



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Разработка сцинтиляционного спектрометра для измерения энергетических спектров бета-частиц продуктов деления изотопов урана и плутония

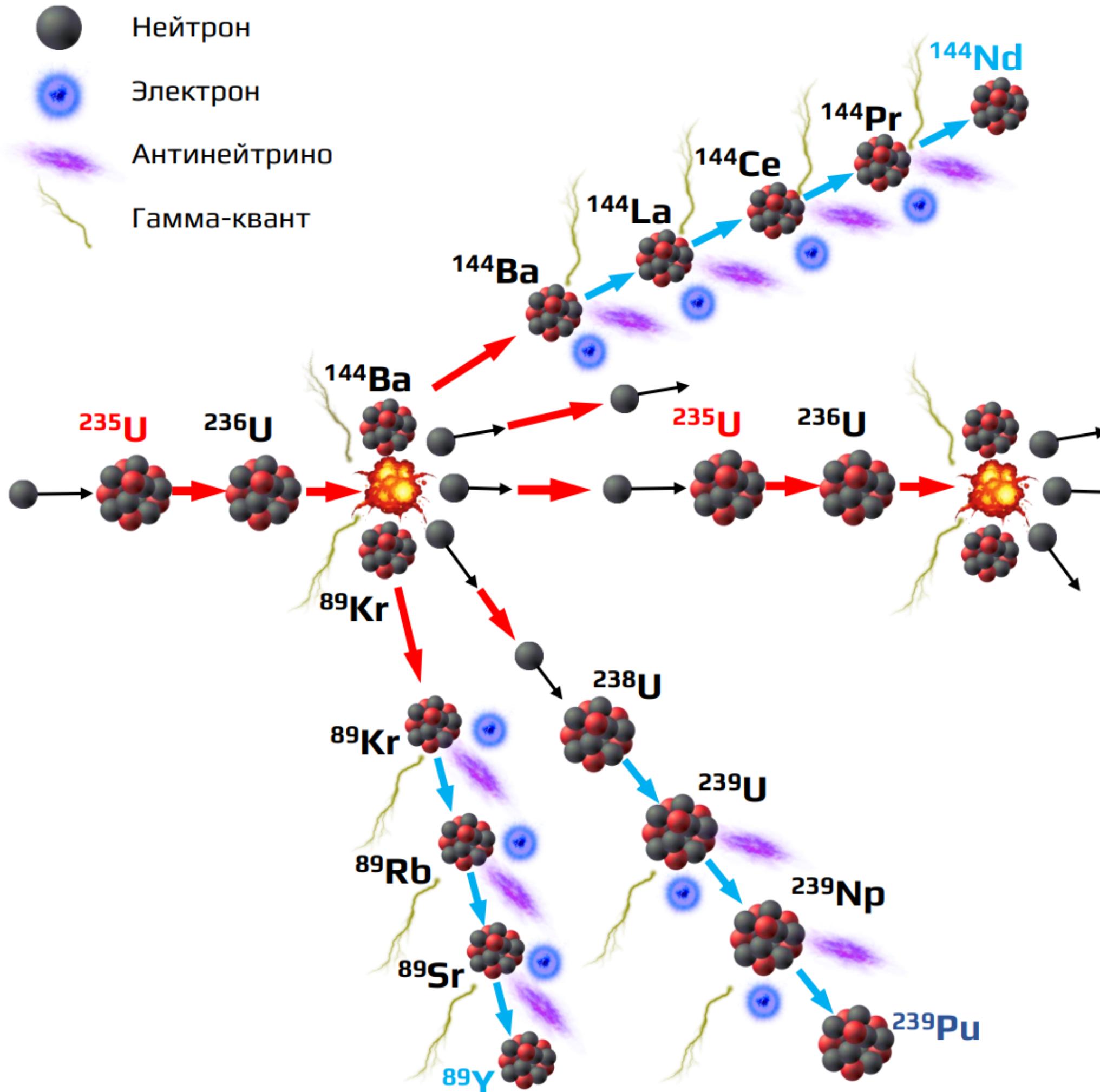
Студент:

Сушкова Полина Игоревна

Научный руководитель: Попов Даниэль Валерьевич

Научный консультант: Долганов Григорий Дмитриевич

Методы получения спектров реакторных антинейтрино



Метод *ab initio*:

суммирование спектров от всех бета-активных осколков деления ядерного топлива с учётом индивидуальной активности каждого изотопа.

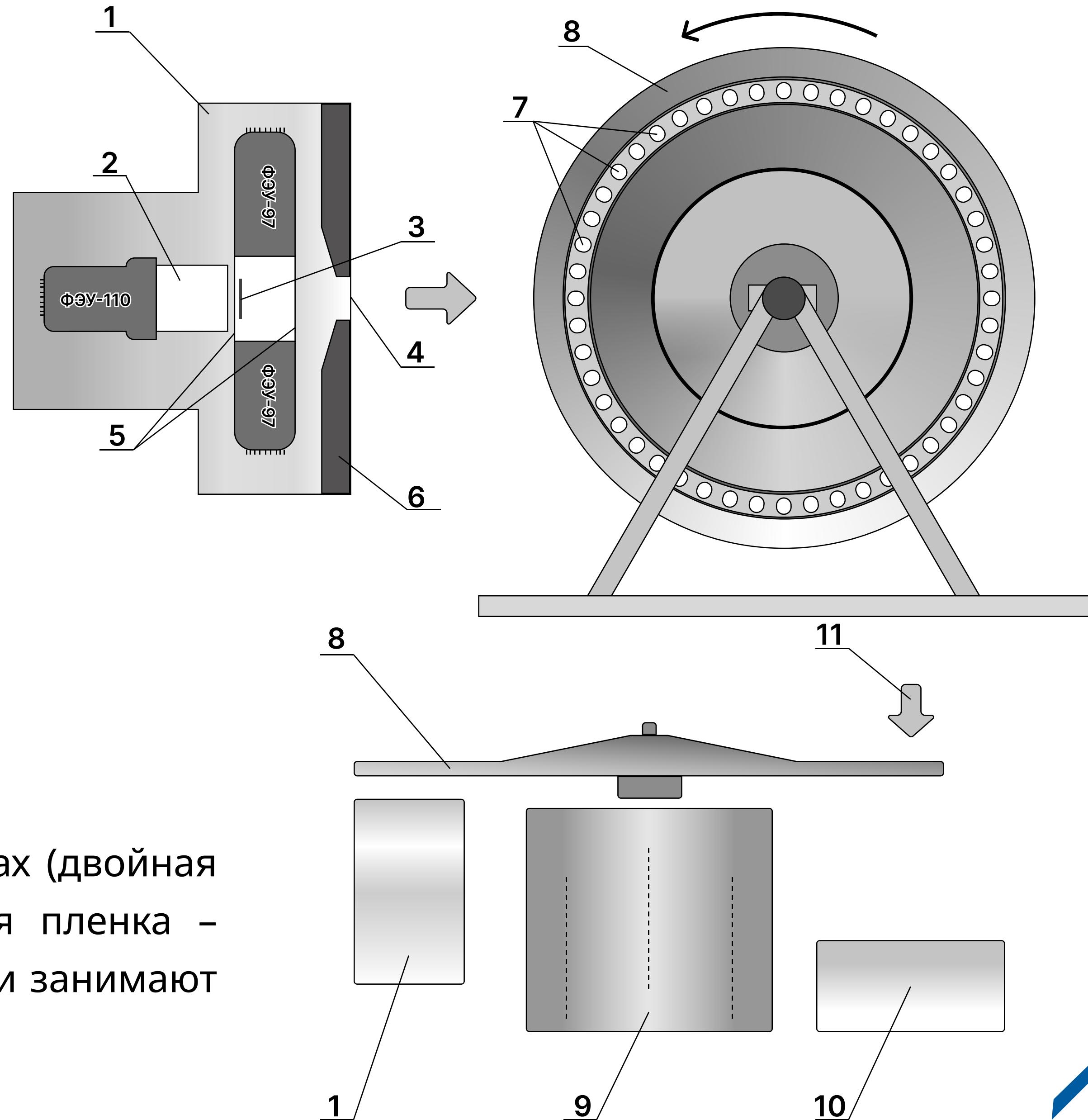
Метод конверсии:

получение спектров реакторных антинейтрино с помощью пересчетов экспериментальных спектров бета-частиц.

Установка БЕТА НИЦ КИ

- 1 - бета-спектрометр
- 2 - основной пластиковый сцинтиллятор
- 3 - тонкий пролетный пластиковый сцинтиллятор
- 4 - тонкая майларовая мембрана
- 5 - светоотражающие майларовые пленки
- 6 - коллиматор
- 7 - мишени
- 8 - вращающийся дюралюминиевый диск
- 9 - комбинированная пассивная защита
- 10 - поглотитель нейтронного потока
- 11 - нейтронный поток

Мишени (1/3 диска U и 1/3 диска Ru) в защитных оболочках (двойная алюминиевая фольга + металлизированная органическая пленка – общая толщина 13 мг/см²); аналогичные «пустые» оболочки занимают 1/3 диска – измерения фона.



Цель работы:

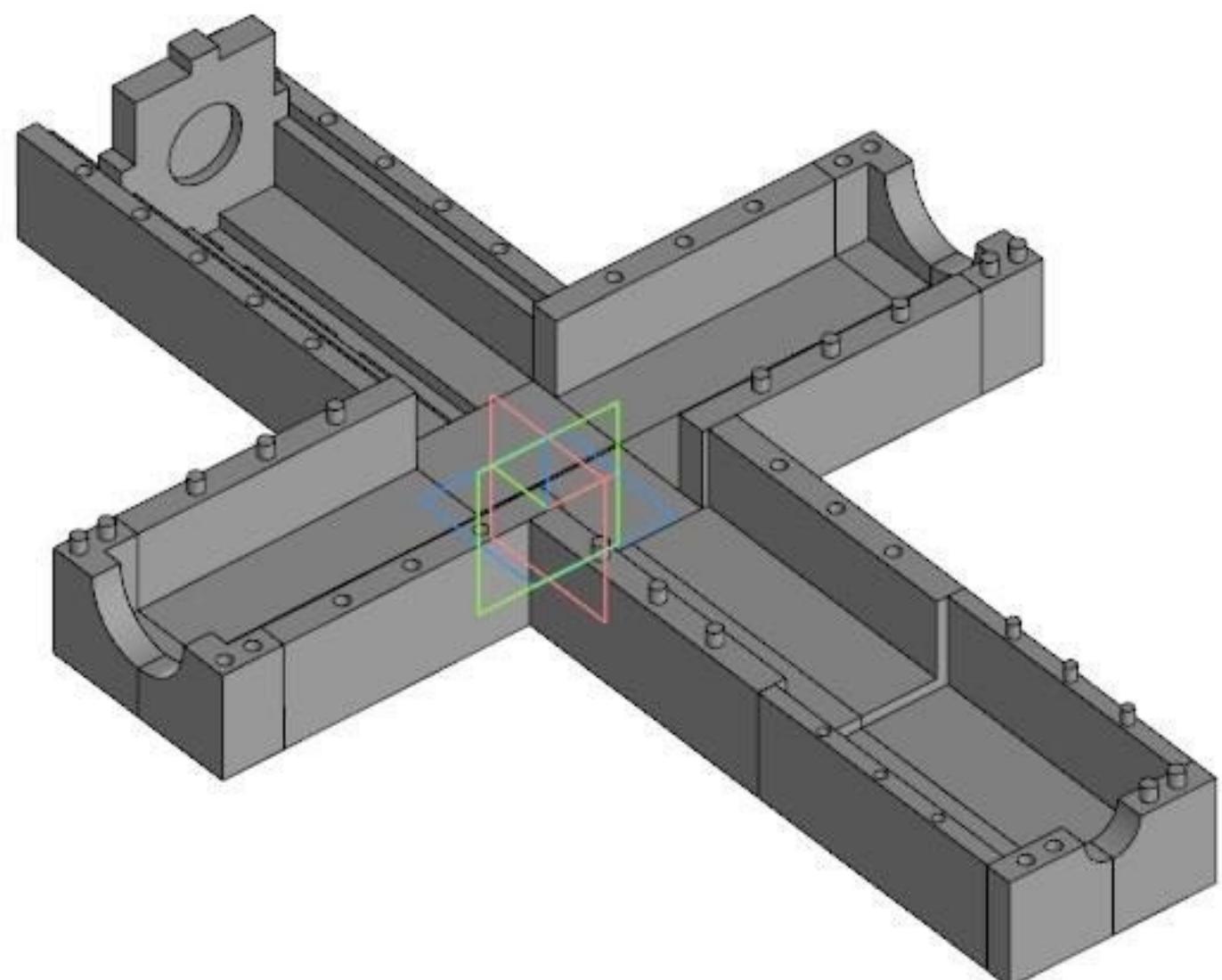
Разработка сцинтиляционного спектрометра для измерения энергетических спектров бета-частиц продуктов деления изотопов урана и плутония.

