

Модернизация детектора ДАНСС для улучшения энергетического разрешения

Дмитрий Свирида от коллаборации ДАНСС

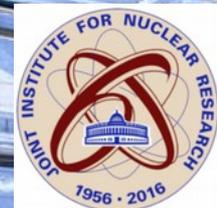
Сессия-конференция секции
ядерной физики ОФН РАН
«Физика фундаментальных
взаимодействий»



Российская Академия Наук



ИЯФ СО РАН,
Новосибирск,
10-14 марта
2026



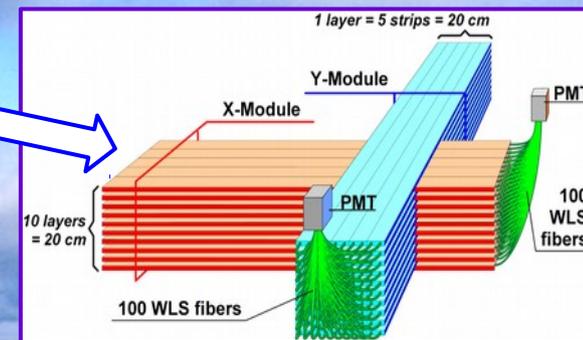
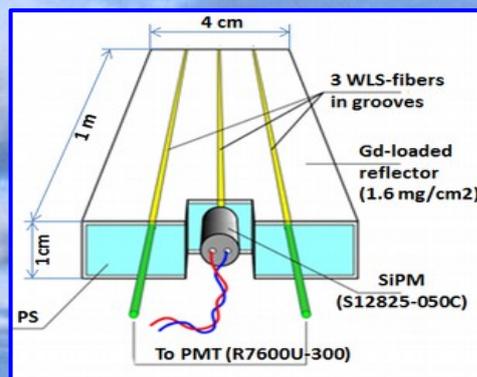
DANSS — Detector of reactor Anti-Neutrino based on Solid-state Scintillator

Уникальное расположение

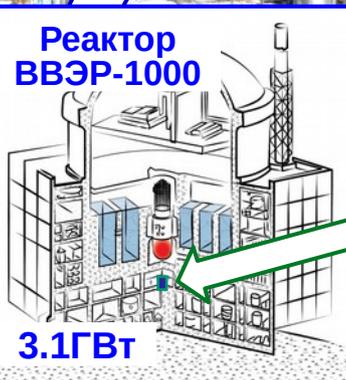
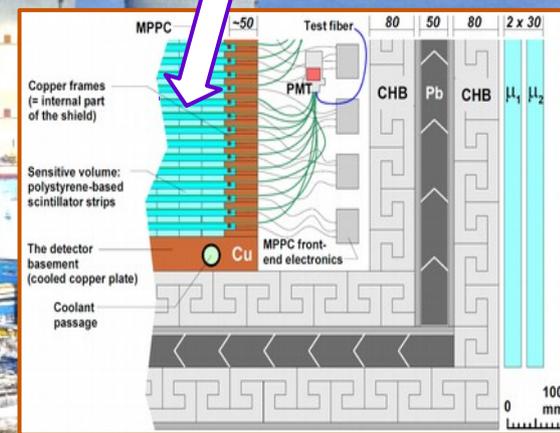
- ✓ 10.9 – 12.9 м от центра АЗ
- ✓ Экранировка космики 50 м.в.э.
- ✓ Еженедельное перемещение
- ✓ **Безопасность и сегментация**
- ✓ 1 м³ сцинтилляционных стрипов из полистирола 10x40x1000 мм³ с Gd-покрытием и светосбором по 3 спектросмещающим волокнам
- ✓ 100 слоев с чередованием направления, 25 стрипов в слое
- ✓ Среднее волокно – КФУ, 2500 каналов
- ✓ Два крайних волокна от 50 стрипов одного направления – ФЭУ, 50 шт.

