



Тестирование узлов сцинтилляционного детектора ВВС для эксперимента SPD с помощью мюонного телескопа

Научный руководитель: П.Е. Тетерин

к.ф.-м.н., доц.

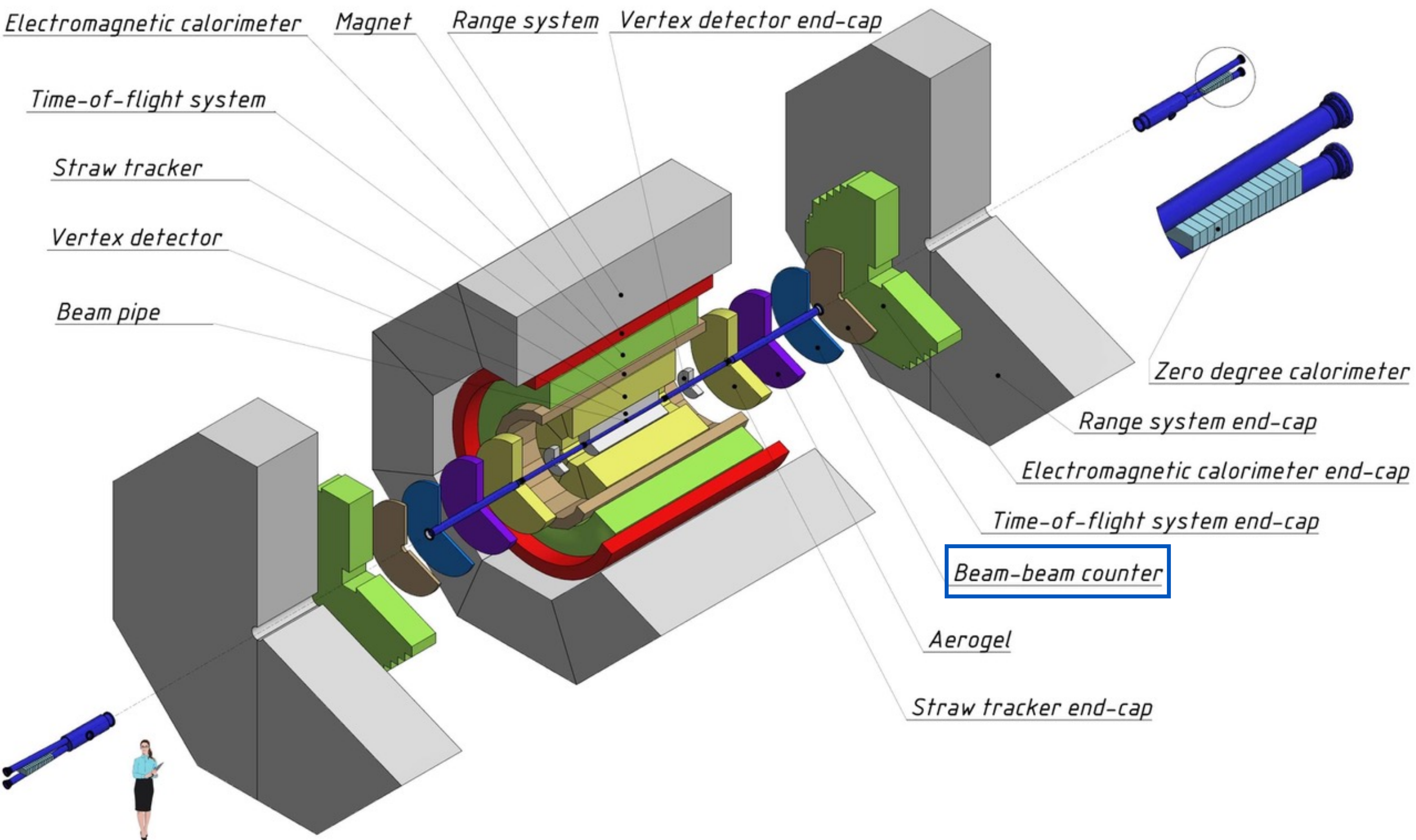
Научный консультант: Ф.А. Дубинин

Студентка: К.А. Тертышная

Москва, 2026



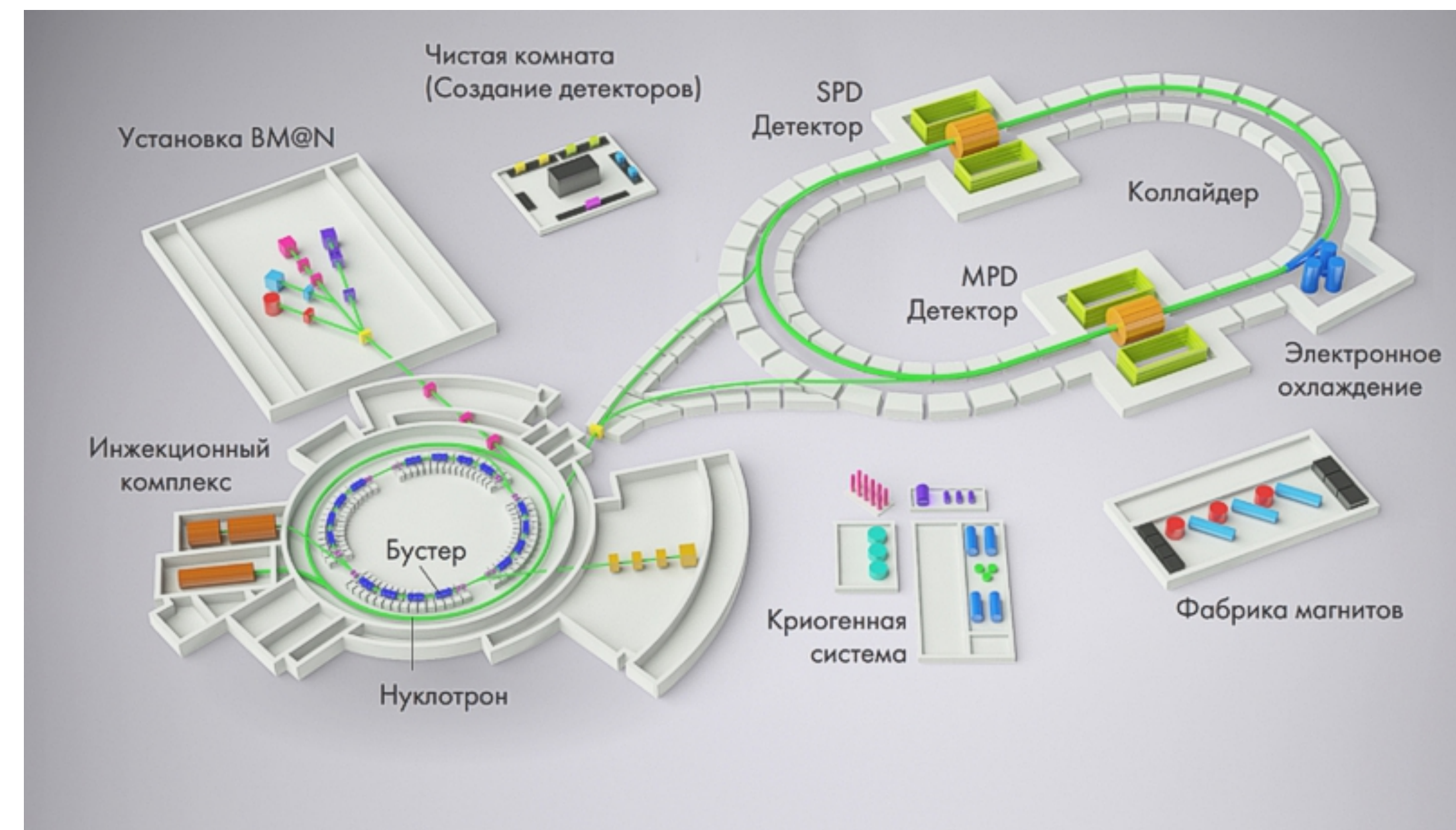
Коллайдер NICA и эксперимент SPD



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 27ГэВ в системе центра масс, частота соударения - 3МГц.

