

НАУЧНАЯ СЕССИЯ
СЕКЦИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН 2024

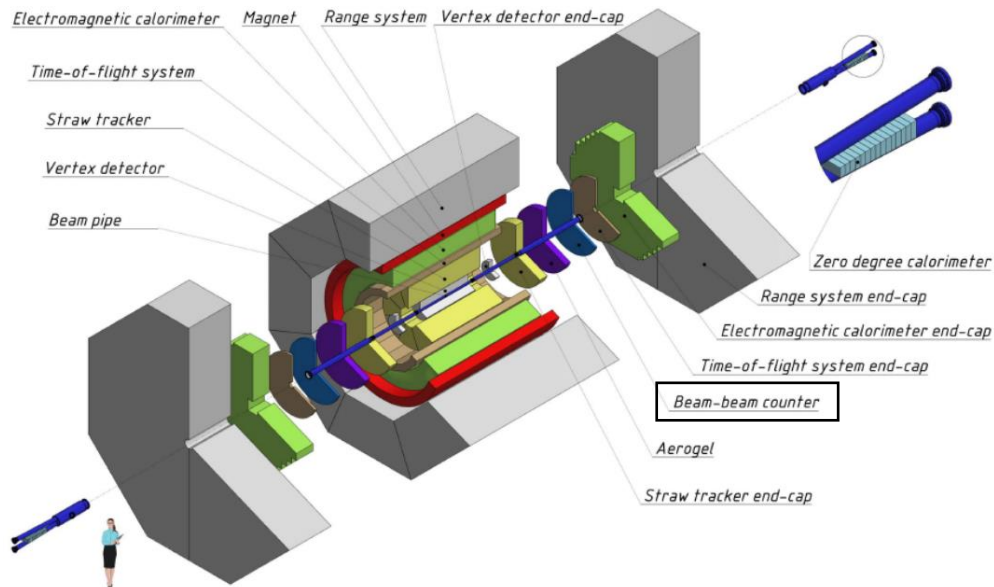
Оптимизация параметров детектора ВВС для эксперимента SPD

Детекторы, методика эксперимента

Захаров Арсений
НИЯУ МИФИ

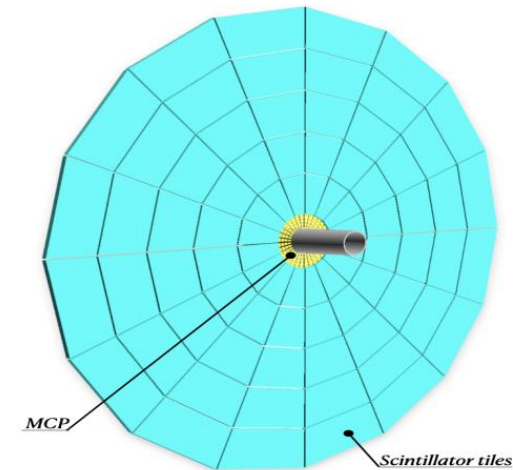
Эксперимент SPD

- **Spin Physics Detector (SPD)** - эксперимент в NICA (ОИЯИ, Дубна), предназначенный для изучения спиновой структуры протона и дейтрона и других спиновых явлений, используя уникальную возможность работы с поляризованными пучками протонов и дейтронов при энергии столкновений до 27 ГэВ и светимости до $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.



- В поляризованных протон-протонных столкновениях данный эксперимент покрывает кинематический разрыв между низкоэнергетическими измерениями в экспериментах ANKE-COSY и SATURNE, и высокоэнергетическими измерениями, полученными на БАК

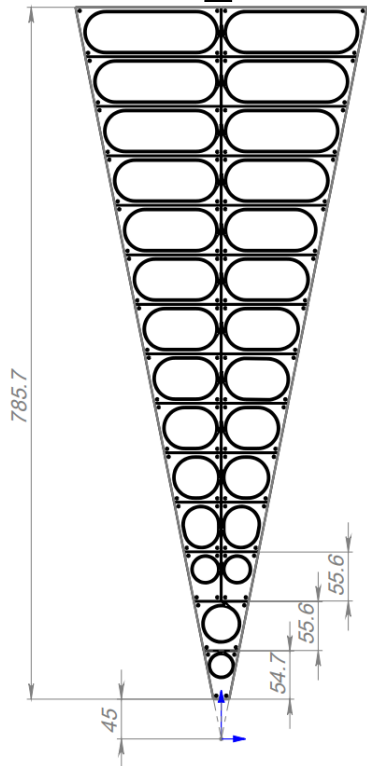
- Два торцевых детекторных колеса сцинтилляционных счетчиков **Beam-Beam Counters (BBCs)** планируется установить перед TOF системой установки SPD симметрично относительно точки взаимодействия.
- Детектор будет состоять из внутренней и внешней частей: внутренние MCP и внешняя часть из быстрых сцинтилляционных тайлов.



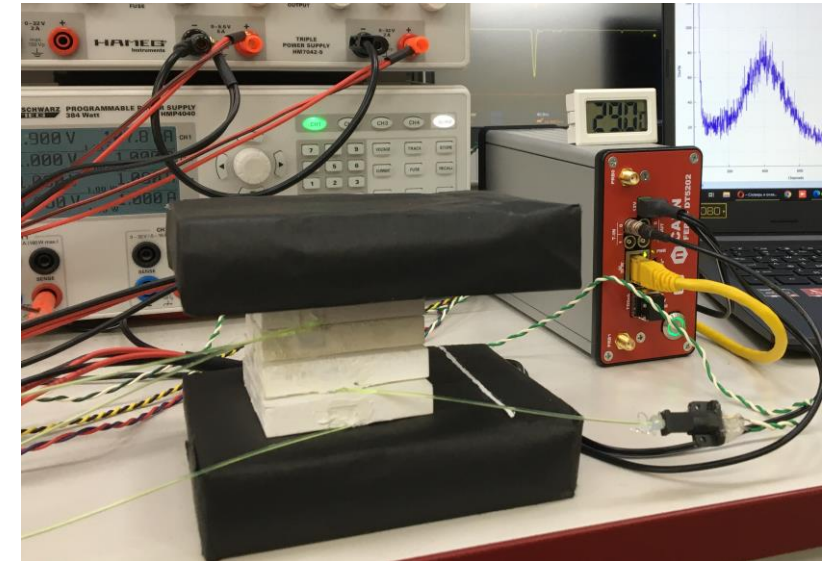
Основными задачами Beam-Beam Counters являются:

- **Локальная поляриметрия** в SPD, основанная на измерениях азимутальных асимметрий поляризованных протонных пучков;
- Мониторинг столкновений пучков;

