



Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»



Кафедра физики элементарных частиц №40

Научная исследовательская работа студента на тему:

# Измерение координатного разрешения детектора на основе монолитного кристалла GAGG и матрицы SiPM

Научный руководитель:

Дубинин Ф. А.

Студентка 1 курса:

Журкина А. О.

ИЯФиТ

г. Москва 2023

# 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.

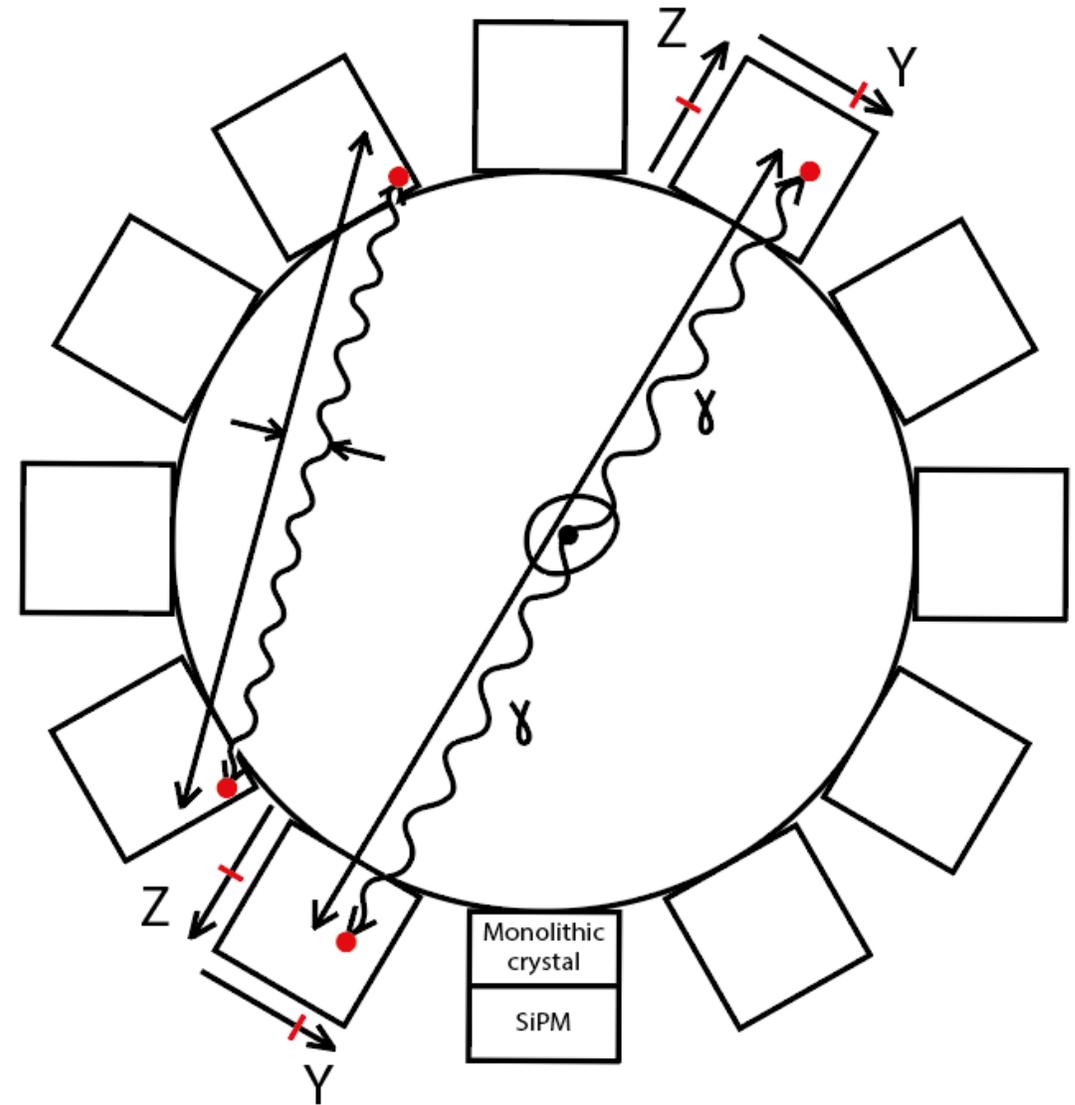


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПЭТ

# Цель

- Оценка координатного разрешения детектора на основе кристалла GAGG 12x10x8 мм в сочетании с матрией SiPM 4x4 SensL's SPMArray4

# Поставленные задачи

- Измерение пробоа матрицы
- Написание программы для восстановления координаты XY – взаимодействия
- Изготовление маски для точного позиционирования калибровочного сцинтилляционного кристалла

# Экспериментальная установка

Монолитный кристалл GAGG 12x10x8 мм:

Parameter	GAGG
$Z_{eff}$	51
Density, $g/cm^3$	6.6
Luminescence decay time, ns	30-100
Energy resolution (662 keV), %	5
Peak wavelength, nm	520

Матрица SiPM SensL's SPMArray 4:

Parameter	Value
Array details, pixels	4 x 4
Total pixel effective area, $mm^2$	13.4 x 13.4
Pixel chip area, $mm^2$	3.16 x 3.16

