



Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»



Кафедра физики элементарных частиц №40

Научная исследовательская работа студента на тему:

Свойства позиционно-чувствительного детектора на основе монолитного кристалла GAGG и матрицы SiPM

Научный руководитель:

Дубинин Ф. А.

Студентка 2 курса:

Журкина А. О.

ИЯФиТ

г. Москва, 2024

Введение

Позитронно-эмиссионная томография - эффективный и современный метод диагностики онкологических заболеваний.

В современных ПЭТ-сканерах для регистрации аннигиляционных гамма-квантов от радиофармпрепарата, вводимого пациенту, используются тысячи сцинтилляционных элементов, от размера которых зависит пространственное разрешение и, в конечном итоге, четкость изображения изучаемого органа.

Альтернативой большому количеству элементов ПЭТ является использование кристаллических пластин (monolithic detectors) с матрицами кремниевых фотоумножителей в качестве фотодетекторов.

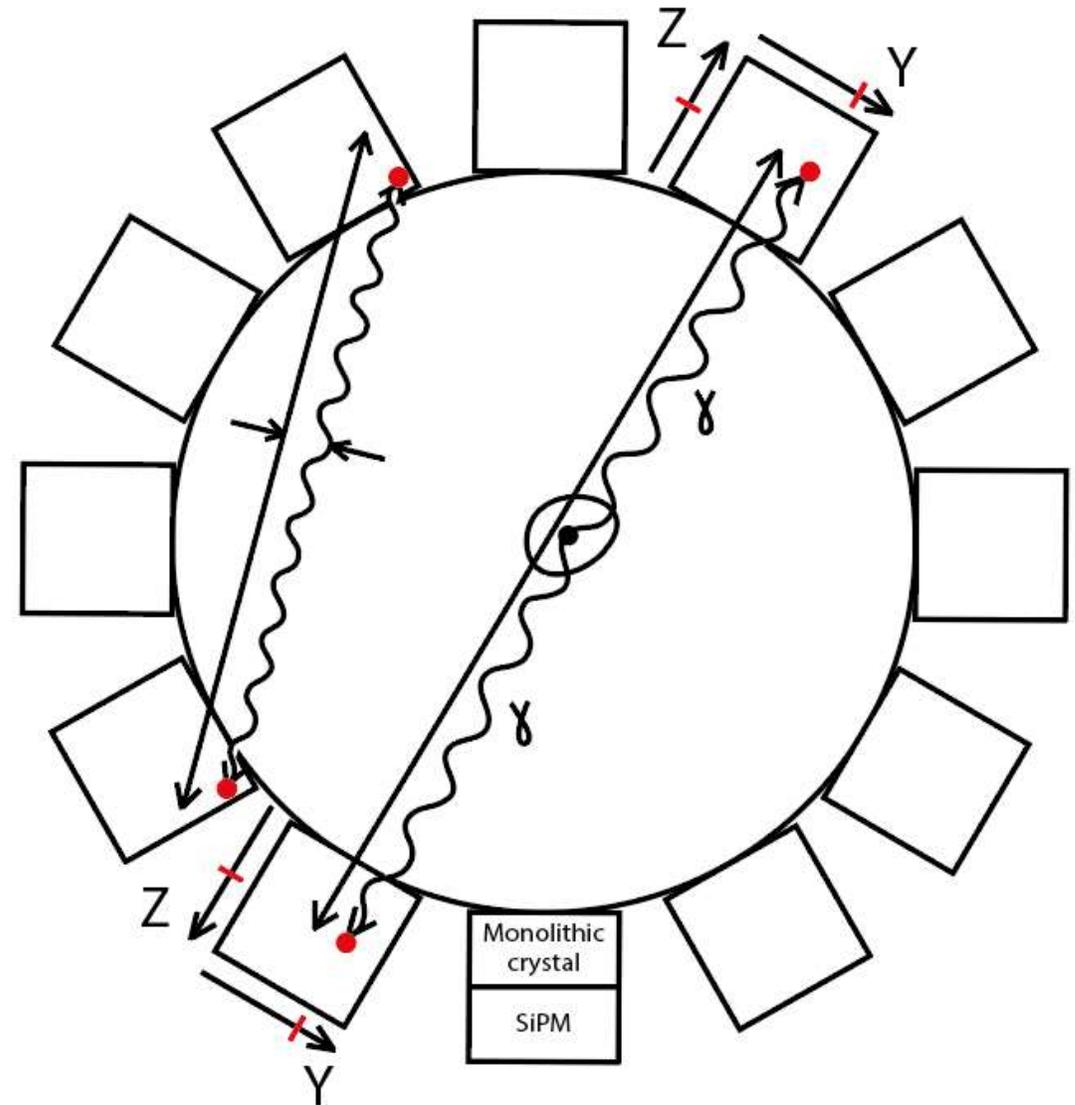


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПЭТ

Цель

- Изучение характеристик позиционно-чувствительного детектора на основе сцинтилляционного кристалла GAGG 12x12x12 мм в сочетании с матрицей SiPM 4x4 SensL ARRAYJ-30035-16P

Поставленные задачи

- Оценка однородности коэффициентов усиления каналов матрицы
- Оценка энергетического разрешения
- Восстановление координаты XY – взаимодействия и оценка координатного разрешения
- Оценка временного разрешения детектора на основе двух матриц SiPM и сцинтилляционных кристаллов GAGG

