



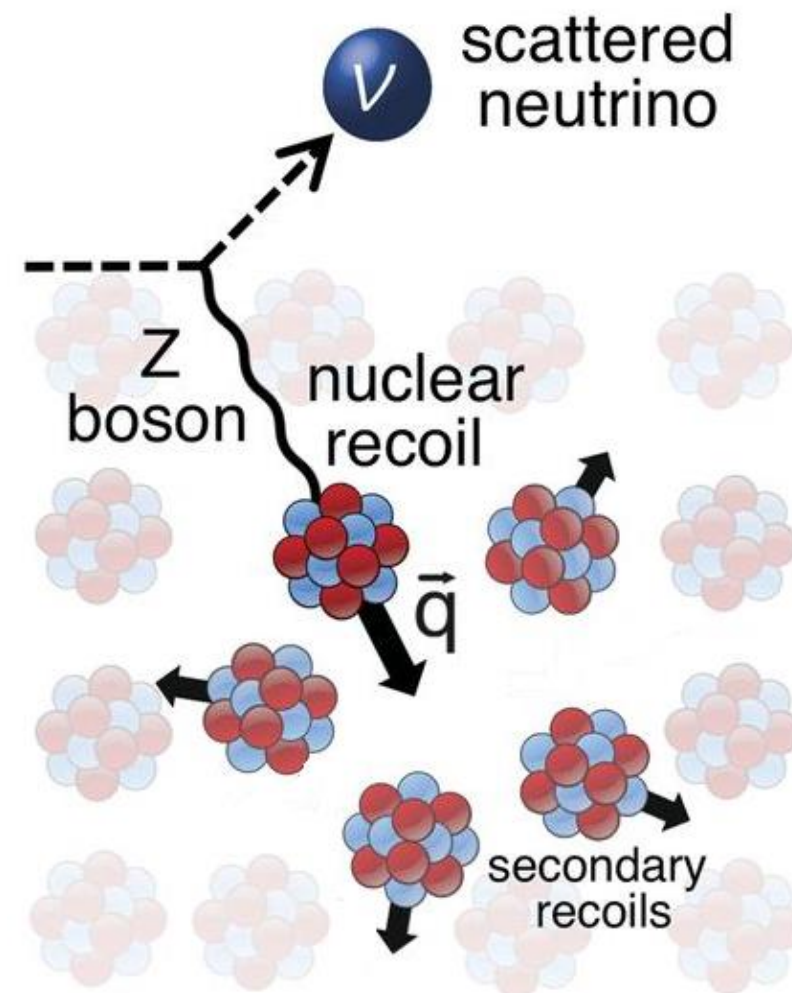
Анализ калибровочных данных эксперимента CENNS-10

Коськин Ю. И.
M25-114

08.06.2026

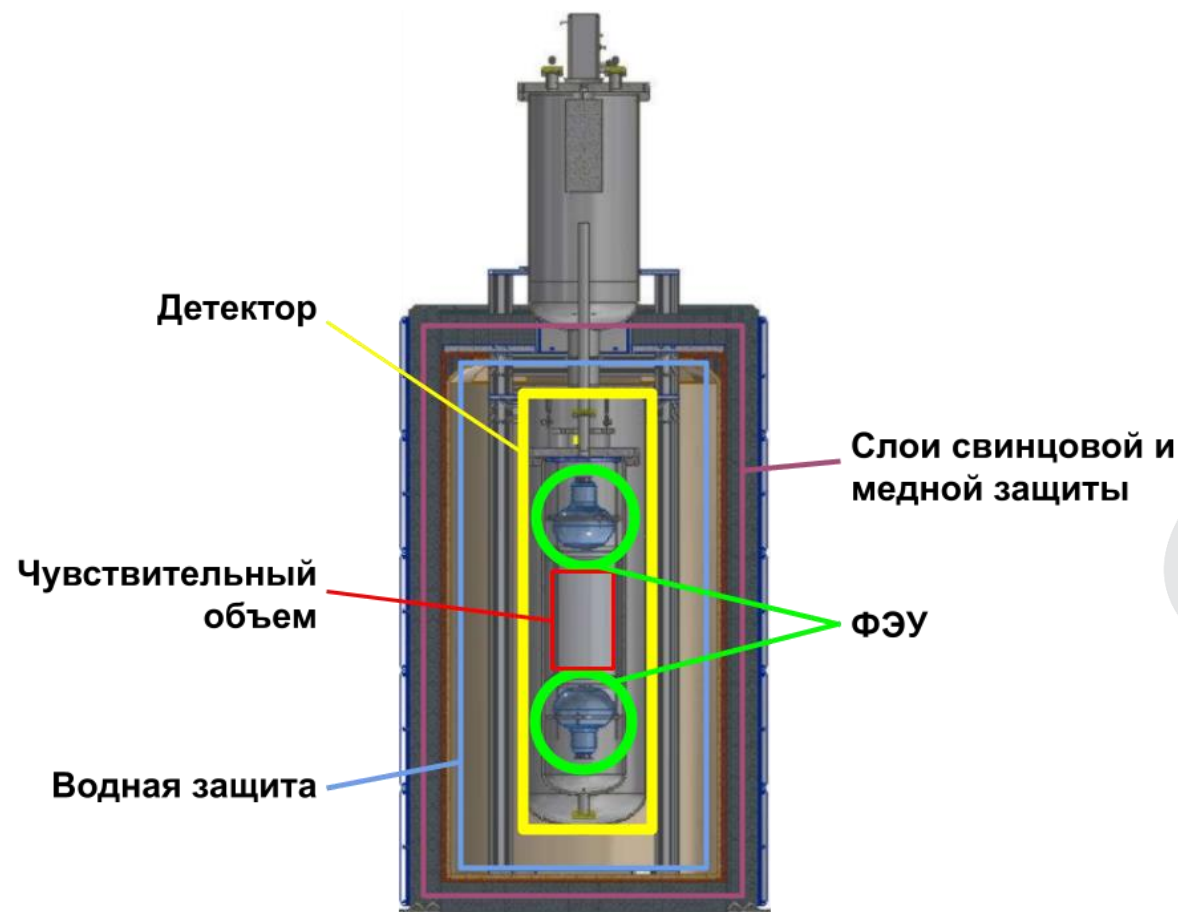


- Процесс предсказан Стандартной Моделью
- Обнаружен в 2017 году, COHERENT (CsI)
- Низкая энергия ядра отдачи (порядка 10 кэВ)
- Сечение рассеяния пропорционально N^2 (N – число нейтронов в ядре)



Детектор CENNS-10

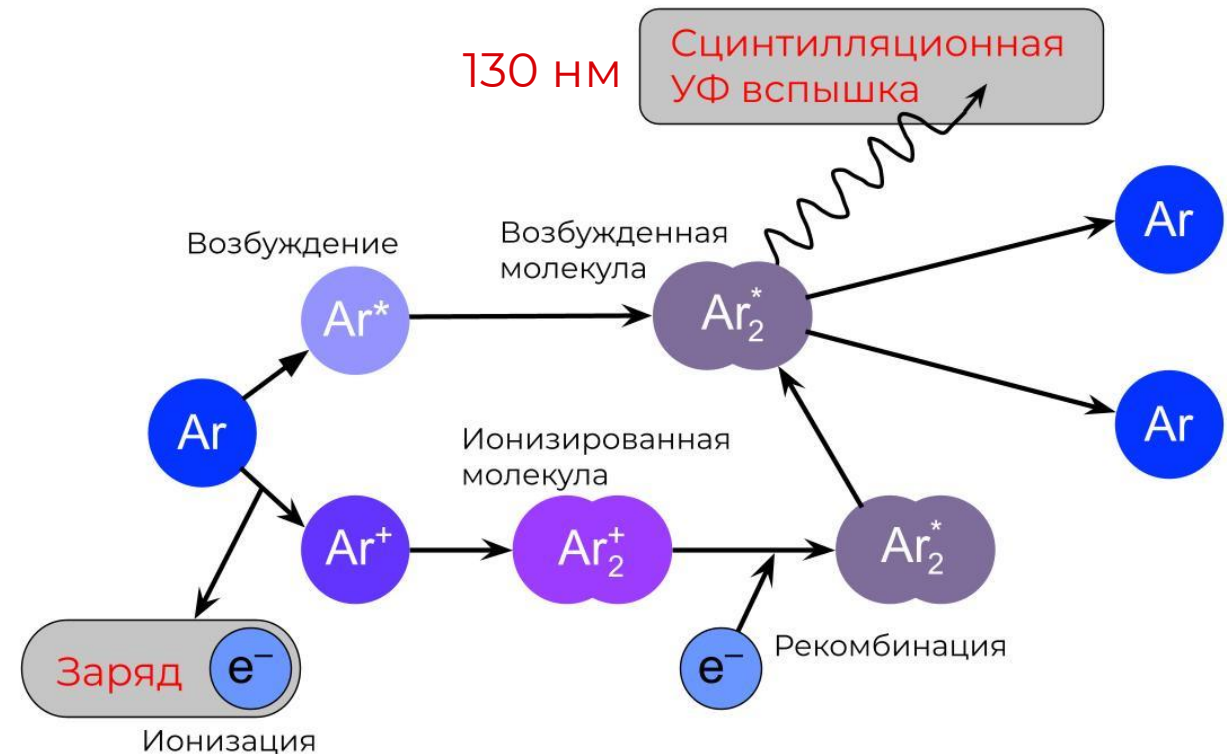
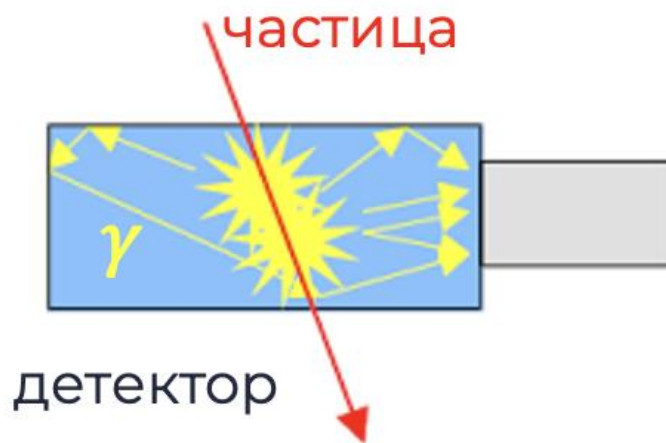
- Однофазный сцинтилляционный детектор на жидком аргоне
- Расположен на ускорителе SNS
- ~24 кг жидкого аргона в чувствительном объеме
- Два ФЭУ Hamamatsu R5912 + напыление тетрафенил-бутадиеном (TPB)
- Система пассивной защиты Cu/Pb + водный бак



