



# Мюонный телескоп для проведения тестирования элементов сцинтилляционного детектора BBC для эксперимента SPD

Научный руководитель: П.Е. Тетерин

к.ф.-м.н., доц.

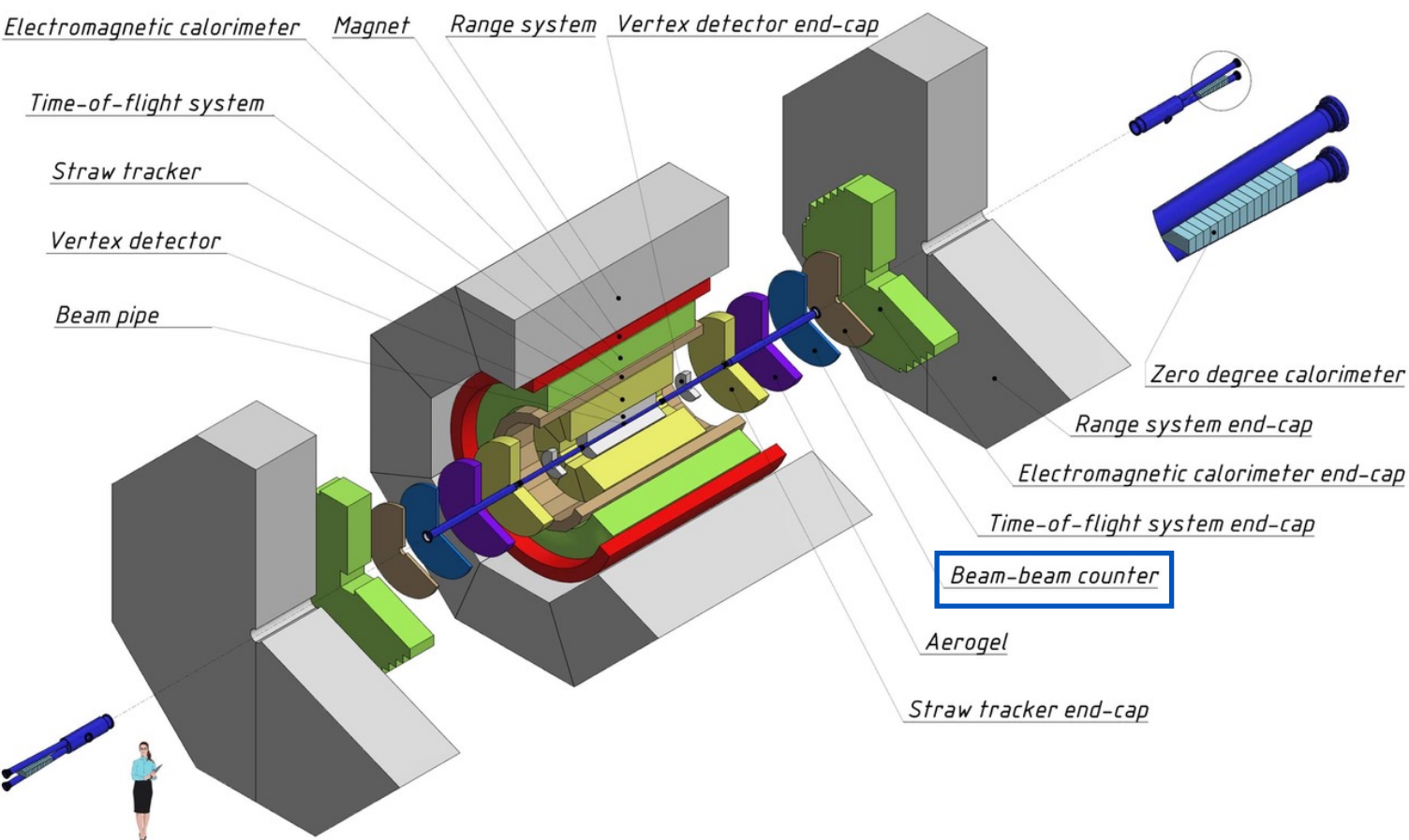
Научный консультант: Ф.А. Дубинин

Студентка: К.А. Тертышная

Москва, 2025



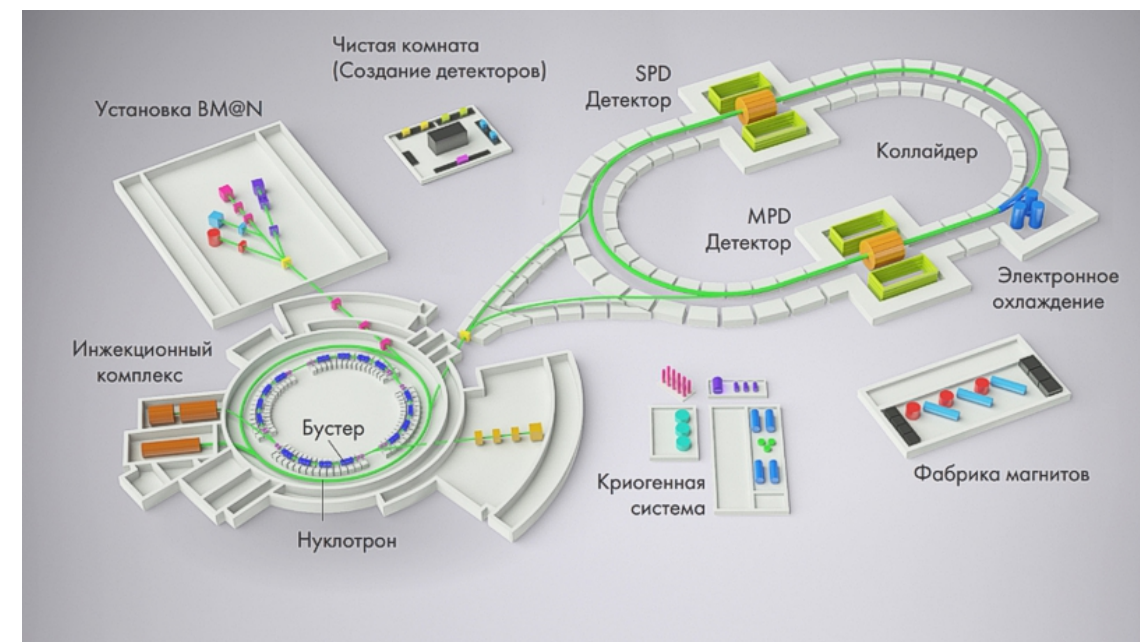
# Коллайдер NICA и эксперимент SPD



Детекторная система SPD

**Spin Physics Detector** - это универсальная установка для исследования спиновой структуры нуклонов и других спиновых явлений.

