



«Изучение характеристик двухфазного эмиссионного детектора РЭД-100 на жидком аргоне с помощью ^{241}Am »

Студентка Б22-104, Сорокина Варвара Петровна

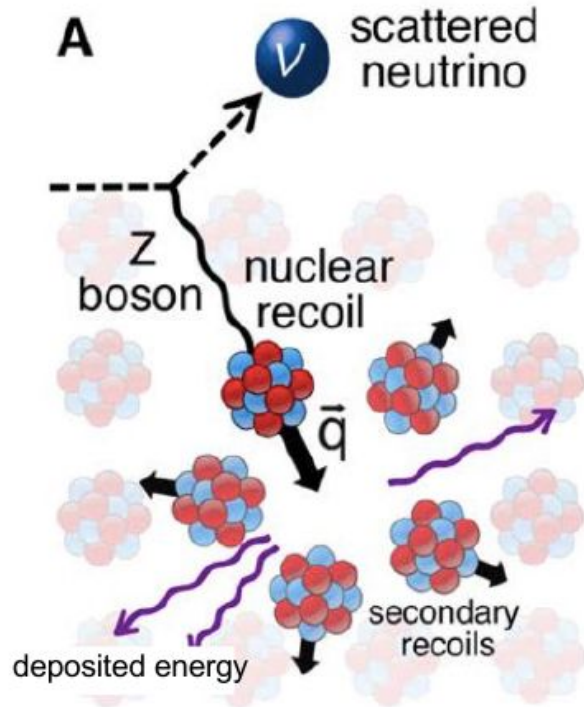
Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доц. каф. 11 ИНЯУ МИФИ: А.В. Кумпан

Соруководитель: ст.преп. каф. 11 ИНЯУ МИФИ: А.В.Галаванов



УКРН (упругое когерентное рассеяние нейтрино)



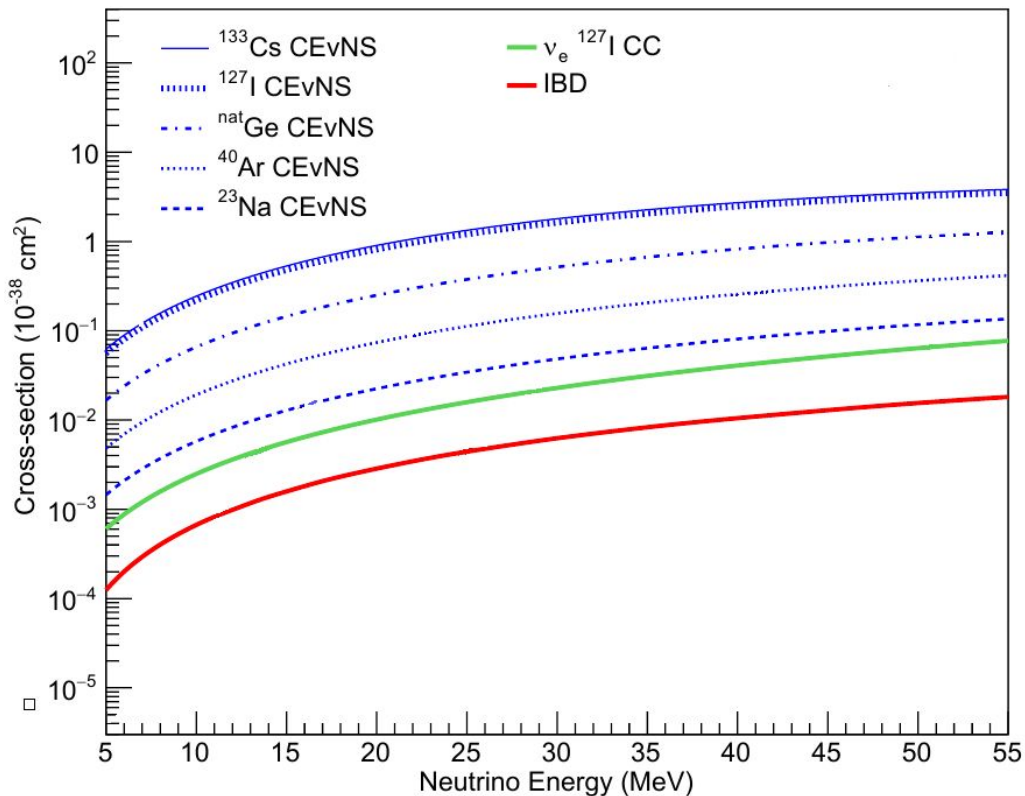
Упругое когерентное рассеяние на ядрах атомов (УКРН) – это фундаментальный процесс, предложенный около 50 лет назад группами советских и американских ученых, но экспериментально открытый в 2017 г коллаборацией COHERENT.