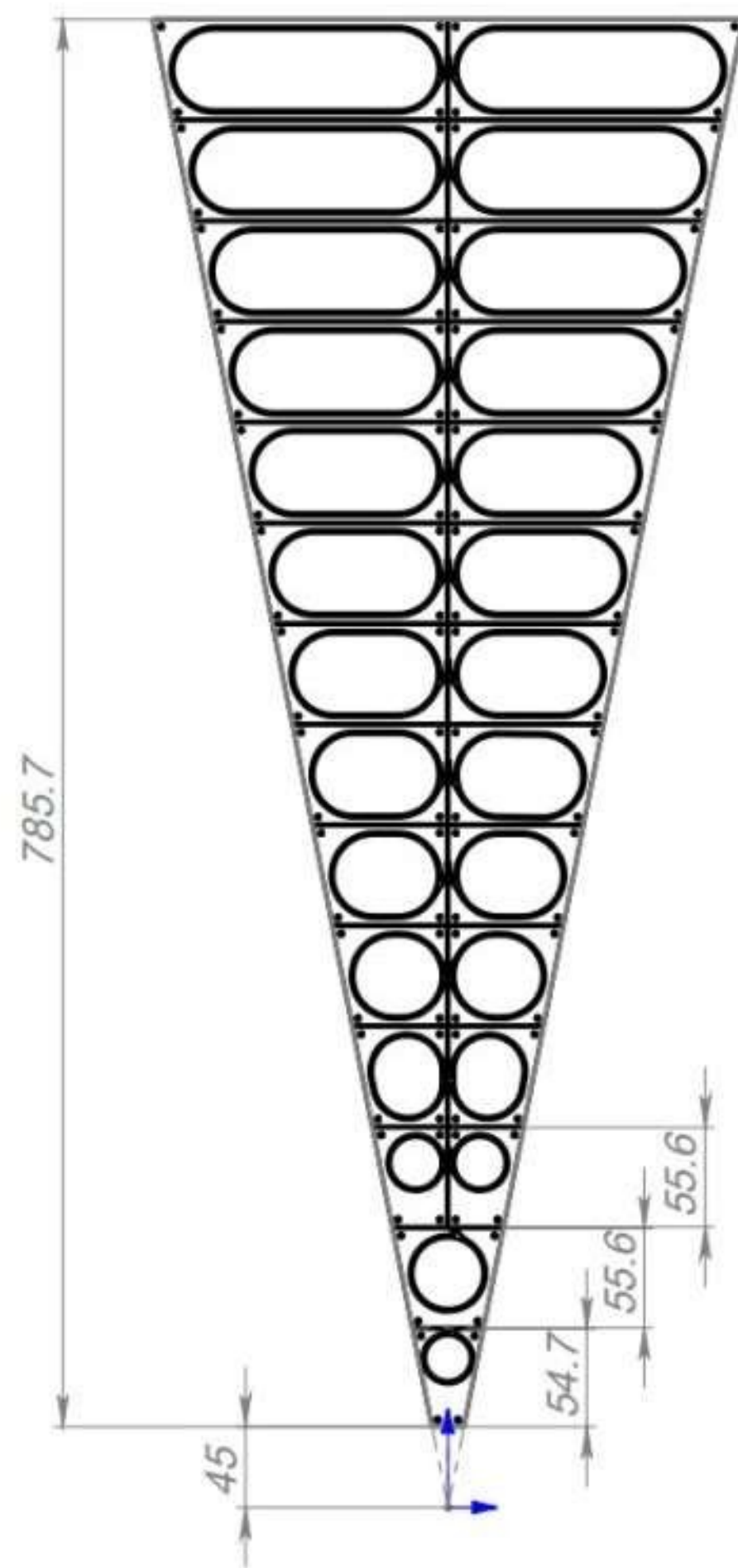


Ускорительный комплекс NICA

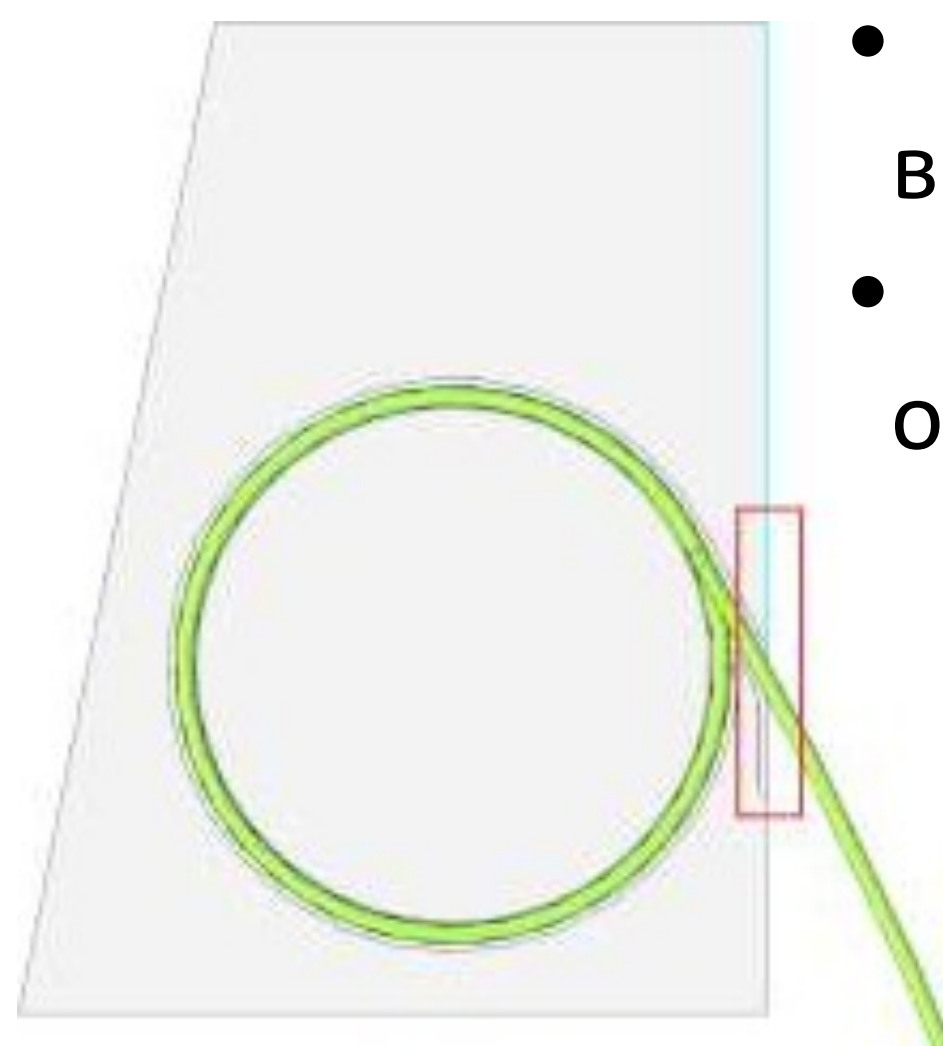
Счётчик пучков (BBC)

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

- Одно колесо BBC 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 DT5202.



Геометрия сектора BBC



Сцинтиллятор трапециевидной формы (тайл)



DT5202

Цель и задачи

Цель:

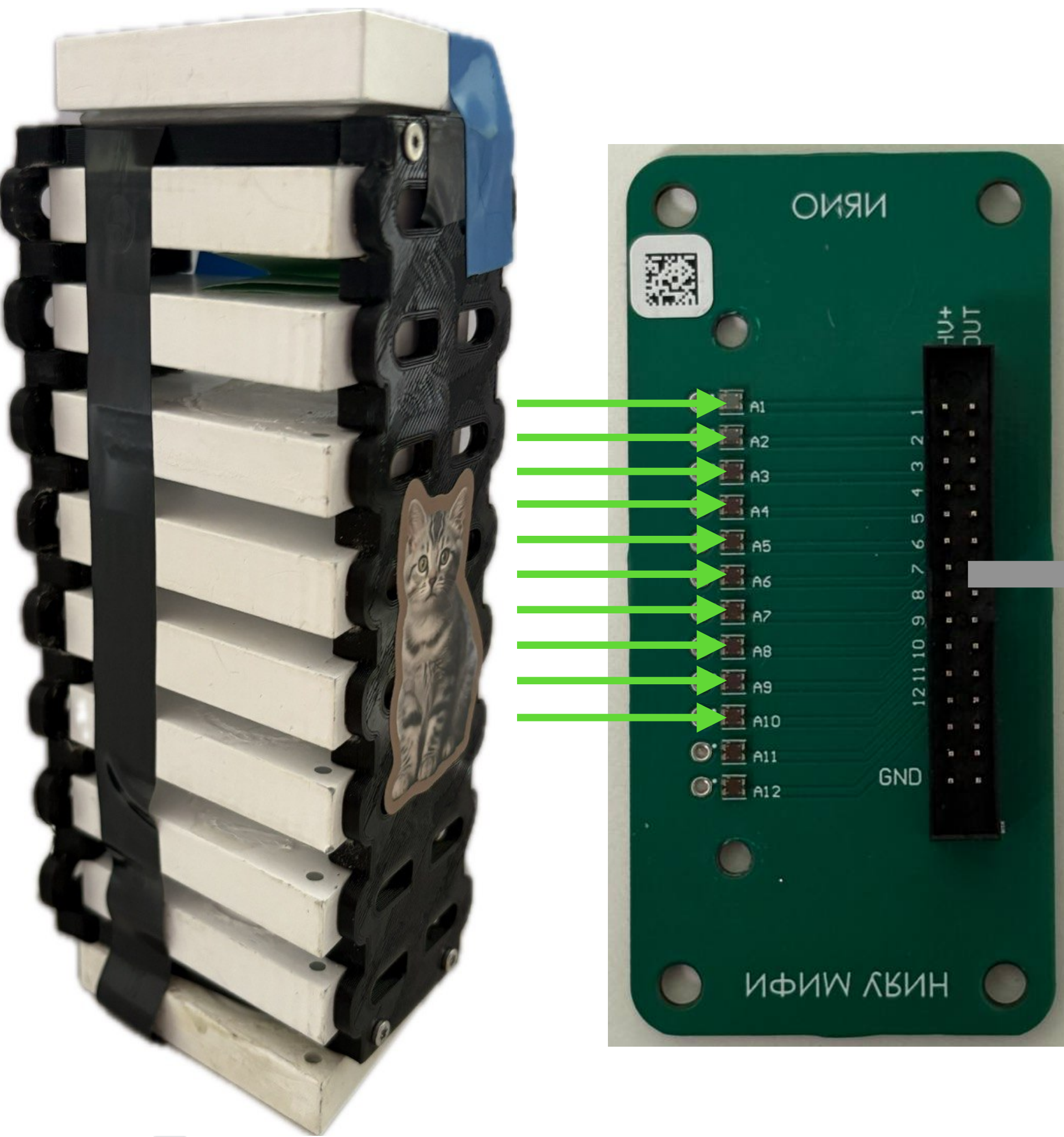
Оценить работу прототипов детектора BBC SPD при помощи мюонного телескопа.