Сцинтилляция в жидком аргоне

Механизмы:

- Атомное возбуждение
- Ионизация



Времена жизни состояний Ar_2^* :

- Синглет (S): ~6 нс (быстрая компонента)
- Триплет (T): ~1600 нс (медленная компонента)

Отношение числа
 $S/T \rightarrow$ Отбор
импульсов по
форме (PSD)

Для калибровки детектора используются различные источники и методы:

- ^{57}Co
- ^{241}Am
- $^{83\text{m}}\text{Kr}$
- LED

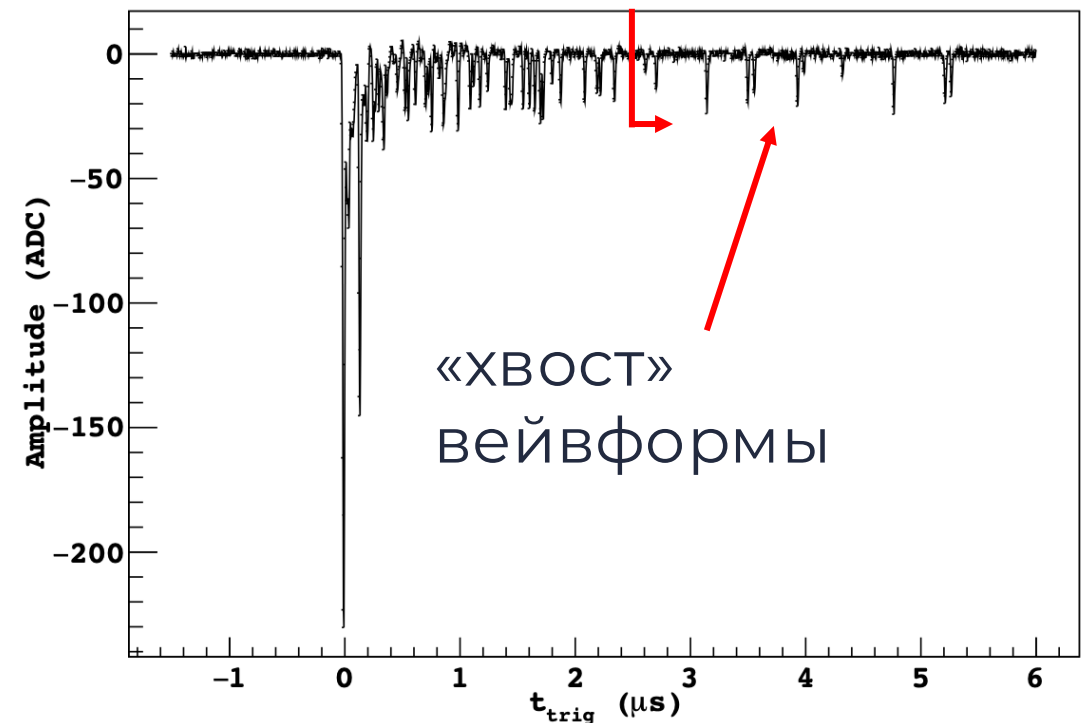
В данной работе будет изучалась энергетическая калибровка с источниками ^{57}Co и $^{83\text{m}}\text{Kr}$

Анализ калибровочных данных ^{57}Co . Процедура

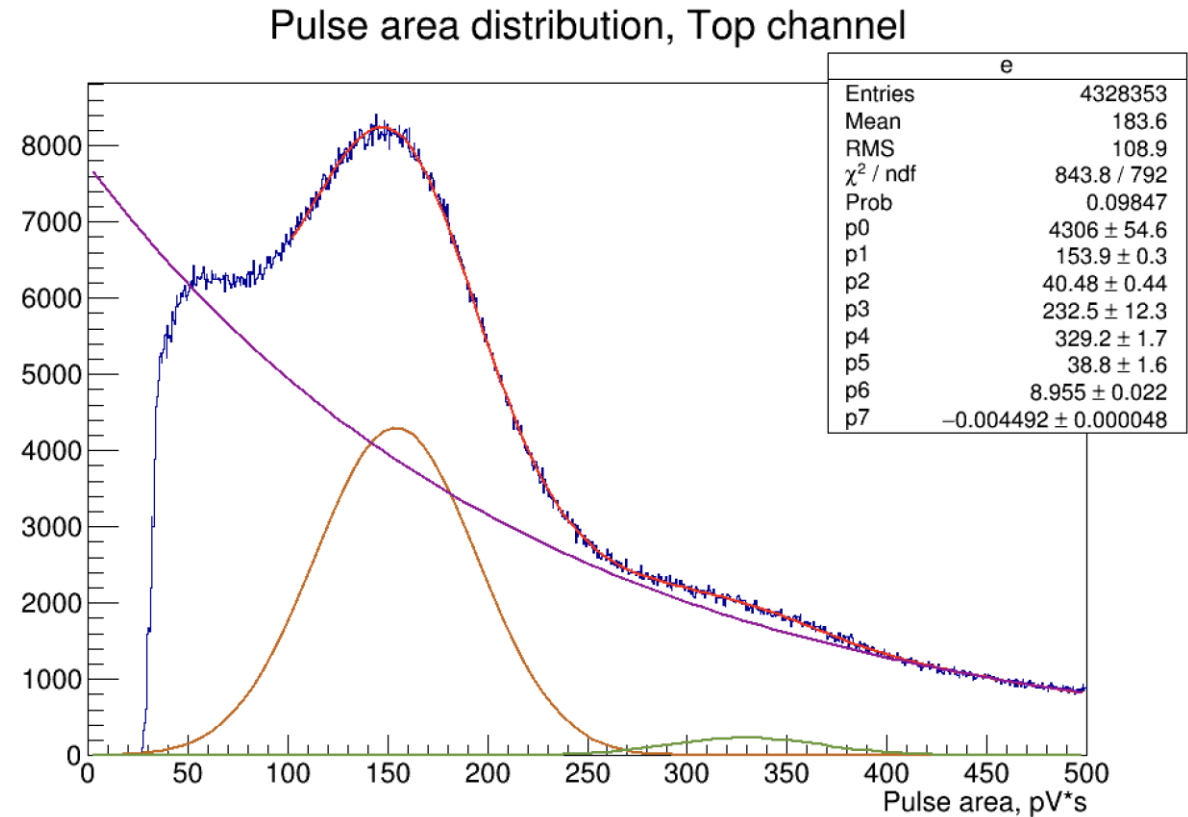
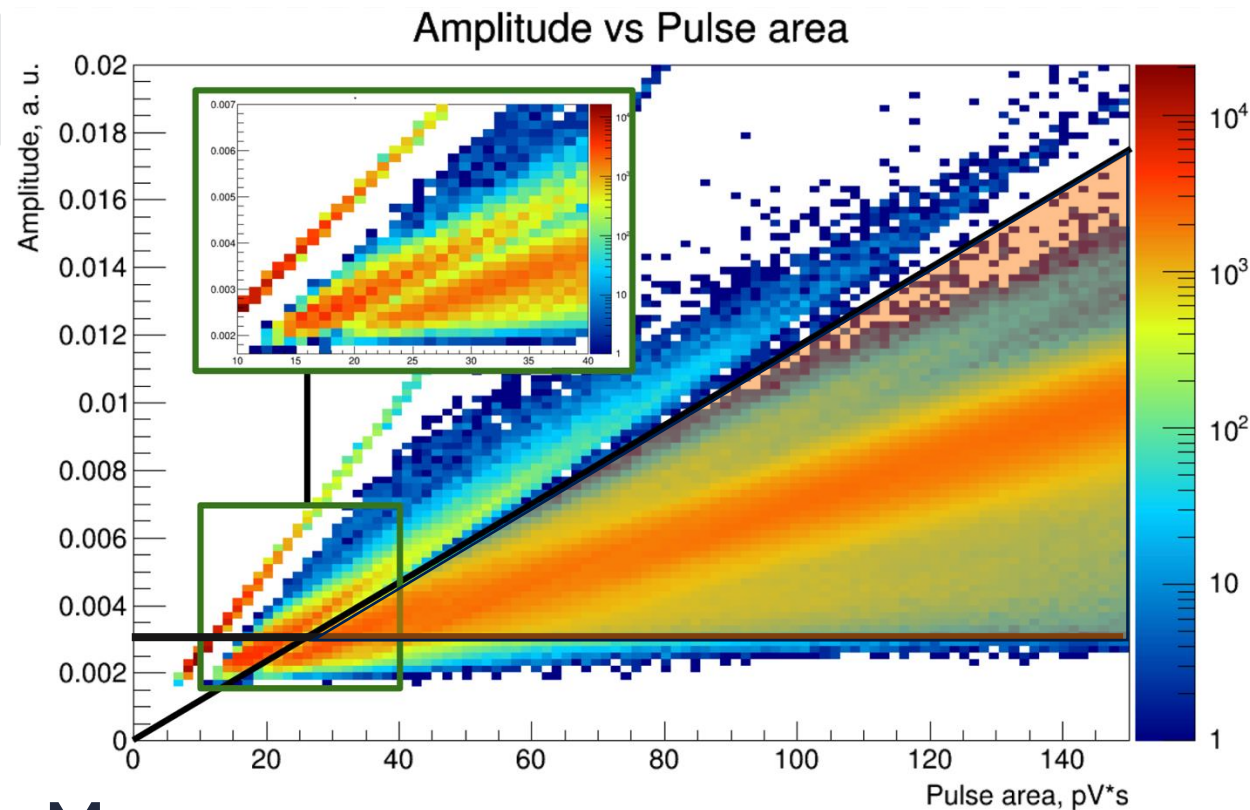
Идея: анализ импульсов «на хвосте»
вейвформы

