

**«Разработка и создание детекторов
заряженных частиц для каонных и
нейтринных экспериментов»**

01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

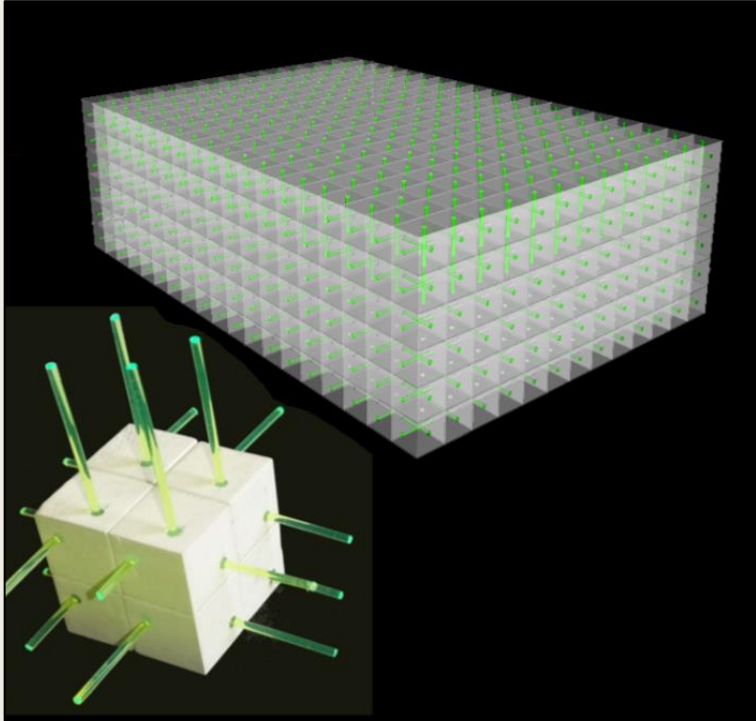
Автор:

С.А. Федотов

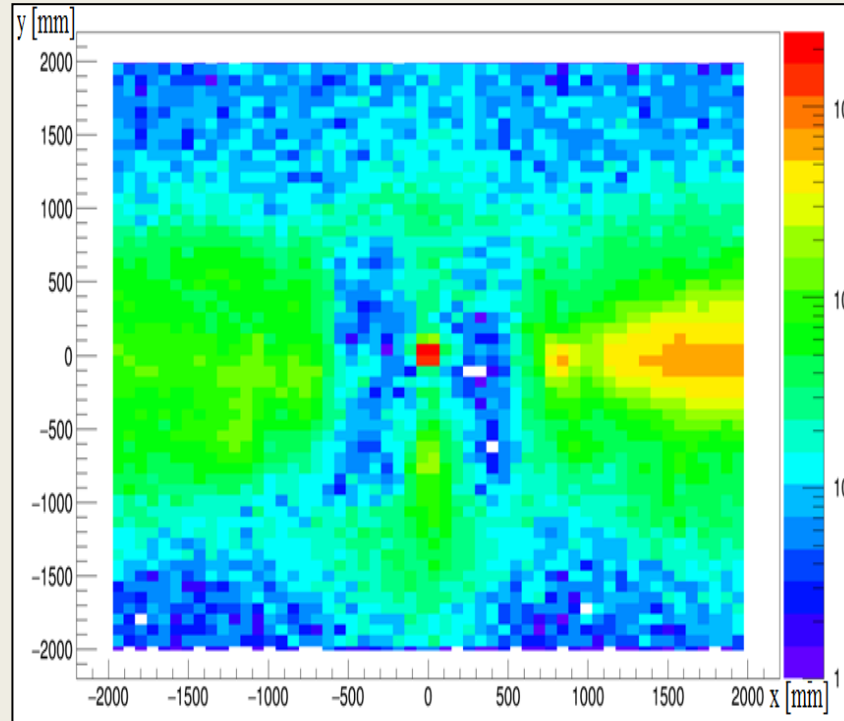
Научный руководитель:

профессор, д.ф.-м.н. Ю.Г. Куденко

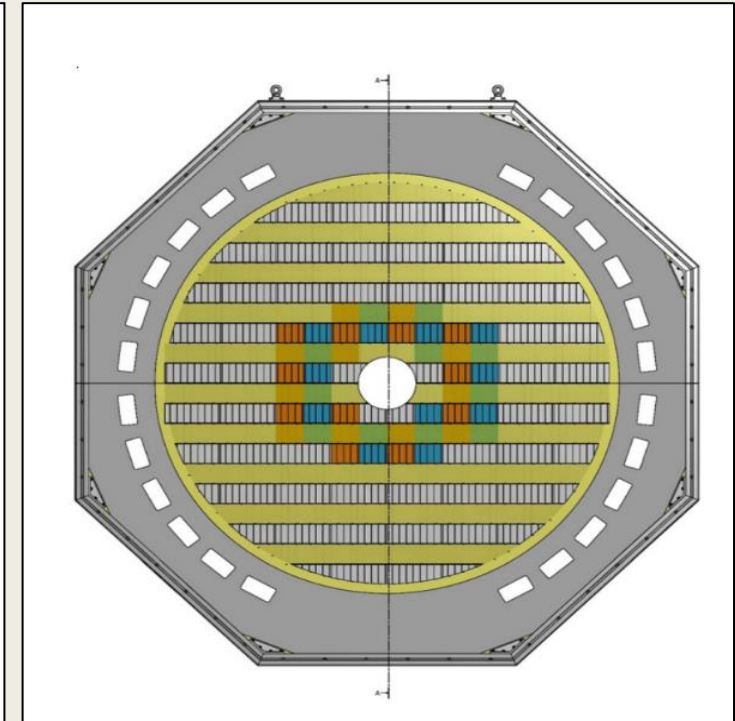
Структура доклада



1. Высокосегментированный детектор **SuperFGD** для эксперимента **T2K**



2. **Мюонное гало** в эксперименте **NA62**



3. Годоскоп заряженных частиц **NewCHOD** для эксперимента **NA62**

Личный вклад автора

- Участвовал на всех этапах разработки и создания нового высокосегментированного трехмерного сцинтилляционного нейтринного детектора SuperFGD для эксперимента T2K.
- Принимал активное участие в тесте на пучке заряженных частиц ускорителя PS в CERN первого прототипа детектора SuperFGD и в определении параметров сцинтилляционных кубиков.
- Осуществлял тестирование на космических мюонах сцинтилляционных кубиков, изготовленных для детектора SuperFGD. С помощью космических мюонов исследовал ослабление сигнала в спектросмещающих волокнах KurarayY11 (мягкого типа с двойной оболочкой). Волокна такого типа будут использоваться в детекторе SuperFGD.
- Осуществил тестирование всех, применяемых в детекторе NewCHOD, микропиксельных фотодетекторов SensL SiPM (Silicon Photomultiplier).
- Принимал участие в определении основных физических параметров детектора NewCHOD после его установки в экспериментальном холле NA62.
- Принимал участие в настройке экспериментальной установки NA62 и контроле за стабильностью работы детектора NewCHOD во время сеансов по набору статистики эксперимента NA62.
- Произвел моделирование прохождения мюонного гало пучка вдоль линии эксперимента NA62 и определил загрузки мюонами гало различных элементов экспериментальной установки NA62. Подробно рассмотрел координатное распределение интенсивности мюонного гало перед распадным объемом.

Список конференций

Результаты работы были представлены автором на **13** конференциях.

Перечень основных докладов:

- Доклад на конференции: **Международная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН**, Дубна, Россия, 12-15 апреля 2016 года, Федотов С.А. Детектор New CHOD для эксперимента NA62 (CERN) // С.А. Федотов
- Федотов С.А. // Мюонное гало в эксперименте NA62 (CERN) // **III Межинститутская молодежная конференция «Физика элементарных частиц и космология»**, Долгопрудный, Россия, 27-28 апреля 2017 года
- Доклад на конференции: **Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий»**, посвященная 50-летию Баксанской нейтринной обсерватории, Нальчик, Россия, 6-8 июня 2017 года, Федотов С.А. *The New CHOD detector for the NA62 experiment at CERN*
- Доклад на международной школе-конференции **Moscow International School of Physics**, Вороново, Россия, 20-27 февраля 2019 года, S. Fedotov, A. Blondel,.. et al. «New 3D fine-grained scintillator detector for a T2K ND280 neutrino active target»
- Доклад на международной конференции «**Instrumentation for Colliding Beam Physics**» (**INSTR-20**), Новосибирск, Россия, 24-28 февраля 2020 года, S. Fedotov for ND280 upgrade group «New 3D fine-grained scintillation detector for the T2K experiment»

Список публикаций

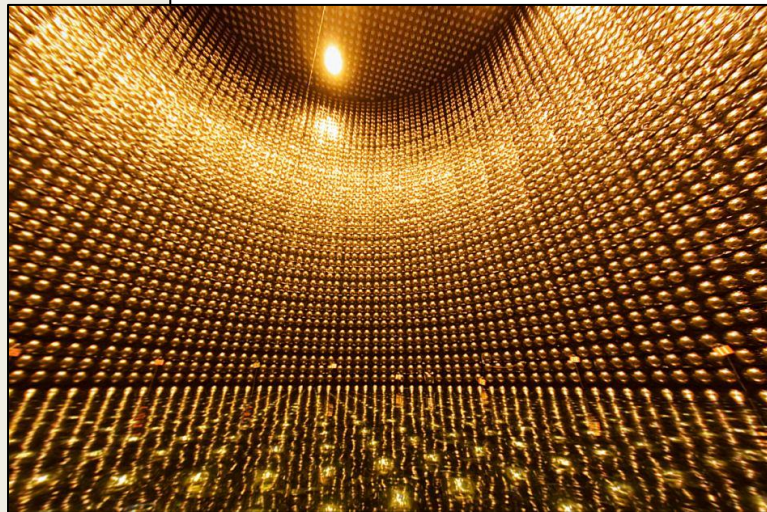
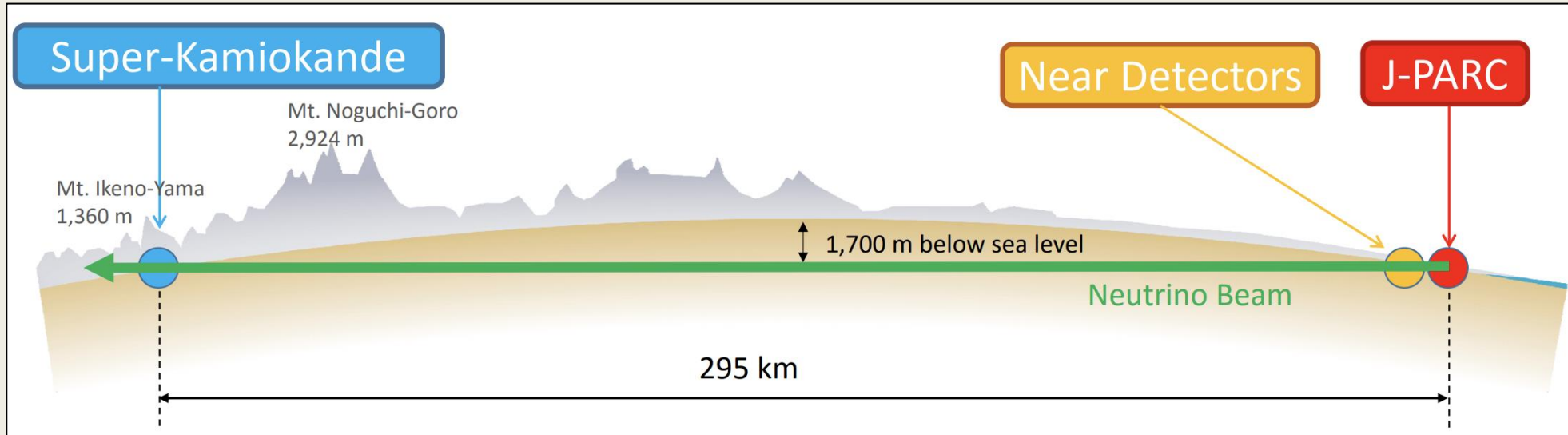
Результаты работы опубликованы в **8** статьях в реферируемых журналах.

Перечень основных публикаций:

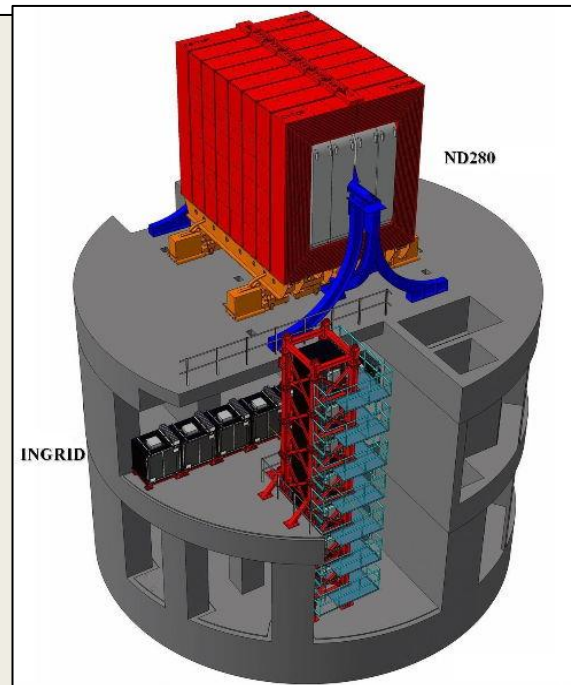
1. *V. Duk, ..., S. Fedotov, ... et al. Performance studies of the hodoscope prototype for the NA62 experiment. **JINST** 11 (2016), no. 06, P. P06001*
2. *E. Cortino Gil, ..., S. Fedotov, ... et al. The Beam and detector of the NA62 experiment at CERN. **JINST** 12 (2017) no.05, P05025.*
3. *S. Fedotov, A. Kleymenova, A. Khotjantsev New CHOD Detector for the NA62 experiment at CERN // **Physics of Particles and Nuclei**, 2018, Vol. 49, No. 1*
4. *Blondel, ... , S. Fedotov et al. A fully-active fine-grained detector with three readout views **JINST** February 2018 13(02):P02006-P02006*
5. *O. Mineev, S. Fedotov, .. et al. Parameters of a fine-grained scintillator detector prototype with 3D WLS fiber readout for a T2K ND280 neutrino active target. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, September 2018*
6. *O. Mineev, S. Fedotov, .. et al. Beam test results of 3D fine-grained scintillator detector prototype for a T2K ND280 neutrino active target **Nuclear Instrument and Methods in Physics** Volume 923, 11 April 2019, Pages 134-138*
7. *S. Fedotov, on behalf of the T2K ND280 Upgrade working group (1 author) New 3D fine-grained scintillation detector for the T2K experiment, **JINST**, Volume 15, July 2020*
8. *A. Blondel, ..., S. Fedotov, ... et al. The SuperFGD Prototype charged particle beam test // **JINST**, No. 15, December 2020*

Эксперимент Т2К (Япония)

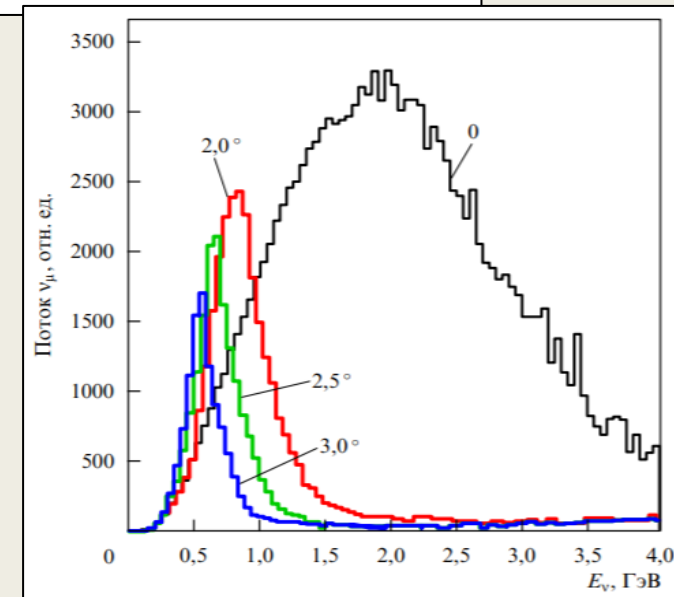
arXiv: 1106.1238



Дальний детектор Super-Kamiokande

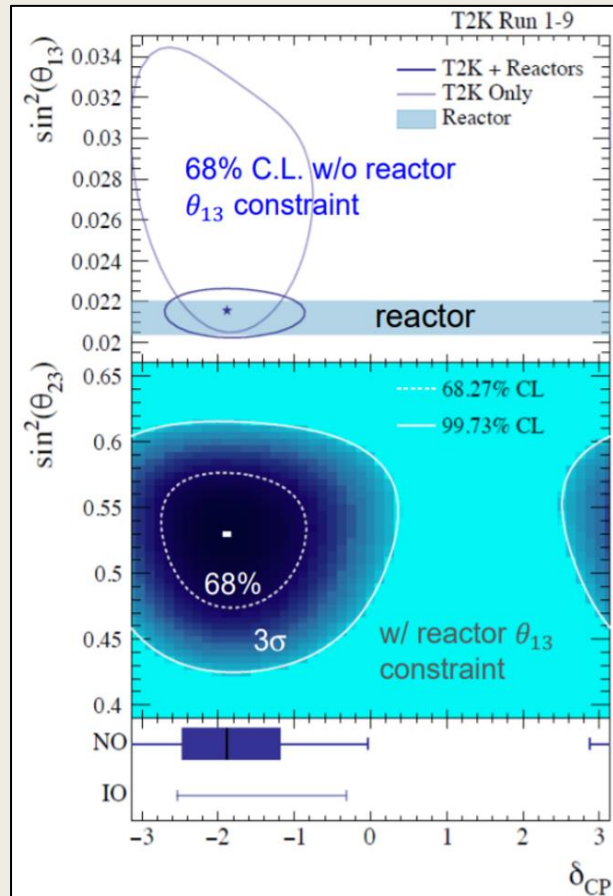


Система ближних детекторов

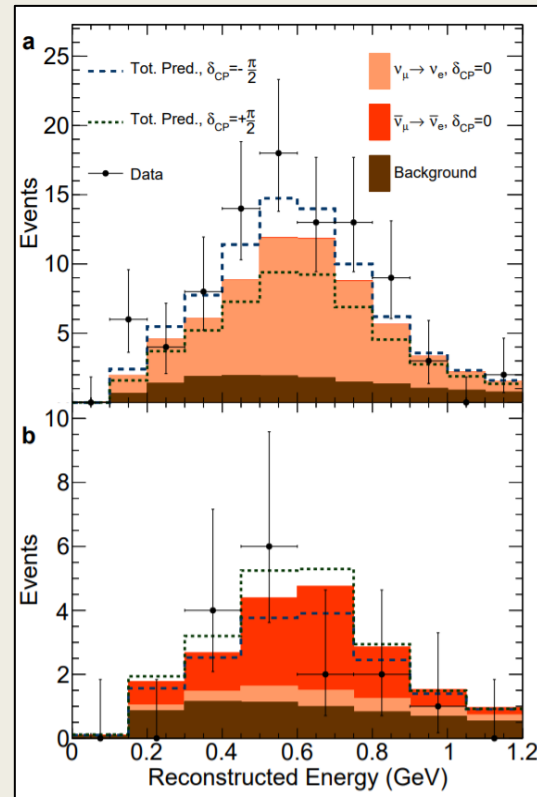


Нейтринный пучок

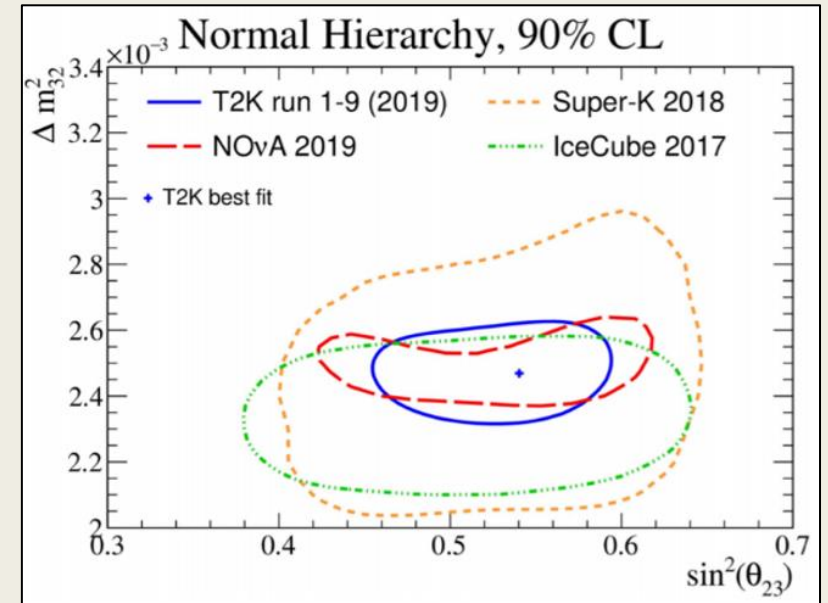
Основные результаты эксперимента T2K



Ограничения на параметр δ



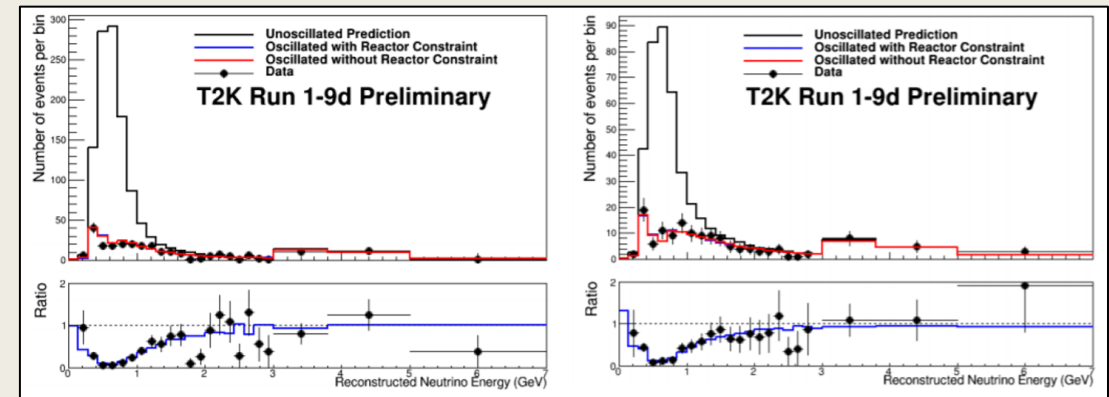
Количество наблюдаемых электронных нейтрино в пучке соответствующих мюонных нейтрино