Задачи:

1. Выставить рабочее напряжение на каждом из используемых SiPMов;
2. Оценить работоспособность тракта тайл - SiPM;
3. Получить распределение импульсов детектора от космических мюонов в режиме измерения амплитуды.

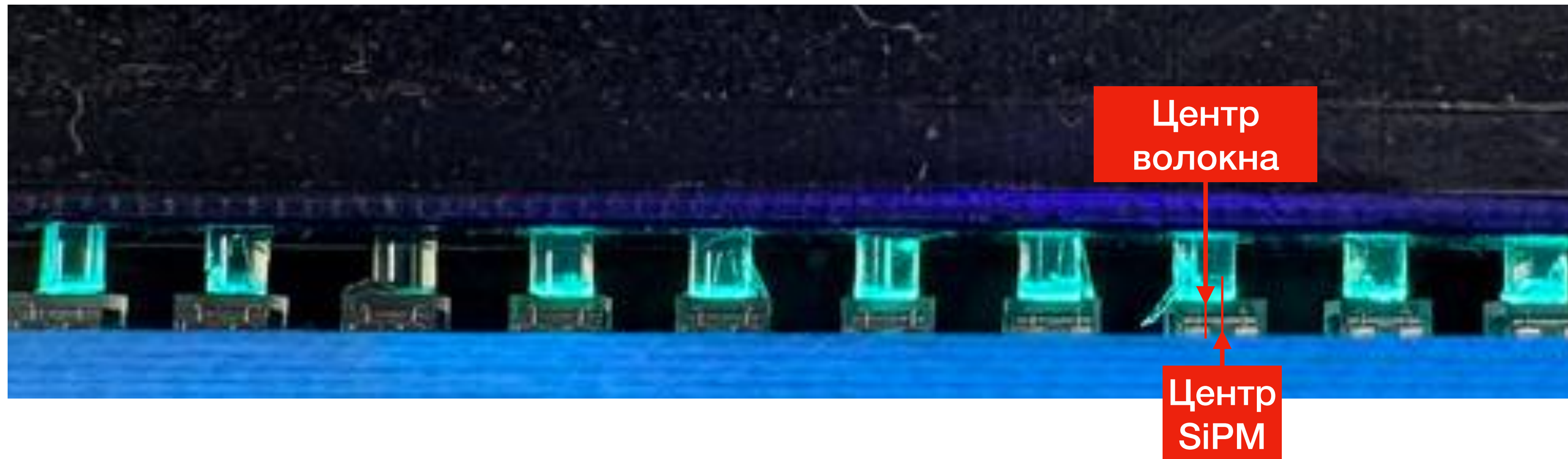
Установка эксперимента

- Телескоп состоит из 10-ти тайлов одной геометрии;
- Триггерные тайлы располагаются сверху и снизу телескопа;
- Сбор света с тайлов происходит с помощью волокна SG VCF-92;
- Для фиксации и обеспечения соосности с SiPM шиферы вклеены в коннектор;
- Шиферы выходят на плату на 12 SiPM Onesemi 1x1 мм;
- Перенапряжение 5 В;
- Общая высота телескопа ~16 см.

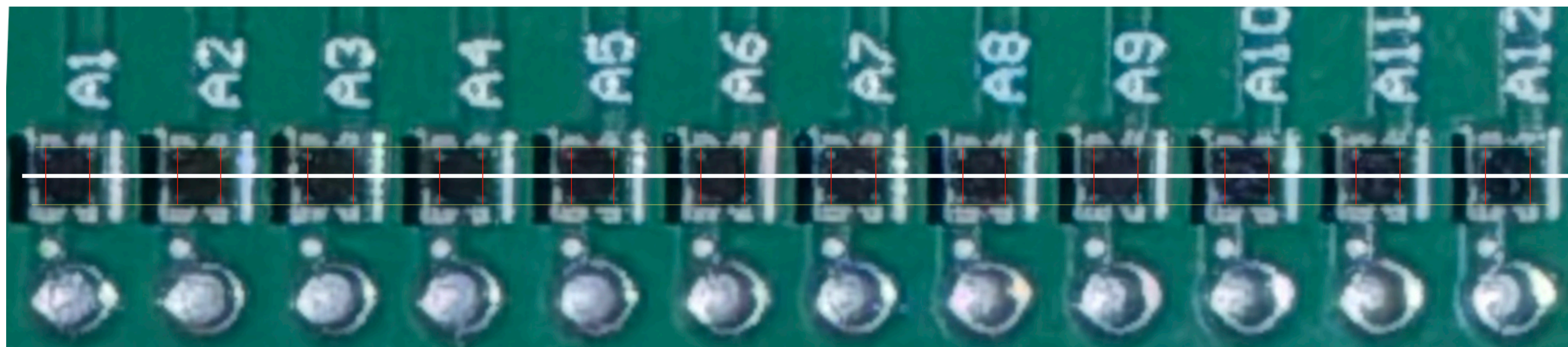


Качество стыковки волокна и SiPM

- Замечена несоосность между волокном и SiPM



- SiPM на платах располагаются с высокой точностью



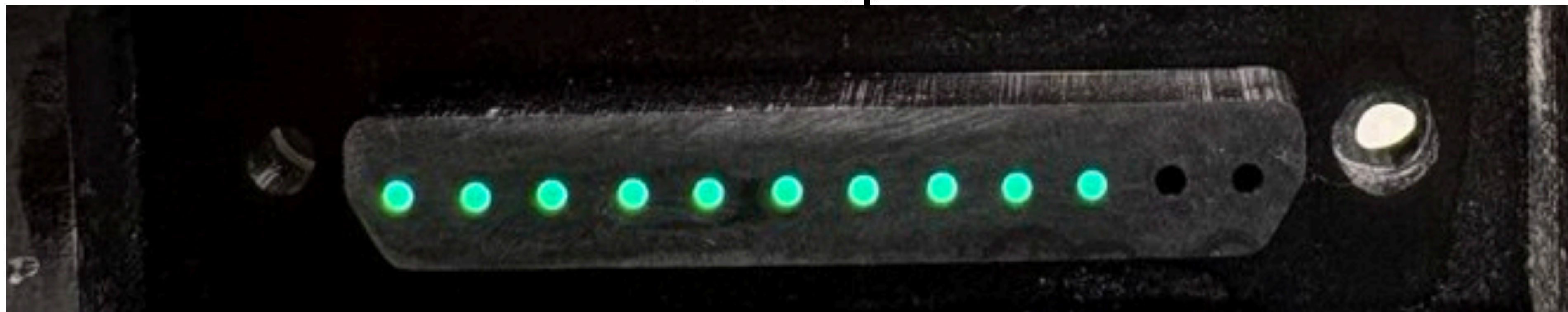
Качество стыковки волокна и SiPM

- Волокна в коннекторе расположены с разбросом;
- Разные коннекторы дают разную асимметрию.