Ключевая особенность УКРН - пропорциональность сечения квадрату числа нейтронов в ядре атома. При этом величина сечения этого процесса, как минимум, на порядок превосходит сечение обратного бета-распада (IBD), активно использующегося для регистрации нейтрино.

$$\frac{d\sigma}{dT} \cong \frac{G_F^2 M Q_W^2}{2\pi \cdot 4} F^2(Q) \left(2 - \frac{MT}{E_\nu^2} \right)$$

$$Q_W = Z \left(1 - 4 \sin^2 \theta_w \right) - N$$

$$\frac{d\sigma}{dT} \propto N^2$$



УКРН (упругое когерентное рассеяние нейтрино)



1. **Изучение сверхновых:** При взрыве $\sim 99\%$ энергии уносится нейтрино

[Phys. Rev. D 109, 092005](#)

2. **Нейтринный порог (neutrino floor):** УКРН являются постоянным фоном для детекторов темной материи, содержащих порядка тонны рабочего вещества

[Phys. Rev. D91 \(2015\) 095023](#)

3. **Поиск стерильных нейтрино:** УКРН не чувствителен к аромату нейтрино поэтому можно отслеживать полный поток нейтрино

[Phys. Rev. D 102, 113014 \(2020\)](#)

4. **Проверка и уточнение Стандартной модели:**

Определение функции распределения нейтронов в ядре

[Phys. Rev. Lett. 120 072501 \(2018\)](#)

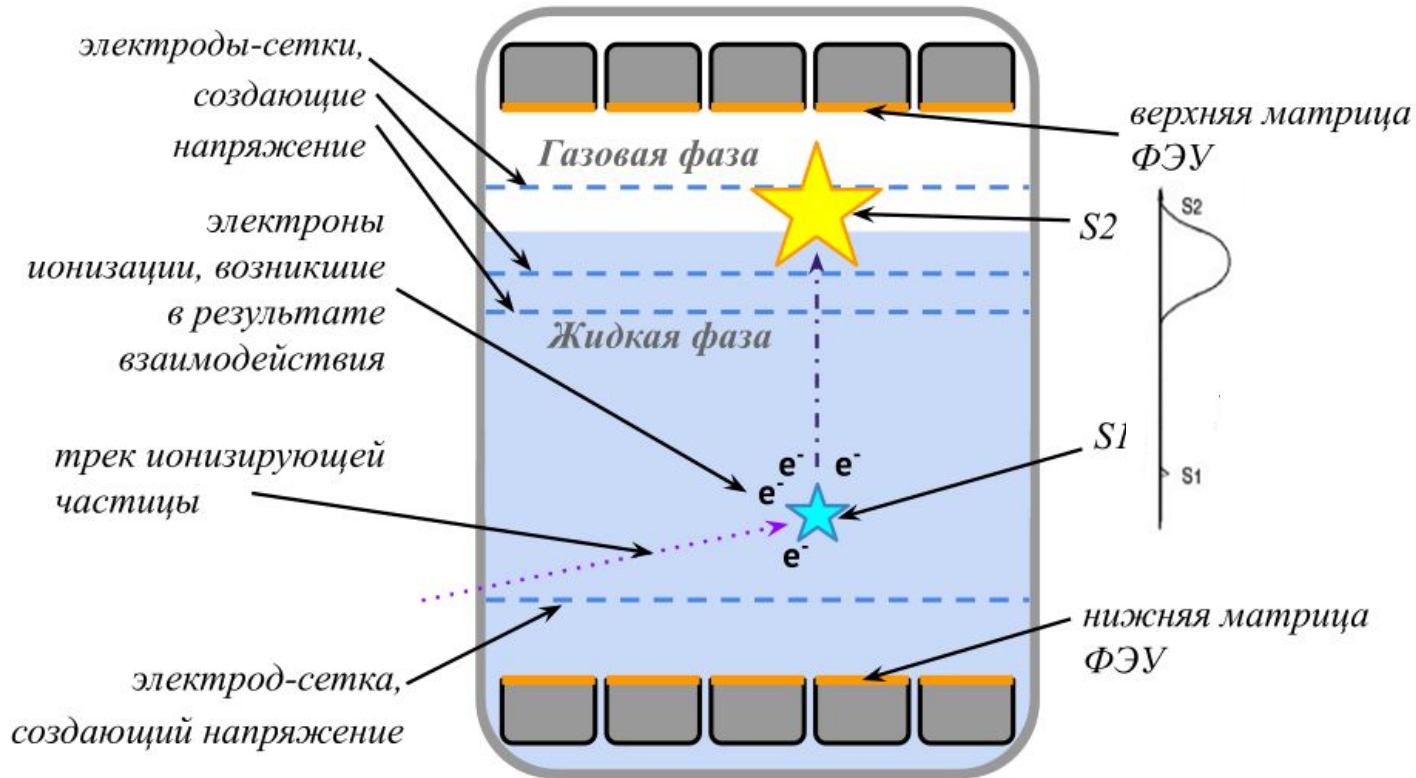
Независимый канал для проверки ограничений на величину магнитного момента нейтрино

[Phys. Rev. D 92 013011 \(2015\)](#)

5 **Мониторинг ядерных реакторов:** он-лайн контроль состояния ядерных реакторов и степени выгорания топлива