Задачи на 1 семестр:

1. Создать прототип действующего бета-спектрометра установки БЕТА.
2. Определить рабочие диапазоны фотоэлектронных умножителей по амплитуде сигнала и подаваемому напряжению.
3. Получить аппаратурные кривые отклика сцинтиляционного детектора на калибровочные источники гамма-квантов.
4. Провести калибровку шкалы детектирующей системы с помощью измерений с источниками гамма-квантов и расчета энергетических потерь в тонком пластиковом сцинтиляторе.
5. Получить аппаратурную кривую отклика прототипа бета-спектрометра на калибровочный источник электронов Sr.

Прототип бета-спектрометра установки БЕТА

- Тонкий пластиковый сцинтиллятор, состоящий из полистирола, р-терфенила и ПОПОП, размерами 5 x 5 см и толщиной 250 мкм, плотностью 1.03 гр/см³.
- Основной пластиковый сцинтиллятор, состоящий из полистирола, р-терфенила и ПОПОП, в виде цилиндра длиной 5 см и диаметром 5 см, плотностью 1.03 гр/см³.
- Три фотоэлектронных умножителя, с эффективным диаметром фотокатода 46 мм.
- Сцинтилляторы обернуты в светоотражающий материал (тайвек) плотностью 0.96 г/см³ и толщиной 0.01 см.



Измерение спектрометрических характеристик ФЭУ

Необходимо:

определить область линейности сигналов и рабочий диапазон напряжений.

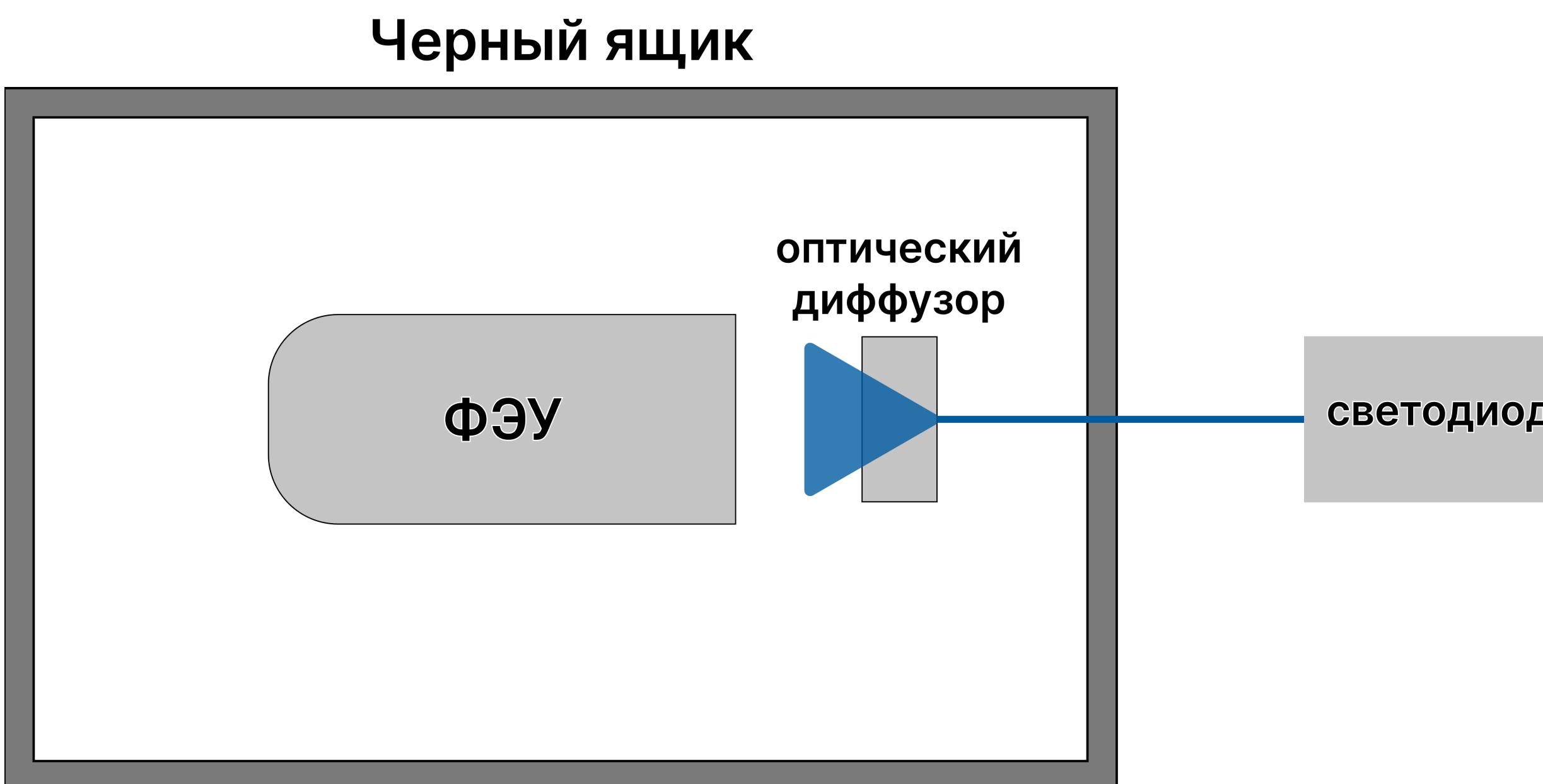
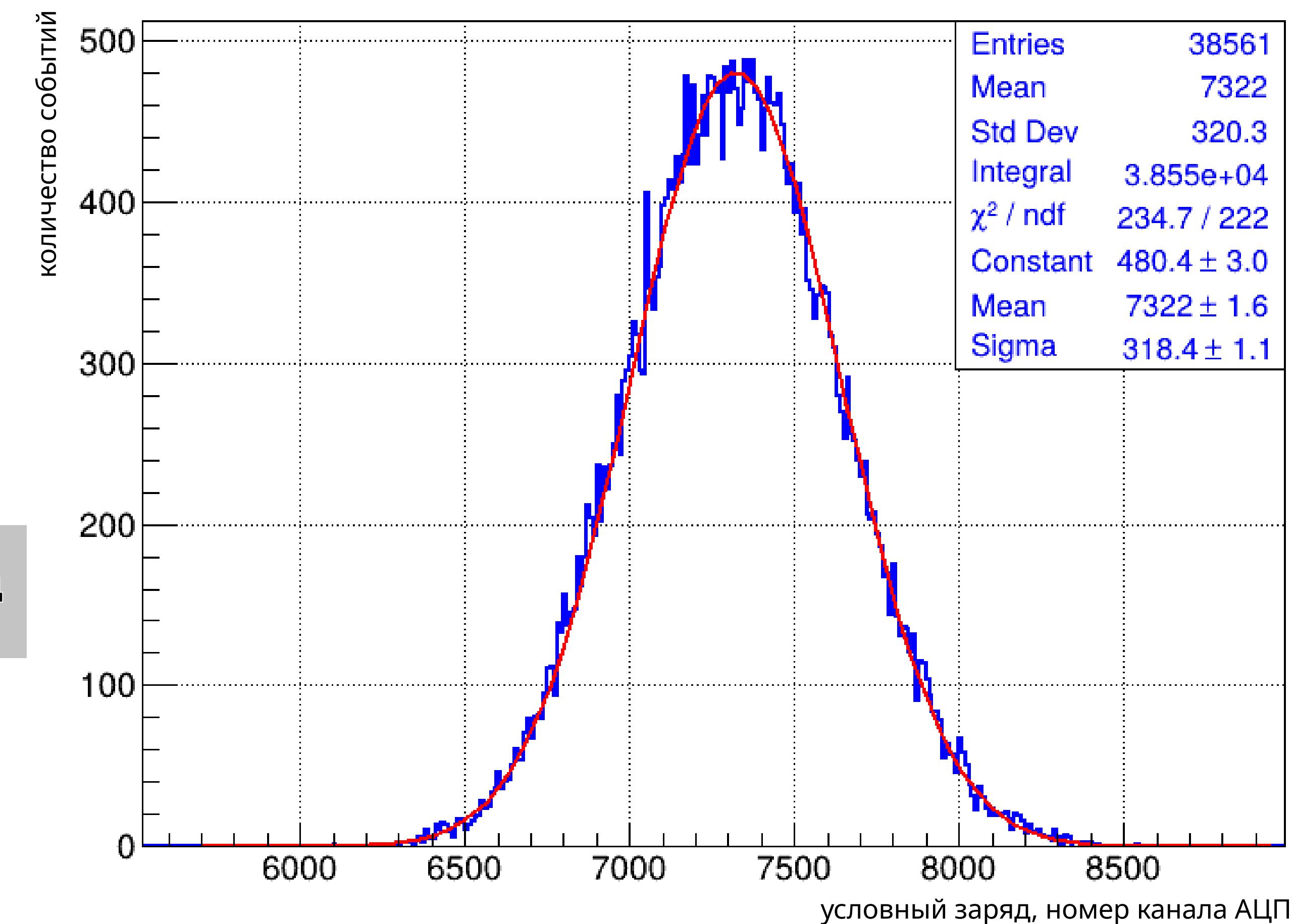