Коннектор 1



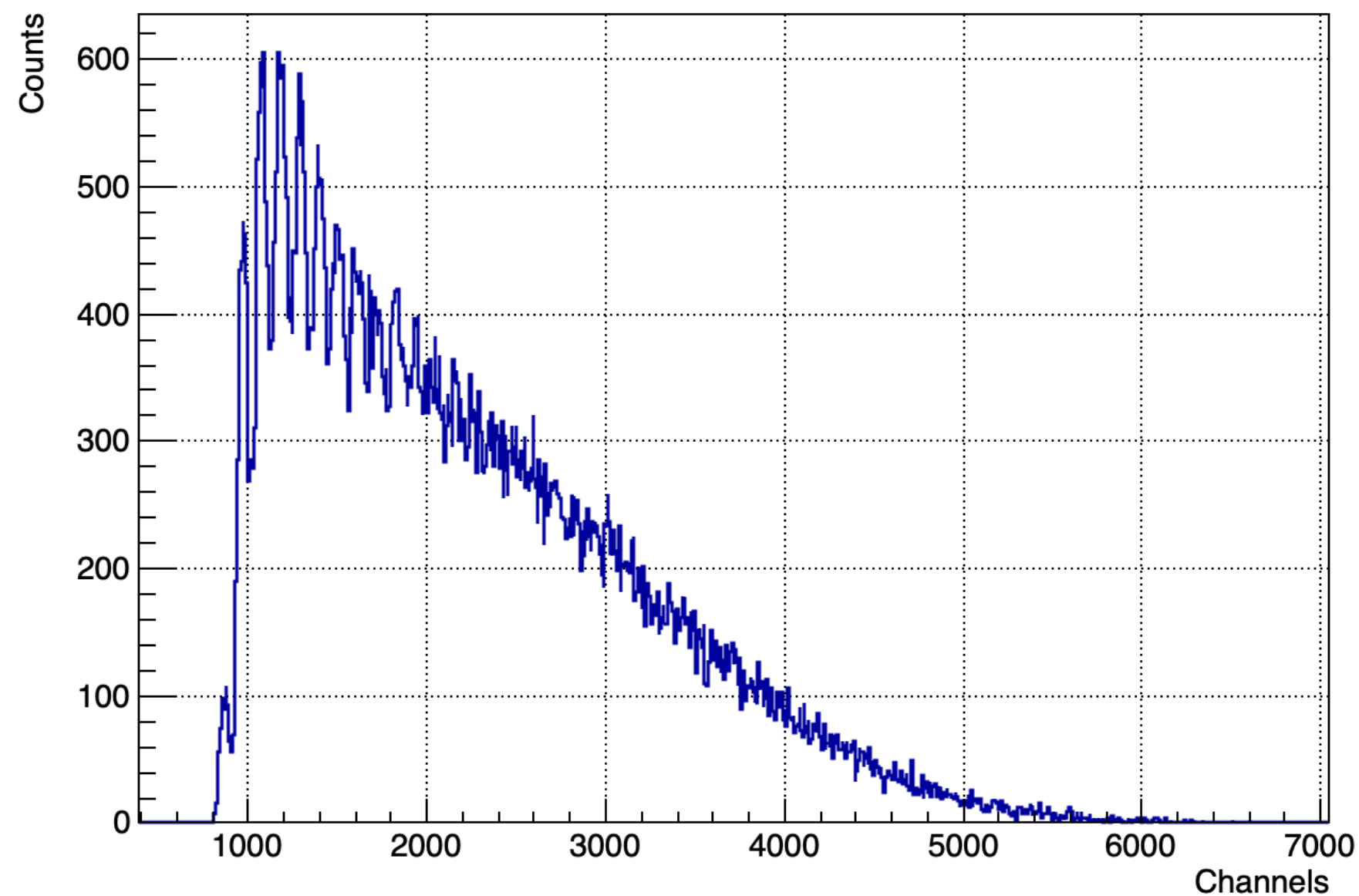
Коннектор 2



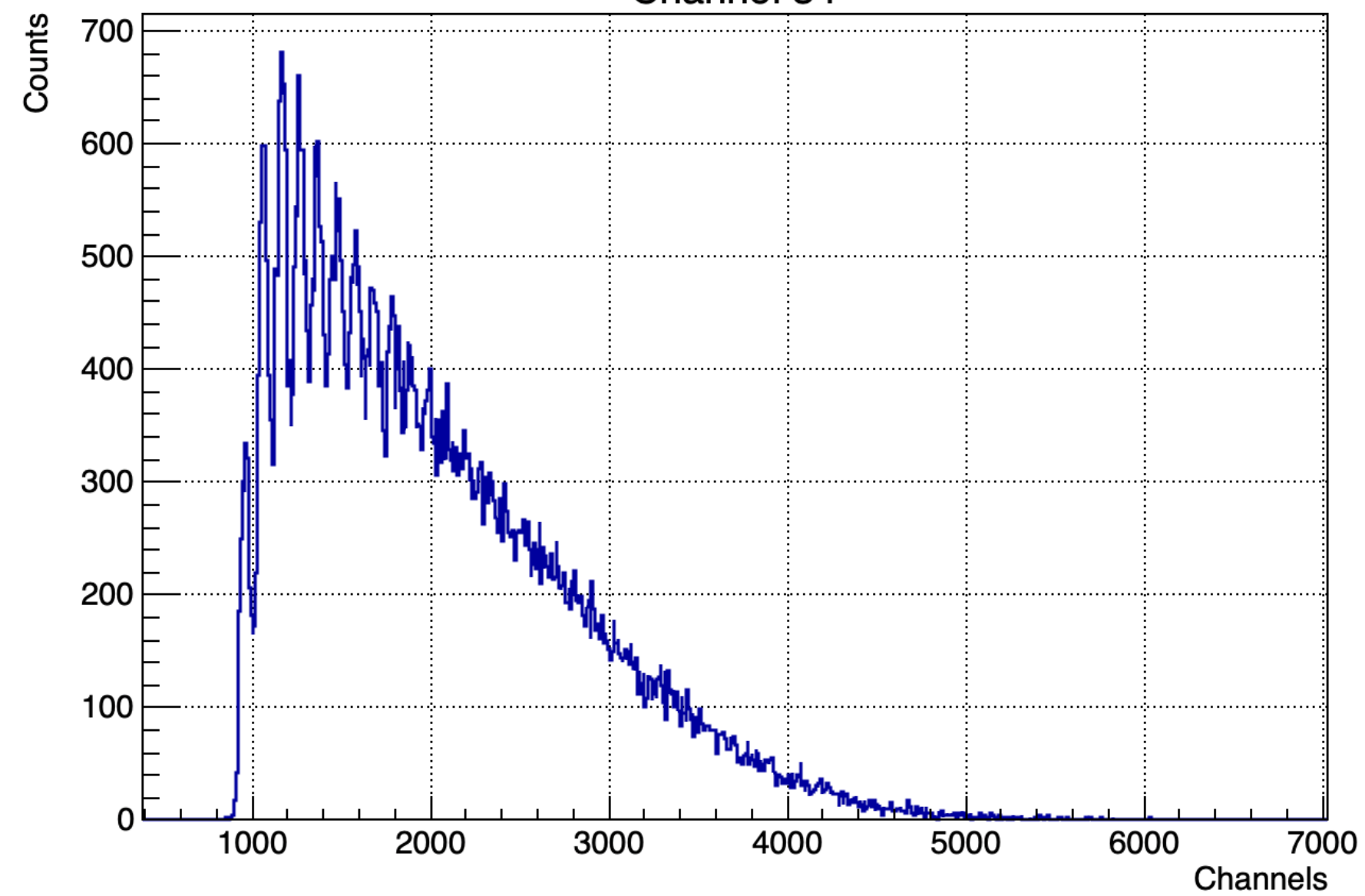
Проверка с помощью источника Sr-90

Спектры импульсов от Sr-90

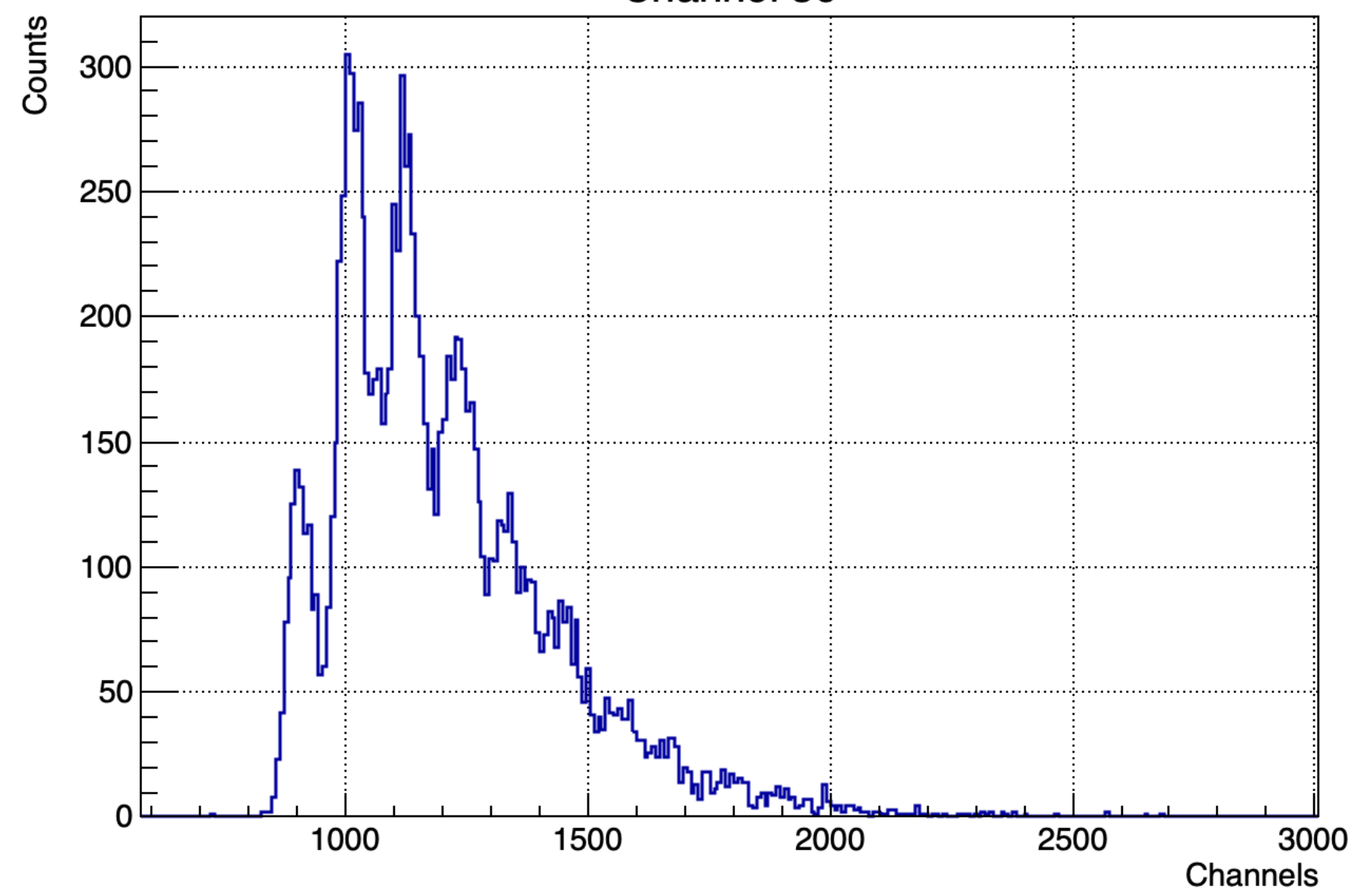
Channel 18



Channel 34



Channel 36

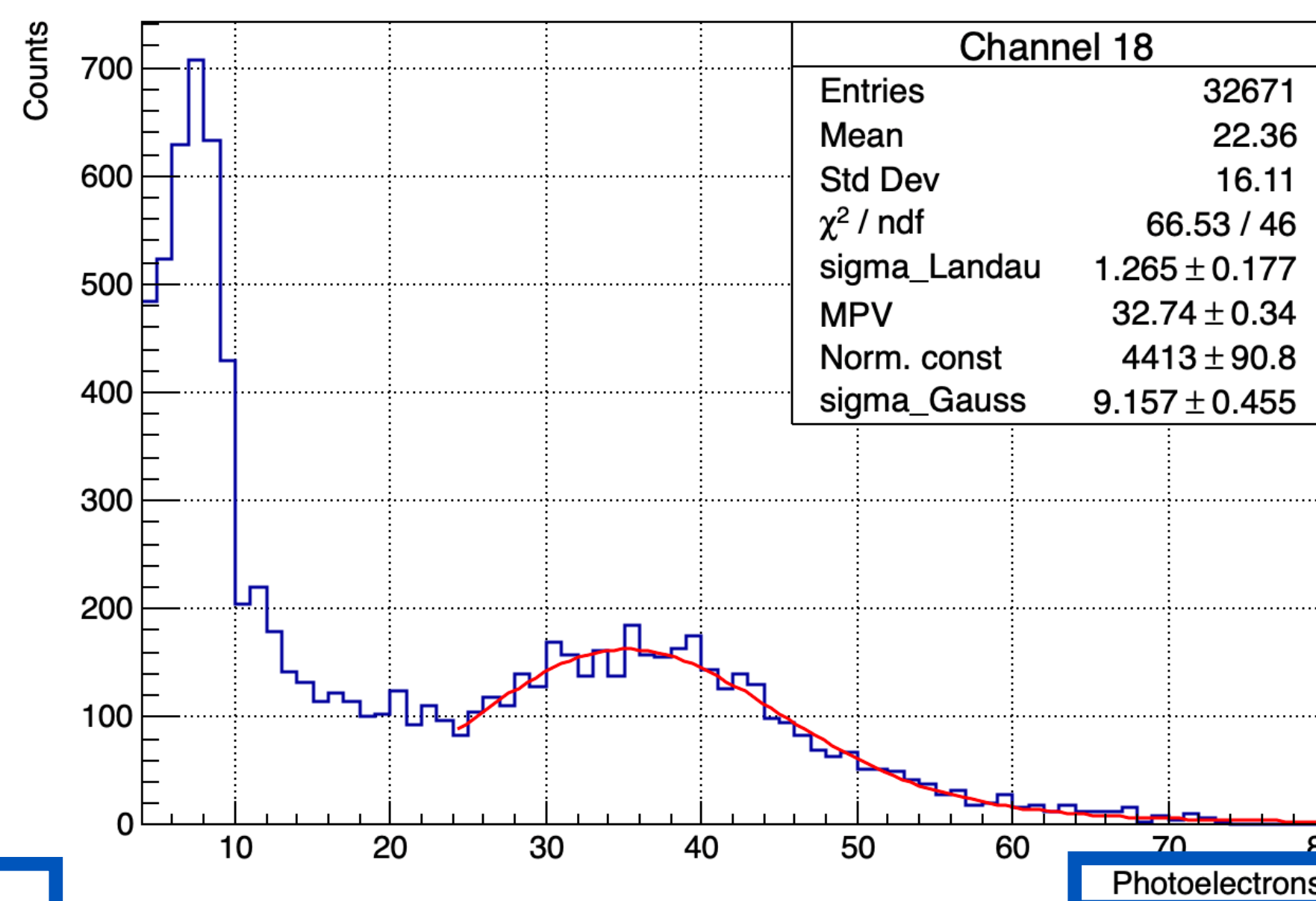
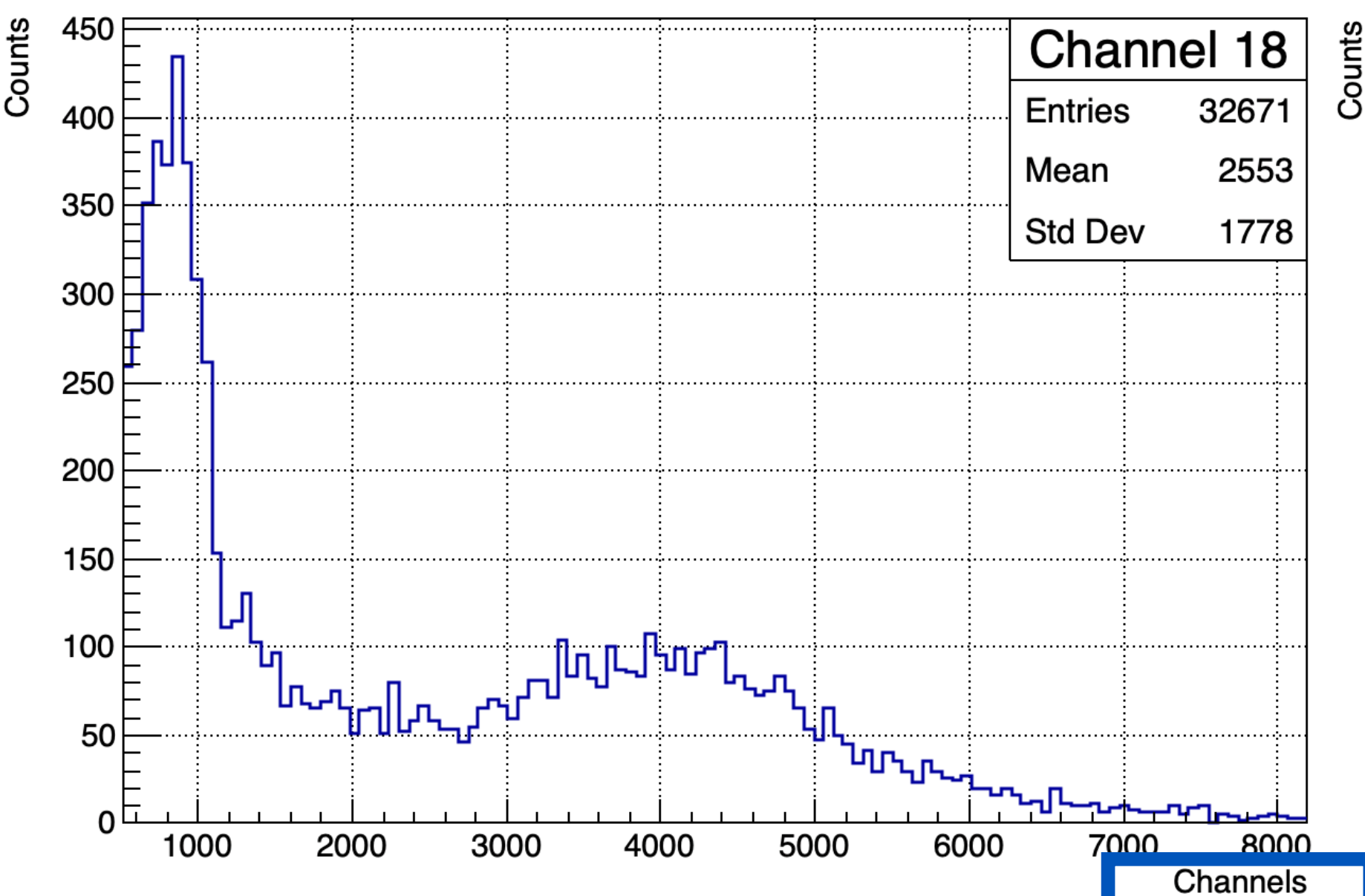


- Для быстрой проверки соосности шифтеров и SiPM, светопередачи и работоспособности тайлов, каждый тайл облучался радиоактивным Sr-90;
- Спектр импульсов детектора от стронция для последнего тайла заметно отличается. Данный канал является триггерным. Для сохранения прежней эффективности телескопа в качестве триггера выставлено мажоритарное совпадение двух из 18, 34 и 36 каналов.