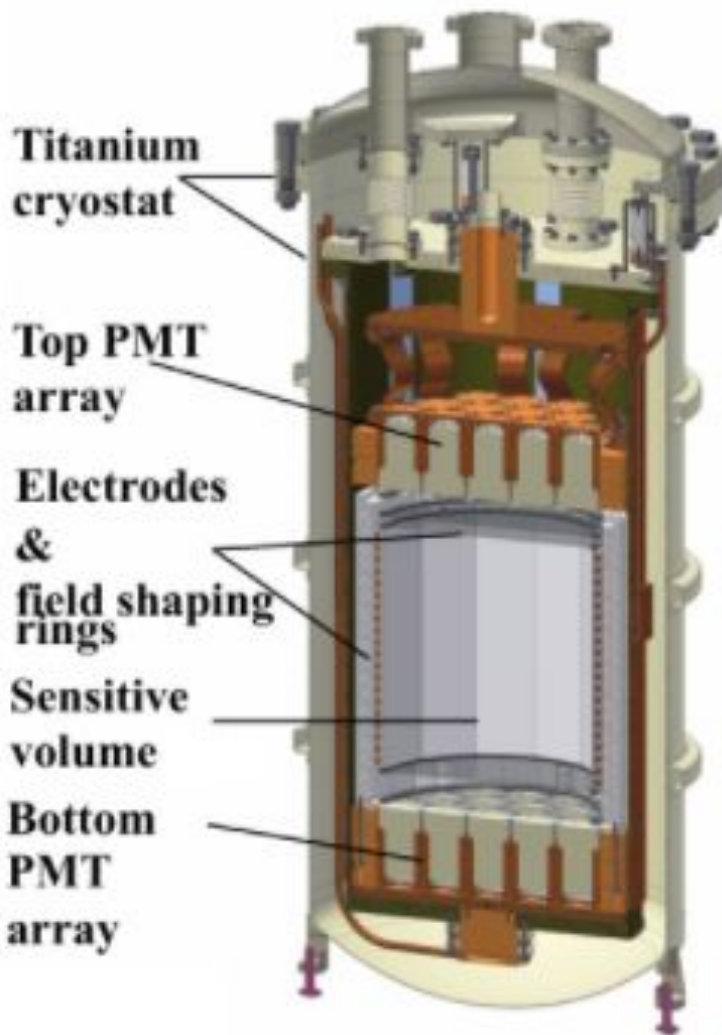
[Phys. Rev. D 105, 056002](#)

Двухфазный эмиссионный детектор



- При попадании в рабочее вещество детектора частица тратит свою энергию на ионизацию и на возбуждение атомов жидкого аргона.
- При переходе атомов аргона в основное состояние появляется сцинтилляционная вспышка S1.
- Электроны, образующиеся при ионизации, вытягиваются электрическим полем в газовую фазу.
- При движении в газовой фазе электроны возбуждают атомы среды, которые переходя в основное состояние излучают фотоны, что приводит к появлению электролюминесцентной вспышки S2.

Детектор РЭД-100



Детектор РЭД-100 был разработан в ЛЭЯФ НИЯУ МИФИ.

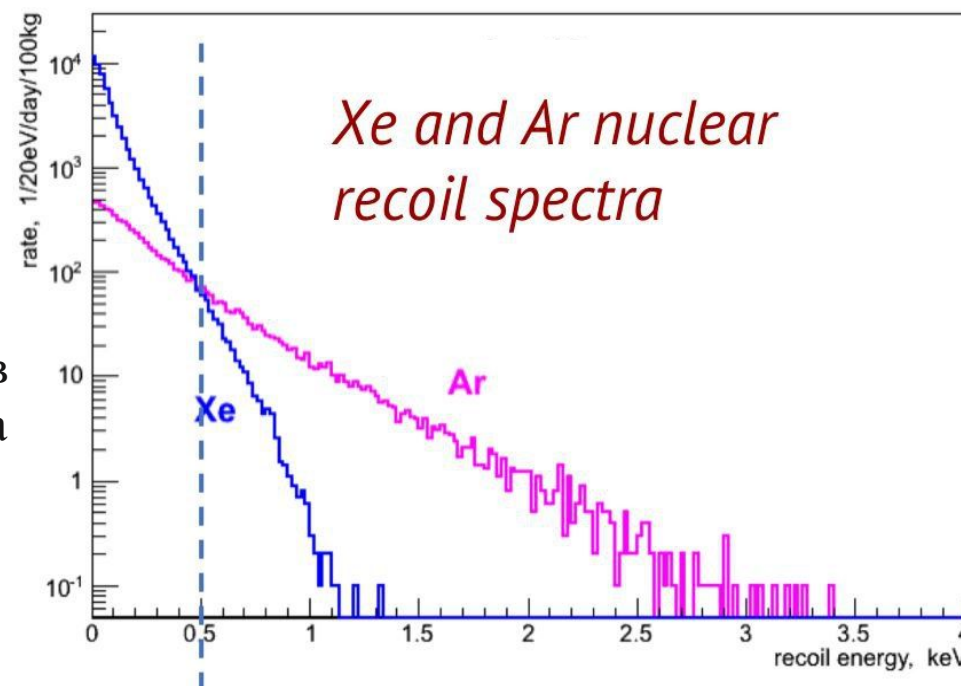
- Содержит ~70 кг жидкого аргона (~50 кг в чувствительном объёме), или ~200 кг жидкого ксенона (~100 кг в чувствительном объёме)
- 26 ФЭУ Hamamatsu R11410-20 (покрытых спектросместителем TPВ)
- Чувствителен даже к сигналу от одного электрона

