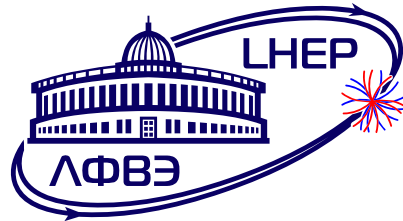


REPORT

---

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

---



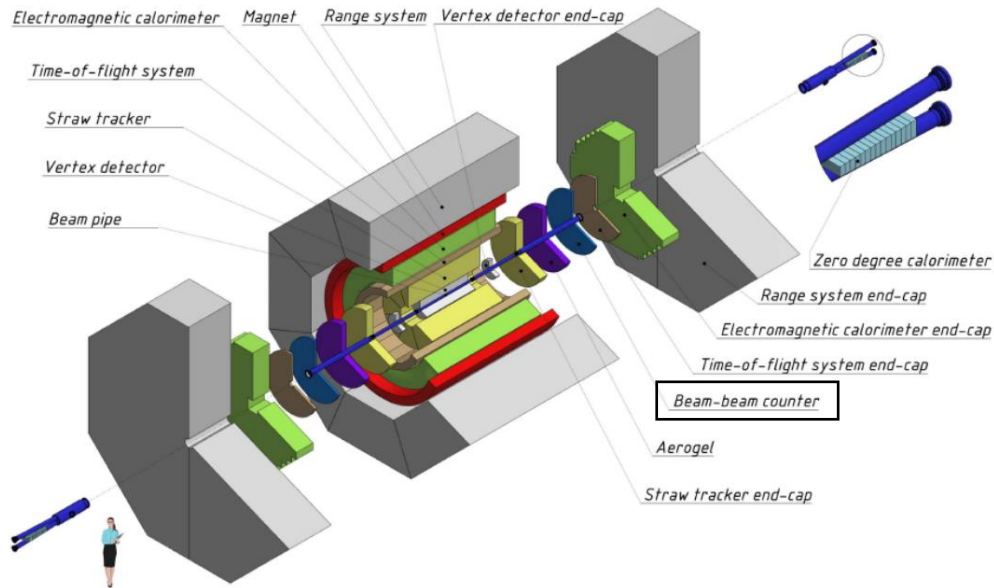
Научный руководитель:  
Тетерин П. Е.

Студент М22-115  
Захаров А. М.  
ИЯФиТ

г. Москва, 2024

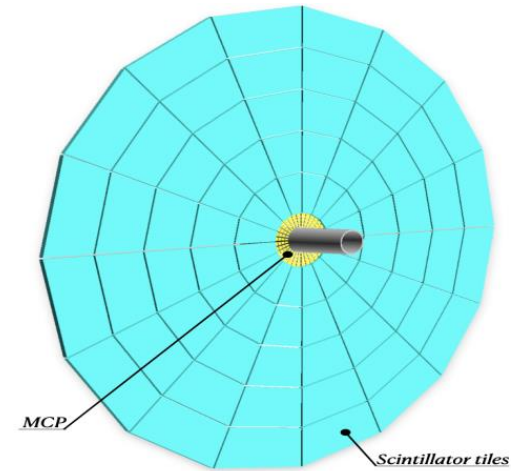
# Экспериментальная установка

- **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

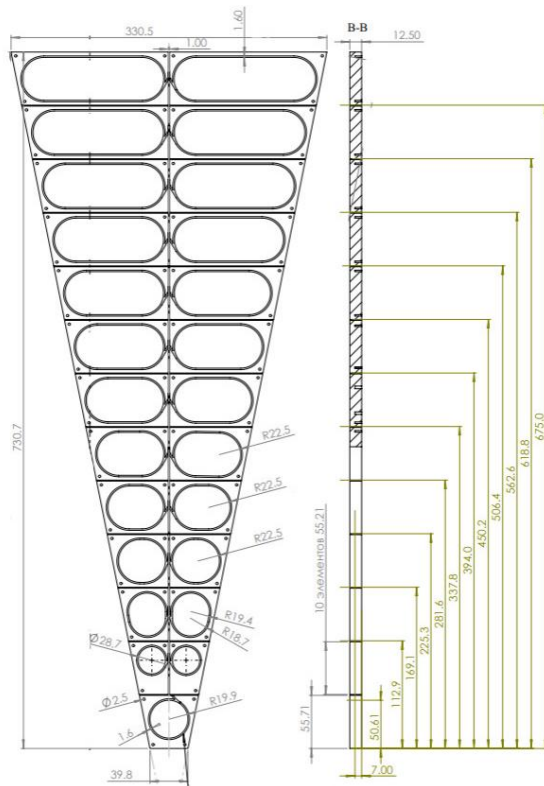
- Два торцевых детекторных колеса сцинтилляционных счетчиков **Beam-Beam Counters (BBCs)** планируется установить перед TOF системой установки SPD симметрично относительно точки взаимодействия.
- Детектор будет состоять из внутренней и внешней частей: внутренние MCP и внешняя часть из быстрых сцинтилляционных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



Основными задачами Beam-Beam Counters являются:

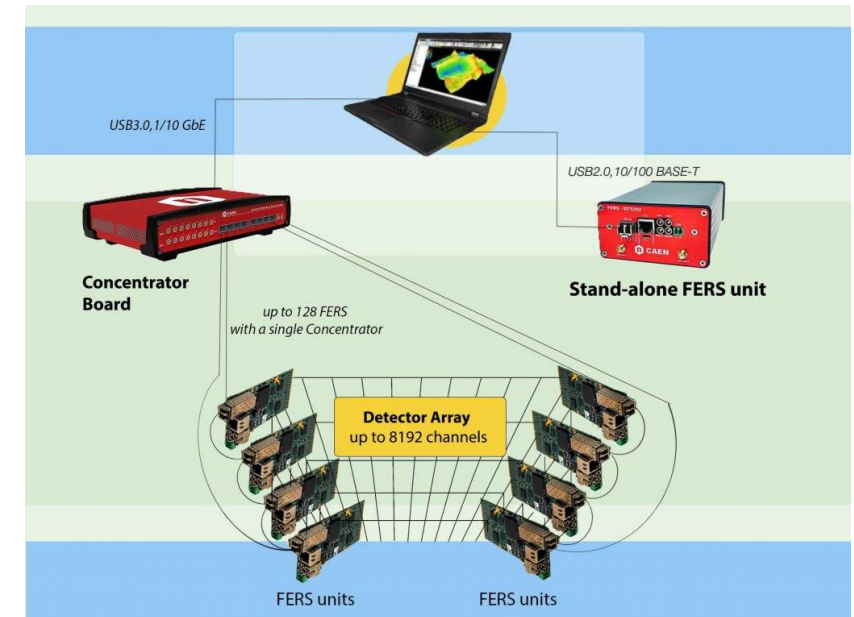
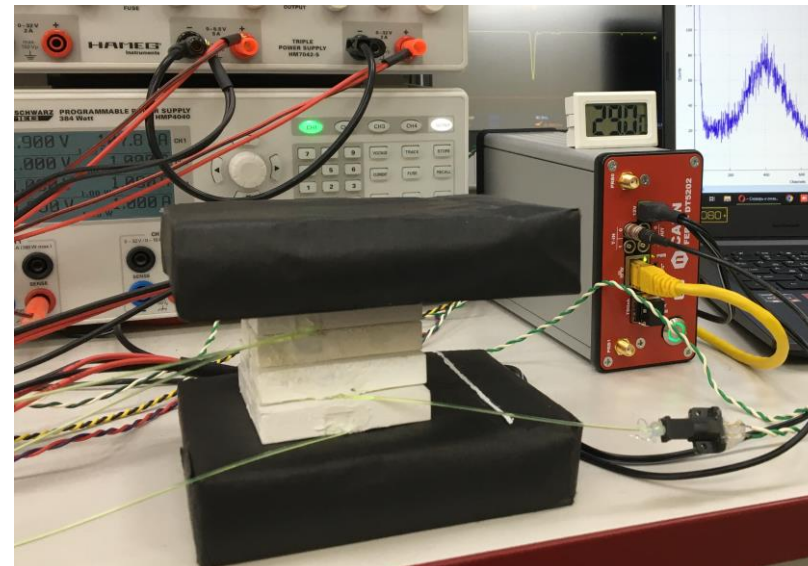
- **Локальная поляриметрия** в SPD, основанная на измерениях азимутальных асимметрий поляризованных протонных пучков;
- Мониторинг столкновений пучков;