Экспериментальная установка

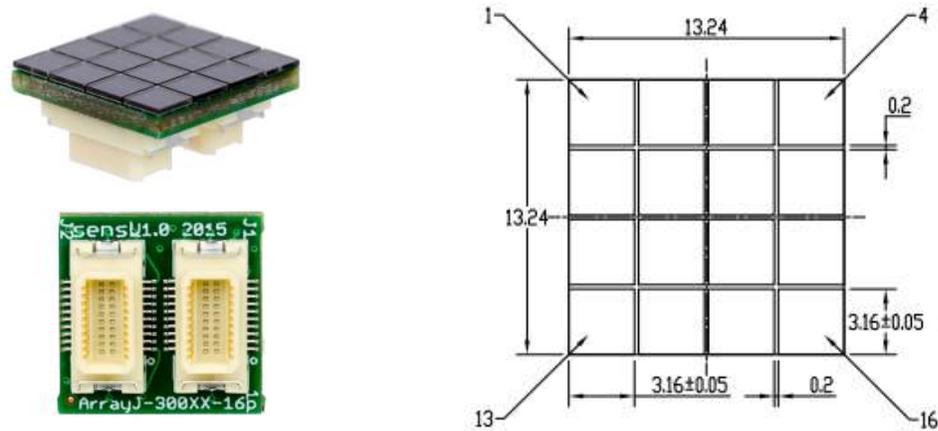
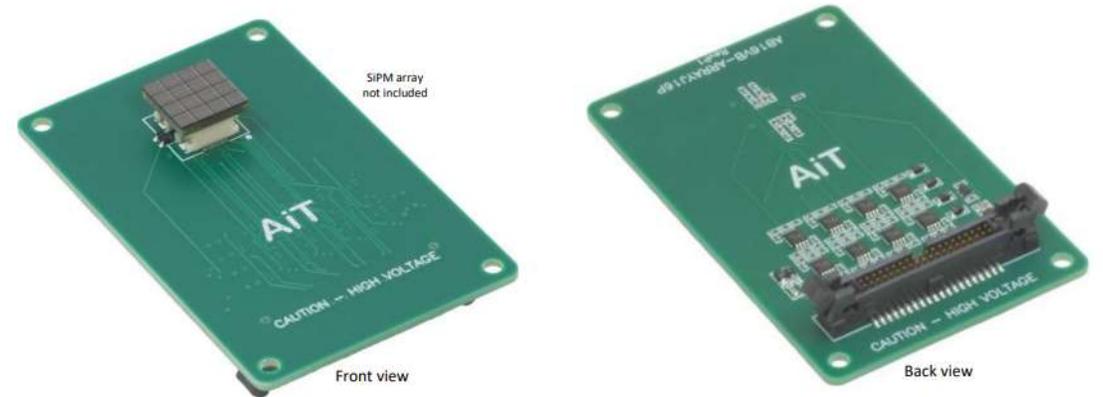


Рисунок 2 – Матрица SiPM SensL ARRAYJ-30035-16P



Характеристики монолитного сцинтиляционного кристалла GAGG :

Parameter	GAGG
Size, mm	12x12x12
Number of polished sides	1
Z_{eff}	51
Density, g/cm^3	6.6
Luminescence decay time, ns	30-100
Energy resolution (662 keV), %	5
Peak wavelength, nm	520
Hygroscopicity	-
Self-radioactivity	-

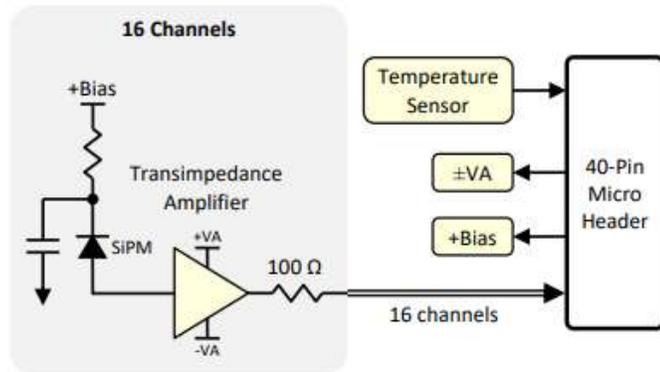
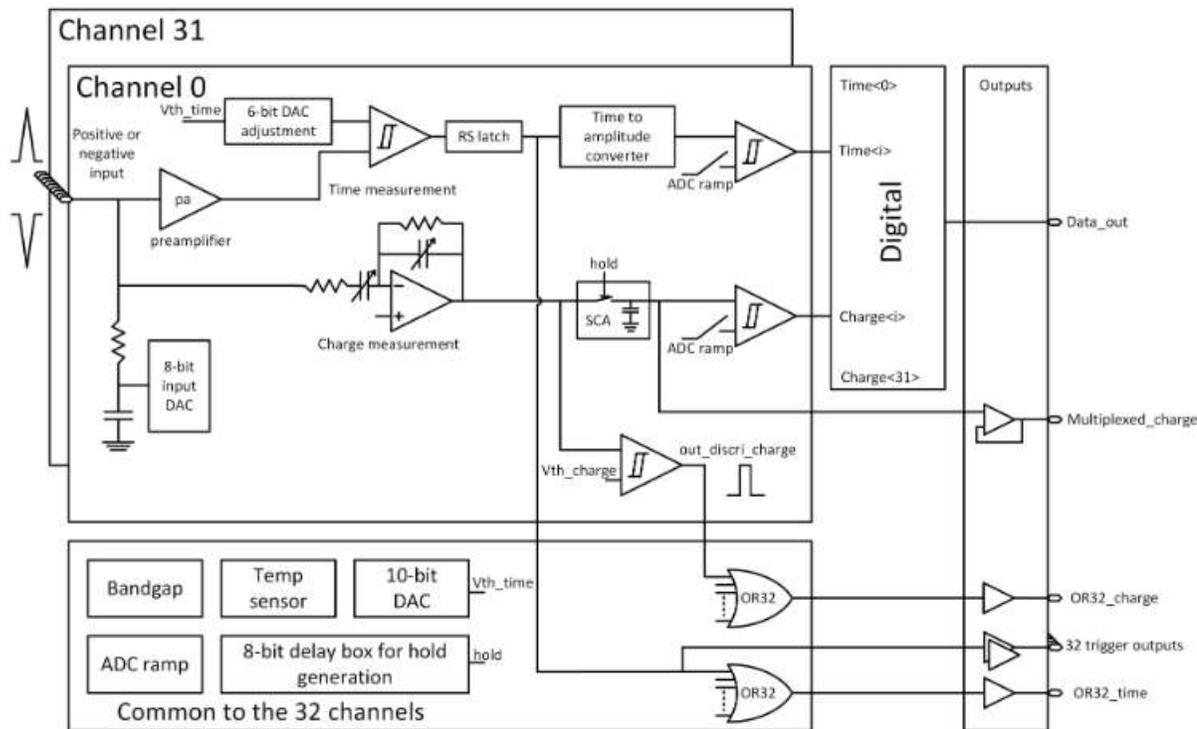