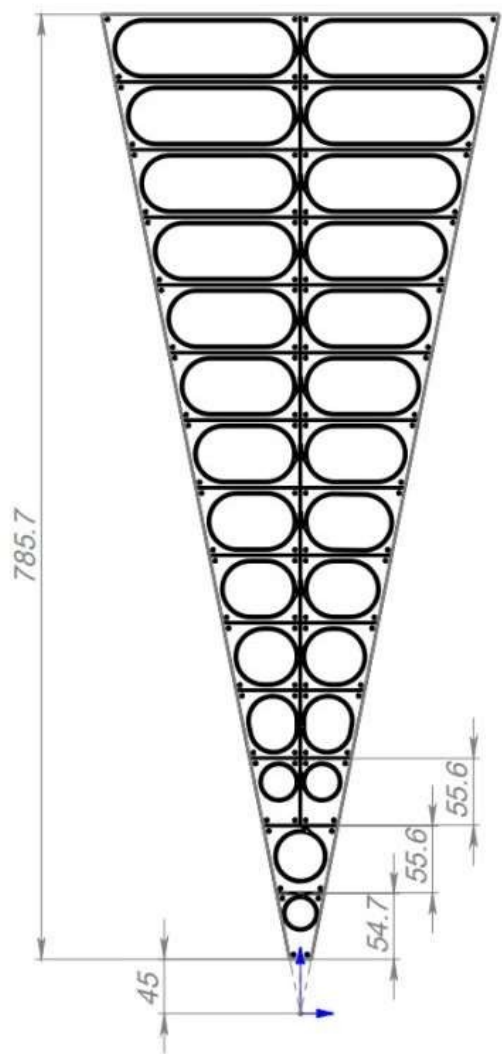
- Установка будет использовать поляризованные пучки
- Энергия частиц до 27 ГэВ в системе центра масс, частота соударения - 3 МГц



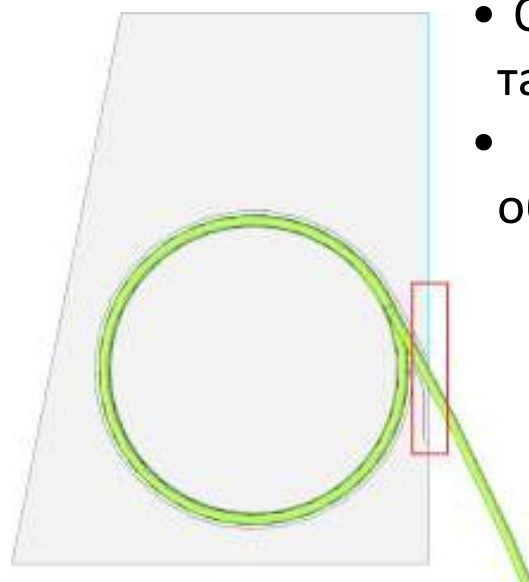
Ускорительный комплекс NICA

**Beam-Beam Counter** - сцинтилляционный детектор, имеющий секторную структуру.

- Одно колесо ВВС содержит 16 секторов, каждый сектор состоит из 26 тайлов.
- Сцинтилляторы соединены с кремниевыми фотоумножителями (SiPM) через спектросмещающее оптоволокно.
- Оптоволокно, скрученное в несколько раз, находится внутри тайла
- Сигнал с SiPM считывается системой предварительной обработки данных CAEN FERS-5200



Геометрия сектора ВВС



Сцинтиллятор  
трапецевидной  
формы (тайл)



CAEN FERS-5200

## Цель:

Получить отклик тайлов детектора BBC SPD в режиме ToT.

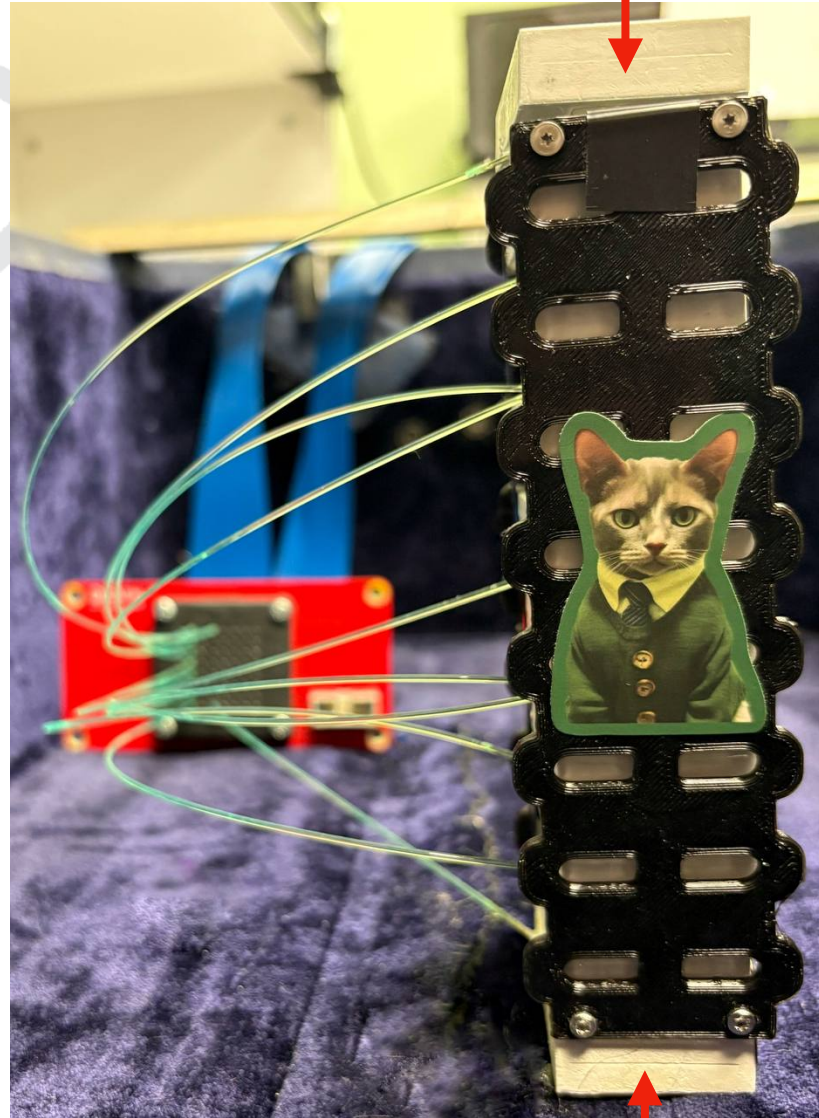
## Задачи:

1. Выставить рабочее напряжение на каждом из используемых SiPMов.
2. Прокалибровать шкалу DT5202 в режиме измерения амплитуды импульса в фотоэлектроны.
3. Сопоставить шкалы кодировщика в режимах Spectroscopy и ToT.



