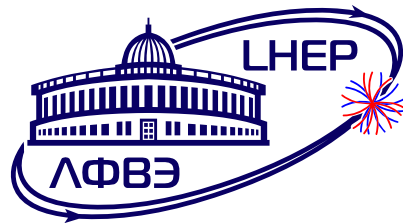


REPORT

Выбор материалов для прототипа сцинтилляционного детектора локальной поляриметрии SPD Beam-Beam Counter



JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH



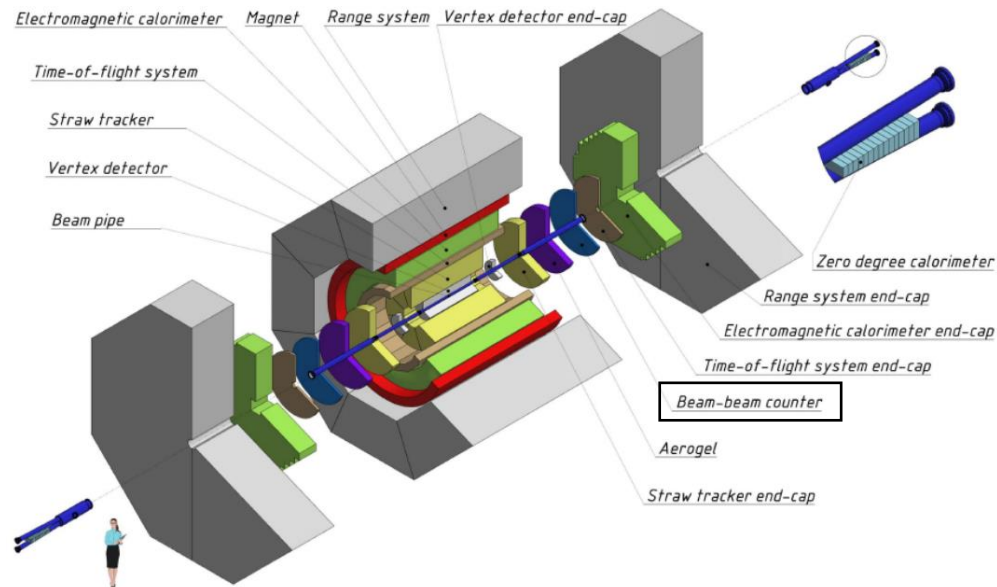
Научный руководитель
Тетерин П. Е.

Студент М22-115
Захаров А. М.
ИЯФиТ

г. Москва, 2024

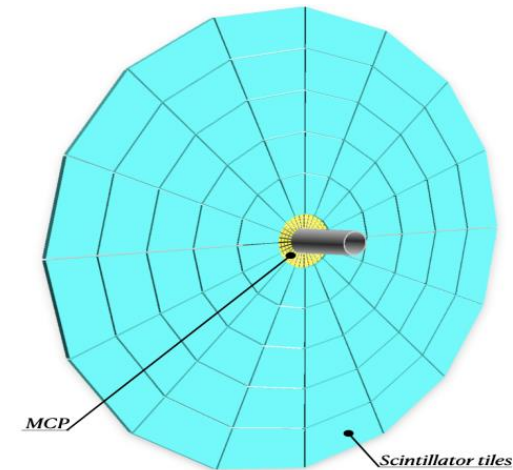
Эксперимент SPD

- **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

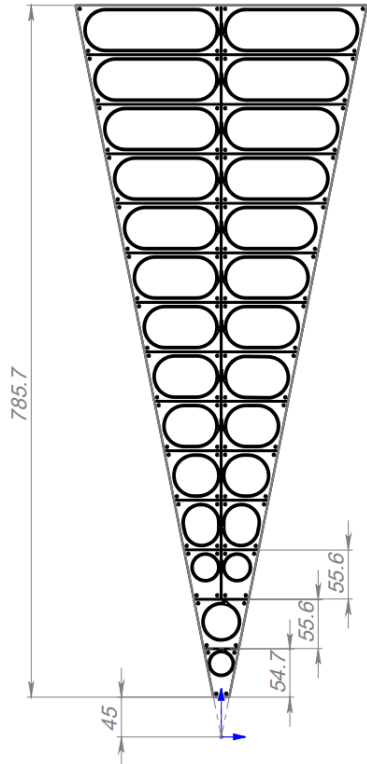
- Два торцевых детекторных колеса сцинтилляционных счетчиков **Beam-Beam Counters (BBCs)** планируется установить перед TOF системой установки SPD симметрично относительно точки взаимодействия.
- Детектор будет состоять из внутренней и внешней частей: внутренние MCP и внешняя часть из быстрых сцинтилляционных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



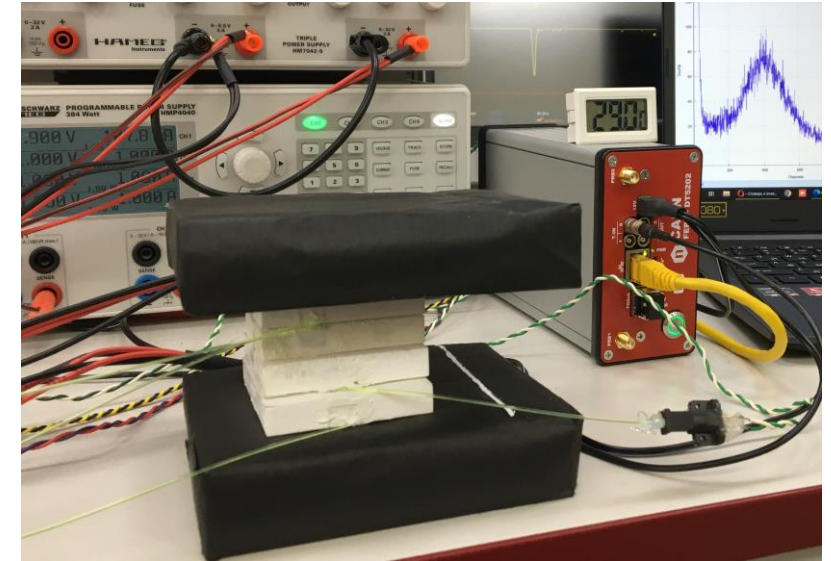
Основными задачами Beam-Beam Counters являются:

