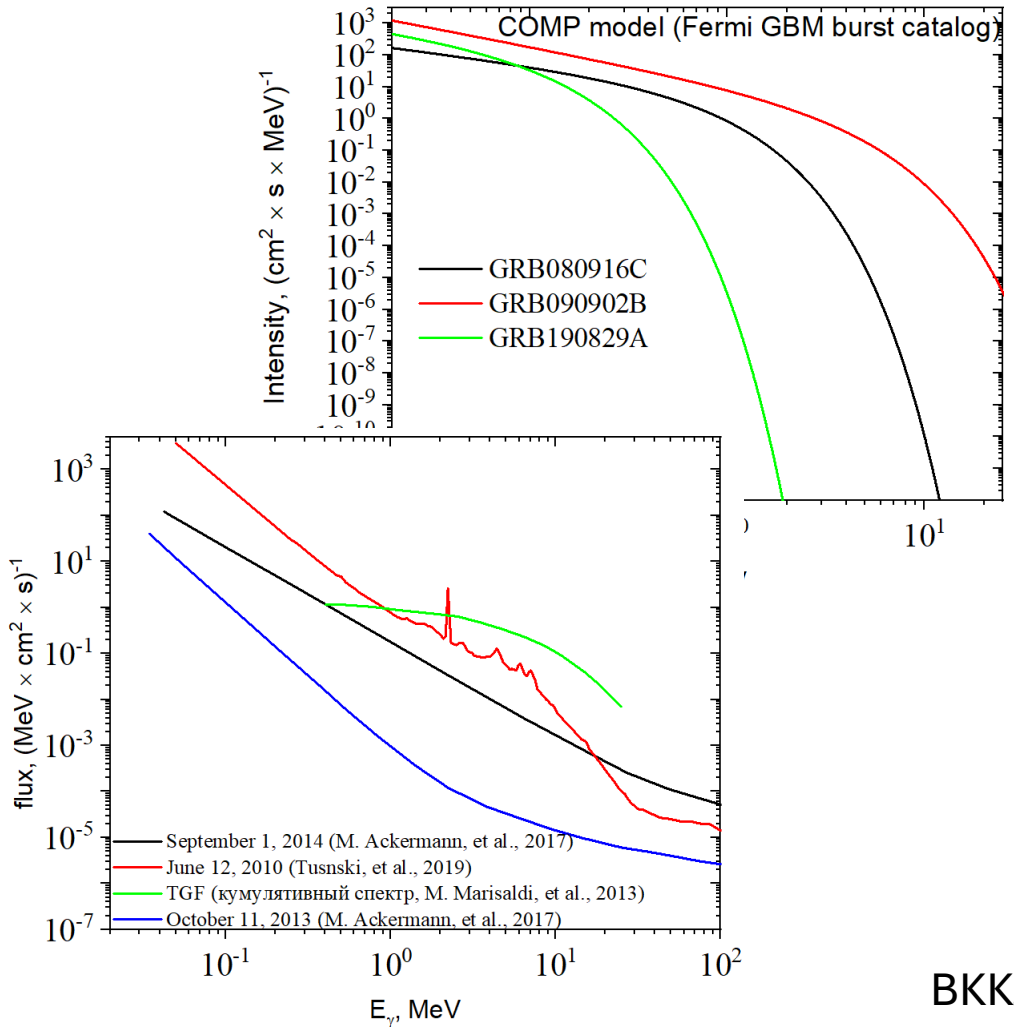
А.А. Леонов[1,2], А.В. Бакалдин[1,3], В.А. Ваганян[1], А.Г. Майоров[1], Д.А. Мартиросов[1]

[1]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва
[2]Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва
[3]Научно-исследовательский институт системных исследований НИЦ “Курчатовский институт”, Россия, Москва

Мотивация

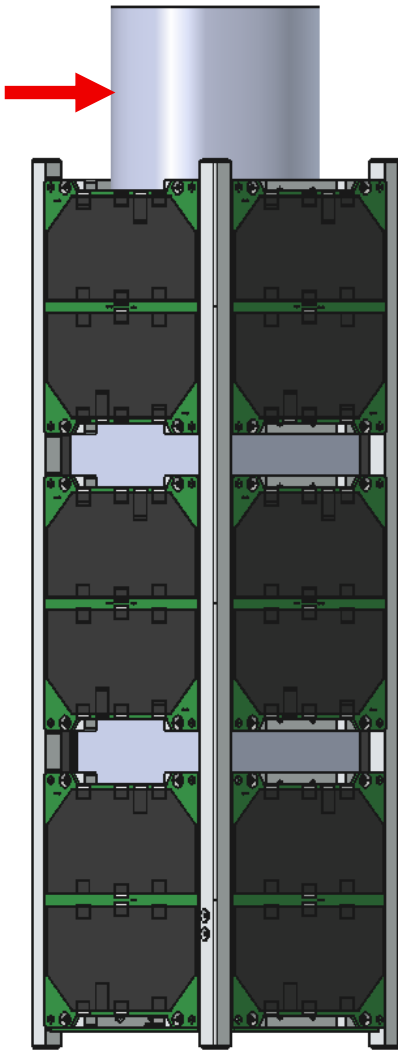
Отработка новых методов астрофизических наблюдений и мониторинга геофизических процессов и космической погоды на космических аппаратах типа CubeSat

Измерение спектров космических гамма-всплесков, солнечных вспышек классов M и X, а также земных гамма-вспышек



Габариты занимаемого пространства в стандартизированном внешнем отсеке конструкции CubeSat:

$\mathbb{D}$=80 мм; h= 60 мм

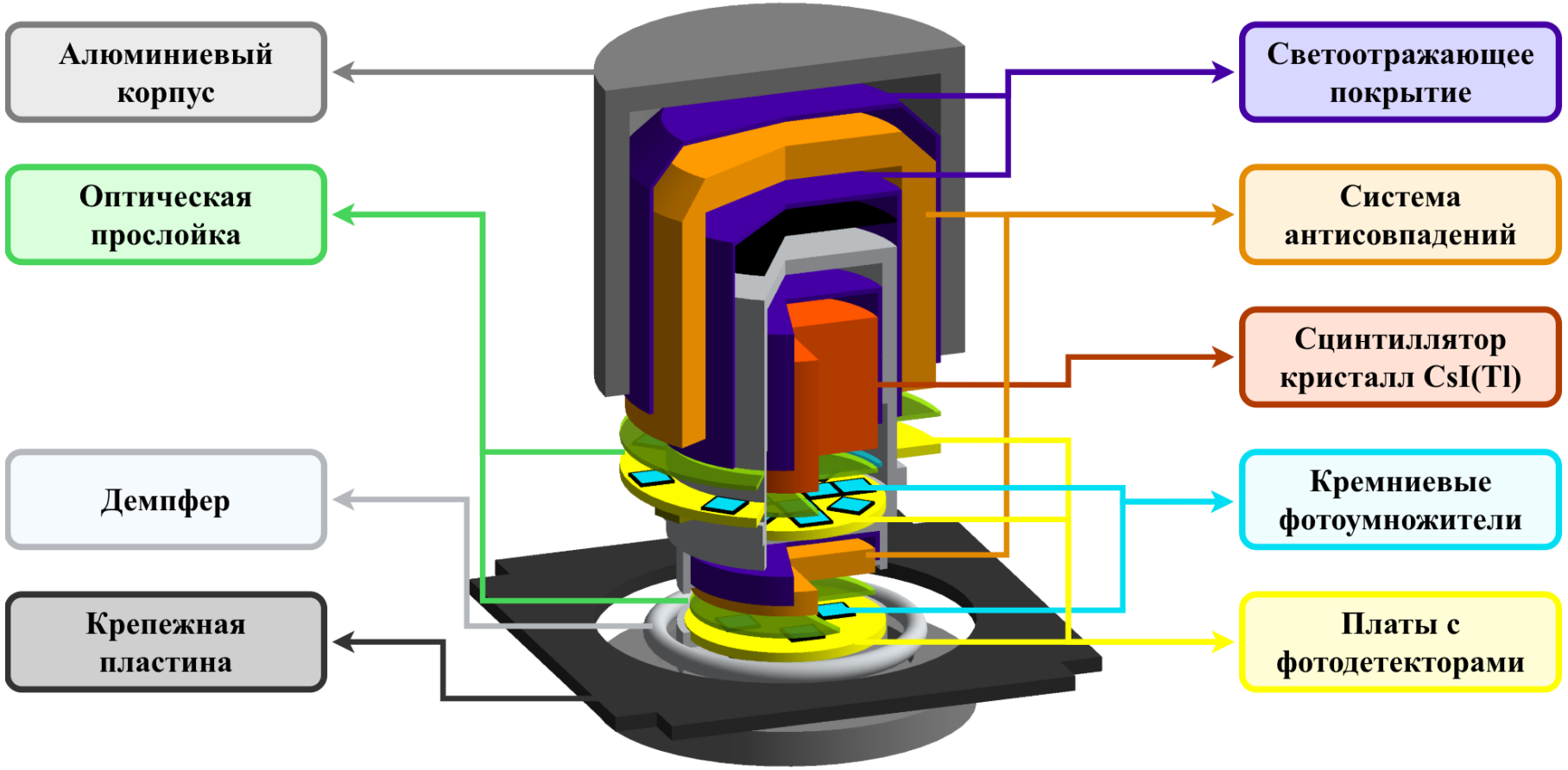


Запуск: весна и осень 2027 года

Орбита: солнечно-синхронная, высота 600 км, наклонение 98^0

Физическая схема

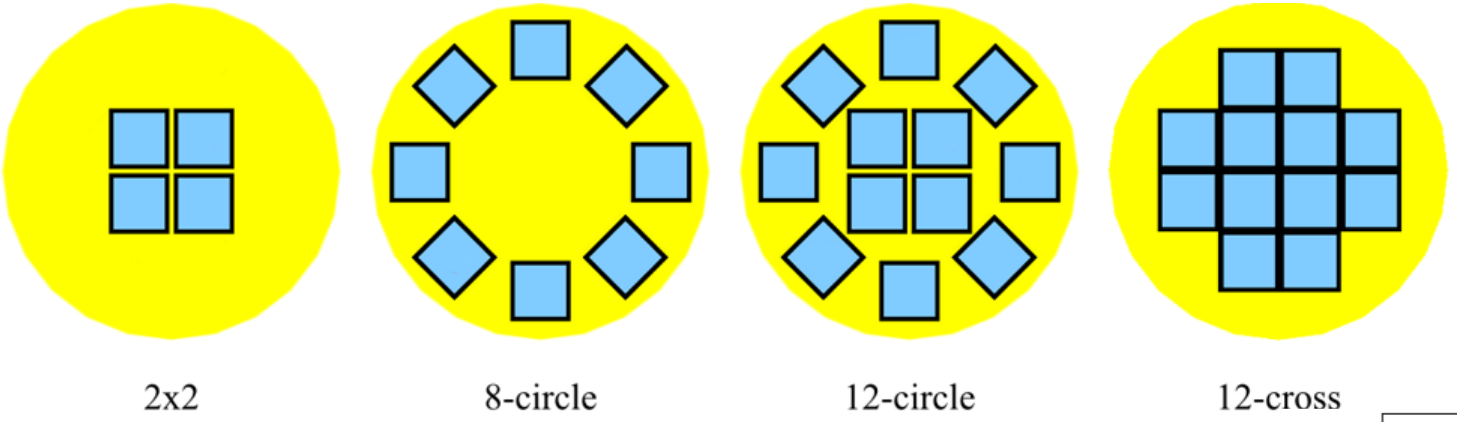
гамма-спектрометр «NATALIA»
(**N**anosatellite **A**dvanced **T**echnique for **A**strophysics and **L**ow-energy **I**onization radiation **A**nalysis)

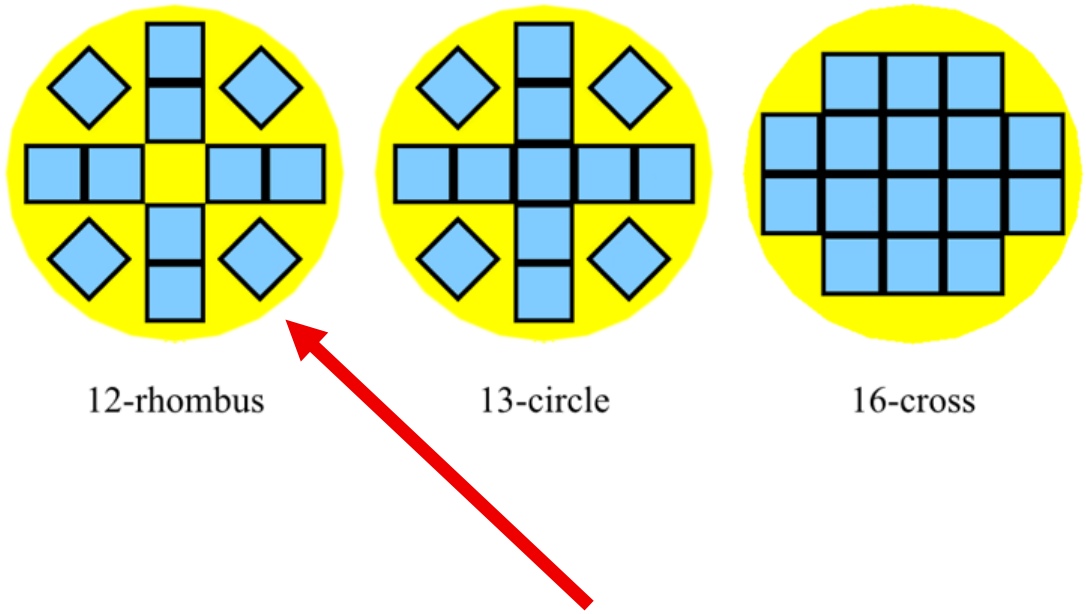


Триггерное условие

$$Tr = Tr^{CsI} \times \overline{\left(Tr^{AC_{top}} | Tr^{AC_{bottom}}\right)}$$

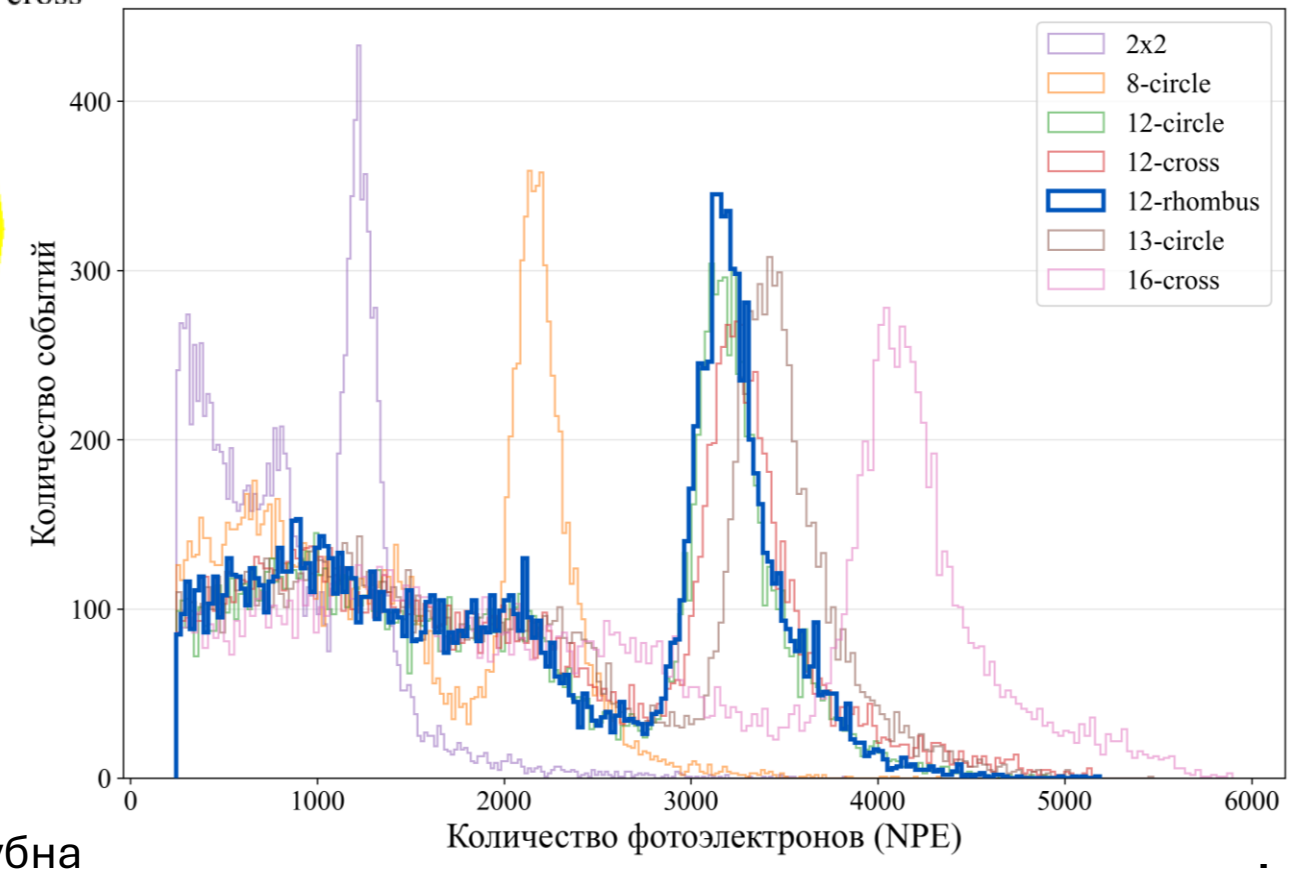
Сцинтилляционный отклик кристалла CsI(Tl) на гамма-излучение