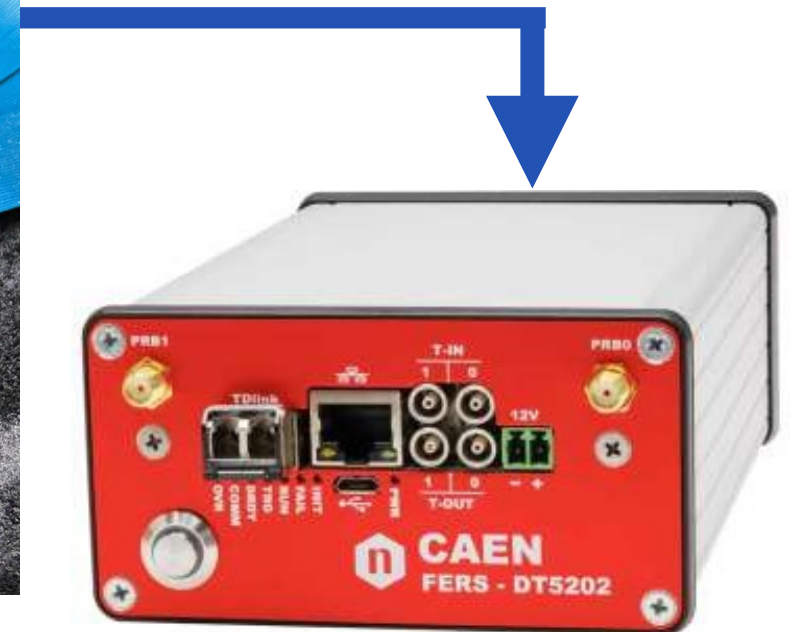
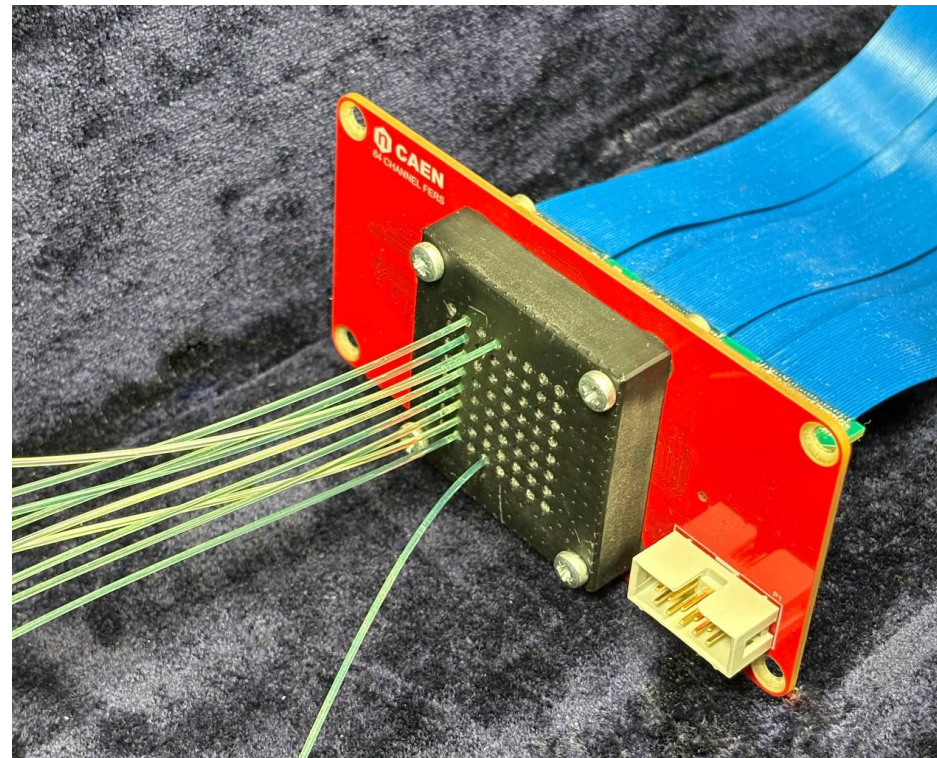
# Установка эксперимента