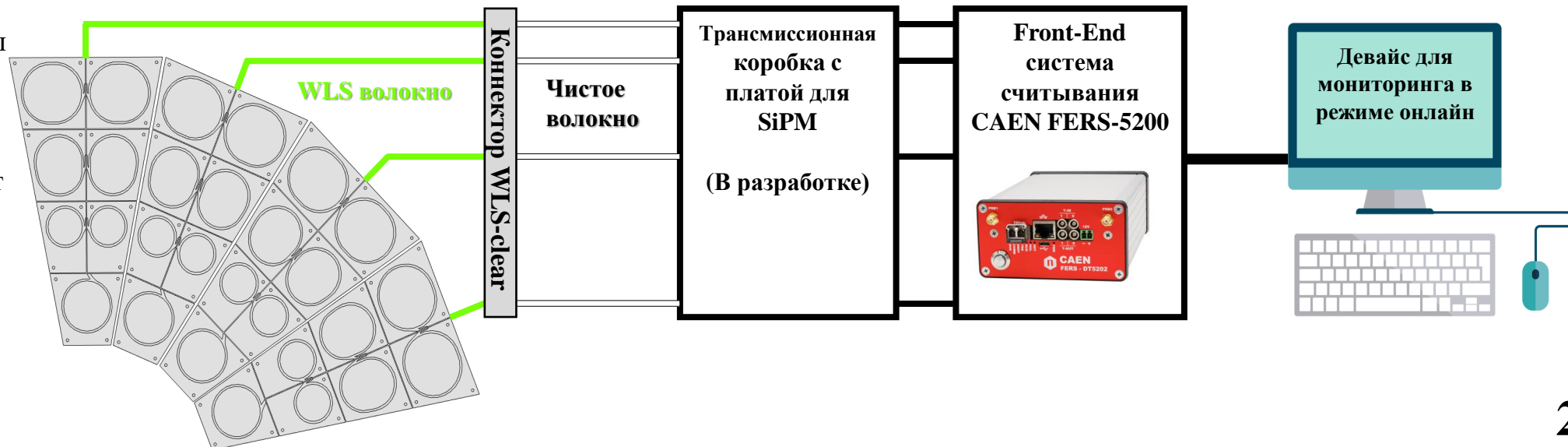
Экспериментальная установка



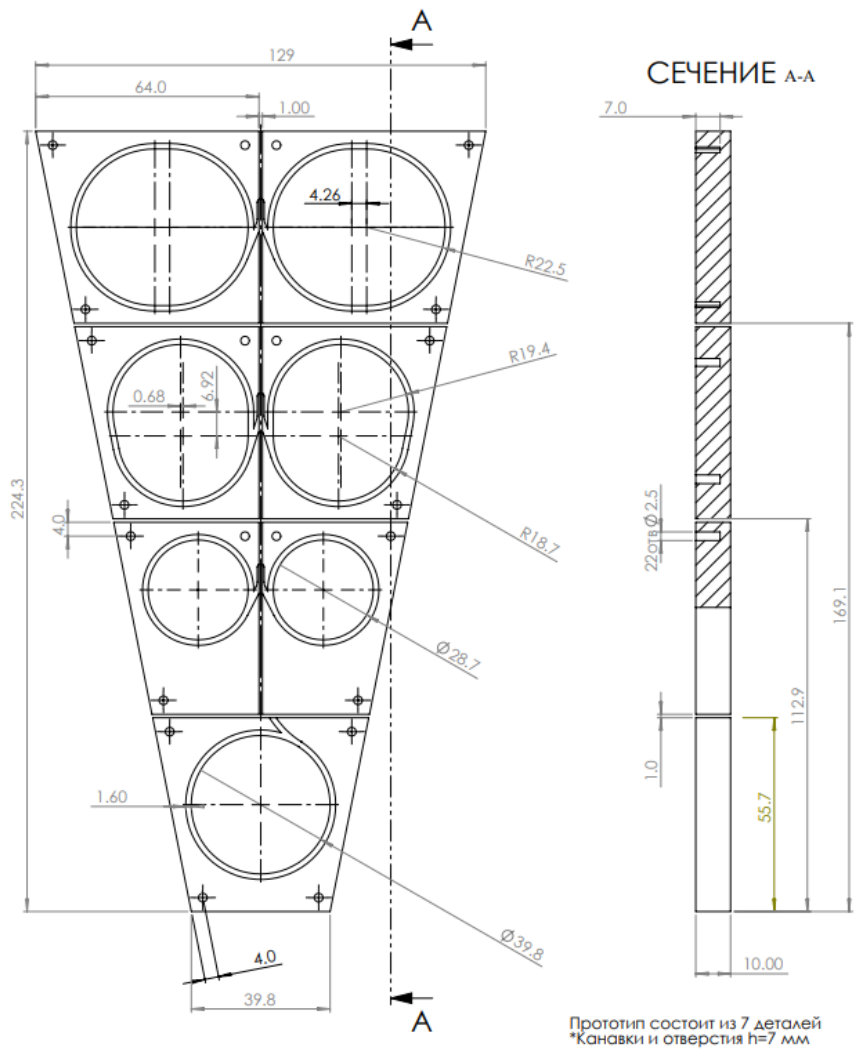
- SPD BBC будет состоять из **16 секторов с 26 тайлами в каждом секторе** в одном колесе. Каждый тайл представляет собой отдельный источник сигнала, считывающийся с помощью кремниевого фотоумножителя (SiPM), подключенного к оптоволокну WLS.
- Количество каналов считывания наводит нас на использование FEE системы считывания **CAEN FERS-5200**, разработанной специально для больших массивов детекторов.
- Для исследований на **космическом излучении** используется внешняя триггерная система, основанную на двух сцинтилляторах $10 \times 10 \text{ см}^2$ со считывающими ФЭУ Hamamatsu H10720-110 и временным разрешением ~ 650 пс.



- Волокно со сдвигом длины волны (WLS) сдвигает ультрафиолетовый спектр в сторону зеленого света
- Прозрачное волокно имеет большую длину затухания
- Необходимо постоянно считывать около 800 каналов
- Устройство мониторинга служит инструментом для предварительного анализа



Оптимизация параметров детектора: основное



Геометрия семи-тайлового прототипа, используемого в данной работе



Ряд
3 (L;R)
2 (L;R)
1 (L;R)
центральный

Оптимизация параметров детектора прежде всего заключается в выборе материалов и тестировании различных их композиций:

- Покрытие сцинтиллятора: Матированный VS покрытый Tyvek
- Оптический клей: СКТН МЕД Е, Б VS ОК-72
- Оптоволокно: Saint-Gobain Crystals VS Kuraray
- SiPMs: 3x3 VS 1x1 мм²

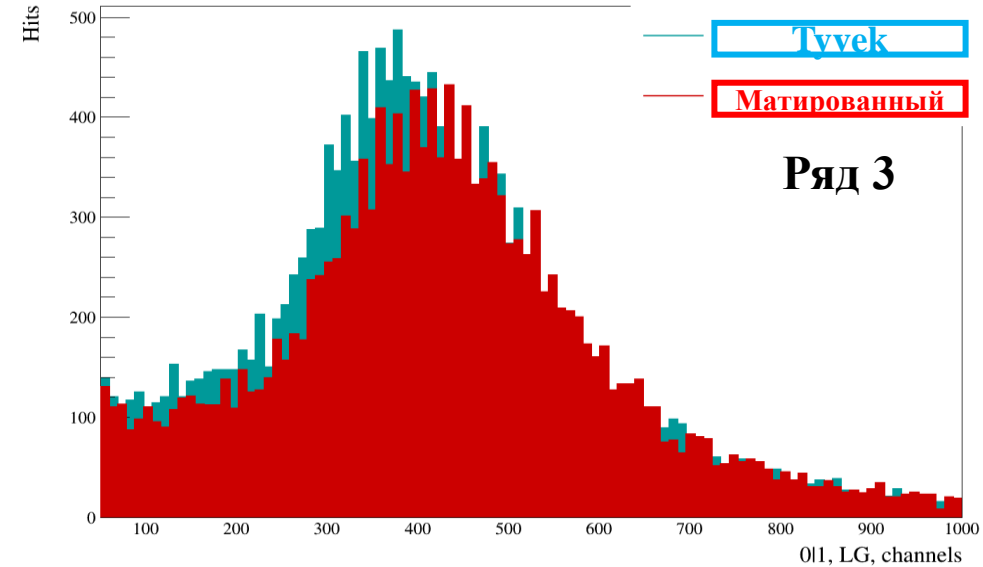
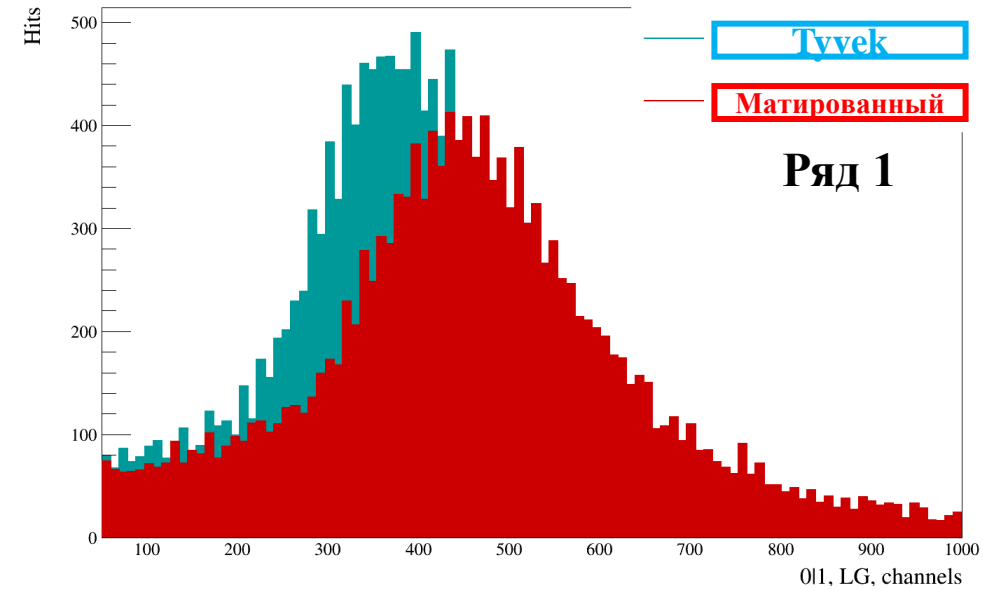
Основные критерии отбора:

- Светосбор
- Удобство массового производства
- Стоимость материала
- Независимость от санкций
- Радиационная стойкость
- Старение, и т.д.