Ограничения на $\sin^2(\theta_{13})$ и Δm_{23}^2 при нормальной иерархии масс нейтрино

Вероятность:

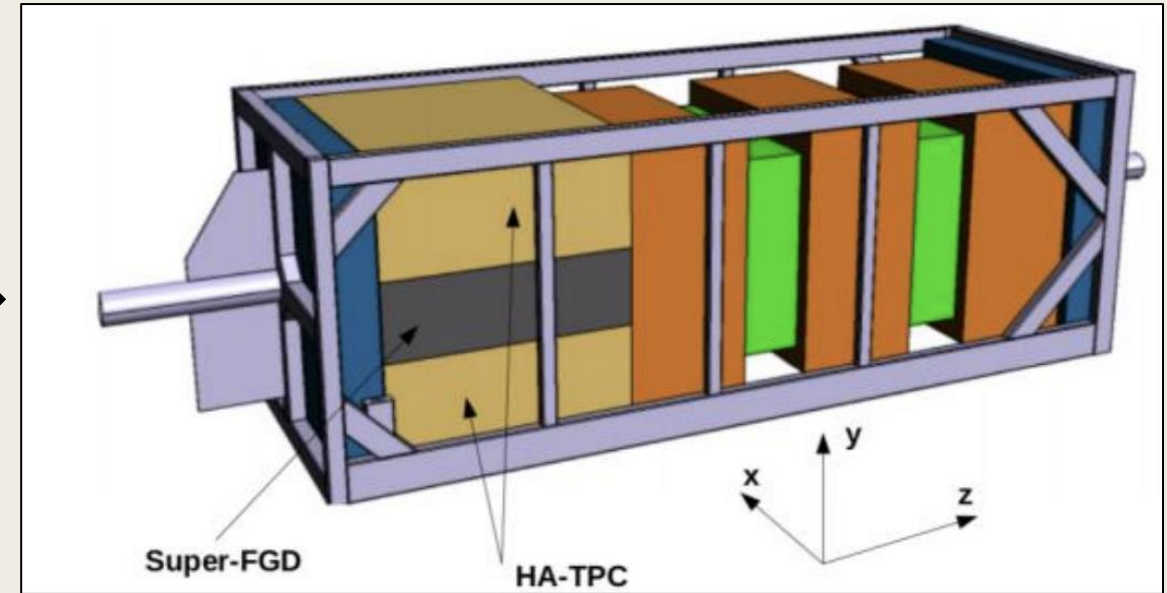
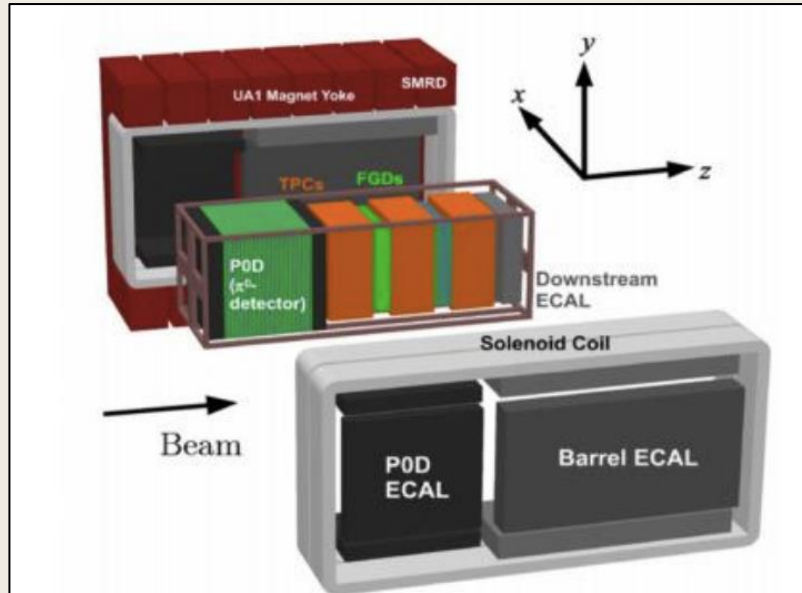
Прямой иерархии масс ($m_1 > m_2 > m_3$) составляет **88.9%**
 Обратной иерархии ($m_2 > m_1 > m_3$) составляет **11.1%**



Количество наблюдаемых мюонных нейтрино и антинейтрино в дальнем детекторе при наличии/отсутствии осцилляций

Модернизация ND280

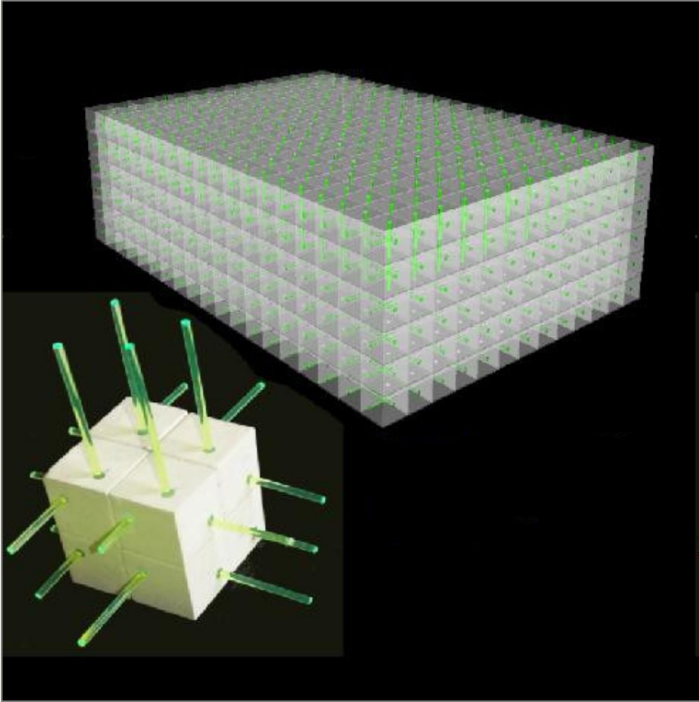
arXiv: 1901.03750



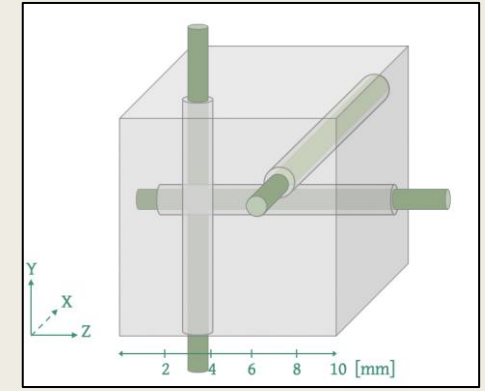
Мотивация модернизации ND280:

- функционирующий в настоящее время трековый детектор регистрирует заряженные частицы, образованные в результате нейтринных взаимодействий и распространяющиеся в направлении падающего нейтринного пучка, в то время как регистрация таких частиц в дальнем детекторе SK происходит в полном телесном угле;
- для повышения точности восстановления спектра нейтрино вблизи мишени (до осцилляций) необходимо регистрировать все заряженные частицы, возникающие в результате нейтринных взаимодействий, в частности, регистрировать протоны с низким энергетическим порогом. В настоящее время этот порог довольно высок и спектр нейтрино восстанавливается только из измеренных мюонов;
- при работе с пучком мюонных антинейтрино для повышения точности осцилляционных параметров необходимо регистрировать нейтроны, возникающие при взаимодействии через заряженный ток;
- чувствительность экспериментов T2K и Hyper-Kamiokande к CP-нарушению требует улучшения систематических погрешностей, для чего необходимо точное измерение сечений нейтринных взаимодействий.

Детектор SuperFGD



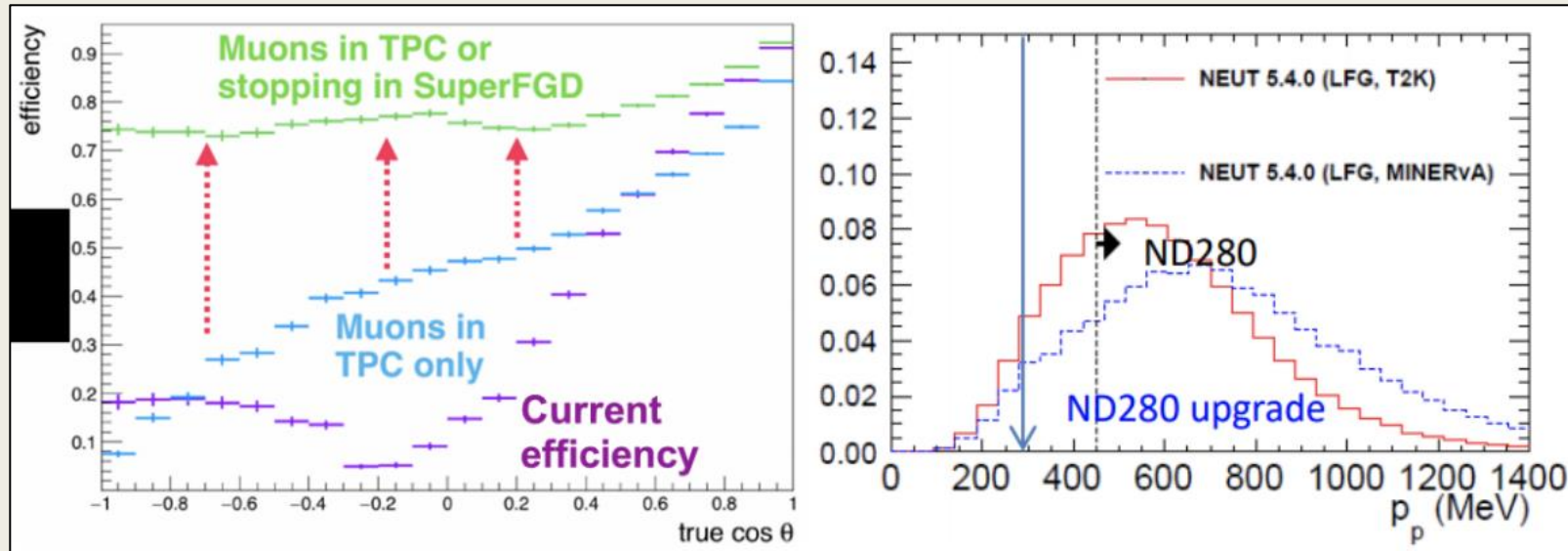
- *Размеры кубика (сегмента): $1 \times 1 \times 1 \text{ см}^3$*
- *Размеры детектора: $192 \times 184 \times 56$ кубиков*
- *Общая масса: ~2 тонн*
- *Количество каналов считывания: ~60,000*



Сигнал с каждого кубика снимается с помощью трех ортогональных спектросмещающих волокон Kuraray Y11 диаметром 1 мм, один из концов каждого волокна просматривается Hamamatsu MPPC



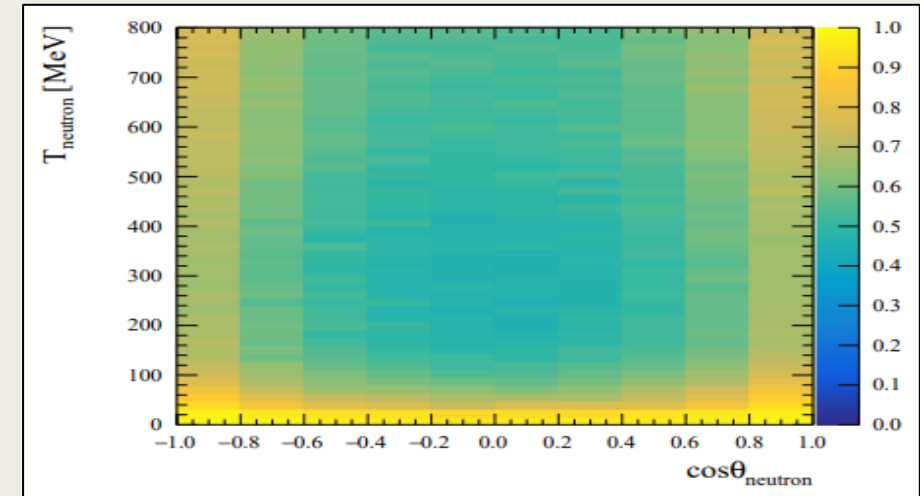
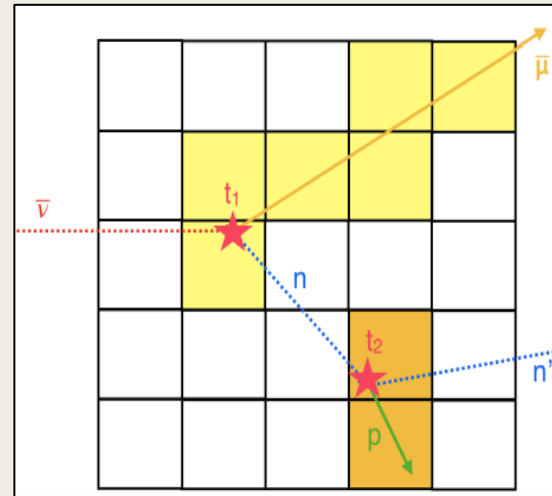
Модернизация ND280



*Результаты
МК-моделирования*

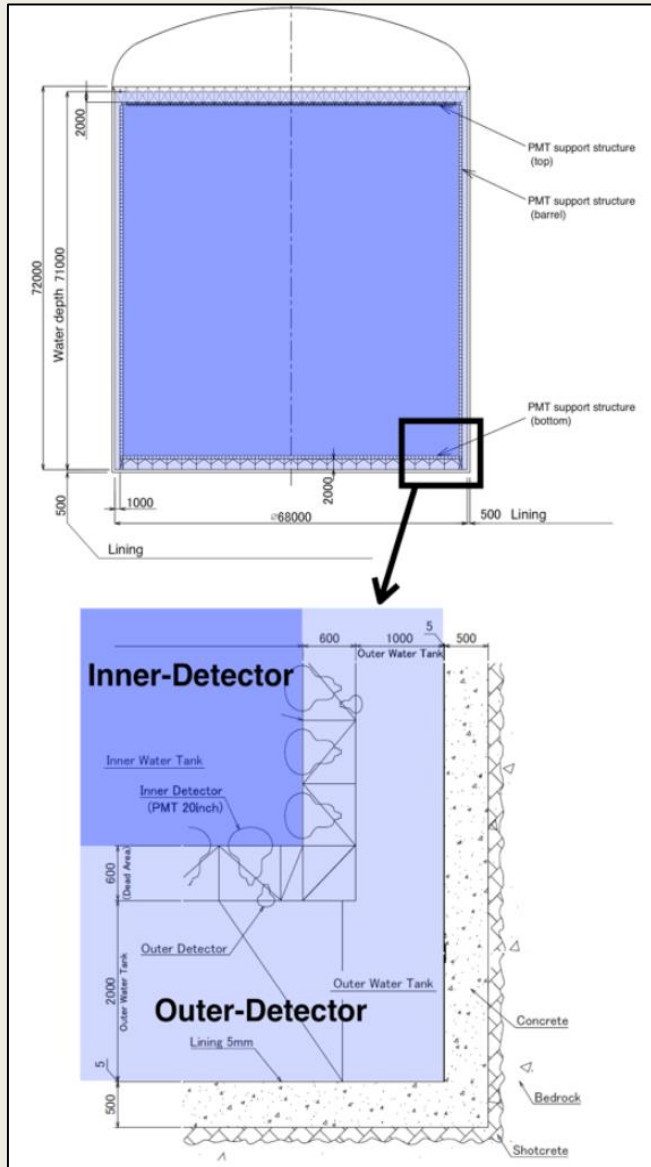
arXiv: 1912.01511

Нейтрон регистрируется через регистрацию протона, рожденного при вторичном взаимодействии нейтрона. Энергия нейтрона восстанавливается через измерения энергии протона и времени между двумя событиями.