# Экспериментальная установка

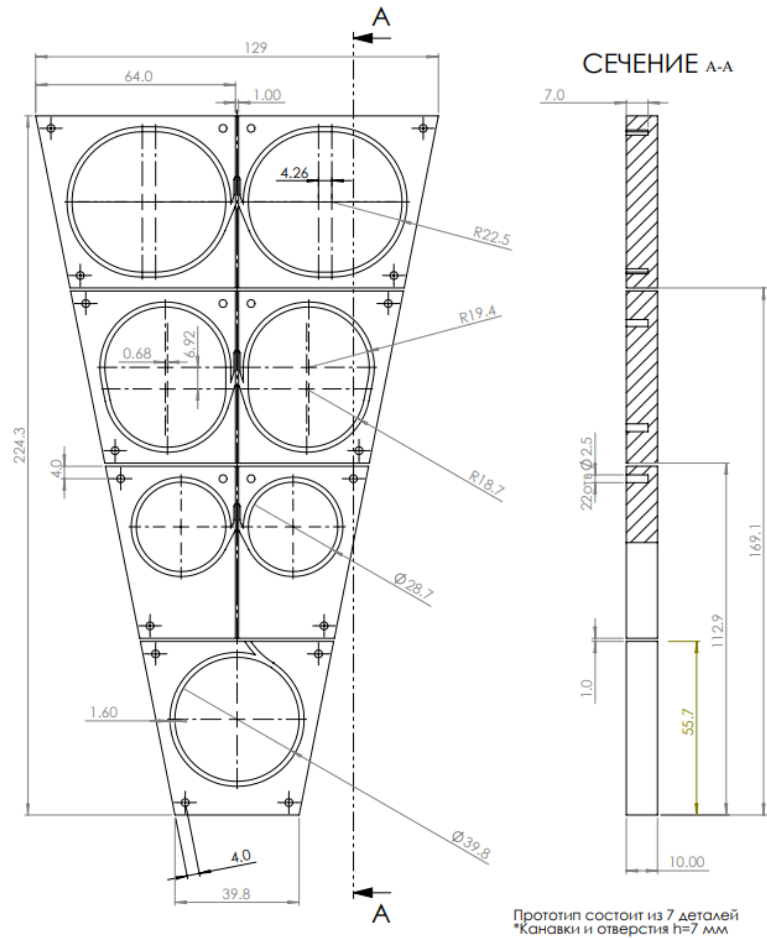


- SPD BBC будет состоять из **16 секторов с 25 тайлами в каждом секторе** в одном колесе. Каждый тайл представляет собой отдельный источник сигнала, считывающийся с помощью кремниевого фотоумножителя (SiPM), подключенного к оптоволокну WLS.
- Количество каналов считывания наводит нас на использование FEE системы считывания **CAEN FERS-5200**, разработанной специально для больших массивов детекторов.
- Каждая плата вмещает 64 канала и включает в себя FEE электронику, АЦП, триггерную логику, синхронизацию, локальную память и интерфейс считывания.

- Для исследований на **космическом излучении** используется внешняя триггерная система, основанную на двух сцинтилляторах  $10 \times 10$  см<sup>2</sup> со считывающими PMT Hamamatsu H10720-110 и временным разрешением  $\sim 650$  пс.
- Концентратор DT5215 используется для возможности расширения количества каналов до 8192

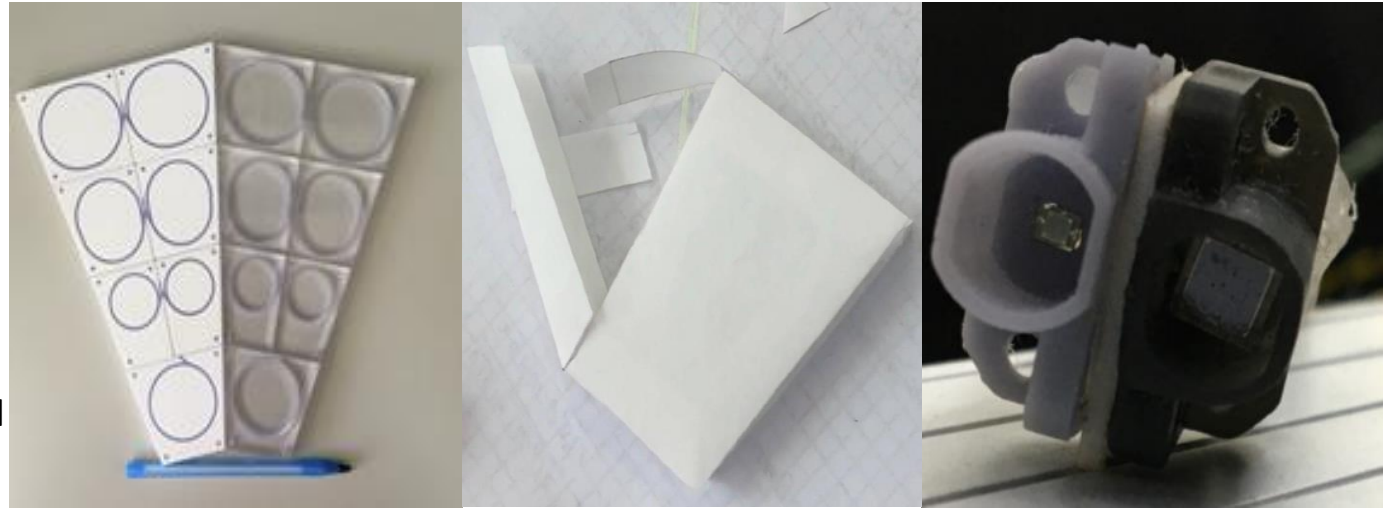


# Выбор материала: общее



Геометрия семи тайлового прототипа, используемого в данной работе

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



**Выбор материалов** и тестирование различных композиций для прототипа сцинтилляционного детектора включает сравнения:

Покрытие сцинтиллятора:

Матированный VS покрытый Tyvek

Оптический клей:

СКТН МЕД VS ОК-72

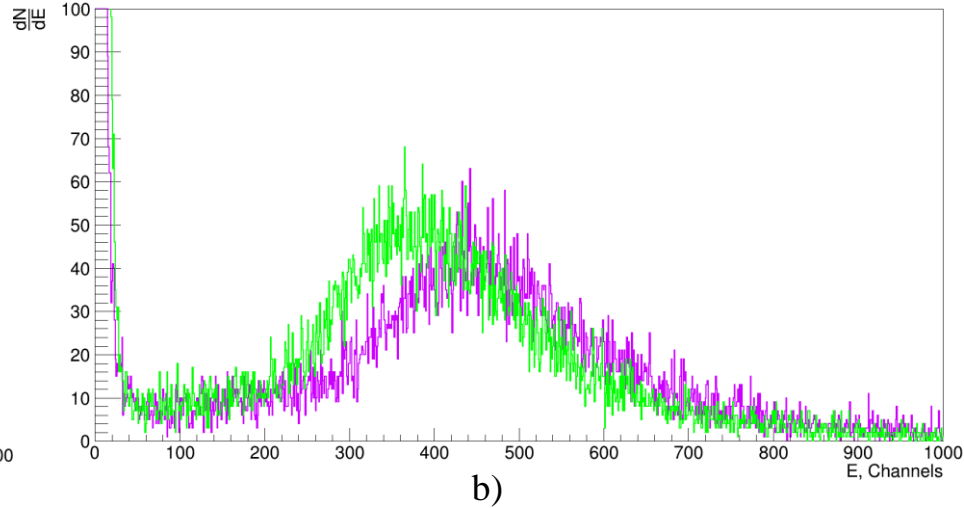
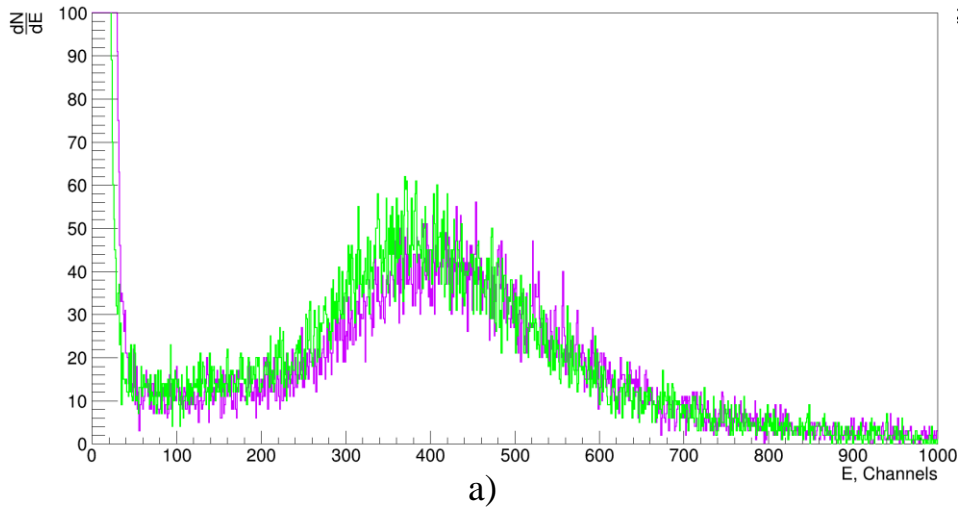
Оптоволокно:

Saint-Gobain Crystals VS Kuraray

SiPMs:

3x3 VS 1x1 mm<sup>2</sup>

# Выбор материала: матированный VS Tyvek

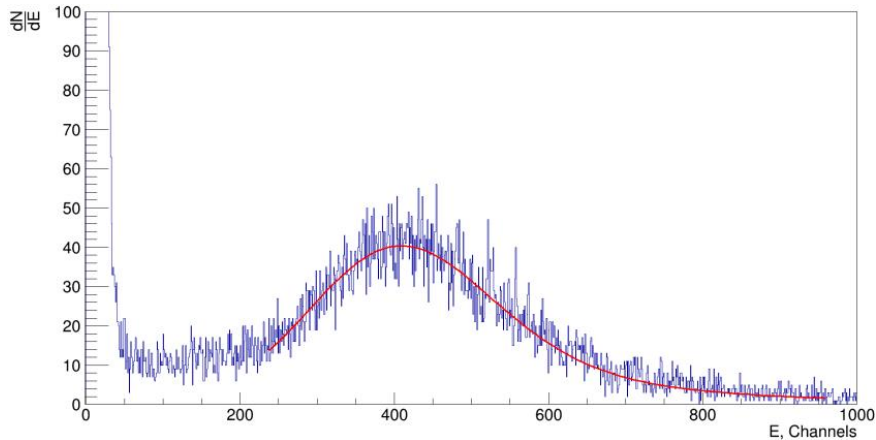


Row  
3 (L;R)  
2 (L;R)  
1 (L;R)  
central



Сравнение матированных (фиолетовый) и покрытых Tyvek (зеленый) тайлов для а) ряда 1 б) ряда 3

3x3 SensL SiPM

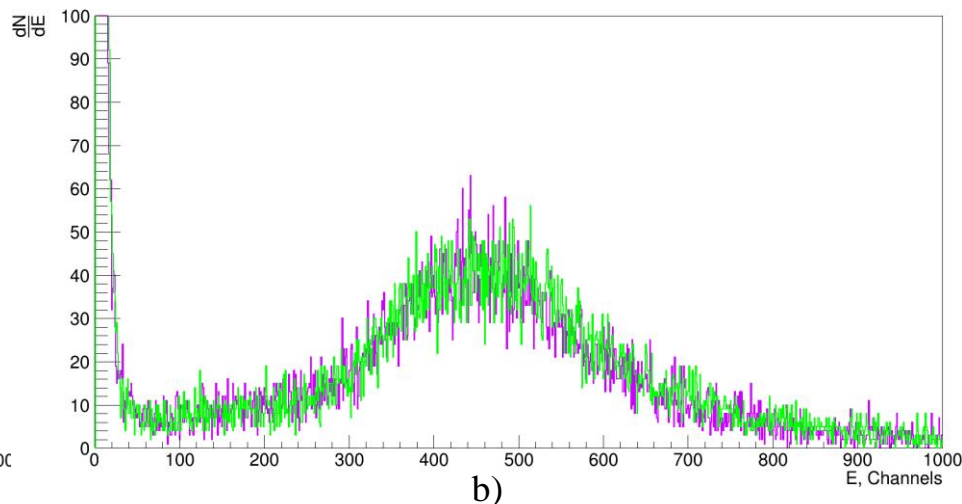
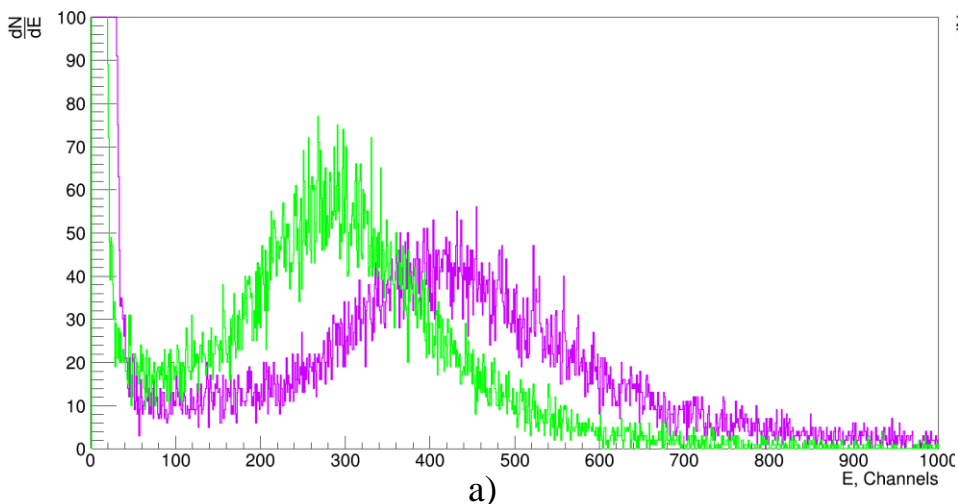


Пример использования конволюции функций Гаусса и Ландау в качестве фитирующей

Fit Param-s	Row 1 Matted	Row 1 Tyvek	Row 3 Matted	Row 3 Tyvek
Mean, Channels	372.9	346.7	406.9	348.3
Width, Channels	28.5	30.0	30.3	27.5

**Из-за более высокого значения положения пика (разница в положениях от 7% и до 15%), а также сравнительной простоты в условиях массового производства матированных тайлов по сравнению с Tyvek покрытием, вариант с матированными тайлами является более предпочтительным**

# Выбор материала: СКТН МЕД Е VS ОК-72



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



3x3 SensL SiPM

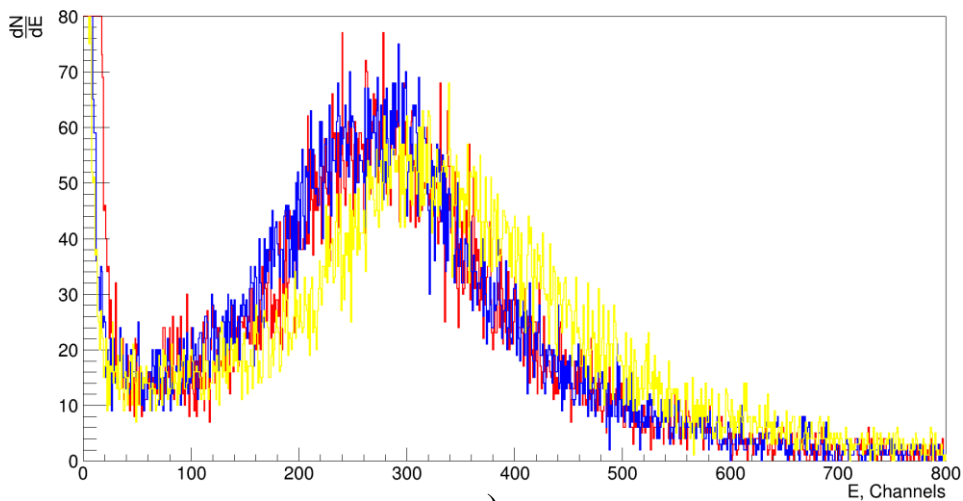
Сравнение оптических клеев СКТН (фиолетовый) и ОК-72 (зеленый) в тайлах ряда 1, 76.24/23.66 (а) и ряда 3, 70/30 в соотношении А и В (б)

Для исследования мы использовали матированные тайлы и различные составы компонентов А/В для клея ОК-72: 76.24/23.66 (datasheet) и 70/30. Что касается СКТН, то в обоих случаях и для всех сравнений мы использовали одинаковое соотношение 100/3.2 (datasheet).