Схема собранной установки, предназначеннной для определения рабочих параметров ФЭУ.

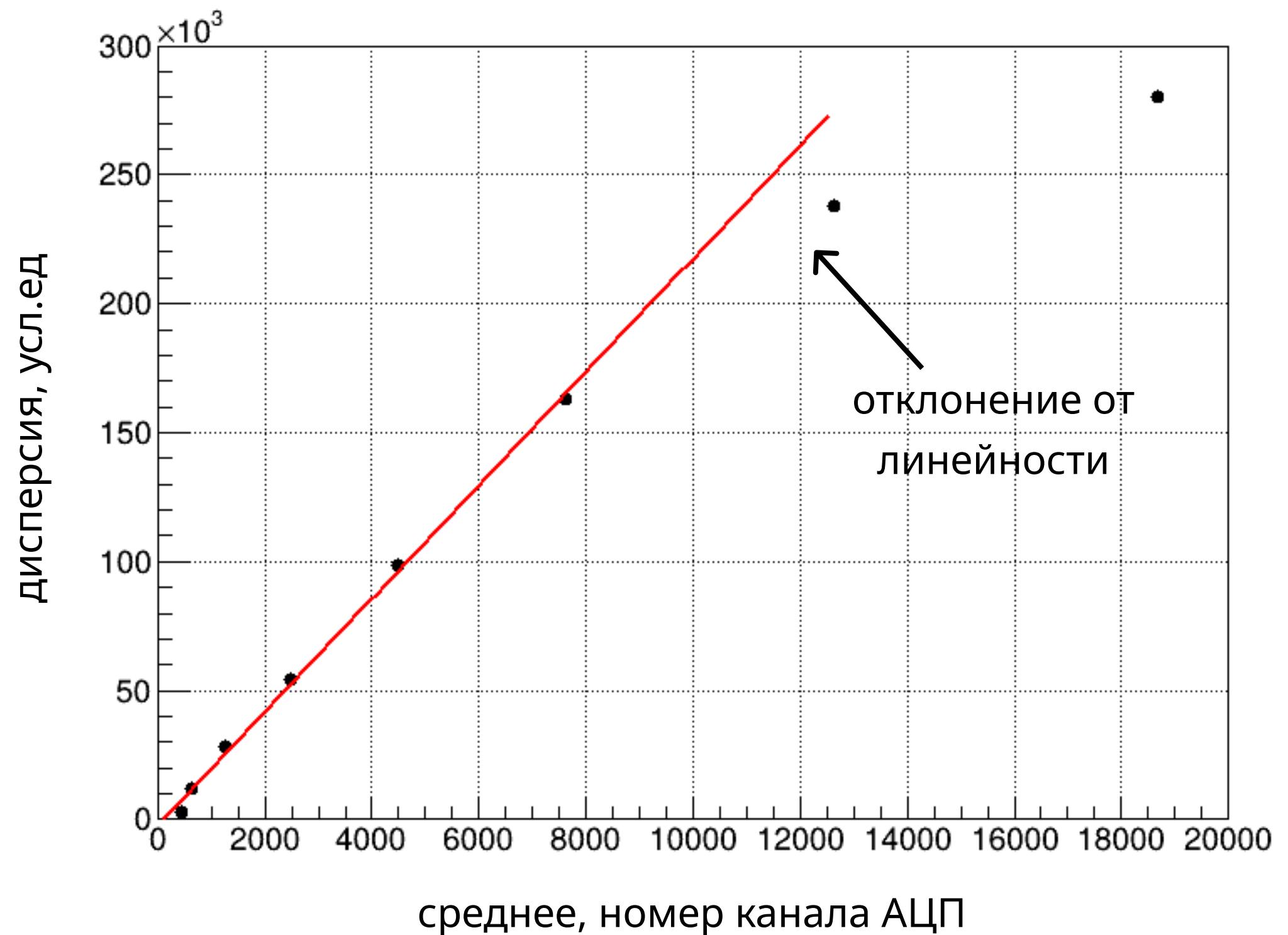


Пример аппаратурной кривой отклика ФЭУ на пучок света.