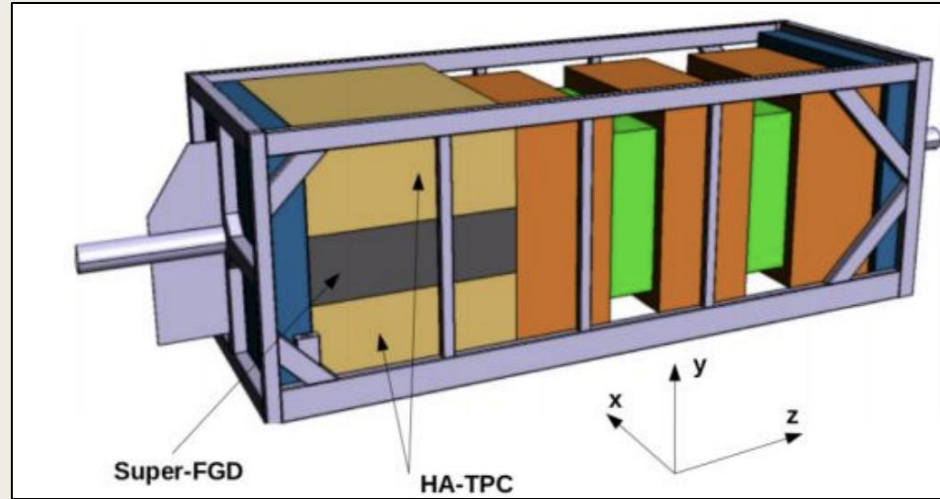
Эффективность регистрации нейтронов

Hyper-Kamiokande

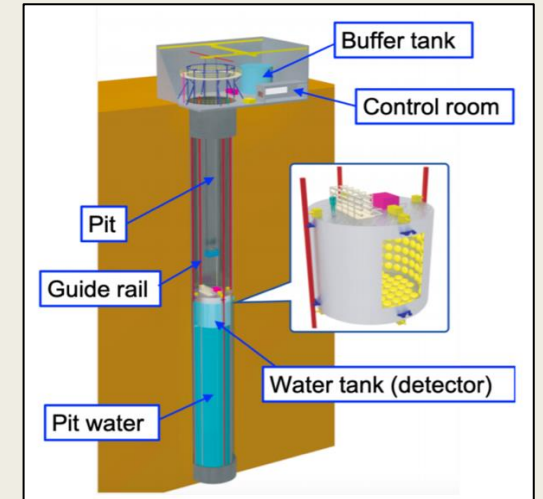


Новый дальний детектор HK

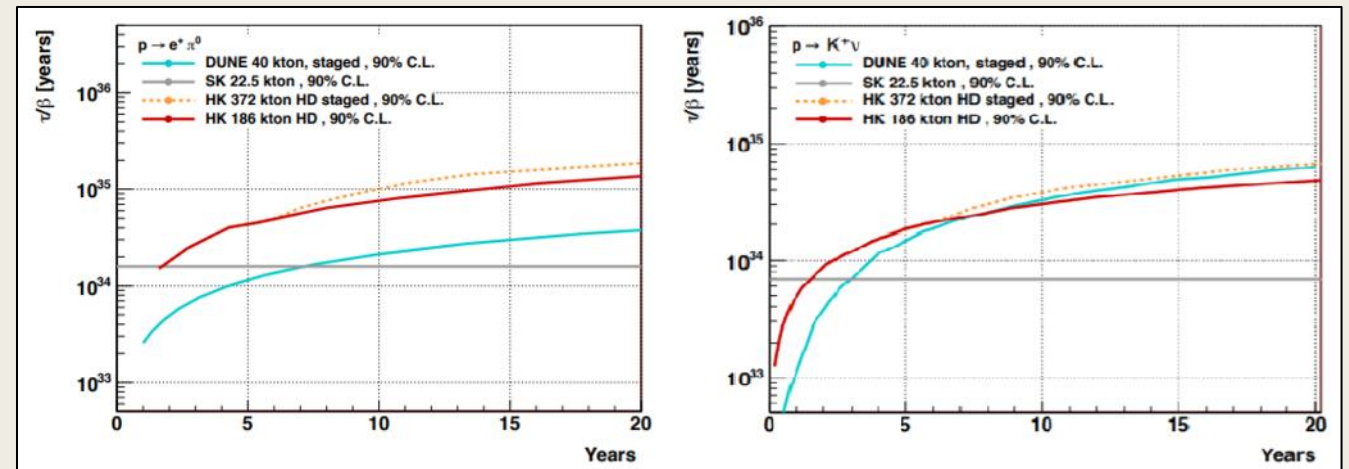
26.04.2021



Детектор ND280 после модернизации



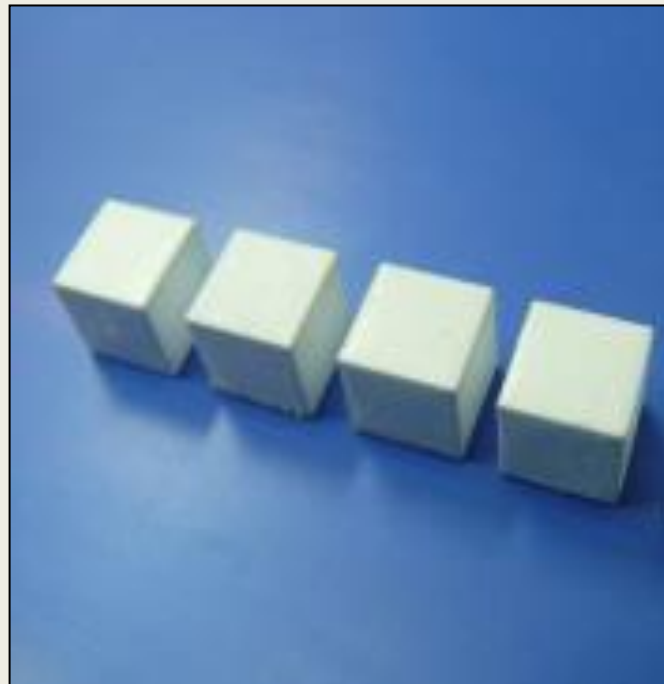
Новый ближний водный черенковский детектор



Планируемые пределы измерения времени жизни протона

Изготовление кубиков

Кубики изготавливаются методом литья под давлением компанией «Унипласт», расположенной в городе Владимир (Россия). Сцинтиллятор состоит из **полистирола с добавлением 1.5%** паратерфенила (**РТР**) и **0.01%** 1.4-бис(трихлорметил)бензола (**РОРОР**).

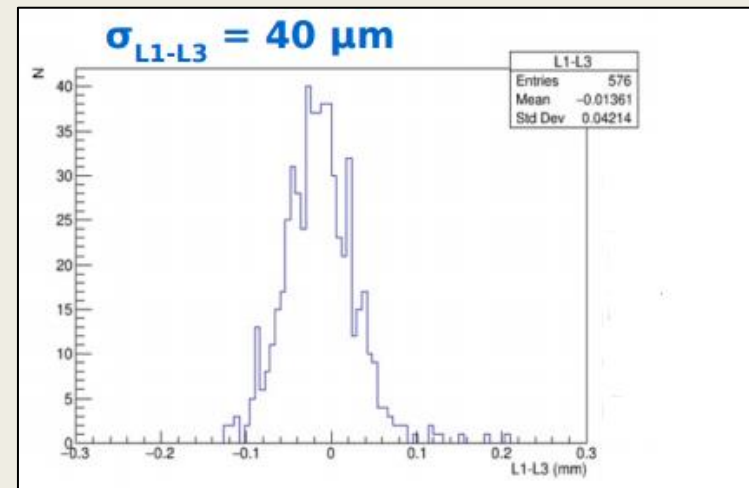
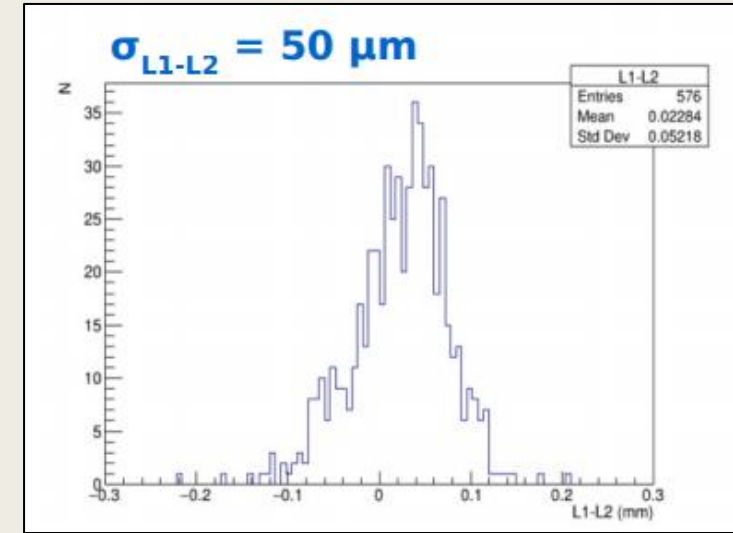
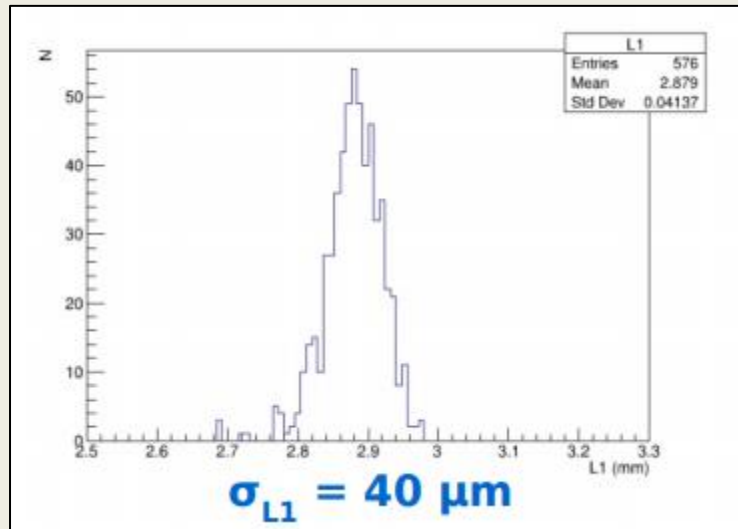
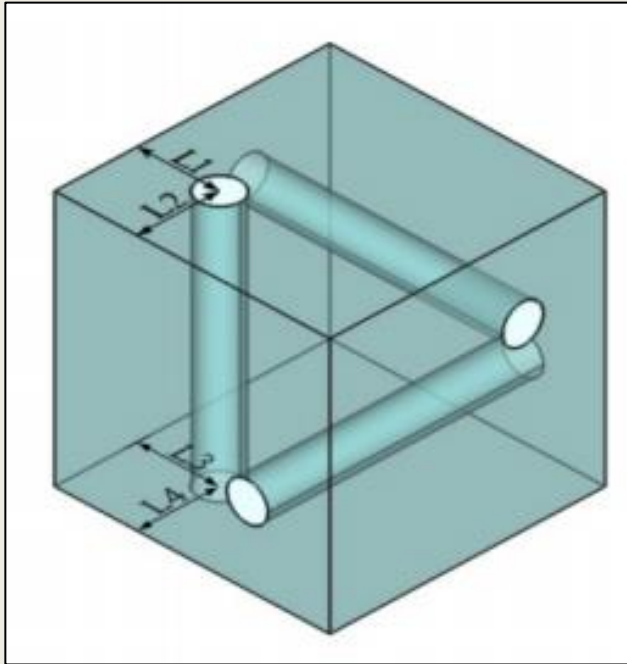


После пресс-формы кубики имеют размеры грани:
10.026 мм

После травления химическим агентом:
10.167 мм ± 30 мкм

Флуктуации позиционирования отверстий относительно сторон:
< 50 мкм (СКО)

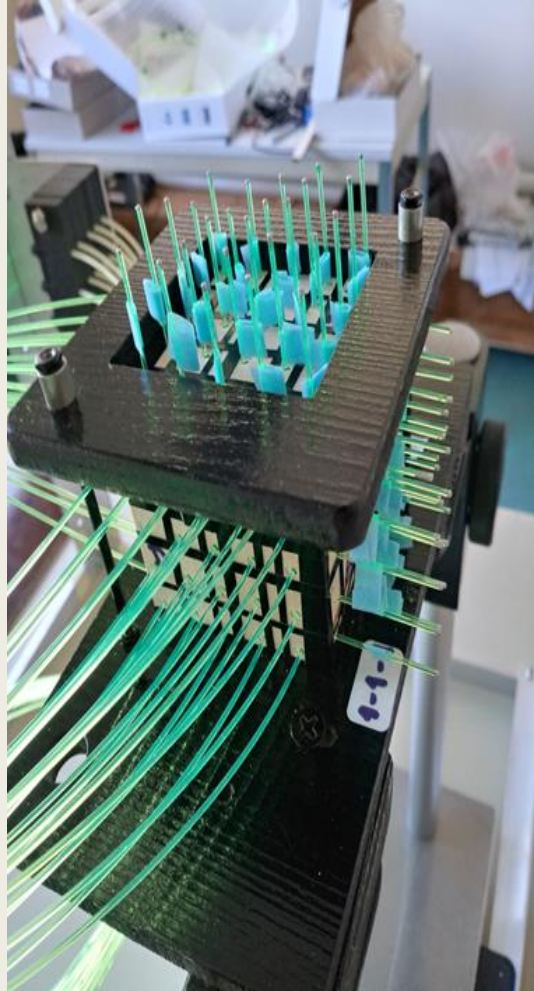
Изготовление кубиков



Достигнутая геометрическая точность изготовления сцинтилляционных кубиков (*флуктуации размеров грани <30 мкм, флуктуации позиционирования отверстий <50 мкм*) позволяет осуществить полную сборку детектора со спектросмещающими волокнами диаметром 1 мм.

Тесты первого прототипа

arXiv: 1808.08829

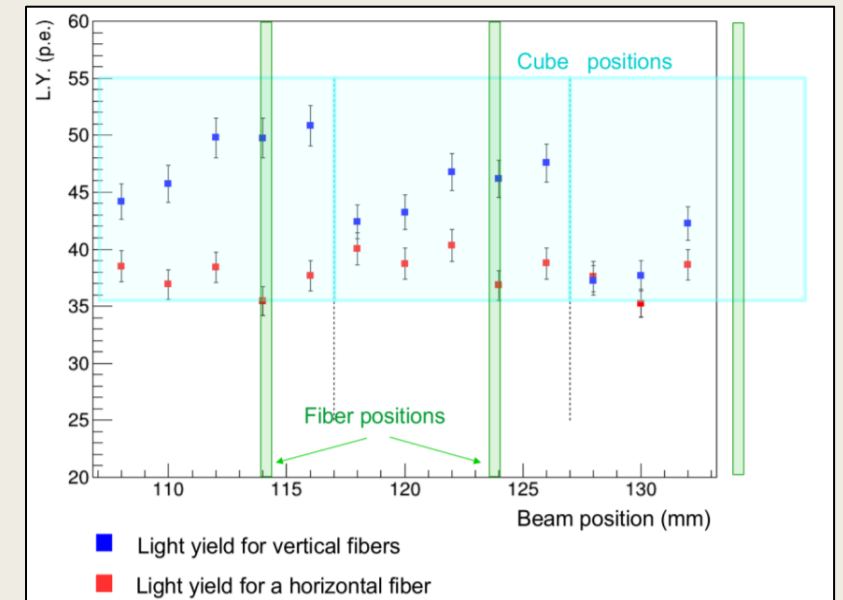
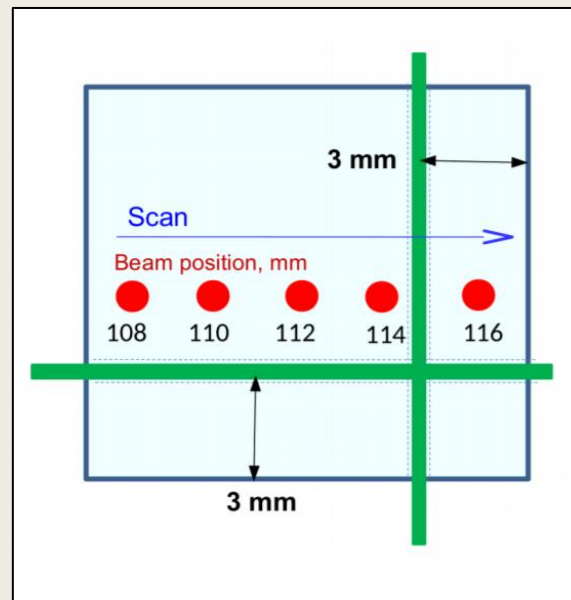


Фотография первого прототипа
детектора *SuperFGD*

Осенью 2017 года был осуществлен тест первого прототипа детектора SuperFGD.

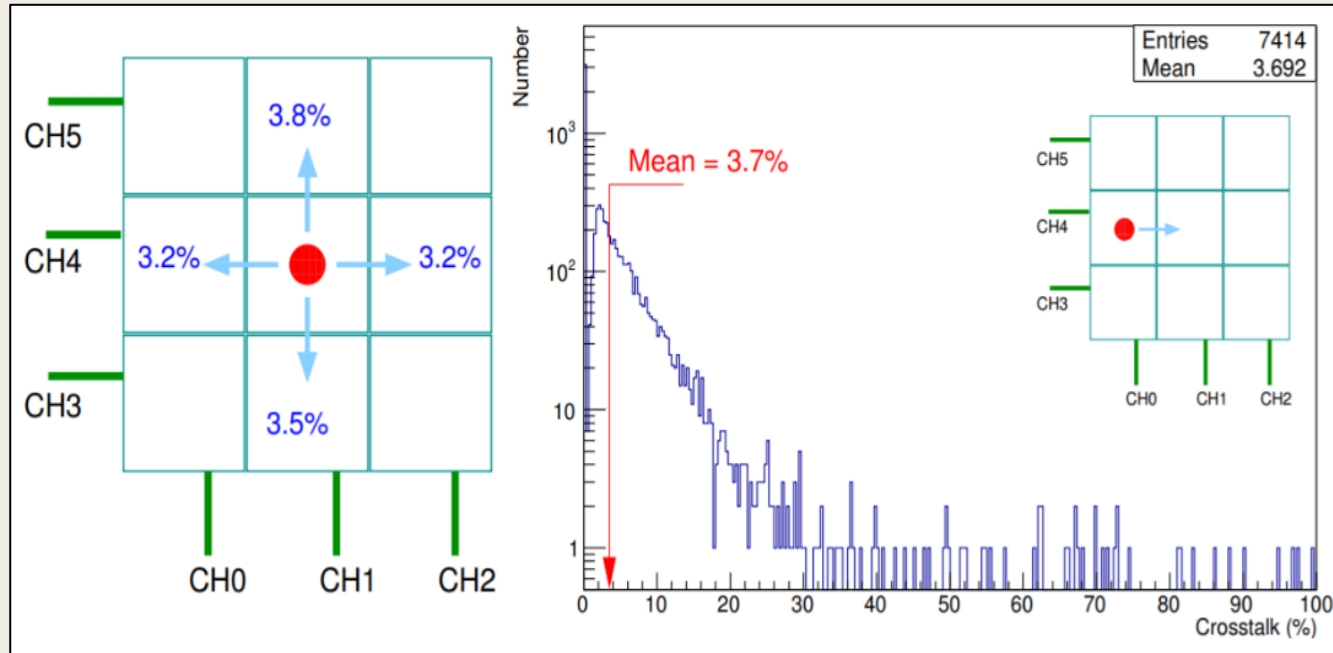
Прототип состоял из **125 (5×5×5)** кубиков и имел **75 каналов** для считывания сигнала

Использовались волокна **Kuraray Y11** длиной 1.3 м и **Hamamatsu MPPC s12571-025C**

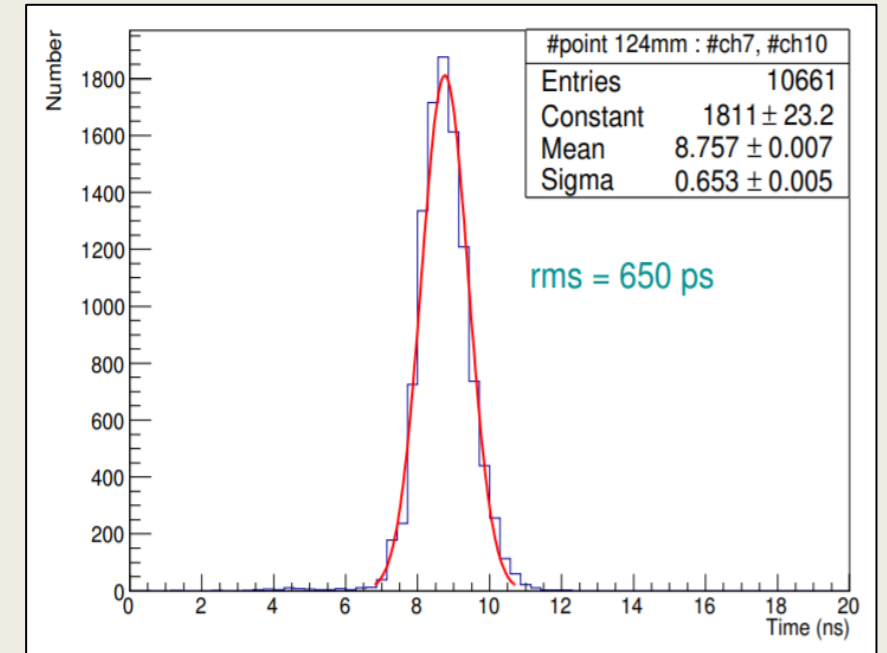


Средний световыход: с одного кубика на одно волокно **~ 40 ф.э./МIP**,
с одного кубика на два волокна **~ 80 ф.э./МIP**;

Тесты первого прототипа

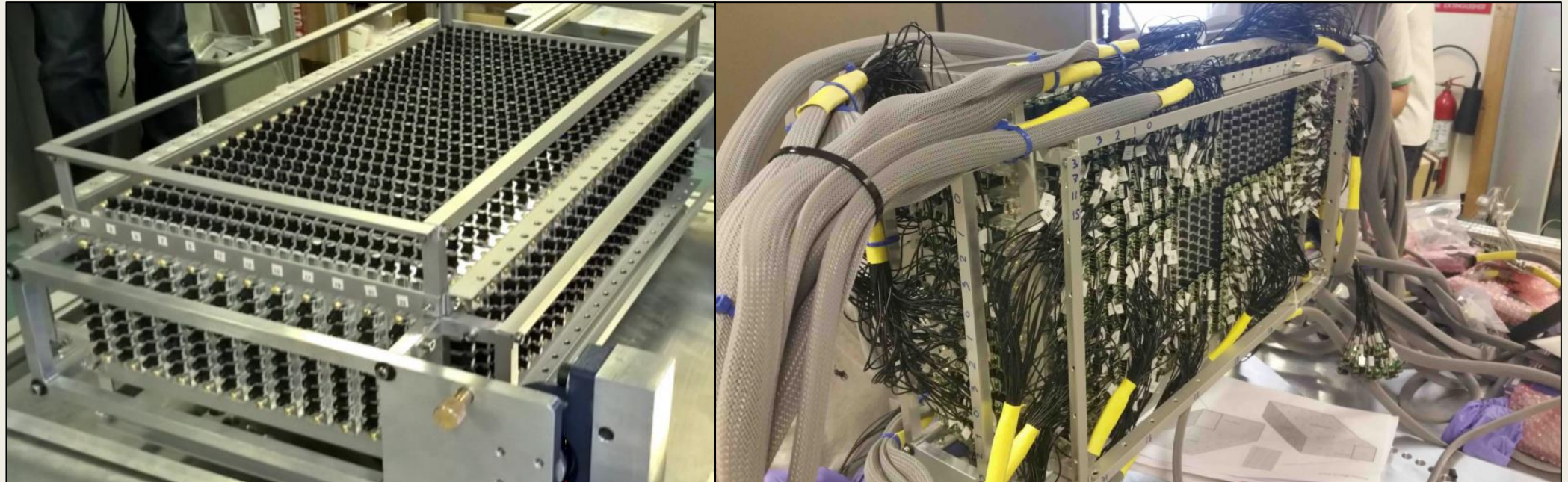


Оптический crosstalk: через одну сторону кубика $\sim 3\%$,
через все 6 сторон кубика $\sim 20\%$



Временное разрешение: на одно волокно
 0.95 нс, на два волокна $0.65 - 0.71$ нс

Фотографии второго прототипа детектора SuperFGD



Летом 2018 года был осуществлен тест второго прототипа детектора SuperFGD. Прототип состоял из **9216 (24×8×48)** кубиков и имел **1728 каналов** для считывания сигнала. Длины волокон **Kuraray Y11** соответствовали длинам сторон прототипа.