Многослойная герметичная защита

- ✓ Cu (5 см) + СНВ (8 см) + Pb (5 см) + СНВ (8 см) пассивная защита
- ✓ 2-слойное μ -вето на 5 сторонах
- ✓ **Гибкая система DAQ**
- ✓ Оцифровщики формы сигнала 125 МГц



Калининская АЭС
4 блок



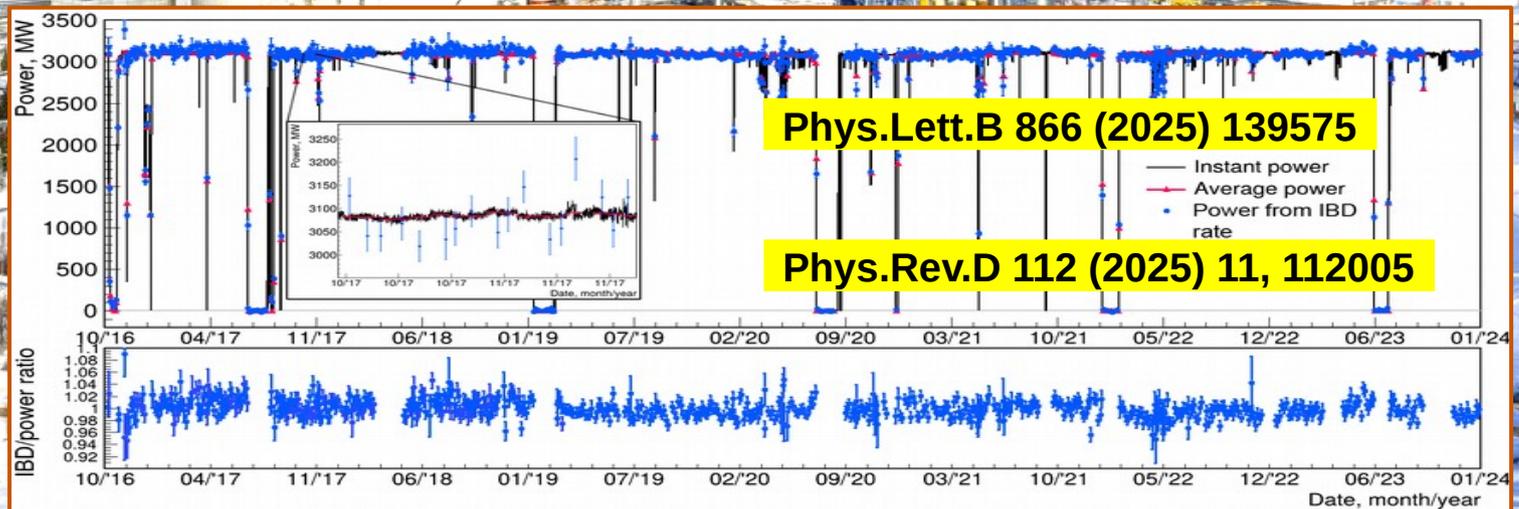
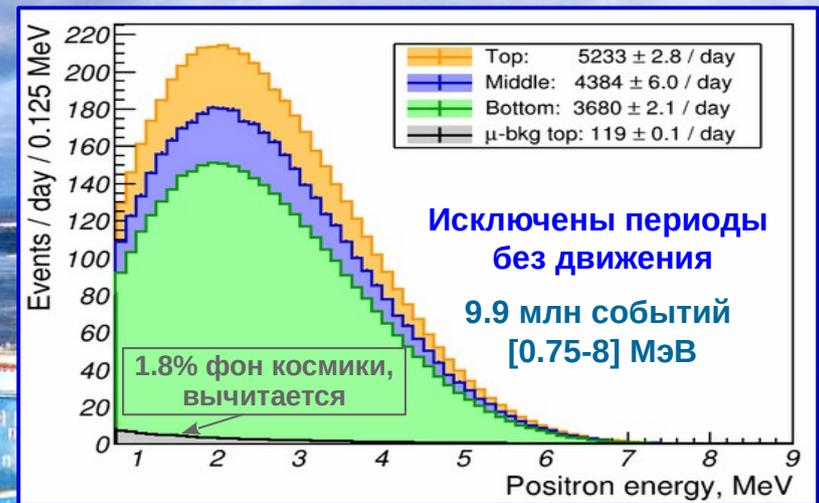
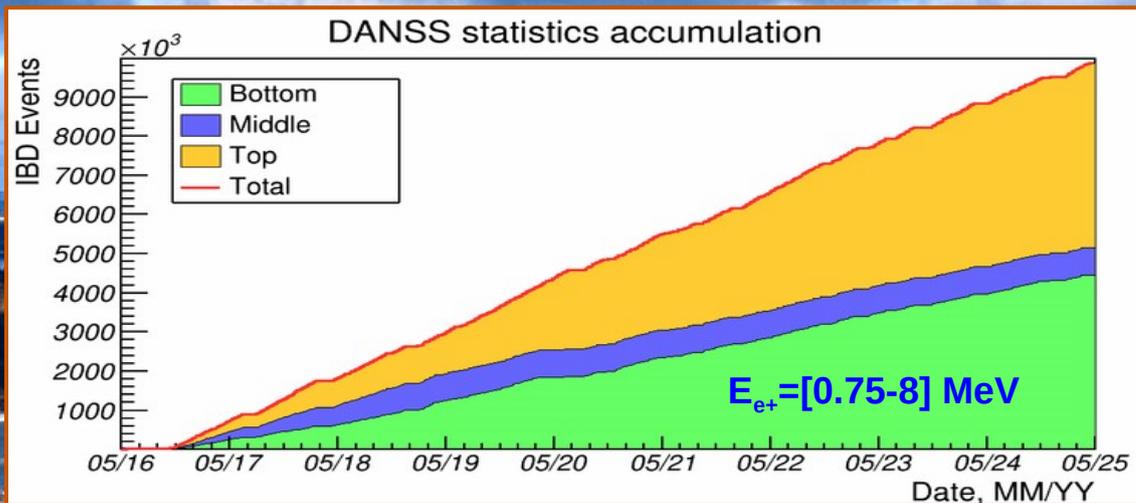
ИЯФ СО РАН, Новосибирск
2026 10-13 марта