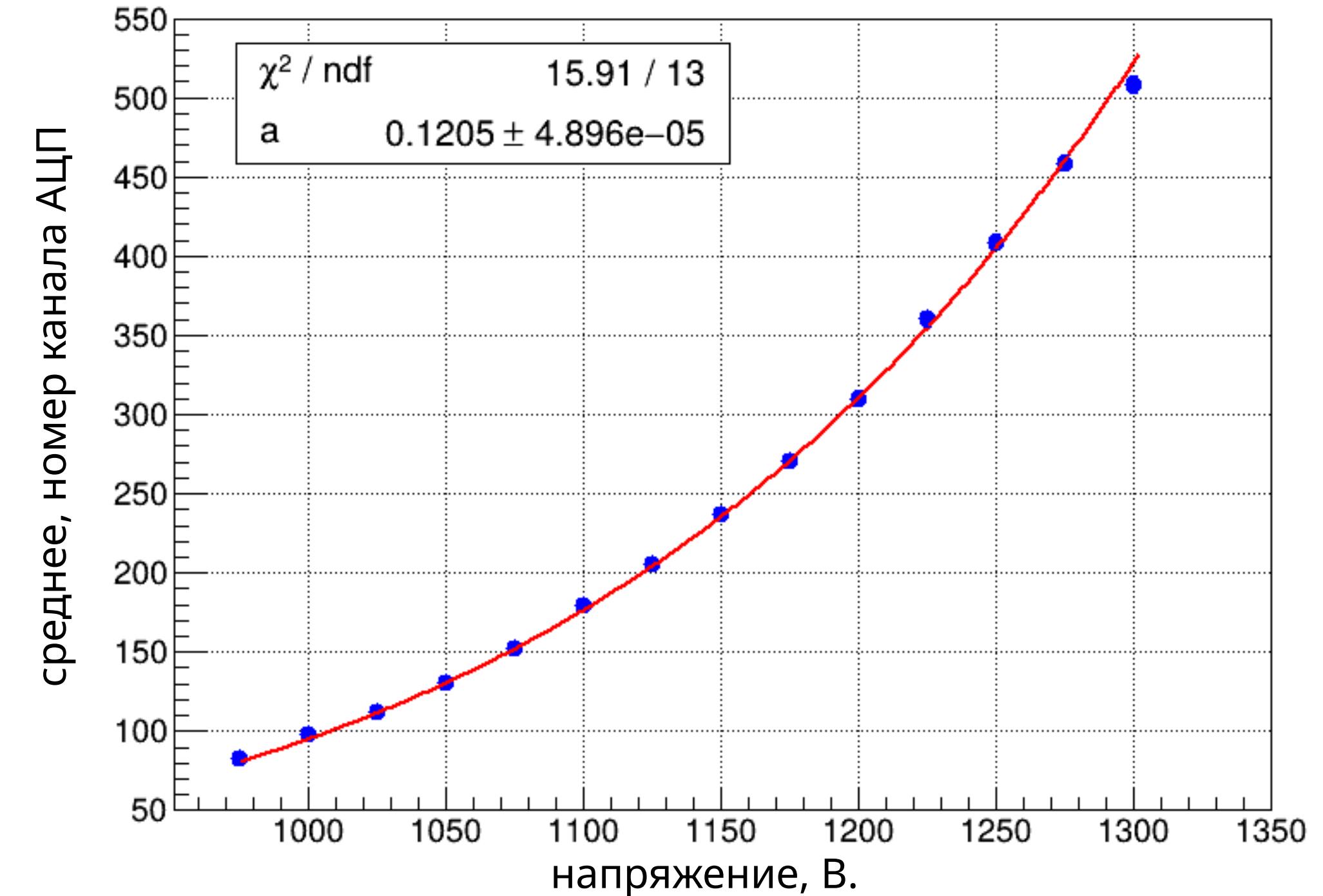
Измерение спектрометрических характеристик ФЭУ

$$\mu = \frac{a^n}{(n+1)^{kn}} \cdot U^{kn}$$

k — эмпирическая постоянная, зависящая от материала фотокатода ФЭУ (принимает значение в диапазоне 0.6–0.9); n — количество динодов (в данной работе $n = 10$); a — свободный параметр.



Зависимость дисперсии кривой отклика от ее положения среднего. Красная линия — результат аппроксимации полученной зависимости линейной функцией.



Зависимость положения среднего кривой отклика ФЭУ от подаваемого на него напряжения. Красная кривая — результат аппроксимации данных