Тесты второго прототипа

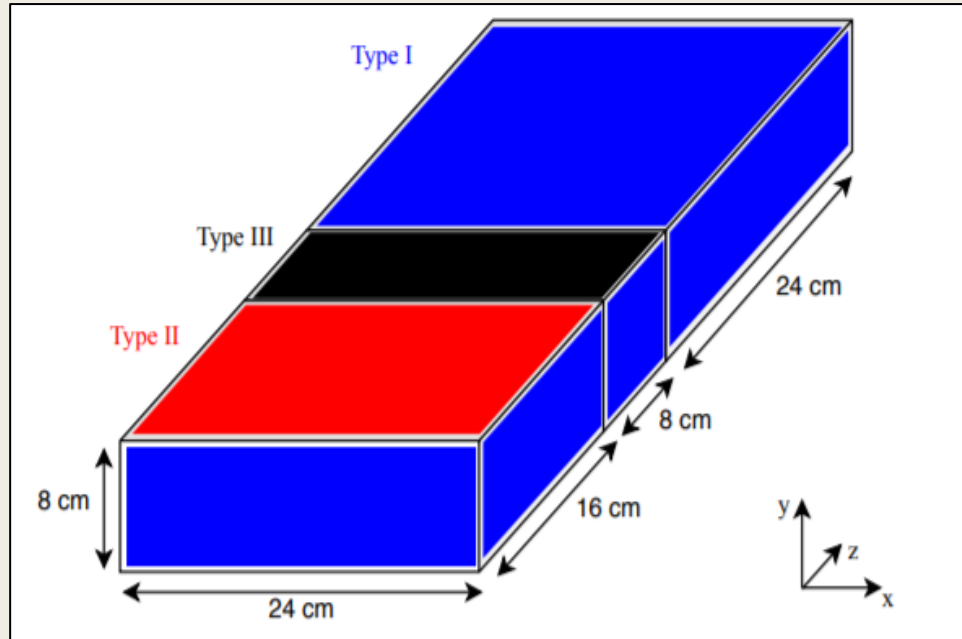


Схема расположения МРРС во втором прототипе детектора *SuperFGD*

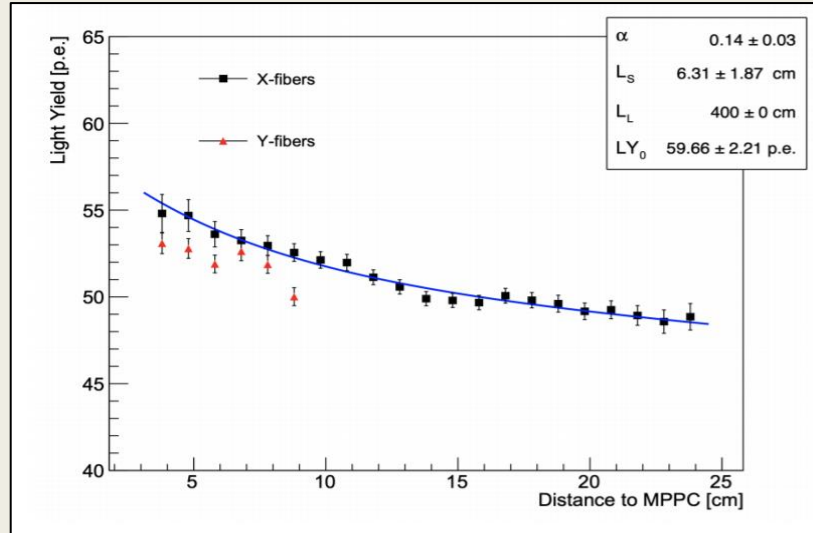
Параметры	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Серия	S13360-1325CS	S13081-050CS	S12571-025C
Количество в прототипе	1152	384	192
Размер пикселя [мкм]	25	50	25
Количество пикселей	2668	667	1600
Активная площадь [мм ²]	1.3 × 1.3	1.3 × 1.3	1.0 × 1.0
Рабочее напряжение [В]	56 – 58	53 – 55	67 – 68
PDE [%]	25	35	35
Темновой ток [кГц]	70	90	100
Усиление	7×10^5	1.5×10^6	5.15×10^5
Crosstalk [%]	1	1	10

Параметры МРРС трех типов

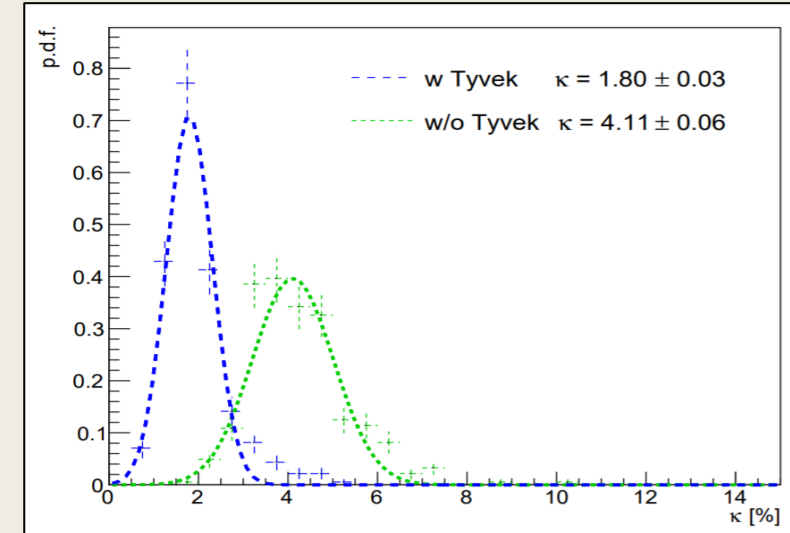
Длина волокна	Тип МРРС	Серия МРРС	Количество МРРС	Средний световой выход
24 см	Тип 1	S13360-1325CS	384	50.16
8 см	Тип 1	S13360-1325CS	192	52.53
8 см	Тип 2	S13081-050CS	128	51.56
8 см	Тип 3	S12571-025C	64	42.14

Световыходы для МРРС разных типов и разных длин волокон

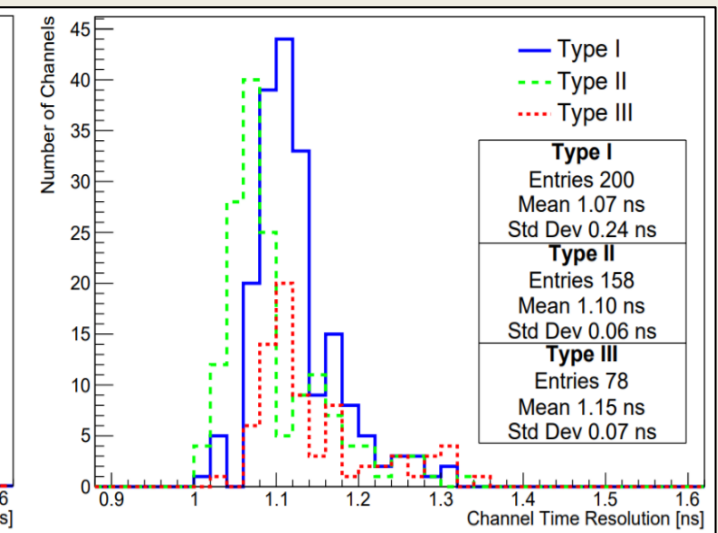
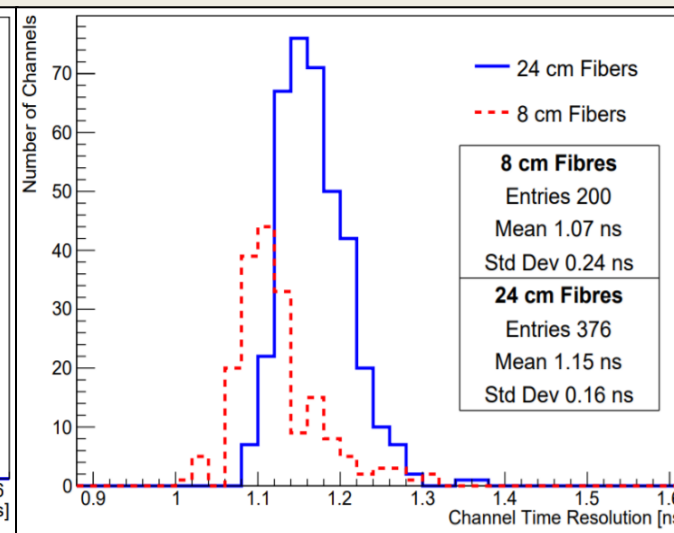
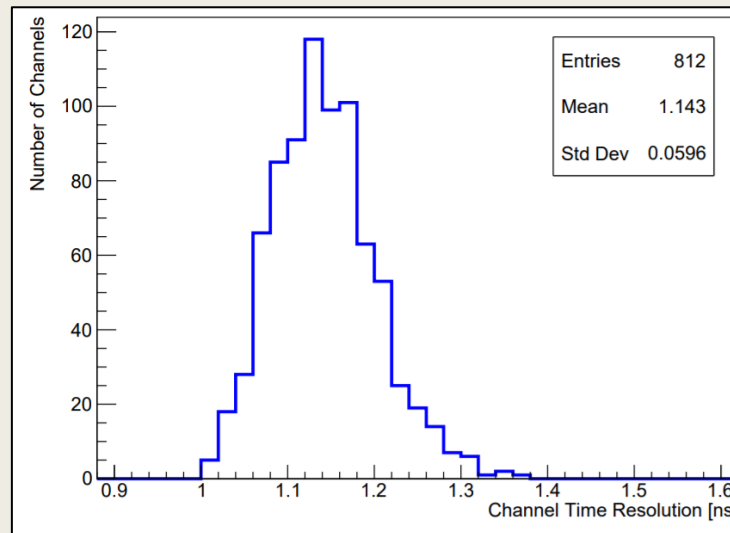
Тесты второго прототипа



Затухание сигнала в волокнах

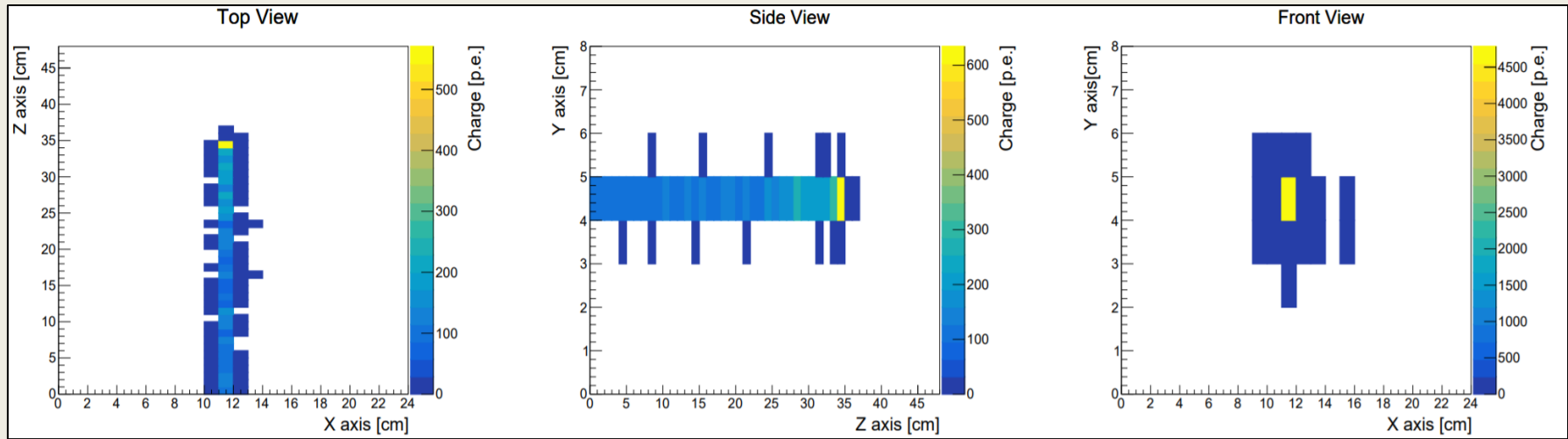


Оптический crosstalk

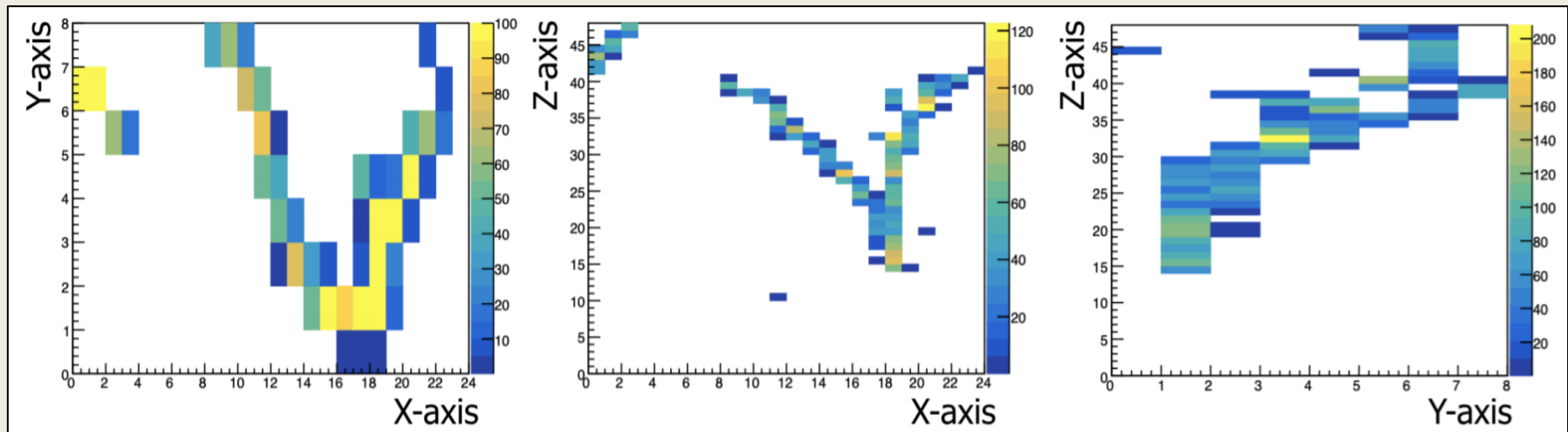


Временные разрешения: для всех типов МРРС и волокон 8 и 24 см; для МРРС 1 типа и волокон 8 и 24 см; для волокон длиной 8 см

Тесты второго прототипа

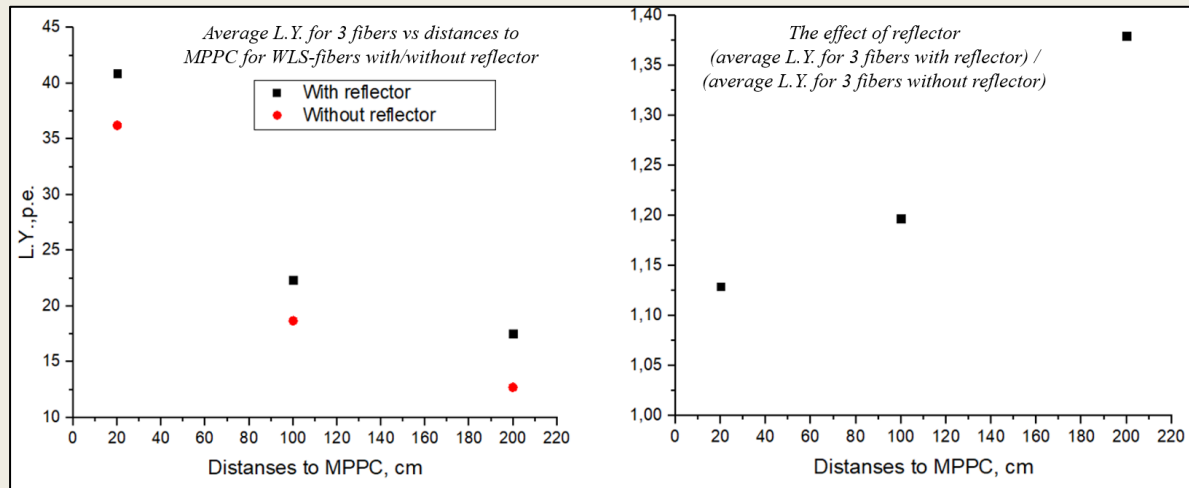


Пример трека от остановившегося в прототипе детектора протона с импульсом 800 МэВ/с и в магнитном поле 0.2 Т