Fit Param-s	Row 1 CKTN	Row 1 OK-72	Row 3 CKTN	Row 3 OK-72
Mean, Channels	372.9	254.4	406.9	412.3
Width, Channels	28.5	17.6	30.3	36.2

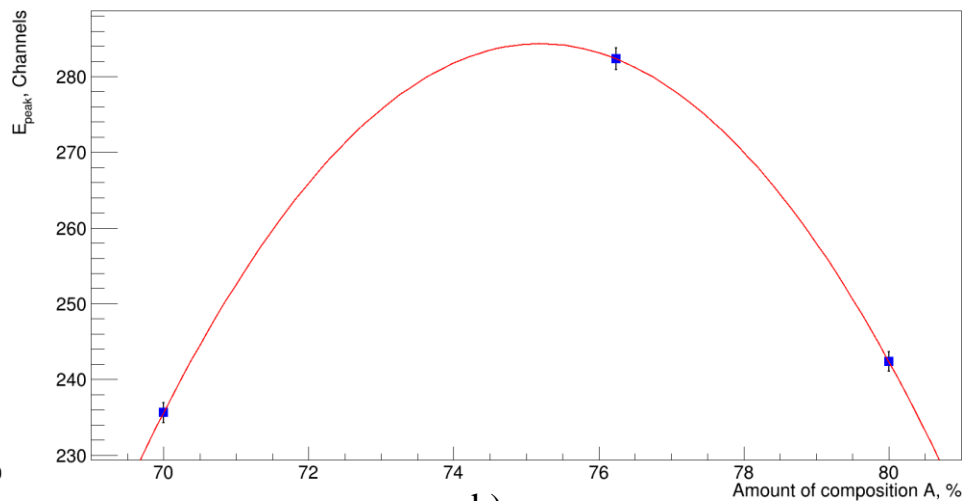
**Небольшое различие в соотношении составов клея может критически влиять на светосбор.  
Для подтверждения гипотезы испытали составы 70/30, 76.24/23.66 и 80/20 ОК-72**

# Выбор материала: СКТН МЕД Е VS ОК-72



a)

а) Сравнение составов ОК-72 А/В: 70/30 (синий), 76,24/23,66 (желтый) и 80/20 (красный);



b)

б) Зависимость средней амплитуды от процентного содержания компонента А

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



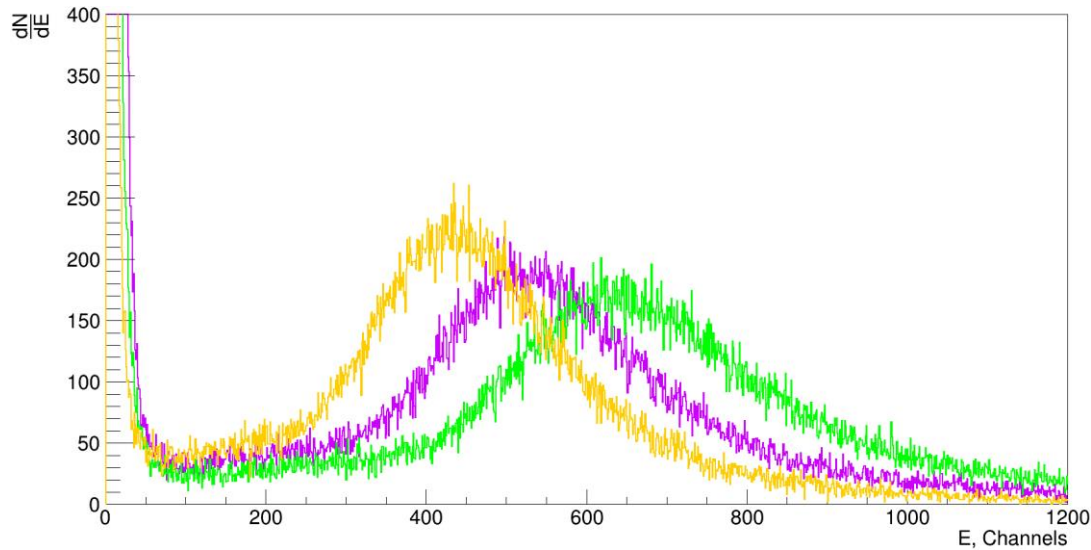
1x1 SensL SiPM

По результатам исследования стало ясно, что среди протестированных смесей ОК-72 наилучший результат показывает состав 76,24/23,66 (в соответствии с паспортными данными), однако соотношение компонентов не оказывает существенного влияния на светосбор.

Fit Param-s	70/30	76.24/23.66	80/20
Mean, Channels	237.8	284.4	242.7
Width, Channels	22.1	26.0	20.4

**Лучшее соотношение компонентов клея – 76.24/23.66 (datasheet)**  
**Выбор оптического клея требует более детального исследования в будущем**

# Выбор материала: сравнение WLS волокон



Сравнение BCF91AS (фиолетовый), BCF92S (желтый) и Y-11 (зеленый)

Fiber	Emission colour	Emission peak, nm	Decay time, ns	Att. Length, m
Kuraray Y-11	green	476	7.4 [4]	>3.5
SG Crystals BCF91AS	green	494	12	>3.5
SG Crystals BCF92S	green	492	2.7	>3.5

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



Мы сравнили волокна Saint-Gobain Crystals BCF91A, BCF92 и Kuraray Y-11. Все образцы были изготовлены с использованием СКТН МЕД. Исследование проводилось с тайлами третьего ряда.

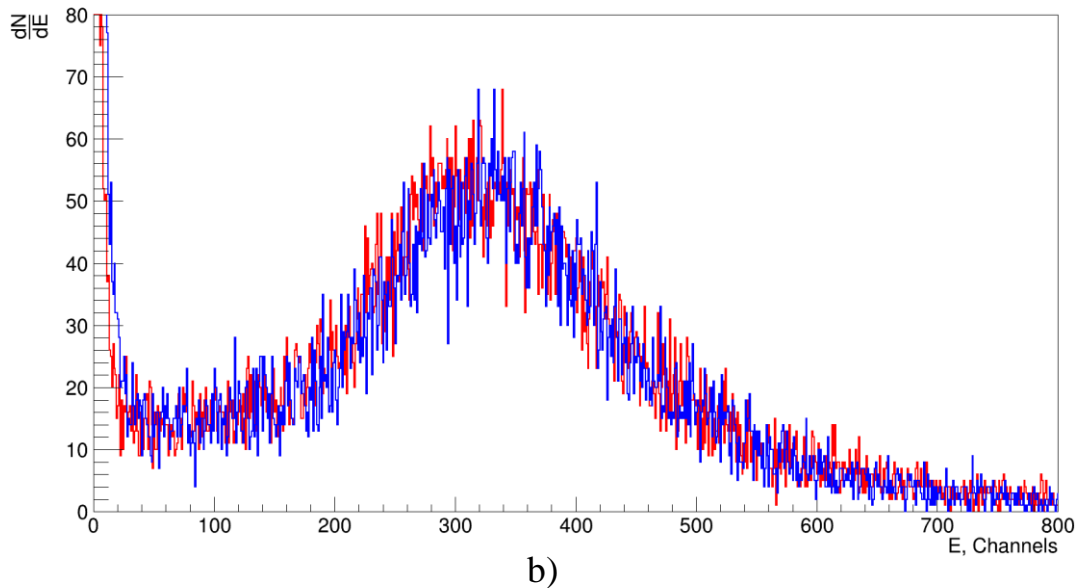
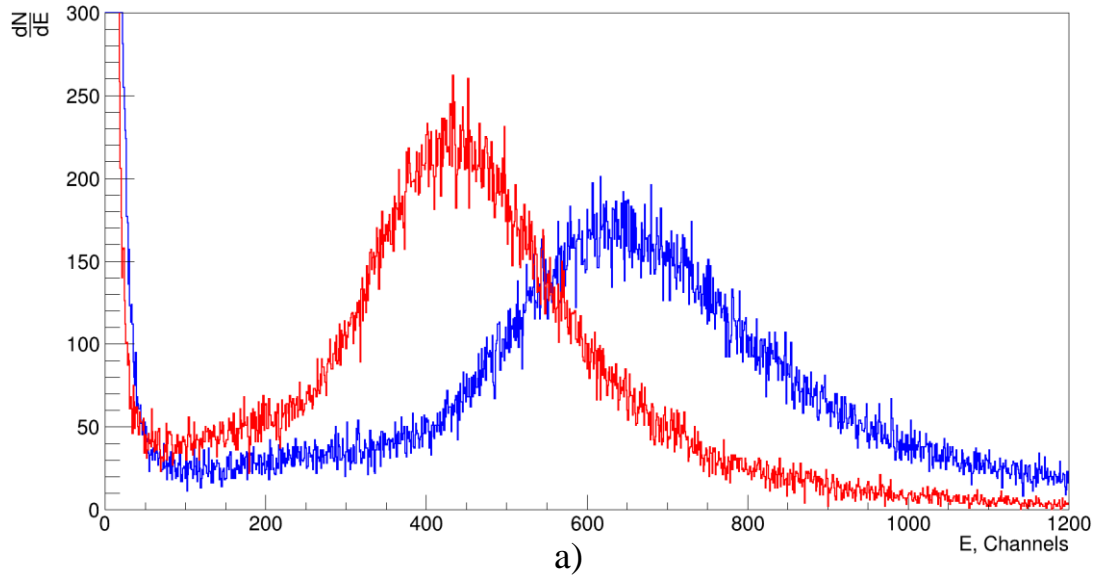
3x3 SensL SiPM