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

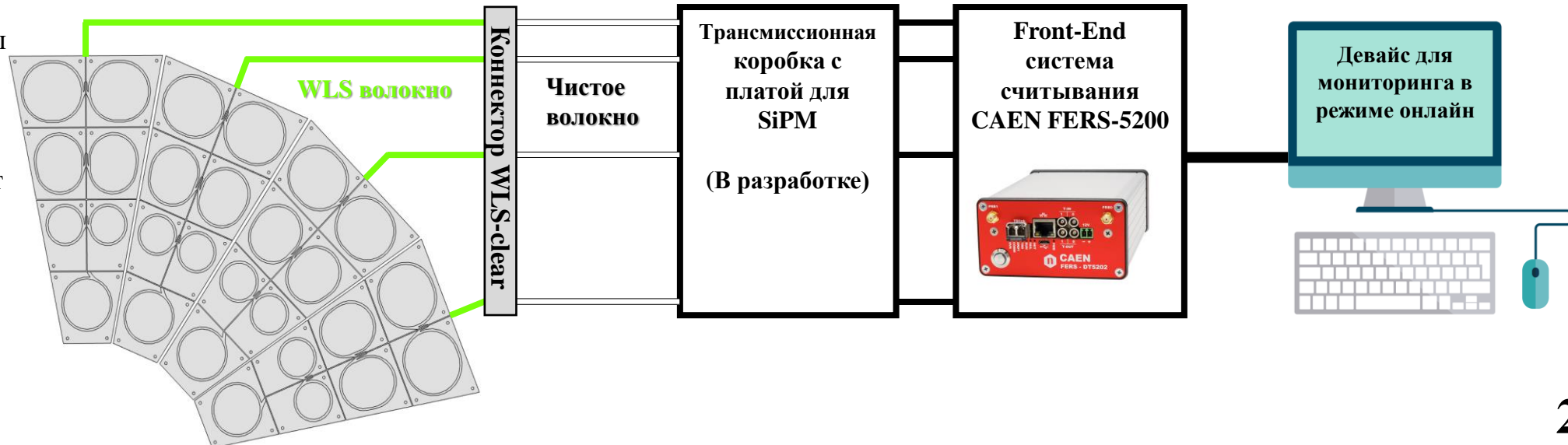
Экспериментальная установка



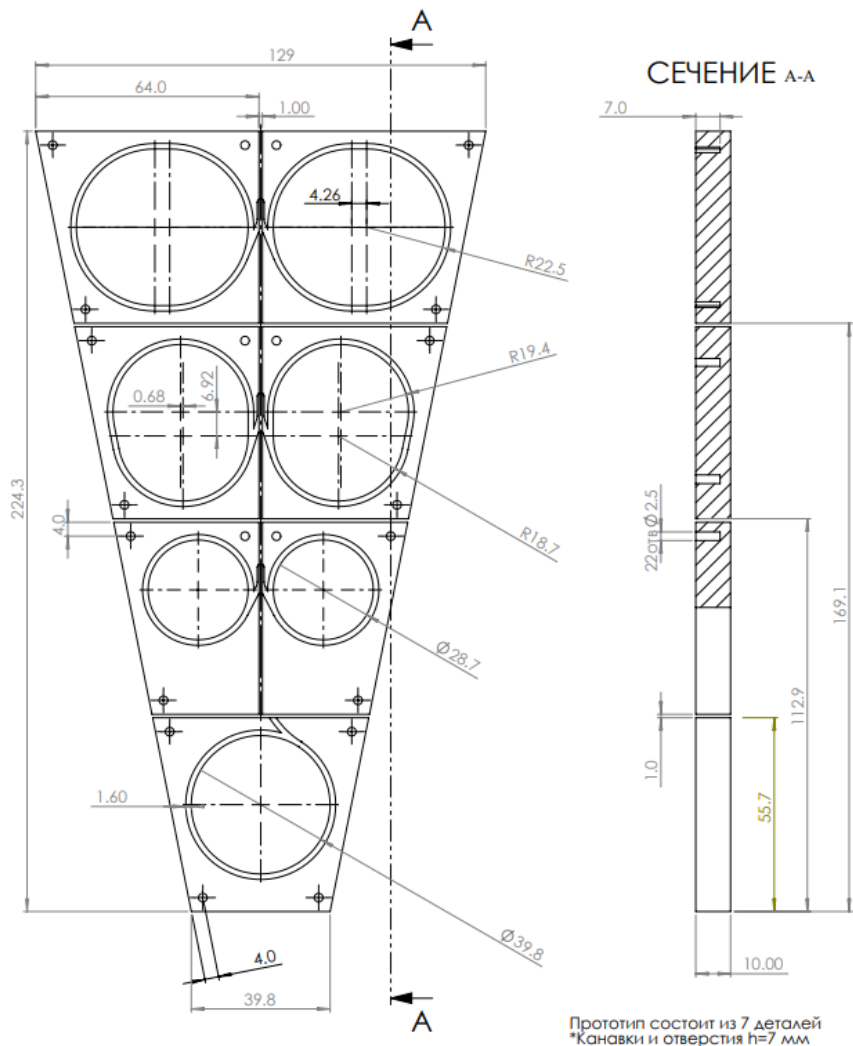
- SPD BBC будет состоять из **16 секторов с 26 тайлами в каждом секторе** в одном колесе. Каждый тайл представляет собой отдельный источник сигнала, считывающийся с помощью кремниевого фотоумножителя (SiPM), подключенного к оптоволокну WLS.
- Количество каналов считывания наводит нас на использование 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



Выбор материалов: главное



Геометрия семитайлового прототипа, используемого в данной работе



Выбор материалов необходим для оптимизации параметров детектора и включает в себя тестирование 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

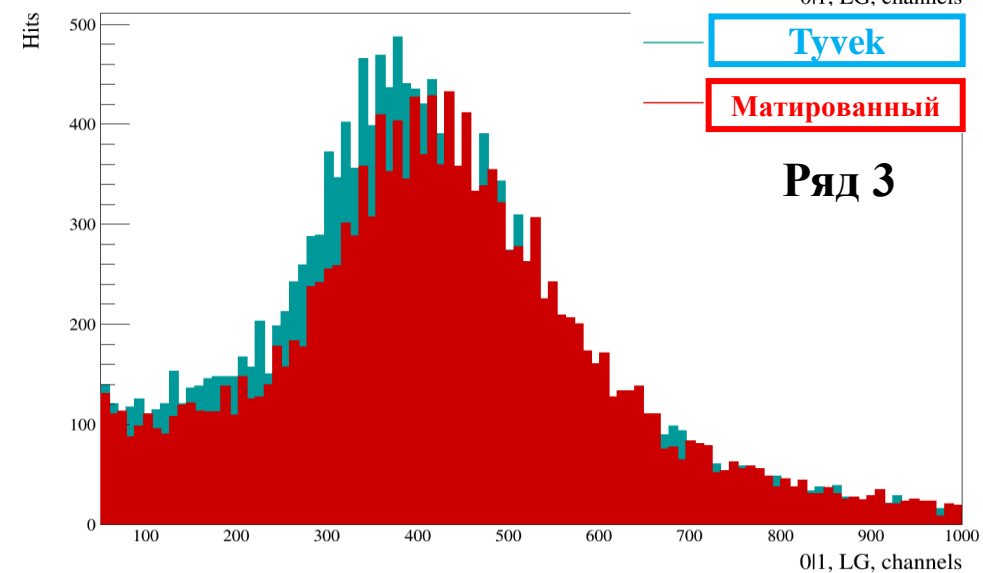
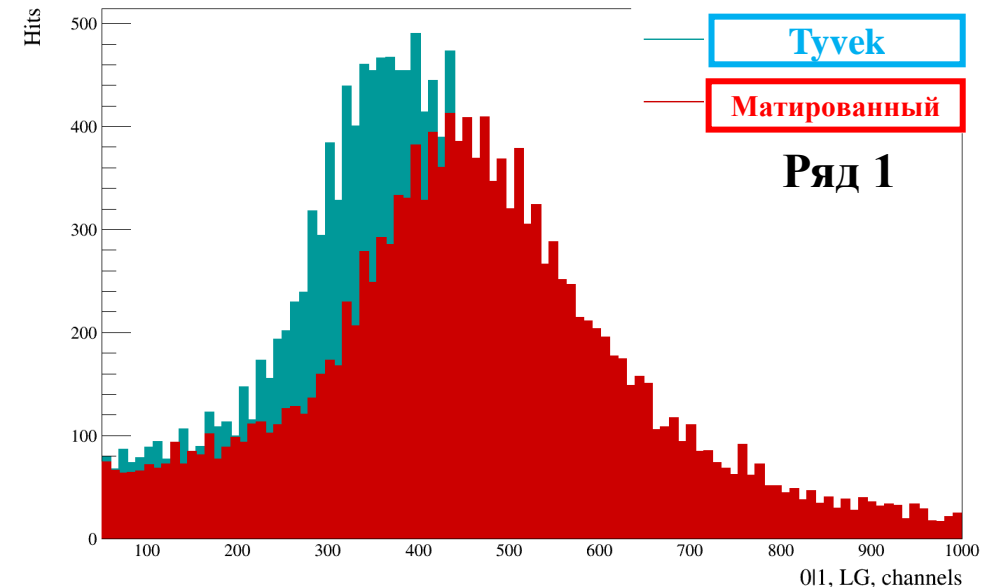
Основные критерии отбора:

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

Главный приоритет

Следующий приоритет

Выбор материалов: покрытие сцинтиллятора



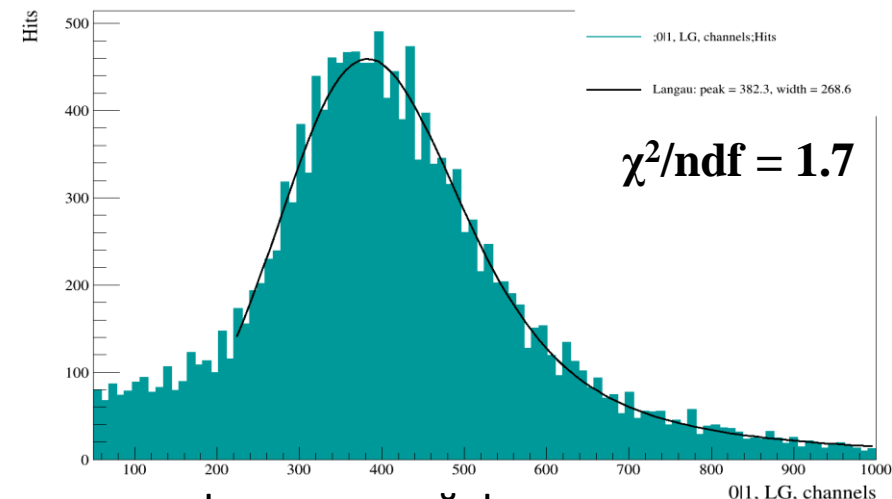
Параметры фита	Матированный Ряд 1	Тувек Ряд 1	Матированный Ряд 3	Тувек Ряд 3
Среднее, каналы	444.9	382.3	409.1	384.7
Ширина, каналы	290.1	268.6	306.0	279.9

Матированное покрытие отражает 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;