SiPM MICROFC−60035−SMT
размер 6×6 мм

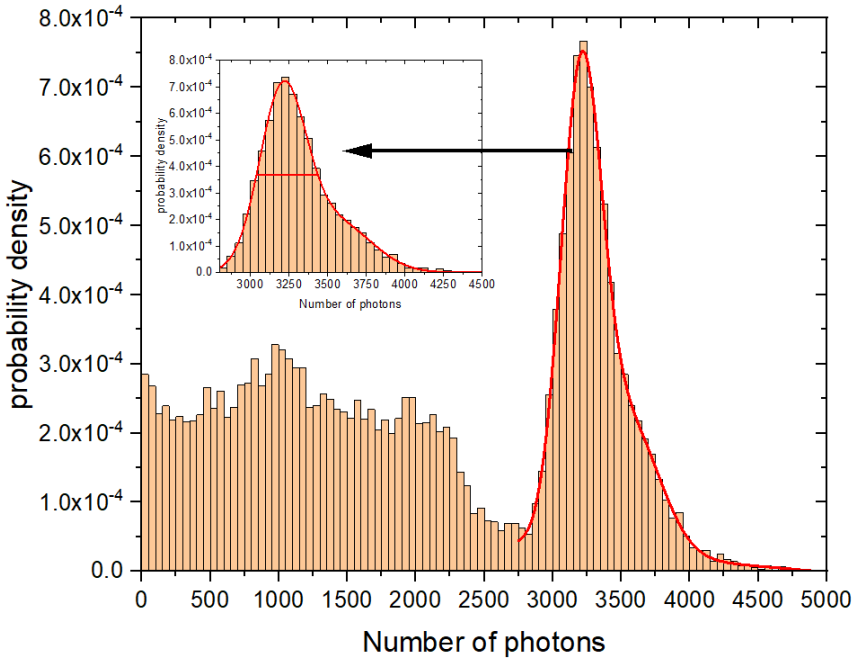
Моделирование гамма излучения от источника Cs^{137}

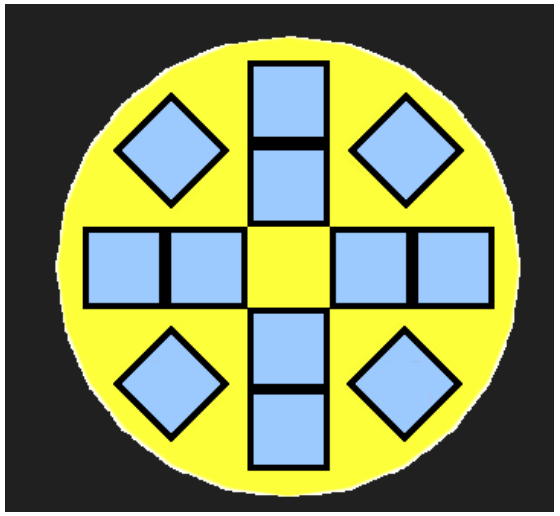


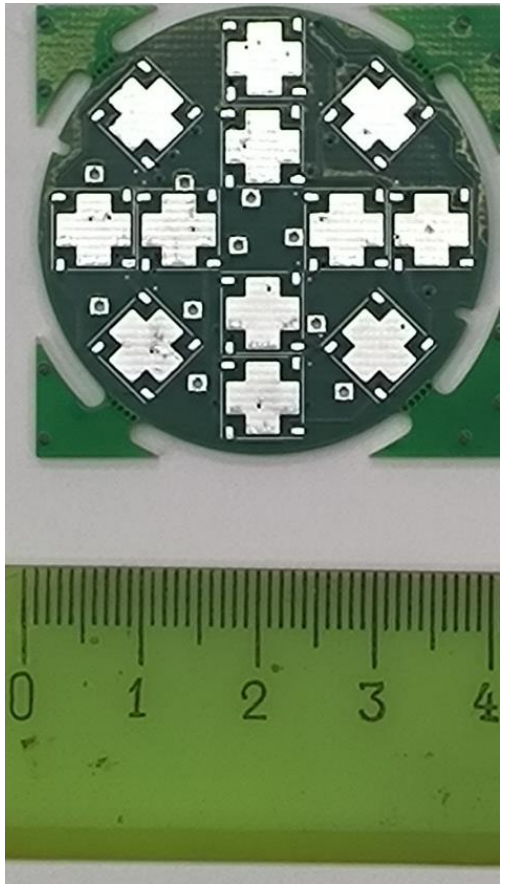
.

Сцинтилляционный отклик кристалла CsI(Tl) на гамма-излучение

$\frac{\delta E}{E} \sim 12\%$



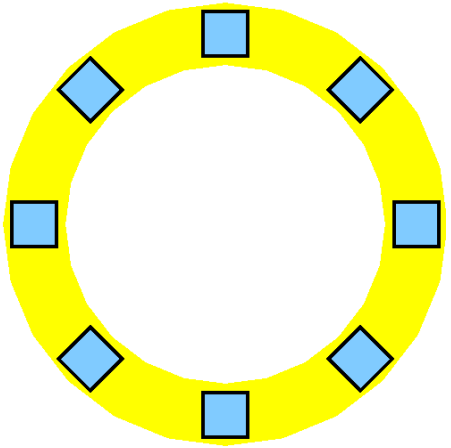


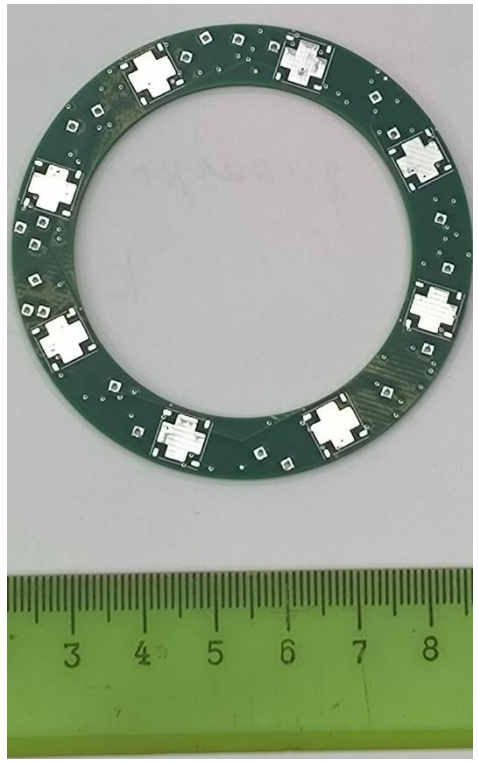


Данные экспериментальных измерений при регистрации гамма излучения от источника Cs^{137}, $\frac{\delta E}{E} \sim 14\%$