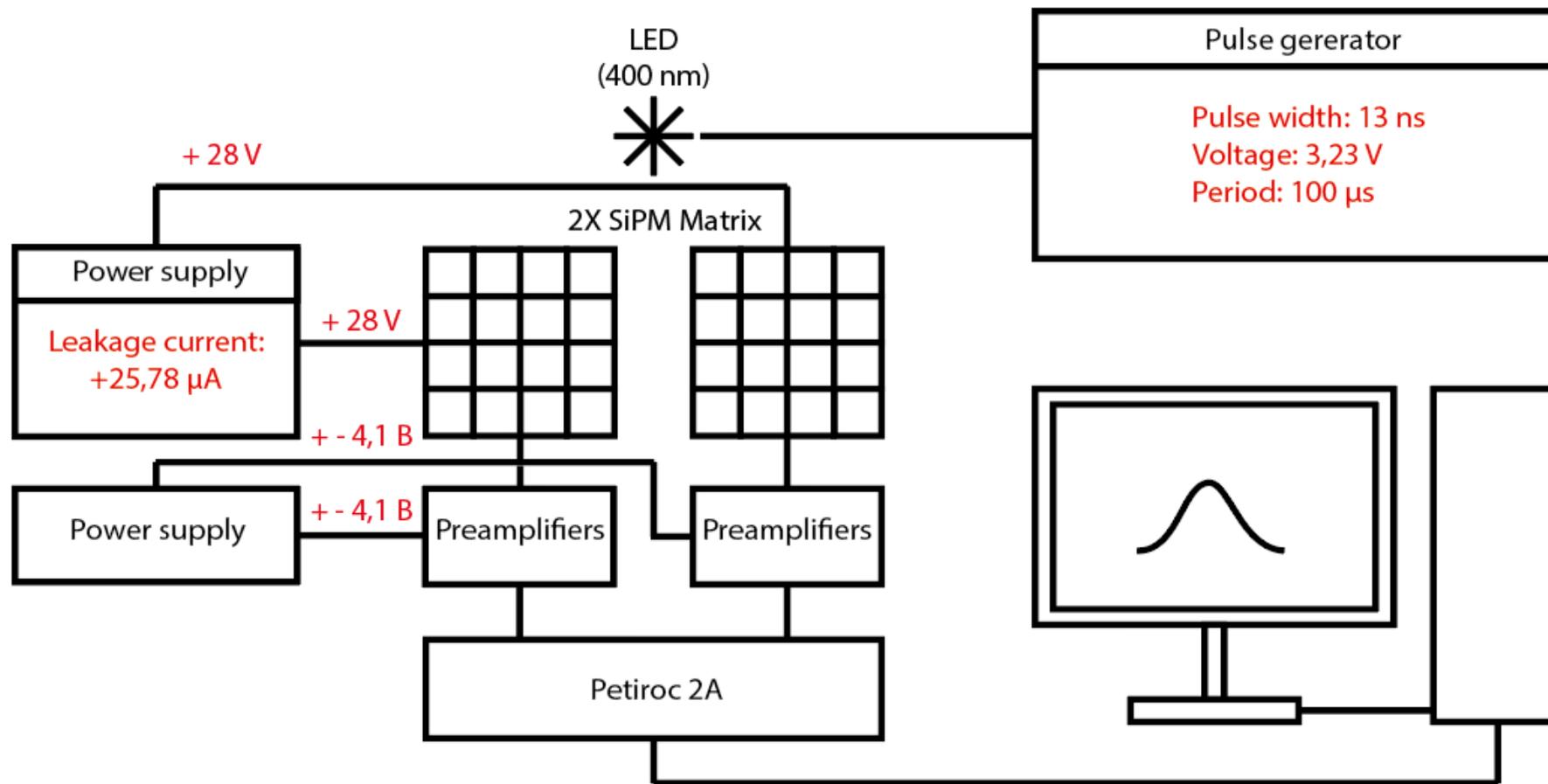
Рисунок 3 – Схема подключения матрицы SiPM SensL ARRAYJ-30035-16P

Экспериментальная установка

- Petiros 2A - 32-канальный ASIC(application-specific integrated circuit, “интегральная схема для конкретного применения”), предназначенный для считывания данных с кремниевых фотоумножителей (SiPM).
- Petiros 2A сочетает в себе возможность точных измерений заряда и времени. Заряд и время оцифровываются внутри прибора с помощью 10-битных АЦП и ВЦП.