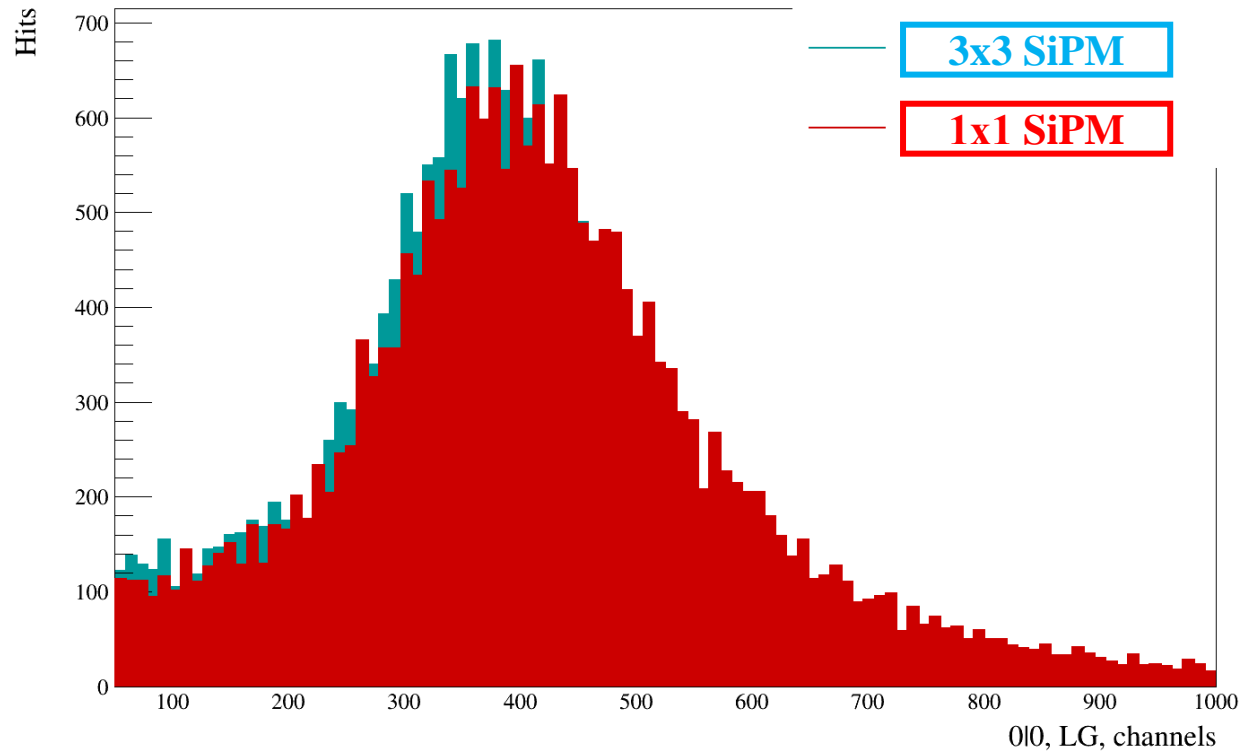
Тайлы матируются производителем сцинтилляторов (Унипласт Владимир), что также дешевле Тувек покрытия.



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

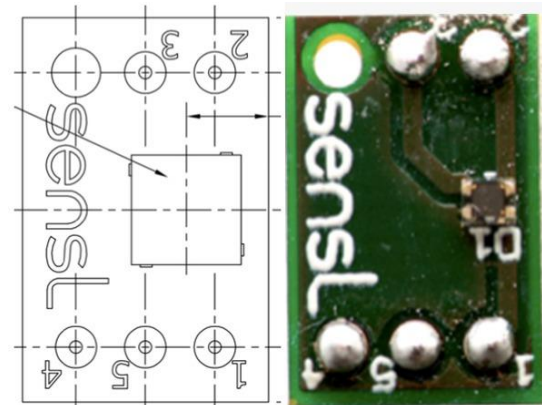
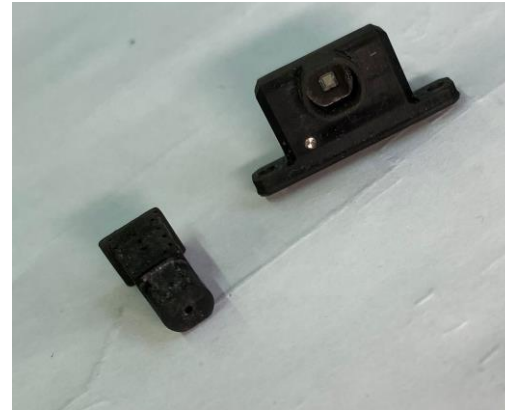
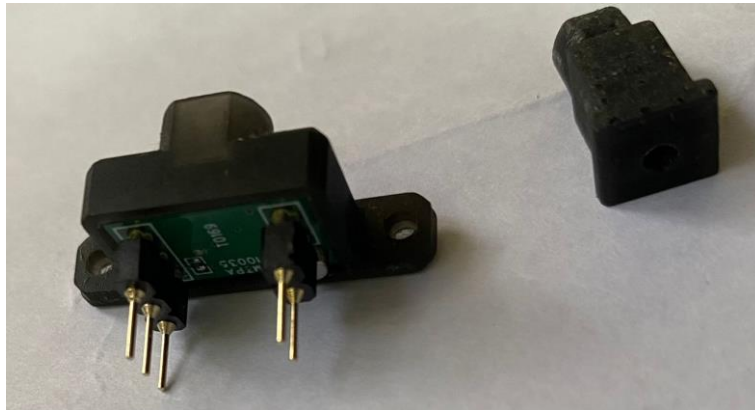
В качестве фитирующей функции используется свертка Гаусса и Ландау (langaus)

Выбор материалов: кремниевые фотоумножители SensL SiPM

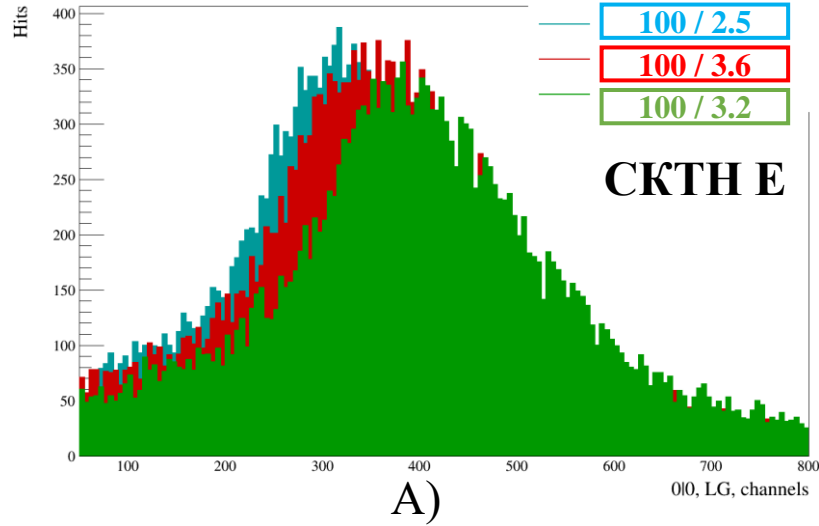


Параметры фита	1x1 мм ²	3x3 мм ²
Среднее, каналы	388.9	369.0
Ширина, каналы	275.4	229.2

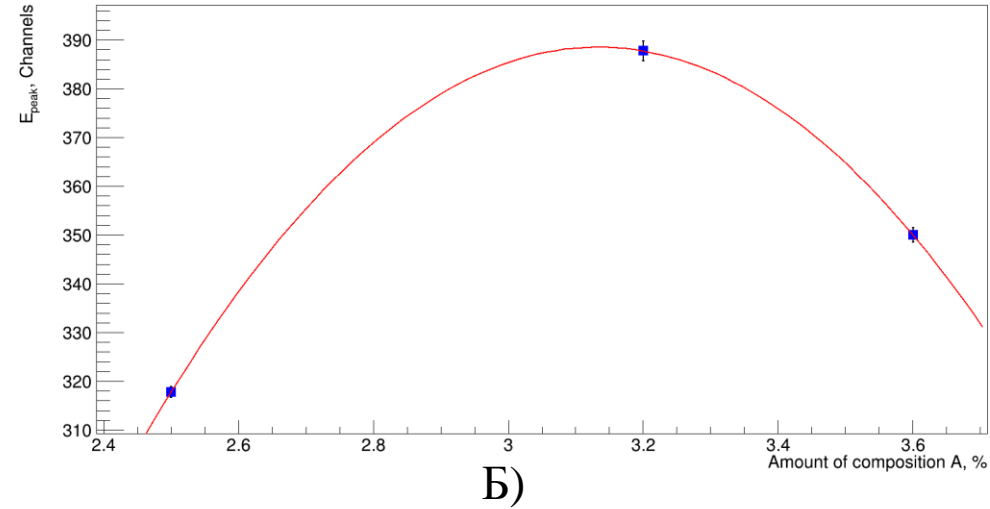
- Разница в ширинах распределений для SiPM 1x1 и 3x3 мм² составляет около 5%, что может отрицательно влиять на разрешение пиков
- SiPM 1x1 оптимальнее разместить на плате, размеры которой уменьшаются пропорционально размерам SiPM
- SiPM 1x1 дешевле