Калибровка шкалы РНА в фотоэлектронах



- Расстояние между соседними пиками одноэлектронного спектра равно 1-ому фотоэлектрону в ед. каналов кодировщика;
- Для каждого полученного спектра была выполнена калибровка шкалы «Каналы» в «Фотоэлектроны»;
- Положение широкого пика на оси «Фотоэлектроны» определялось аппроксимацией пика гистограммы свёрткой функций Ландау и Гаусса.



Номер канала DT5202	MPV, фэ
18	32,74
20	30,74
22	34,22
24	29,31
26	37,21
28	35,39
30	31,96
32	34,54
34	31,31
36	11,57

<MPV> (без 36 канала): 33 ± 6

Спектр энергетических потерь космических мюонов

- Собрана установка, содержащая прототипы детектора ВВС ;
- Была обнаружена несоосность между волокнами и SiPM. Большой вклад в несоосность вносит коннектор для волокон;
- Определено пробойное напряжение SiPMов и установлено рабочее напряжение детекторов;
- С помощью облучения сцинтилляторов Sr-90 был обнаружен тайл с дефектом;
- Шкала каждого из 10-ти каналов DT5202 прокалибрована в фотоэлектроны в режиме РНА. Проведена аппроксимация сверткой функций Ландау и Гаусса. Ожидаемый максимум отклика тайлов составляет (33 ± 6) фотоэлектрона;