Триггерный тайл 1

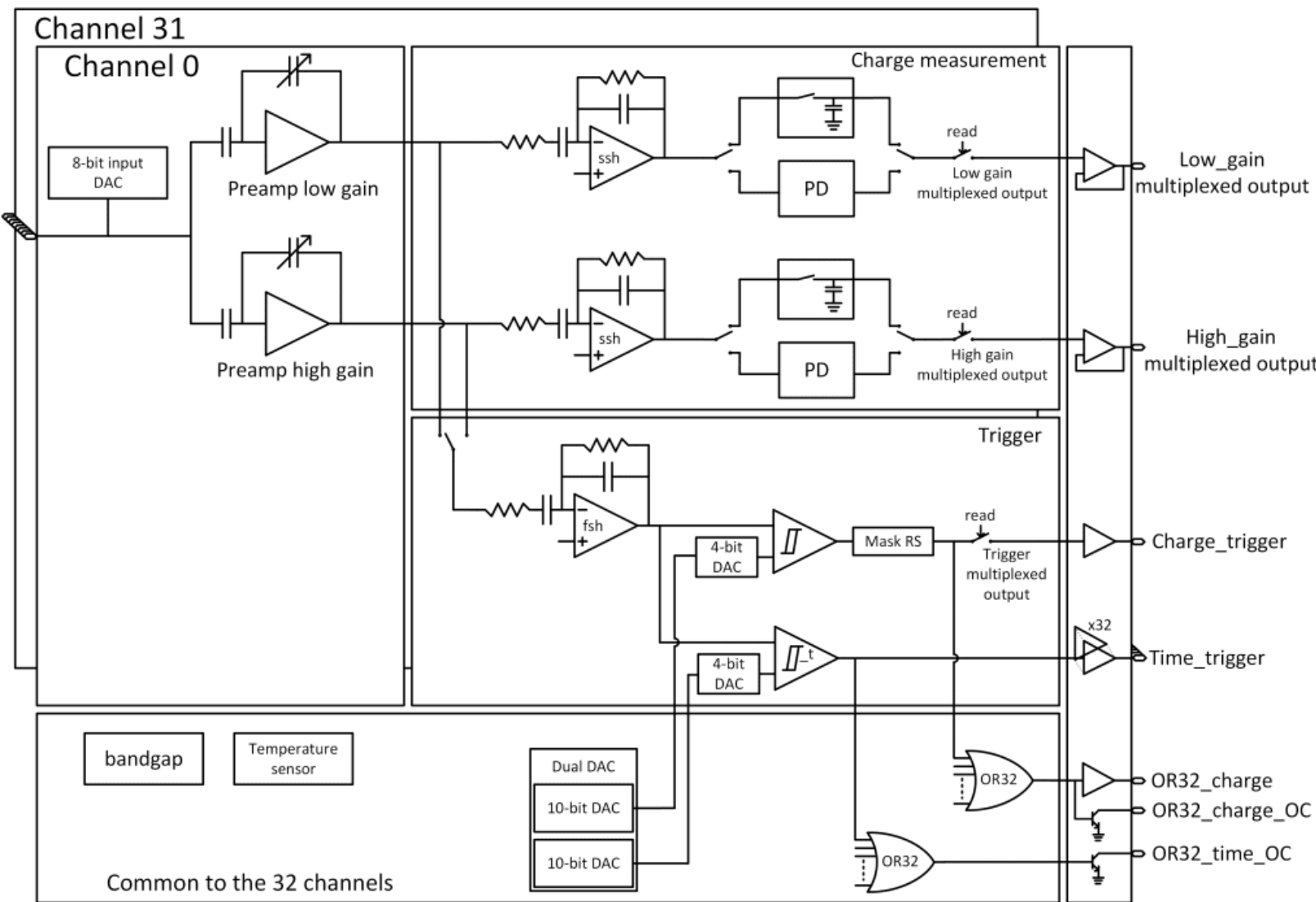


Триггерный тайл 2

- Телескоп состоит из 8-ми тайлов одной геометрии;
- Триггерные тайлы той же геометрии располагаются сверху и снизу телескопа;
- Сбор света с тайлов происходит с помощью волокна SG BCF-92;
- Шиферы выходят на матрицу Hamamatsu S13361-3050AE-08;
- Общая высота телескопа ~16 см.



# Устройство усилительного тракта DT5202

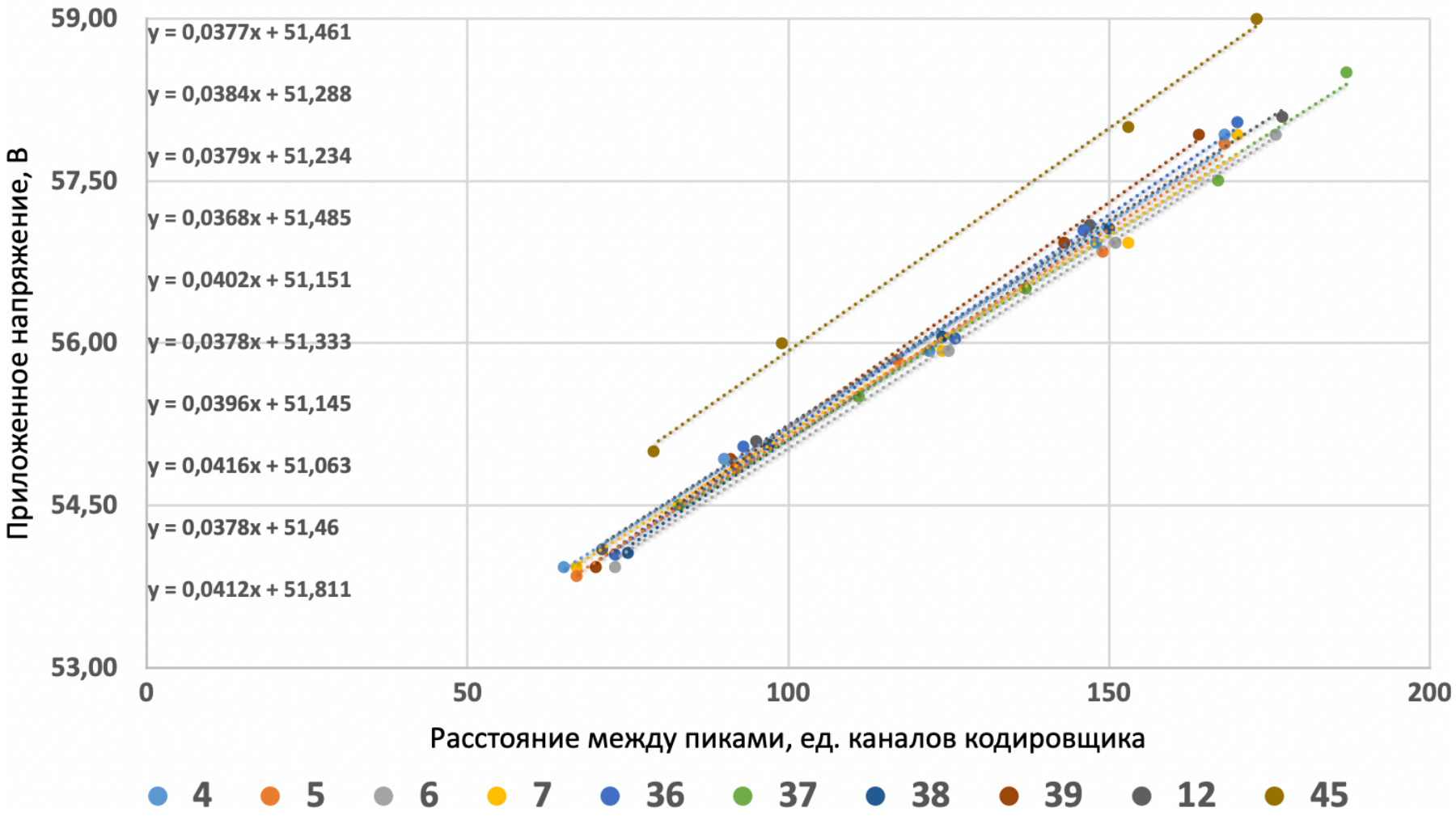


Чип Citiroc 1A

- Чип Citiroc 1A имеет предусилители, сигналы с которых идут на формирователи;
- Медленные формирователи предназначены для режима Spectroscopy;
- Быстрый формирователь предназначен для триггерной системы и режима ToT



# Подбор рабочего напряжения детекторов



Номер канала DT5202	$V_{\text{раб}}, \text{ В}$
4	58,46
5	58,29
6	58,23
7	58,49
12	58,46
36	58,15
37	58,33
38	58,15
39	58,06
45	58,81

Зависимость расстояния между пиками одноэлектронного спектра сигналов SiPM в зависимости от приложенного напряжения