Выбор материалов: композиции оптических клеев

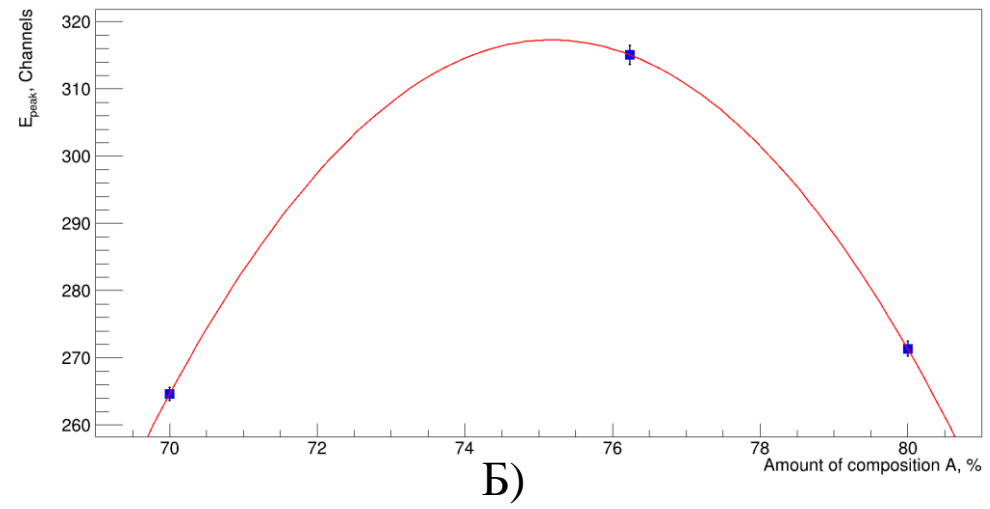
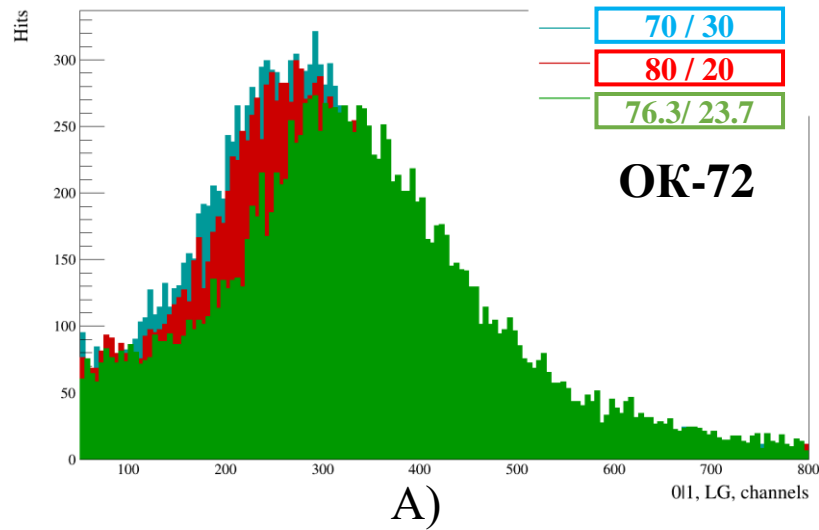


А) Сравнение составов оптических клеев



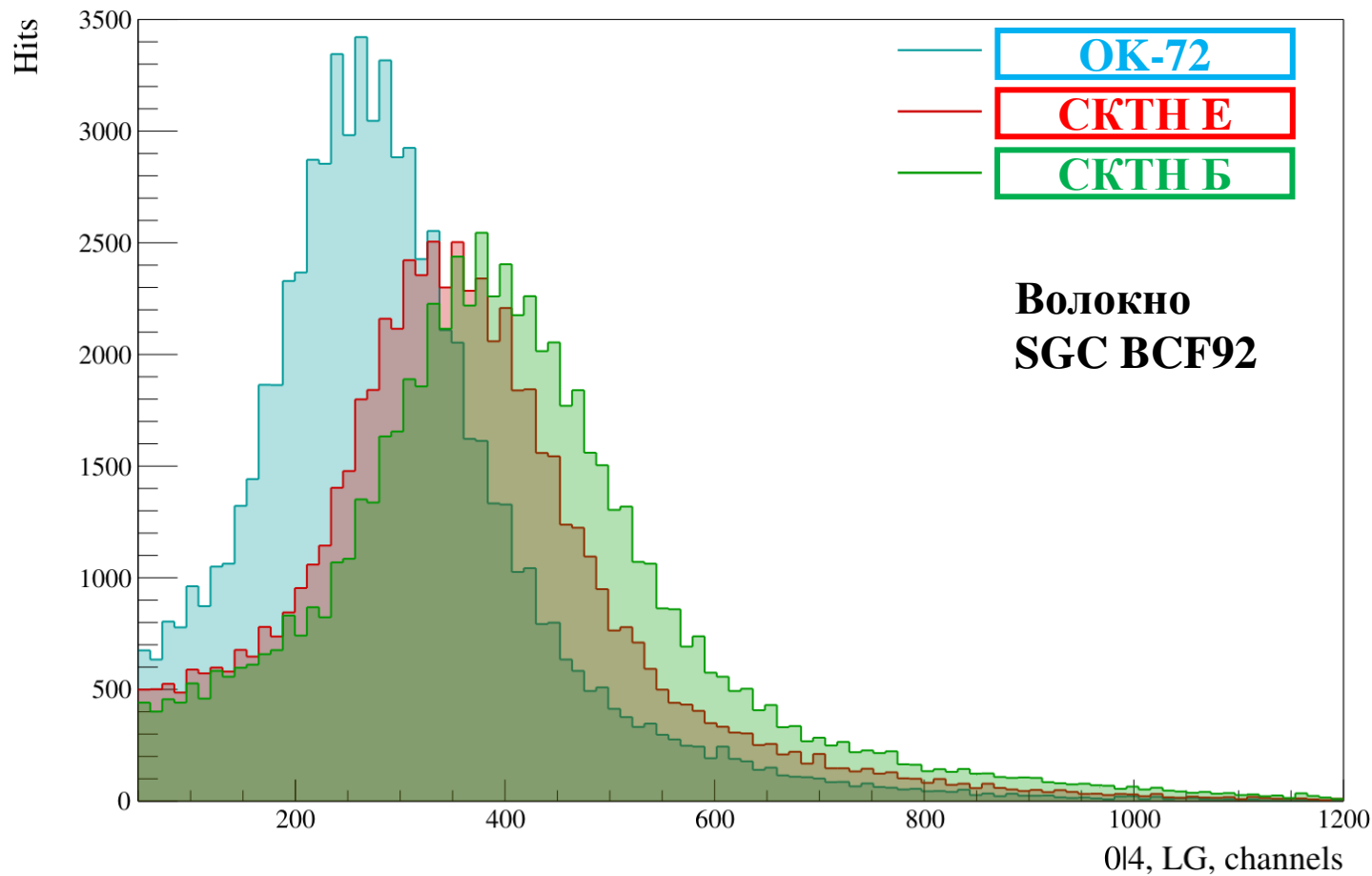
Б) Зависимость средней амплитуды от процентного содержания компонента А

По результатам исследования стало ясно, что среди протестированных смесей наилучшие результаты показывают составы, выполненные в соответствии с паспортными данными



При грубом нарушении соотношений наблюдаются существенные потери светосбора (вплоть до 18%)