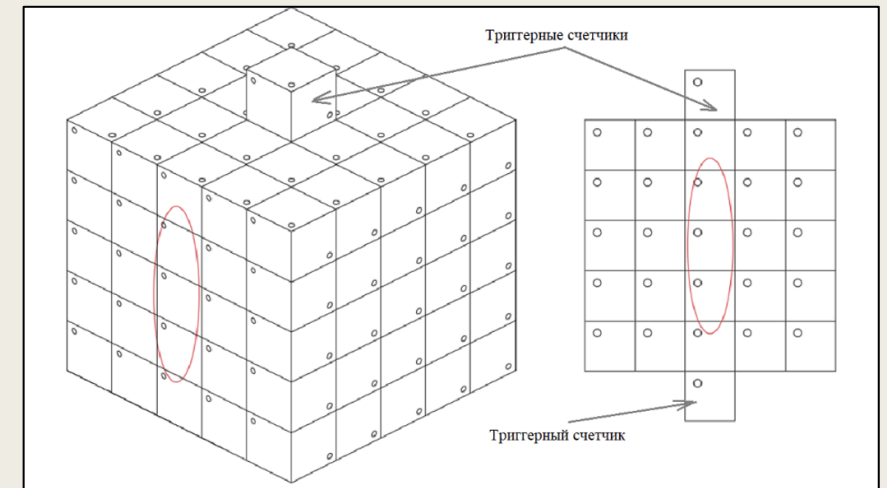


Пример треков от взаимодействия фотона в прототипе детектора

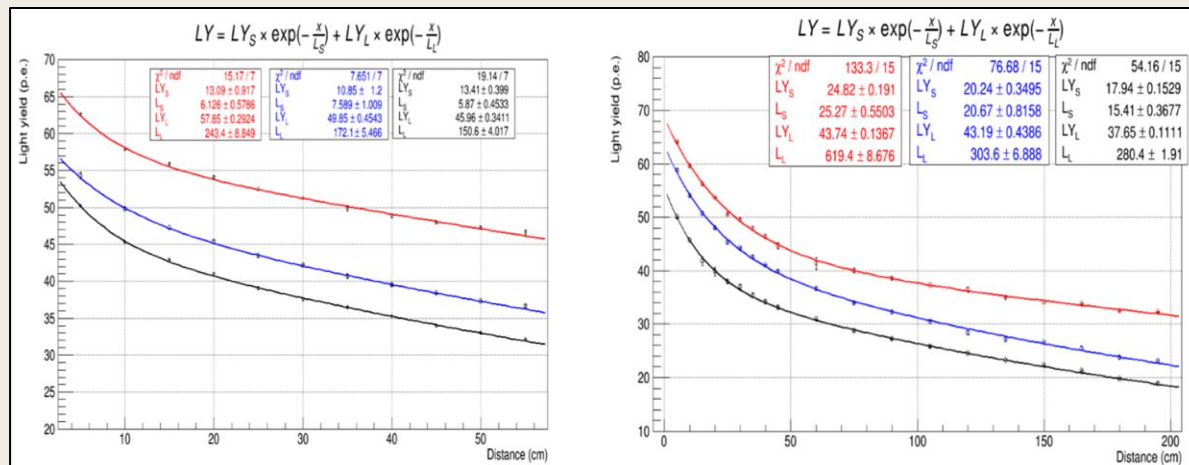
Тестирование волокна Kuraray Y11



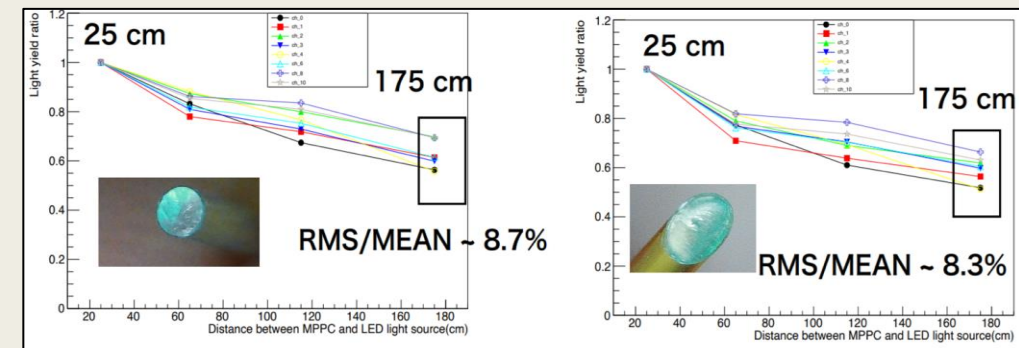
Результаты тестов на космических мюонах



Установка для тестов на космических мюонах



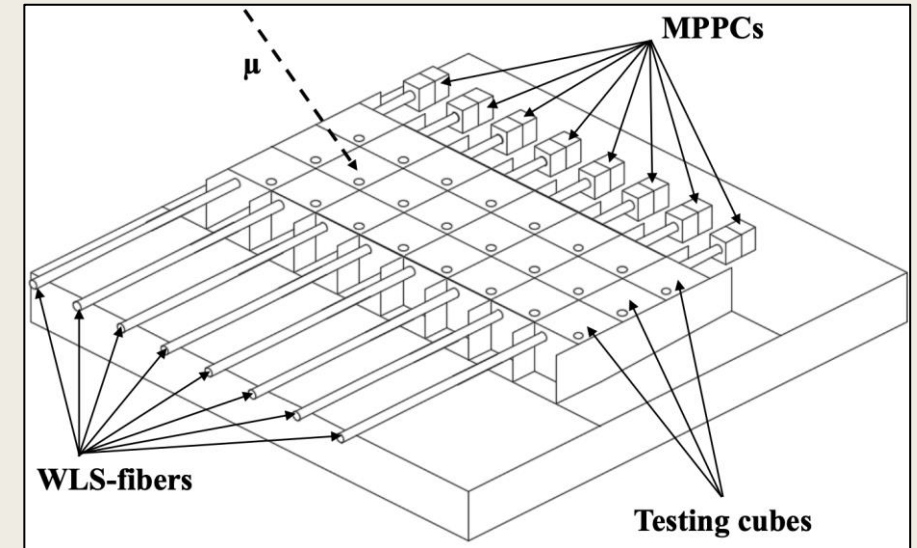
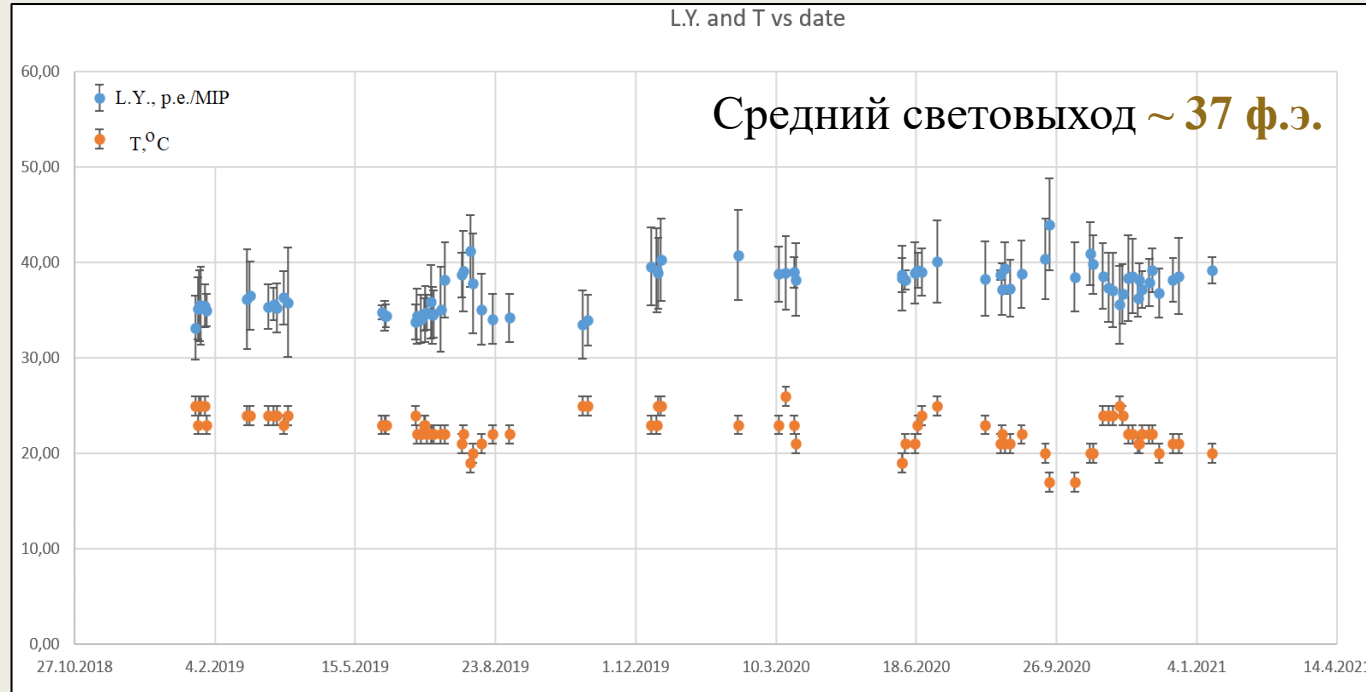
Результаты тестов с использованием ультрафиолетового (380 нм) светодиода (красная линия: конец волокна отполирован и покрыт светоотражающей краской; синяя линия: конец волокна отполирован; черная линия: конец волокна отполирован и покрыт черной краской)



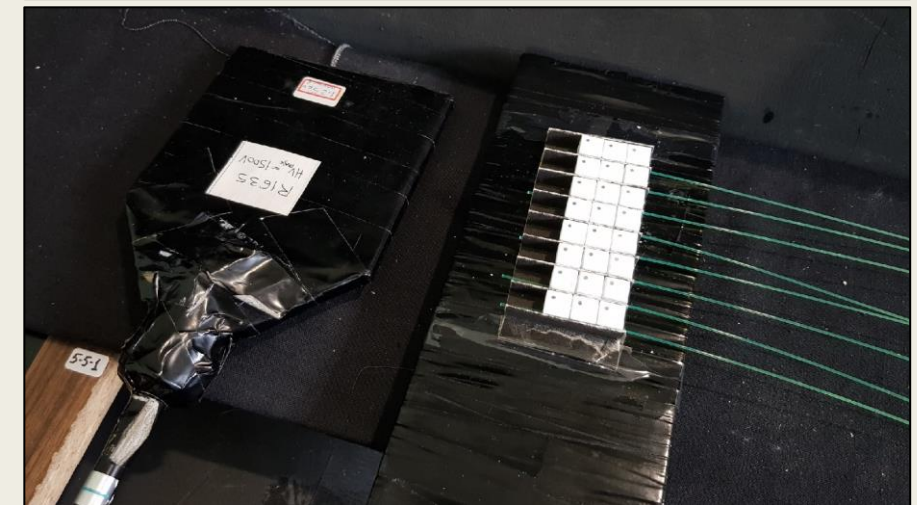
Световыход в зависимости от расстояния до MPPC для 8 каналов. Слева: для обрезания под углом в 0 градусов. Справа: для обрезания под углом в 45 градусов

Контроль сцинтилляционных свойств кубиков

Экспериментальная установка для тестов на космических мюонах

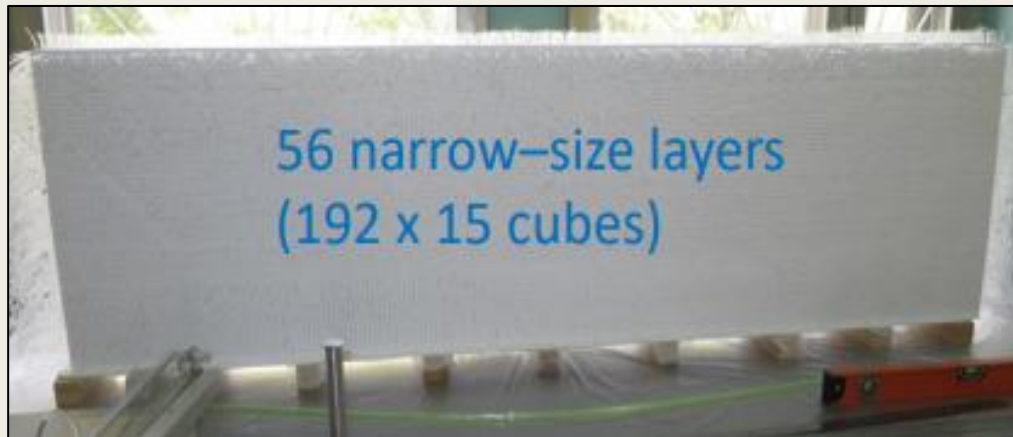
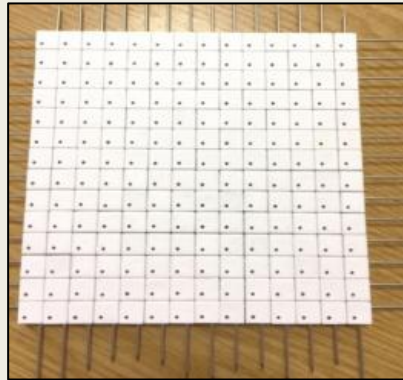


Результаты тестов по контролю качества кубиков. Синие точки: средний световыход в ф.э с 24 кубиков. Оранжевые точки: температура в градусах Цельсия во время тестов.

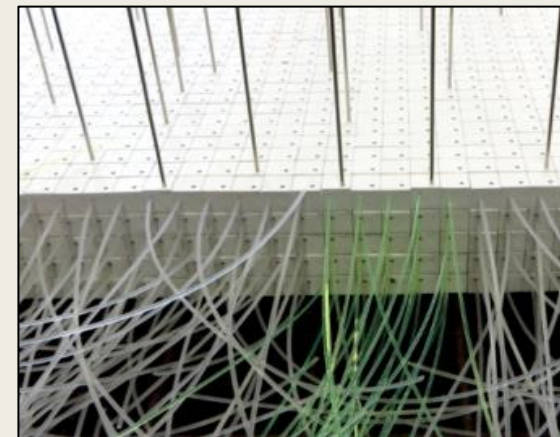


- Тестирование с помощью космических мюонов
- Размер верхнего триггера $100 \times 100 \text{ мм}^2$
- Размер нижнего триггера $120 \times 100 \text{ мм}^2$
- Одновременно тестировались 8 волокон с 3 кубиками на каждом
- Длина волокон 35 см
- Фотодиод MPPC Hamamatsu S13081-050C
- Одна точка на графике – средний световыход с 8 волокон

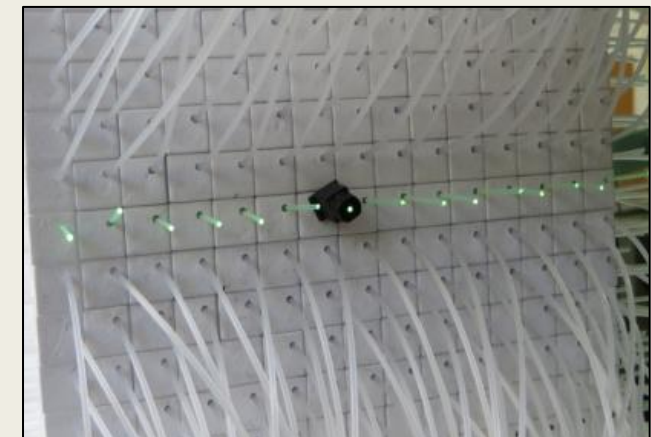
Контроль геометрических свойств кубиков и метод сборки детектора SuperFGD



*Полноразмерный прототип, состоящий из 56 плоскостей
192 × 15 кубиков*

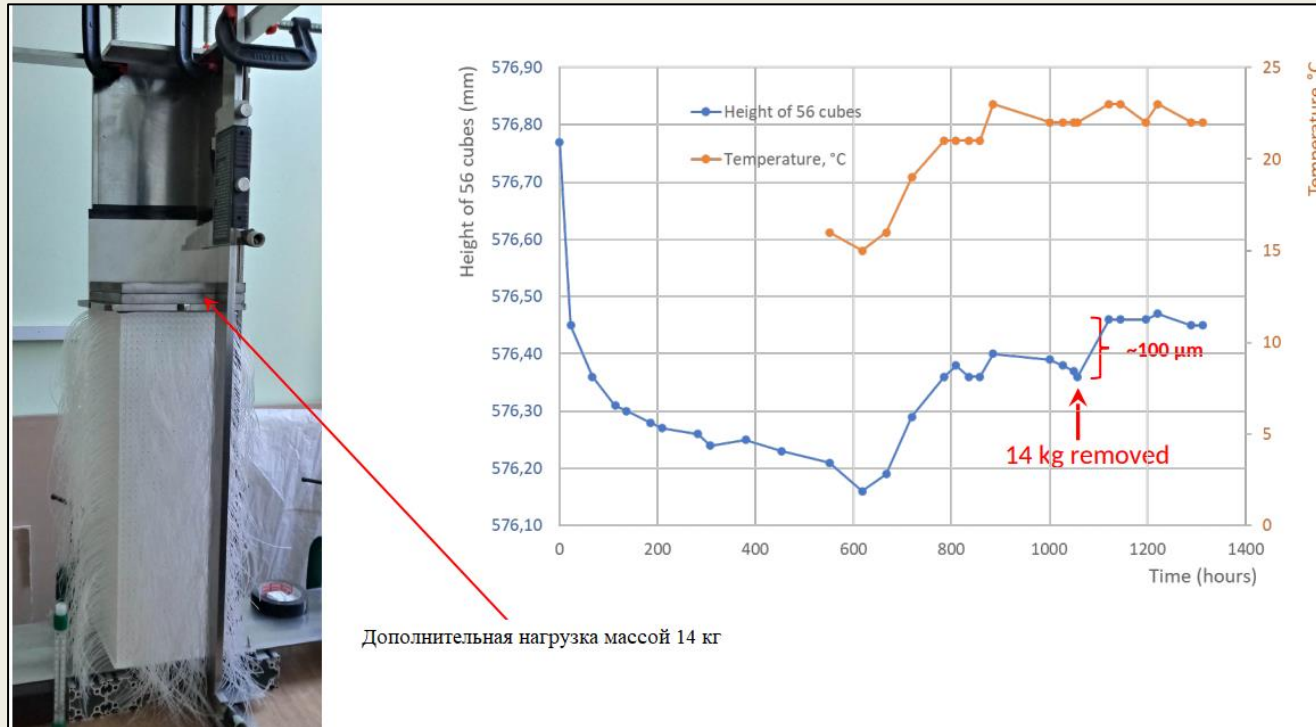


*Полноразмерный прототип,
состоящий из 5 плоскостей 192
× 184 кубика.*



*Фотография прототипа после
замены в нескольких каналах лесок
на волокно*

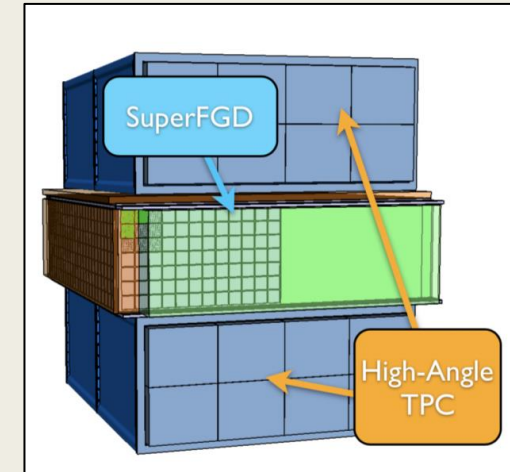
Механический бокс и система калибровки



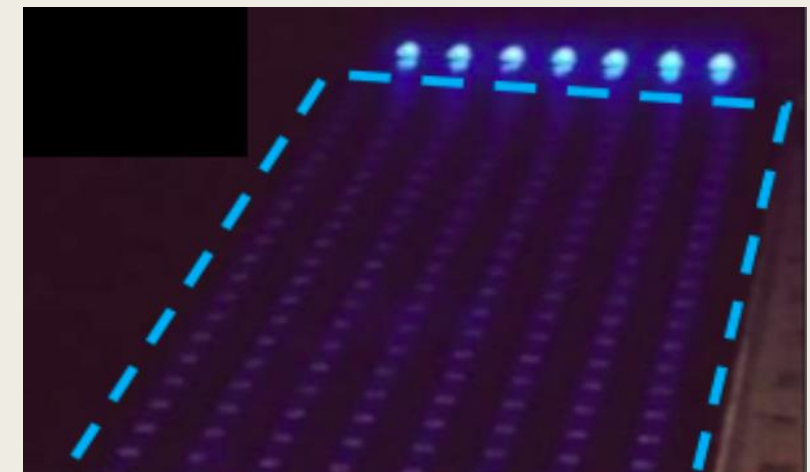
Установка для измерения шага вертикальных отверстий

Шаг отверстий в горизонтальной плоскости: **10.30 мм**

Шаг отверстий в вертикальной плоскости: **10.28 мм**

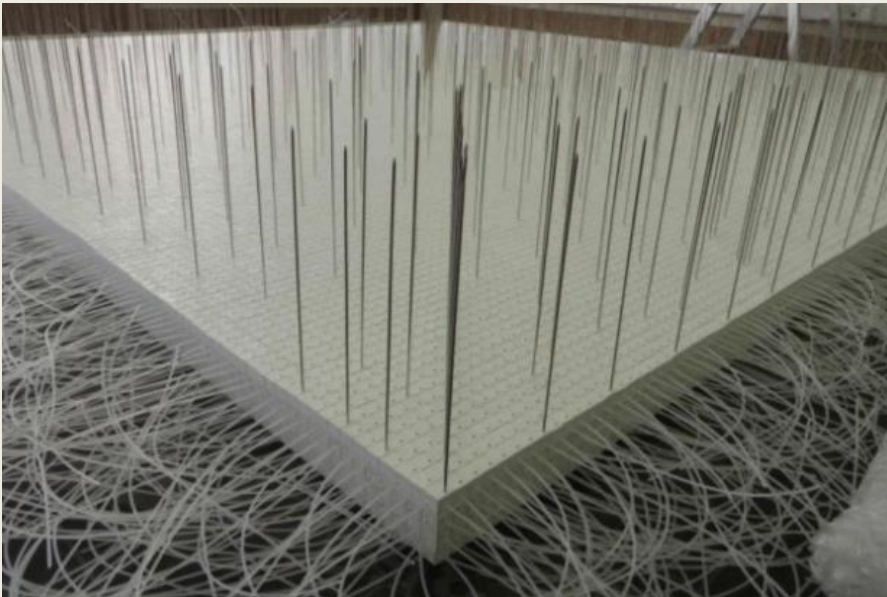


Детектора SuperFGD в ограниченном пространстве между двух камер НА-TPC



Фотография пластины, подсвеченной светодиодами и предназначенной для калибровки MPPC в детекторе SuperFGD 23