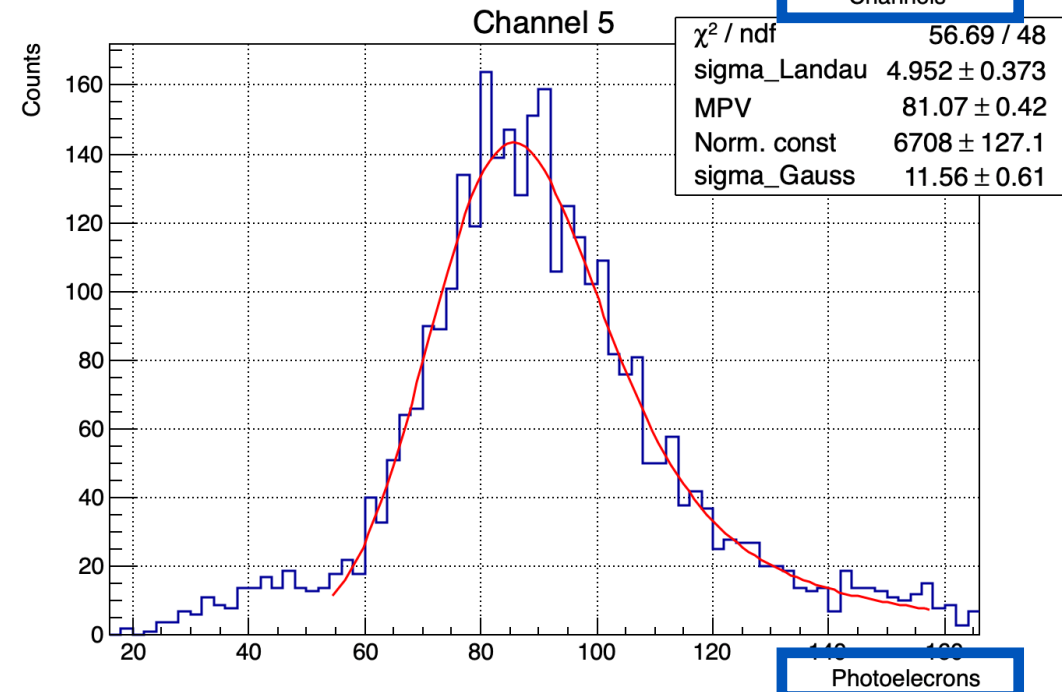
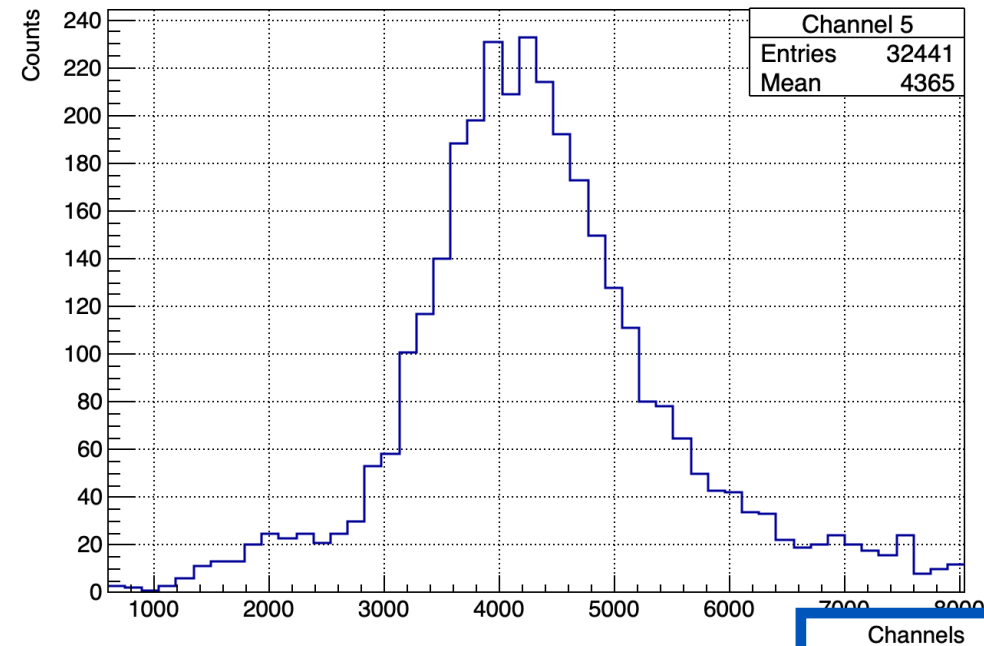
$V_{\text{раб}} = V_{\text{проб}} + 7\text{ В}$

# Калибровка шкалы РНА в фотоэлектронах



Номер канала DT5202	MPV, фэ
4	54
5	73
6	67
7	67
36	57
37	57
38	57
39	59

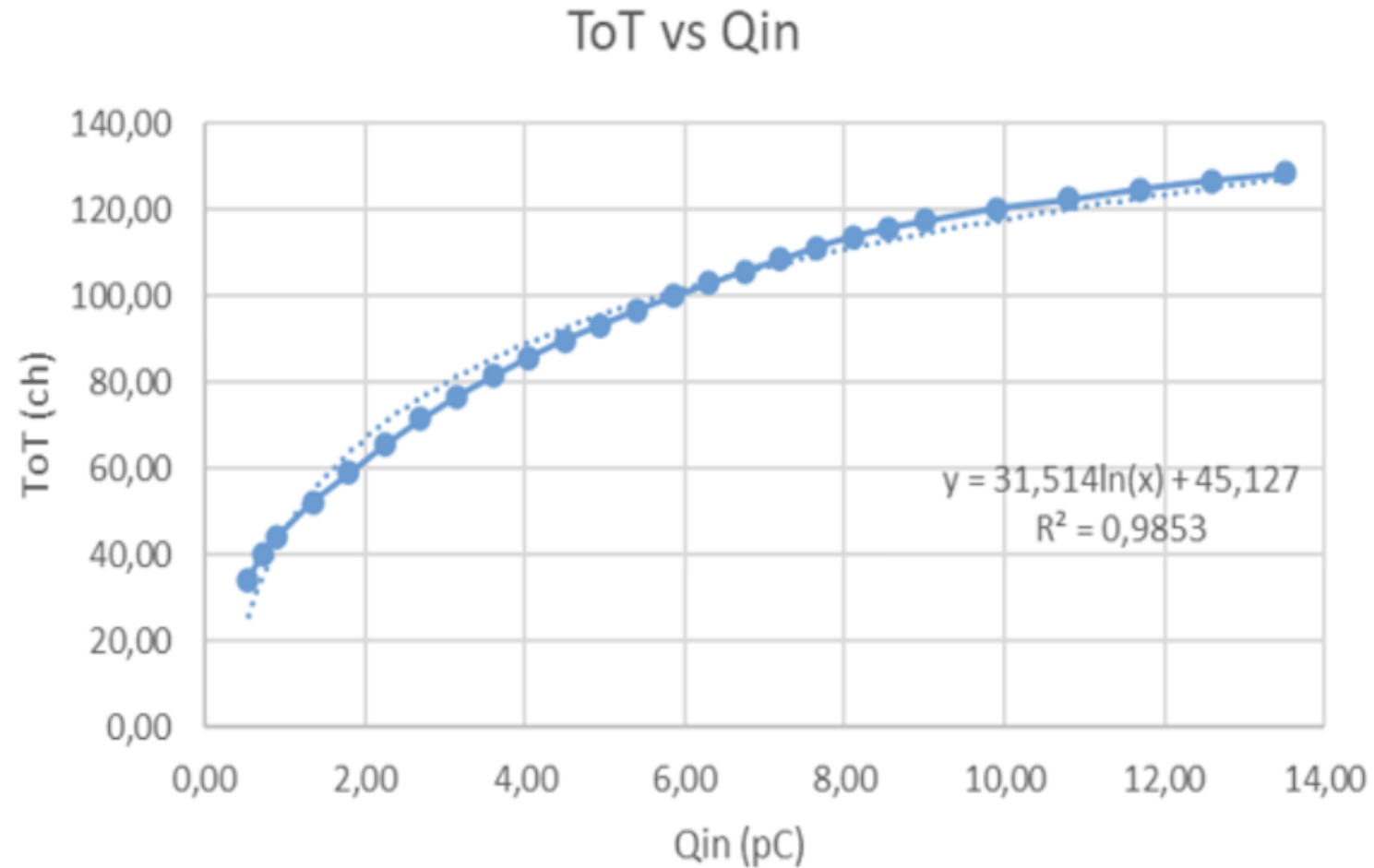
Спектр энергетических потерь космических мюонов, полученный  
с 5-ого канала детектора