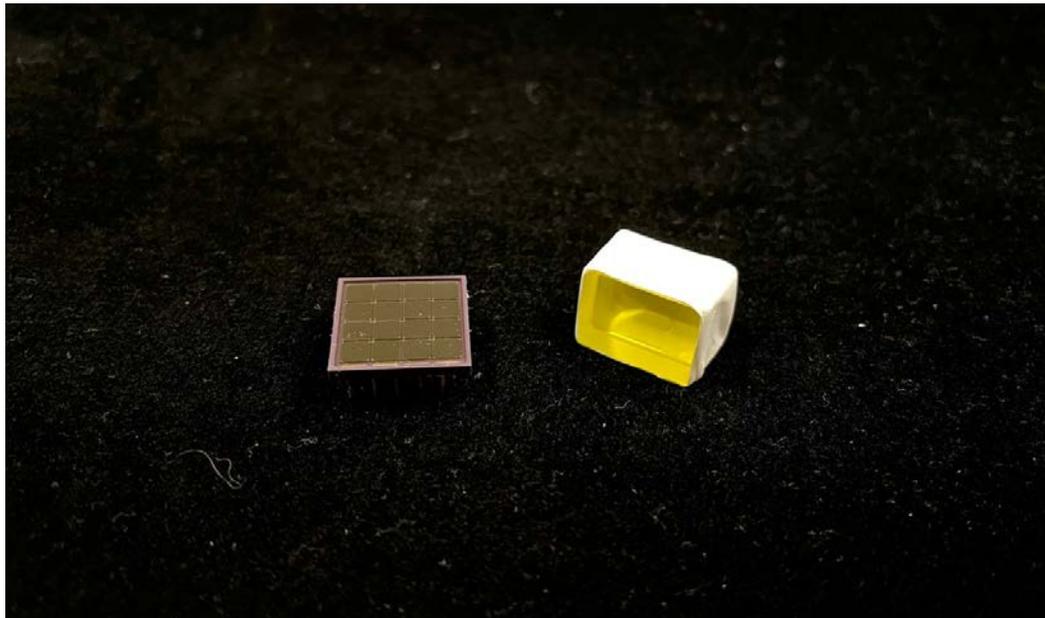
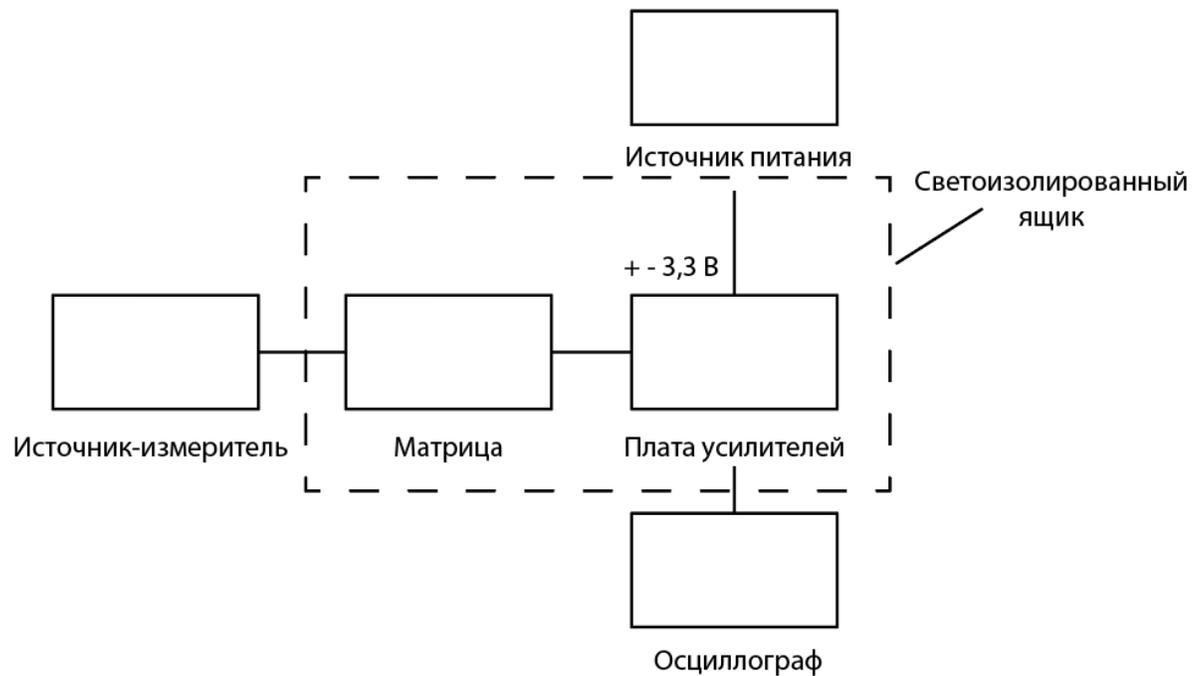


Рисунок 2 – Матрица SiPM SensL's SPMArray4 и монолитный сцинтиляционный кристалл GAGG(Ce)

# Представление результатов



Напряжение пробоя матрицы SiPM (SensL's SPMArray4):

$$U_{\text{пр}} = 26,3 \text{ В}$$

Тогда величина рабочего перенапряжения:

$$2,3 \text{ В}$$

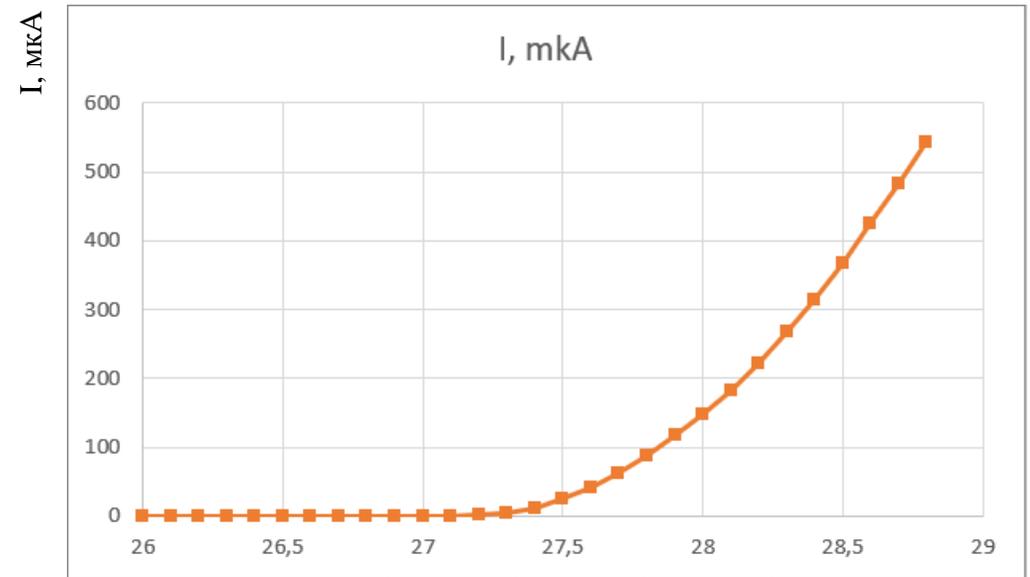


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика

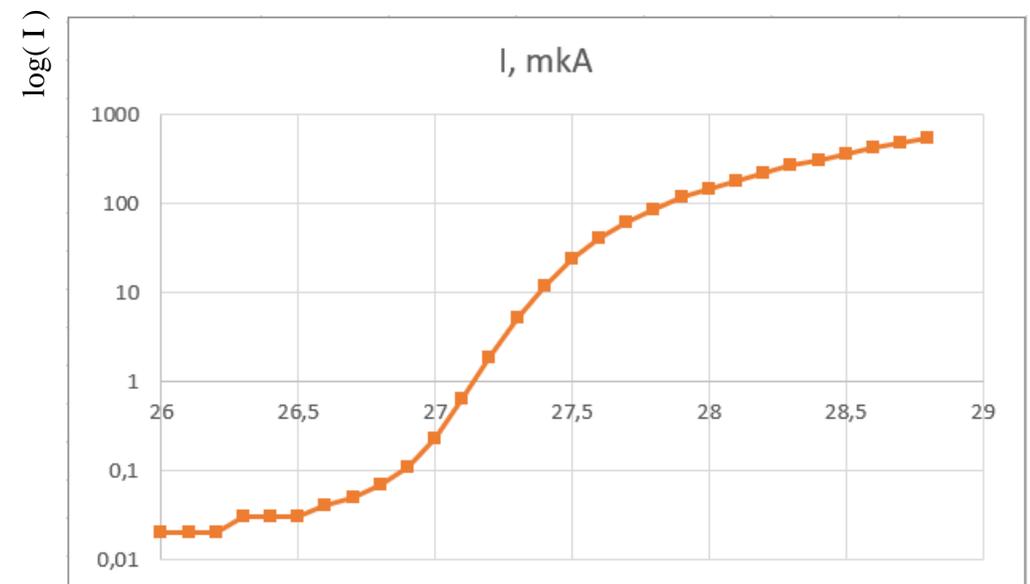


Рисунок 4 – Вольт-амперная характеристика

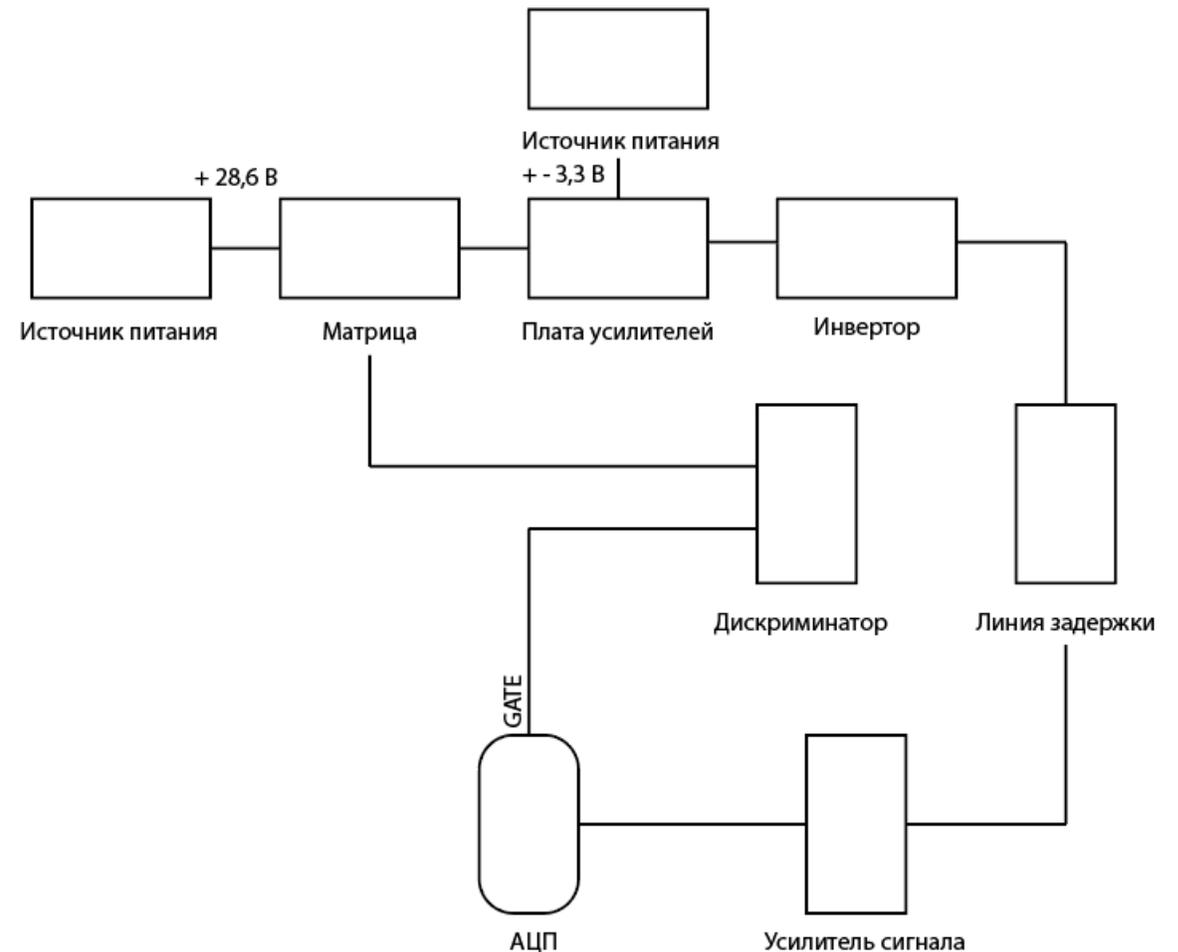
U, В

# Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из следующих элементов:

1. Источник питания
2. Матрица SiPM 4x4 (SensL's SPMArray4)
3. Считывающая плата на 16 каналов
4. Монолитный сцинтилляционный кристалл GAGG(Ce)
5. Дискриминатор
6. Инвертор
7. Линия задержки
8. Усилитель сигнала
9. Аналого-цифровой преобразователь
10. Зарядово-цифровой преобразователь