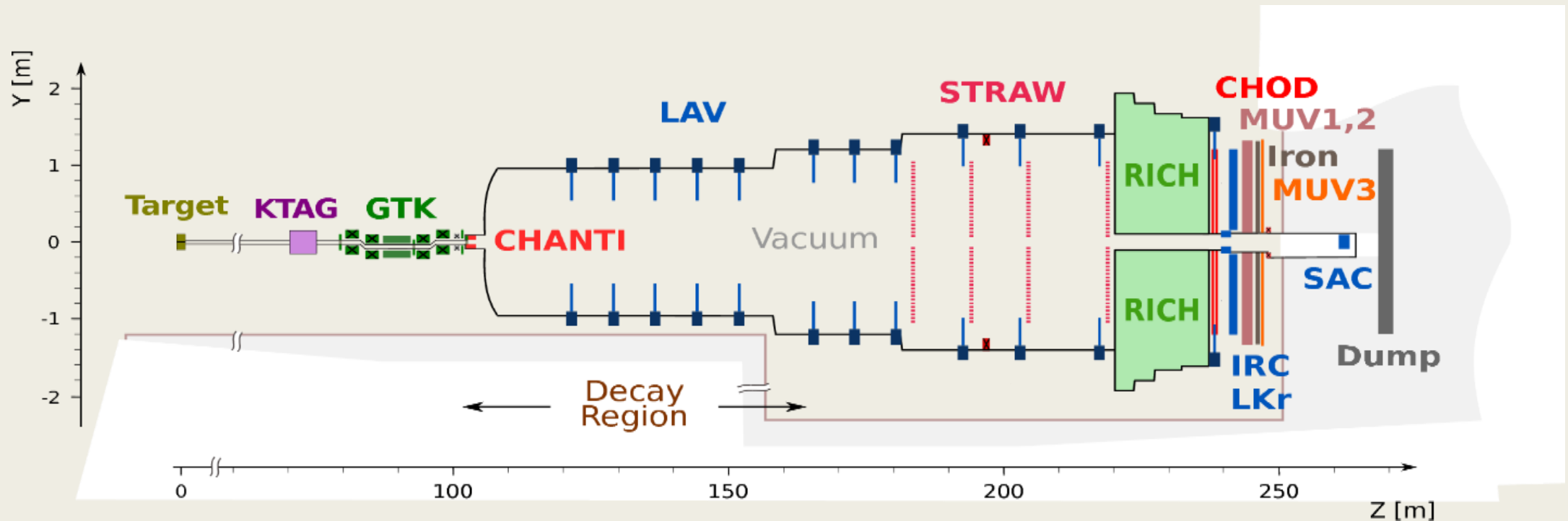
Статус детектора SuperFGD



- Процесс производства сцинтилляционных кубиков был завершен
- 56 собранных на лесках плоскостей 192×184 кубика готовятся к для сборки на лесках третьей компоненты
- На пучке заряженных частиц ускорителя PS в CERN были осуществлены тесты двух прототипов детектора SuperFGD, состоящих из 125 ($5 \times 5 \times 5$) и 9216 ($24 \times 8 \times 48$) сцинтилляционных кубиков. В результате тестов были получены основные параметры прототипов.
- Контроль за геометрическими размерами и сцинтилляционными свойствами кубиков осуществлялся на протяжении всего процесса изготовления детектора SuperFGD. В ходе тестов не было выявлено ни одного кубика с низким световыходом, а процент «хороших» (по геометрическим параметрам) кубиков, отобранных для сборки в детекторе, достиг 95%

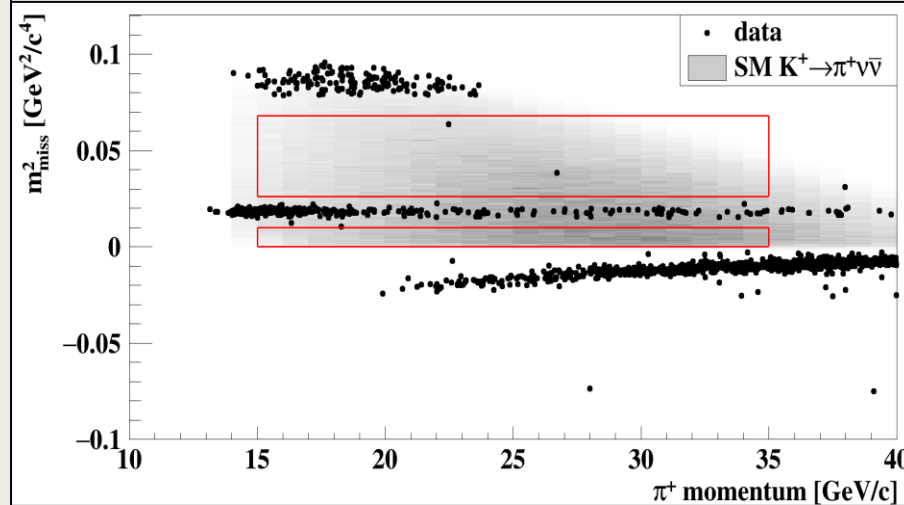
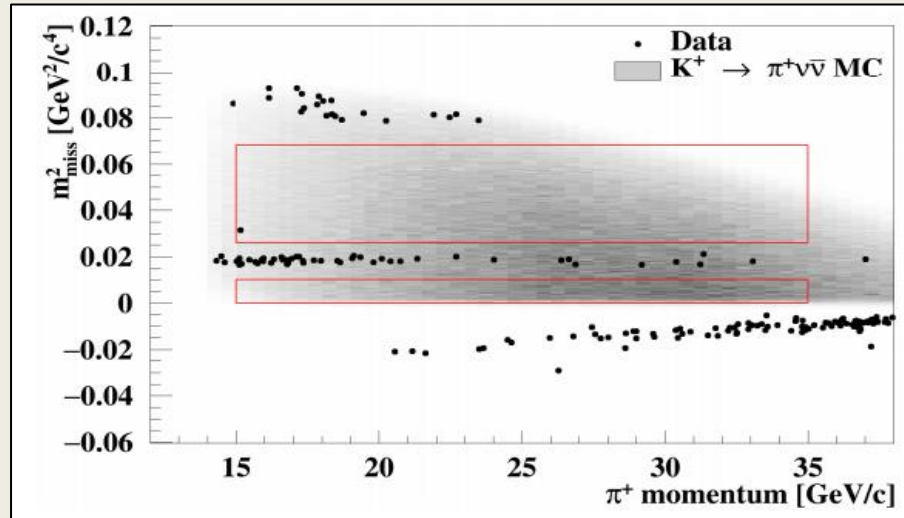
Эксперимент NA62 (CERN)

arXiv: 1703.08501

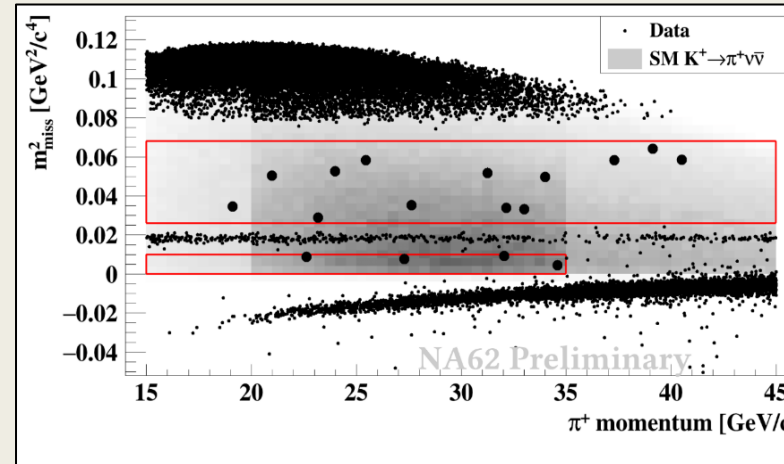


- Differential Cherenkov counter (KTAG), GigaTracker (GTK), Charged ANTI (CHANTI) detector для идентификации и определения направления движения каонов;
- Spectrometer (STRAW), Charged-particle hodoscope (CHOD), Ring-imaging Cherenkov counter (RICH) для идентификации и определения направления движения пионов;
- Large angle veto detector (LAV), Liquid Krypton Calorimeter (LKr), Small angle veto detectors (IRC, SAC) – фотонная veto система;
- MUV1,2,3 – детекторы мюонного veto

Эксперимент NA62 (CERN)



За **2016 и 2017** годы зарегистрировано **3 события** при ожидаемом фоне 1.65 ± 0.31 событий



	2018 data
Expected SM signal	7.58(40)_{syst}(75)_{ext}
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 (\gamma)$	0.75(4)
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu (\gamma)$	0.49(5)
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ e^- \nu$	0.50(11)
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	0.24(8)
$K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$	< 0.01
$K^+ \rightarrow \pi^0 l^+ \nu$	< 0.001
Upstream	$3.30^{+0.98}_{-0.73}$
Total background	$5.28^{+0.99}_{-0.74}$

За **2018** год зарегистрировано **17 событий** при ожидаемом фоне **5.3 события**

Всего за **три года** работы эксперимента было зафиксировано **20 событий** при ожидаемом уровне **фона в 7 событий**. Исходя из полученных результатов была определена вероятность распада:

$$\text{BR}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \tilde{\nu}) = (11.0^{+4.0}_{-3.5 \text{ stst.}} \pm 0, 3_{\text{syst.}}) \times 10^{-11} (3.5\sigma)$$

Эксперимент NA62 после LS2



График работы ускорительного комплекса в CERN

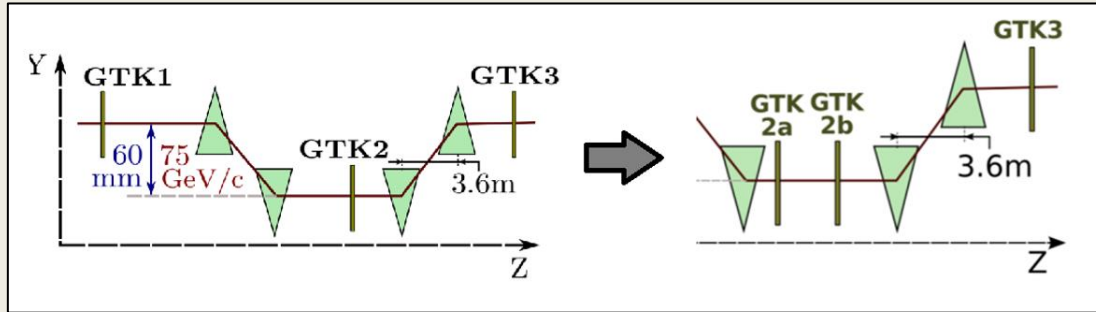


Схема расположения станций GTK. Слева: до установки 4 станции, справа: после установки

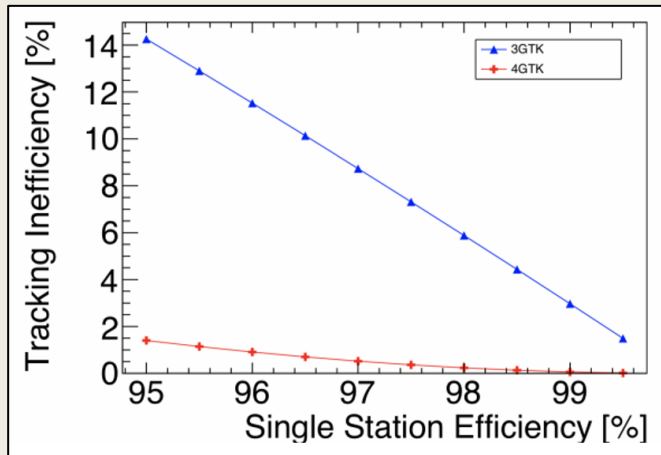


График зависимости неэффективности восстановления трека от эффективности регистрации одиночной станции для трех (синяя линия) и четырех (красная линия) станций GTK

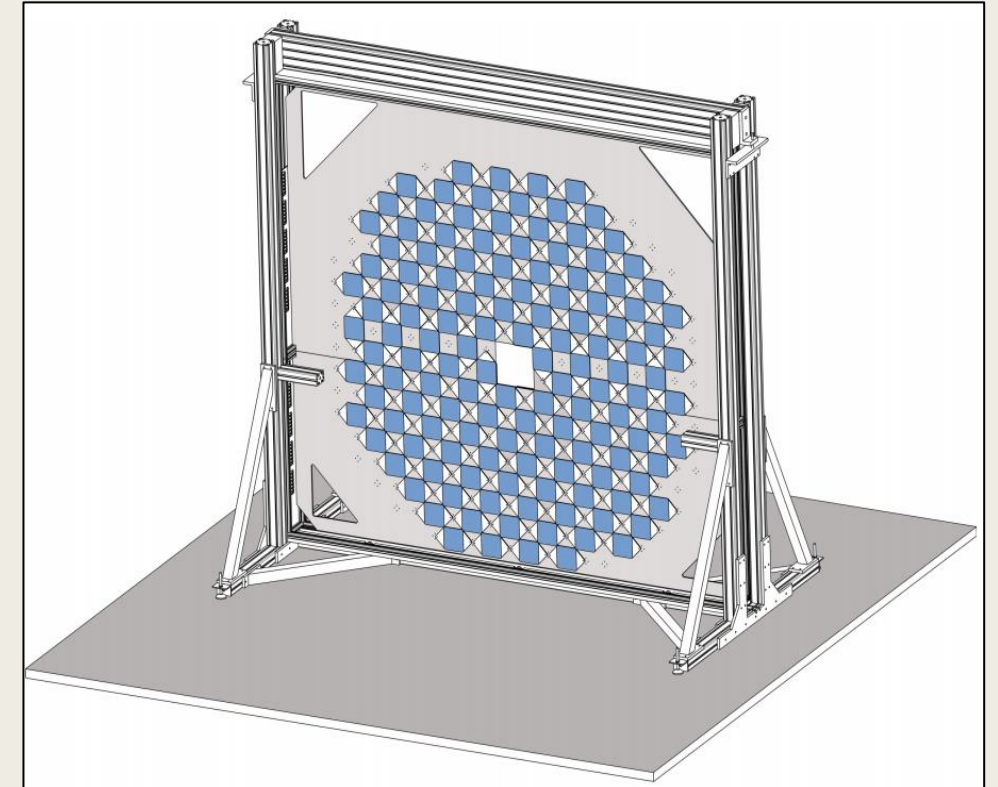


Схема детектора ANTI-0

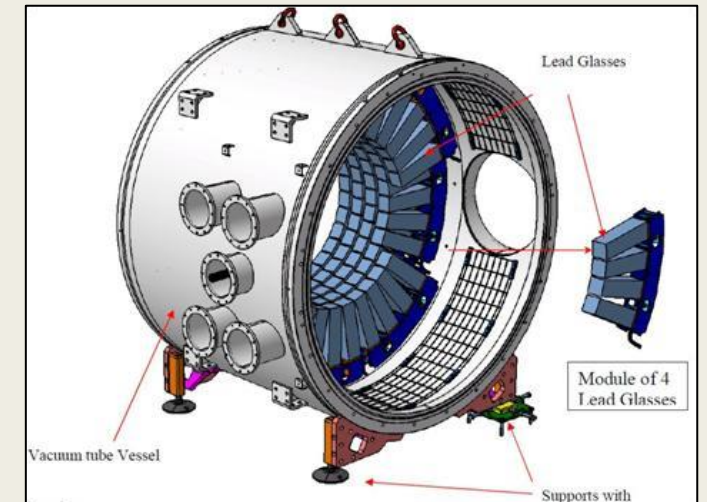
Эксперимент NA62 после LS3



График работы ускорительного комплекса в CERN

Detector	Source: Π^+ [MHz]	Source: K^+ [MHz]	Source: Π^- [MHz]	Source: K^- [MHz]	Total [MHz]
LAV 1	1.1	0.34	0.29	0.04	1.77
LAV 1-12	5.8	3.66	1.58	0.17	11.21
STRAW 1	2.3	3.5	0.21	0.02	6.08
RICH	2.68	4.81	0.16	0.03	7.68
IRC	4.0	0.65	0	0	4.65
LKr	2.86	5.22	0.16	0.01	8.25

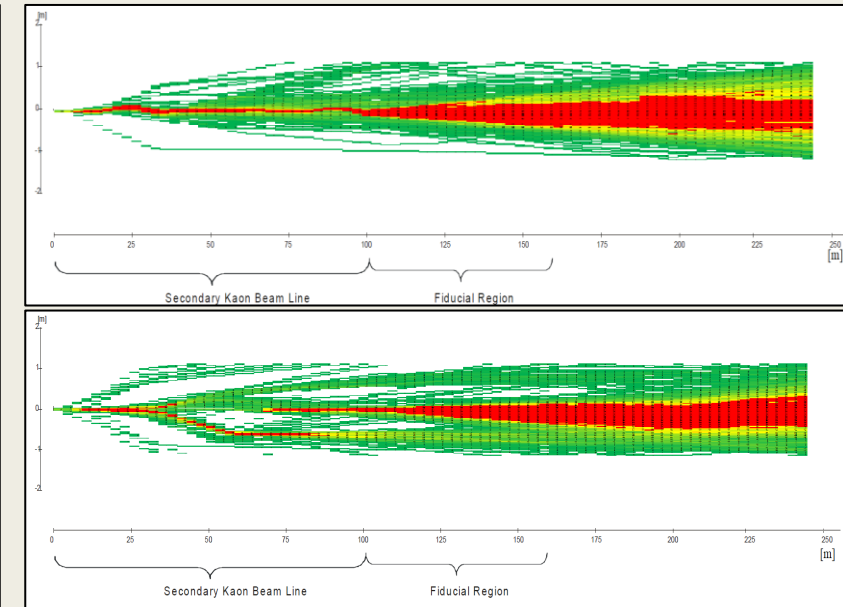
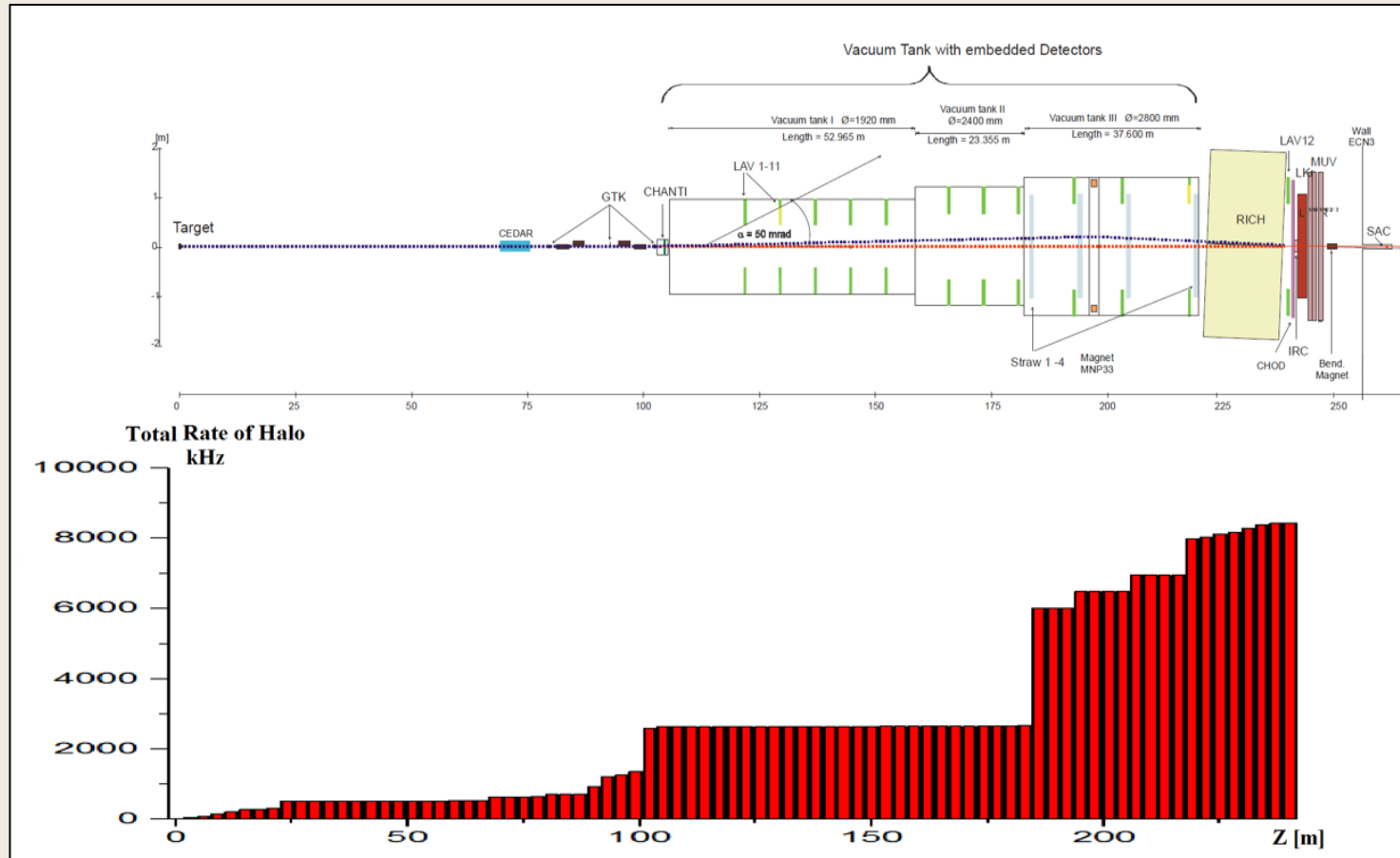
Загрузка мюонами гало отдельных систем экспериментальной установки NA62 при номинальной интенсивности пучка



Если рассмотреть систему **LAV**, то **при номинальной интенсивности** пучка **процент ложных срабатываний** от мюонов гало **~10%**, а при переходе **в режим высокой интенсивности**, он уже достигнет **~50%**.