Главный приоритет

Следующий приоритет

Оптимизация параметров детектора: покрытие сцинтиллятора



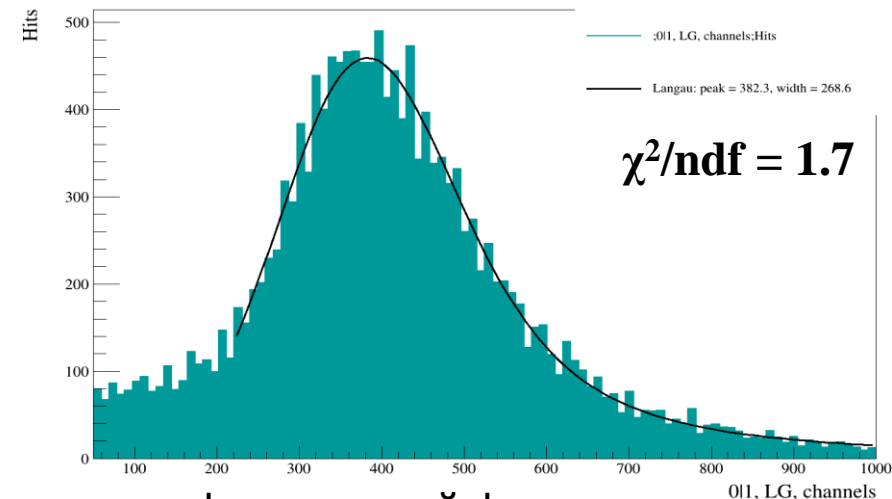
Параметры фита	Матированный Ряд 1	Tuvek Ряд 1	Матированный Ряд 3	Tuvek Ряд 3
Среднее, каналы	444.9	382.3	409.1	384.7
Ширина, каналы	290.1	268.6	306.0	279.9

Матированное покрытие собирает больше света (разница от 6% и до 14%);

Матированный тайл более удобен в контексте массового производства;

Химически матированные тайлы более устойчивы к внешним воздействиям, матирование не отличается от материала сцинтиллятора;

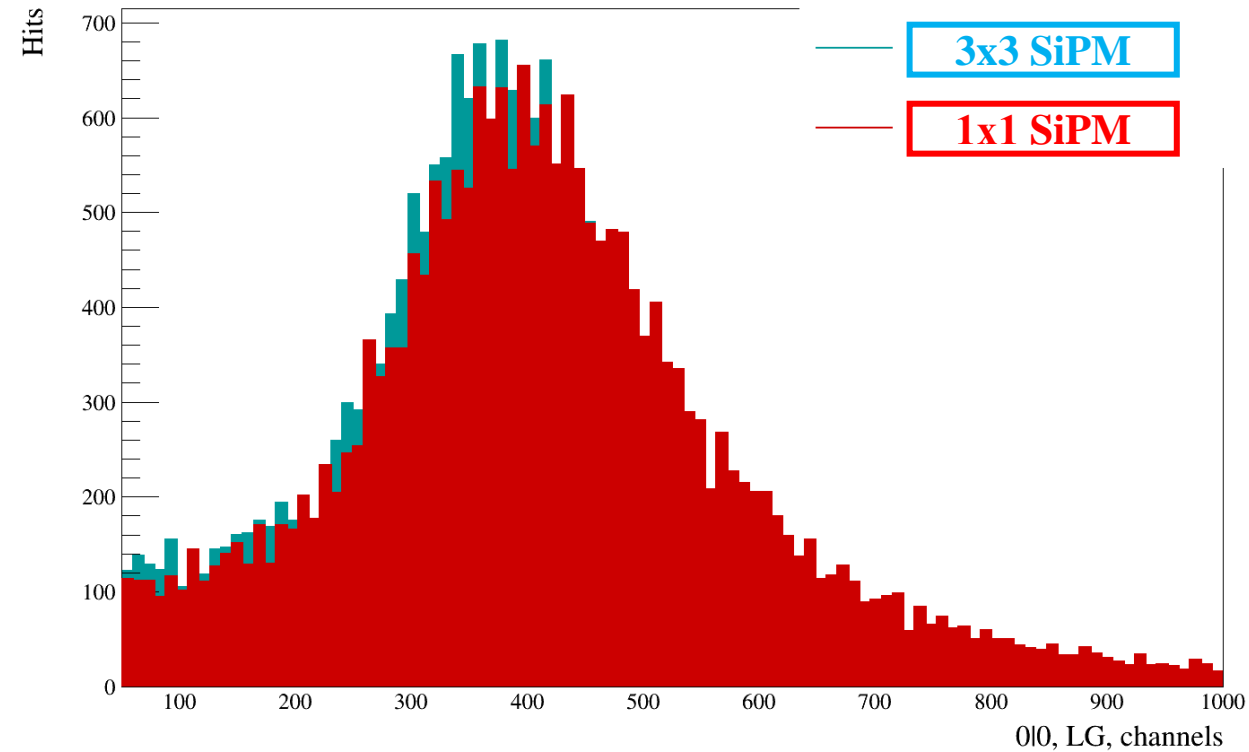
Тайлы матируются производителем сцинтилляторов (Унипласт Владимир), что также дешевле Туvek покрытия.



Матированный - тайл, химически покрытый белым светоотражающим слоем
 Туvek - тайл, дважды покрытый уникальным нетканым материалом из непрерывных нитей полиэтилена высокой плотности

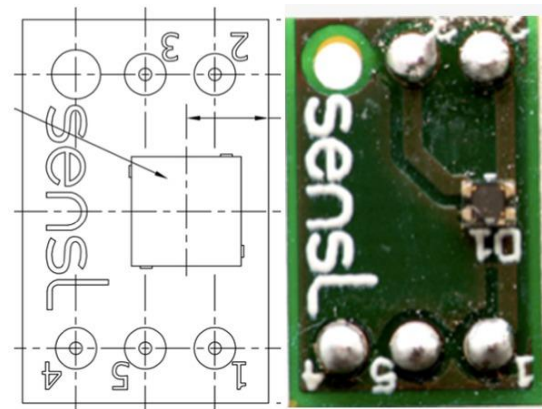
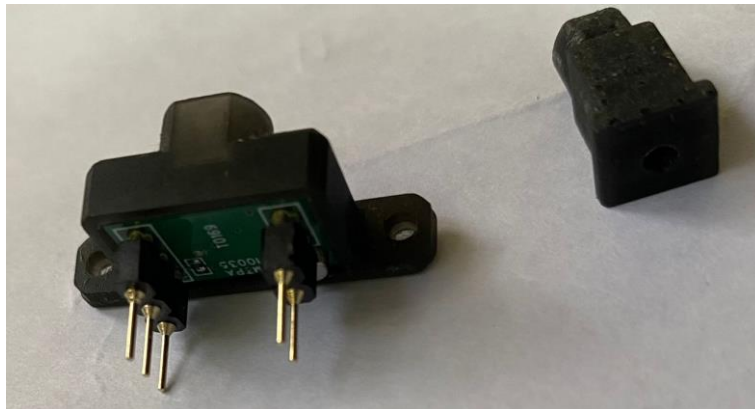
В качестве фитирующей функции используется свертка Гаусса и Ландау (langaus)

Оптимизация параметров детектора: выбор SiPM

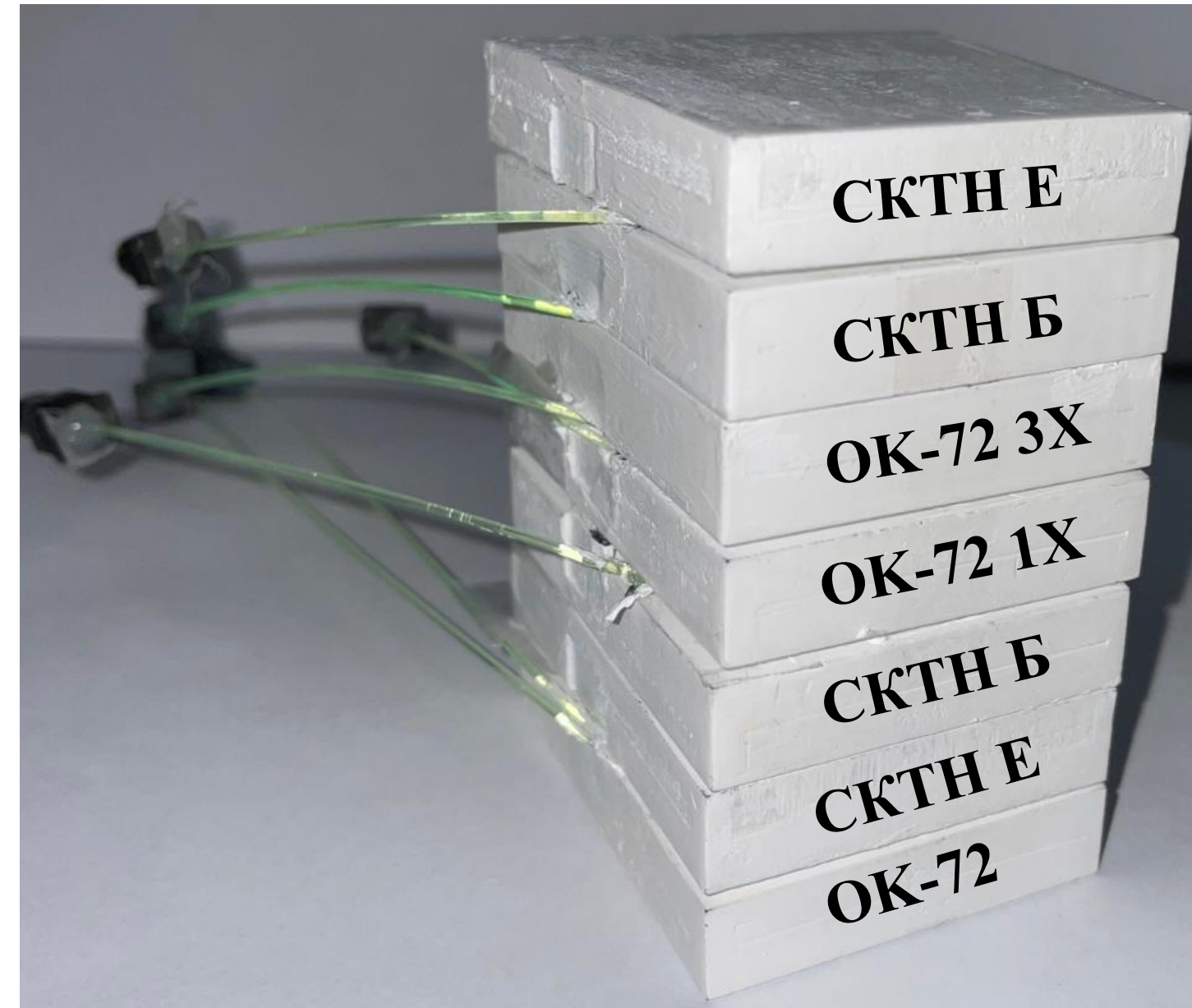


Параметры фита	1x1 мм ²	3x3 мм ²
Среднее, каналы	388.9	369.0
Ширина, каналы	275.4	229.2