Двухфазно-эмиссионный детектор

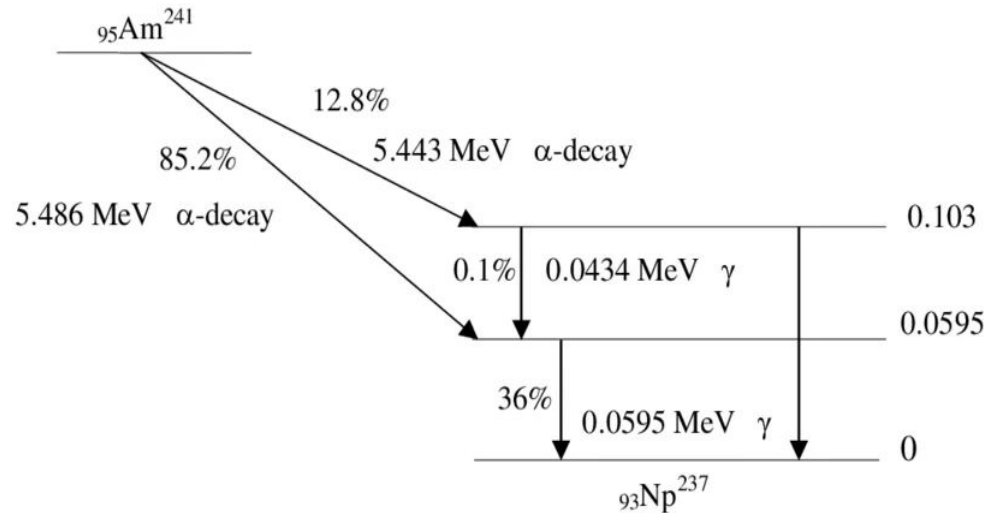
Пассивная защита детектора:

- ~ 5 см Cu
- ~ 60 см H₂O

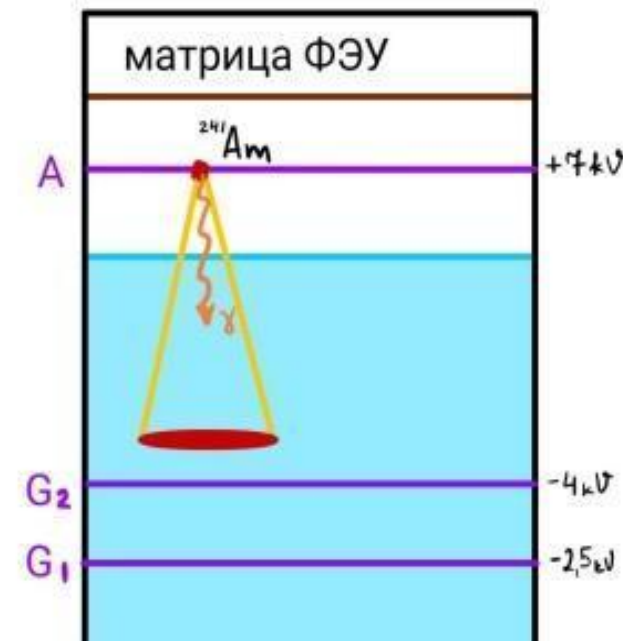
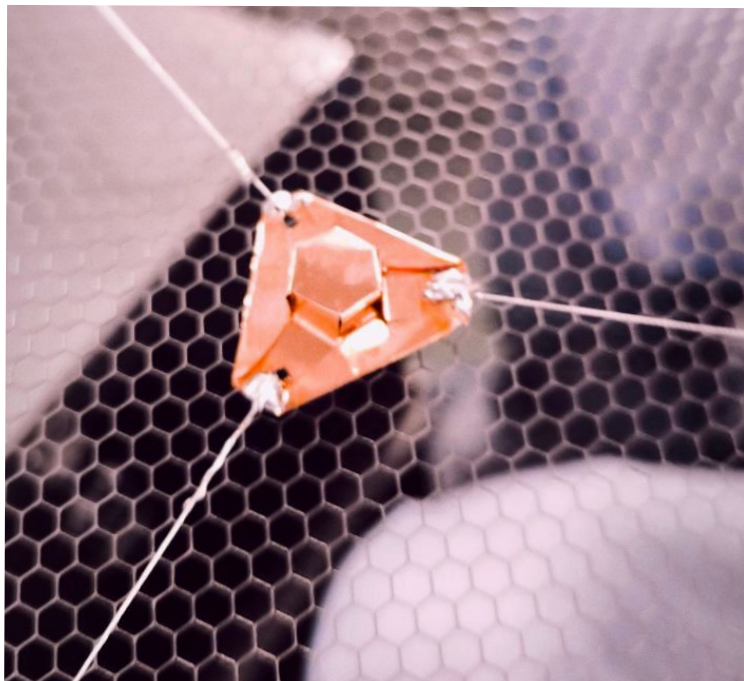
Технический сеанс с аргоном в качестве рабочего вещества
23.09.2025-31.10.2025