# Режим ToT DT5202

Режим ToT - время длительности сигнала над порогом



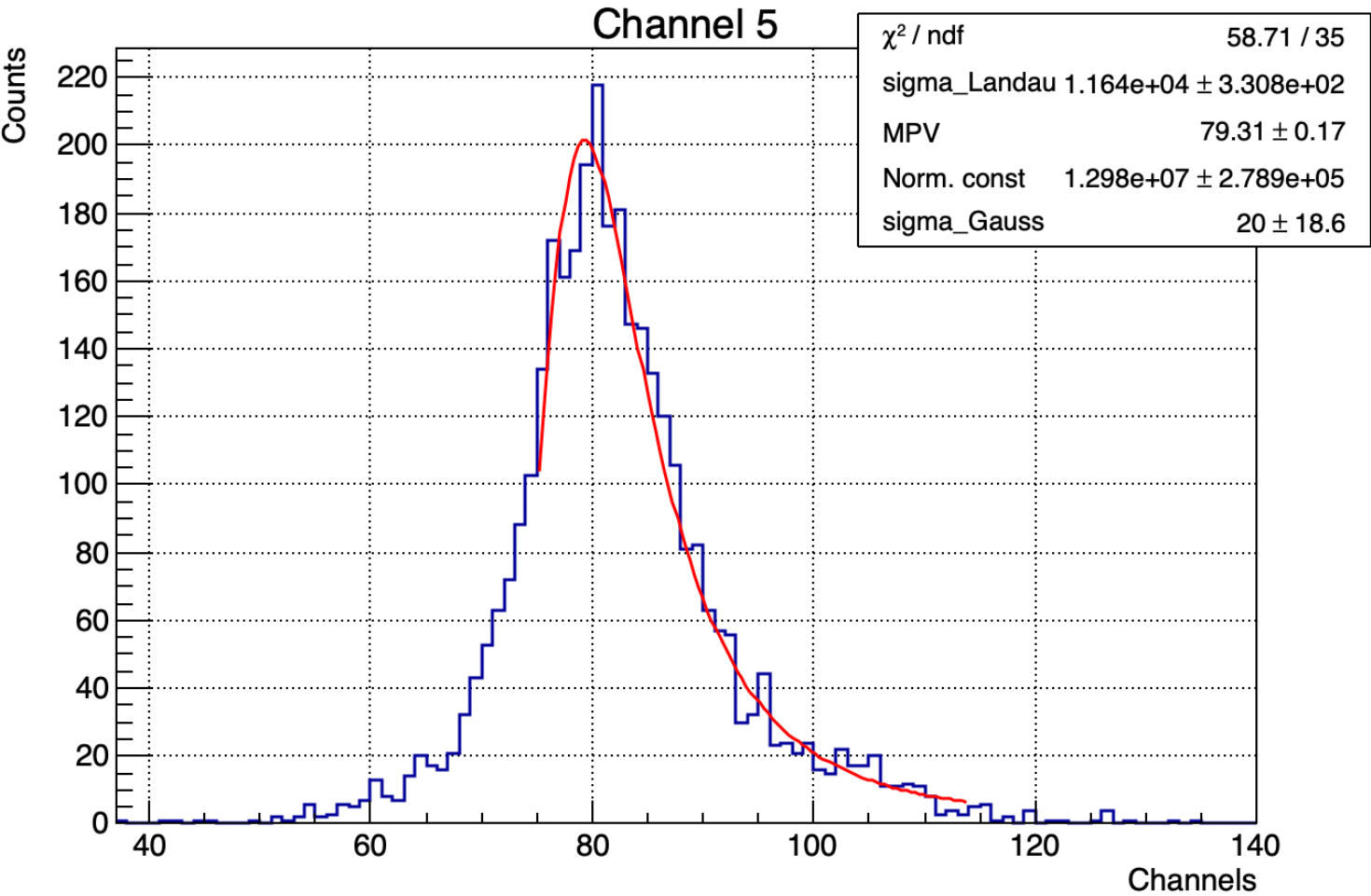
Нелинейность режима ToT  
описывается формулой:

$$\text{ToT} = 0,0409 Q_{in}^3 + 19,749 Q_{in}^2 - 1,4547 Q_{in} + 26,873$$

Цена канала кодировщика: 0,5нс

# Спектр импульсов в режиме ToT

Спектр энергетических потерь космических мюонов,  
полученный с 5-ого канала детектора, в режиме ToT



Номер канала DT5202	MPV, ед. каналов кодировщика
4	73
5	77
6	76
7	77
36	77
37	77
38	77
39	75

Функция фита модифицирована с поправкой на нелинейность шкалы режима ToT:

$$Landau(N_{channel}) \otimes Gauss(N_{channel}) \mapsto Landau(f(Q_{in})) \otimes Gauss(f(Q_{in}))$$

# Калибровка одного канала ToT в фотоэлектроны



Номер канала DT5202	MPV, фэ
4	54
5	73
6	67
7	67
36	57
37	57
38	57
39	59

+

Номер канала DT5202	MPV, единицы каналов кодировщика ToT
4	73
5	77
6	76
7	77
36	77
37	77
38	77
39	75

=

Номер канала DT5202	MPV, единицы каналов кодировщика ToT	Фотоэлектроны
4	73	54
5	77	73
6	76	67
7	77	67
36	77	57
37	77	57
38	77	57
39	75	59



- Определено пробойное напряжение SiPMов и установлено рабочее напряжение детекторов.
- Шкала каждого из восьми каналов DT5202 прокалибрована в фотоэлектроны в режиме РНА. Проведена аппроксимация сверткой функций Ландау и Гаусса.
- Функция аппроксимации модифицирована с поправкой на нелинейность шкалы ToT. Для 8-ми каналов в режиме ToT проведена калибровка одного канала кодировщика в фотоэлектроны.