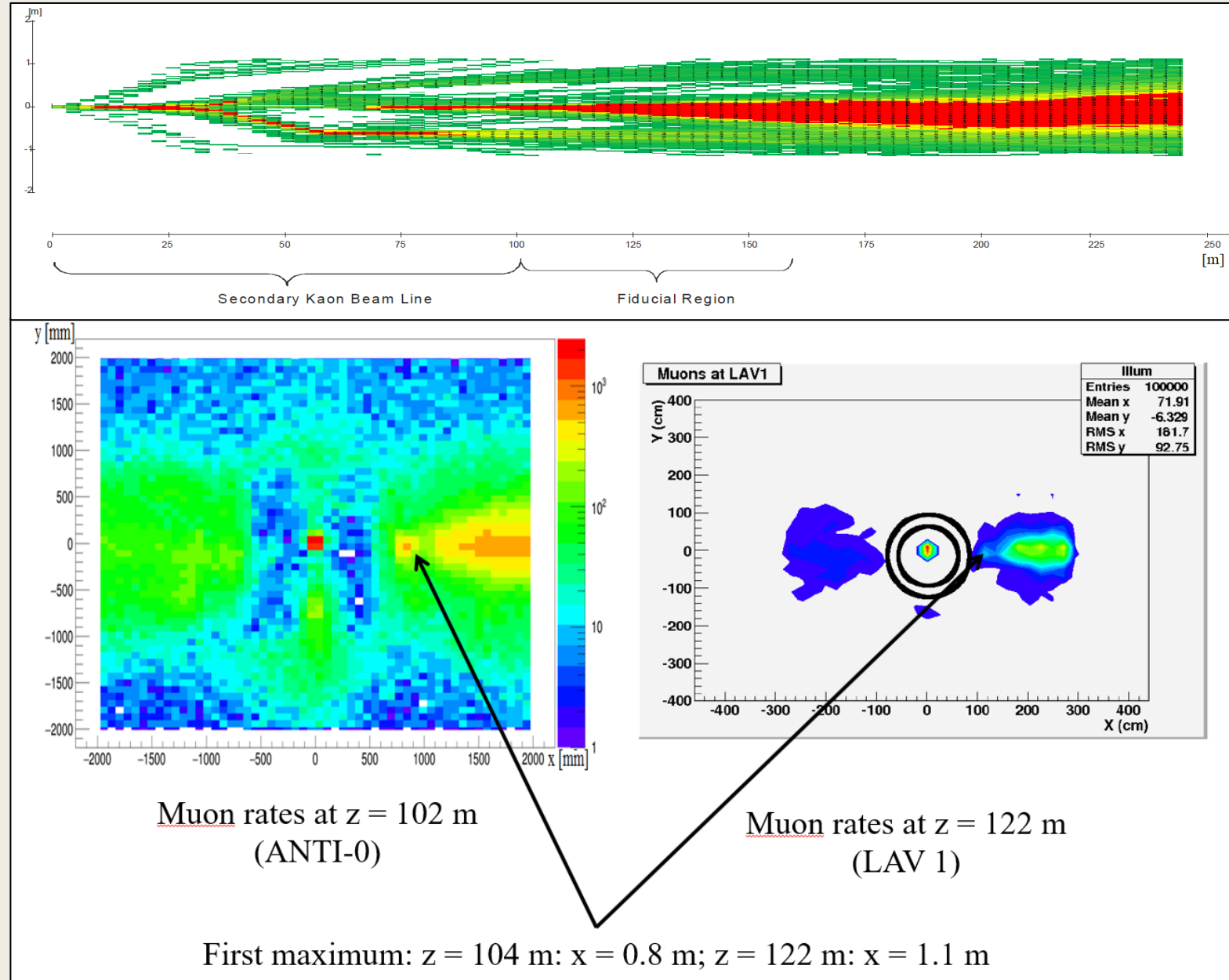
Мюонное гало в эксперименте NA62

Интенсивность мюонов гало, попавших в LKr, вдоль линии эксперимента

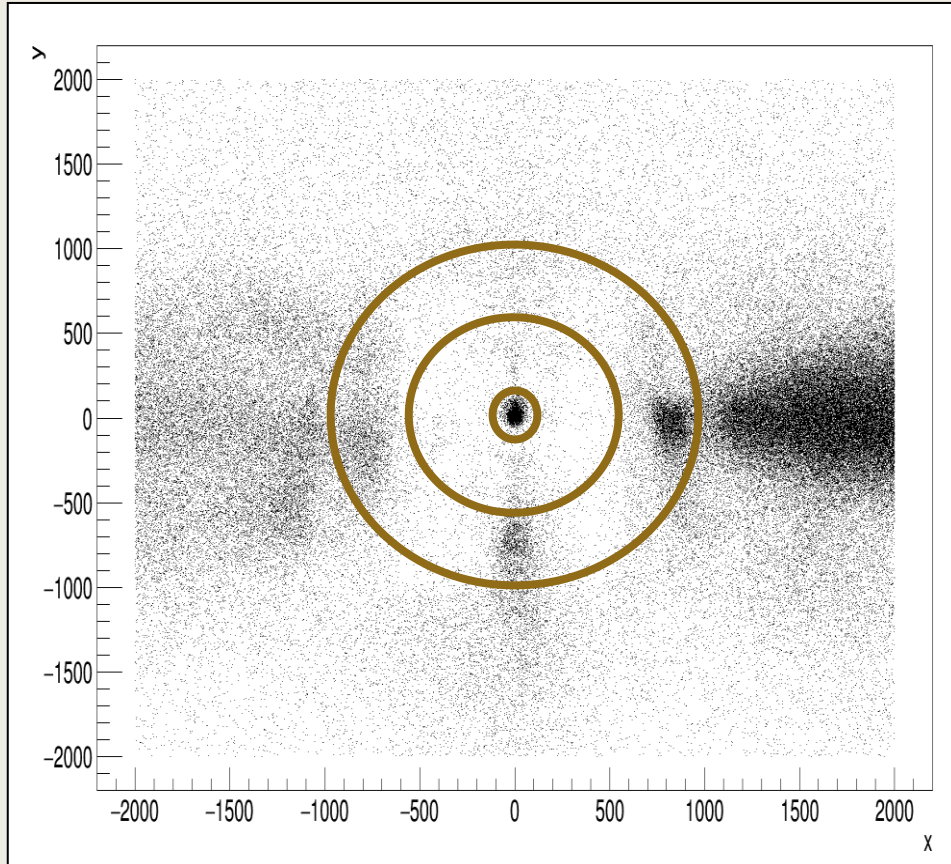


Вертикальное и горизонтальное распределение потока мюонов от источника π^+ , которые пересекли детектор LKr

Мюонное гало в эксперименте NA62

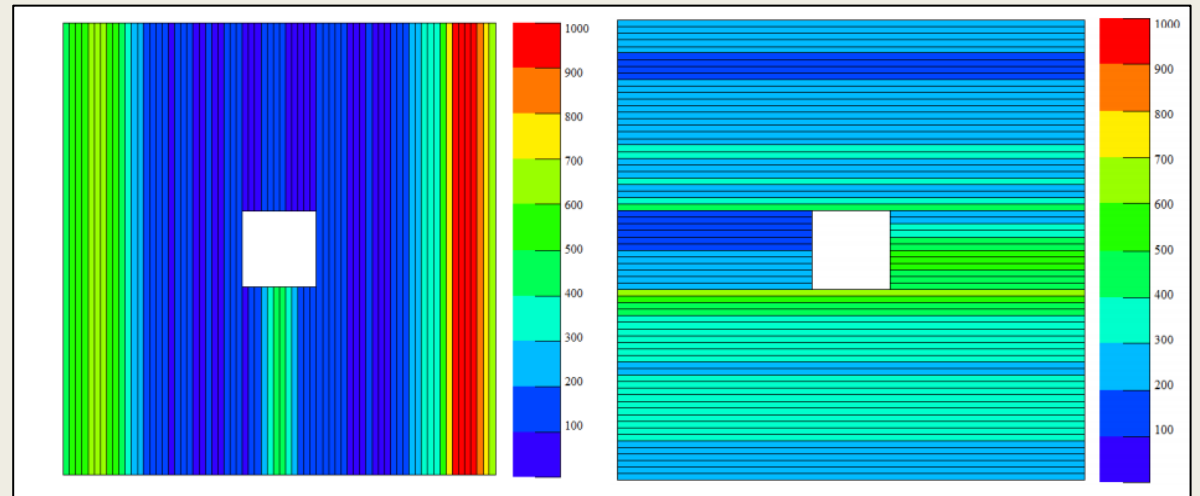
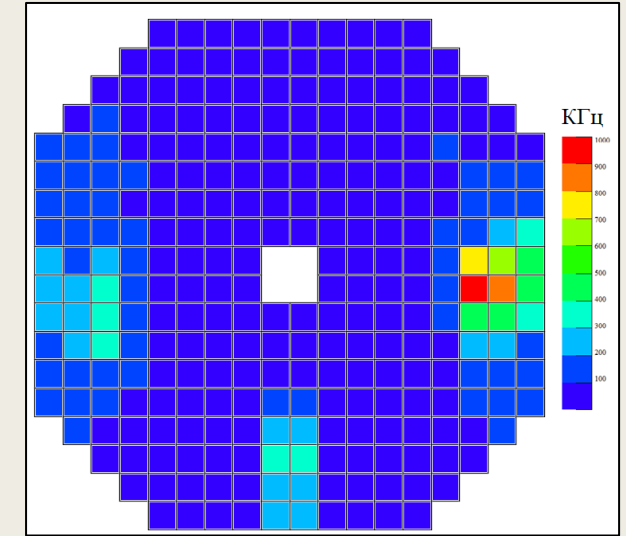


Интенсивность мюонного гало перед распадным объемом и детектор ANTI-0

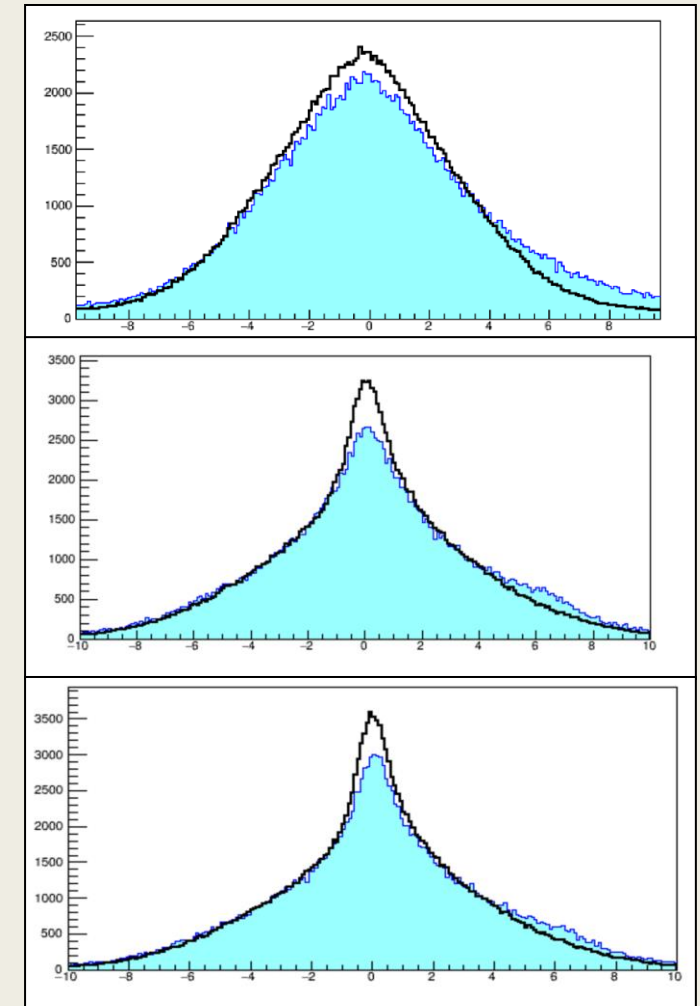
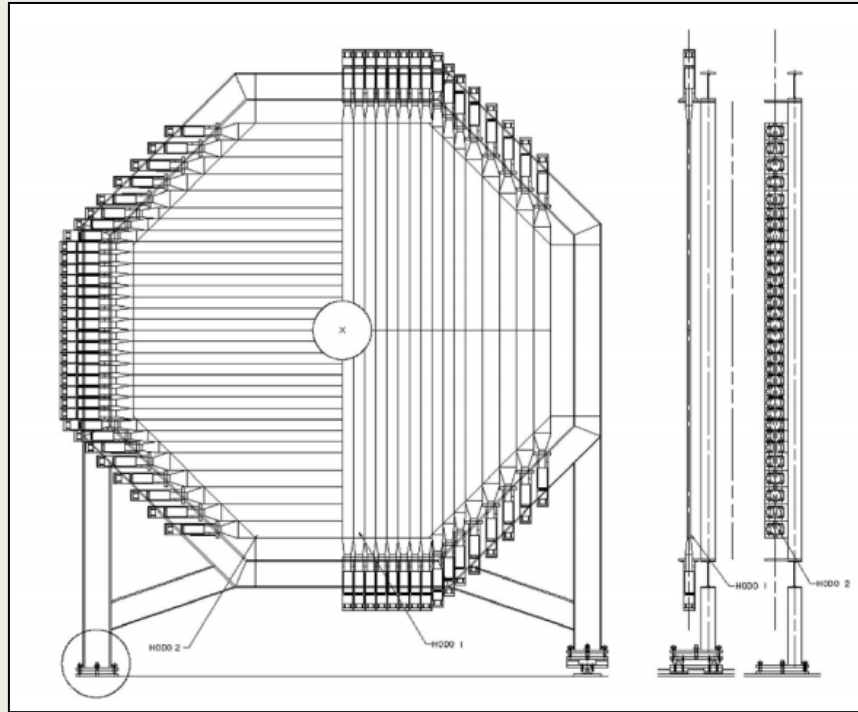


Интенсивность мюонов гало перед распадным объемом

Загрузка отдельных элементов детектора ANTI-0 однослойной и двухслойной структуры. В двух случаях общая нагрузка детектора мюонами гало ~ 24 МГц, а максимальная нагрузка отдельного элемента > 1 МГц



Детектор CHOD



Временное разрешение детектора CHOD до и после первой и второй временной коррекции

В процессе использования детектора **CHOD** на пучке в его работе был обнаружен ряд проблем:

- Детектор испытывал **высокую загрузку** при которой осуществление корреляции между событиями в двух слоях была крайне затруднительна;
- Детектор обладал **низким** онлайн (до временных коррекций) **временным разрешением**.

Поэтому было принято решение о создании нового детектора **NewCHOD**

Детектор NewCHOD

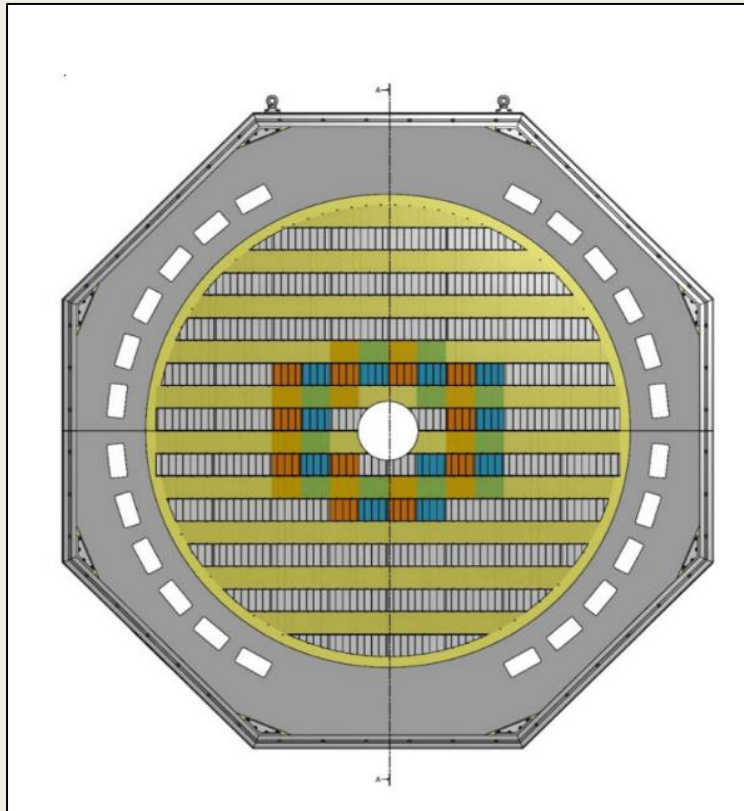
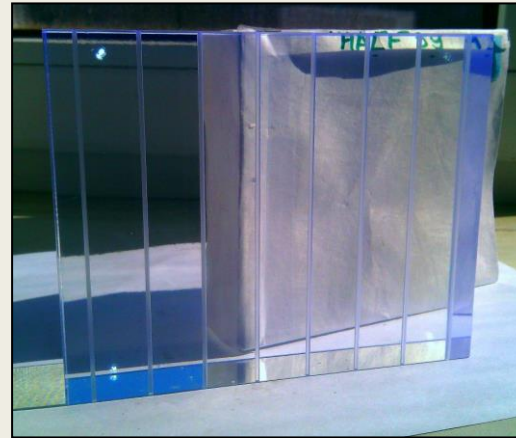
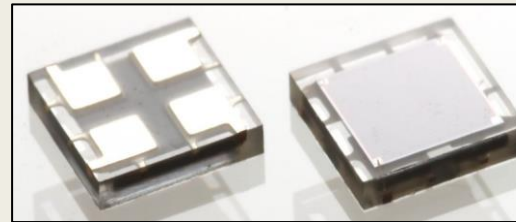


Схема детектора **NewCHOD**



Сцинтиллятор производства ИФВЭ (Протвино)



Фотосенсоры *SenseL SiPM MicroFC-30035-SMT*

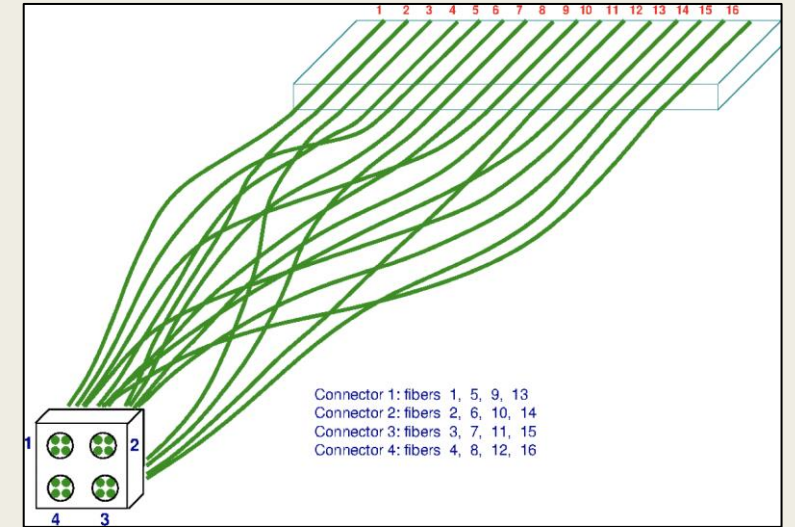


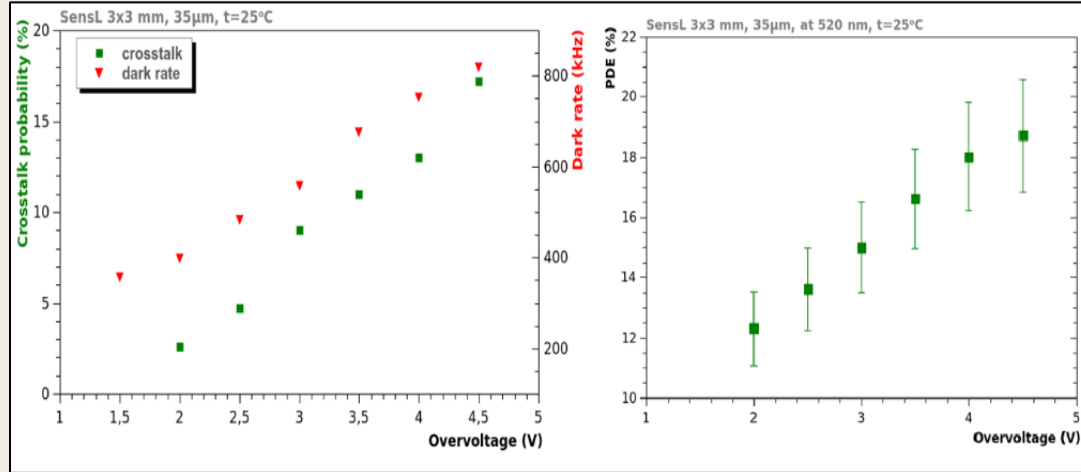
Схема объединения волокон в группы для больших сегментов