- SiPM 1x1 и 3x3 мм² собирают практически идентичное количество света (разница порядка 5%)
- SiPM 1x1 оптимальнее разместить на плате, размеры которой уменьшаются пропорционально размерам SiPM
- SiPM 1x1 дешевле



Сборка последних проведенных тестов



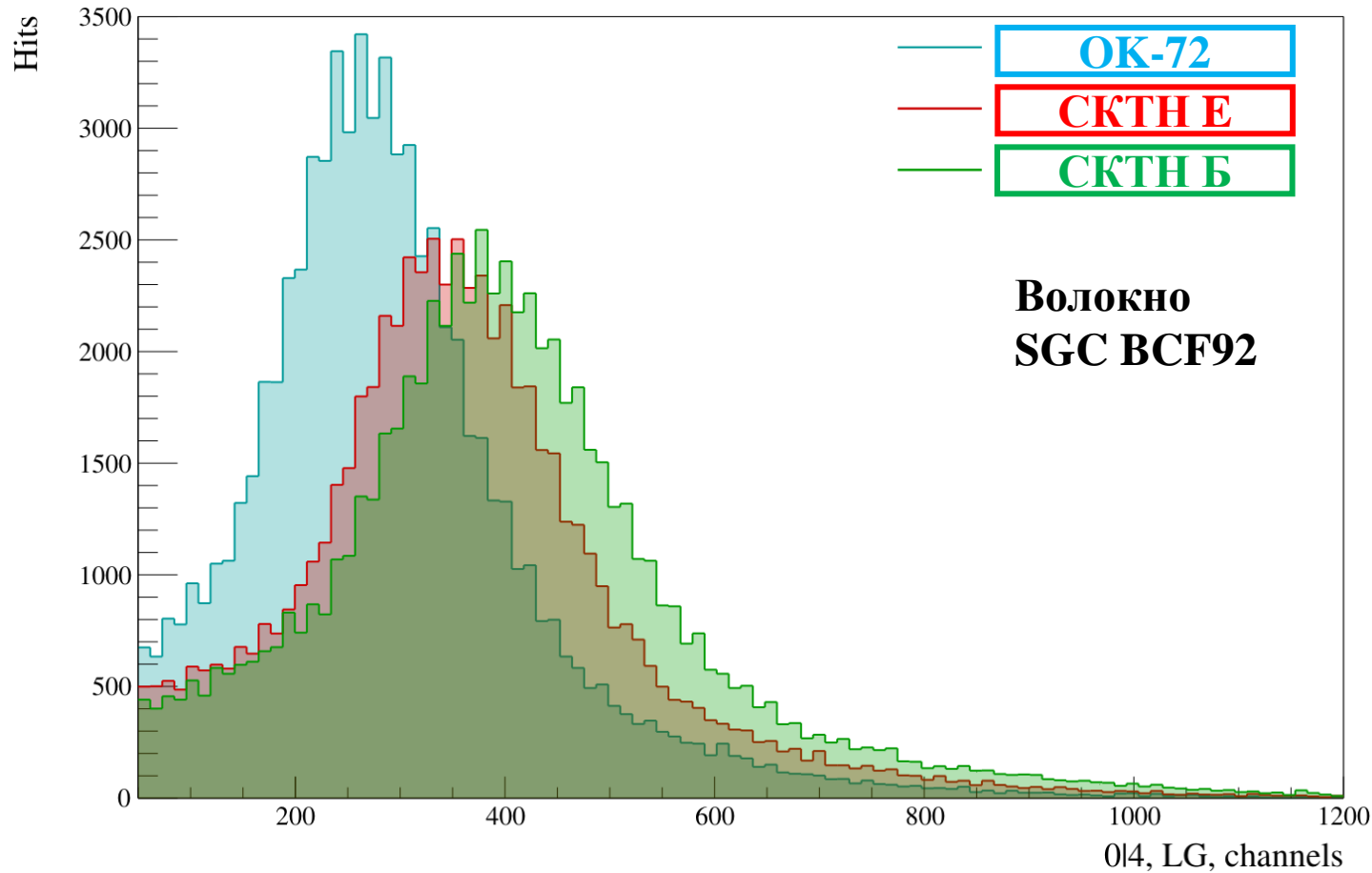
Секция 1: СКТН Е, СКТН Б, ОК-72 3Х, ОК-72 1Х

**Saint-Gobain Crystals
BCF92**

Секция 2: СКТН Б, СКТН Е, ОК-72

Kuraray Y-11

Оптимизация параметров детектора: оптический клей

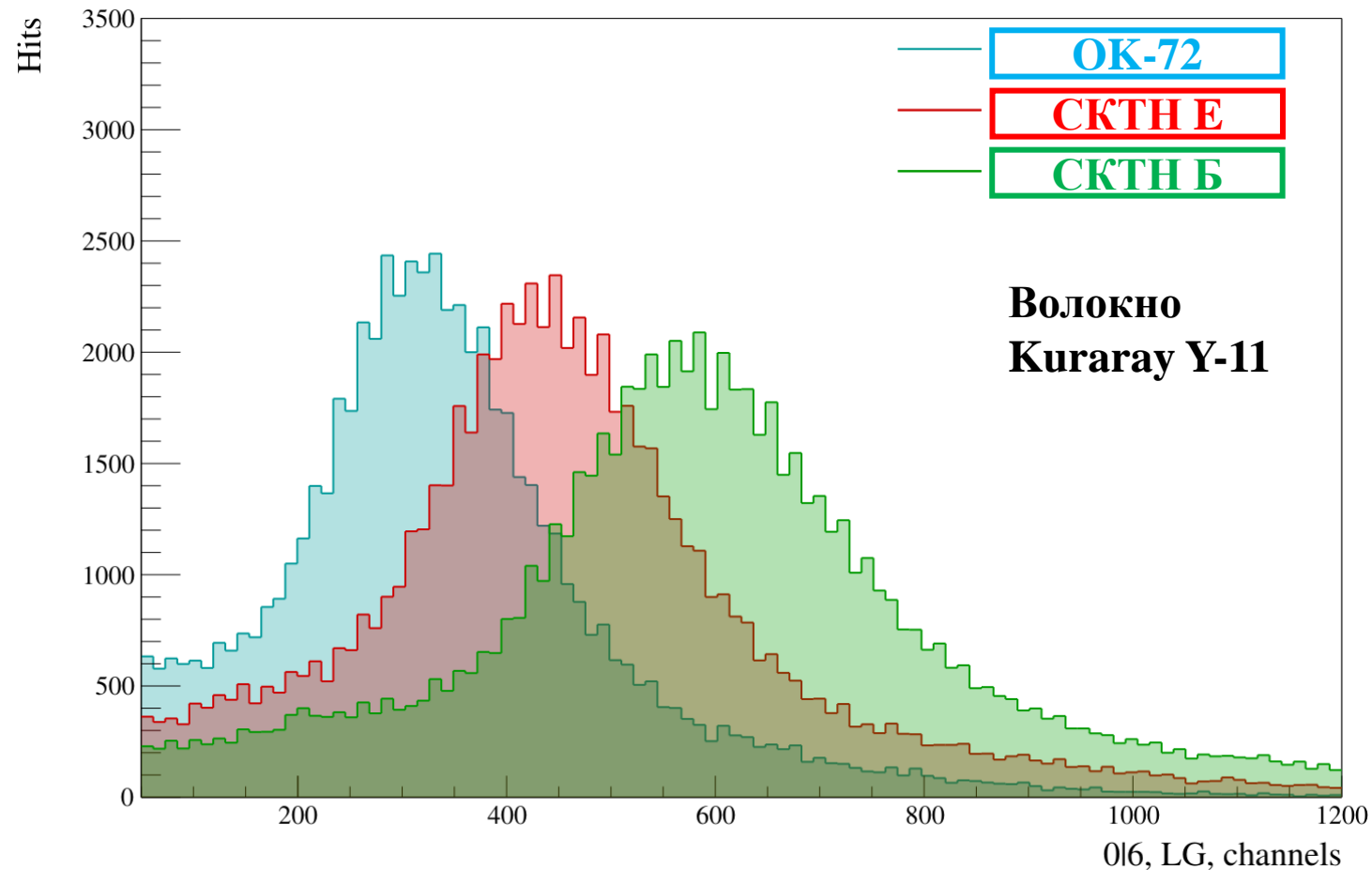


Оптические клеи - СКТН Б, Е, ОК-72:

- Вязкость СКТН МЕД типа Б снижена в 50 раз по сравнению с типом Е и относительно близка к ОК-72 - удобство массового производства;
- СКТН В собирает примерно такое же количество фотонов, как и тип Е, но значительно больше, чем ОК-72;
- Предположительно, серия СКТН имеет более высокую пропускную способность для частиц высоких энергий (см. далее)