Fit Param-s	Saint-Gobain BCF92	Saint-Gobain BCF91A	Kuraray Y-11
Mean, Channels	402.3	481.9	596.3
Width, Channels	24.7	35.2	43.5

**Kuraray Y-11 собирает на  $\approx 33\%$  больше света, чем BCF92, и на  $\approx 19\%$  больше, чем BCF91A с использованием СКТН МЕД E**



# Выбор материала: сравнение WLS волокон



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



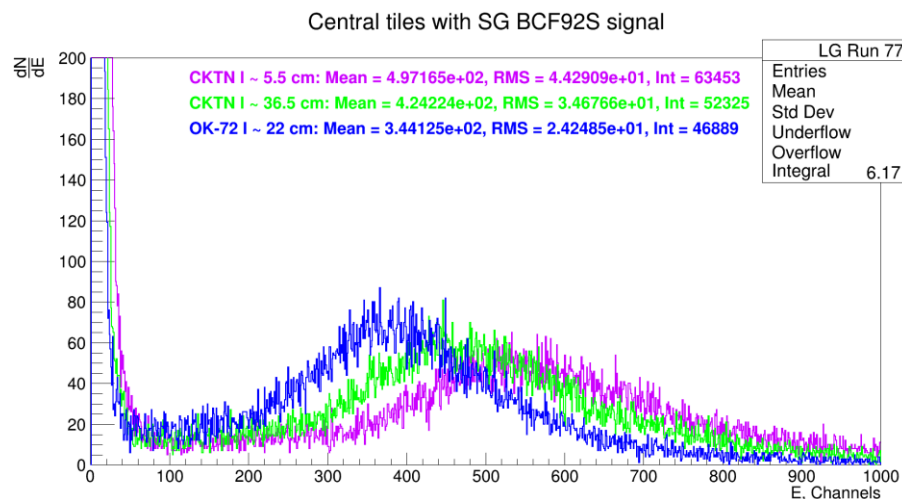
Мы сравнили волокна SG BCF92 (красным) и Kuraray Y-11 (синим) с использованием тайлов 2 и 3 ряда, а также:  
 а) СКТН МЕД марки E 100/3.2;  
 б) ОК-72 с составом 76.24/23.66 В.

1x1 SensL SiPM

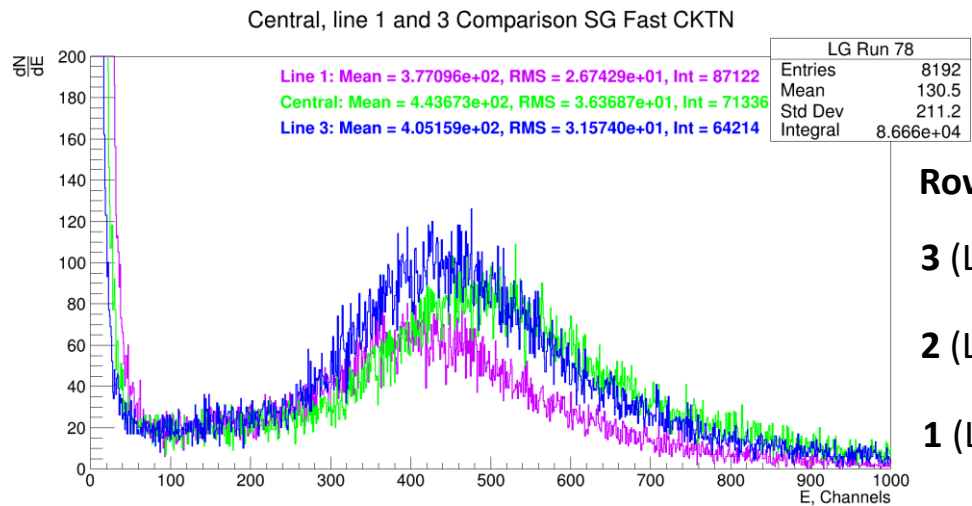
Fit Param-s	BCF92 СКТН R3	Y-11 СКТН R3	BCF92 ОК-72 R2	Y-11 ОК-72 R2
Mean, Channels	402.3	596.7	284.4	293.0
Width, Channels	24.7	43.7	26.0	23.0

**Так как волокно Kuraray Y-11 собирает больше света во всех исследуемых случаях, выбор Y-11 является наиболее целесообразным**

# Дополнительно: разные длины волокон и геометрия



a)



b)

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

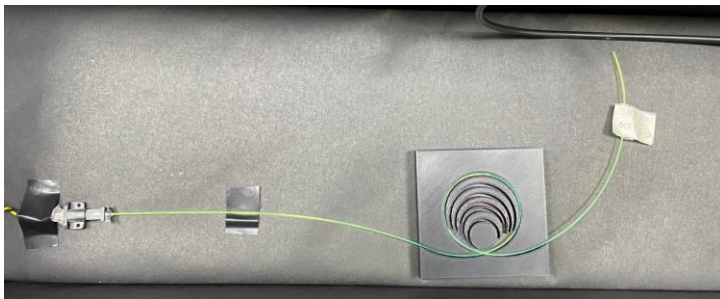
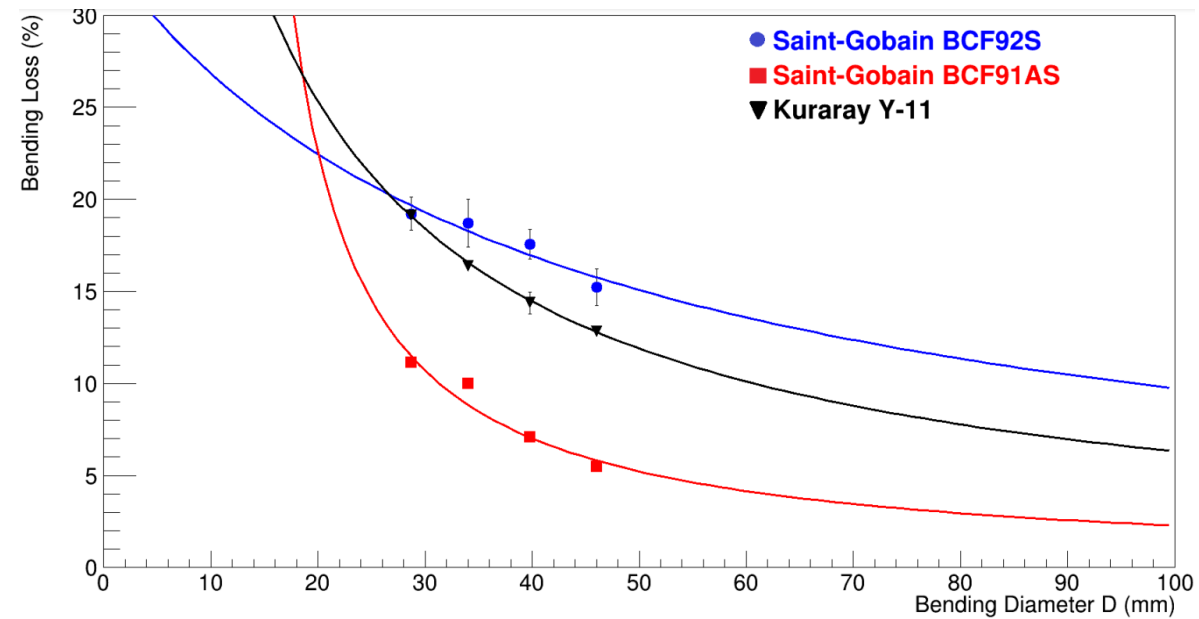
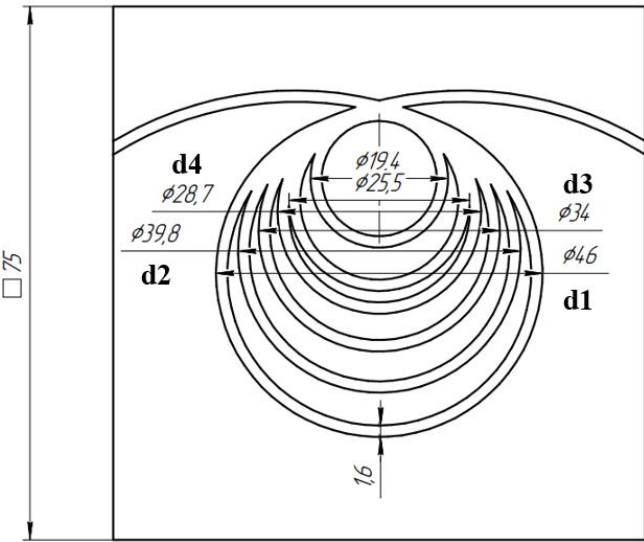
Row  
3 (L;R)  
2 (L;R)  
1 (L;R)  
central