**Спасибо за внимание**

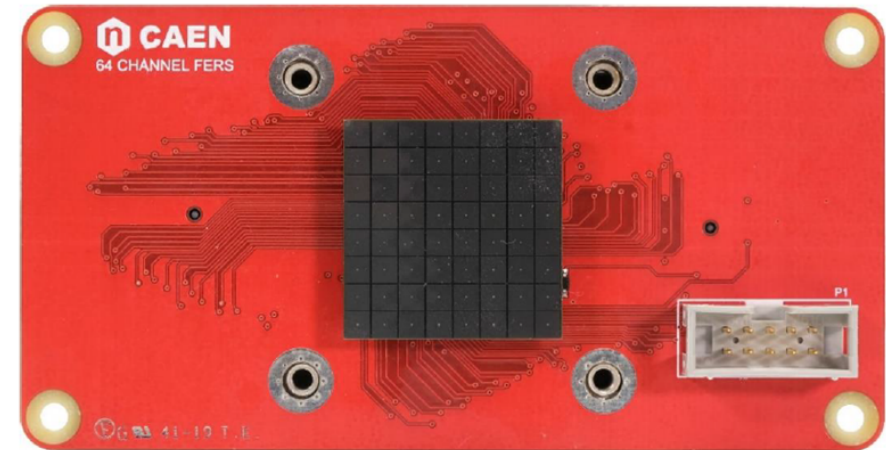


# Back up



## Характеристики матрицы:

- 64 ячейки (8×8 SiPM)
- 3584 пикселя
- Размер чувствительной области составляет 74%
- Коэффициент усиления  $1,7 \times 10^6$
- Эффективность 40%



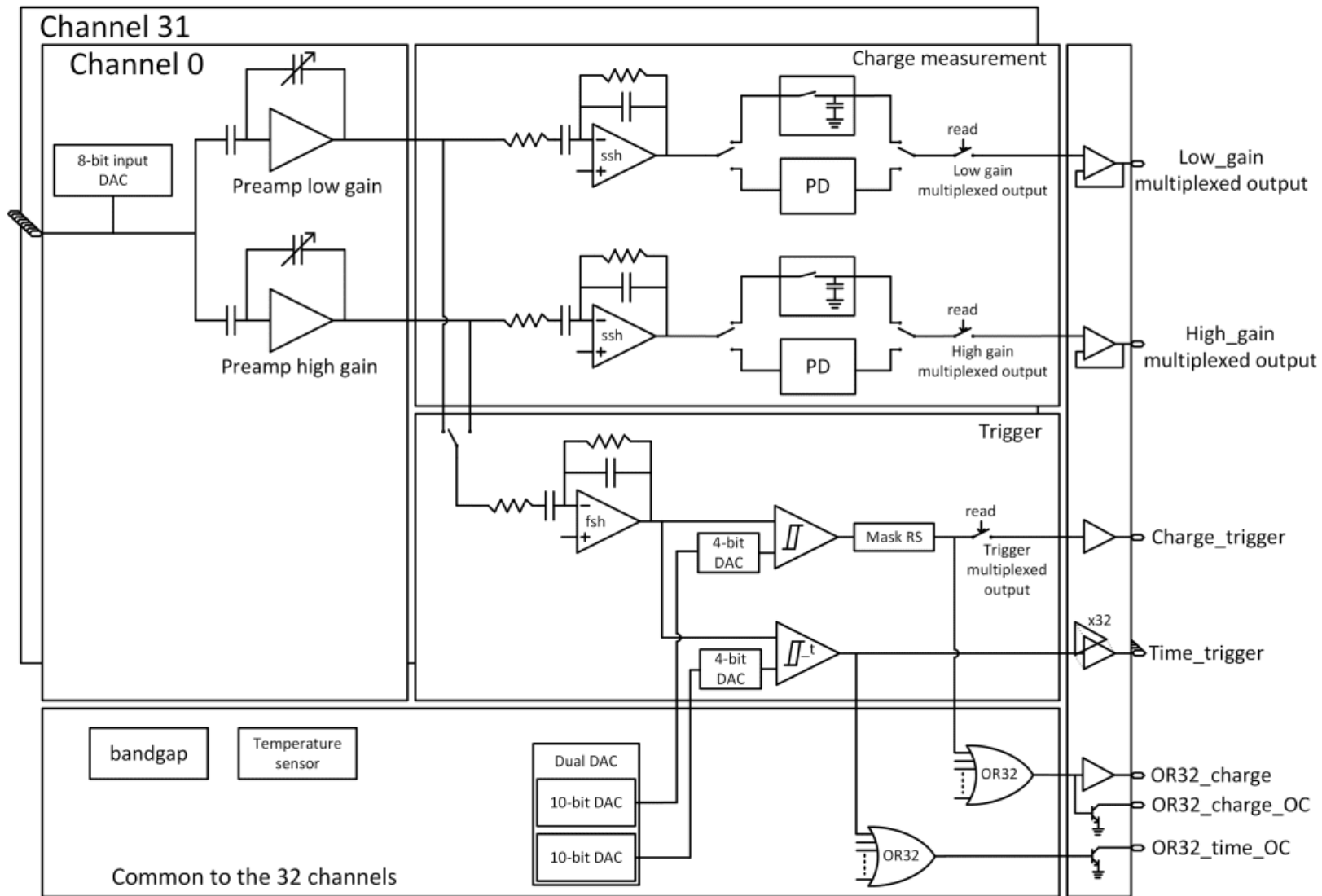
Матрица Hamamatsu

## Характеристики сцинтиллятора:

- polystyrene Styrolution 124N – 98.0-98.5%
- p-Terphenyl (CAS 92-94-4) – 1.5-2.0%
- POPOP (CAS 1806-34-4) – 0.01-0.04%

<b>Light Output, % Anthracene</b>	<b>Decay Time, ns</b>	<b>Wavelength of Max. Emission, nm</b>	<b>Light Attenuation Length, cm (1x20x200 cm samples)</b>	<b>Main Applications</b>
60–70	2.5	430	>200	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , fast n