Принципиальная схема установки для калибровки коэффициента усиления



Оценка однородности коэффициентов усиления каналов матрицы

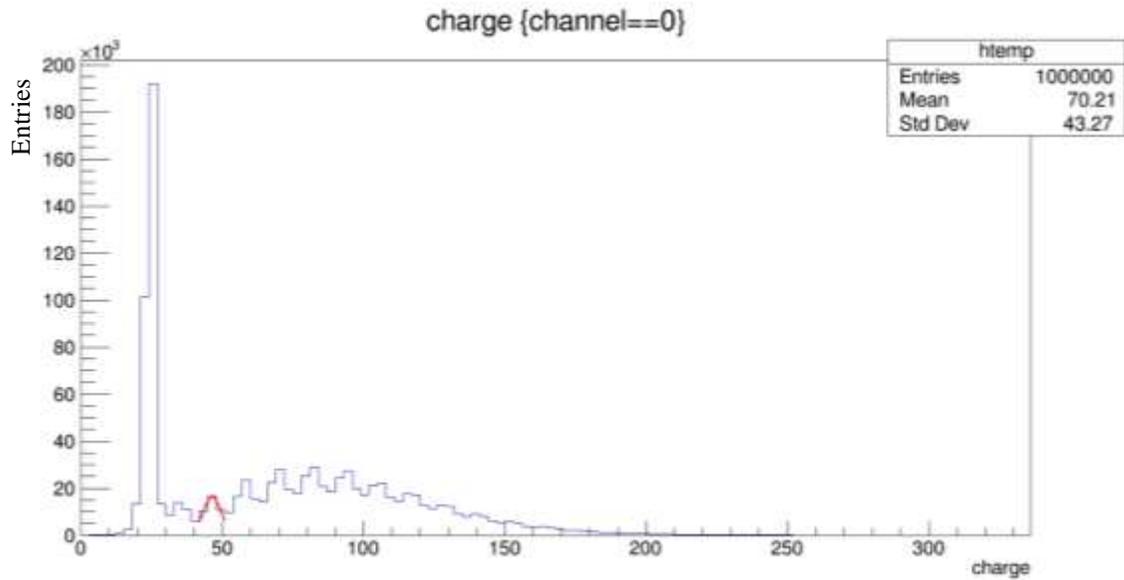


Рисунок 3 – Одноэлектронный спектр с нулевого канала матрицы

Дисперсия полученного
распределения коэффициентов
усиления:
 $\sim 3\%$

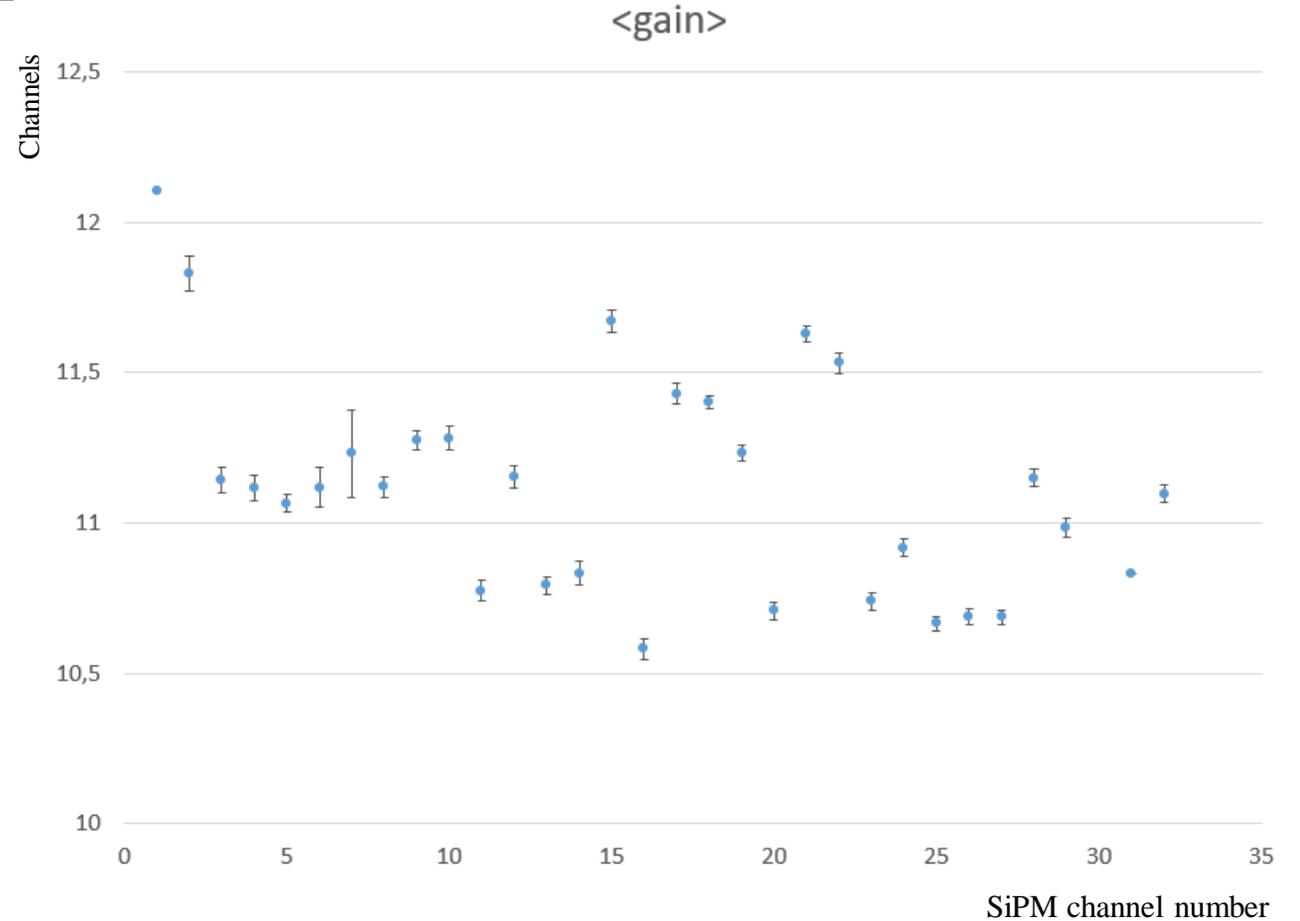


Рисунок 4 – График зависимости коэффициентов усиления от номеров каналов матриц

Оценка энергетического разрешения