Оценка уровня жидкости помощью источника ^{241}Am

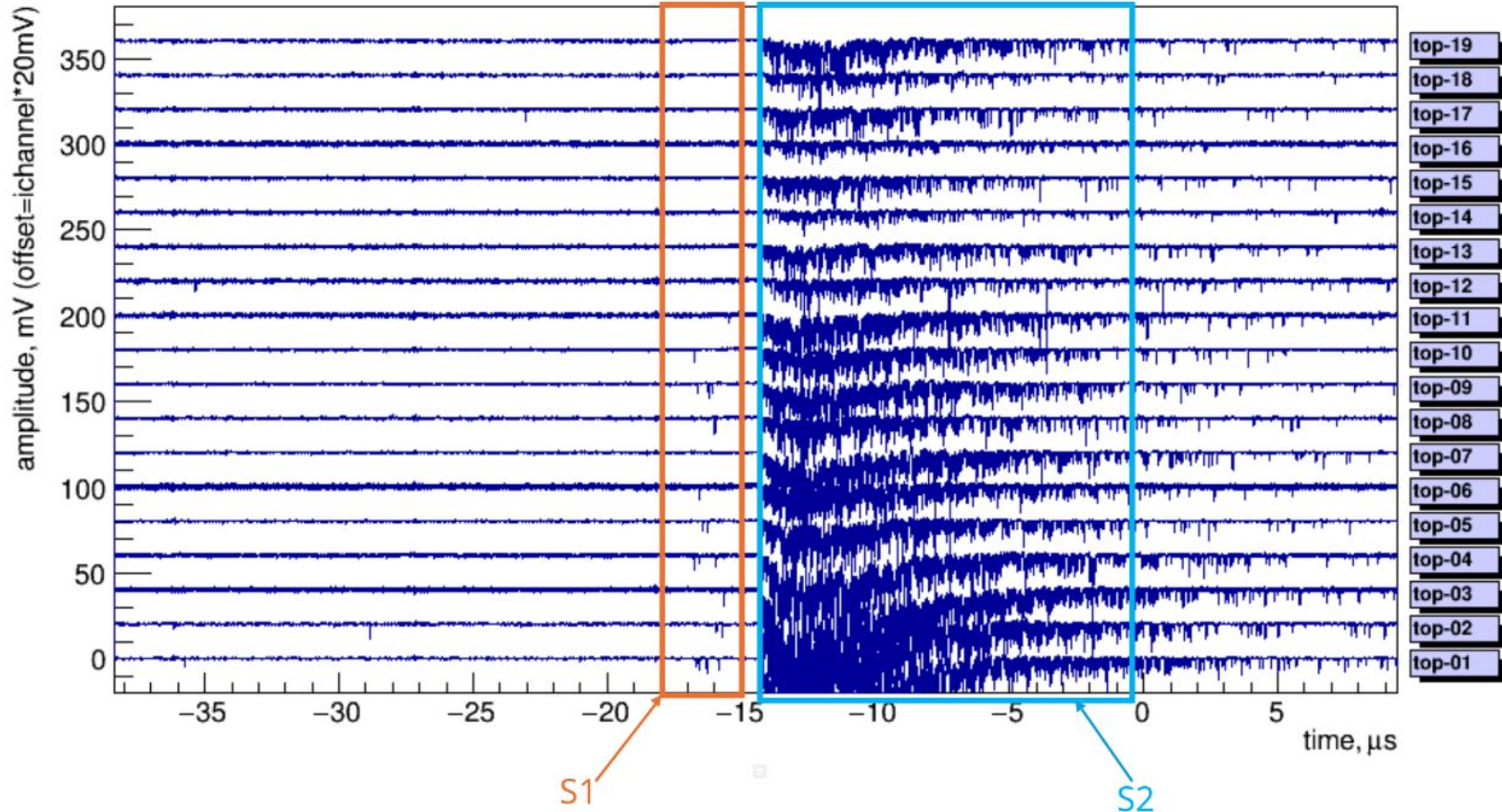


- Источник ^{241}Am расположен на анодной сетке
- Поток α -частиц экранирован металлизированной фольгой
- Поток γ -квантов коллимирован
- Взаимодействие γ -квантов с жидкостью происходит в приповерхностном объёме



Предварительная оценка уровня поверхности жидкости

Поканальная визуализация сигнала с верхней матрицы ФЭУ



Предварительная оценка уровня поверхности жидкости

- Максимальная величина времени дрейфа электронов в приповерхностном объёме – $t=2,5 \pm 0,3$ мкс
- Скорость дрейфа электронов в жидком аргоне ~ 3 мм/мкс
- Тогда уровень поверхности жидкости над сеткой $\sim 7,5 \pm 0,6$ мм
- Данная оценка является достаточной, т.к аргон заливается с точностью до миллиметра



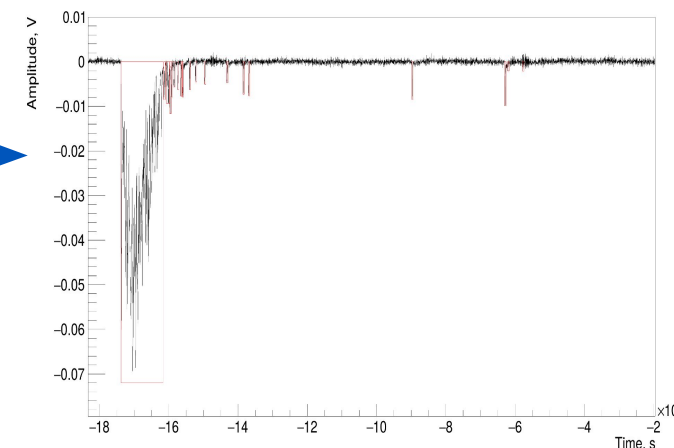
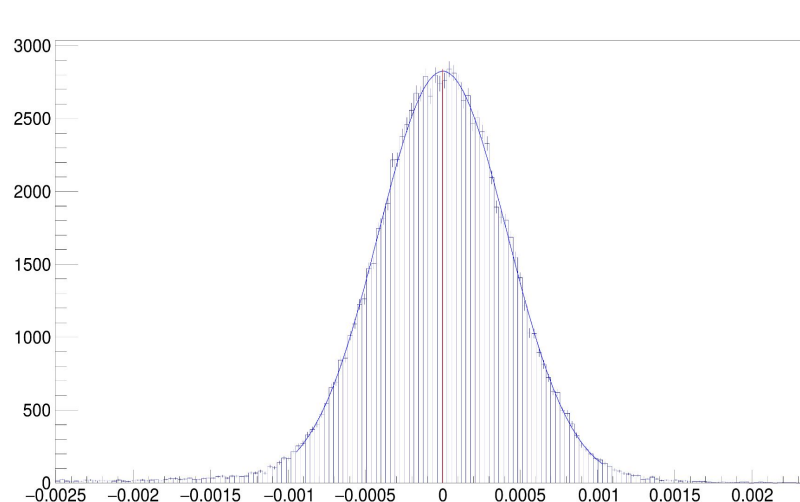
Автоматизированная обработка данных