Схема установки



# Представление результатов

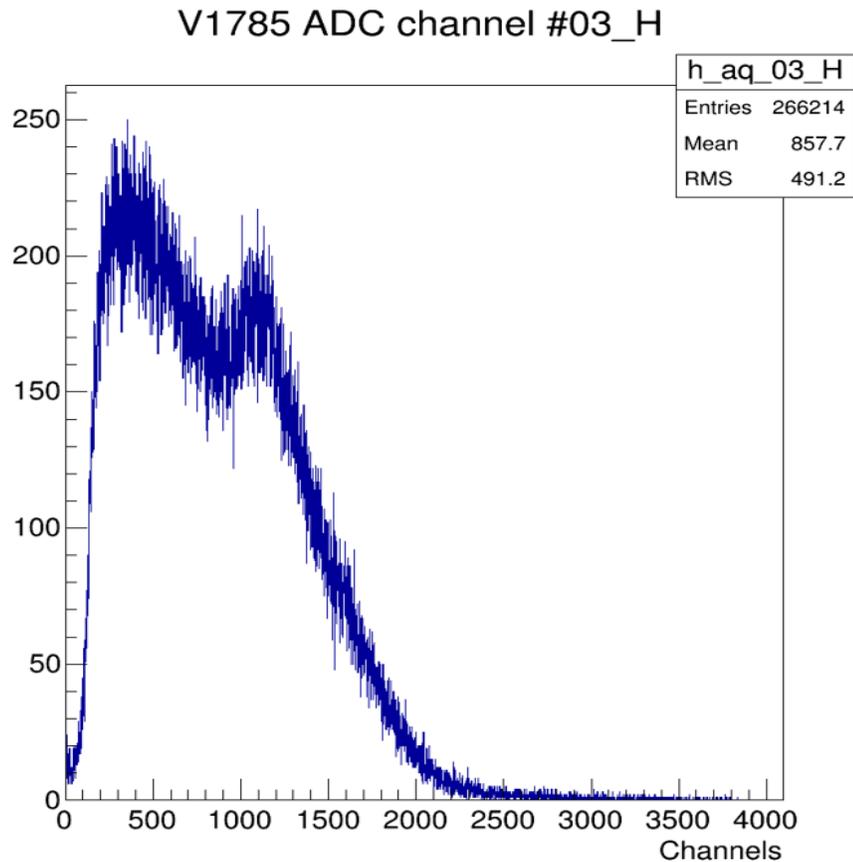


Рисунок 5 - Амлитудный спектр Цезия-137 снятый с 3-го канала матрицы

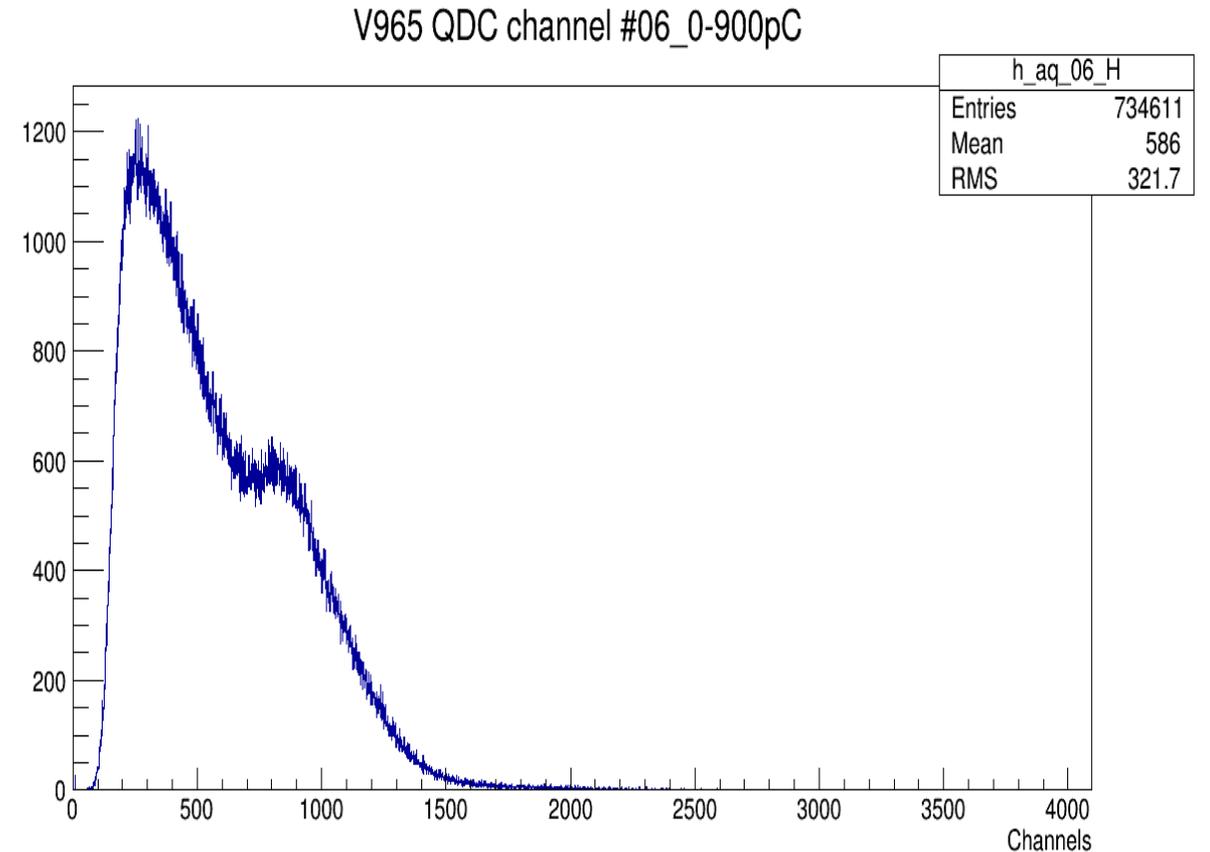


Рисунок 6 - Зарядовый спектр Цезия-137 снятый с 6-го канала матрицы

# Представление результатов

iev/I:data[16]/F																
8030267	-1	-1	3441	-1	2261	-1	2019	-1	3016	-1	2755	-1	1805	-1	2250	
8030268	-1	1599	-1	1789	-1	-1	-1	1190	-1	1707	-1	1768	-1	1615		
8030269	-1	1631	-1	1809	-1	1207	-1	723	-1	873	-1	1765	-1	1509	-1	1807
8030270	-1	3029	-1	3496	-1	-1	-1	-1	-1	1413	-1	2706	-1	3125	-1	2797
8030272	-1	1958	-1	1761	-1	1335	-1	1141	-1	1216	-1	1796	-1	1640	-1	1780
8030273	-1	2525	-1	2552	-1	2546	-1	1789	-1	2167	-1	3256	-1	2659	-1	2229
8030274	-1	2753	-1	2942	-1	2080	-1	2101	-1	2078	-1	2649	-1	2235	-1	2562
8030275	-1	2566	-1	3568	-1	3832	-1	1844	-1	2550	-1	-1	-1	3317	-1	2709
8030276	-1	1263	-1	1489	-1	1527	-1	716	-1	1093	-1	2142	-1	1551	-1	1322
8030277	-1	-1	-1	-1	-1	3278	-1	2735	-1	2064	-1	3025	-1	2954	-1	2338
8030278	-1	1122	-1	1310	-1	1109	570	75	-1	860	-1	1774	-1	996	-1	1391
8030279	-1	3095	-1	-1	-1	3811	-1	1443	-1	2645	-1	4037	-1	2743	-1	2147
8030280	-1	3083	-1	-1	-1	2731	-1	2161	-1	2342	-1	3412	-1	2464	-1	3159
8030281	-1	3559	-1	4010	-1	3566	-1	1739	-1	2843	-1	-1	-1	3510	-1	1987
8030282	-1	1731	-1	2588	-1	1529	-1	759	-1	1559	-1	1616	-1	1468	-1	1245
8030283	-1	1508	-1	2507	-1	2081	-1	1456	-1	1255	-1	2321	-1	2308	-1	1435
8030284	-1	3305	-1	4081	-1	-1	-1	3061	-1	2907	-1	2902	-1	3475	-1	3083
8030285	-1	1189	-1	1786	-1	1184	-1	620	-1	1009	-1	1960	-1	1484	-1	911