Мотивация: Затухание
сцинтиляционной вспышки –
переход в «однофотонный» режим

Такой режим позволяет
сопоставить **индивидуальные
импульсы** на вейвформе с
**фотонами медленной
компоненты сцинтиляции**



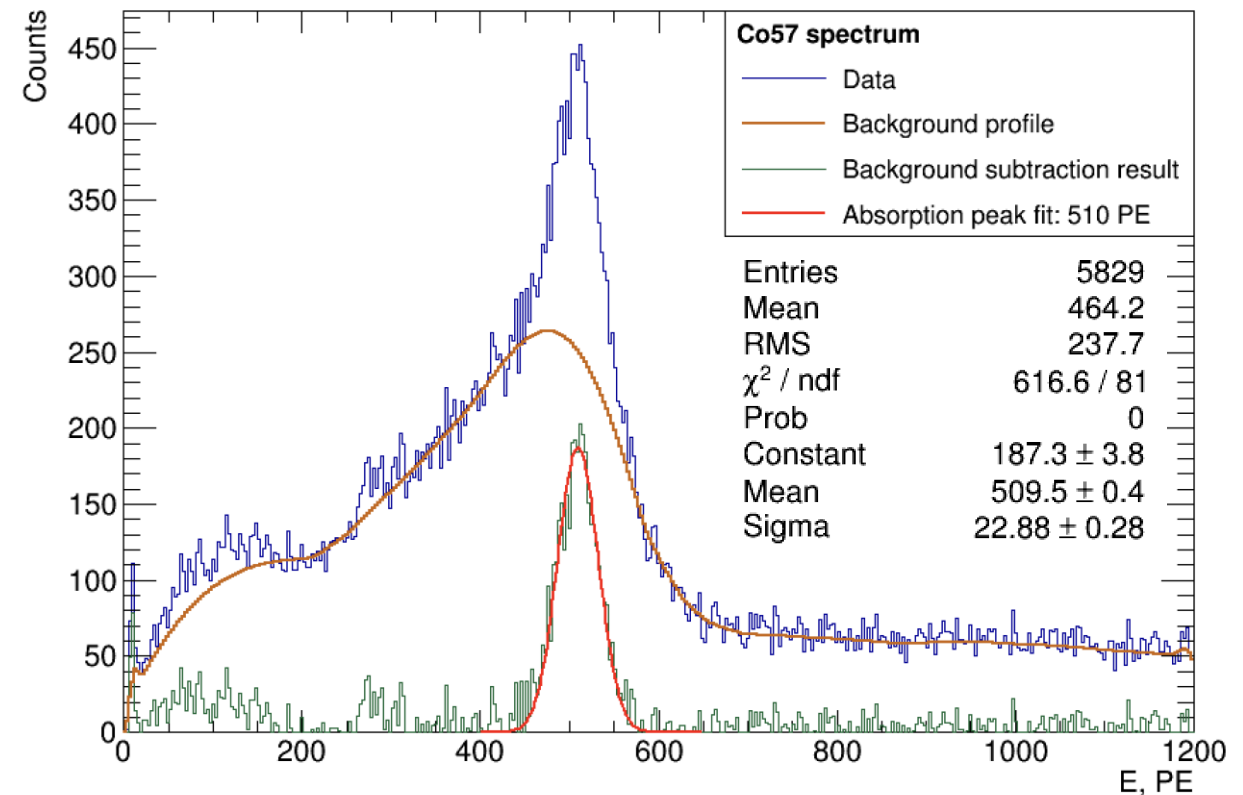
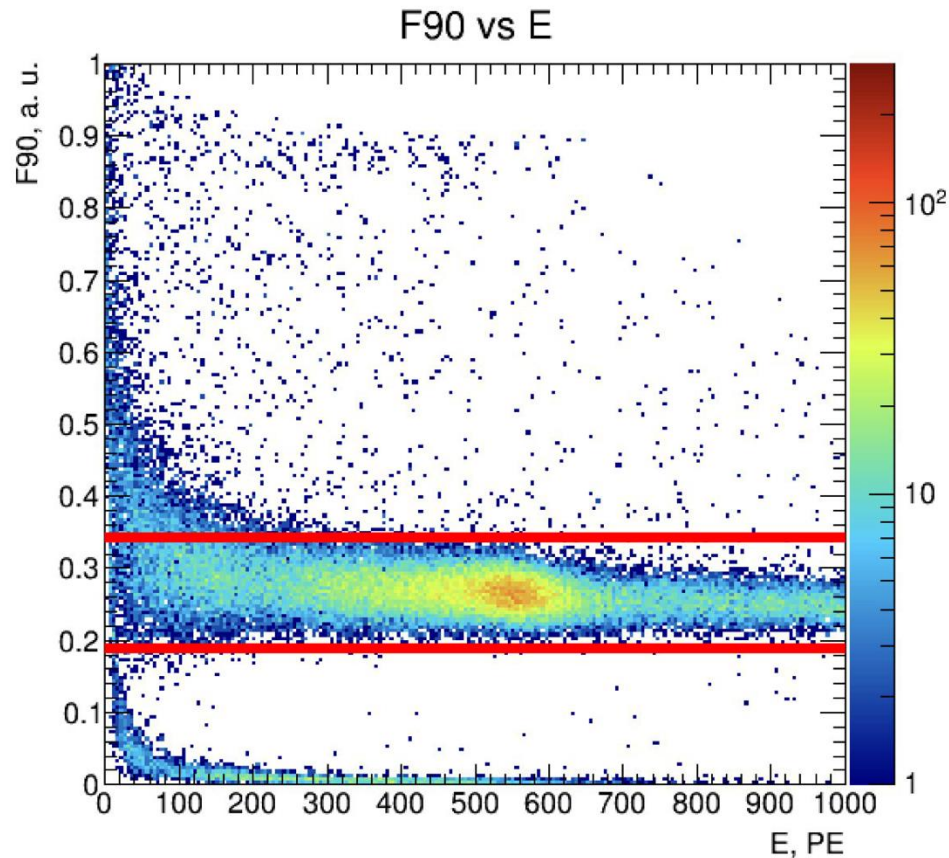
Анализ калибровочных данных ^{57}Co . Площадь SPE импульса



Модель:

- Два гауссиана – 1 РЕ (оранжевый) и 2 РЕ (зеленый) импульсы
- Экспонента (фиолетовый) – обратное рассеяние фотоэлектрона на диноде (меньше электронов на выходе ФЭУ)

Анализ калибровочных данных ^{57}Co . Энергетический спектр



- Отбор по F90 (доля сигнала в первые 90 нс от начала события)
- **TSpectrum::Background** для восстановления профиля фона

Площадь однофотонного (SPE) импульса:

Верхний ФЭУ: 153.9 ± 0.3 пВ·с

Нижний ФЭУ: 152.3 ± 0.5 пВ·с

Световыход (122.1 кэВ):

$LY = 4.17 \pm 0.13$ фотоэлектронов/кэВ

Энергетическое разрешение:

$\sigma/E = 4.5 \pm 0.1$ %

- **Инъекция** раствора HCl с содержанием ^{83}Rb в образец древесного угля
- **Помещение образца** в газовую систему детектора
- **Подхват** образующегося ^{83m}Kr парами аргона
- **Распад ^{83m}Kr** внутри детектора с периодом полураспада ~ 1.83 часа с выделяющейся энергией **41.5 кэВ**

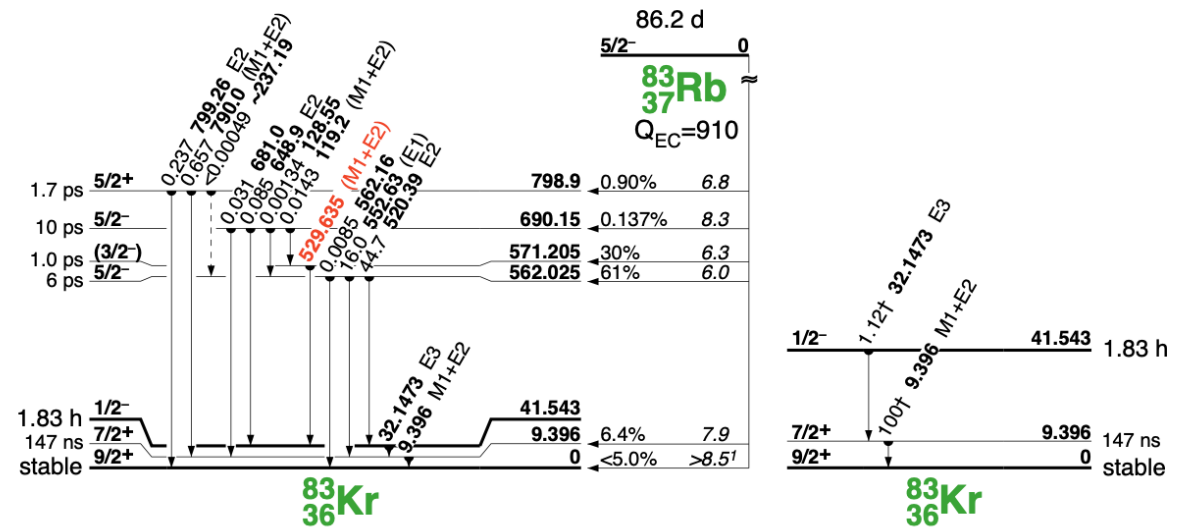
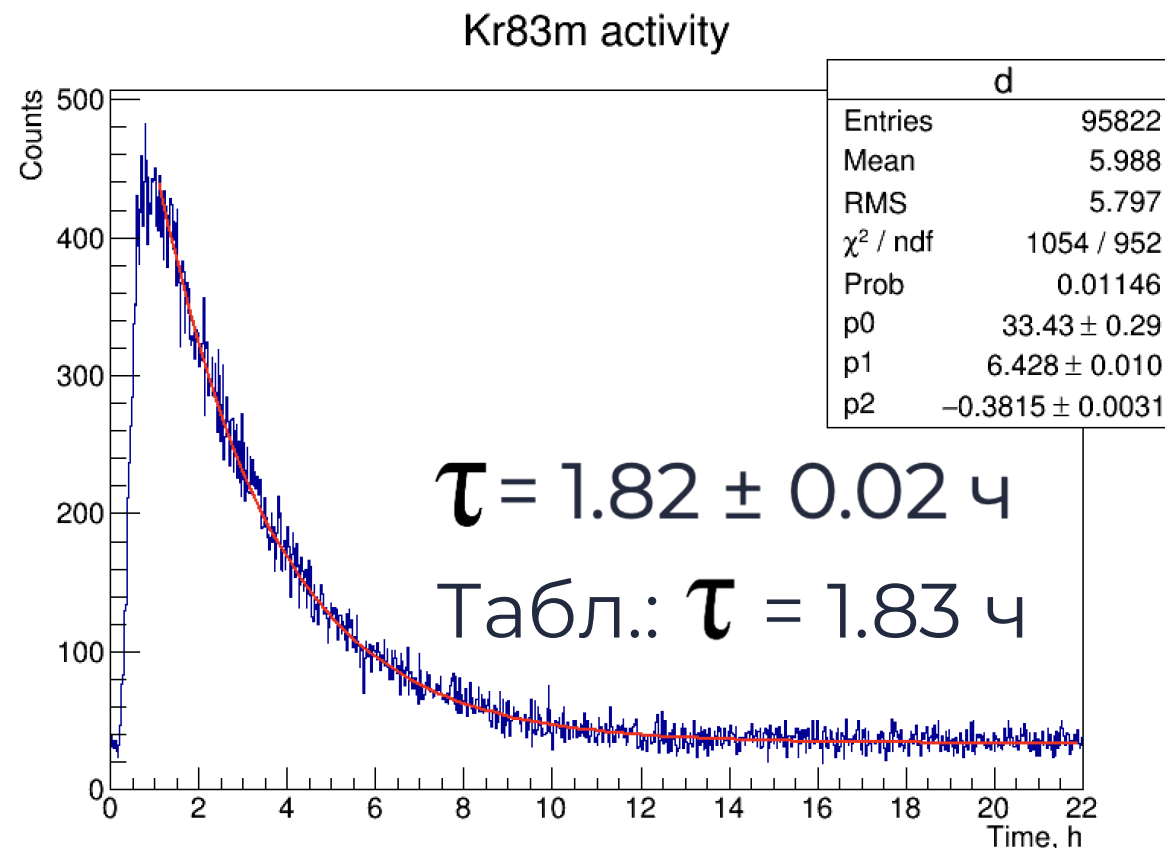
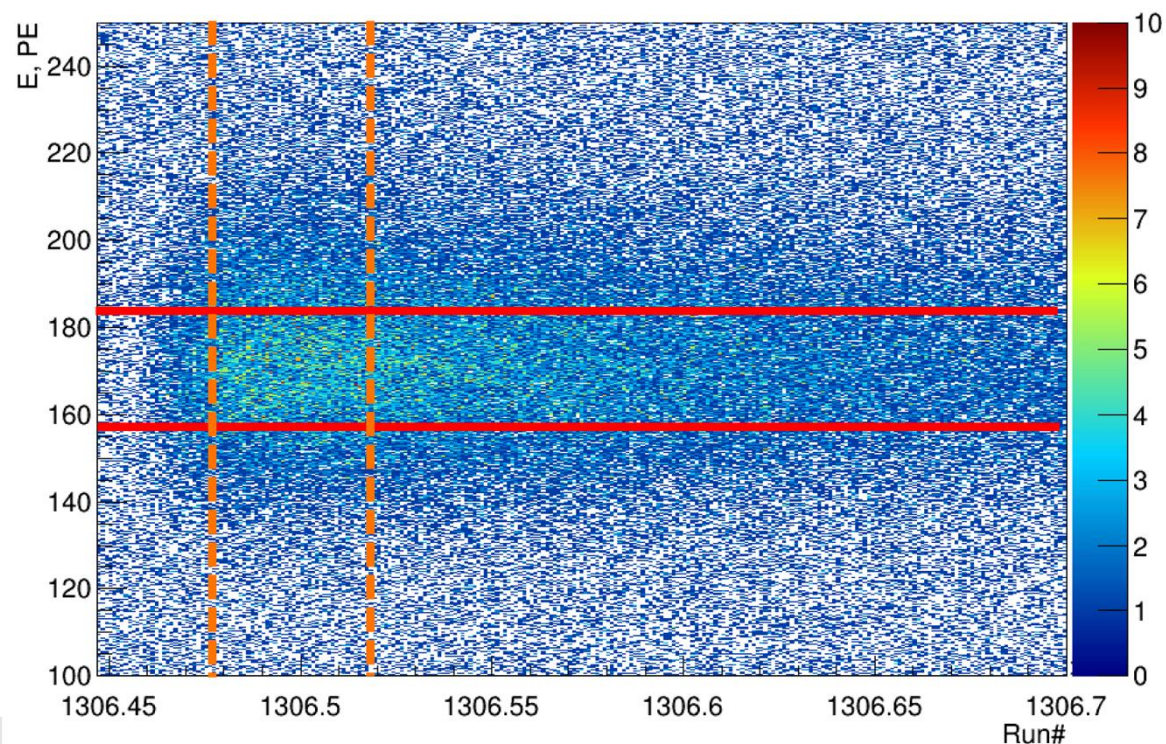