Российская Академия Наук
Секция ядерной физики

JINST 11 (2016) P11011

Рекордные Показатели

- ✓ 9.5 лет исключительно стабильной и почти непрерывной работы,
 - ✓ ~10 млн. нейтринных событий обработано (по май 2025), ожидается еще 0.8 млн.
 - ✓ > 5000 событий/день в верхнем положении, > 50:1 отношение сигнал/фон
 - ✓ 5 полных топливных кампаний, 6 периодов выключения
 - ✓ Мониторинг мощности с систематической погрешностью 0.8%
 - ✓ Старение пластика 0.55% в год
- JINST 19 (2024) P04031**



ИЯФ СО РАН, Новосибирск
2026 10-13 марта

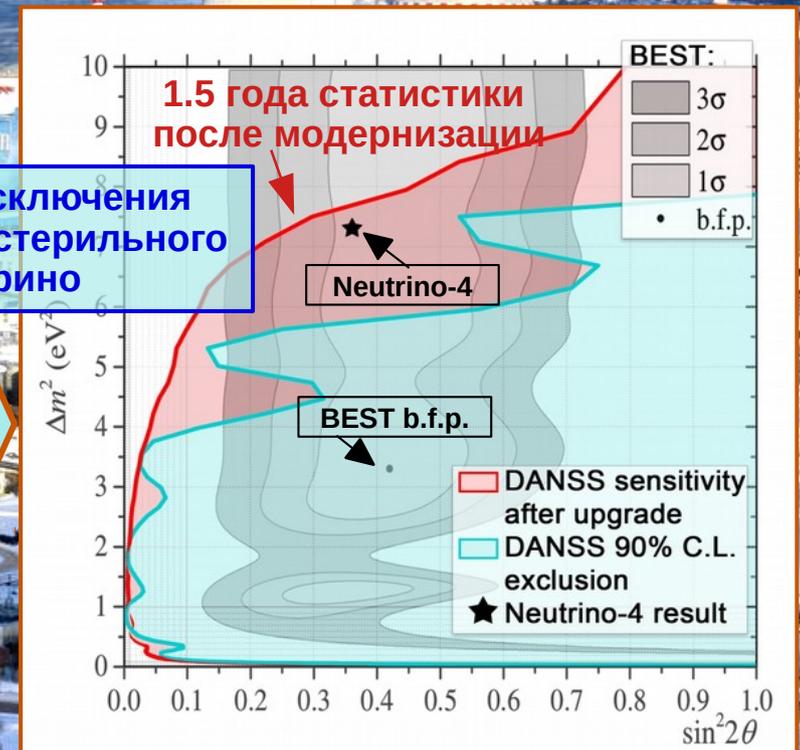
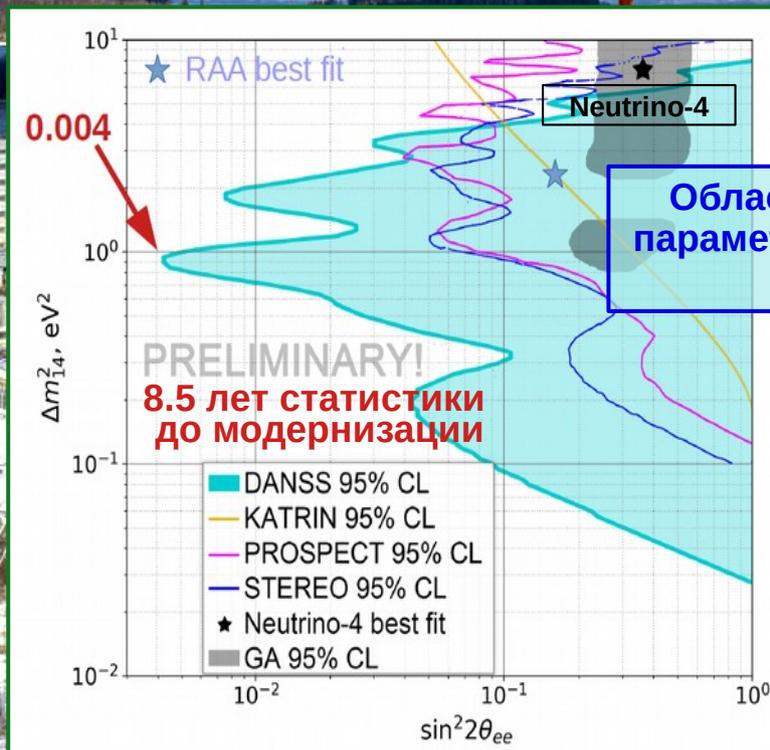
Зачем Нужна Модернизация