Параметры фита	СКТН МЕД Е	СКТН МЕД Б	ОК-72
Среднее, каналы	340.3	378.4	263.7
Ширина, каналы	240.7	265.4	212.6

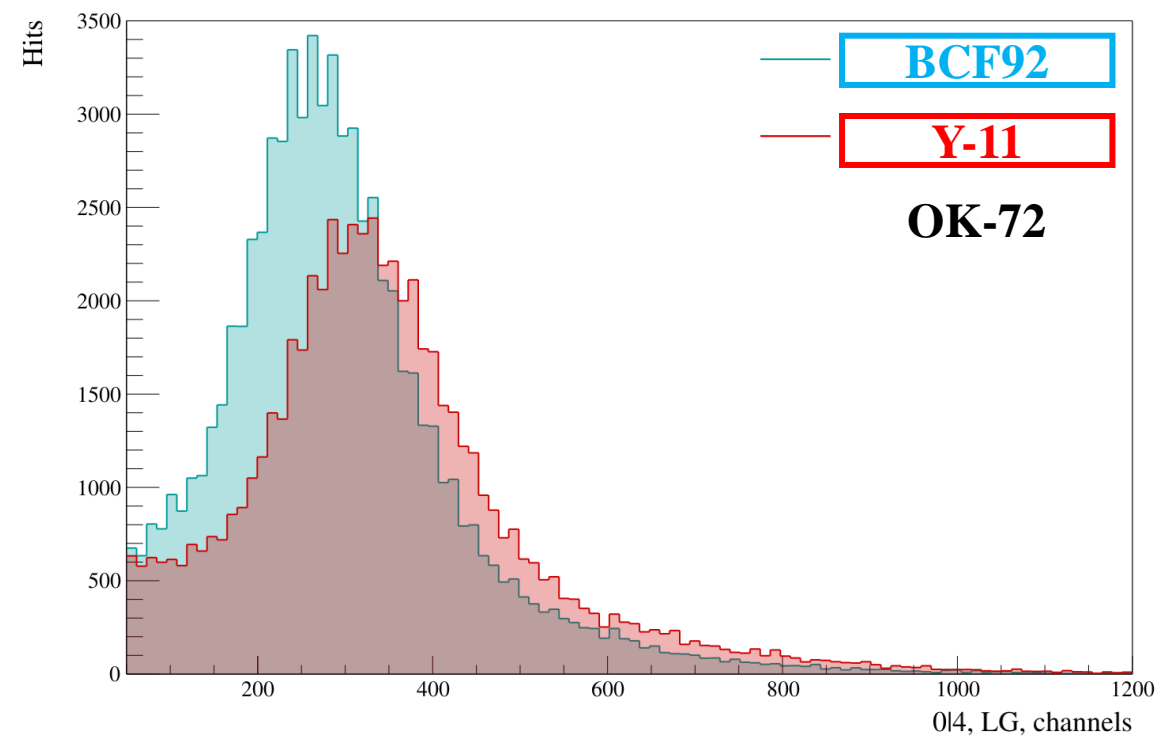
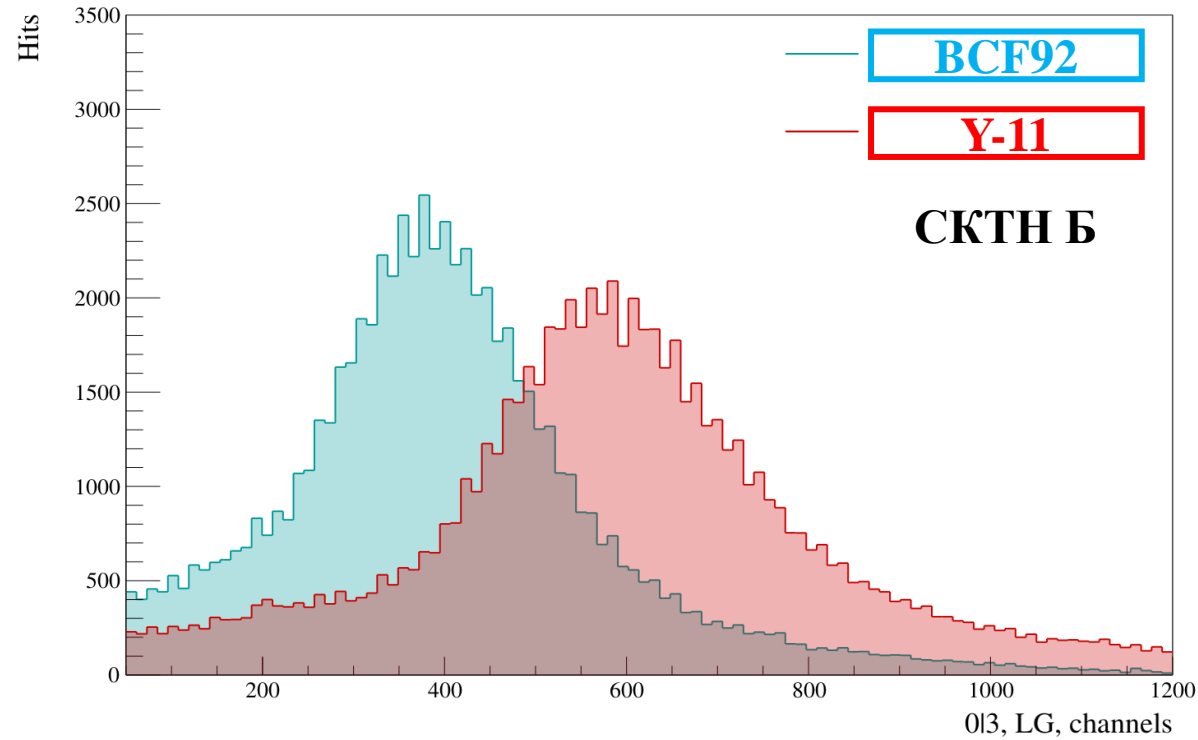
Оптимизация параметров детектора: оптический клей



- Разница в положении пика у СКТН Б и Е с SG VCF92 составляет около 10%, в то время как при использовании волокна Kuraray Y-11 она составляет около 25%. В обоих случаях СКТН Б собирает больше света
- Предположительно, это связано с меньшей вязкостью марки Б – лучшая адгезия, практически не оставляет пузырьков воздуха в итоговой смеси

Параметры фита	СКТН МЕД Е	СКТН МЕД Б	ОК-72
Среднее, каналы	429.7	569.1	312.8
Ширина, каналы	268.7	324.9	228.2