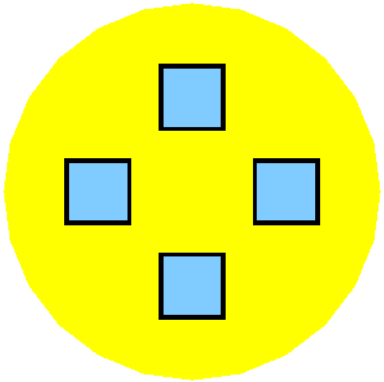
Сигнал вето

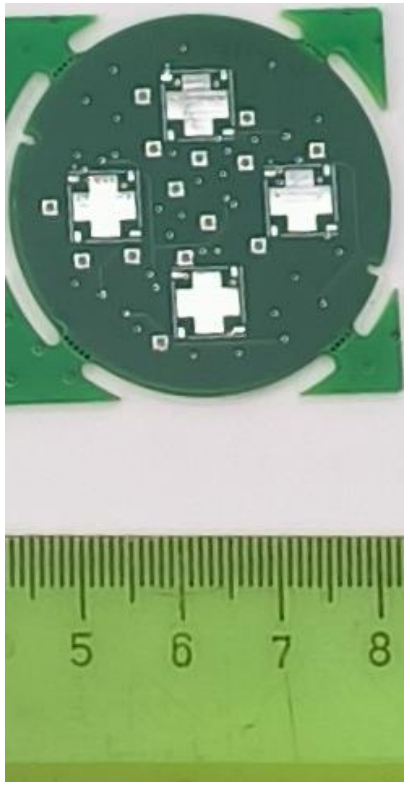
Вето сигнал для заряженных частиц в AC_{top}