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**

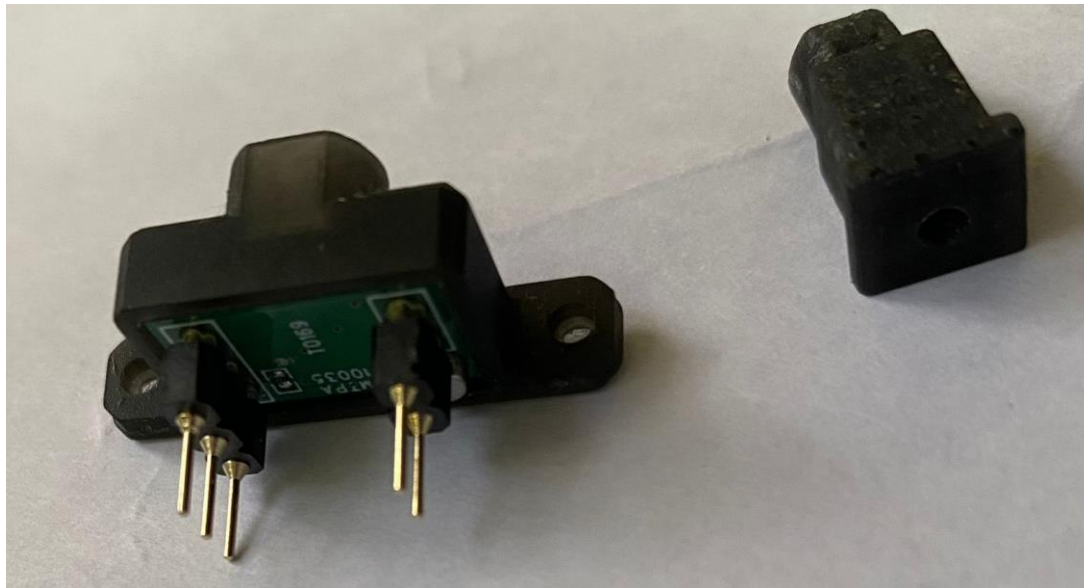
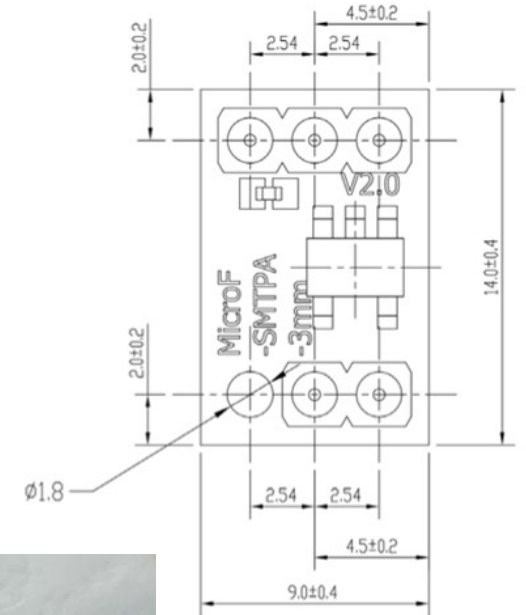
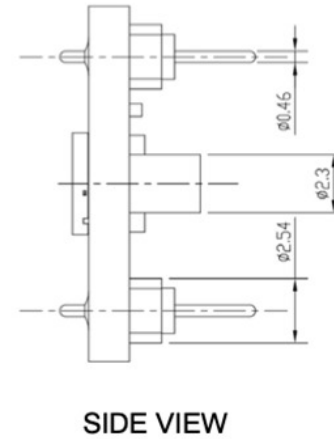
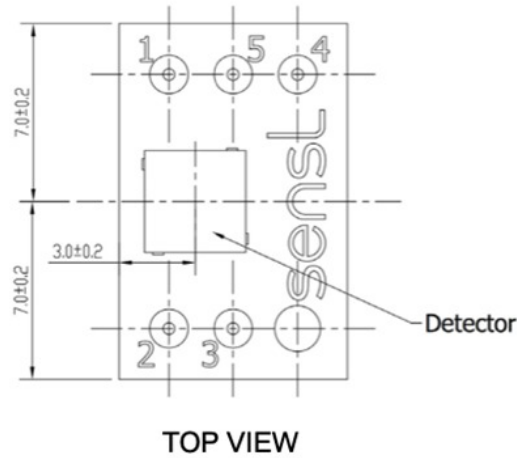
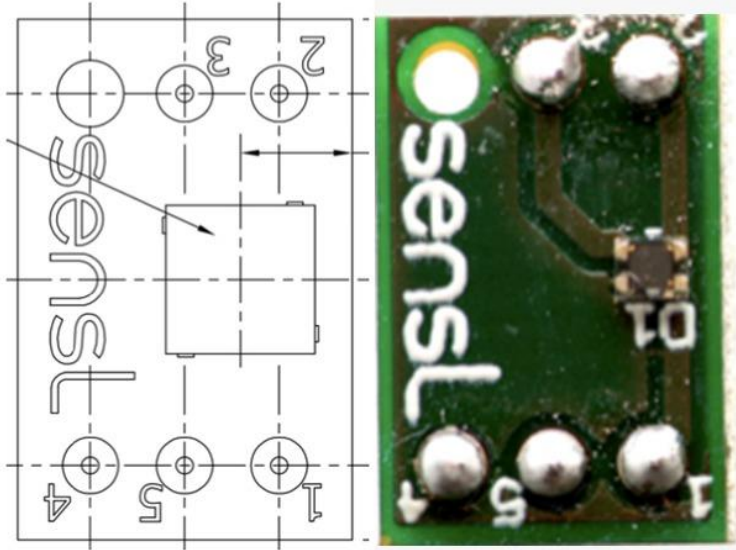
# Заключение

- В данной работе приводятся результаты **испытания прототипа** сцинтилляторного детектора и **выбор материалов** с помощью системы считывания CAEN FERS-5200
- Проведено сравнение тайлов с матовым покрытием и покрытием Tyvek. **Матированные тайлы** оказались более эффективны по обоим параметрам: количеству отраженного света и практичности в терминах массового производства
- Проведено сравнение оптических клеёв СКТН МЕД и ОК-72. Исследование влияния разных составов А/В на светосбор показало, что разница в соотношении А к В **слабо влияет** на светосбор, и доказало, что **соотношение 76.24/23.66**, указанное в техническом паспорте, **является наиболее эффективным.**
- Проведено сравнение WLS волокон SG BCF91A, BCF92 и Kuraray Y-11. **Оптоволокно Y-11** является более подходящими для наших целей во всех исследованиях, в том числе при использовании различных оптических клеев.
- Было проведено исследование потерь на изгибе волокна. Исследование не соответствует экспериментальным данным из технического паспорта Kuraray в случае волокна Y-11. Также экспериментально наблюдалось ослабление амплитуды сигнала в исследованиях тайлов с различной длиной волокна.
- XXV Baldin ISHEPP 18-23 Sep 2023: «Material selection of the SPD Beam-Beam Counter scintillation detector prototype», Author, paper is accepted for the contribution
- AYSS-2023 30 Oct – 3 Nov 2023: «Tile detector configurations testing for the SPD Beam-Beam Counter prototype», Author, paper is accepted for the contribution
- AYSS-2023 30 Oct – 3 Nov 2023: «The SPD Beam-Beam Counter scintillation detector prototype tests with FERS-5200 Front-End readout system», Co-author, paper is accepted for the contribution
- XIX Workshop on HESP, DSPIN-23: «Development of the SPD Beam-Beam Counter scintillation detector prototype with FERS 5200 front-end readout system», Co-author