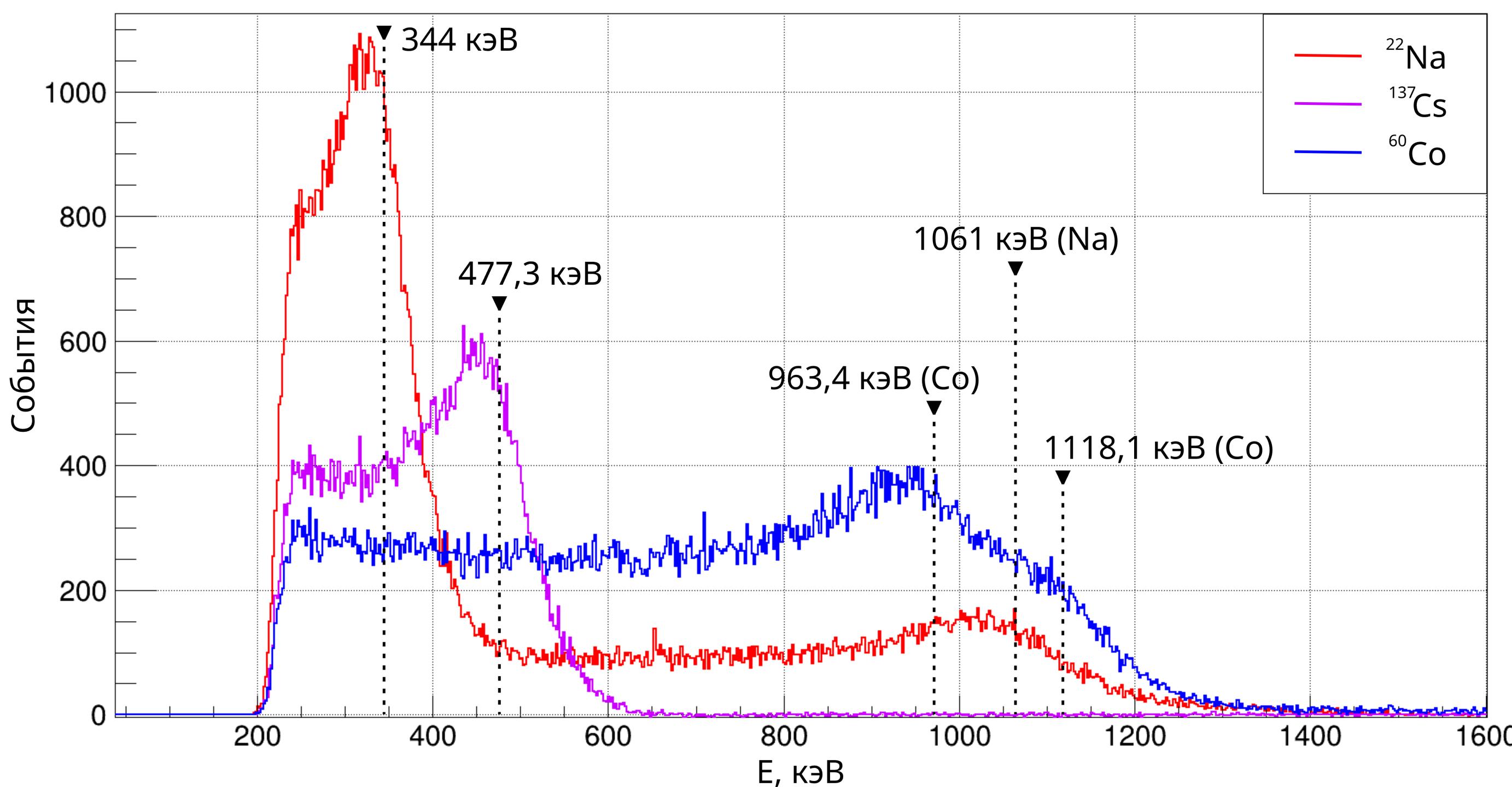
Экспериментальные данные с калибровочными источниками

Положение края рассчитывается по формуле:

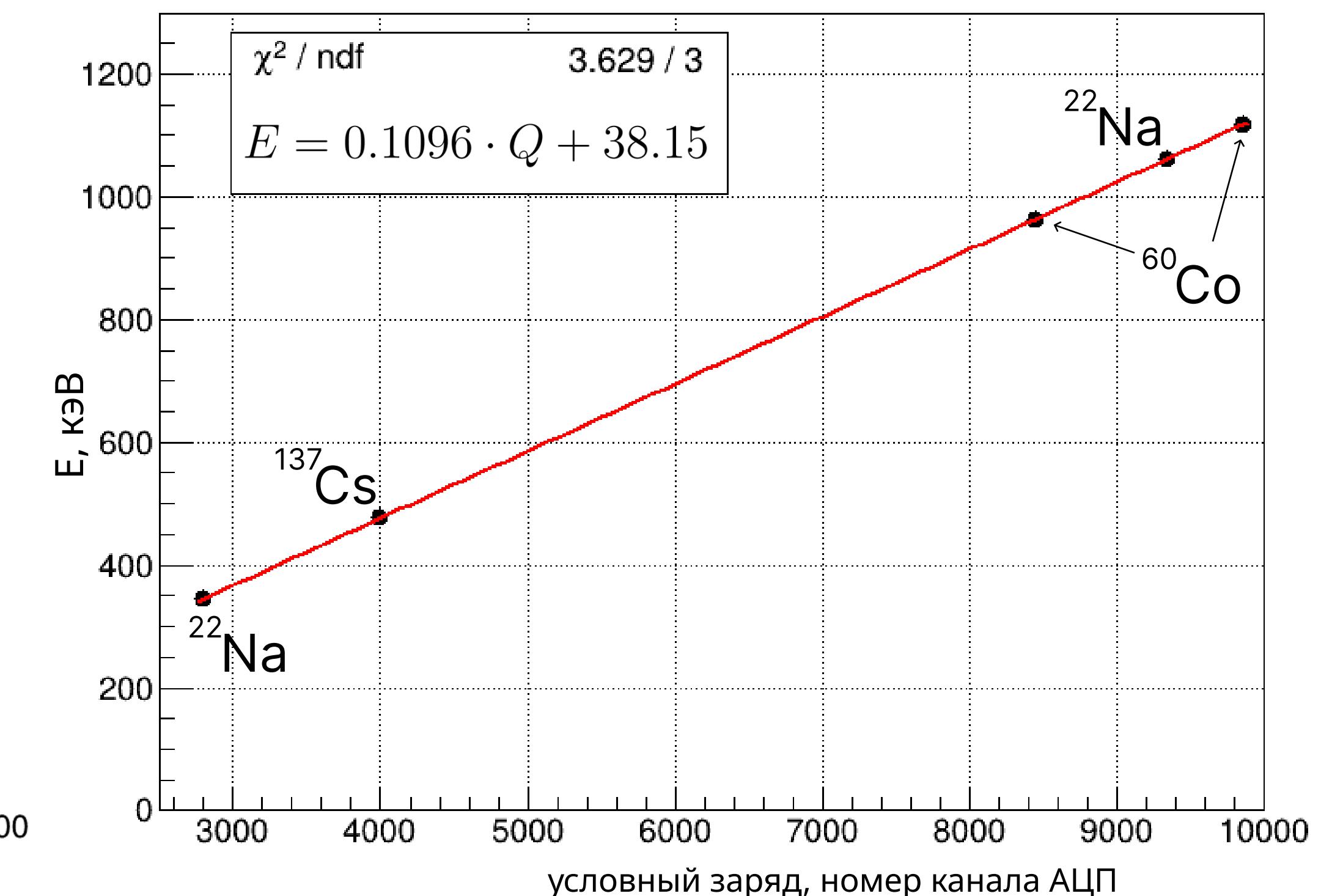
$$Q = \mu + \frac{\sigma}{2}$$

где μ – математическое ожидание распределения заряда сигналов.