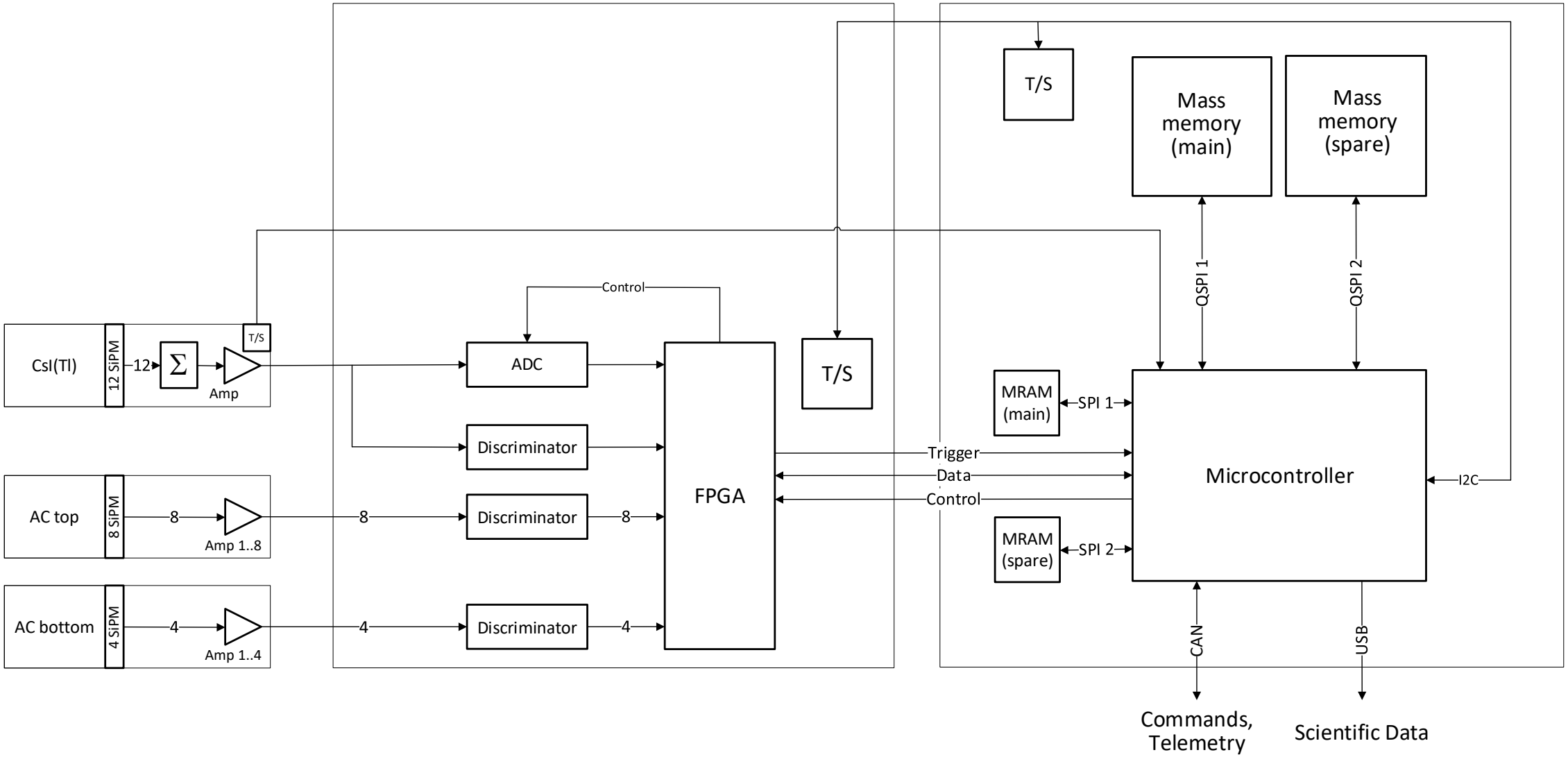


Вето сигнал для заряженных частиц в AC_{bottom}



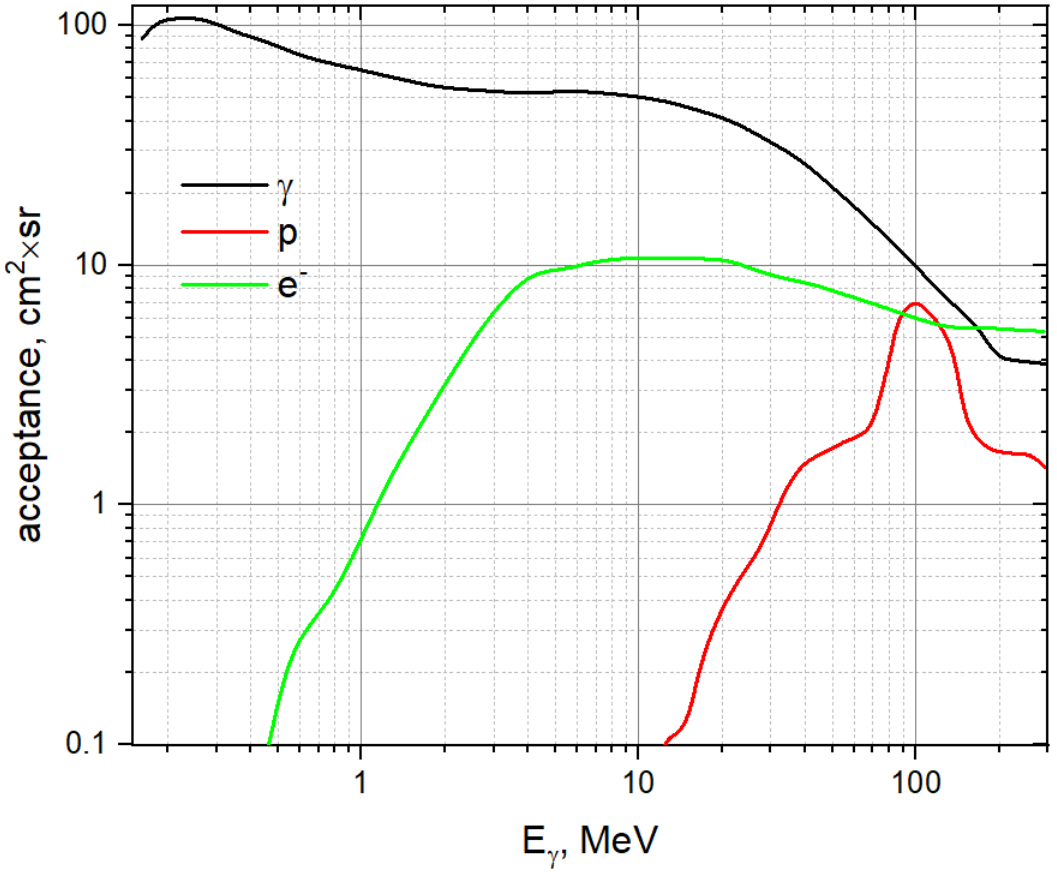


Функциональная схема гамма-спектрометра

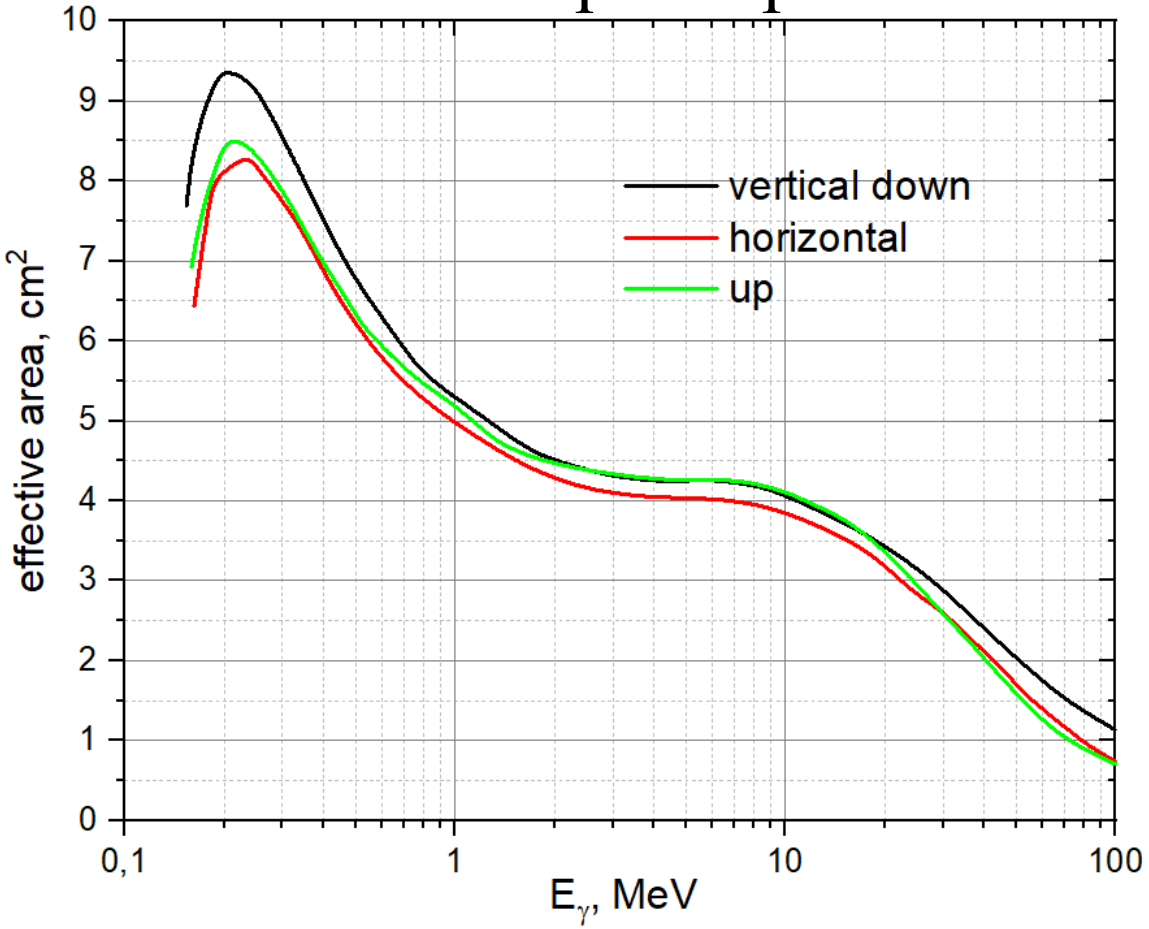


Физические характеристики гамма-спектрометра

Светосила гамма-спектрометра

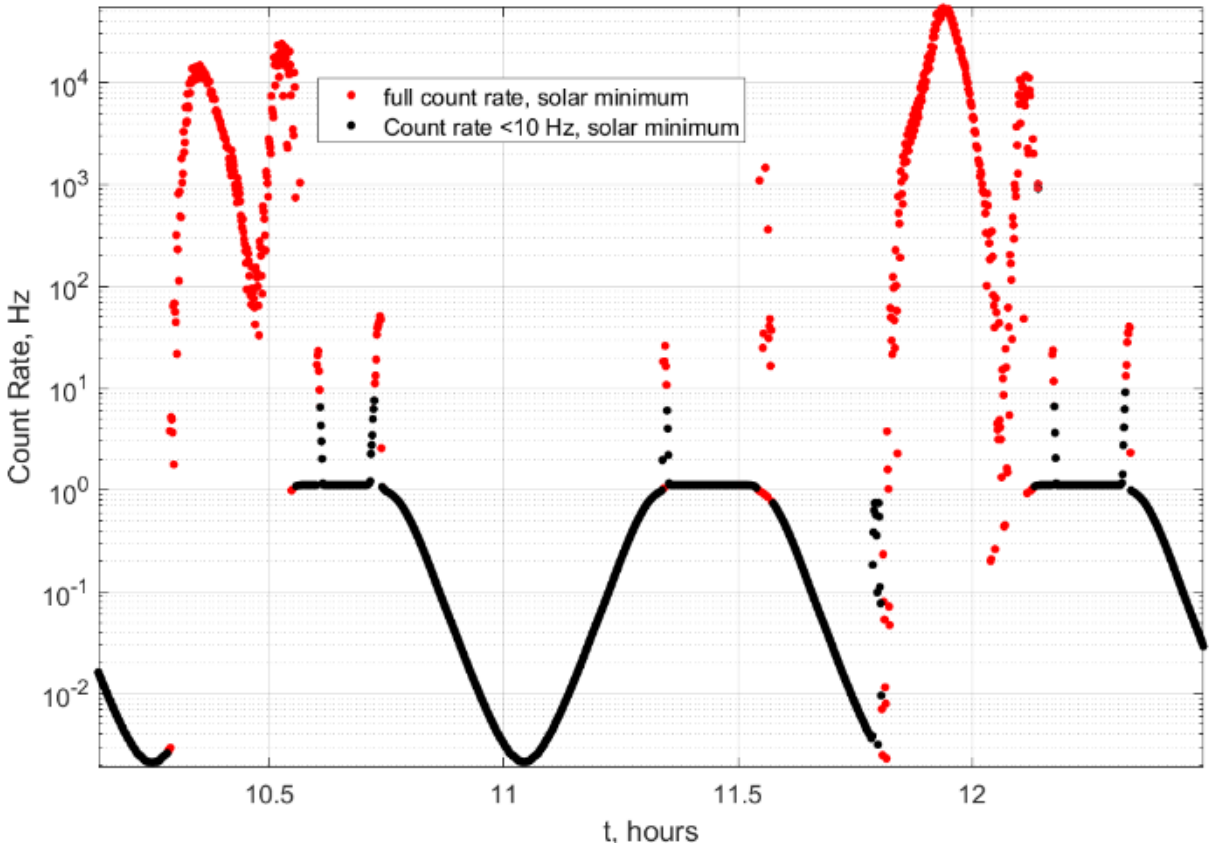


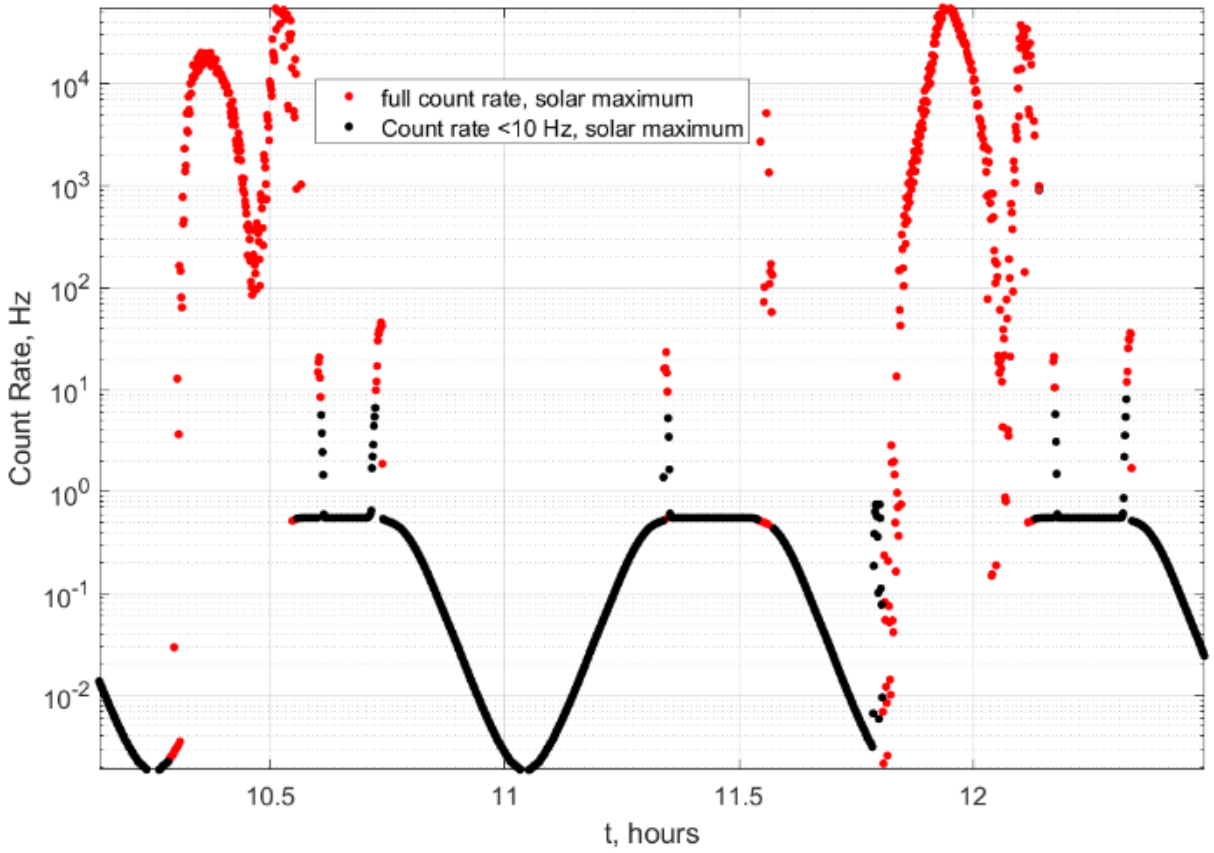
Эффективная площадь гамма-спектрометра



Темп счёта заряженных частиц вдоль орбиты

Расчётный алгоритм включения/выключения записи полных форматов данных о регистрации частиц в радиационных поясах на предполагаемой орбите позволяет ограничить запись в память полного объёма информации участками траектории КА, на которых темп счёта гамма-спектрометра от заряженных частиц не превышает величины 10 Гц