Выбор материалов: оптический клей

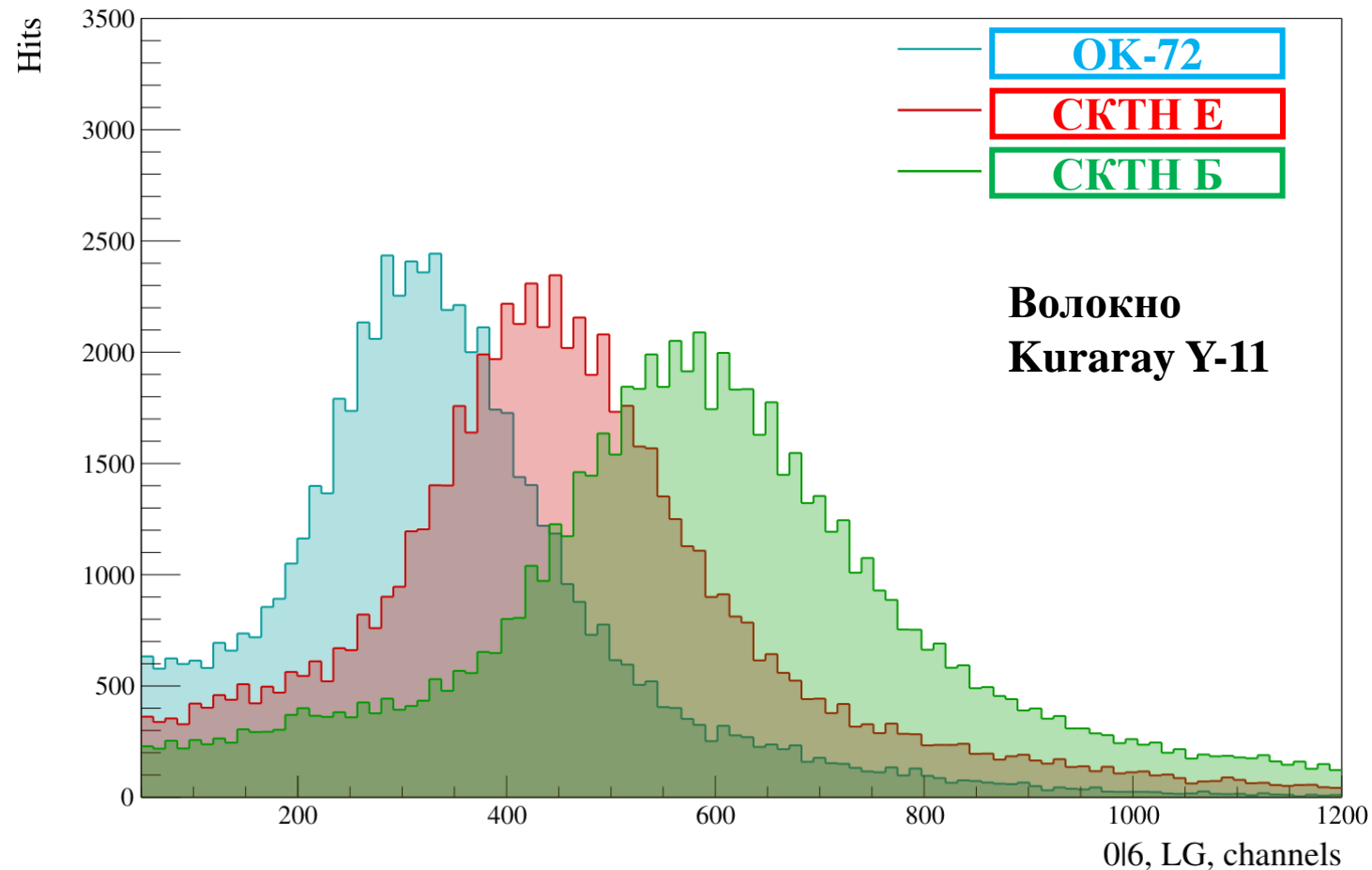


Оптические клеи - СКТН Б, Е, ОК-72:

- 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 пропускает примерно такое же количество света, 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

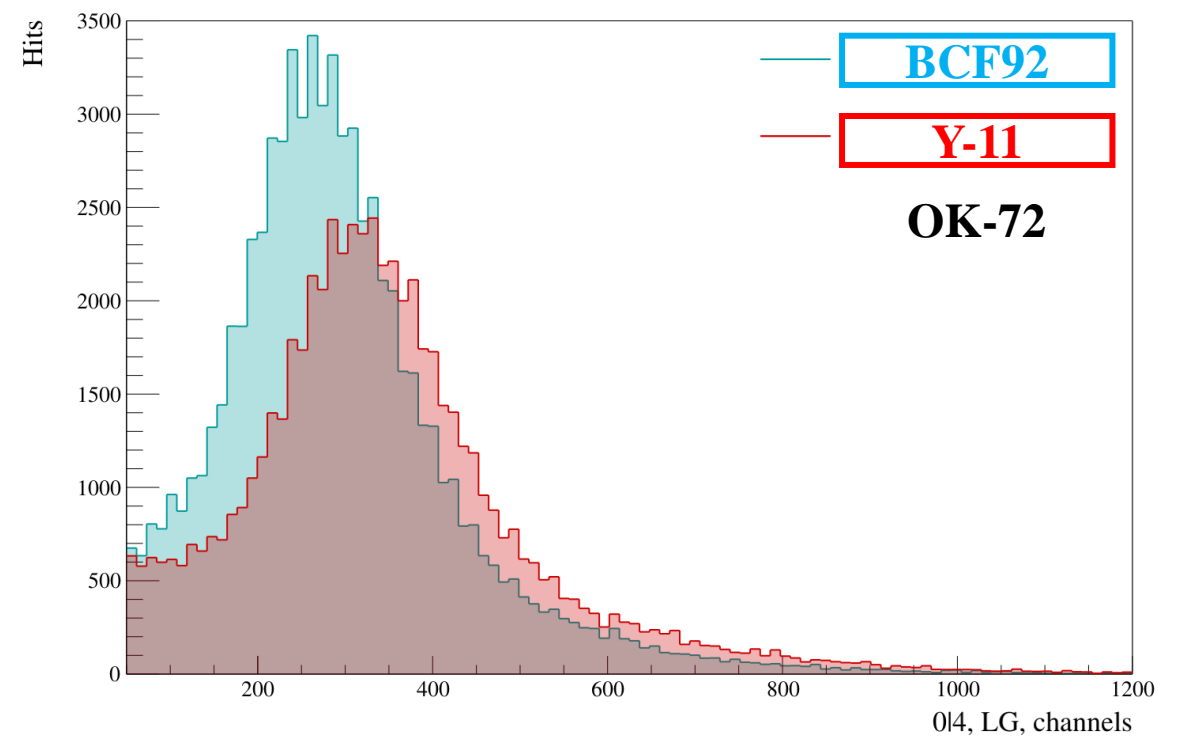
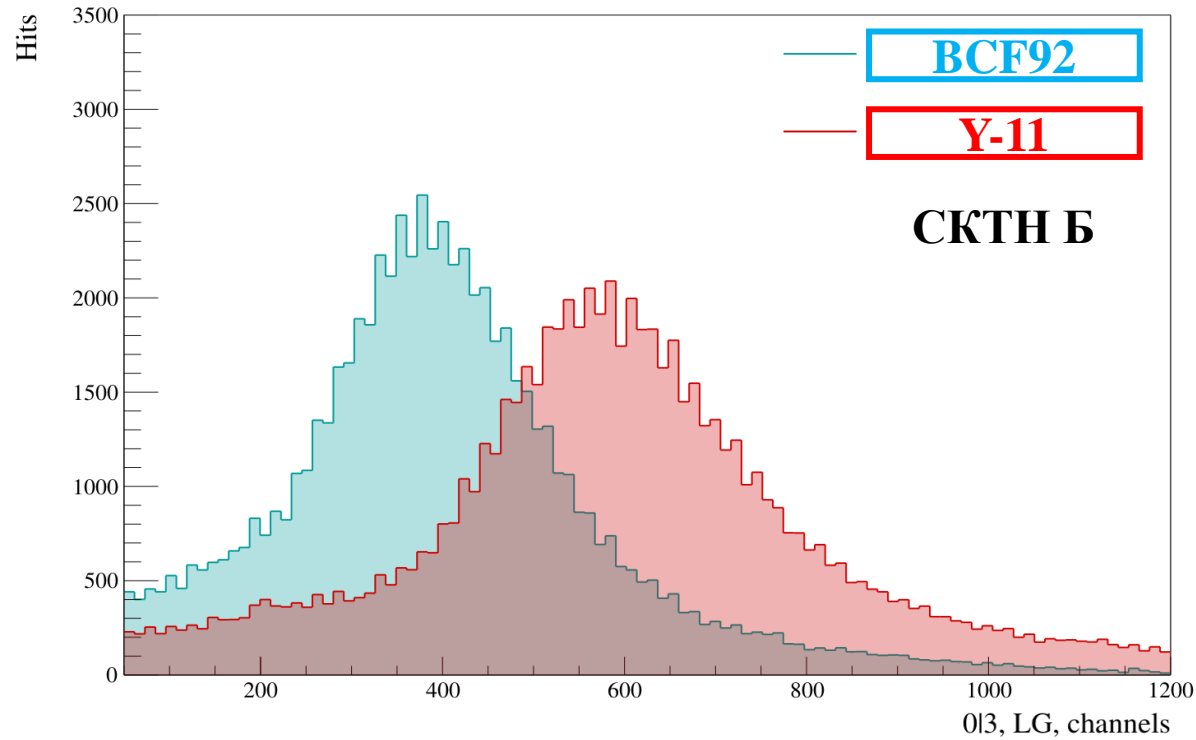
Выбор материалов: оптический клей



- 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 пропускает 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