Почти единственный, но очень существенный недостаток:

- ✓ Энергетическое разрешение **34% @ 1 МэВ**
- ✓ **18.9 (КФУ) + 15.3 (ФЭУ) = 34.2 ф.э./МэВ**, неравномерность светосбора **8% r.m.s.**
- ✓ Другие неоднородности, например толщины Gd-содержащего покрытия
- ✓ В событиях с одним срабатыванием (~30%) нет коррекции продольного затухания
- ✓ Ограничивает чувствительность к фундаментальной физике, хотя многое достигнуто (Н.Скрябина, **10 марта 16:40**, секция «Физика нейтрино») !

Цели и ожидания от модернизации:

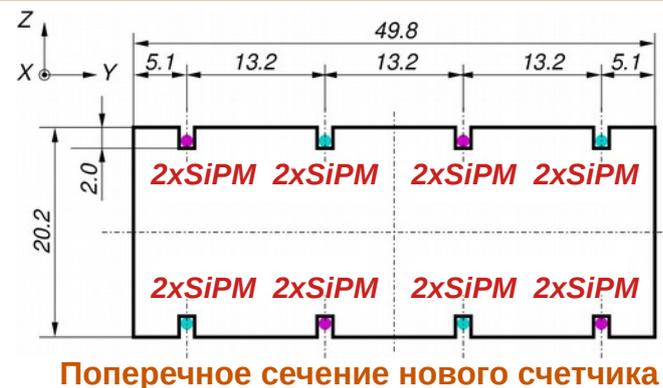
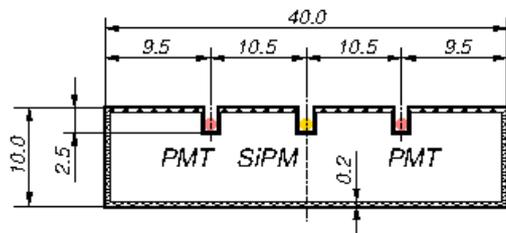
- ✓ Улучшить энергетическое разрешение до **10-12% @ 1МэВ**
- ✓ Увеличить чувствительный объем – почти **удвоение** скорости счета
- ✓ Продольная координата из времени – полная **3D** картина события
- ✓ Проверить результаты **Neutrino-4** и **BEST** уже за **1.5** года набора статистики