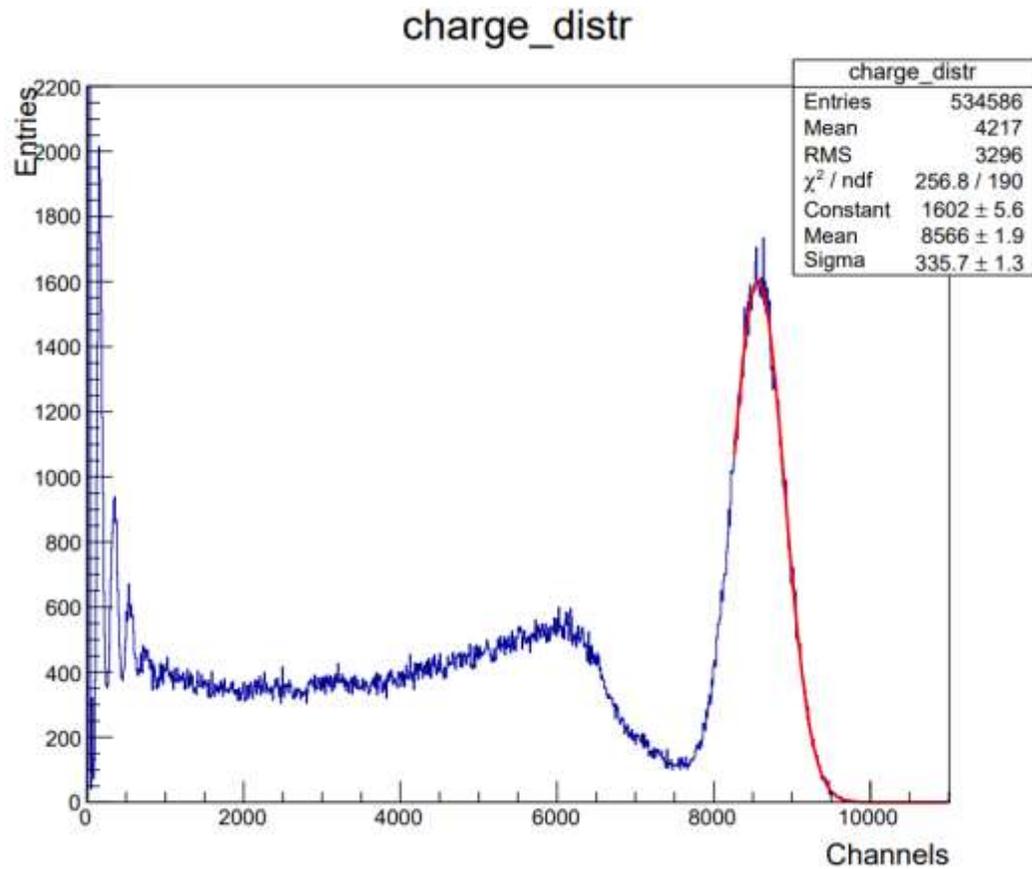


Рисунок 5 – Суммарный зарядовый спектр Cs-137

Относительное разрешение (662 кэВ):

$$\delta \sim 9\%$$

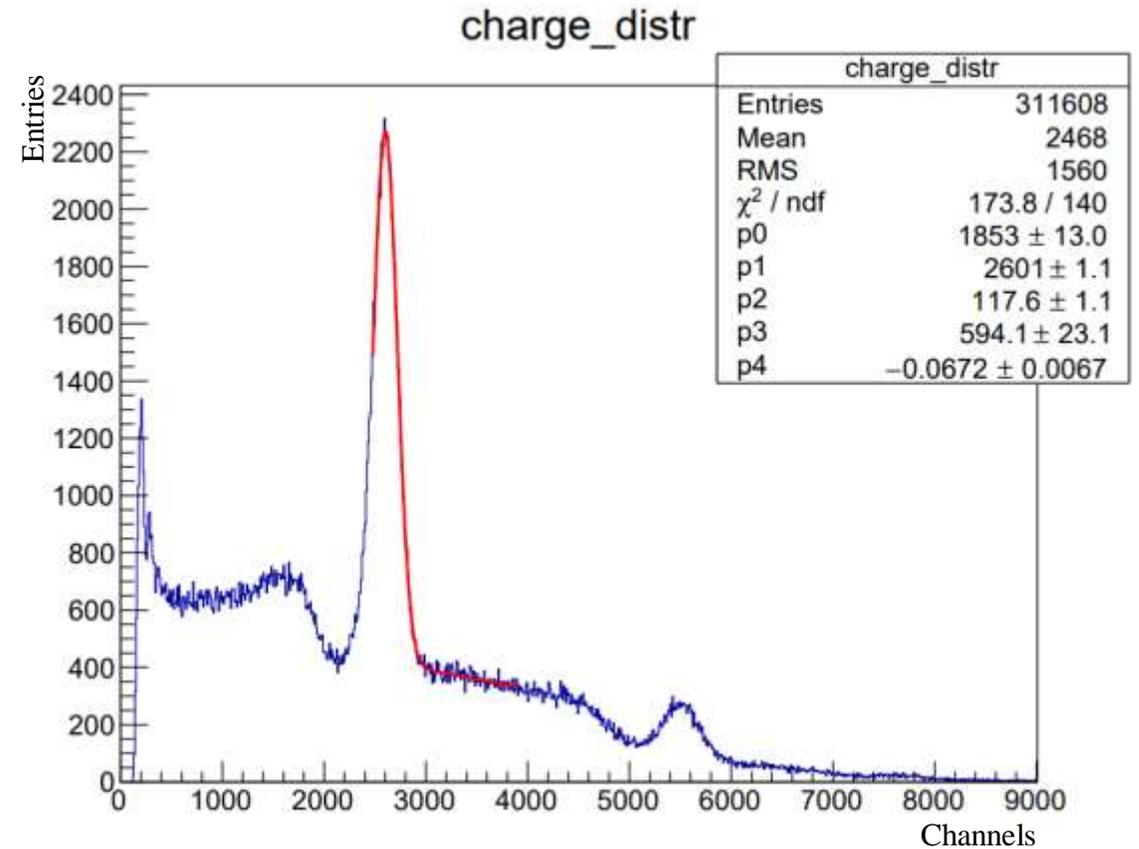


Рисунок 6 – Суммарный зарядовый спектр Ti-44

Относительное разрешение (511 кэВ):

$$\delta \sim 11\%$$

Оценка координатного разрешения

$$X = \frac{\sum_i x_i \cdot \omega_i}{\sum_i \omega_i} \quad Y = \frac{\sum_i y_i \cdot \omega_i}{\sum_i \omega_i}$$