- Полиномиальная коррекция наводок для выравнивания базовой линии
- Поиск порога для каждого из каналов. Сравнивались процедуры поиска плоского и динамического порога. Выбран динамический порог: не зависит от изменений базовой линии и амплитуды шумовых импульсов

Строится гистограмма всех амплитуд

Среднее значение распределения принимается за базовую линию

Динамический порог отсчитывается в количестве σ



- Поиск импульсов на осциллограмме и их параметризация



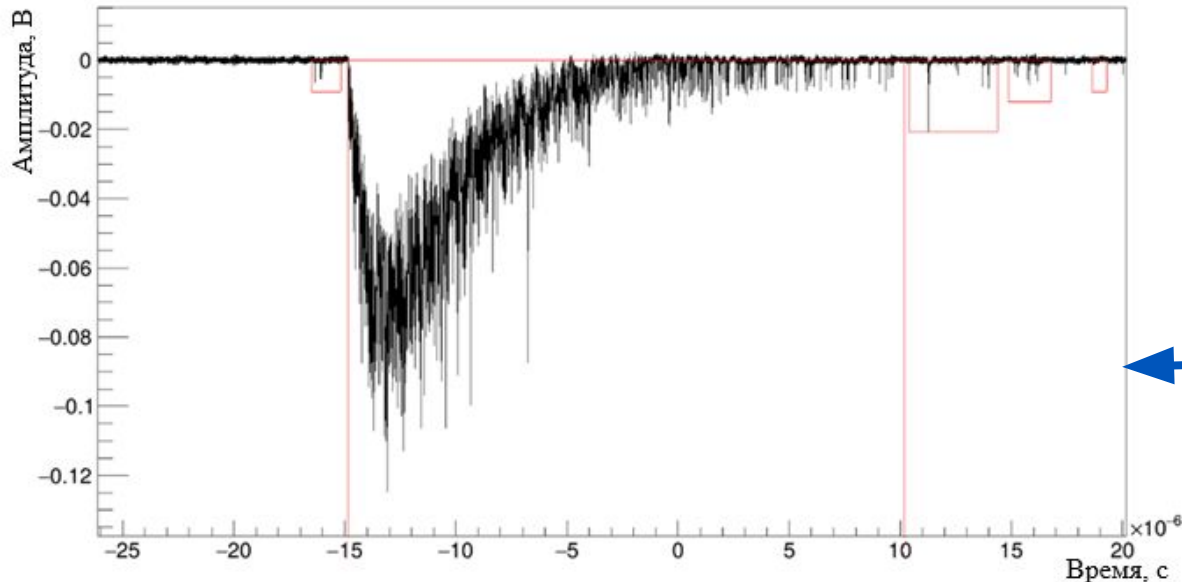
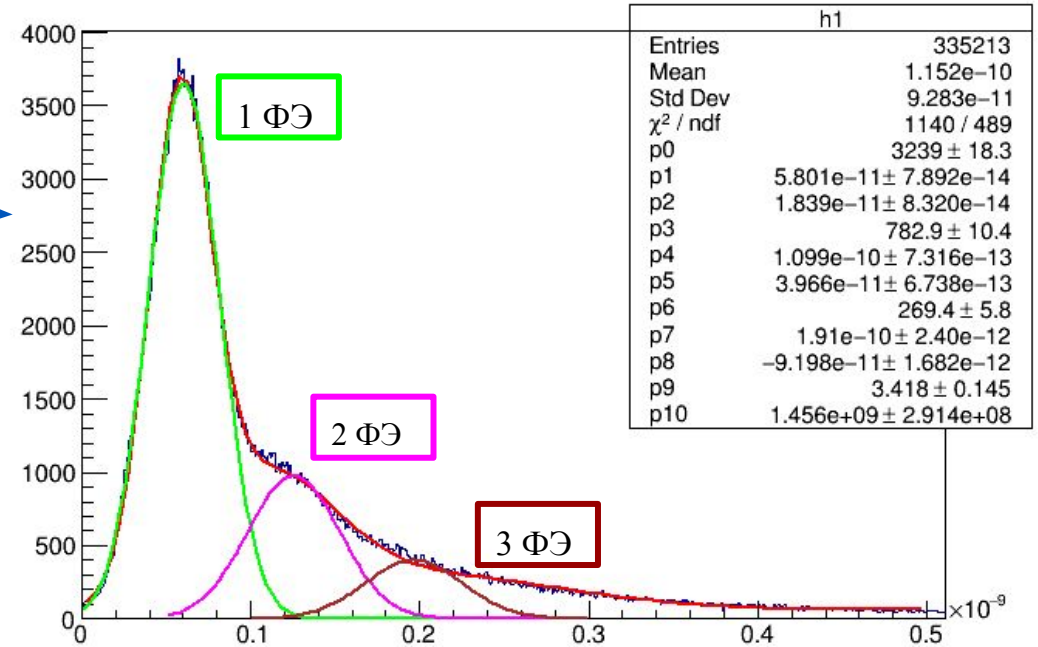
- Амплитуда
- Площадь
- Длительности на 10/50/90 % высоты
- Длительности фронта и спада