Подробности Модернизации

- ✓ Подъемный механизм, силовой каркас, пассивная защита и вето-система – **сохраняются**, с минимальными модификациями для расширения внутреннего пространства
- ✓ Полностью заменяется **чувствительный объем** и несущая медная основа
- ✓ Сцинтилляционные счетчики из полистирола **объемной полимеризации** (ИФТП, Дубна)
- ✓ **8** спектросмещающих волокон, **МК** оптимизация геометрии для **равномерного светосбора**
- ✓ Химическое **вспенивание** светоотражающего покрытия – нет тяжелых элементов
- ✓ **Гадолиний** – в полиэтиленовой пленке между слоями, контролируемая толщина
- ✓ **58** слоев по **24** счетчика **20x50x1200** мм³ – ~куб (120 см)³ – увеличение объема на **70%**
- ✓ Регистрация света только **КФУ** с обоих концов волокна – **удвоение световыхода**
- ✓ Продольная координата по **разности времен** на противоположных концах, волокно **YS-2** с уменьшенным временем высвечивания **4 нс** **JINST 17 (2022) P01031**
- ✓ Бестриггерная система сбора данных – требование сигнала на обоих концах
- ✓ Новая электроника внутри защиты с **низким энергопотреблением** – понижение температуры КФУ до **10°C** для уменьшения шума
- ✓ Аналоговое объединение 8 КФУ на каждом конце счетчика для сохранения количества каналов оцифровки (2880) – **48** модулей оцифровщиков формы сигнала **125 МГц**

Поперечное сечение сцинтилляционного счетчика до модернизации



Технология Счетчиков

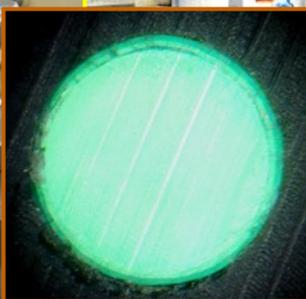
Волокна вклеены
в оптический коннектор



- ✓ В канавки заливается двухкомпонентный оптический **гель СУРЭЛ-СЛ1** и укладываются волокна, поочередно на верхней и нижней стороне
- ✓ Концы волокон вклеиваются в **оптические коннекторы** эпоксидным клеем **ПЭО-221К**
- ✓ Коннекторы изготавливаются методом **фотополимерной печати**
- ✓ Полирующий станок срезает излишек клея и выступы коннектора с волокнами за один проход двух инструментов – **фреза + алмазный резец**
- ✓ Плата с **8 КФУ** устанавливается на оптический коннектор с **центрирующей вставкой**



Станок для полировки
в начале прохода режущего
инструмента



Торец
отполированного
волокна под
микроскопом

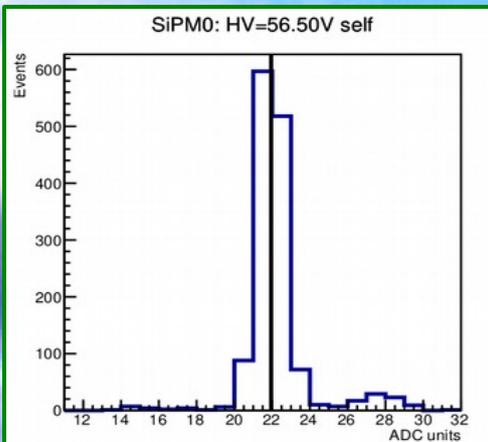
Плата с 8 КФУ и микросхемой
термометра, крепежными и
центрирующими отверстиями



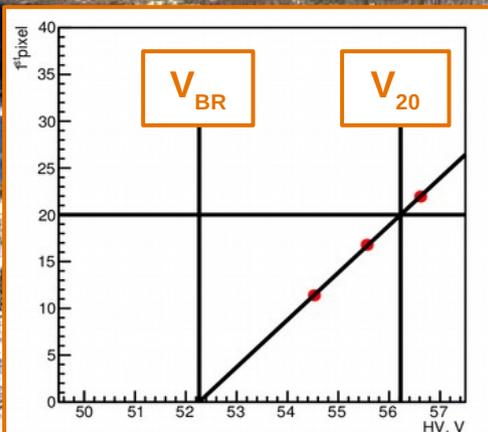
Плата КФУ
установлена
на оптический
коннектор с
центрирующей
вставкой