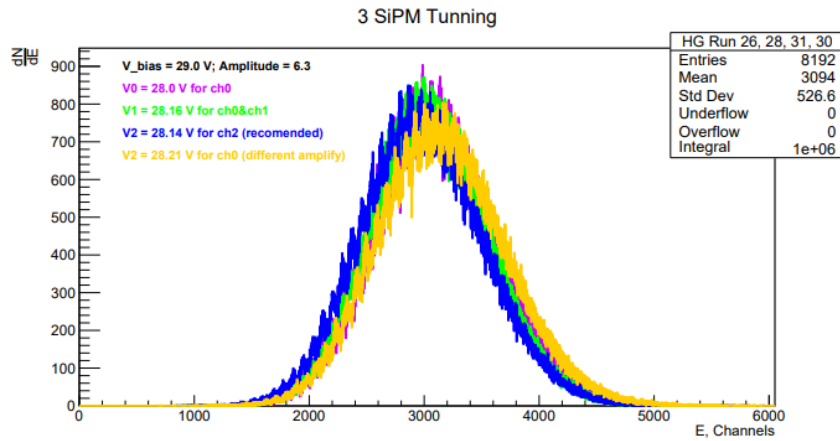
**Спасибо за внимание!**

**BACK UP**

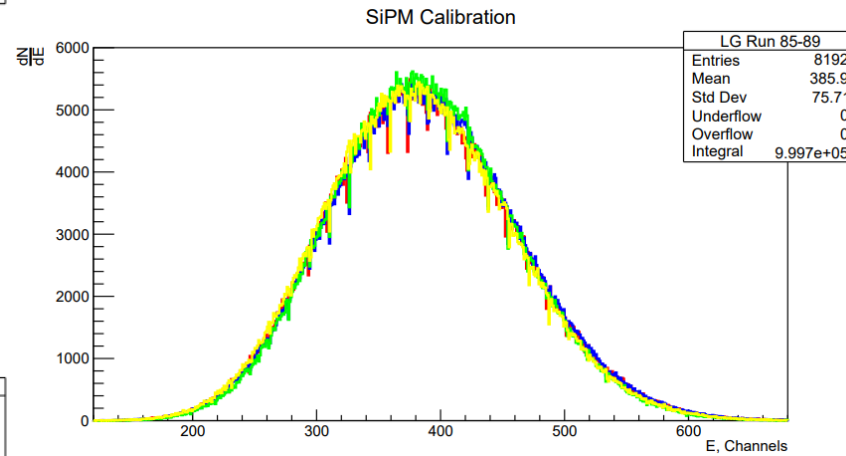
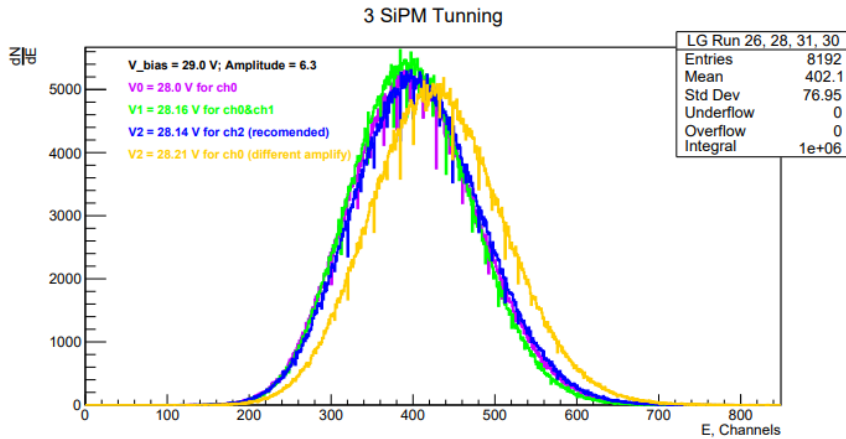
# SensL 1x1 SiPM with factory pin adapter and mounted in connector



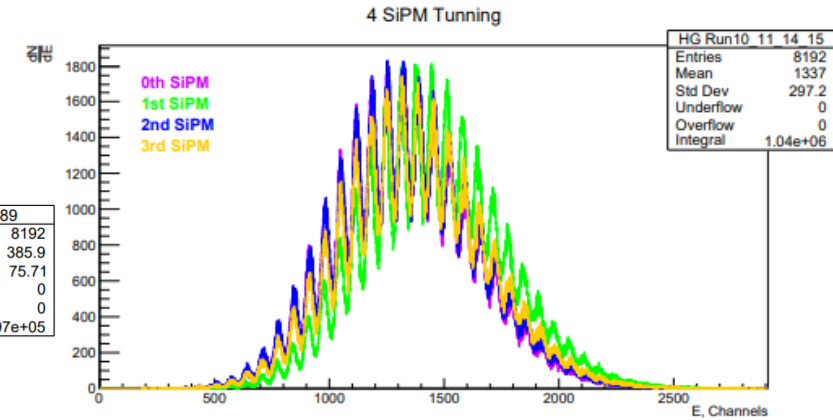
# SiPM Calibration



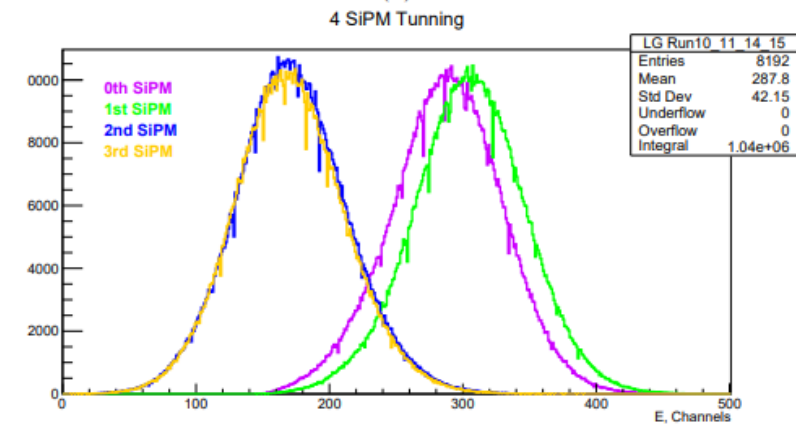
(a)



CAEN Fix channel amplify difference



(a)