8030286	-1	695	-1	535	2963	375	-1	642	-1	588	-1	1344	-1	1100	-1	746
8030287	-1	3047	-1	-1	-1	-1	-1	2024	-1	2184	-1	-1	-1	2809	-1	2761
8030288	-1	830	-1	1592	-1	978	2961	376	-1	919	-1	1388	-1	1102	-1	1153
8030289	-1	1096	-1	1169	-1	865	1972	251	-1	914	-1	959	-1	1285	-1	704
8030290	-1	934	-1	1204	-1	959	2361	300	-1	1013	-1	819	-1	872	-1	1049
8030291	-1	3479	-1	3876	-1	-1	-1	3077	-1	1727	-1	3218	-1	3024	-1	2807
8030292	-1	2889	-1	2323	-1	3466	-1	1828	-1	1641	-1	2699	-1	3875	-1	-1
8030293	-1	844	-1	589	-1	977	359	48	1306	170	-1	1154	-1	777	-1	619
8030295	-1	3547	-1	3760	-1	-1	-1	2065	-1	2313	-1	4018	-1	3428	-1	2346
8030296	-1	2499	-1	-1	-1	-1	-1	2262	-1	1594	-1	2267	-1	1914	-1	1859
8030297	-1	1790	-1	2944	-1	2226	-1	2183	-1	1916	-1	2611	-1	2921	-1	2384
8030298	-1	2156	-1	2408	-1	1905	-1	714	-1	1093	-1	2277	-1	1548	-1	1193
8030299	-1	2202	-1	2239	-1	2761	-1	1154	-1	1580	-1	3382	-1	2488	-1	2576
8030300	-1	3105	-1	2633	-1	2513	-1	1692	-1	2201	-1	3305	-1	2986	-1	2635
8030533	-1	1299	-1	2026	-1	1716	-1	872	-1	825	-1	1713	-1	1885	-1	1303
8030534	-1	2201	-1	3066	-1	-1	-1	3095	-1	1942	-1	3296	-1	3155	-1	3251
8030535	-1	1043	-1	1109	-1	1291	-1	700	-1	926	-1	1484	-1	1685	-1	1339
8030536	-1	2248	-1	1764	-1	1703	-1	882	-1	1638	-1	2614	-1	1687	-1	1019
8030537	-1	3130	-1	2823	-1	2526	-1	1657	-1	2268	-1	3168	-1	2852	-1	1986
8030538	-1	1473	-1	2681	-1	1545	-1	1849	-1	1333	-1	2563	-1	2636	-1	3524
8030540	-1	1739	-1	3039	-1	2635	-1	1282	-1	1620	-1	2945	-1	2499	-1	2427
8030542	-1	1987	-1	2652	-1	2556	-1	2223	-1	2482	-1	2561	-1	2250	-1	2538
8030543	3667	464	-1	590	4051	526	301	41	3307	421	-1	865	-1	584	-1	716