Схема уровней распада ^{83}Rb до ^{83}Kr

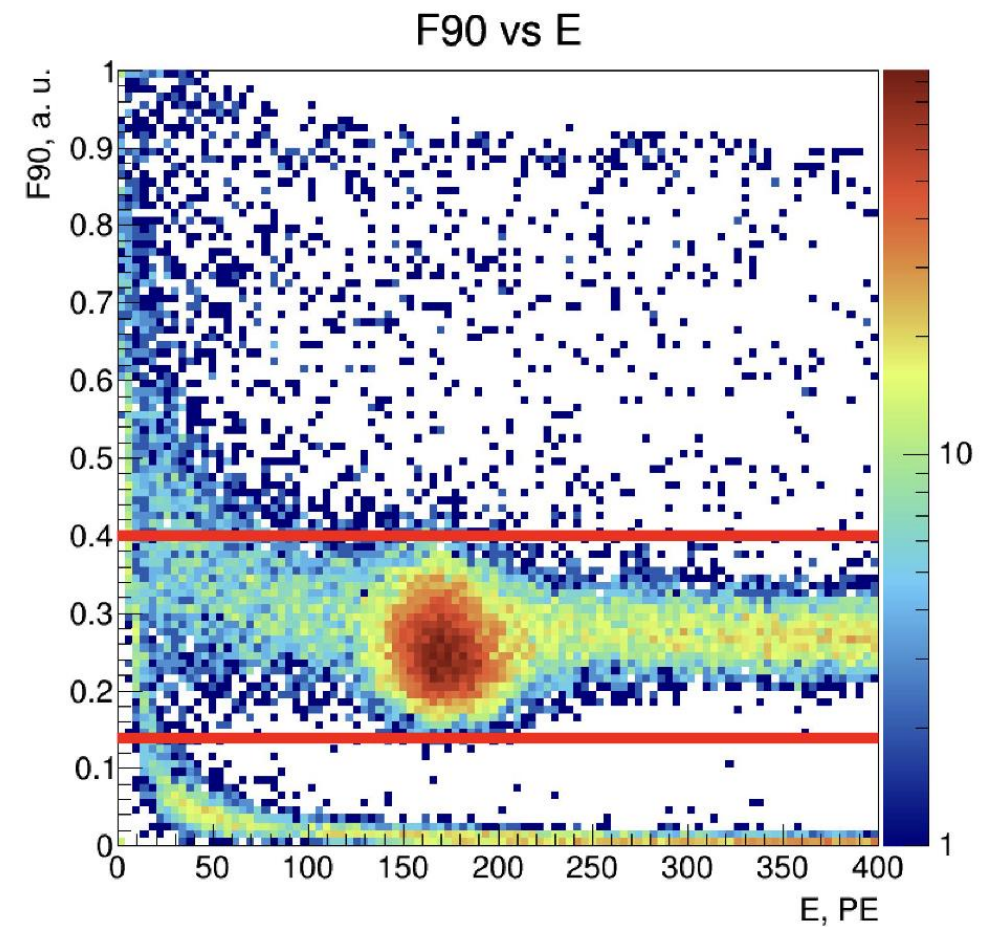
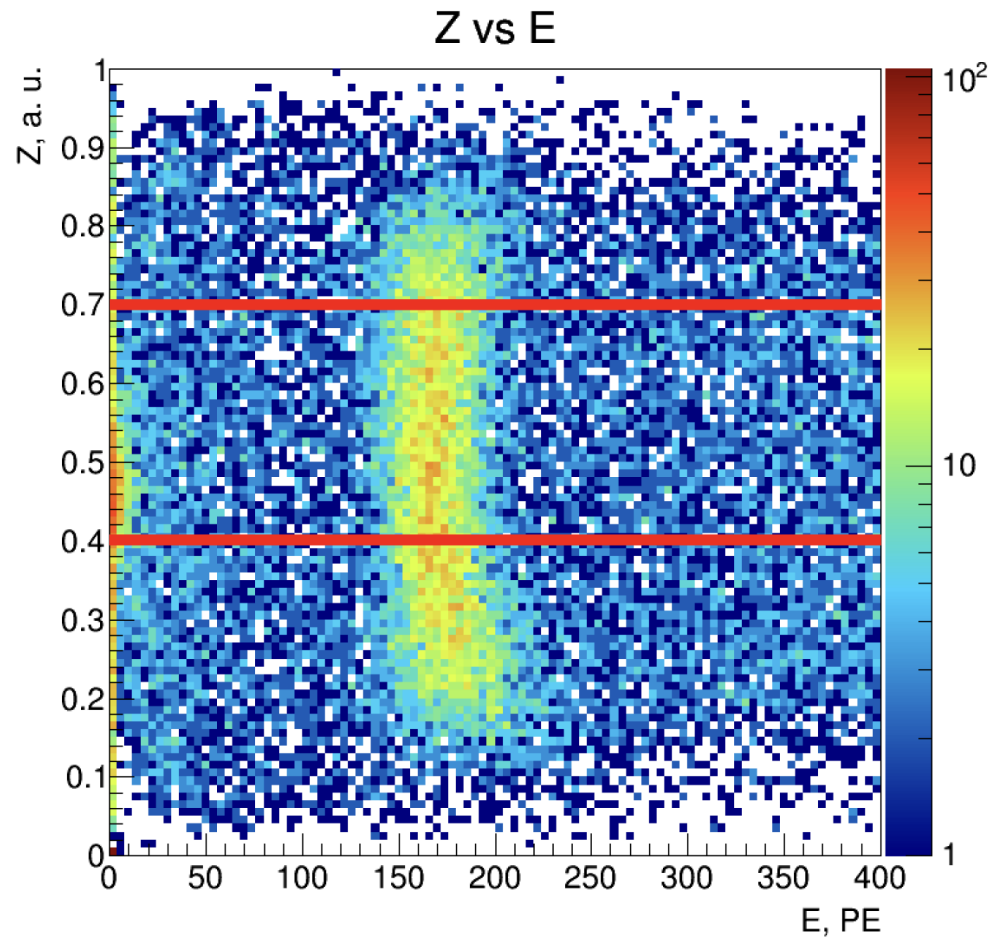
Анализ калибровочных данных ^{83m}Kr . Период полураспада

Отбор ранов с наибольшей активностью для улучшения соотношения сигнал/фон



Фит: константа + экспонента

Анализ калибровочных данных ^{83m}Kr . Отбор данных



Для избранных на предыдущем шаге рангов:

- Отборы по Z (доля сигнала с верхнего ФЭУ, слева) и по F90 (справа)

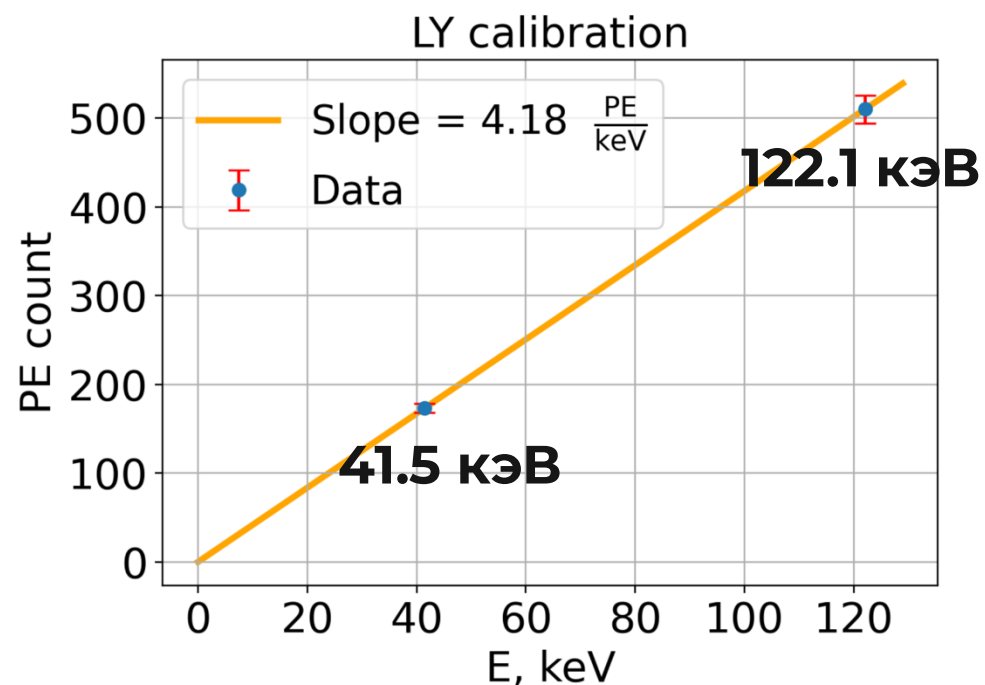
Анализ калибровочных данных ^{83m}Kr . Результаты

Световойход (41.5 кэВ):