Тестирование Плат КФУ

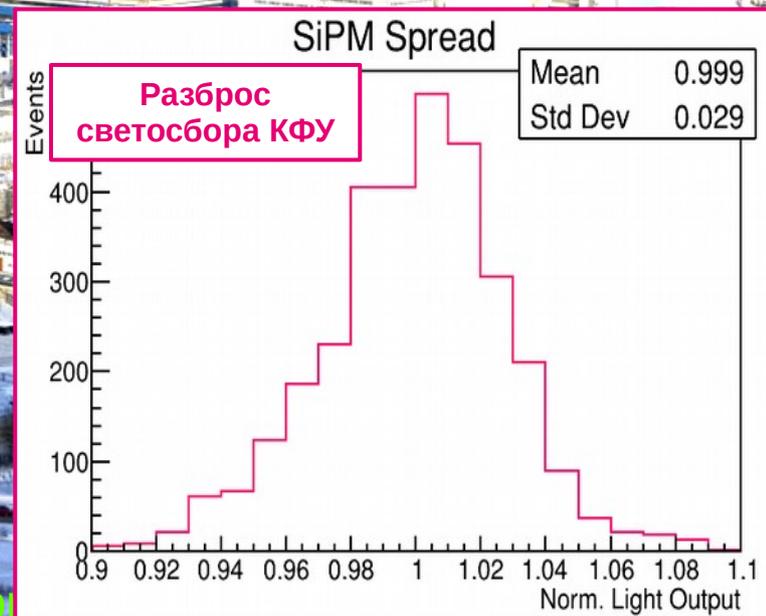
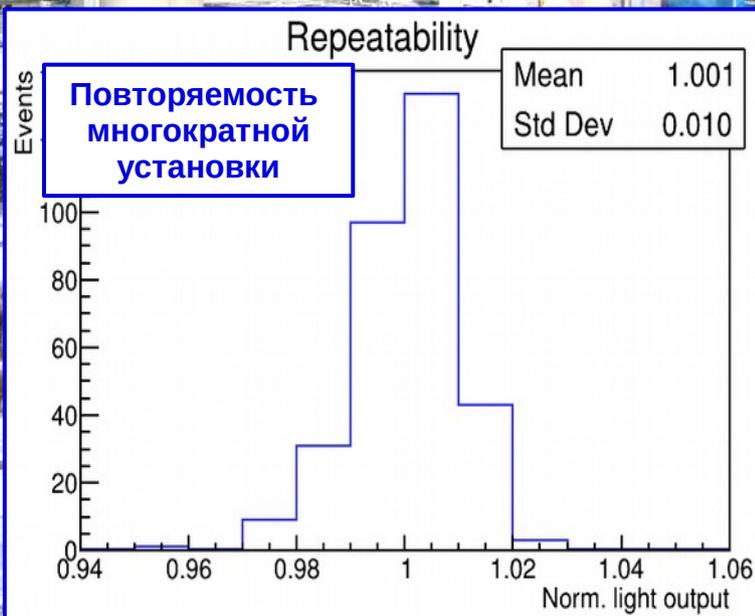
- ✓ Необходимая точность совмещения КФУ и волокон **50 мкм**
- ✓ Свет от импульсного светодиодного генератора распределяется на **9** спектросмещающих волокон
- ✓ **8** волокон транспортируют свет на фиксирующее устройство, в точности повторяющее формы оптического коннектора счетчика
- ✓ Девятое волокно постоянно сопряжено с **мониторирующим КФУ**
- ✓ Программа проверяет электрическую функциональность по **шумовым спектрам** КФУ и определяет **напряжения пробоя**, экстраполируя к нулю положения однопиксельного пика при трех напряжениях питания
- ✓ Рабочее напряжение: однопиксельный пик на **20 единиц АЦП**.
- ✓ Повторяемость при повторной установке одной платы **1%**
- ✓ Разброс светосбора КФУ на разных платах **3%**, хорошая точность
- ✓ Индивидуальные параметры всех КФУ платы заносятся в базу данных с уникальным номером, считанным из ее термометра



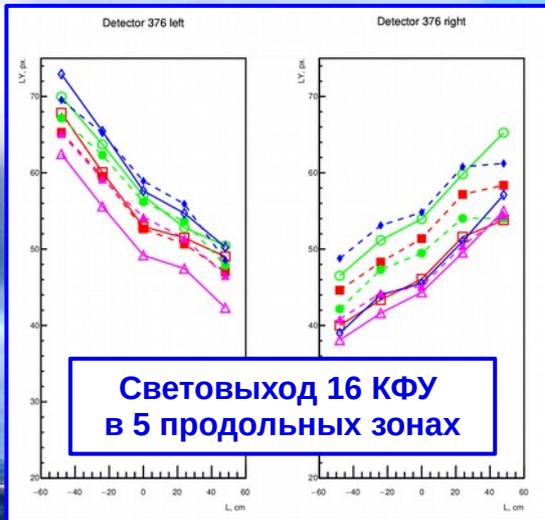
Однопиксельный пик в шумовом спектре КФУ