Оптимизация параметров детектора: WLS волокна



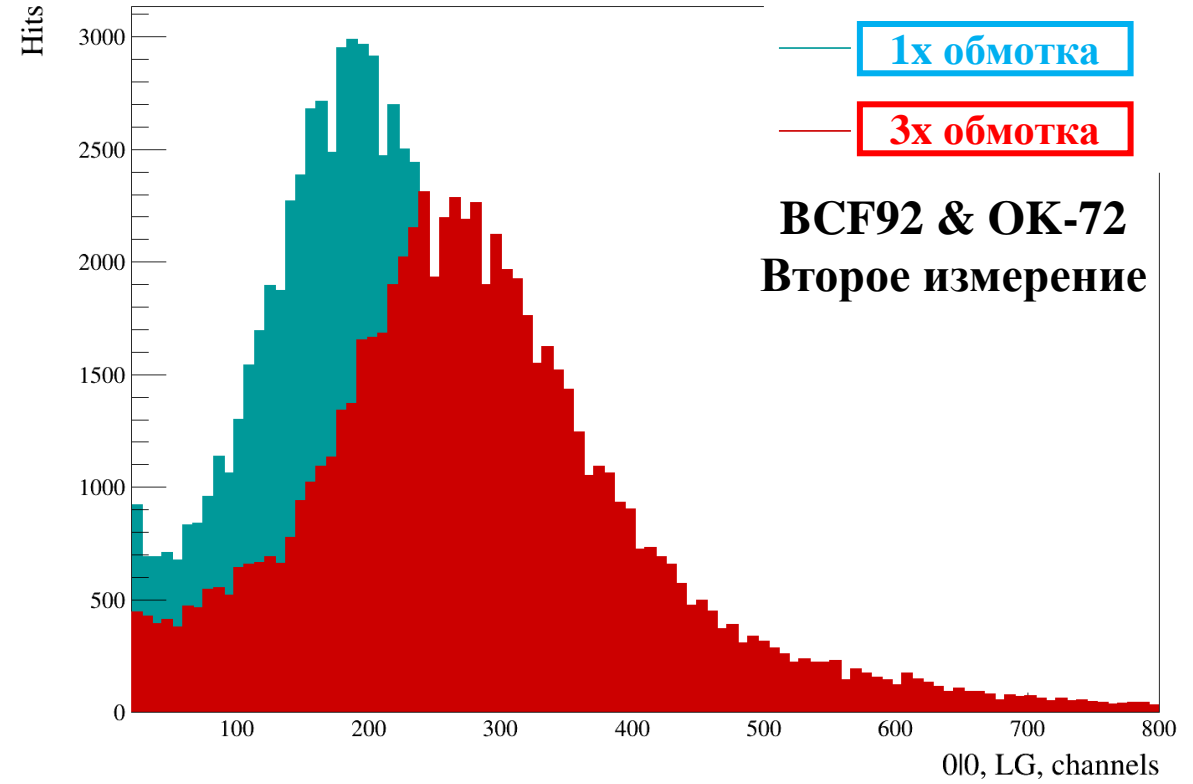
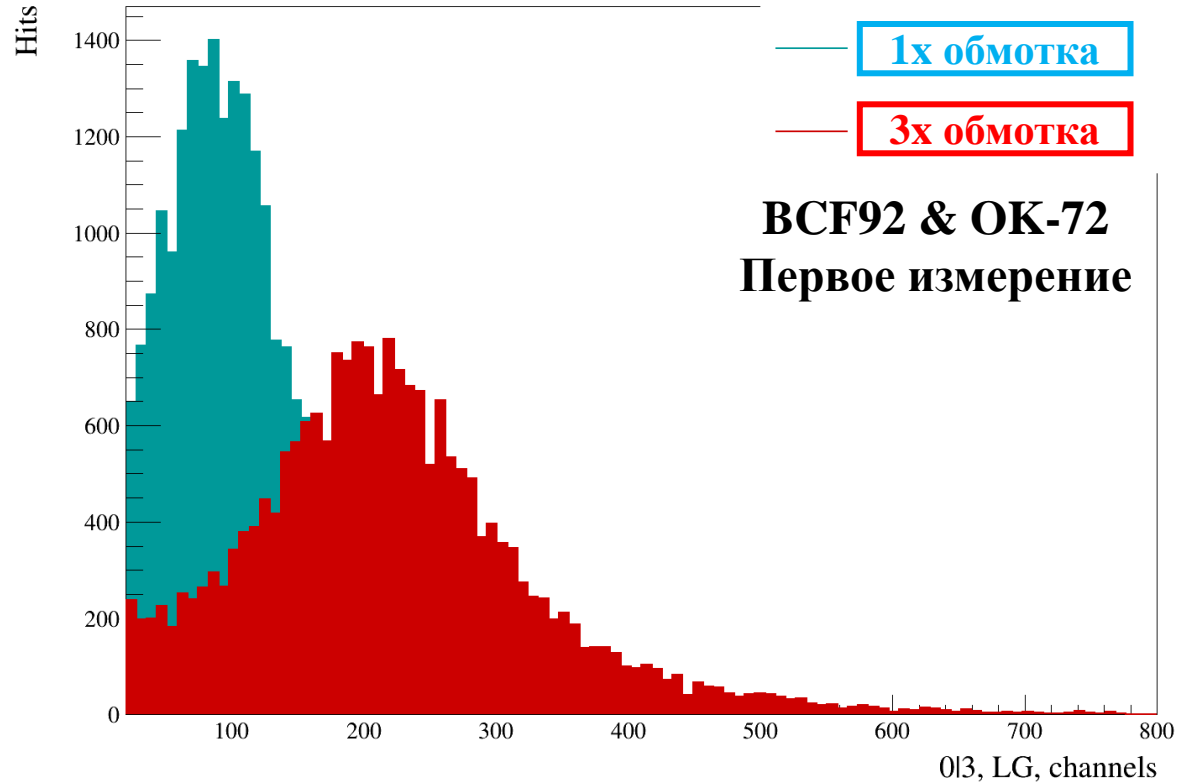
Параметры фита	BCF92	Y-11
Среднее, каналы	378.4	569.1
Ширина, каналы	265.4	324.9

Волокно Y-11 собирает больше света в обоих случаях, но в случае ОК-72 мы видим, что пики не разделяются и находятся в области более низких энергий, что указывает на то, что клей ОК, предположительно, не может пропускать фотоны высоких энергий

Параметры фита	BCF92	Y-11
Среднее, каналы	263.7	312.8
Ширина, каналы	212.6	228.2

Оптимизация параметров детектора: количество витков

ВОЛОКНА



Параметры фита	1x обмотка	3x обмотка
Среднее, каналы	86.0	202.1
Ширина, каналы	136.3	190.0
χ^2/ndf	3.7	2.8

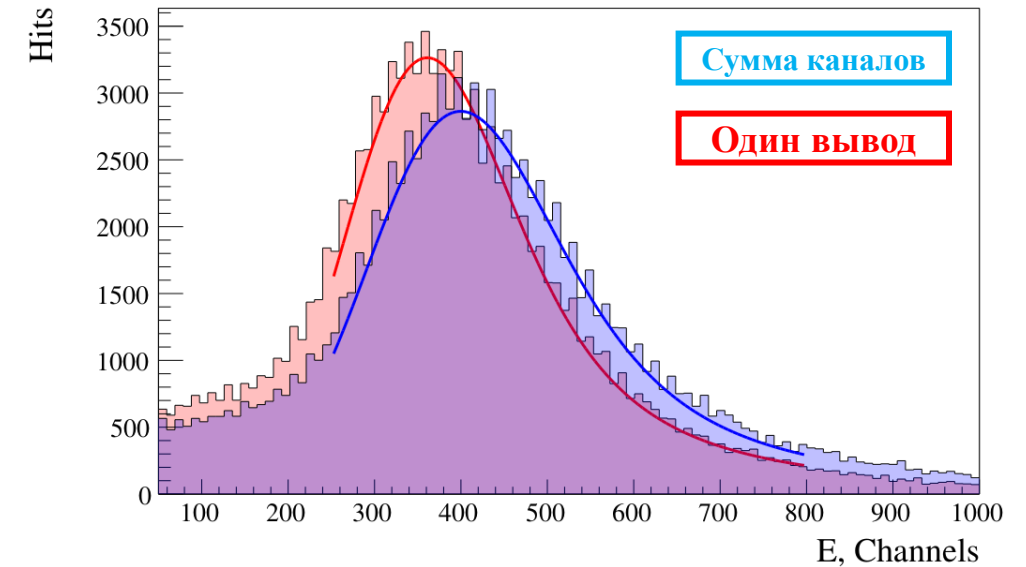
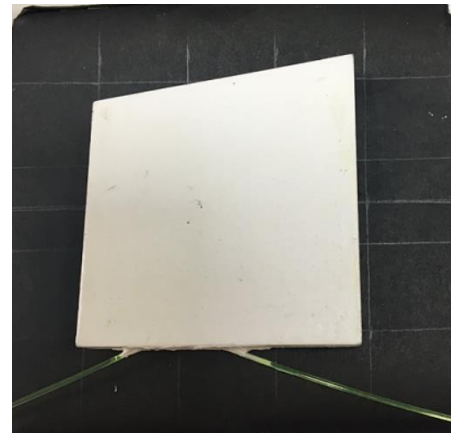
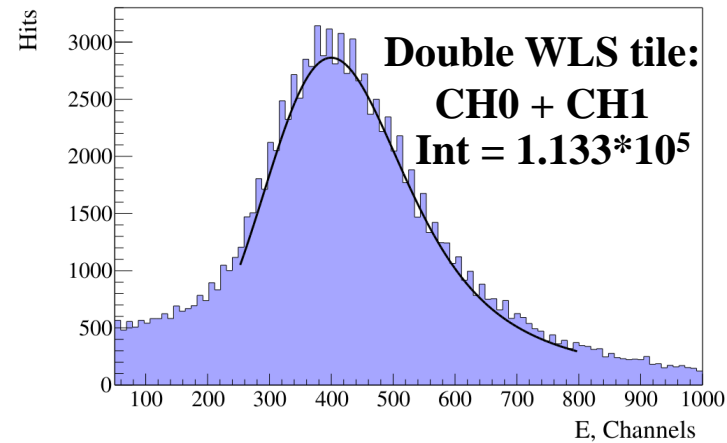
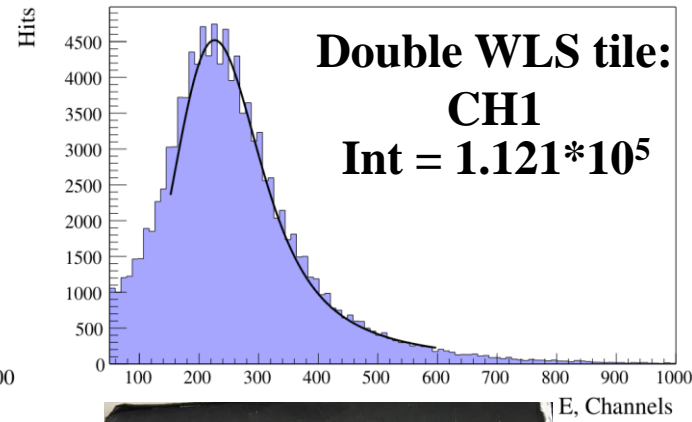
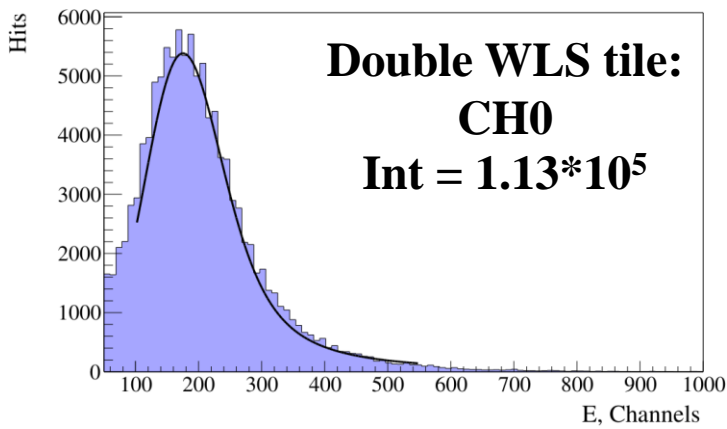
1 / 2.35 VS 1 / 1.39



**Требуются
дополнительные
измерения**

Параметры фита	1x обмотка	3x обмотка
Среднее, каналы	188.2	262.2
Ширина, каналы	167.5	213.2
χ^2/ndf	4.4	3.8

Оптимизация параметров детектора: эффективность сбора фотонов



Параметры фита	Тайл с одним выводом волокна	Сумма сигналов двух выводов волокна
Среднее, каналы	360.9	399.8
Ширина, каналы	243.2	277.4
χ^2/ndf	8.5	13.1

В наборе данных участвовали два тайла. Первый тайл имел один выход волокна, второй же конец находился внутри сцинтиллятора и был окрашен светоотражающей краской. У второго тайла оба конца волокна были снаружи.