σ – стандартное отклонение распределения заряда сигналов.

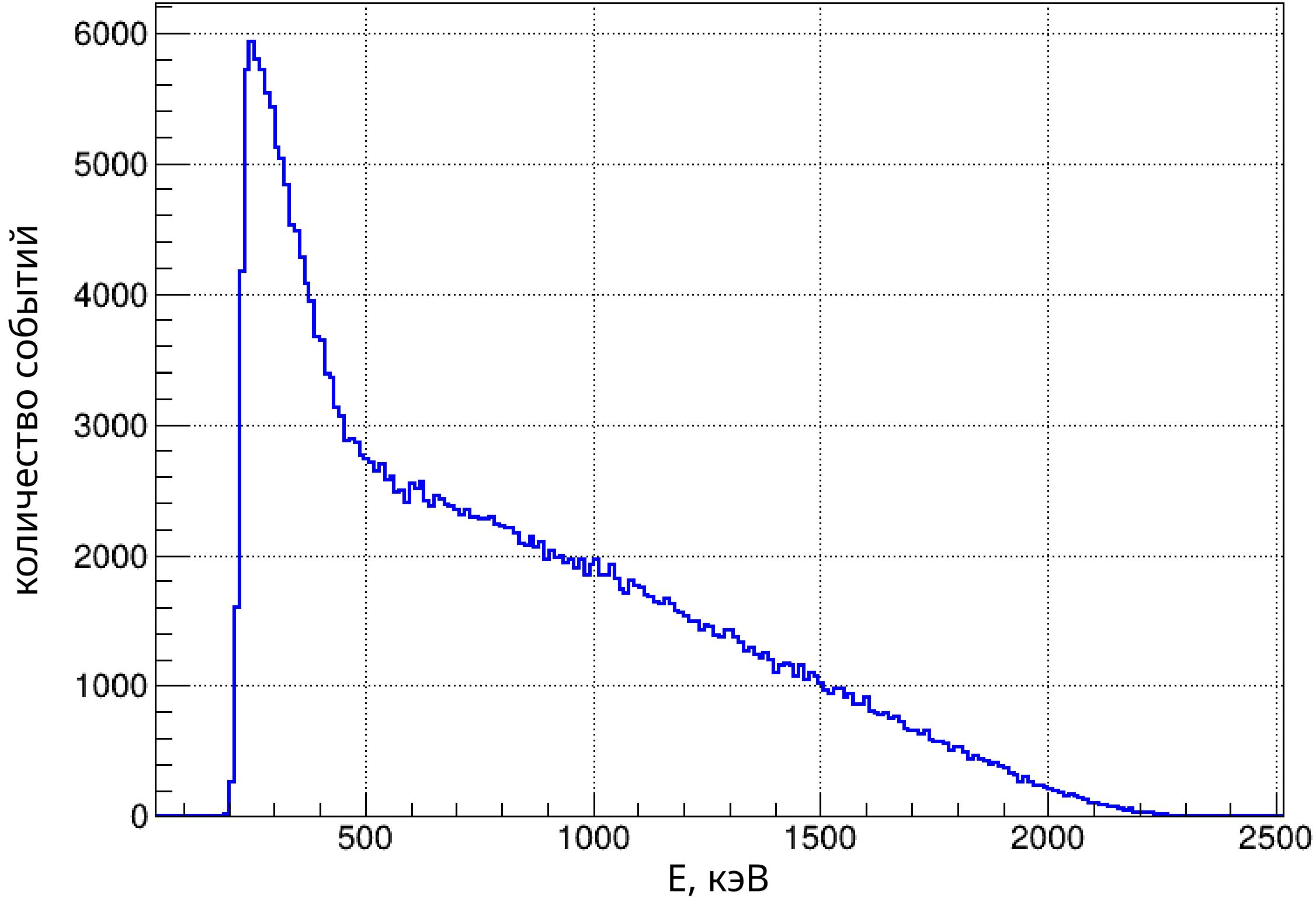


Аппаратурные кривые отклика пластикового сцинтиллятора на калибровочные источники в энергетических единицах.