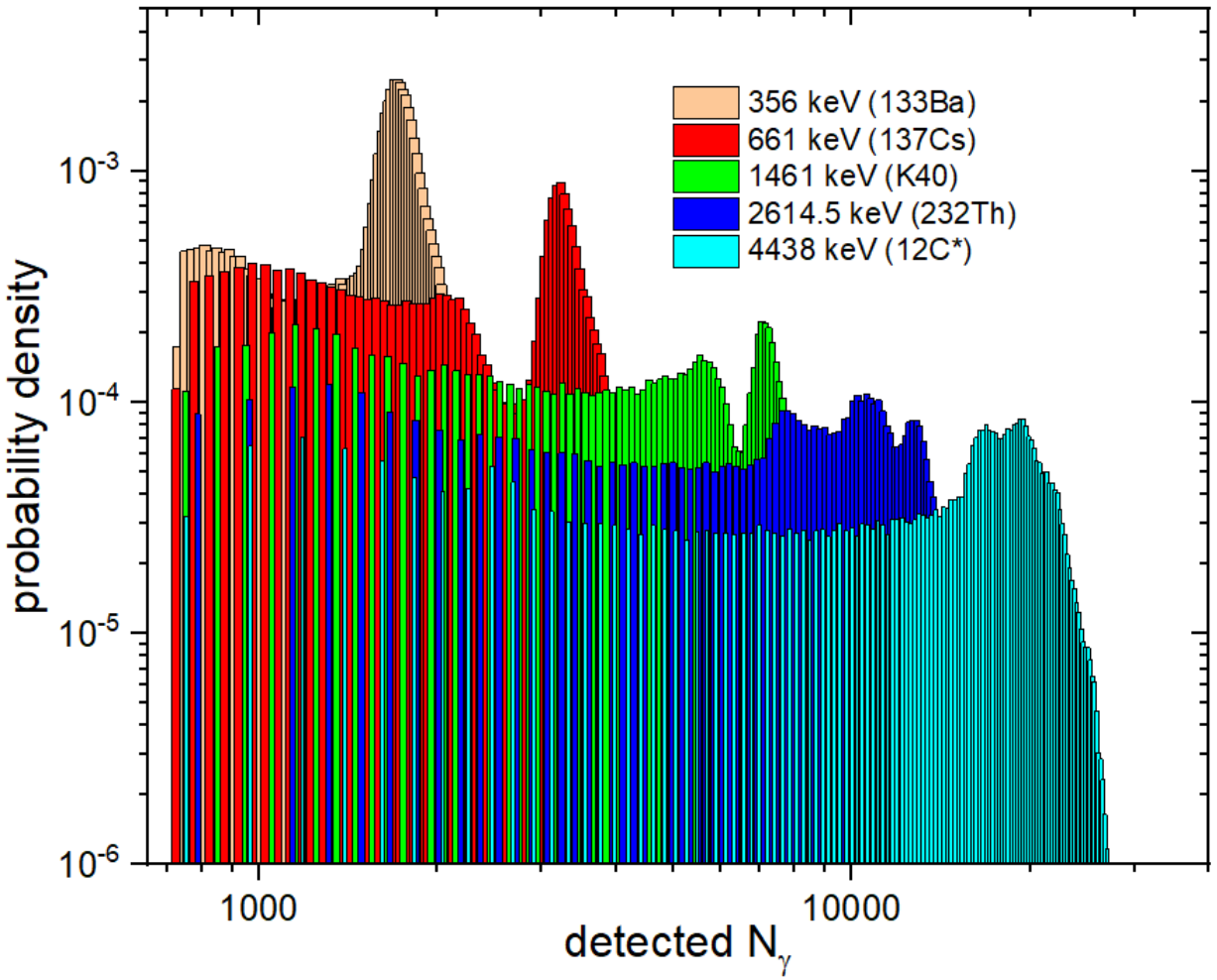


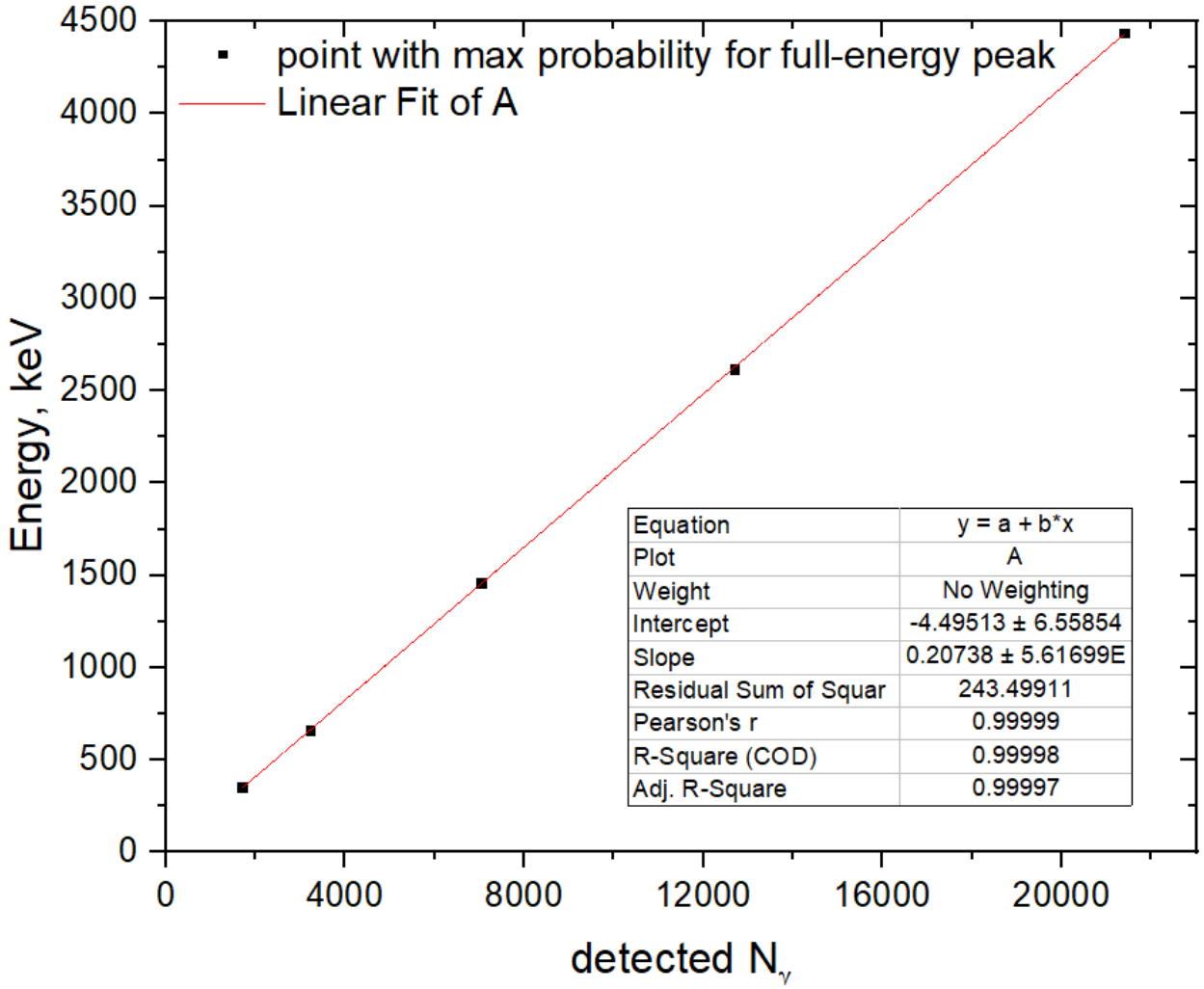


Оценка темпа счёта при регистрации гамма-излучения

Событие	Темп счёта, Гц
Диффузное излучение	4
Излучение Земного альбедо	5
GRB080916C	41
GRB190829A	4
GRB090902B	204
TGF, Гц	20
Солнечная вспышка 1 Сентября 2014	10
Солнечная вспышка 12 Июня 2010	89

Калибровка

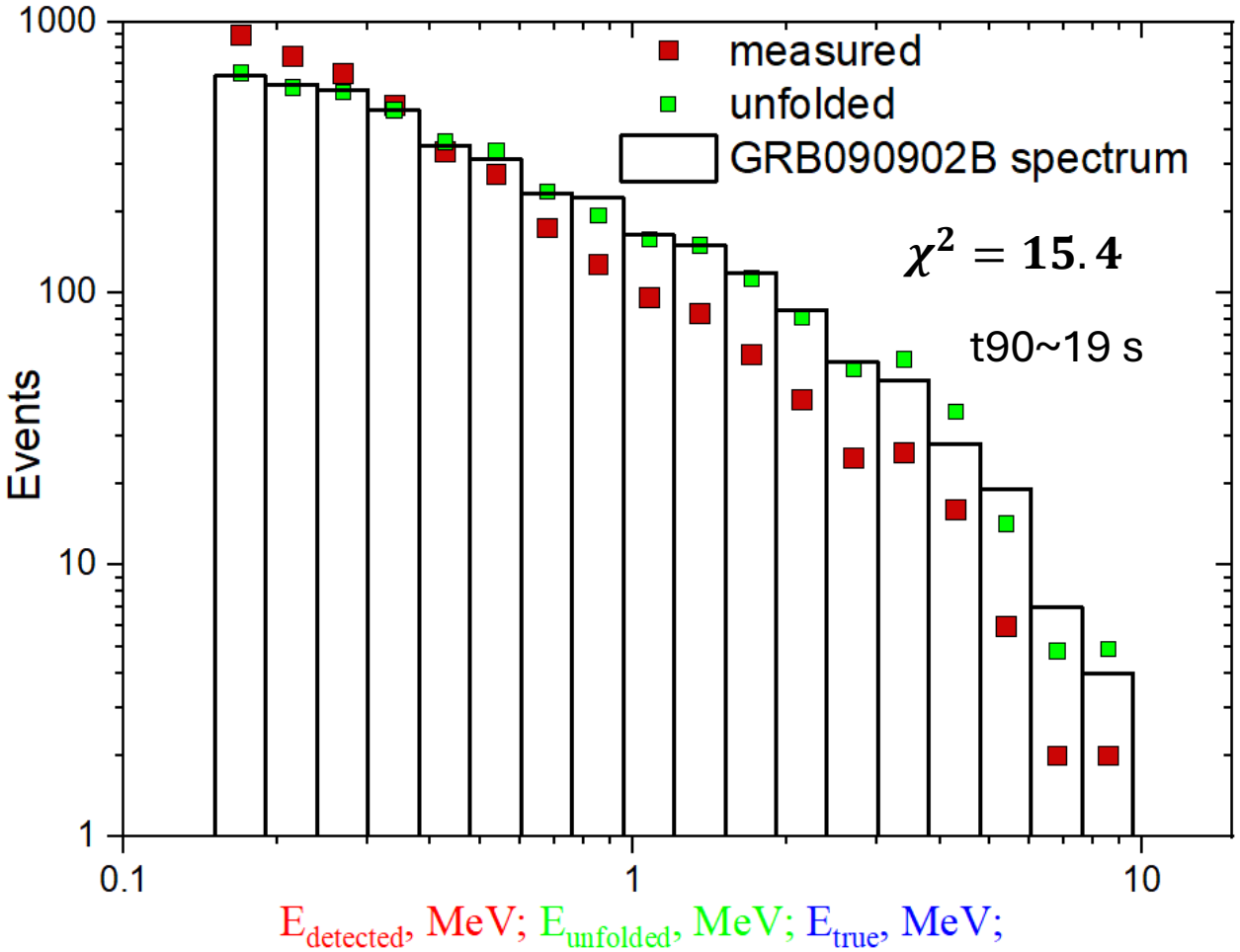

356 keV (133Ba)
661 keV (137Cs)
1461 keV (K40)
2614.5 keV (232Th)
4438 keV (12C*)
probability density
detected N$_\gamma$


point with max probability for full-energy peak
Linear Fit of A
Energy, keV
detected N$_\gamma$
Equation y = a + b*x
Plot A
Weight No Weighting
Intercept -4.49513 ± 6.55854
Slope 0.20738 ± 5.61699E
Residual Sum of Squar 243.49911
Pearson's r 0.99999
R-Square (COD) 0.99998
Adj. R-Square 0.99997