Размеры сегментов:

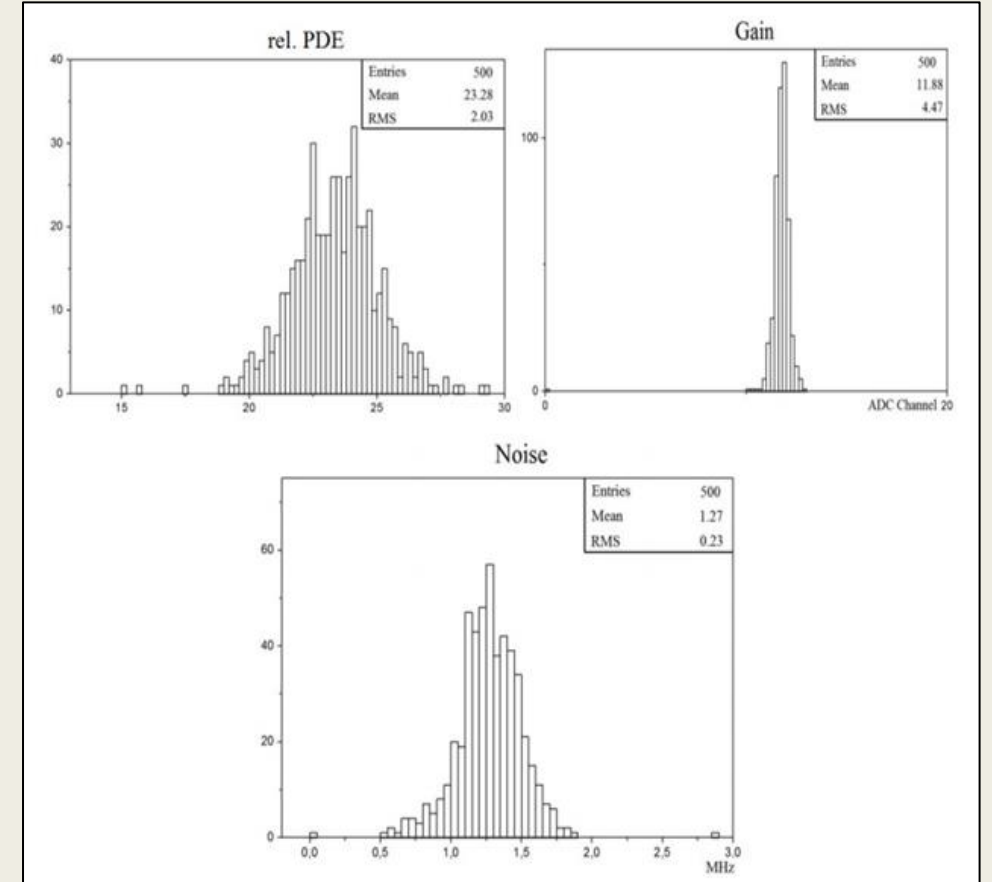
На периферии детектора **286×108×30 мм³**

В центральной области детектора **134×108×30 мм³**

Тестирование фотосенсоров детектора NewCHOD



Основные зависимости для SiPM MicroFC-30035-SMT при температуре 25°C. Слева: графики зависимости crosstalk и темнового тока от перенапряжения, справа: график зависимости PDE от перенапряжения



Гистограммы относительного PDE (rel. PDE), усиления (Gain) и шума (Noise) для SiPM MicroFC-30035-SMT

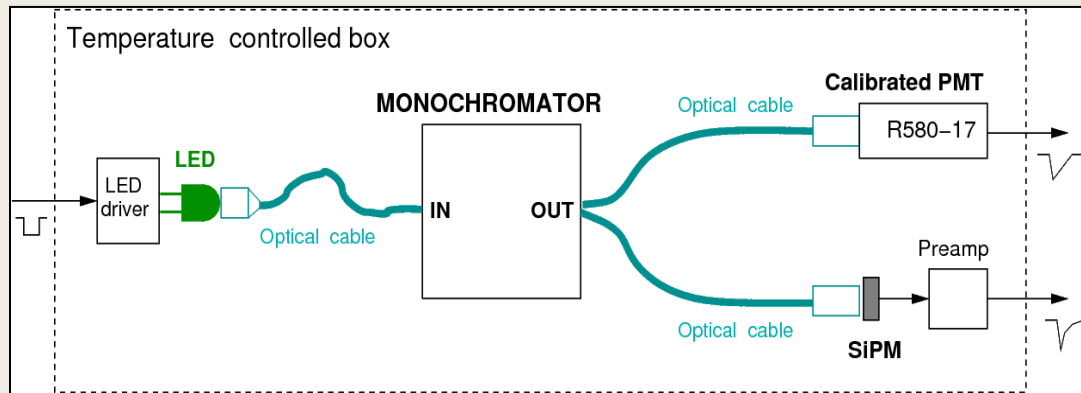
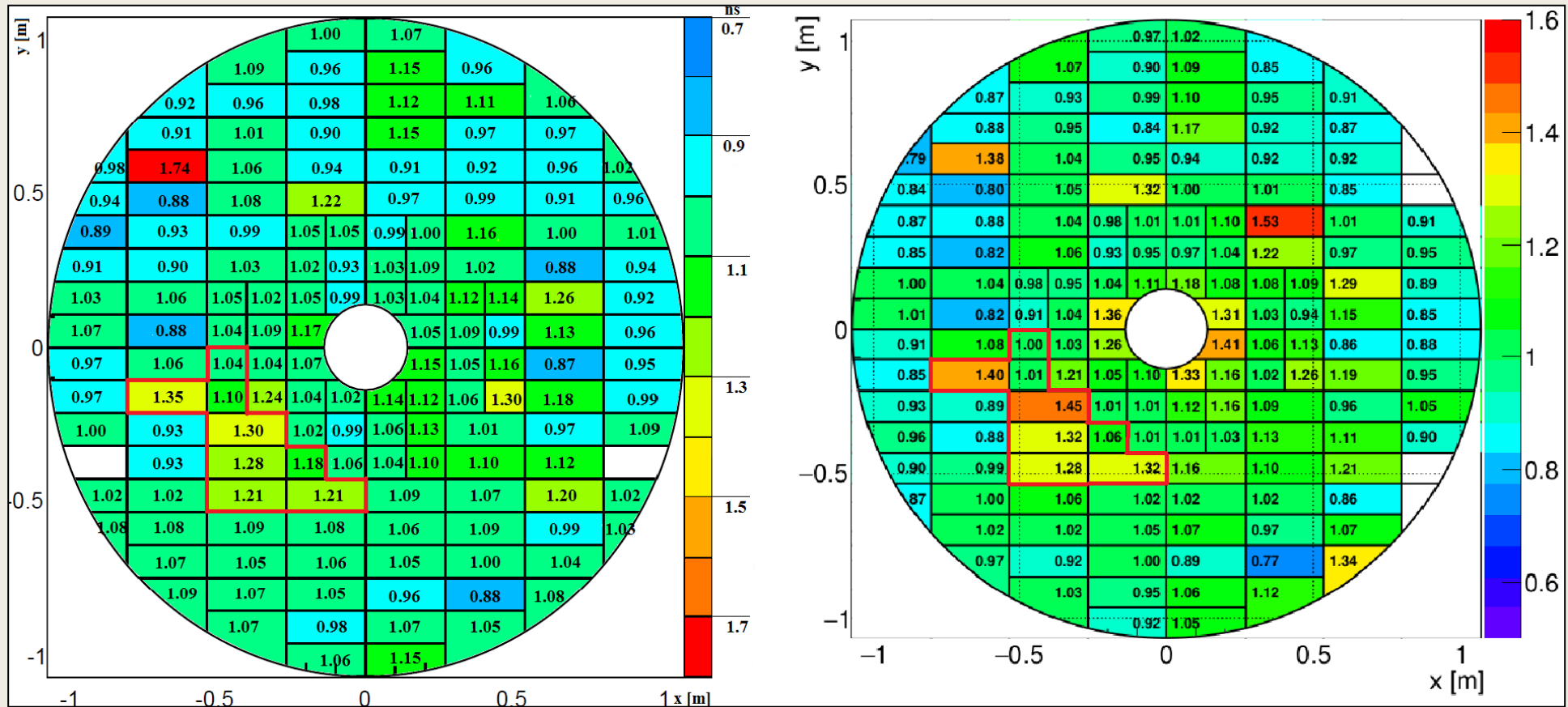


Схема экспериментальной установки

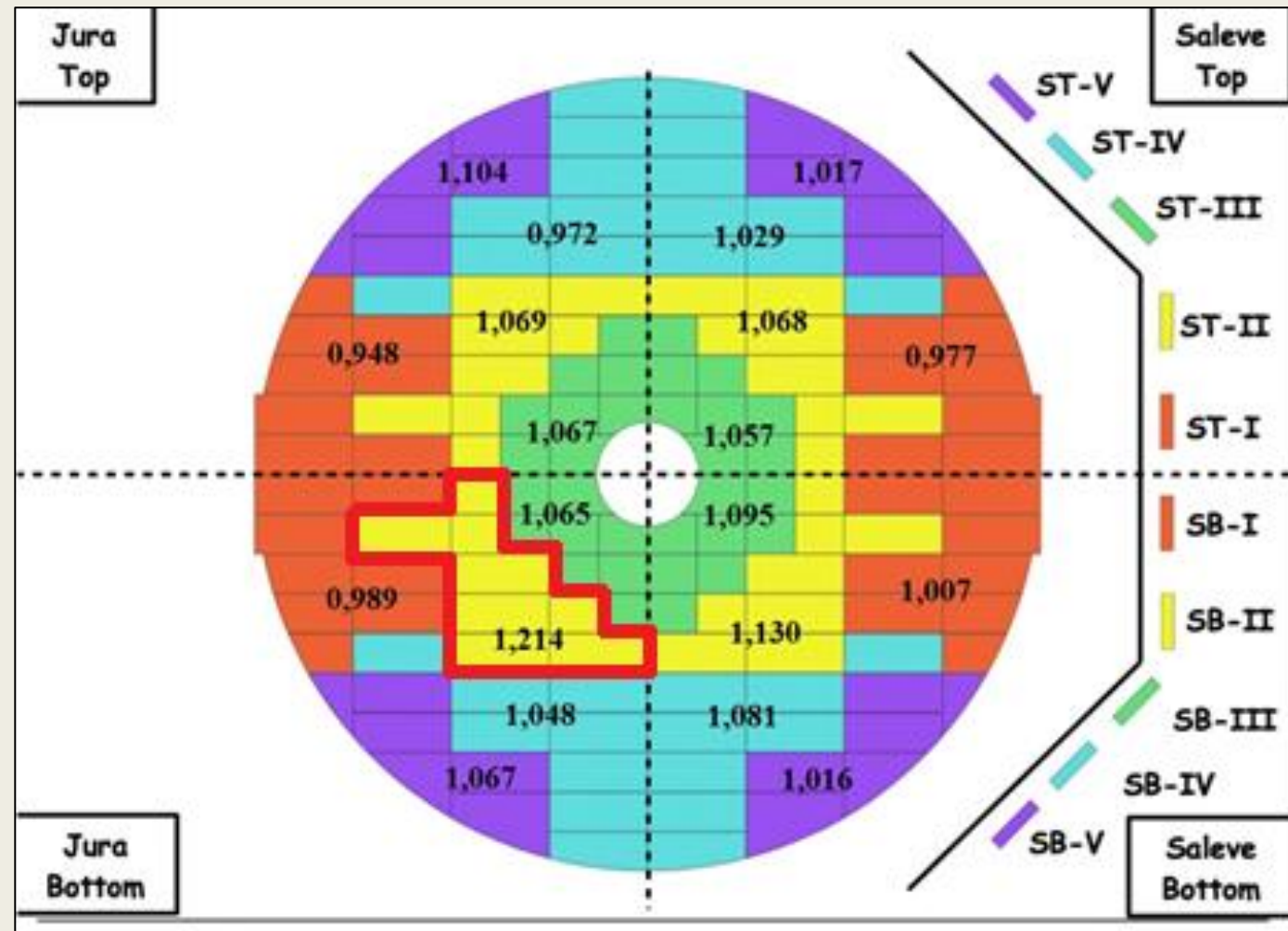
Временное разрешение детектора NewCHOD



Временное разрешение отдельных сегментов в нс

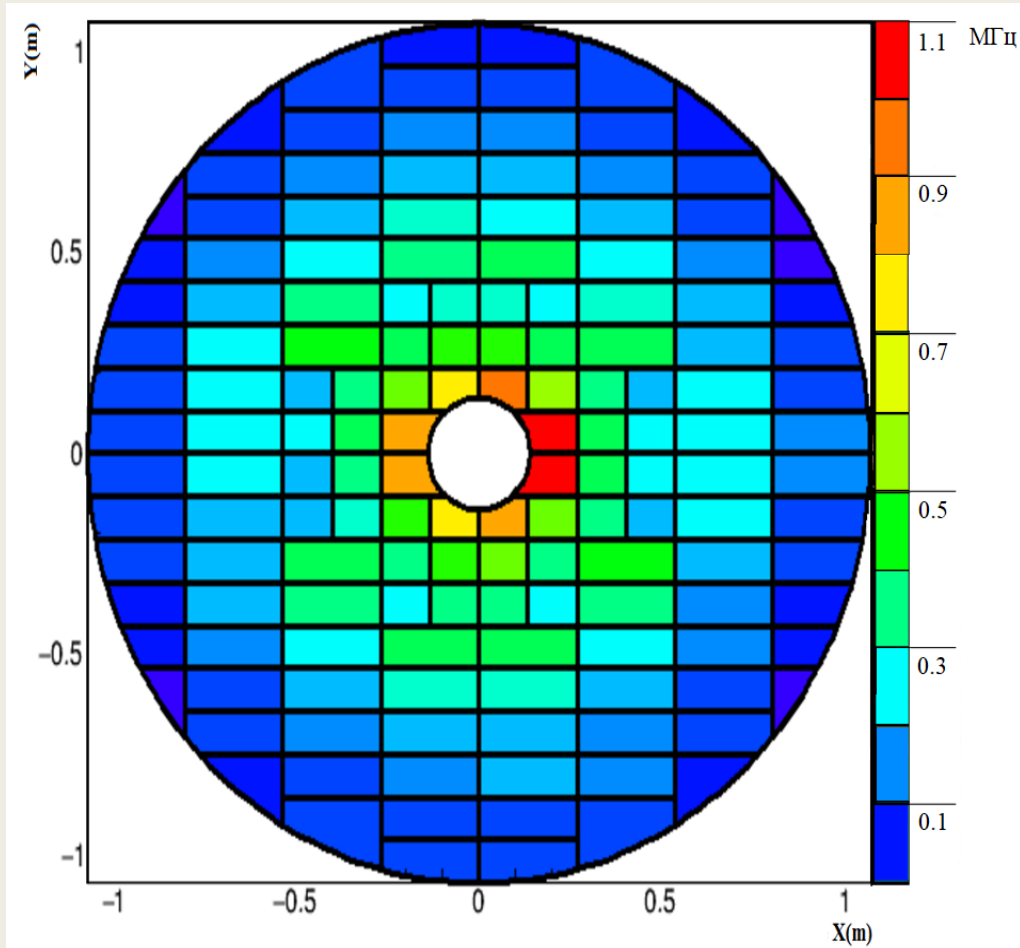
Среднее временное разрешение отдельного сегмента ~ 1.1 нс, что практически в три раза лучше, чем временное разрешение CHOD до временных коррекций

Временное разрешение детектора NewCHOD



Сегменты, выделенные красным, имеют временное разрешение в среднем на ~ 0.2 нс выше, чем остальные. Это было вызвано тем, что сегменты из этой группы были подключены к одной бракованной электронной плате. Данная плата была заменена перед сеансом 2017 года

Загрузка/статус детектора NewCHOD



Загрузка элементов детектора при номинальной интенсивности пучка < 1 МГц

- Детектор NewCHOD был установлен в экспериментальном холле (между детектором RICH и последней станцией LAV) и включен в триггерную систему в 2016 году
- Детектор NewCHOD использовался в нулевом уровне триггерной системы, обеспечивающем снижение частоты входящих данных до 1 МГц, в 2016, 2017 и 2018 годах
- В 2018 году детектор использовался для контроля качества пучка в эксперименте NA62
- За время набора статистики детектор работал стабильно, без значительных сбоев и остановок

Основные результаты и выводы

1. Был разработан новый сцинтилляционный высокосегментированный ближний детектор нейтрино **SuperFGD** для эксперимента **T2K**.
2. Был разработан метод сборки сотен тысяч сцинтилляционных кубиков в трехмерную структуру.
3. На пучке заряженных частиц ускорителя Proton Synchrotron в CERN были осуществлены тесты двух **прототипов** нового детектора **SuperFGD**, состоящих из **125 (5×5×5)** и **9216 (24×8×48)** сцинтилляционных кубиков.
 - Среднее значение световыхода **l.y.** (light yield) с одного кубика на одно волокно составило **~40 ф.э./MIP**, а с одного кубика на два волокна **~80 ф.э./MIP**
 - Временное разрешение для одного волокна составило **0.95 нс**, а для двух волокон **0.65–0.71 нс**
 - Оптический crosstalk через одну сторону кубика составил **~3%**
4. Были проведены регулярные тесты и контроль сцинтилляционных параметров и геометрических размеров кубиков детектора SuperFGD.
 - Не было обнаружено ни одного бракованного кубика с низким световыходом (**менее 30 ф.э./MIP**)
 - Точность размеров граней **~30 мкм**
 - Точность позиционирования отверстий **~50 мкм**
5. Было проведено исследование ослабления сигнала в спектросмещающем волокне Kuraray Y11 с использованием ультрафиолетового диода, а также с космическими мюонами.
 - Ближняя длина затухания сигнала для волокон, конец которых был просто отполирован, составила **20.7±0.8 см** для волокон длиной **60 см**; **7.6±1.0 см** для волокон длиной **2 м**
 - Дальняя длина затухания составила **172±5 см** для волокон длиной **60 см**; **304±7 см** для волокон длиной **2 м**

Основные результаты и выводы

6. Была осуществлена сборка на лесках диаметром 1.3 мм **56 плоскостей** детектора **SuperFGD**
 - Каждая плоскость состоит их **192×184 кубиков**, прошедших геометрические тесты. В результате геометрических тестов было отобрано **95% хороших кубиков** для сборки детектора SuperFGD от общего количества кубиков, которые были произведены
7. Было осуществлено моделирование прохождения **гало** каонного **пучка** вдоль линии эксперимента NA62
 - Было показано, что основным источником гало являются **мюоны**, образованные, в основном, из распадов каонов и пионов, а также из неупругих взаимодействий пучка первичных протонов с материалом мишени
 - Более подробно рассмотрено координатное распределение интенсивности мюонного гало в зоне перед распадным объемом. В этой точке планируется установка нового вето детектора **ANTI-0**, предназначенного для регистрации мюонного гало. Было показано, что общая загрузка детектора мюонами гало составит **~24 МГц**.
8. Было осуществлено исследование характеристик, используемых в детекторе **NewCHOD** микропиксельных фотодетекторов **SensL SiPM MicroFC-30035-SMT** с размером активной области 3×3 мм²
 - В результате тестов не было найдено ни одного бракованного фотосенсора, но было обнаружено, что абсолютное значение **PDE** для света с длиной волны в 520 нм при перенапряжении на фотосенсоре в 4.5 В составило **20%**, что заметно ниже, чем указано в спецификациях производителем
9. После установки в экспериментальном зале и включения детектора **NewCHOD** в триггерную систему эксперимента NA62, было произведено изучение и осуществлен контроль за стабильностью его основных параметров
 - Загрузка отдельных элементов не превышала **1 МГц**
 - Среднее временное разрешение сегментов составило **~1.1 нс**



**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ**