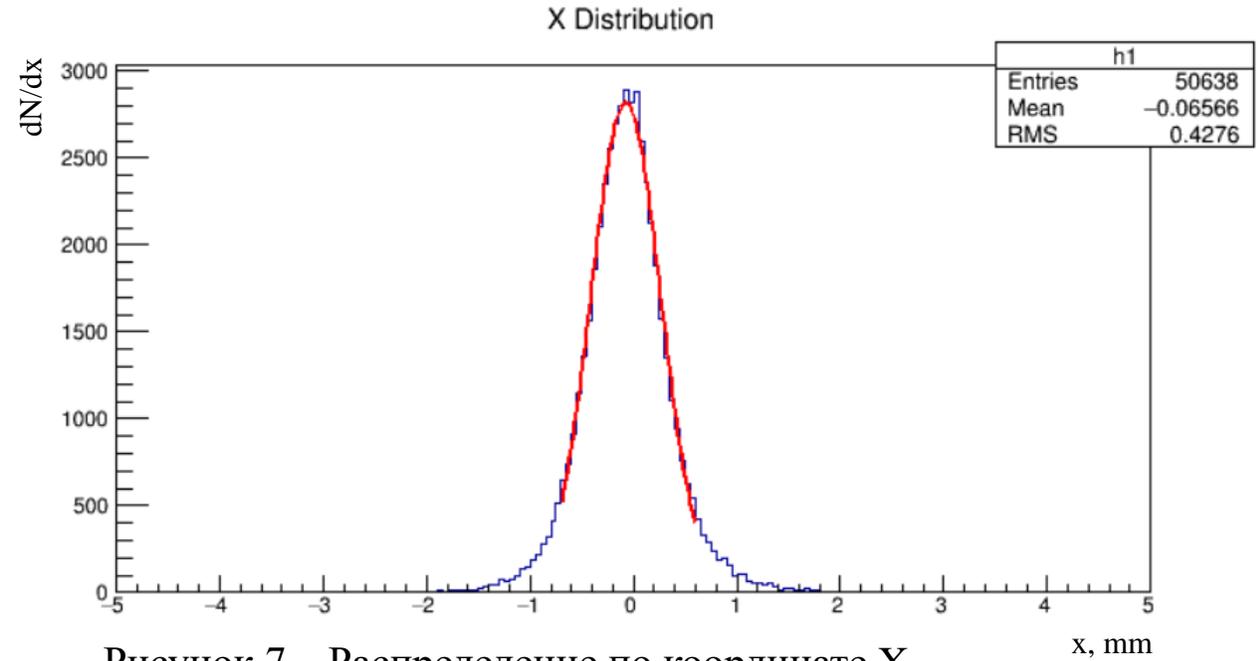


Рисунок 7 – Распределение по координате X

Parameter	Value	Error
Const	2819	18
Mean, mm	-0.072	0.002
Sigma, mm	0.338	0.002

где  $x_i$  - координата центра  $i$ -ой ячейки матрицы в миллиметрах,  
 $\omega_i$  - вес  $i$ -ой ячейки в каналах

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

Оценка координатного разрешения по длинной стороне матрицы:  
 FWHM = 0,8 ± 0,1 мм

# Представление результатов

- Для проверки корректности работы написанной программы была проведена симуляция данных для 16 каналов матрицы. За основу взято оценочное число фотонов (12000 шт), распределенное по двумерному Гауссу
- Для пересчета числа фотонов в номер канала был выбран оценочный коэффициент  $k = 4$
- Причины несогласованности результатов программы и результатов симуляции сейчас являются объектом обсуждения

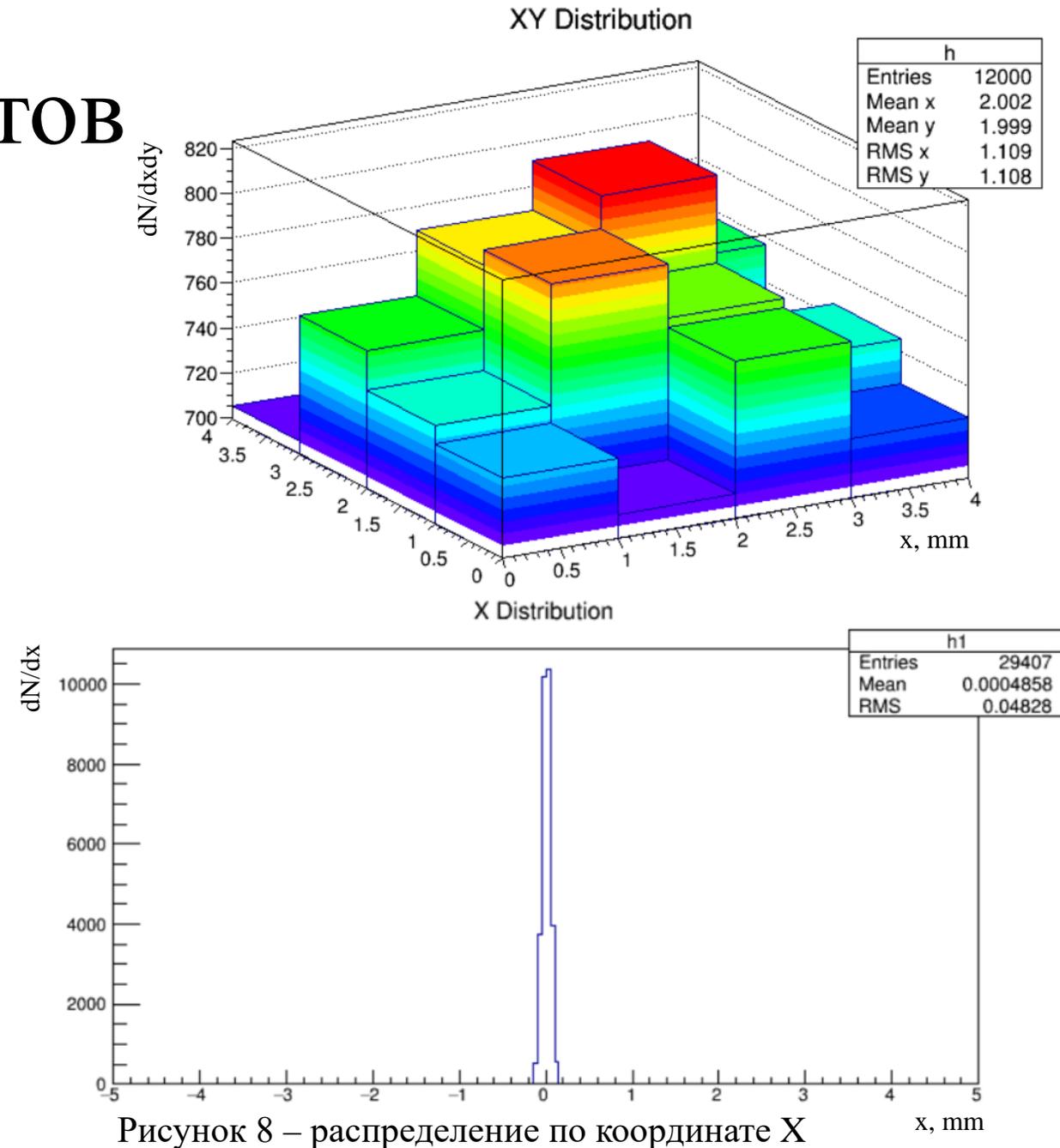


Рисунок 8 – распределение по координате X

# Представление результатов

Смоделирована и изготовлена маска для точного позиционирования калибровочного сцинтилляционного кристалла.

В связи с асимметрией размеров матрицы по осям X и Y было принято решение изготавливать две отдельные составляющие: крышку и помещаемую в нее маску.