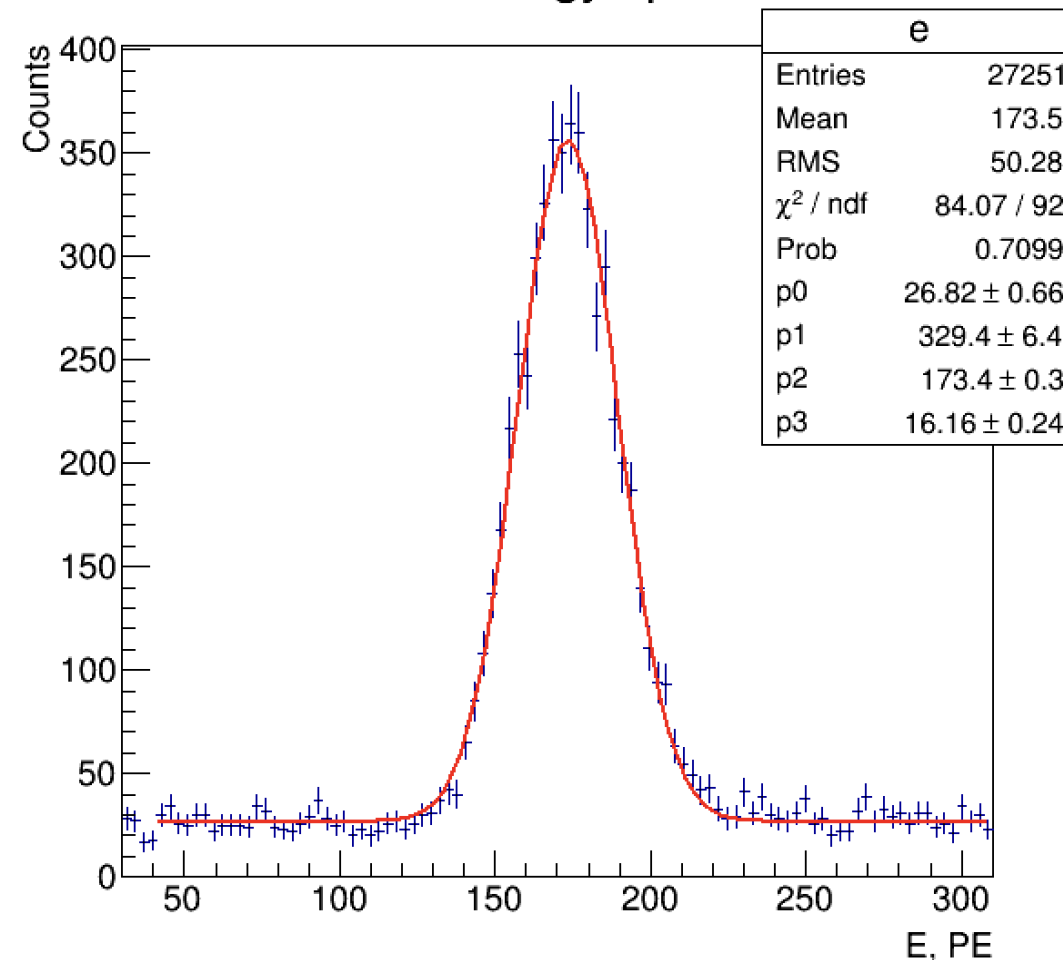
$LY = 4.18 \pm 0.04$ фотоэлектронов/кэВ

Энергетическое разрешение:

$\sigma/E = 9.3 \pm 0.1 \%$



Kr83m energy spectrum



Фит: константа + гауссиан

В рамках выполнения НИРС были выполнены следующие задачи:

- Изучена процедура калибровки детектора CENNS-10 для источников ^{57}Co и $^{83\text{m}}\text{Kr}$
- Проведен анализ калибровочных данных и получены следующие параметры детектора:

Площадь однофотонного импульса:

Верхний ФЭУ: 153.9 ± 0.3 пВ·с

Нижний ФЭУ: 152.3 ± 0.5 пВ·с

Энергетическое разрешение:

41.5 кэВ – 9.3 ± 0.1 %, 122.1 кэВ – 4.5 ± 0.1 %

Световыход:

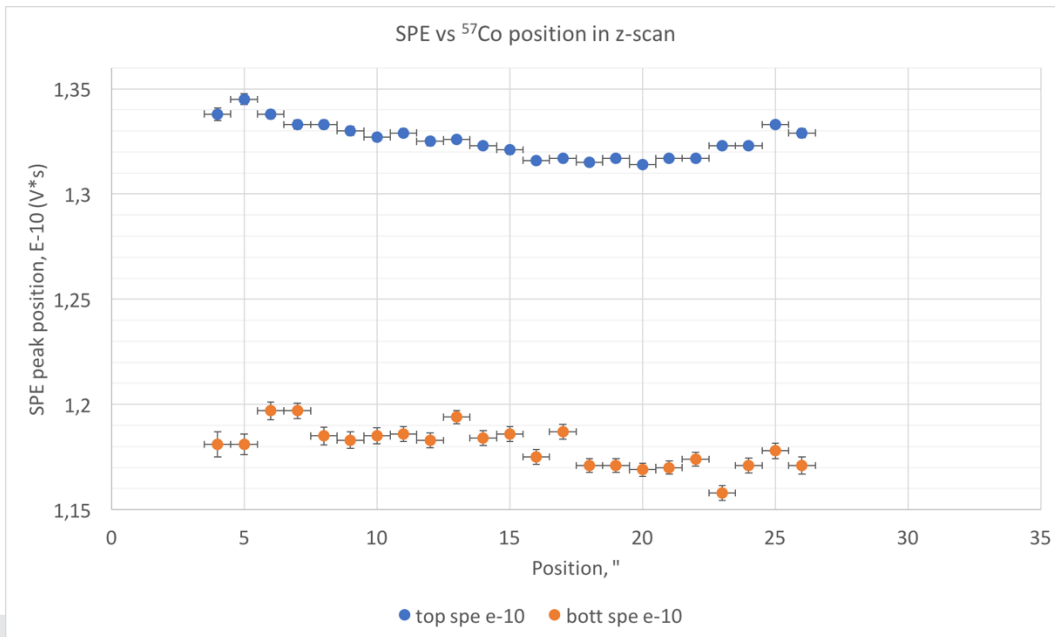
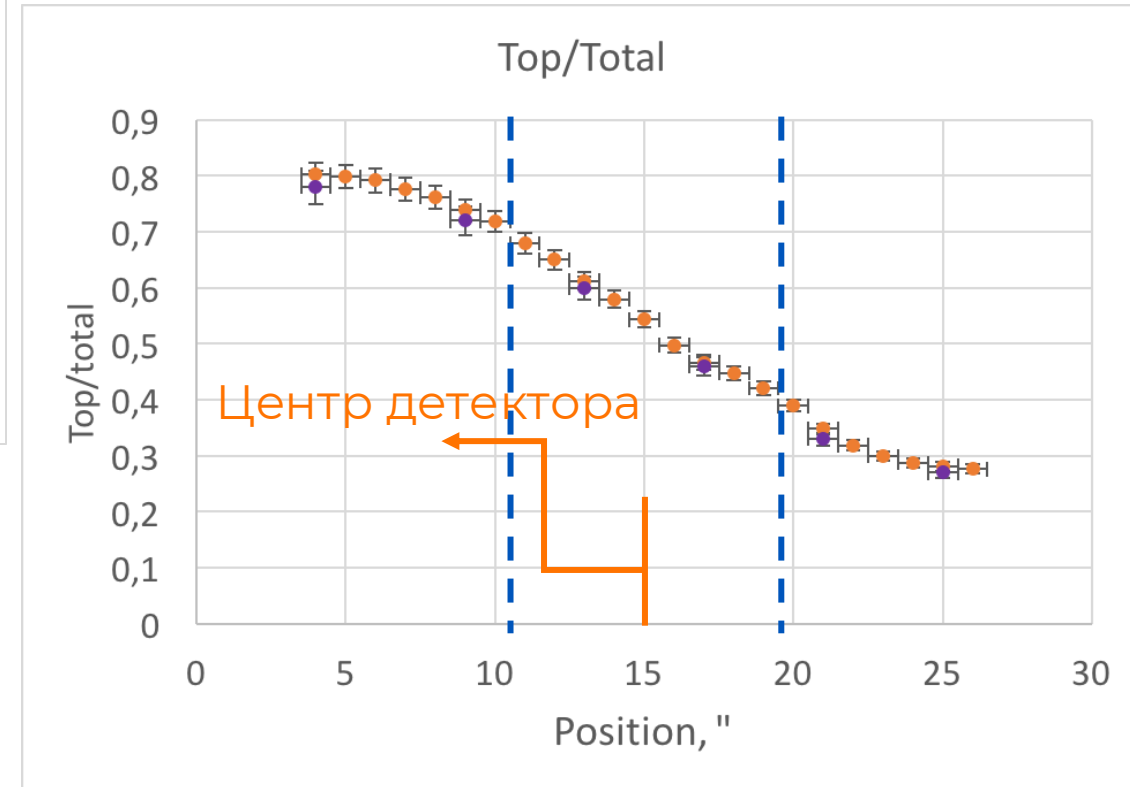
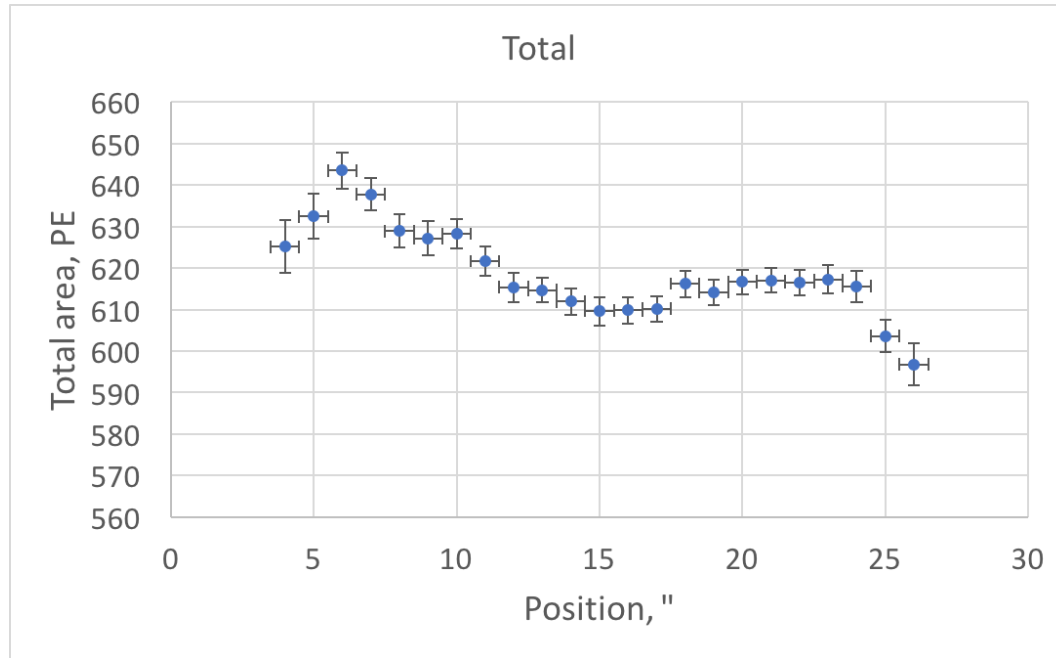
4.2 ± 0.1 фотоэлектронов/кэВ