# Устройство усилительного тракта DT5202

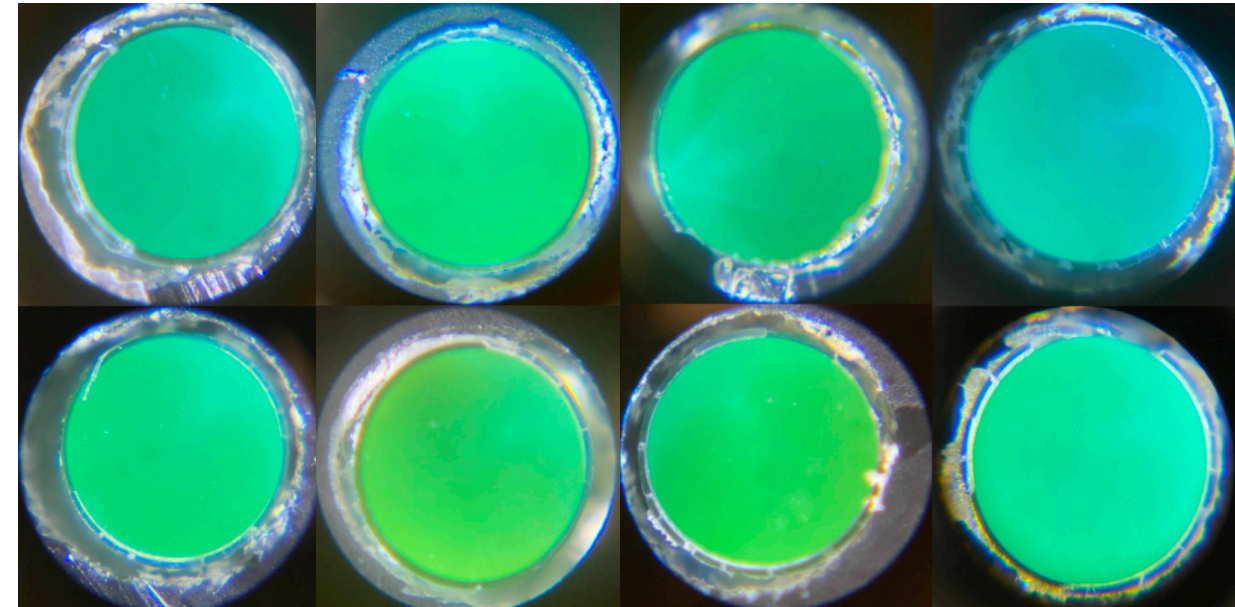


Чип Citiroc 1A



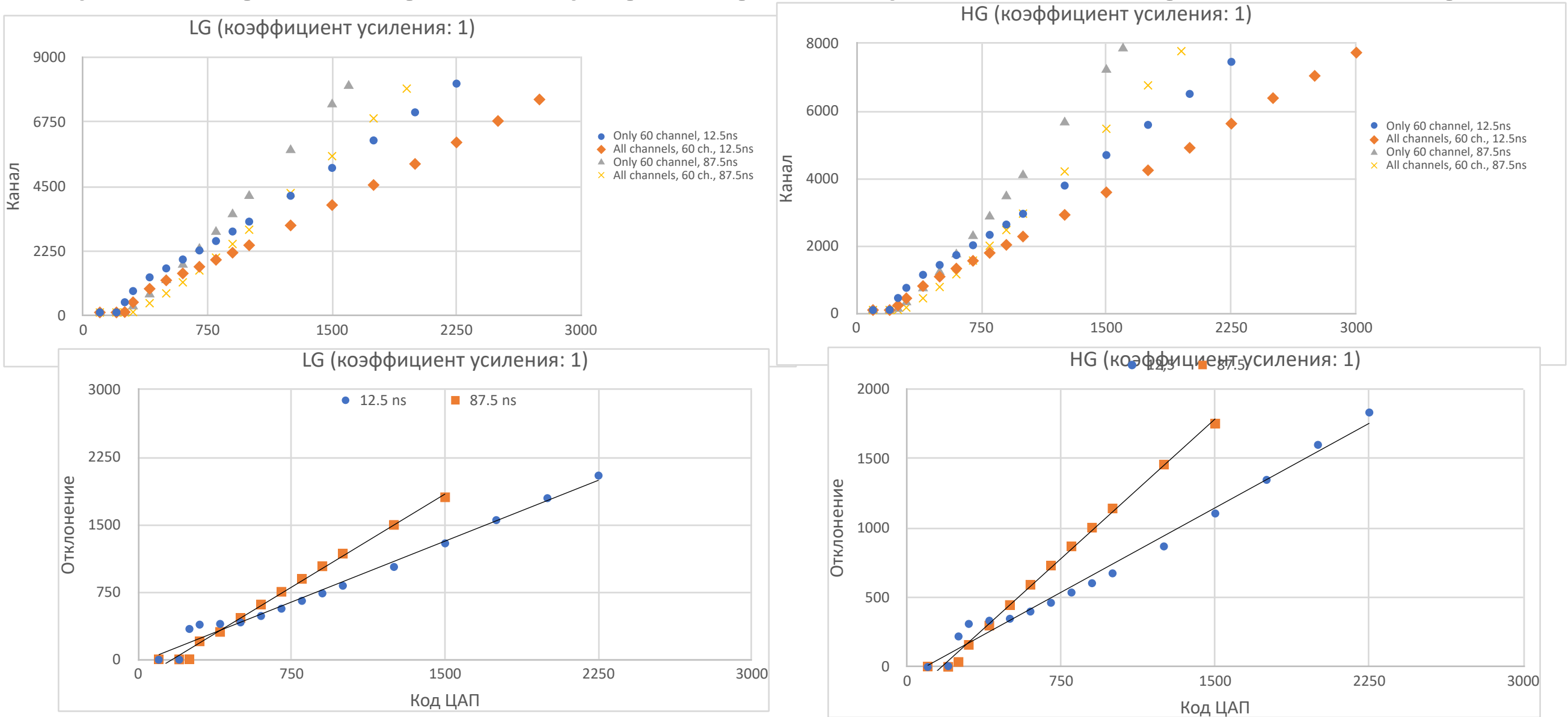
# Back up

- Спектросмещающее волокно SG BCF-92 ( $d=1\text{мм}$ )
- Коэффициент захвата и переизлучения фотонов 4%



Отполированные 8 волокон для телескопа

# КАЛИБРОВКА СИГНАЛОМ ОТ ВНУТРЕННЕГО ГЕНЕРАТОРА



В случае, когда тестовый импульс подается только на один канал, снимаемая амплитуда оказывается выше при тех же параметрах входного сигнала, чем в случае, когда импульс подается на все каналы одновременно, а показания снимаются только с одного.

Выбор метода калибровки не влияет на характер зависимости.