Сумма сигналов с двух концов собирает немного больше света (до 10% разницы), чем один конец. Мы можем утверждать, что эффективность сбора фотонов с отраженным концом примерно равна 90%.

Заключение

Оптимизация параметров детектора, главным образом отражающая выбор материала, практически завершена:

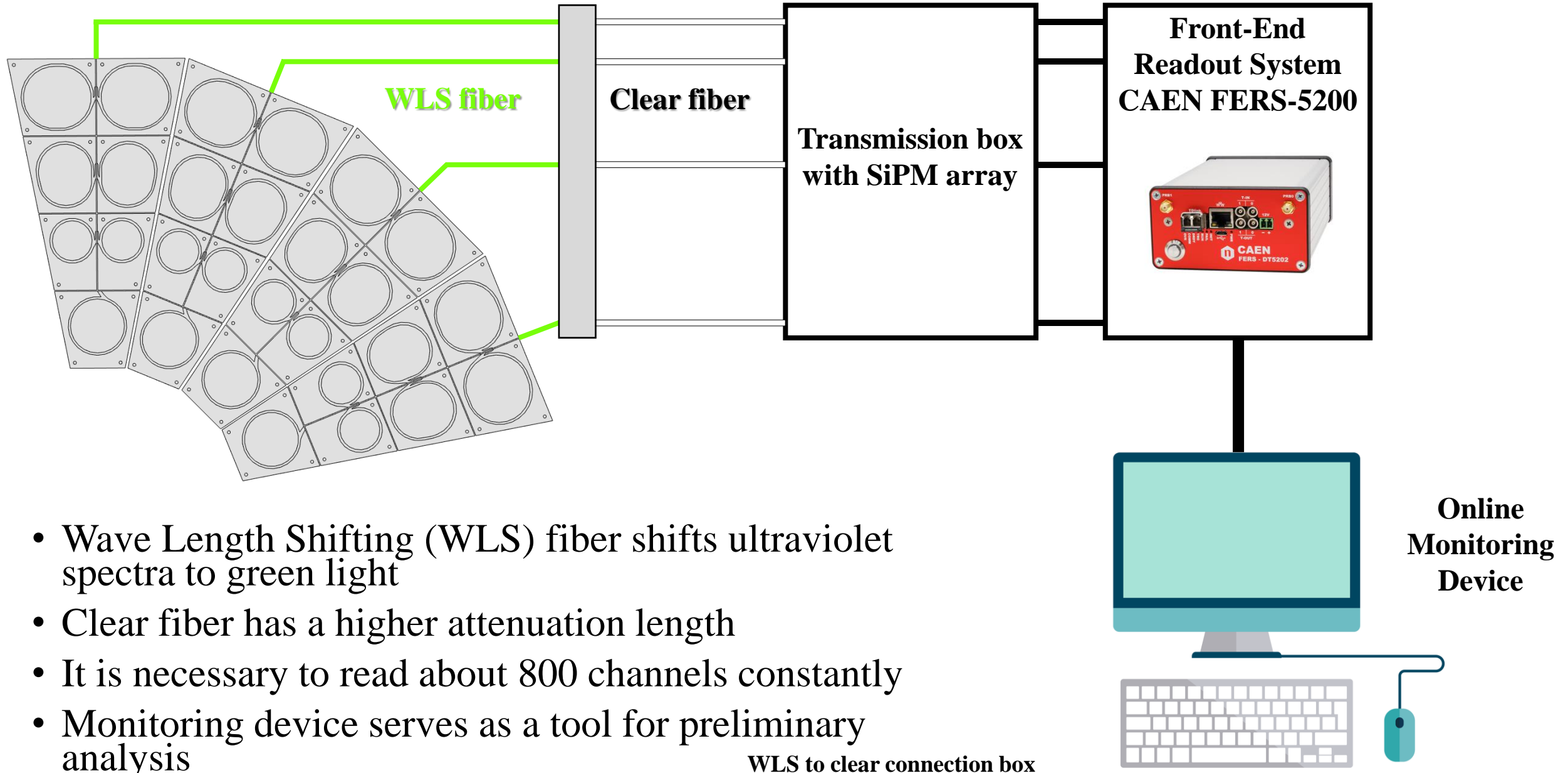
- Сравнение различных покрытий сцинтиллятора привело нас к использованию химического матирования — матированный тайл собирает больше света, нежели его аналоги (от 6% и до 14%), а также является удобным с точки зрения массового производства
- Сравнение 1x1 и 3x3 мм² SiPM показало практически идентичный сигнал, однако использование 1x1 целесообразнее с точки зрения большого числа каналов и финансов
- Оптический клей СКТН Б позволяет собирать больше света (10-25%), нежели рассмотренные аналоги, а также достаточно удобен с точки зрения массового производства;
- Исследование волокон показало, что Kuraray Y-11 собирает больше света и является эффективным для наших задач
- Новые исследования для 1X и 3X обмоток волокон отличаются от предыдущих измерений, необходимы новые исследования

В ближайшей перспективе:

- Прототип сектора
- Стабилизация температуры SiPM, либо же учет температурных колебаний;
- Сравнение результатов исследований 1X и 3X обмоток, эффективности светосбора с GEANT моделированием;
- Калибровка FERS-5200;

BACK UP

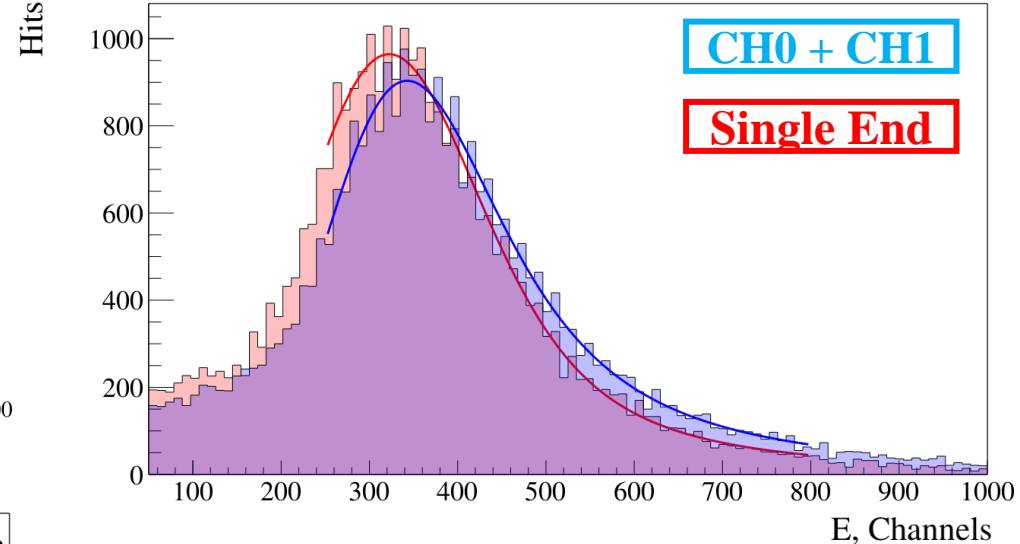
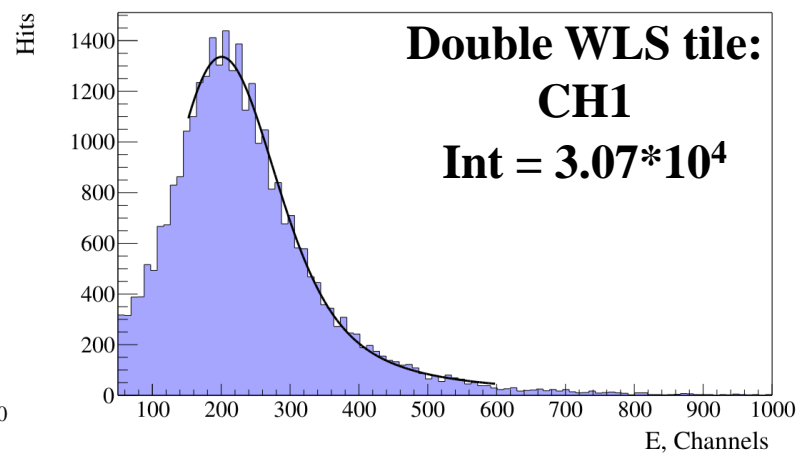
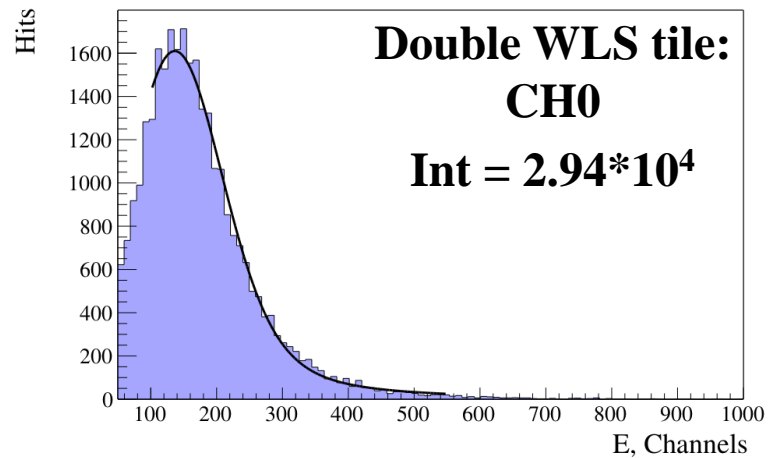
How BBC readout will work