Определение напряжения пробоя КФУ

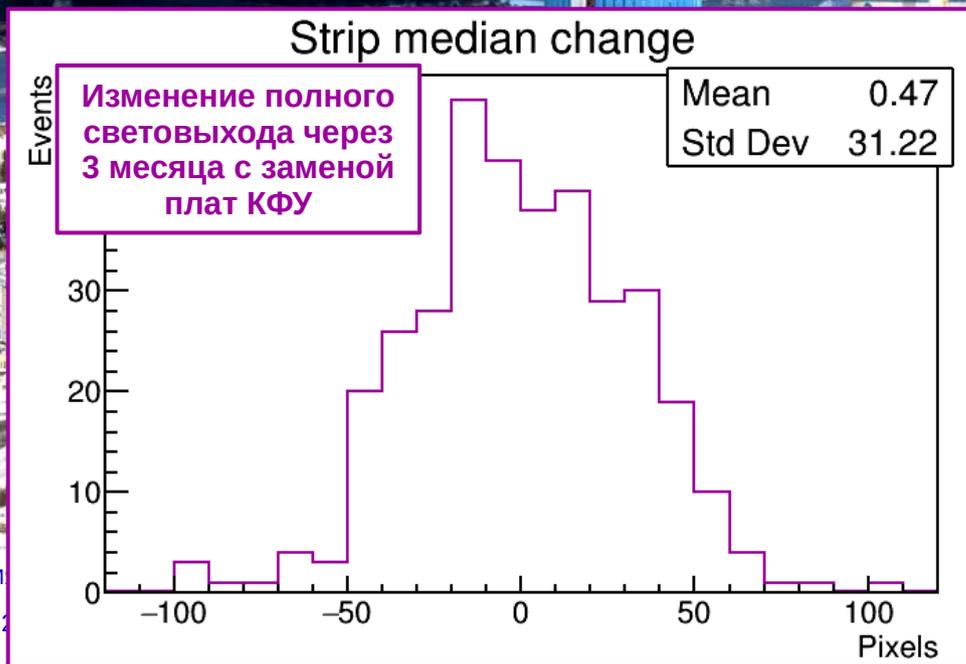
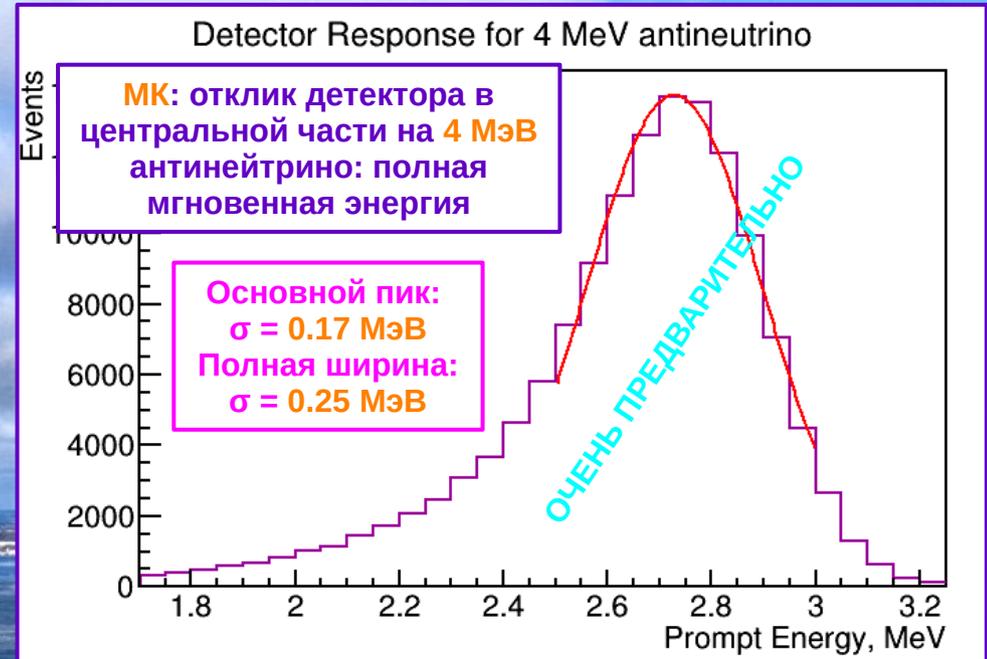
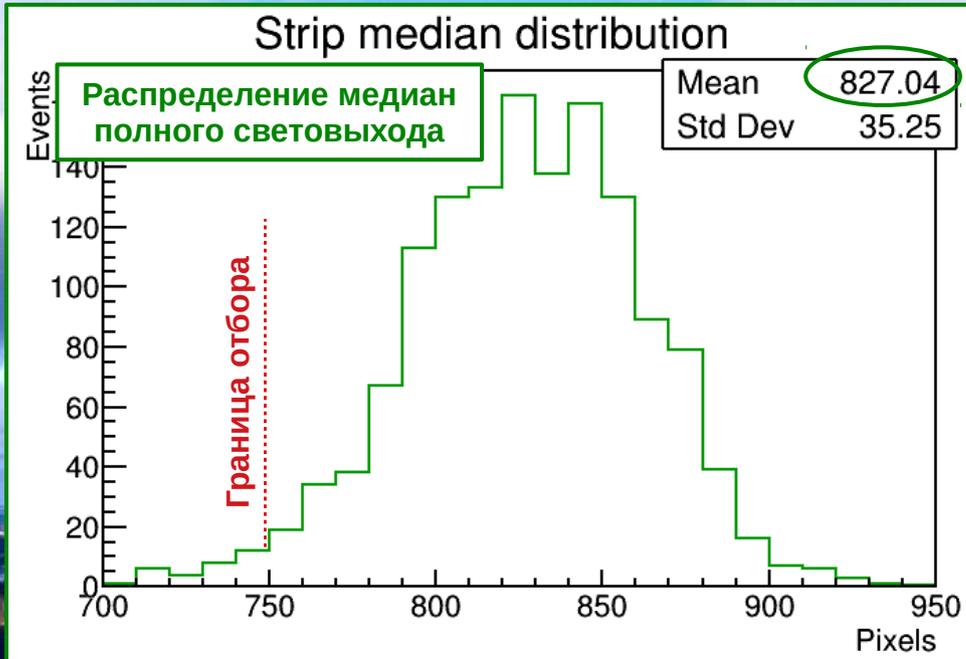