Выбор материалов: WLS волокно

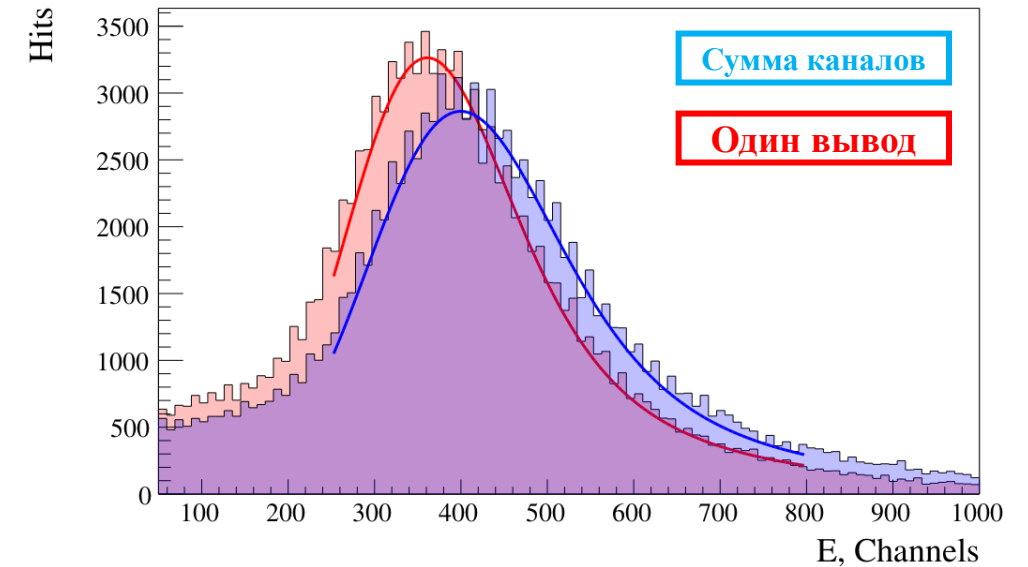
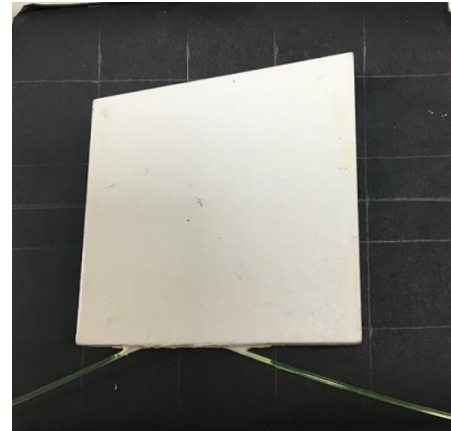
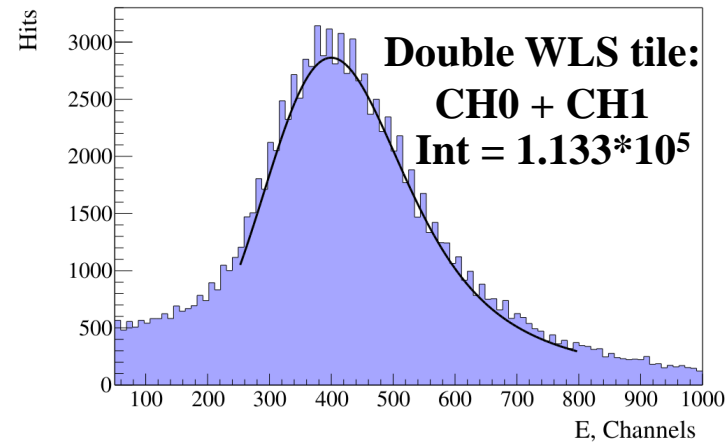
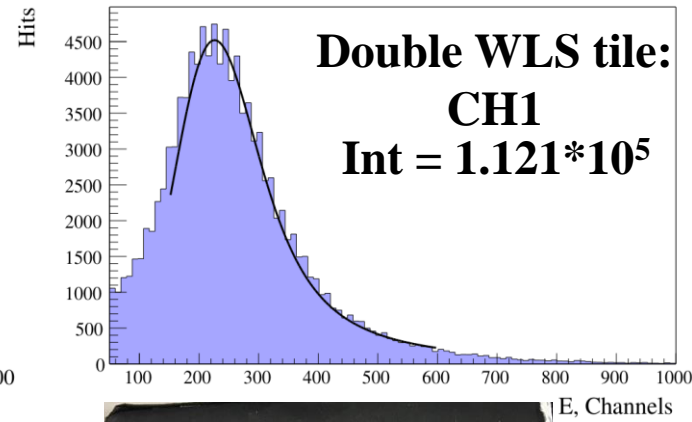
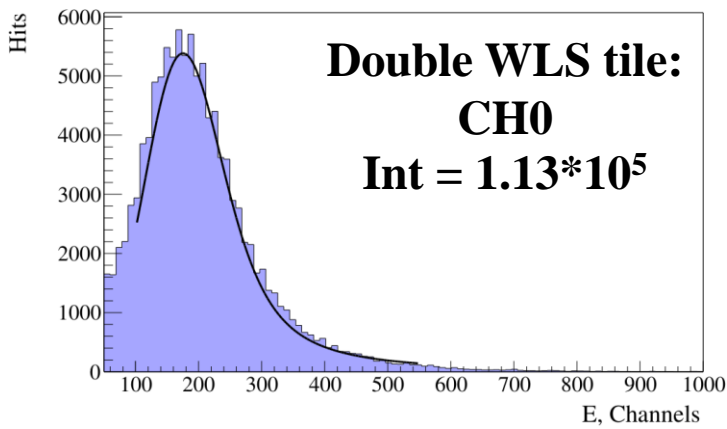


Параметры фита	BCF92	Y-11
Среднее, каналы	378.4	569.1
Ширина, каналы	265.4	324.9

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: эффективность сбора фотонов

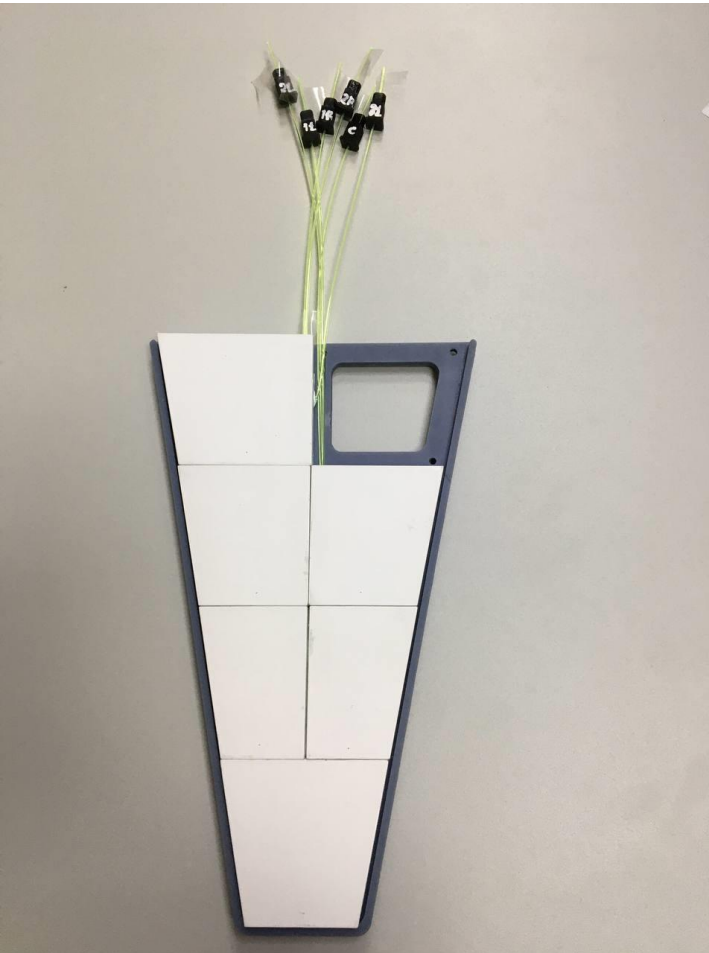


Параметры фита	Тайл с одним выводом волокна	Сумма сигналов двух выводов волокна
Среднее, каналы	360.9	399.8
Ширина, каналы	243.2	277.4

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

Подготовка к тестам на пучке



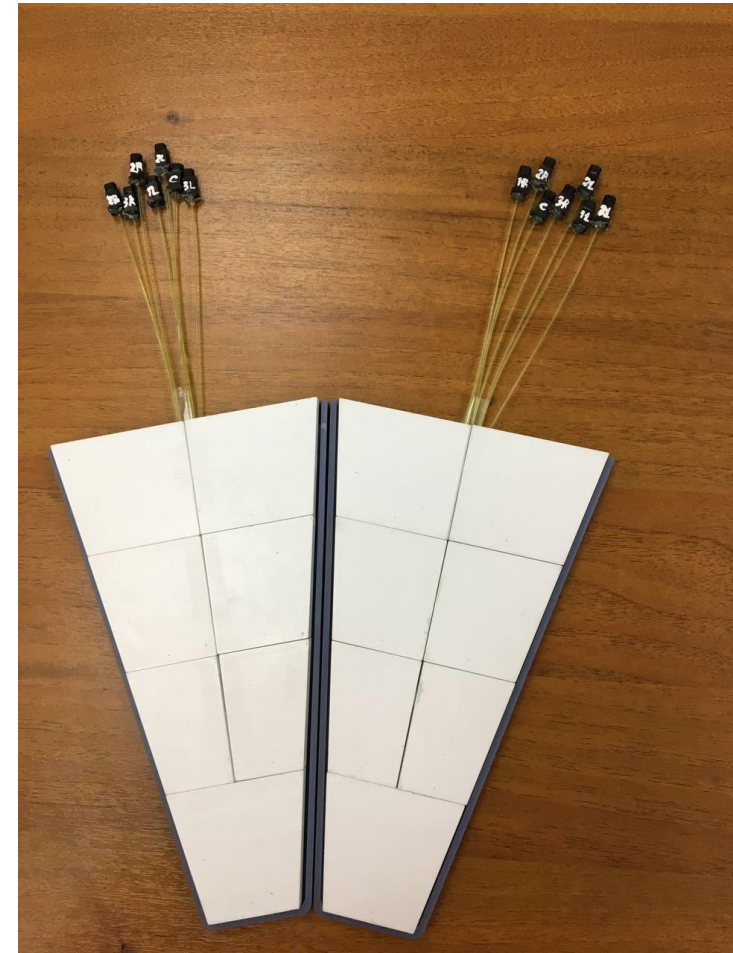
На текущий момент этап выбора материалов близится к логическому завершению, проводятся предварительные тесты для сборки колеса из семитайловых прототипов.