Спасибо за внимание



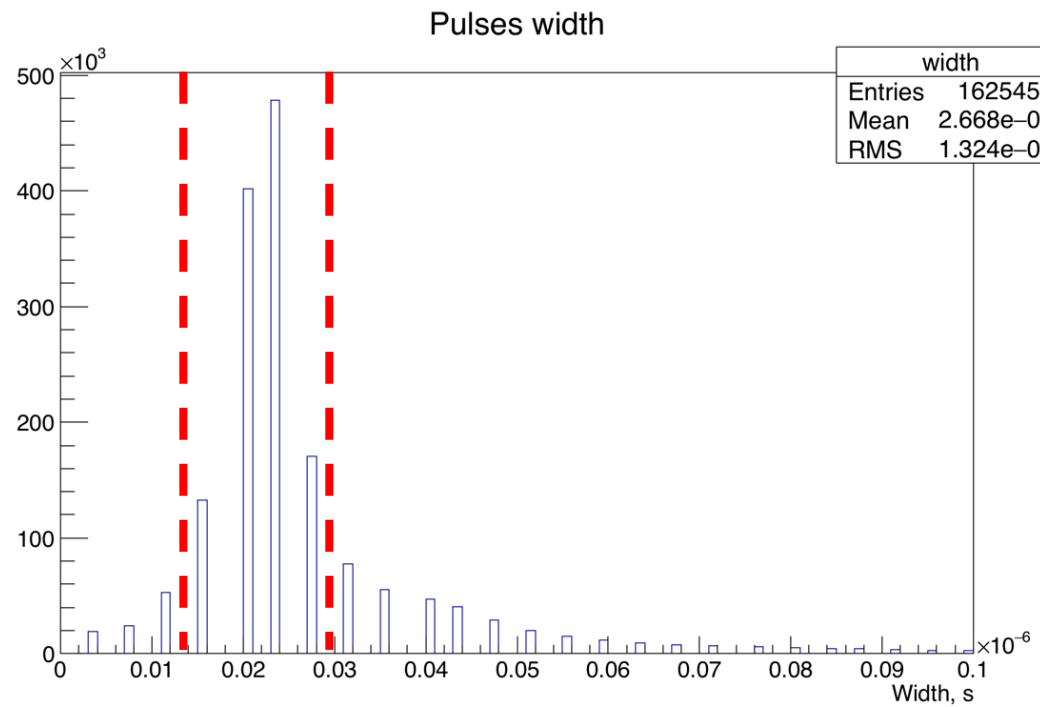
Backup





Анализ калибровочных данных ⁵⁷Co выявил зависимость площади SPE-импульса от положения источника

Отборы ^{57}Co . Ширина

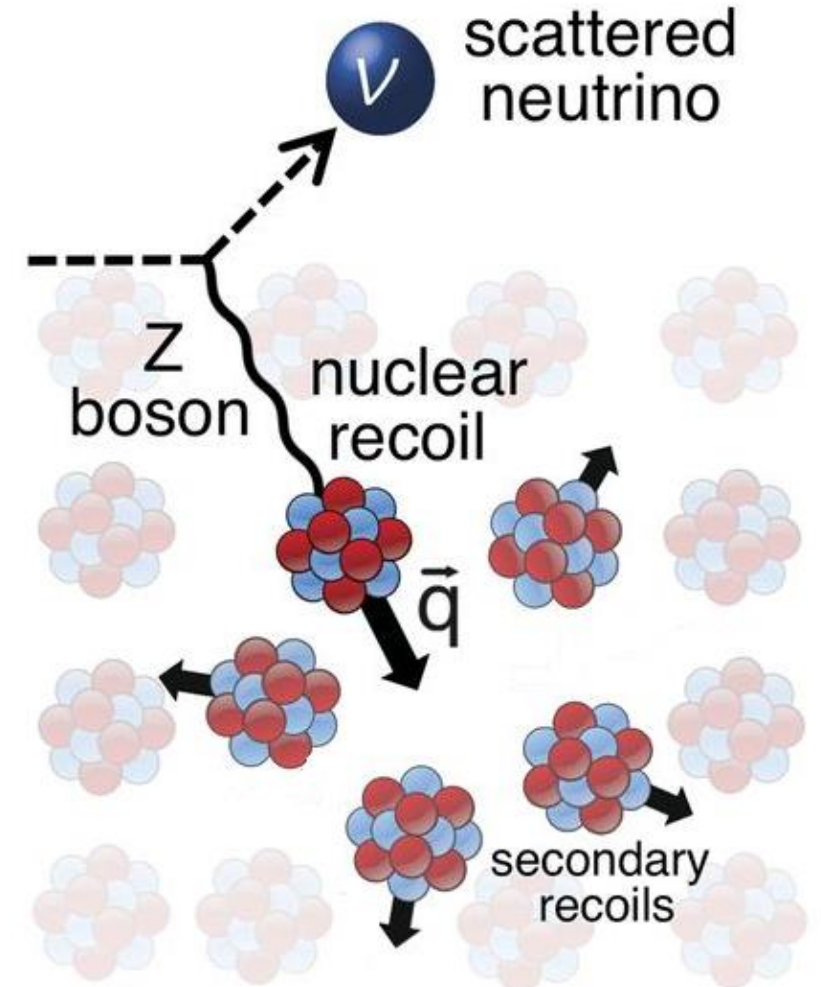


Упругое когерентное рассеяние нейтрино

- Процесс предсказан Стандартной Моделью
- Обнаружен в 2017 году, COHERENT (Csl)
- Низкая энергия ядра отдачи (порядка 10 кэВ)
- Сечение рассеяния пропорционально N^2 (N – число нейтронов в ядре)

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

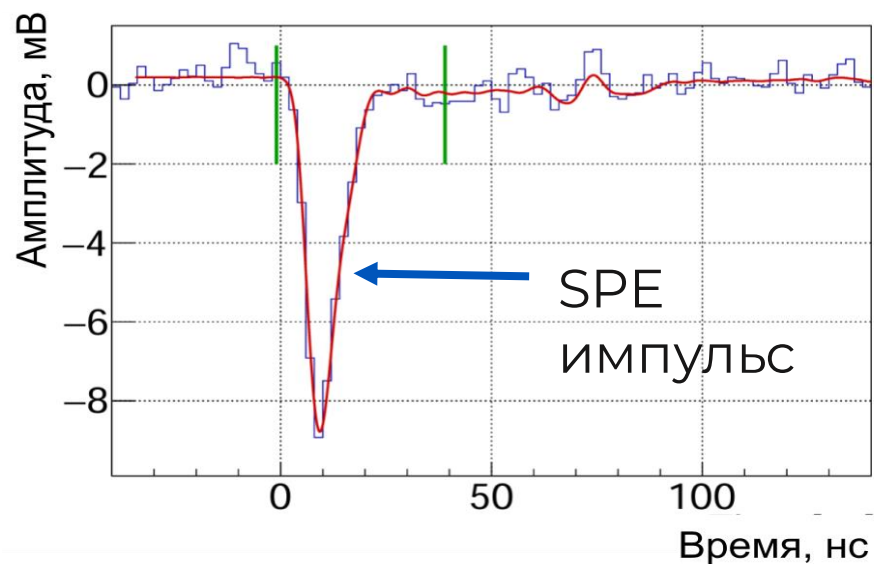
$$Q_W = N - (1 - 4 \sin^2 \theta_W) Z$$



SPE-калибровка фотоумножителей

Для корректной интерпретации электрического сигнала с **ФЭУ** необходимо проведение их калибровки

- Вероятностный характер движения и размножение электронов внутри ФЭУ → **неоднородность** числа и времени их пребывания на анод
- **Калибровка с LED/источником ^{57}Co**
- Данные направляются в REDOffline для обработки