Спасибо за внимание



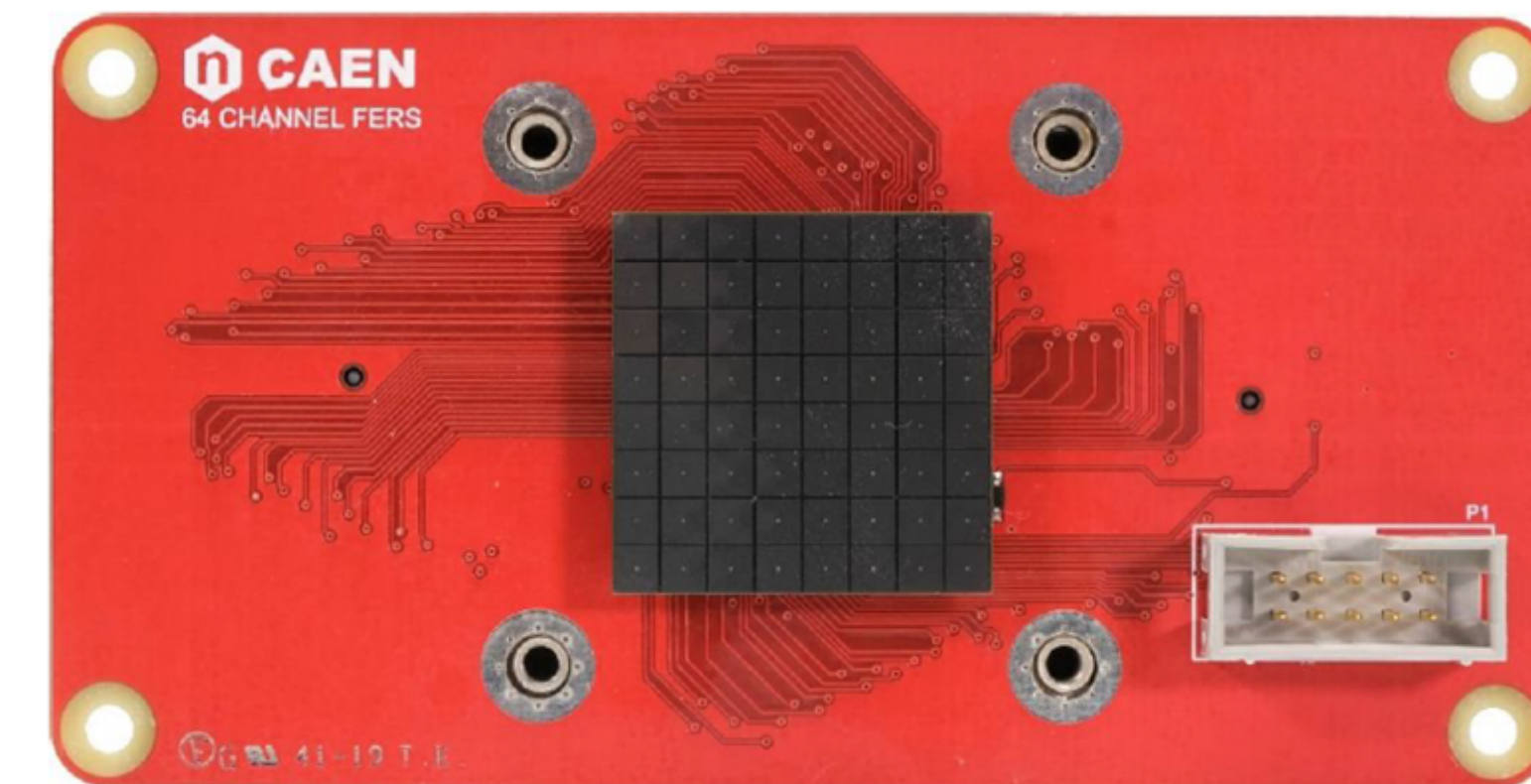
Back up



Результаты измерений на матрице Hamamatsu S13361-3050AE-08

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



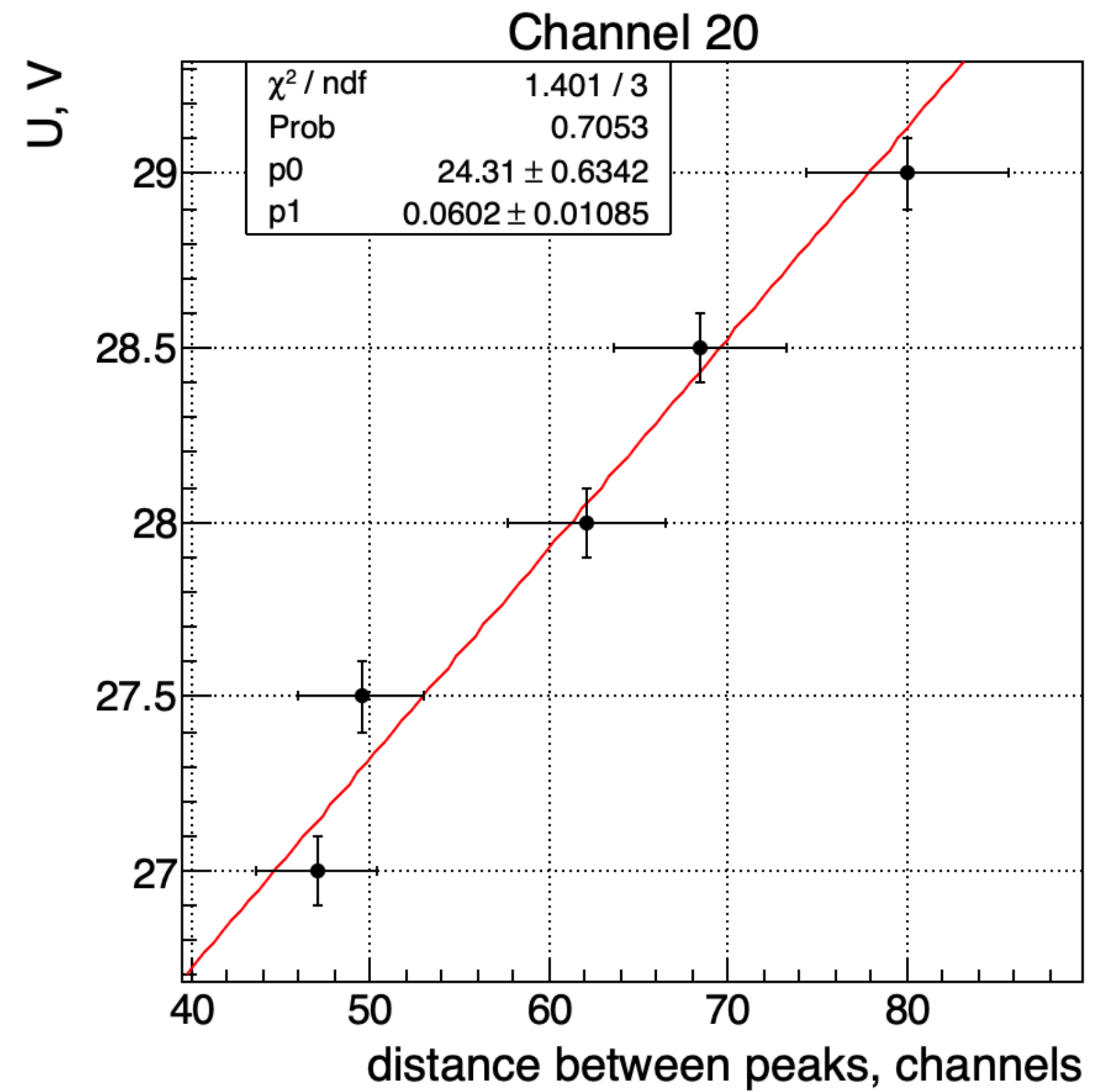
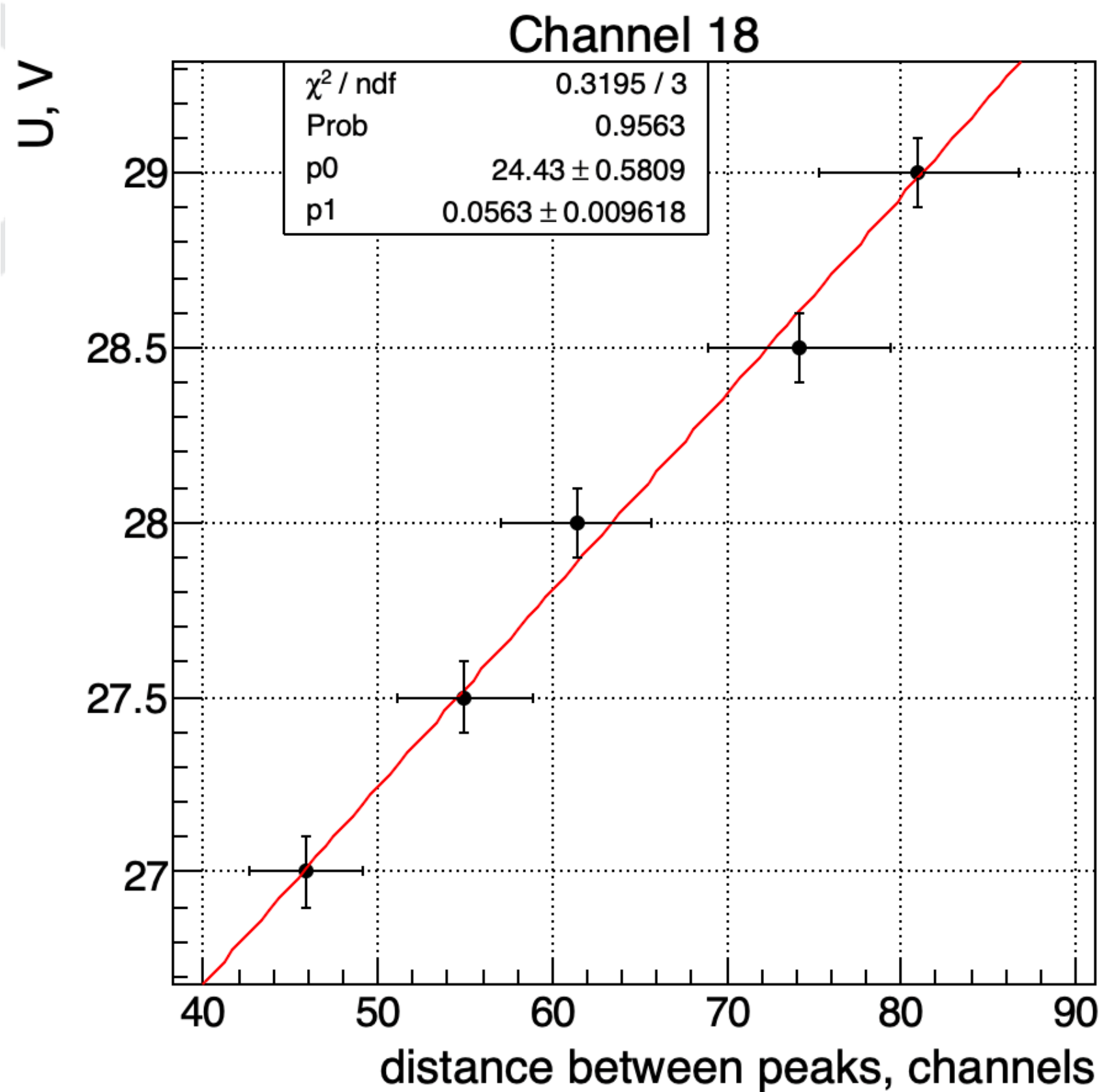
Матрица Hamamatsu

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%

Light Output, % Anthracene	Decay Time, ns	Wavelength of Max. Emission, nm	Light Attenuation Length, cm (1x20x200 cm samples)	Main Applications
60–70	2.5	430	>200	α , β , γ , fast n

Подбор рабочего напряжения детекторов



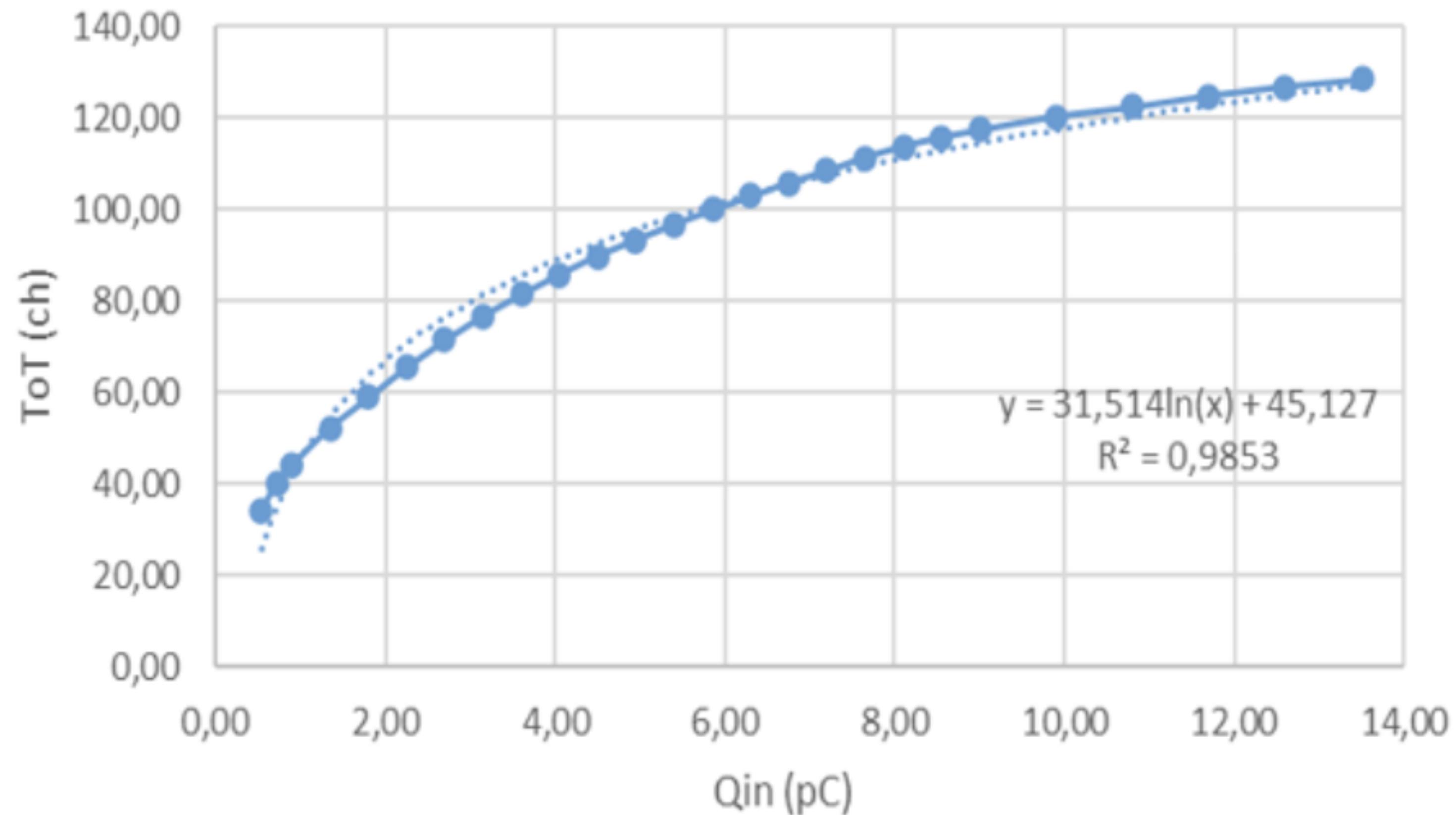
Номер канала DT5202	Vраб, В
18	29,48
20	29,50
22	29,72
24	29,67
26	30,05
28	29,75
30	29,66
32	29,61
34	29,60
36	29,75

$$V_{\text{раб}} = V_{\text{проб}} + 5\text{В}$$

Зависимость расстояния между пиками одноэлектронного спектра сигналов SiPM в зависимости от приложенного напряжения для каналов 18 и 20