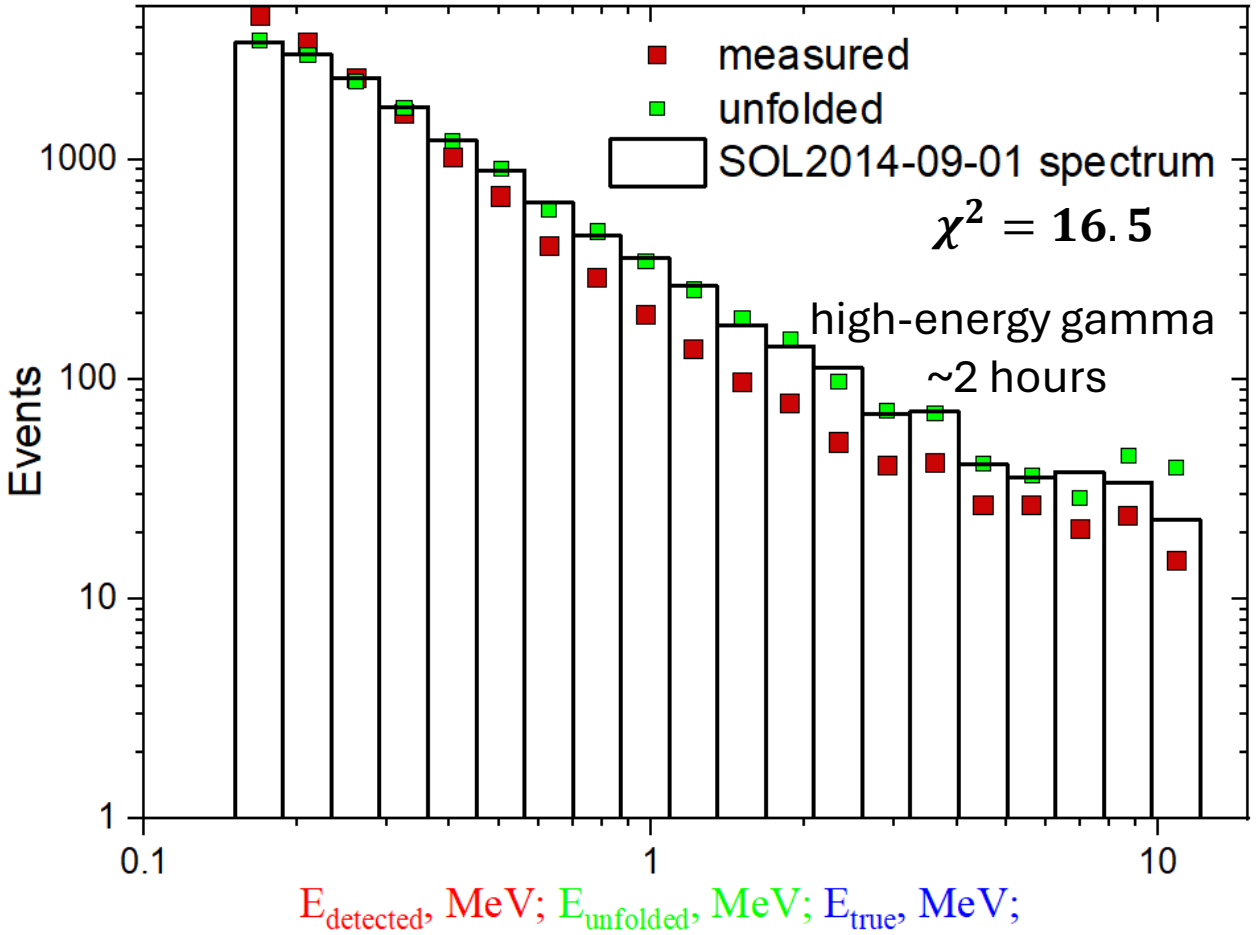
Восстановление спектра

Алгоритм обратной свёртки с регуляризатором

Bogomolov, Y.V., Alekseev, V.V., Levanova, O.A. et al. Modification of the SVD Unfolding Regularization Method. Jetp Lett. 115, 697–703 (2022).



$\chi^2_{крит.} = 33.4;\ p = 0.01$

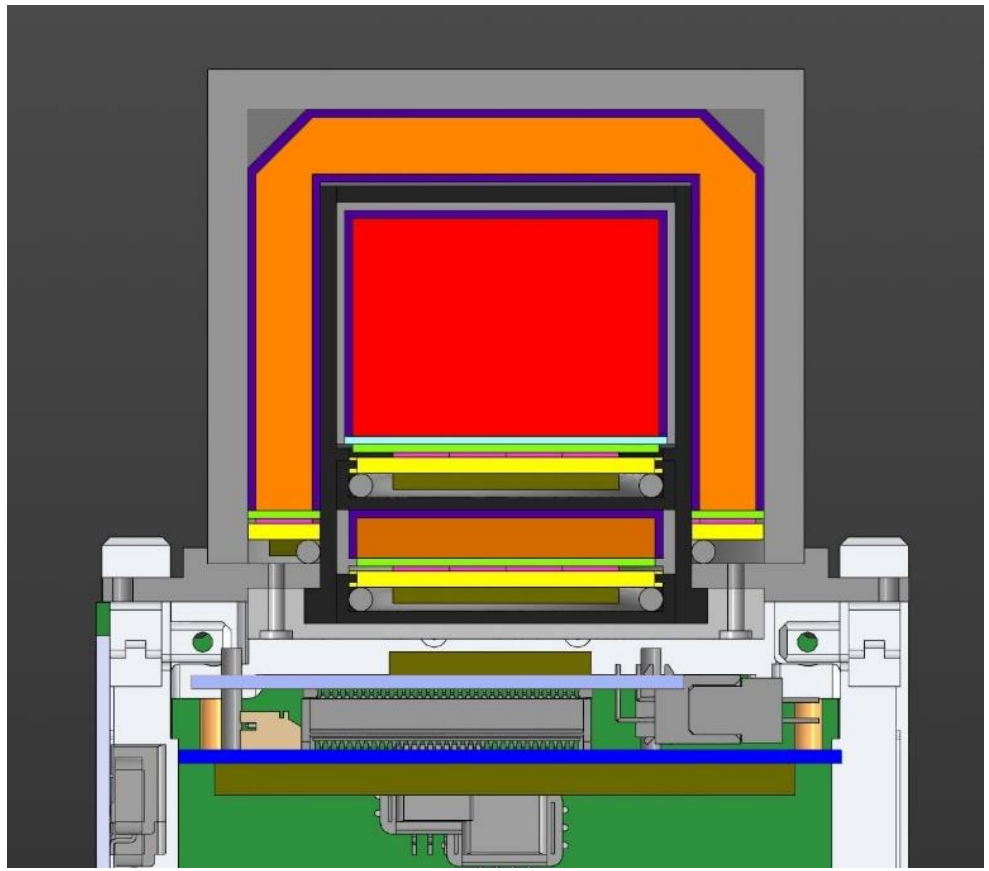


Заключение

Предложенная конструкция прибора обеспечивает регистрацию пика полного поглощения в энергетическом диапазоне 0,15–15 МэВ.

Использование активной защиты на основе внешнего пластического сцинтиллятора позволяет снизить фоновую активность от заряженных частиц вне радиационных поясов до уровня менее 2 Гц.

Спектры гамма-излучения от транзиентных источников будут восстановлены с использованием разработанного алгоритма обратной свёртки с регуляризатором.



кристалл CsI(Tl)
цилиндр: D ~ 40 mm, H ~ 27 mm

сцинтиллятор (верхний и нижний)
толщина верхнего ~ 7мм
нижнего ~ 5 мм

конструктивные элементы
детектора из алюминия и титана

плата триггерной системы и АЦП

плата управления и сбора научной информации

светоотражающее покрытие

плата с фотодетекторами и усилителями