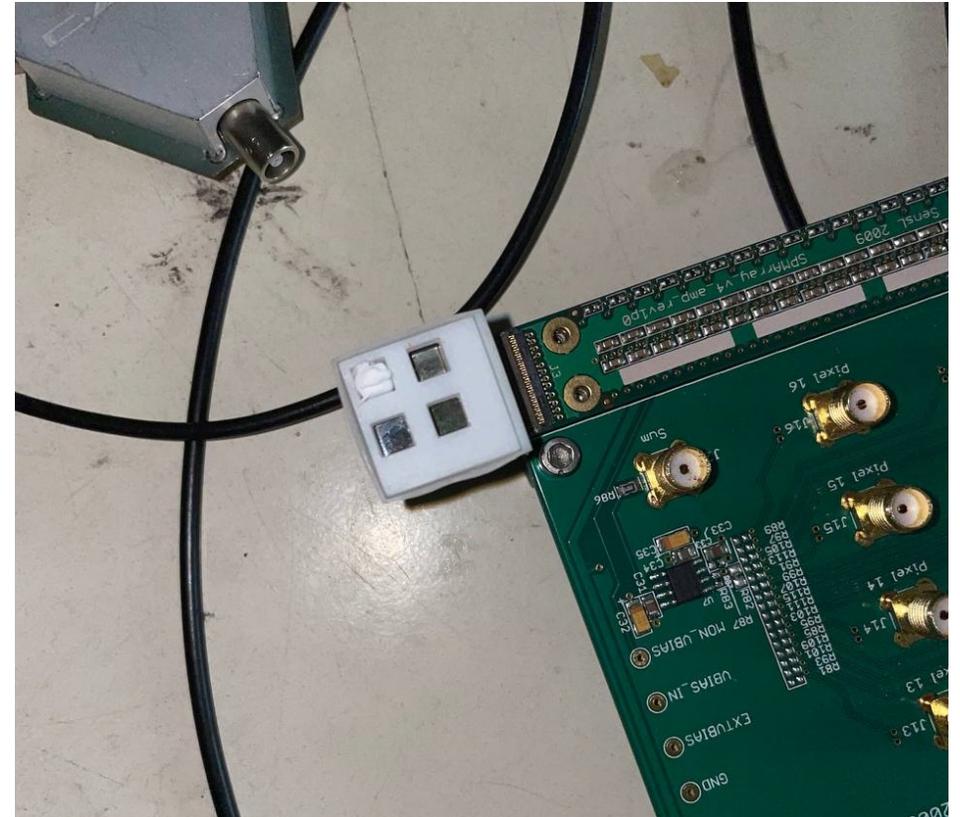
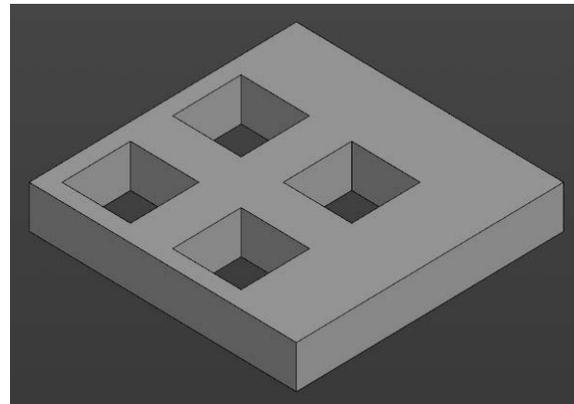
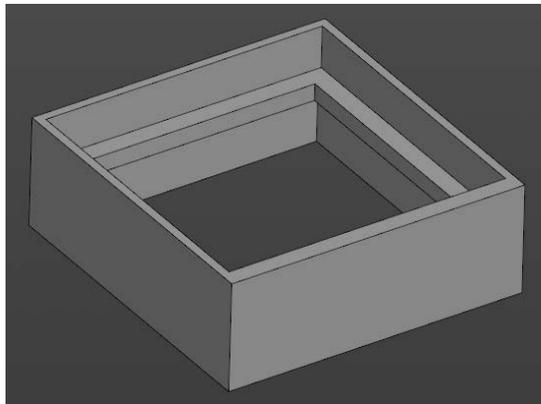


Рисунок 9 - Установленная на матрицу маска для точного позиционирования калибровочного сцинтилляционного кристалла

# Заключение

- Измерено напряжение пробоя матрицы:  $U_{пр} = 26,3 \text{ В}$
- Тогда рабочее перенапряжение: 2, 3 В
- Написана программа для восстановления координаты XY-взаимодействия
- Проведена оценка координатного разрешения по длинной стороне матрицы:  $\text{FWHM} = 0,8 \pm 0,1 \text{ мм}$
- Проведена симуляция данных для сравнения с результатами программы
- Изготовлена маска для точного позиционирования калибровочного сцинтилляционного кристалла

Спасибо за внимание!