где x_i - координата центра i -ой ячейки матрицы в миллиметрах,

ω_i - вес i -ой ячейки в каналах

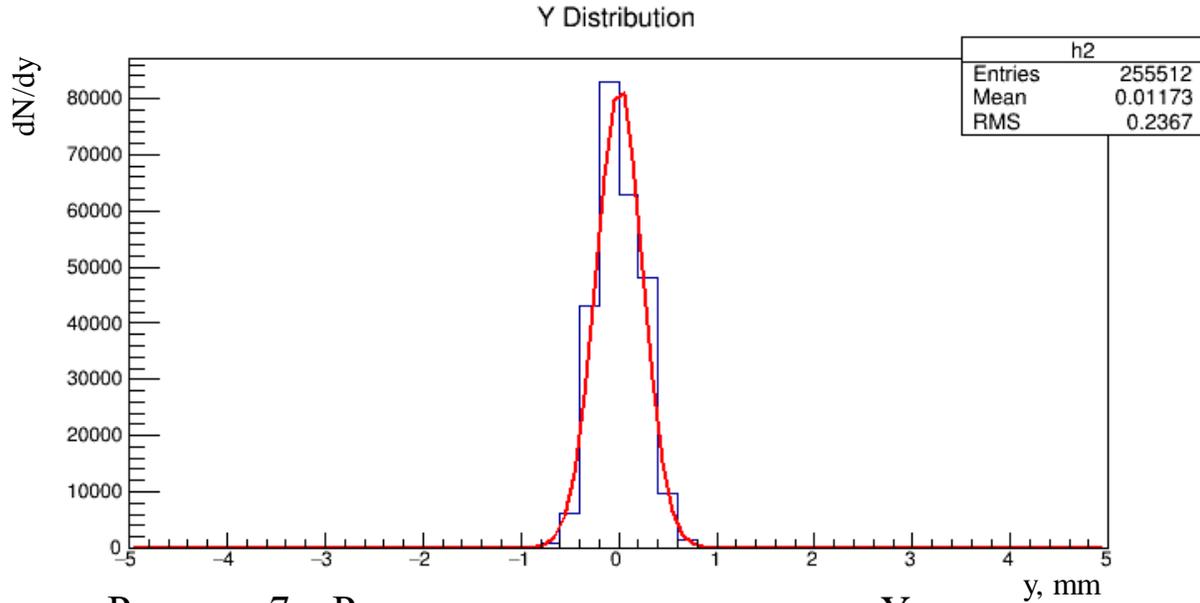


Рисунок 7 – Распределение по координате Y

Оценка координатного разрешения по оси Y
матрицы:
FWHM ~ 0,6 мм

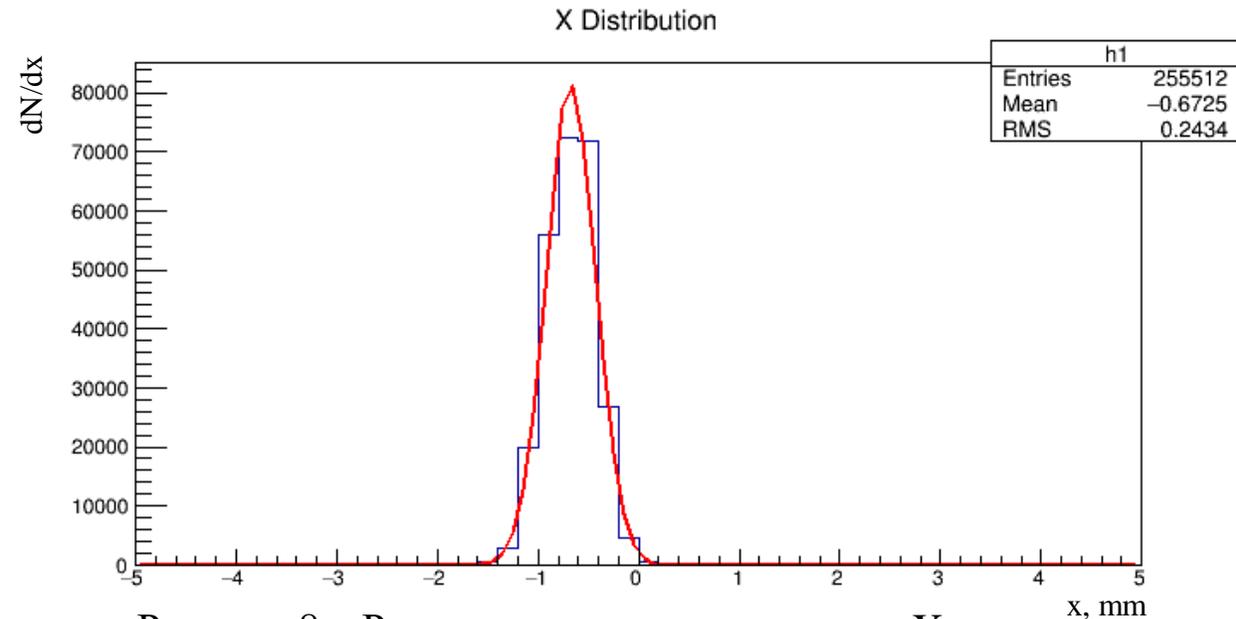
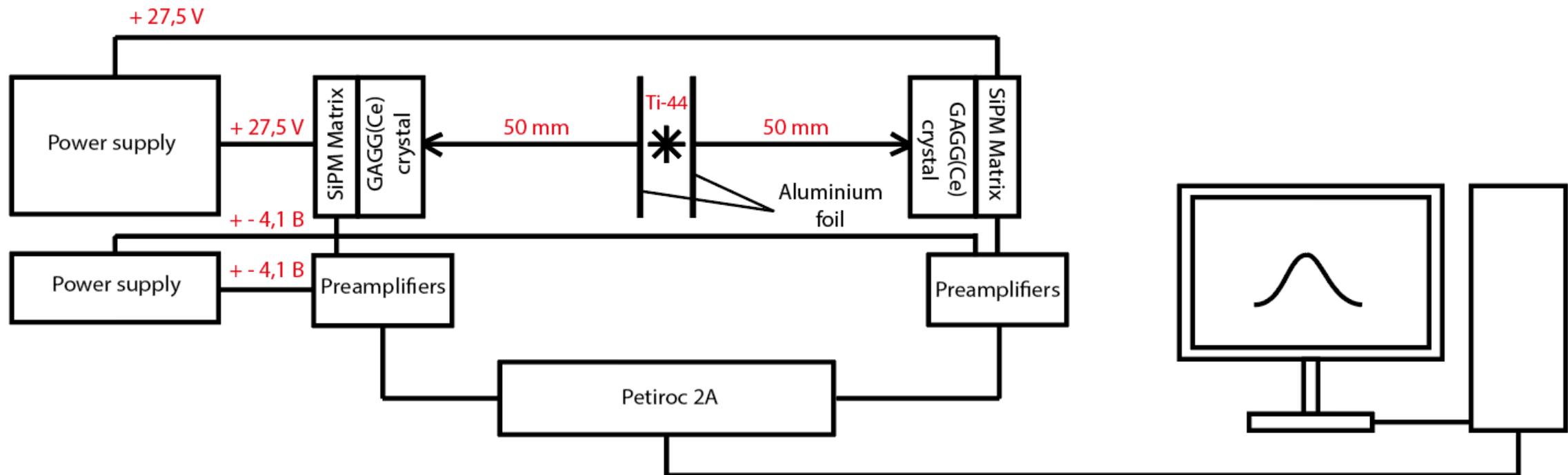