Испытания Счетчиков



- ✓ Одновременное срабатывание обоих триггерных счетчиков выделяет событие прохождения **космического мюона** через всю сборку из **4 испытуемых счетчиков**
- ✓ Продольная координата – по разности времен на концах триггерных счетчиков, **5 продольных зон**
- ✓ Индивидуальные режимы питания КФУ – из **базы данных** по уникальному номеру платы
- ✓ Выявление дефектов заливки **геля**, качества **полировки** волокон и **совмещения** КФУ (ухудшение оптического контакта)
- ✓ **Медиана** распределения суммарного световыхода -- основной количественный показатель
- ✓ Результаты испытаний сохраняются в **БД по номерам счетчиков**

Результаты Испытаний Счетчиков



- ✓ Изготовлено, оснащено и испытано **1456** счетчиков, пригодных **1426**, нужно **1392**
- ✓ Основной критерий: световыход **>750** пикс.
- ✓ Средний световыход **827** пикс. / М.И.Р или **195 ф.э./МэВ** ($\sim 7.1\%$ @ 1 МэВ)
- ✓ Повторяемость световыхода **4.1%**
- ✓ Первые оценки из МК: энергетическое разрешение по полной мгновенной энергии **(10-15)% @ 1 МэВ**
- ✓ **320** счетчиков повторно тестировались через **3** месяца с другими платами КФУ; изменения отсутствуют на уровне **0.2%**.

Статус и Планы

Подготовка модернизации

- ✓ Проработан **детальный проект** модернизированного детектора
- ✓ Изготовлено и испытано необходимое количество **сцинтилляционных счетчиков**
- ✓ Материал **медной основы** полностью закуплен и передан в обработку
- ✓ Все электронные компоненты приобретены, **новая электроника** внутри защиты уже изготавливается или в стадии завершения разработки

Начало модернизации

- ✓ **23 февраля 2026** остановлен набор статистики ДАНСС, зарегистрировано **~10.8 млн** событий антинейтрино
- ✓ Разобрана **вето-система**, **пассивная защита**, снята вся **электроника**
- ✓ **Чувствительный объем** подготовлен к разборке и вывозу
- ✓ Элементы **каркаса** передаются в мастерские на следующей неделе

Планы модернизации

- ✓ **Начало** сборки нового чувствительного объема – **июнь 2026**
- ✓ Инженерный **запуск** второй фазы детектора ДАНСС-II – **декабрь 2026**

Спасибо за внимание !

Грант 075-15-2024-541 Национального проекта “Наука”
Министерства науки и высшего образования РФ