- Wave Length Shifting (WLS) fiber shifts ultraviolet spectra to green light
- Clear fiber has a higher attenuation length
- It is necessary to read about 800 channels constantly
- Monitoring device serves as a tool for preliminary analysis

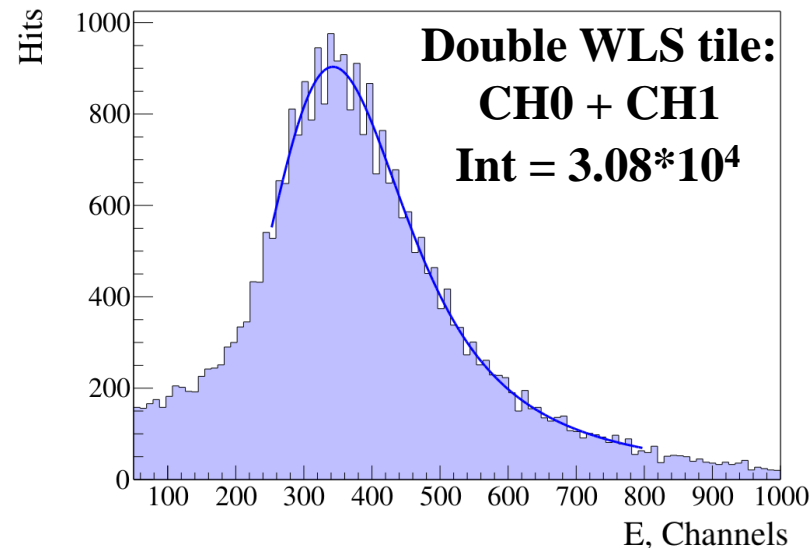
WLS to clear connection box

Double WLS sum VS single WLS tile signal



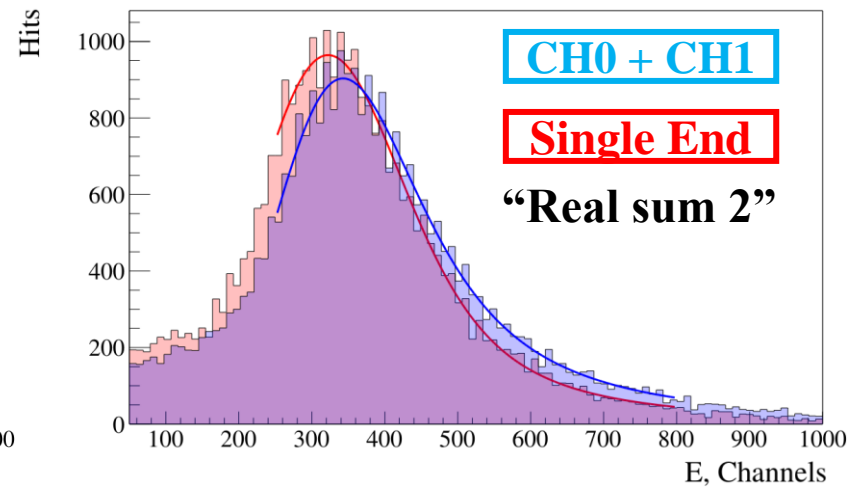
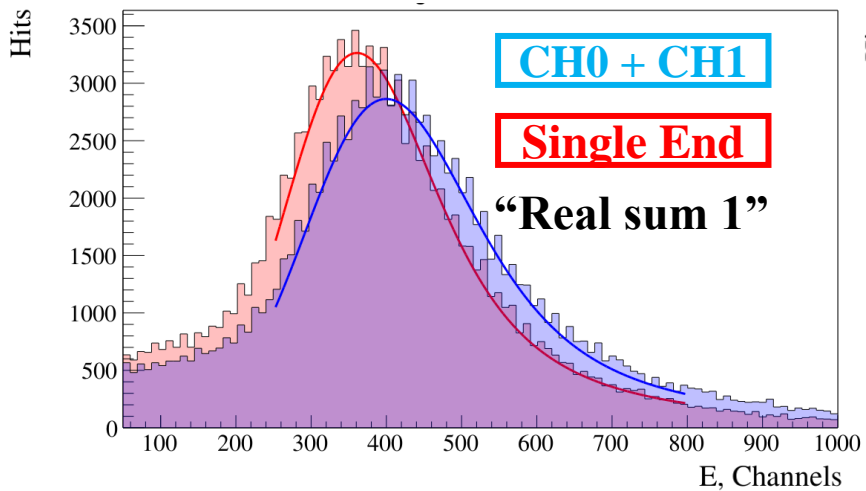
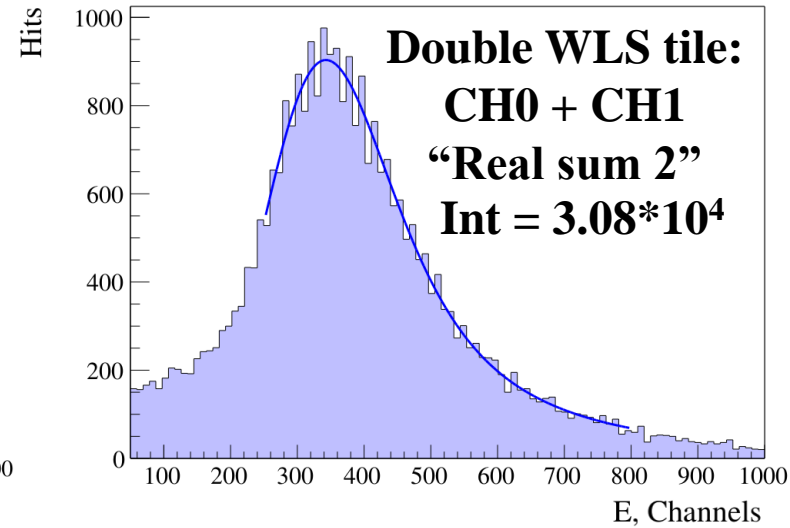
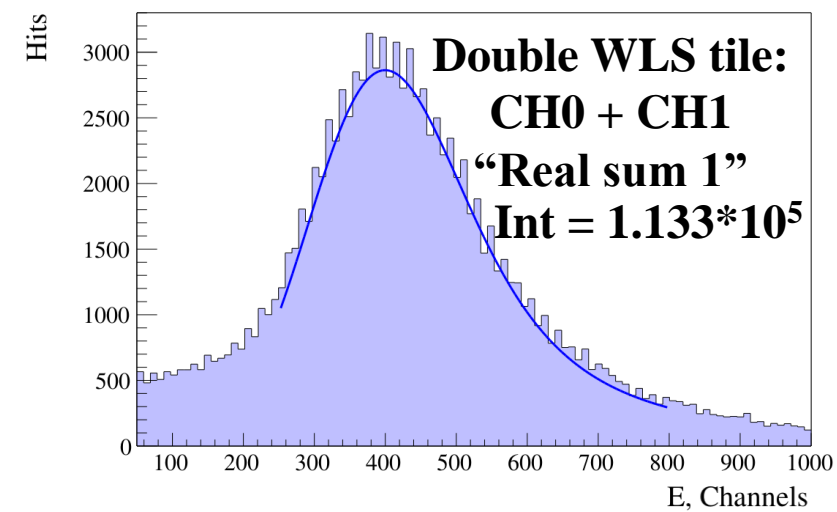
For the purity of the experiment, we decided to redo the run. In both cases we see that sum of both ends collects slightly more light (from 6% to 10% difference) than single end.

We can confidently claim light reflection efficiency as higher or equal 90%



Fit Params	Tile with one end	Sum of both ends
Mean, Channels	322.3	342.8
Width, Channels	251.2	247.5
χ^2/ndf	2.1	2.5

Double WLS sum VS single WLS tile signal



In case, if we remove coincidence (for example, one of the channels has bin content in exact bin, but the second one doesn't, so we fill sum hist with only one existing value, instead of removing bin at all) the ratio remains

Fit Params (Run 1)	Tile with one end	Sum of both ends
Mean, Channels	360.8	399.8
Width, Channels	243.2	277.4
χ^2/ndf	8.5	13.1

Fit Params (Run 2)	Tile with one end	Sum of both ends
Mean, Channels	322.3	342.7
Width, Channels	251.2	247.4
χ^2/ndf	2.1	2.4