Для подобной сборки используются специальные крепежи, распечатанные на 3D принтере, геометрически повторяющие один сектор.

В нем присутствуют специальные отверстия для монтирования каждого тайла к сектору при помощи пластиковых винтов.

Вдоль оси сектора присутствует специальное углубление (канавка), внутрь которой укладываются волокна низ лежащих тайлов.

На данный момент изготовлено два семитайловых сектора, тайлы которых выполнены с использованием матированного покрытия, оптического клея СКТН Б и волокна SG BCF92.



Заключение

Выбор материалов для прототипа сцинтилляционного детектора локальной поляриметрии SPD BBC практически завершен:

- Сравнение различных покрытий сцинтиллятора привело нас к использованию химического матирования – тайл с матированным покрытием собирает больше света, нежели его аналог (от 6% и до 14%), а также является удобным с точки зрения массового производства
- Сравнение 1x1 и 3x3 мм² SiPM показало достаточно похожий 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
- Проведены работы по подготовке к тестам с колесом из семитайловых секторов, результаты по работе с двумя секторами ожидаются в ближайшем будущем

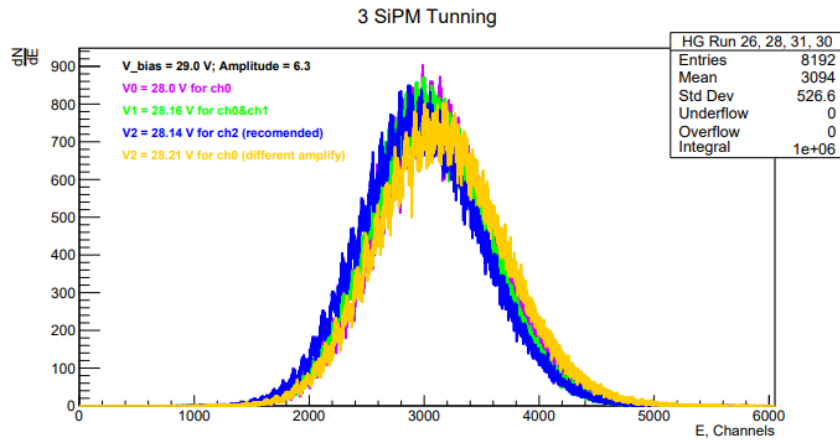
В ближайшей перспективе:

- Стабилизация температуры SiPM, либо же учет температурных колебаний;
- Калибровка FERS-5200;
- Бестриггерная мода.

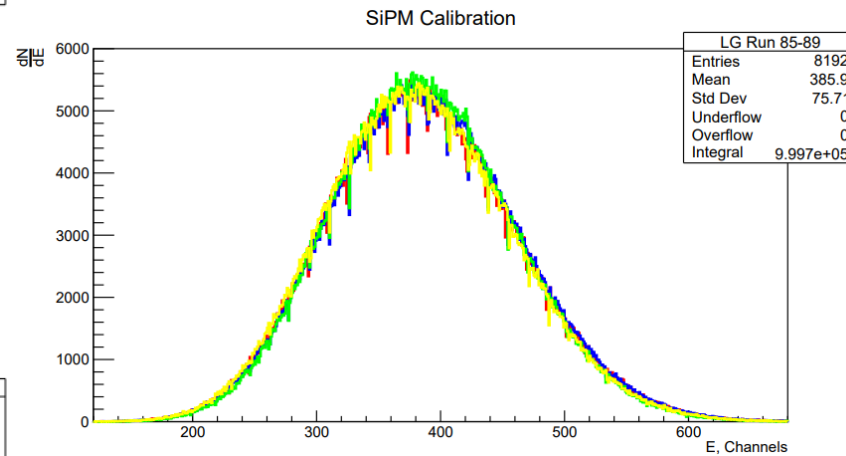
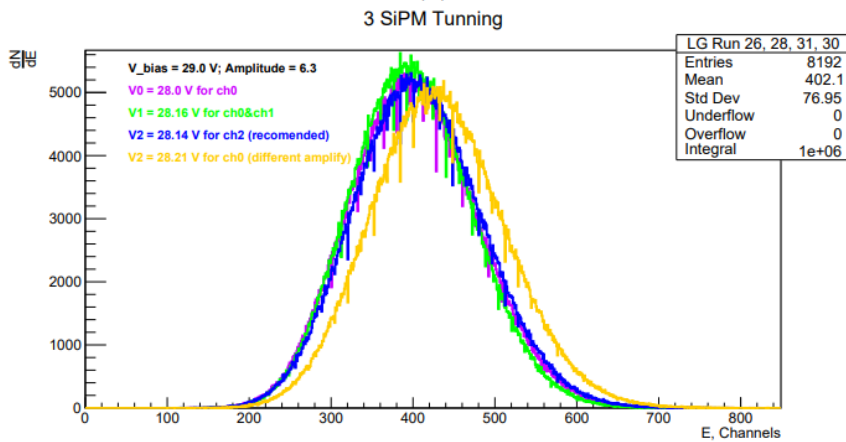
Спасибо за внимание!

BACK UP

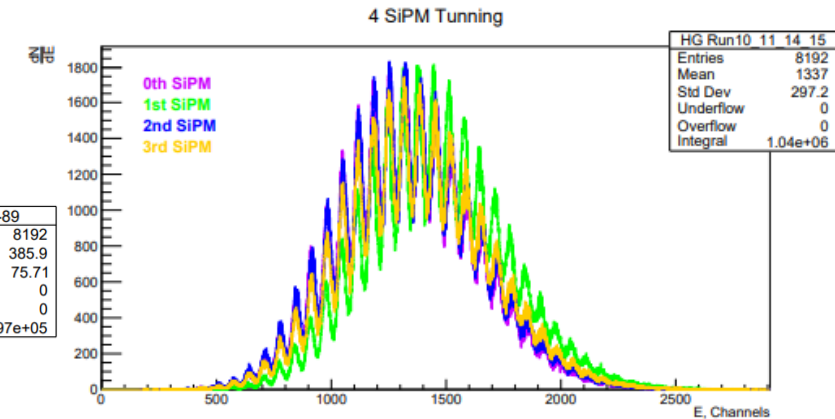
SiPM Calibration



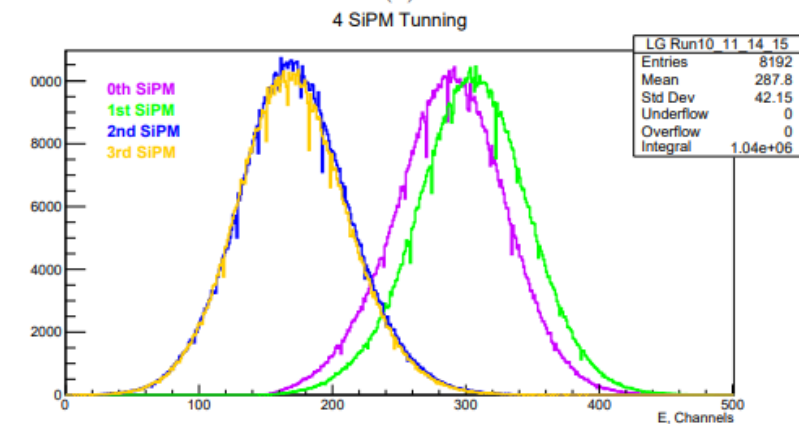
(a)



CAEN Fix channel amplify difference



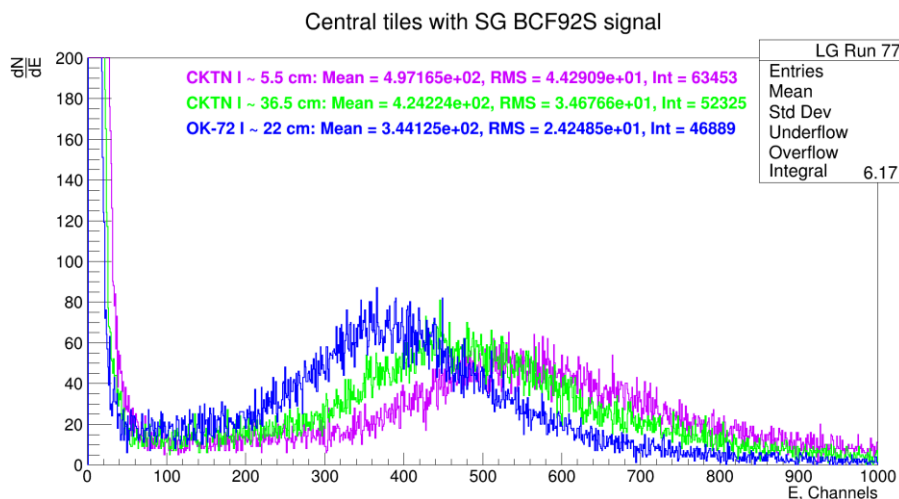
(a)