# Backup

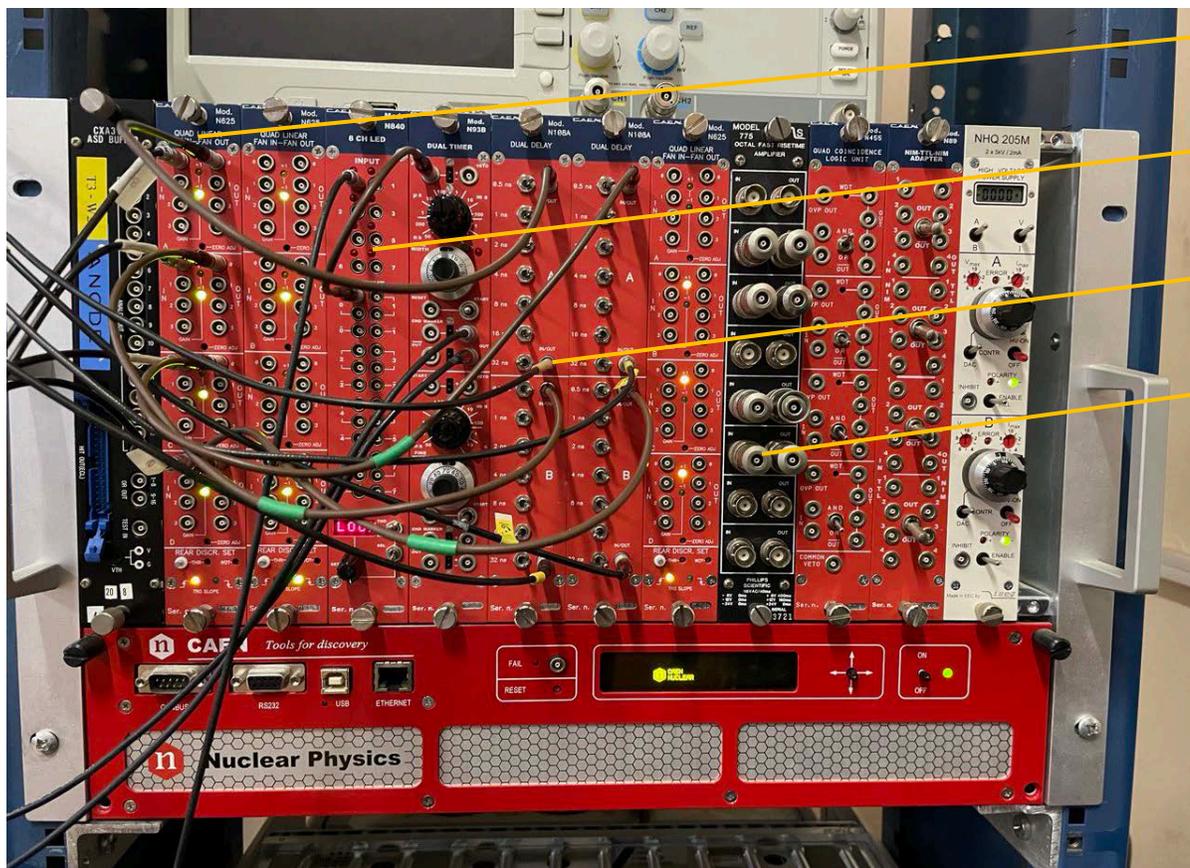


Рисунок 10 – Крейт NIM с установленными необходимыми для работы модулями

Инвертор

Дискриминатор

Линия задержки

Усилитель

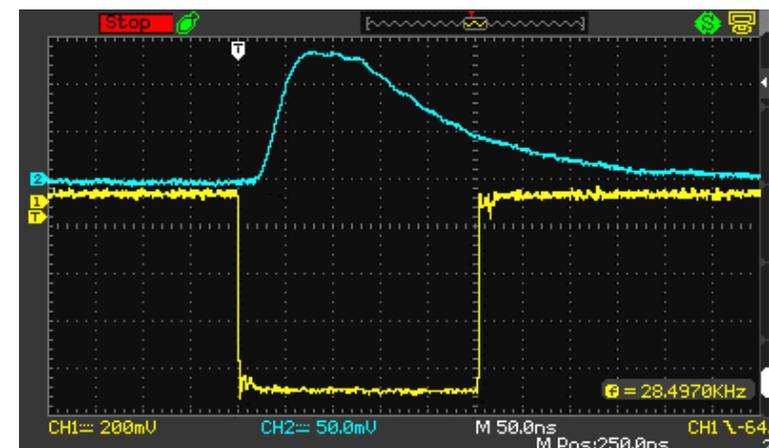
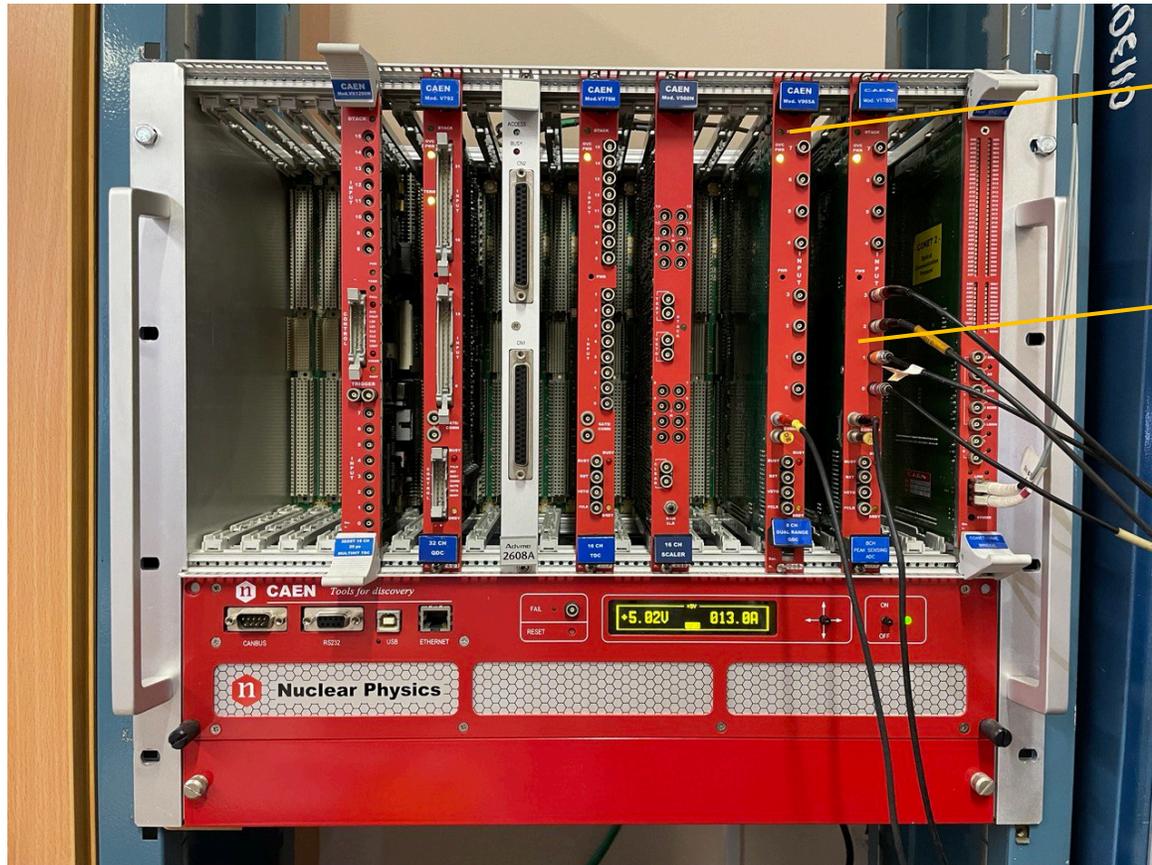


Рисунок 11 – Положение сигнала с одиночного канала(голубой) относительно сигнала с суммарного канала(желтый)

# Ваккуп



Зарядово – цифровой преобразователь

Аналого – цифровой преобразователь

Рисунок 12 - Крейт VME с установленными модулями ADC(АЦП) и QDC(ЗЦП)

# Backup

Parameter	GAGG	LYSO	<i>LaBr<sub>3</sub>(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