Режим ToT DT5202

Режим ToT - время длительности сигнала над порогом
ToT vs Qin



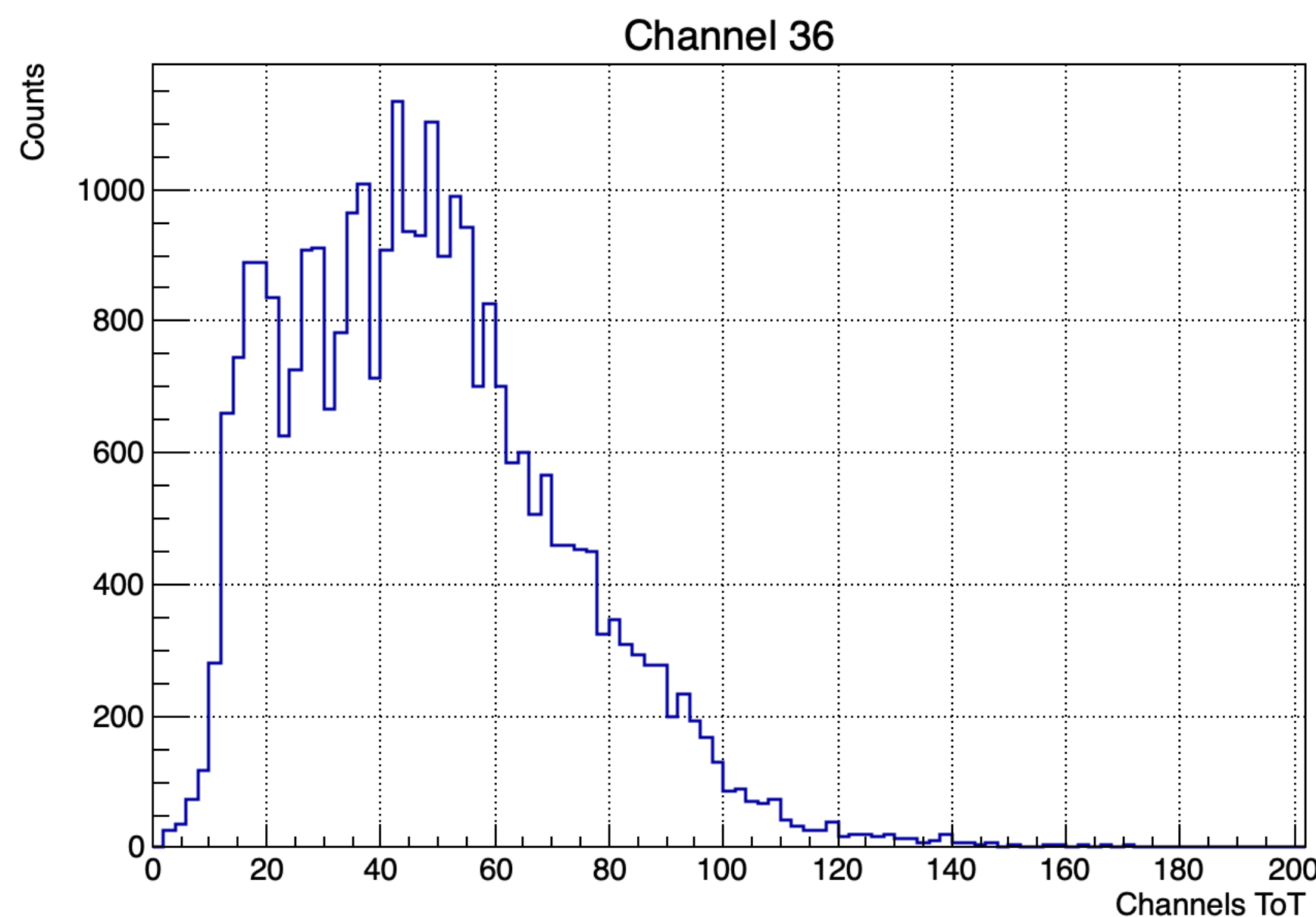
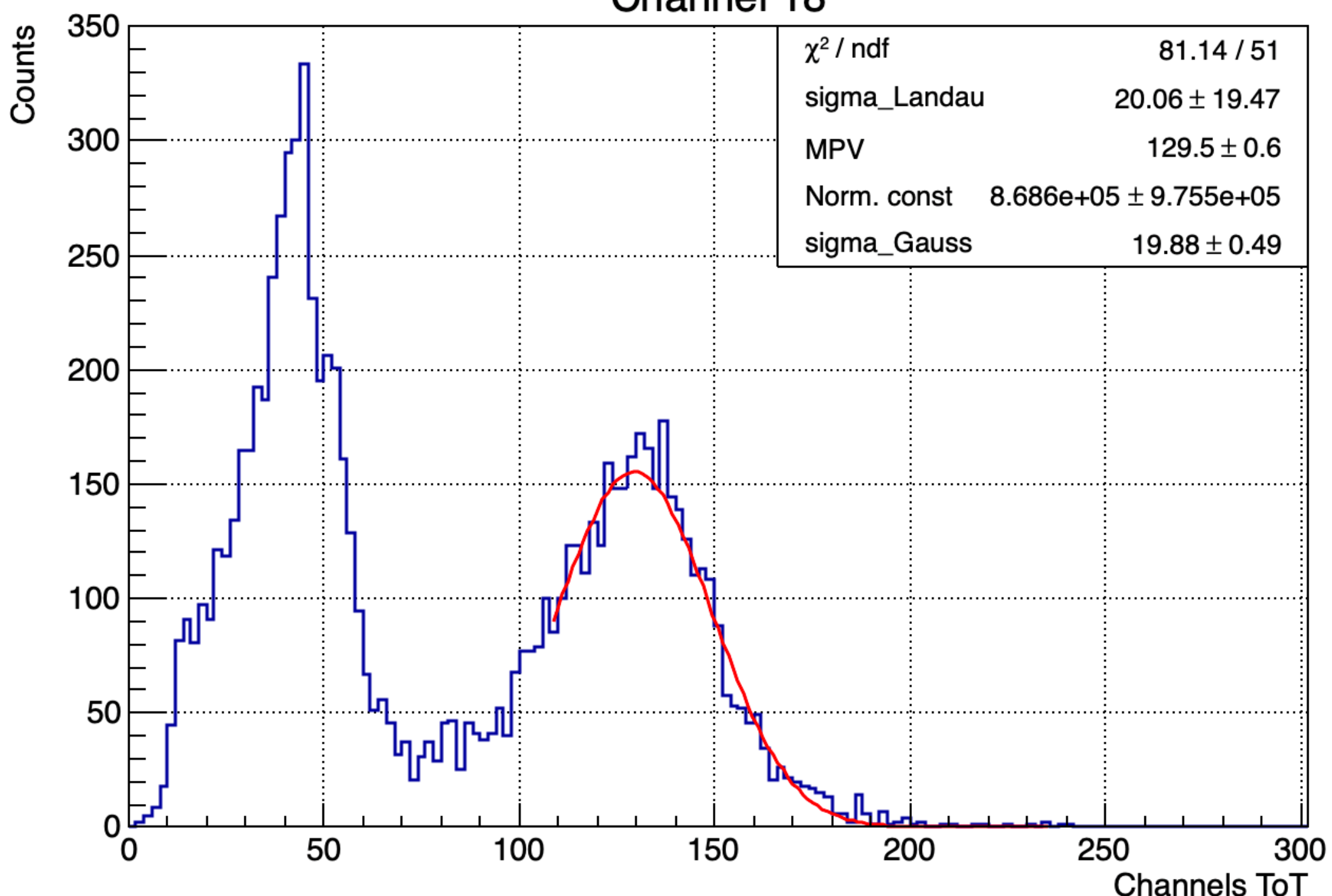
Нелинейность режима ToT описывается формулой:

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

Цена канала кодировщика: 0,5нс

Спектр импульсов в режиме ToT

Спектр энергетических потерь космических мюонов в
режиме ToT
Channel 18



Номер канала DT5202	MPV, ед. каналов
18	129,5
20	126,0
22	138,0
24	121,5
26	132,6
28	139,8
30	131,2
32	129,2
34	128,7
36	-

Функция фита модифицирована с поправкой на нелинейность шкалы режима ToT:

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