Выравнивание откликов ФЭУ верхней матрицы и объединение импульсов в кластеры

Для выравнивания откликов ФЭУ было сделано:

- Для каждого ФЭУ было построено распределение сигналов по площади
- Выполнена аппроксимация распределения
- Рассчитаны нормировочные коэффициенты для матрицы ФЭУ

Спектр площадей однофотозлектронных сигналов для центрального ФЭУ

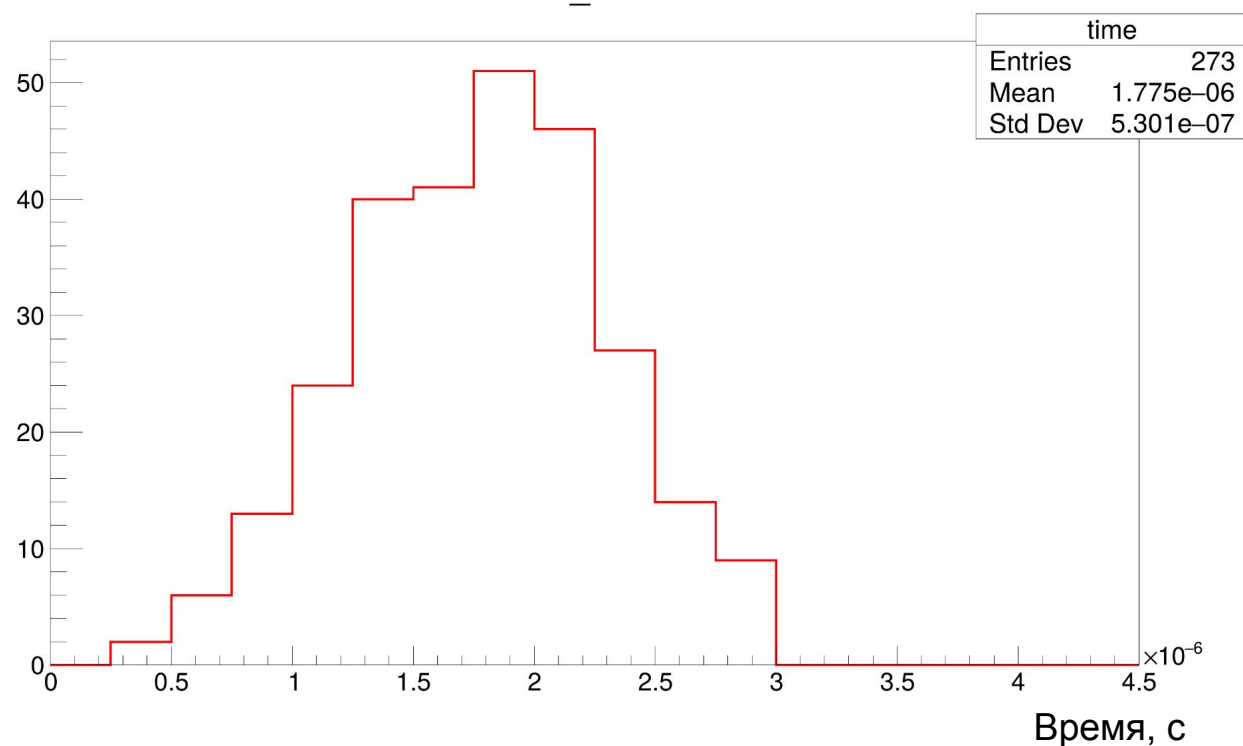


- Формирование из импульсов, отстоящих друг от друга не более чем на 200 нс кластеров
- Параметризация кластеров: определение площади, времени начала и амплитуды
- Формирование из кластеров физических событий

Определение уровня жидкости

Для того, чтобы событие было отобрано как полезное, необходимо:

- Возникновение во временном окне от -20 мкс до -10 мкс ровно двух кластеров
- Корректная временная последовательность кластеров: сначала должен быть кластер соответствующий S1, потом - S2
- Длительность электролюминесцентного сигнала должна превышать 2 мкс, а амплитуда - 20 мВ



- Максимальная величина времени дрейфа электронов в приповерхностном объёме – $t \sim 2,88 \pm 0,25$ мкс
- Скорость дрейфа электронов в жидком аргоне ~ 3 мм/мкс
- Тогда уровень поверхности жидкости над сеткой $\sim 8,61 \pm 0,75$ мм

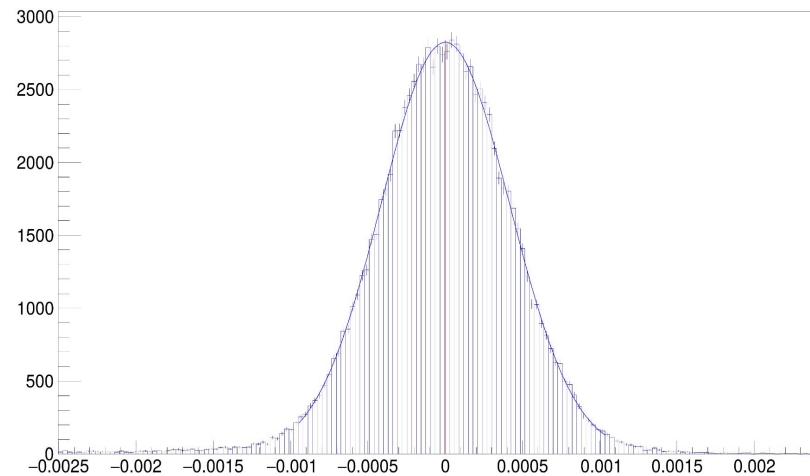
Заключение

- ✓ Была проведена предварительная оценка времени дрейфа электронов в приповерхностном промежутке жидкости
- ✓ Определён способ нахождения импульсов для каждого из каналов
- ✓ Осуществлено выравнивание однофотоэлектронных откликов ФЭУ
- ✓ Найденные импульсы объединены в кластеры
- ✓ Отобраны события относящиеся к ^{241}Am
- ✓ Получена оценки величины уровня жидкости

backup

Автоматизированная обработка данных

- Полиномиальная коррекция наводок для выравнивания базовой линии
- Поиск порога для каждого из каналов. Сравнивались процедуры поиска плоского и динамического порога. Выбран динамический порог: не зависит от изменений базовой линии и амплитуды шумовых импульсов