Рисунок 8 – Распределение по координате X

Оценка координатного разрешения по оси X
матрицы:
FWHM ~ 0,6 мм

Принципиальная схема установки для измерения временного разрешения



Оценка временного разрешения

- Отбор событий по числу сработавших ячеек
- Исключение событий с ложными срабатываниями
- Временной спектр получен на основе разности усредненных времен срабатывания ячеек различных матриц
- Цена деления канала – 36 пс

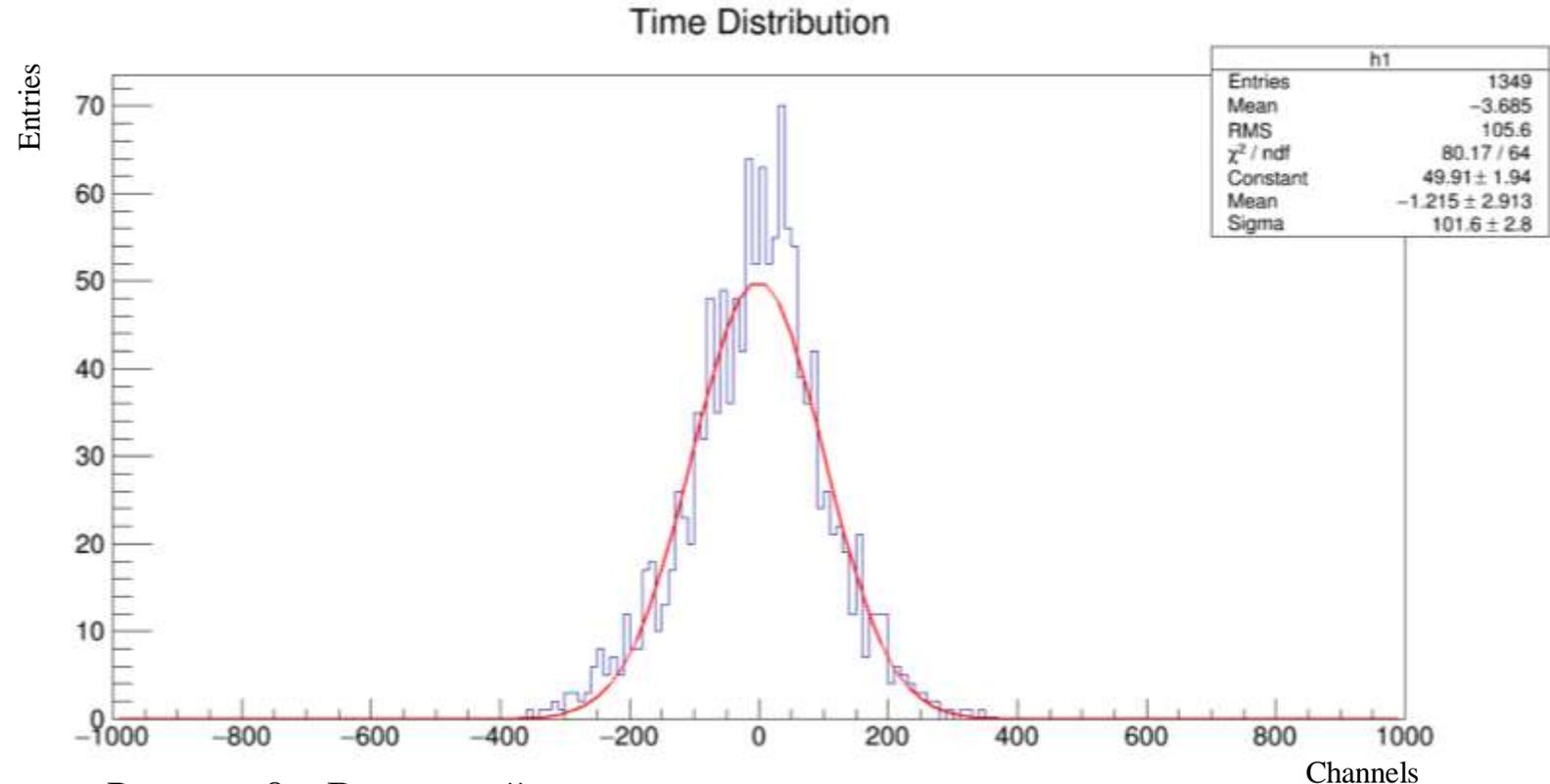


Рисунок 8 – Временной спектр от пар аннигиляционных гамма-квантов

Оценка временного разрешения детектора на основе двух матриц SiPM и двух сцинтилляционных кристаллов GAGG(Ce):
FWHM ~ 8 нс