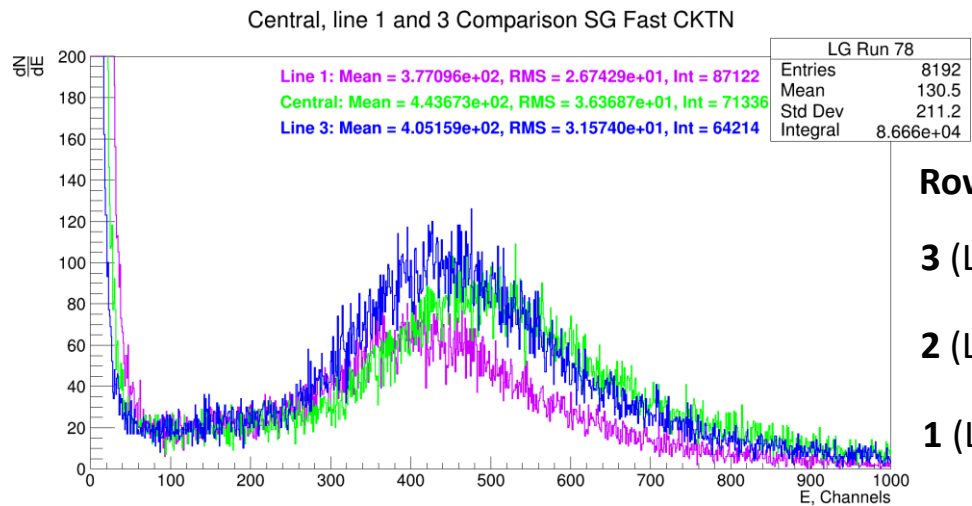
Using beta-source

Led Driver CAEN SP5601

Дополнительно: разные длины волокон и геометрия



a)



b)

а) Сигнал от центральных тайлов с различной длиной волокна и клею, б) Сравнение ряда 1, 3 и центральных тайлов с СКТН и BCF92S

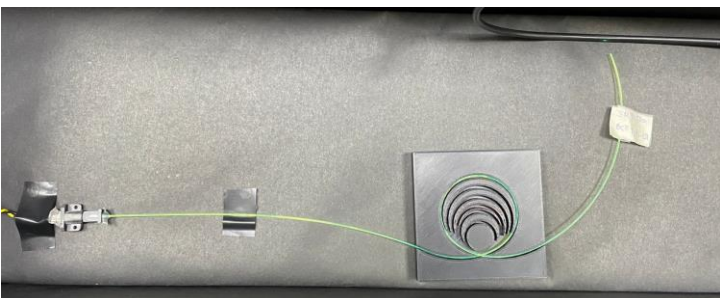
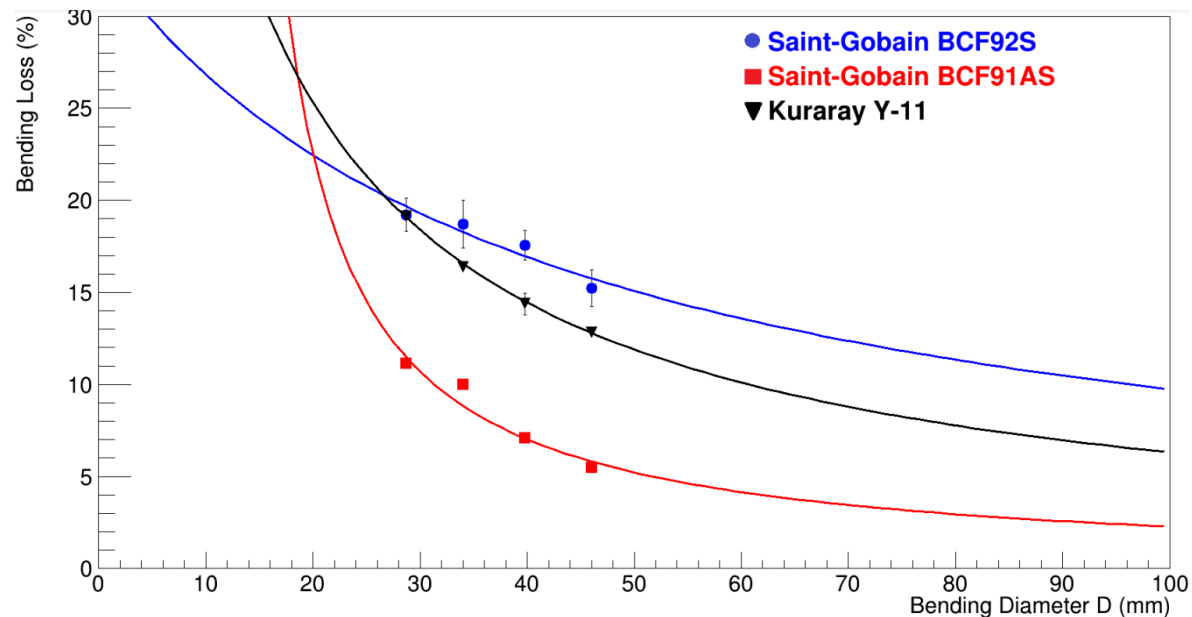
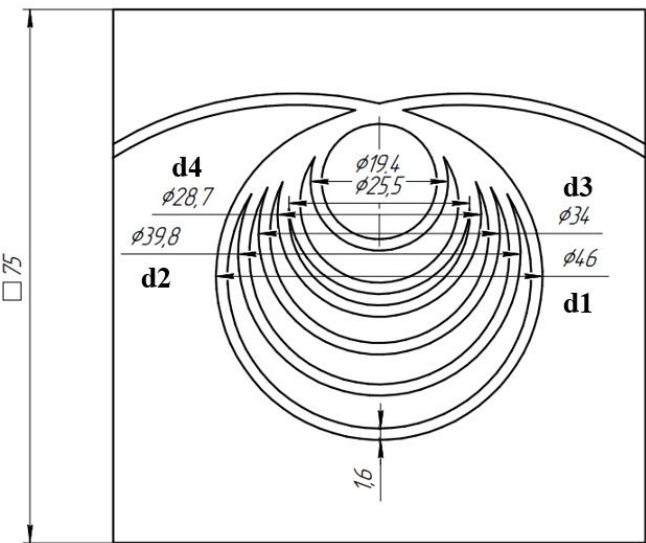
Row
3 (L;R)
2 (L;R)
1 (L;R)
central



Study	Central tiles fiber length comparison			Line 1, central and line 3 geometries comparison		
	CKTN L ≈ 5.5 cm	CKTN L ≈ 36.5 cm	OK-72 L ≈ 22.0 cm	Line 1	Central	Line 3
Mean, Channels	497.2	424.2	344.1	377.1	443.7	405.2
Width, Channels	44.3	34.7	24.2	26.7	36.4	31.6

Экспериментально наблюдаем ослабление амплитуды сигнала с увеличением длины оптоволокна. Амплитудные спектры тайлов разной геометрии имеют разное положение пика. Необходимо провести исследование зависимости положения пика от искривления волокна внутри тайла

Дополнительно: разные длины волокон и геометрия



WLS Fiber	Difference in peak position between d1 and d4, %
SG BCF91A	6.0
SG BCF92	4.7
Kuraray Y-11	8.5

Исследование потерь на изгиб не соответствует экспериментальным данным из технического паспорта Kuraray в случае волокна Y-11, однако подтверждает существование зависимости и оценивает приблизительные потери при одном обороте волокна

Марка	Вязкость, сPs	Диапазон рабочих температур	Спектральные характеристики	Показатель преломления
EJ-500	800	От -65 до +105 °С	60-95% 300-350 нм, 95-100% 350-600 нм	1.574
ЕРО-ТЕК 301-2	225 - 425	Комнатная температура - +65 °С	94% 320 нм, 99% 400-1200 нм, 98% 1200-1600 нм	1.5318 589 нм
СКТН МЕД Марки Е	15 · 10 ³	—	92-96% 500 нм	1.606
ОК-72	—	От -60 до +60 °С	99% 400-2700 нм	1.587

Волокно	Цвет эмиссии	Пик высвечивания, нм	Время высвечивания, нс	Длина затухания, м
Kuraray Y-11	зеленый	476	7.4 [6]	>3.5
SG Crystals BCF91AS	зеленый	494	12	>3.5
SG Crystals BCF92S	зеленый	492	2.7	>3.5