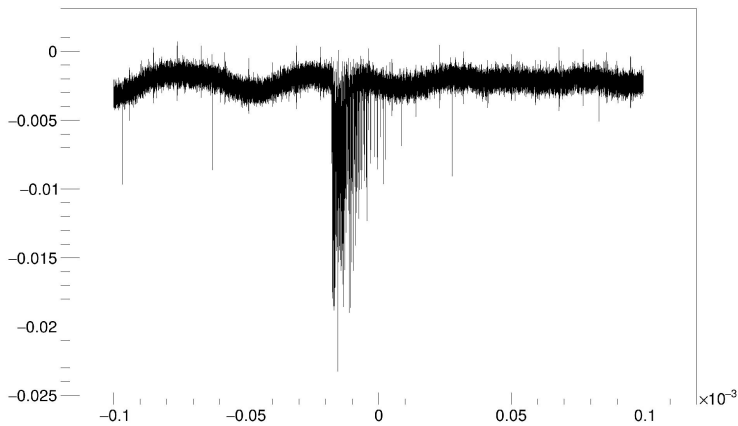
Среднее значение распределения
принимаем за базовую линию

Динамический порог
отсчитывается в количестве σ

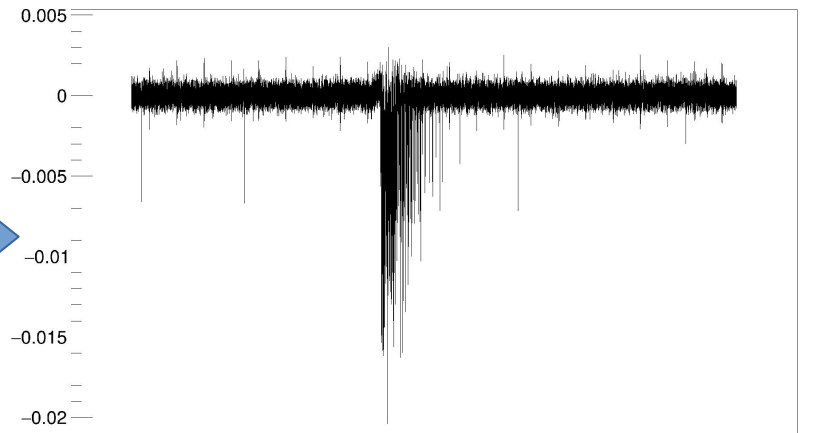
- Поиск импульсов на осциллограмме и их параметризация

- Амплитуда
- Площадь
- Длительность на 10/50/90 % высоты
- Длительности фронта и спада

Автоматизированная обработка данных



Осциллограмма



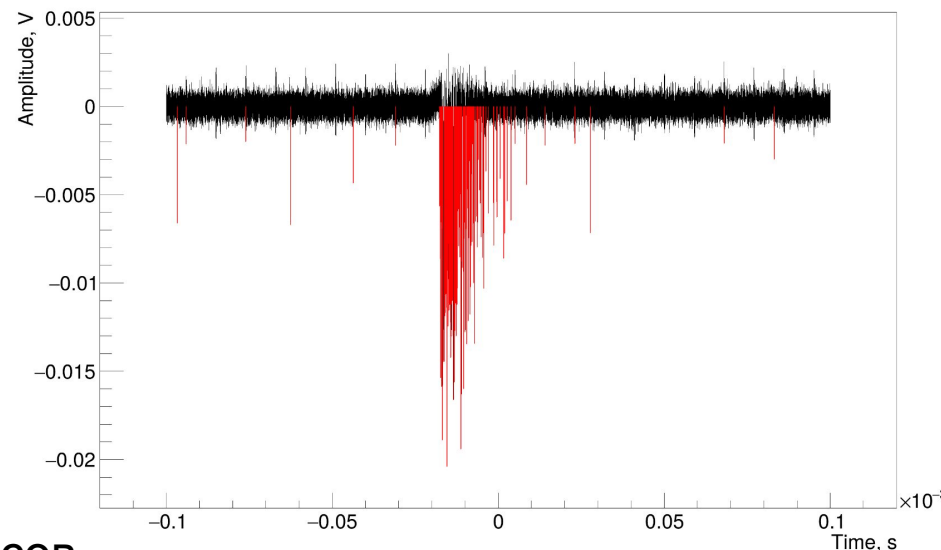
Полиномиальная коррекция

наводок



- Начало импульса
- Амплитуда импульса
- Площадь импульса
- ...

Распознавание и
параметризация импульсов



- Амплитуда
- Площадь
- Тип
- Длительность
- ...

Группировка
найденных
импульсов в
кластеры

Определение порога (метод разделения сигнала и шумов)