Заключение

- Получены одноэлектронные спектры и проведена оценка однородности коэффициента усиления каналов матрицы. Дисперсия составила $\sim 3\%$
- Проведена оценка относительного энергетического разрешения на примере Cs-137 (662 кэВ) и Ti-44 (511 кэВ). Оно составило $\delta \sim 9\%$ и $\delta \sim 11\%$ соответственно
- Восстановлена координата XY – взаимодействия и проведена оценка координатного разрешения, оно составило $\sim 0,6$ мм
- Проведена оценка временного разрешения детектора на основе двух матриц SiPM и сцинтилляционных кристаллов GAGG. Оно составило ~ 8 нс

Спасибо за внимание!

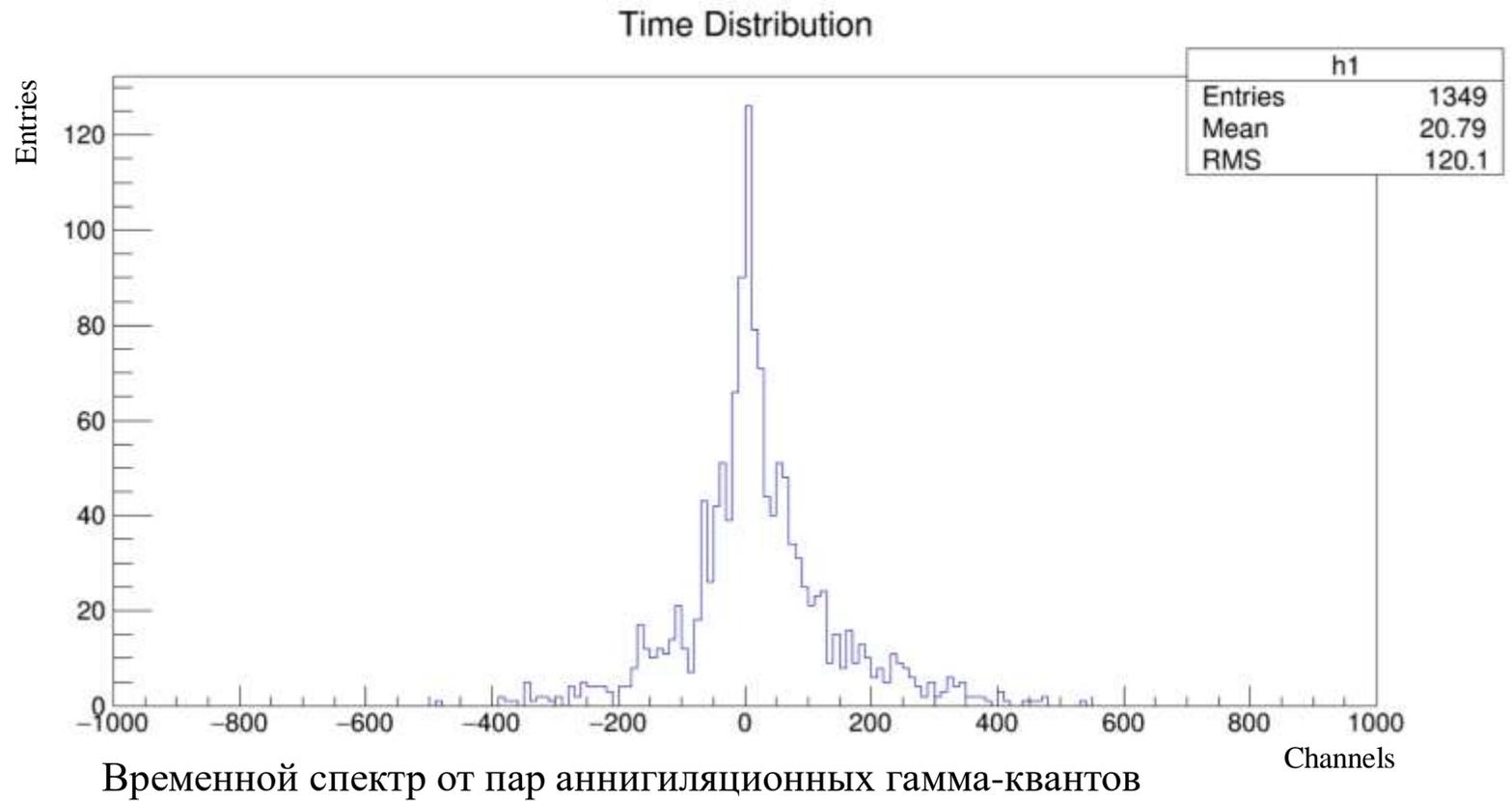
Backup

Parameter	GAGG	LYSO	<i>LaBr₃(Ce)</i>
Z_{eff}	51	63	45
Density, g/cm^3	6.6	7.1	5.1
Luminescence decay time, ns	30-100	41	16
Energy resolution (662 keV), %	5	7	3
Peak wavelength, nm	520	420	365
Hygroscopicity	-	-	+
Self-radioactivity	-	+	+

Сравнение основных характеристик различных сцинтилляционных кристаллов

Васкуп

- Отбор событий по числу сработавших ячеек
- Исключение событий с ложными срабатываниями
- Временной спектр получен на основе разности времен первых сработавших ячеек различных матриц
- Цена деления канала – 36 пс



Гаусс + Коши?