Пример формы SPE-сигнала

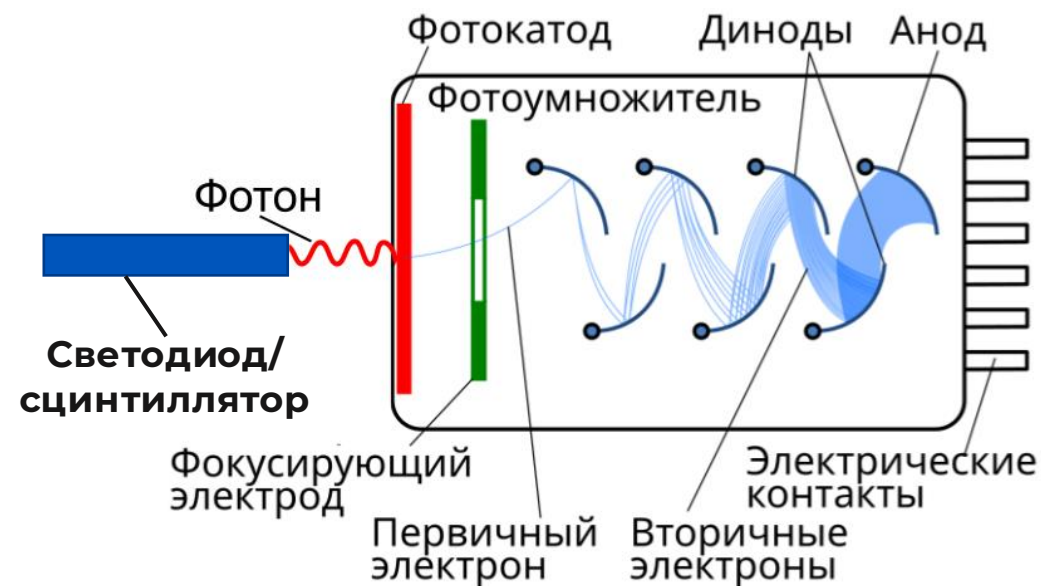
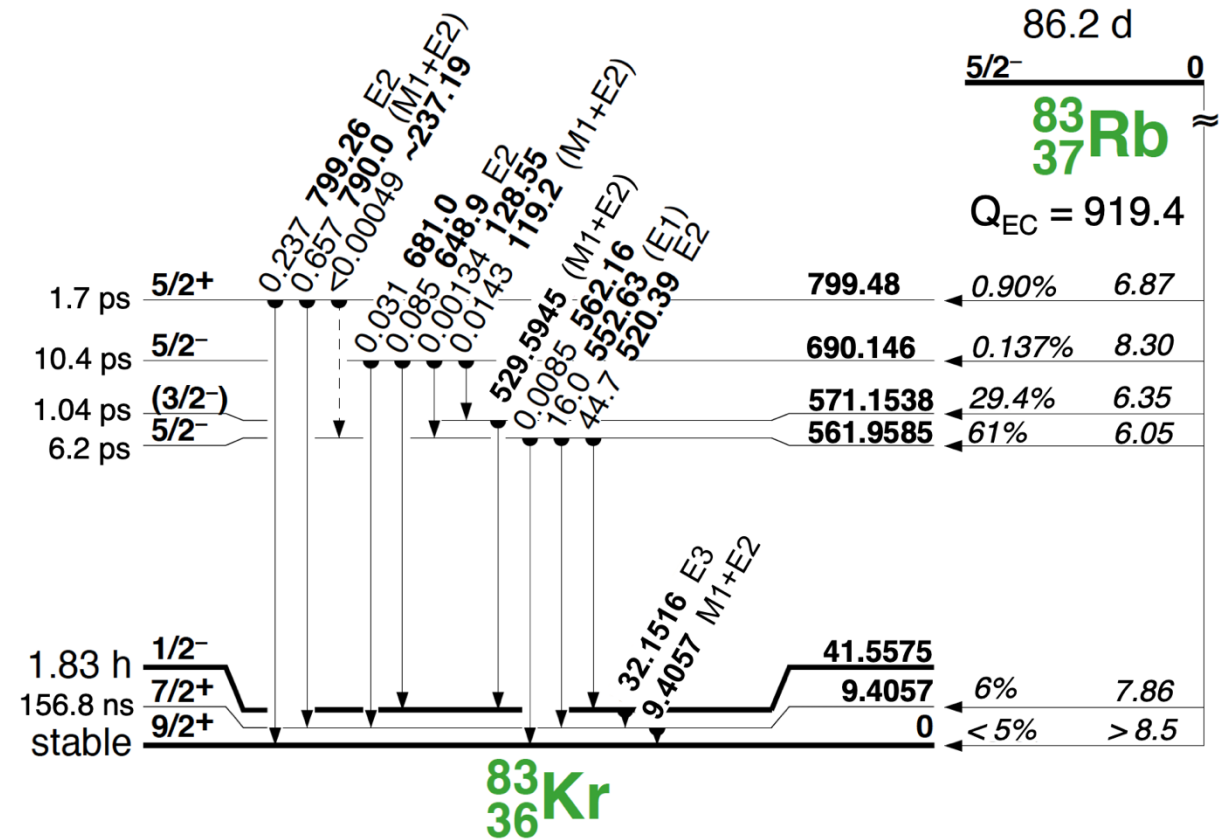
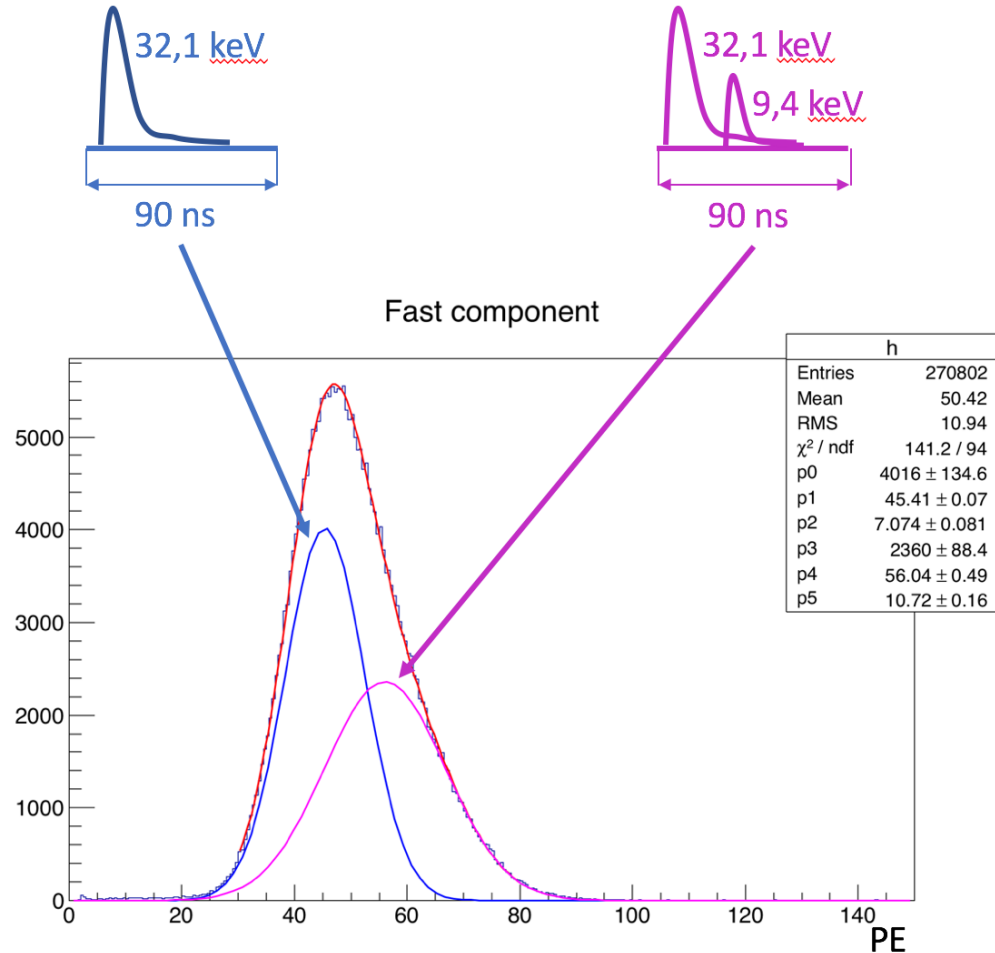
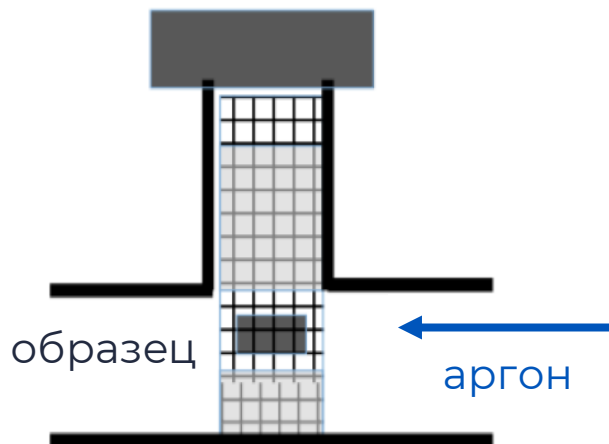


Схема уровней источника ^{83}Rb



Расположение источника ^{83m}Kr



*Расположение образца в
тройнике VCR газовой
системы детектора*

The end