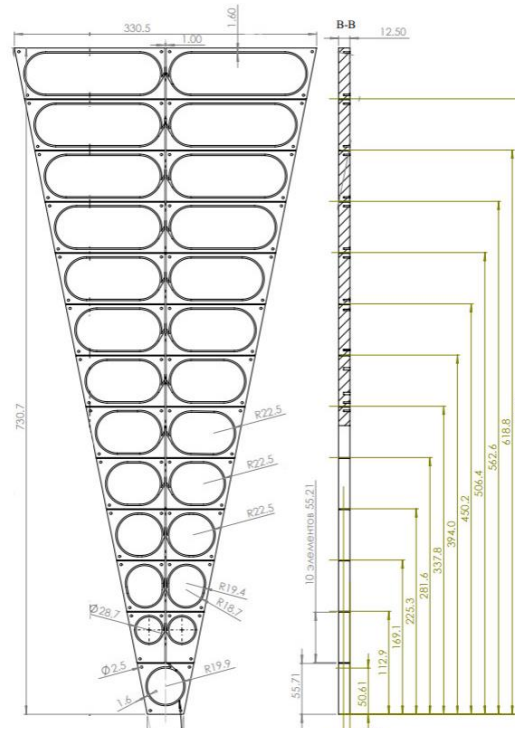
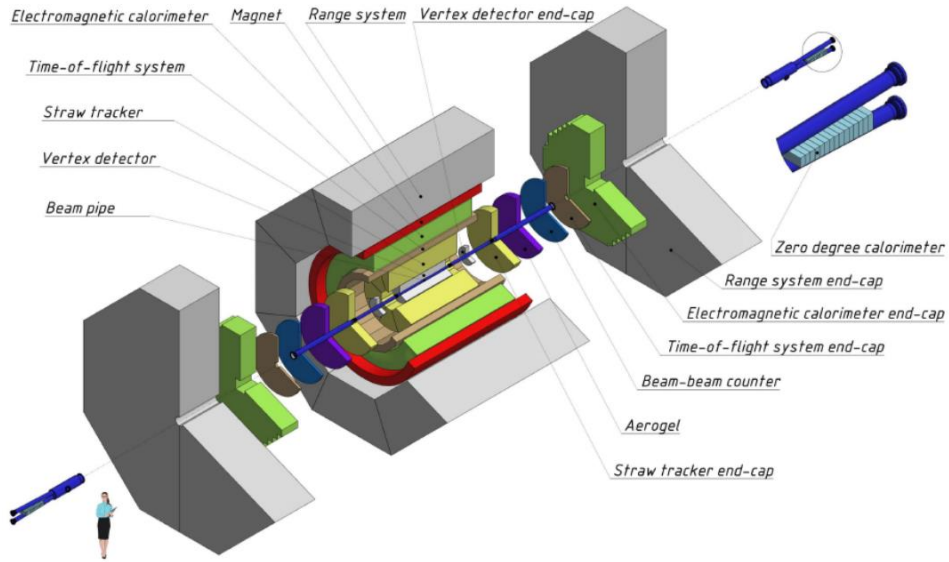
Using beta-source

Led Driver CAEN SP5601



# Experiment setup

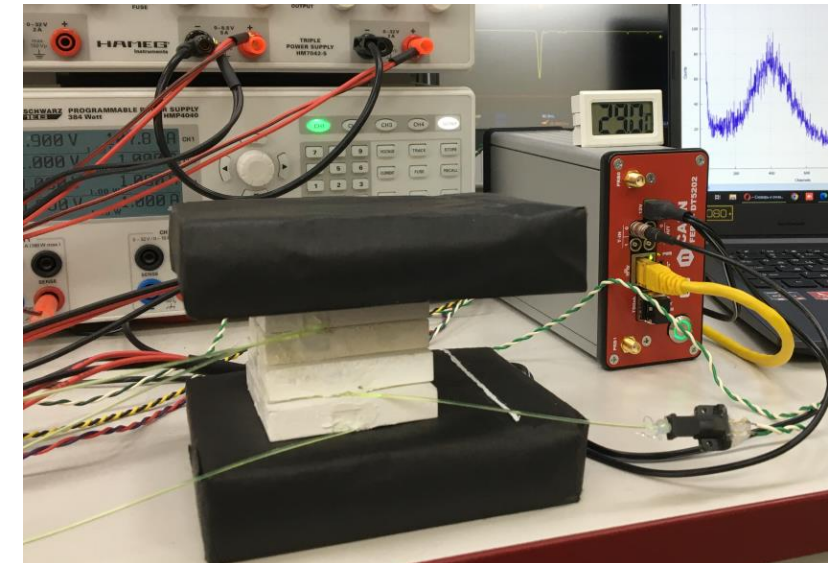
The Spin Physics Detector collaboration proposes to install a universal detector in the second interaction point of the NICA collider under construction (JINR, Dubna) to study the spin structure of the proton and deuteron and the other spin-related phenomena with polarized proton and deuteron beams at a collision energy up to 27 GeV and a luminosity up to  $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



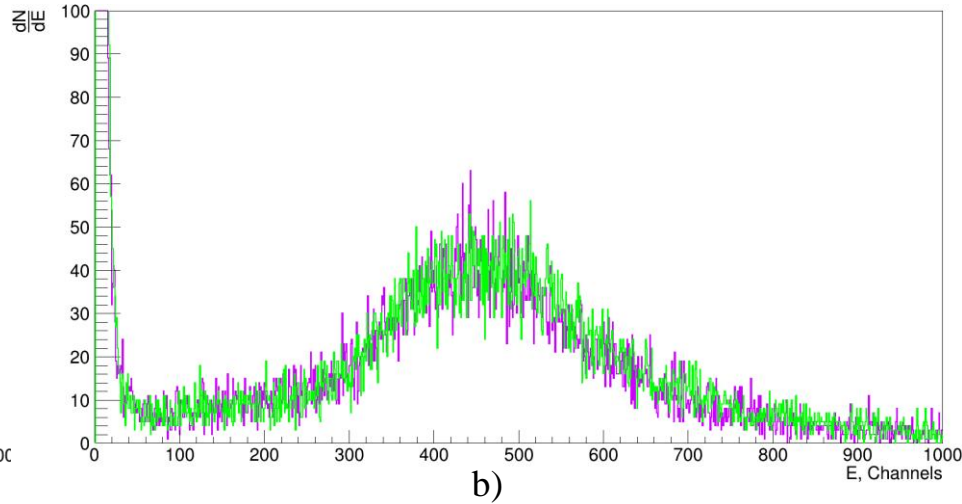
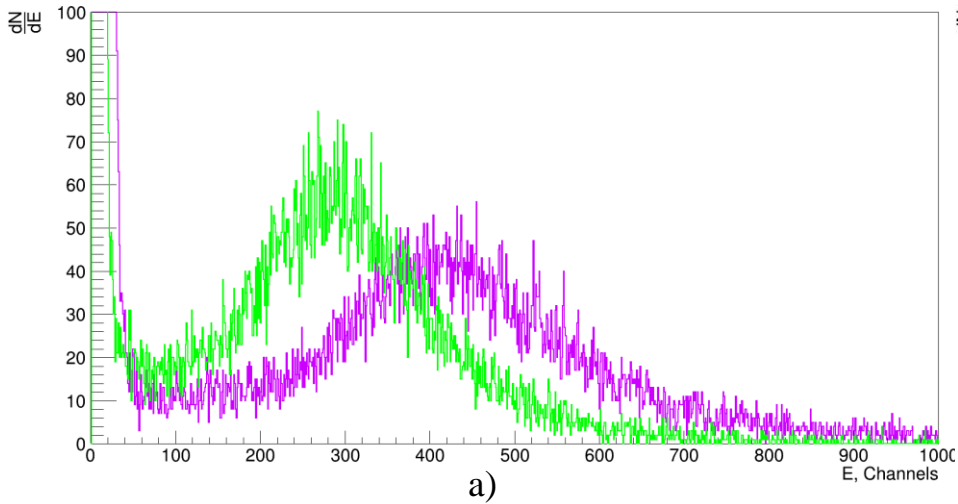
The SPD BBC is designed to have 16 sectors with 25 tiles in each sector in one wheel. Each tile is a separate signal source that should be read using silicon photomultiplier (SiPM), connected to WLS fiber. The amount of readout channels leads us to use CAEN FERS-5200 front-end readout system, that was designed for large detector arrays.

The main goals of the Beam-Beam Counters are:

- the local polarimetry at SPD basing on the measurements of the azimuthal asymmetries of polarized proton beams;
- the monitoring of beam collisions;



# Material selection: CKTN E VS OK-72



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



Comparison of OK-72 (green) and CKTN (purple) for a) line 1 (76.24% of A and 23.66% of B) and b) line 3 (70% of A and 30% of B) tiles

Brand	Viscosity, cPs	Operating T Range, °C	Spectral Characteristics	Refractive index
CKTN MED E	$15 \cdot 10^3$	—	92-96% at 500 nm	1.606
OK-72	—	-60 to +60	99% at 400-2700 nm	1.587

For the study we used matted tiles and different compositions of A to B components for OK-72 cement. As for CKTN, in both cases and for all comparisons we used the same 100 of A to 3.2 of B ratio, as it is written in data sheet.

Fit Param-s	Row 1 CKTN	Row 1 OK-72	Row 3 CKTN	Row 3 OK-72
Mean, Channels	372.9	254.4	406.9	412.3
Width, Channels	28.5	17.6	30.3	36.2

**Since OK-72 is easier to apply due to its low viscosity and extended curing time (compared to CKTN mark E), but in view of the fact that such a slight difference in ratio of the cement's components affects on light collection, the deeper research should be conducted in future**