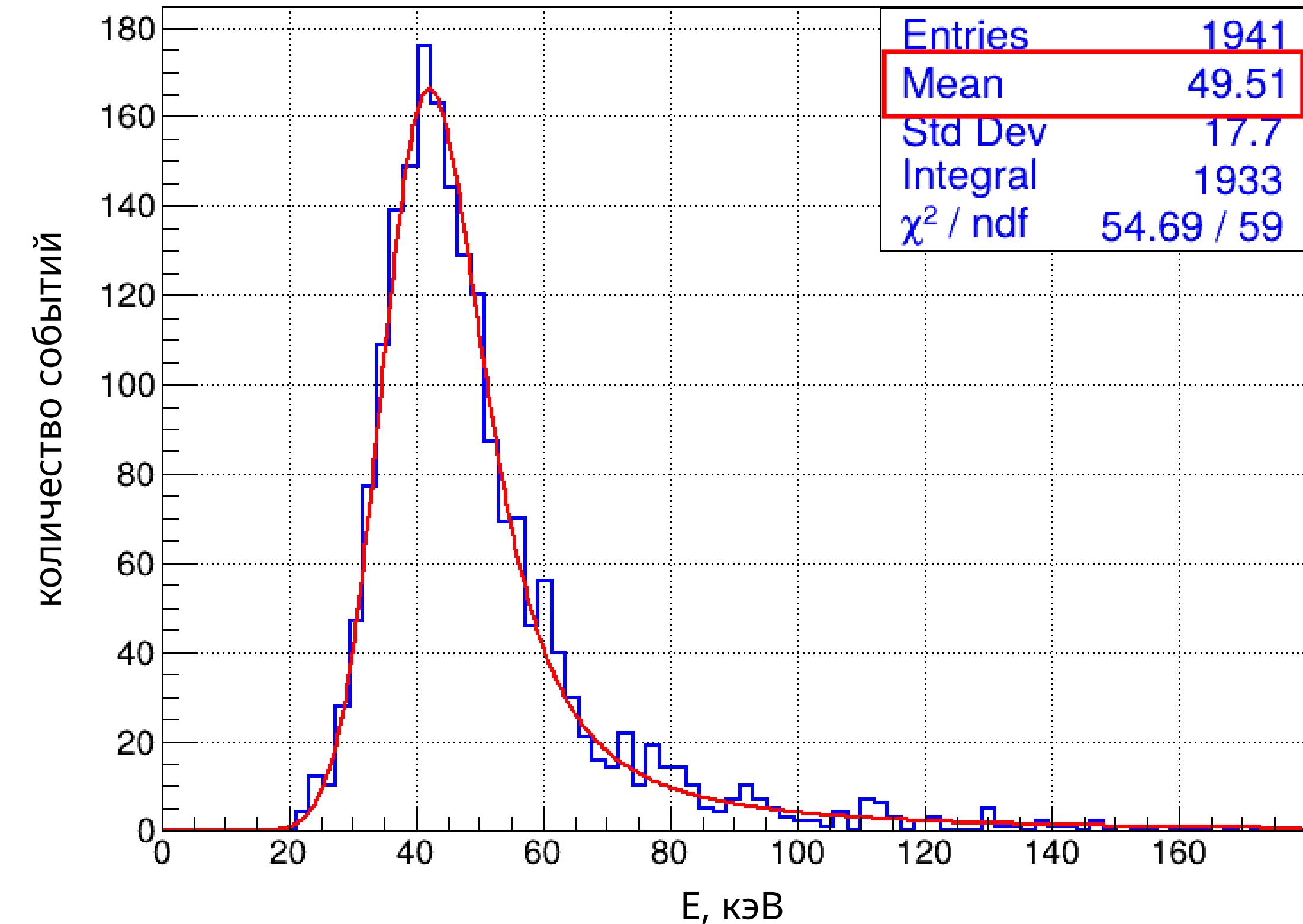


Зависимость энергетической шкалы от условного заряда.

Экспериментальные данные с источником ^{90}Sr

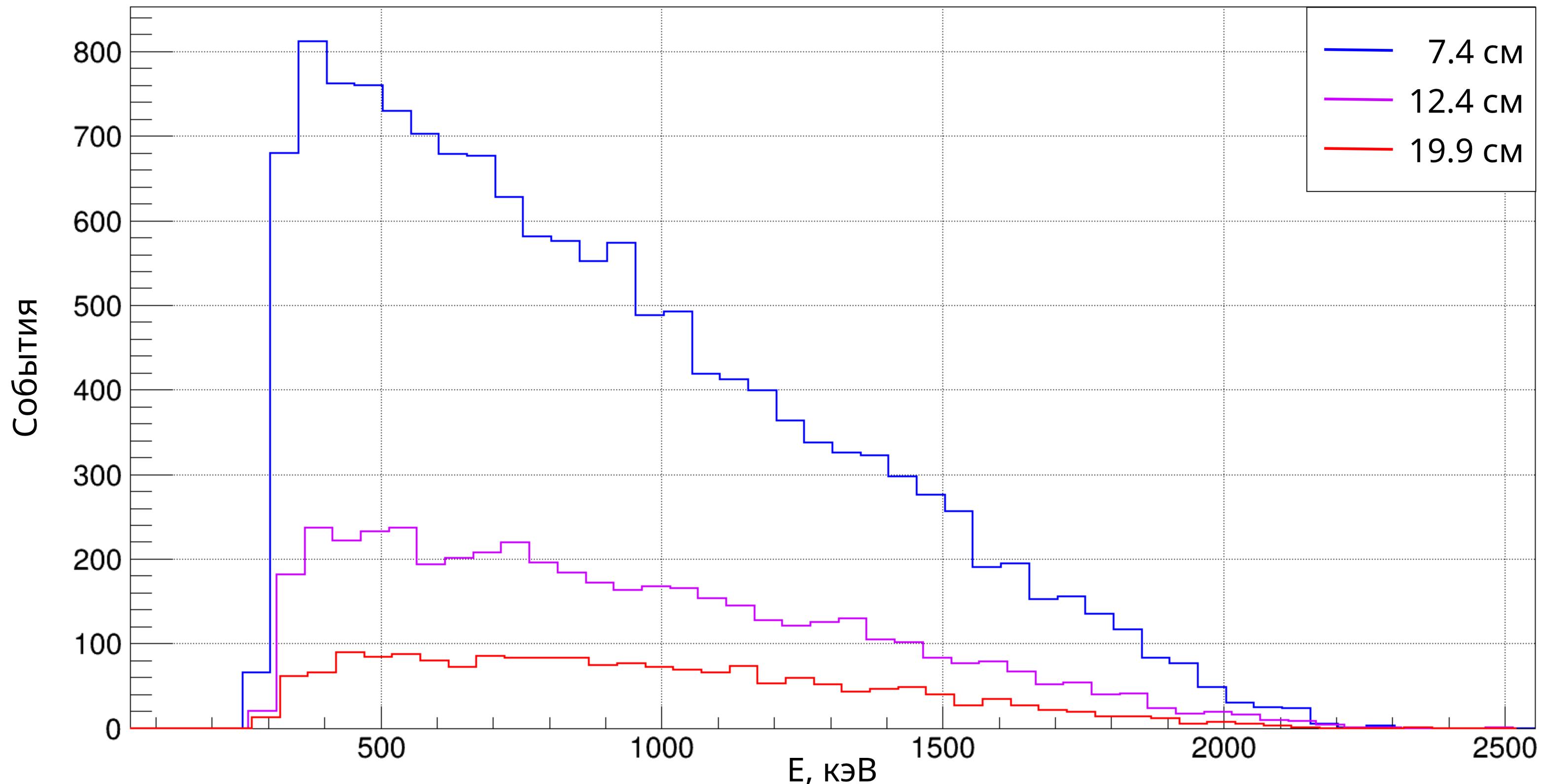


Аппаратурная кривая отклика пластикового сцинтиллятора на калибровочный источник стронция в энергетических единицах.



Аппаратурная кривая отклика тонкого пластикового сцинтиллятора на источник стронция в энергетических единицах. Красная кривая - результат аппроксимации данных сверткой функций Ландау и Гаусса.

Итоговые энергетические спектры Sr



Аппаратурные кривые отклика пластиковых сцинтилляторов на калибровочный источник стронция в энергетических единицах.

При реконструировании энергетических спектров учтены:

- Калибровки энергетической шкалы у основного детектора и детектора с тонким пластиковым сцинтиллятором.
- Потери энергии электронами в материалах, расположенных на их пути до детектора: в защитной титановой оболочке источника, в воздухе, в тонком пластиковом сцинтилляторе и в светоотражателе из тайвека.

В реконструированных энергетических спектрах суммировались сигналы, полученные с основного сцинтиллятора и тонкого пролетного.

Заключение

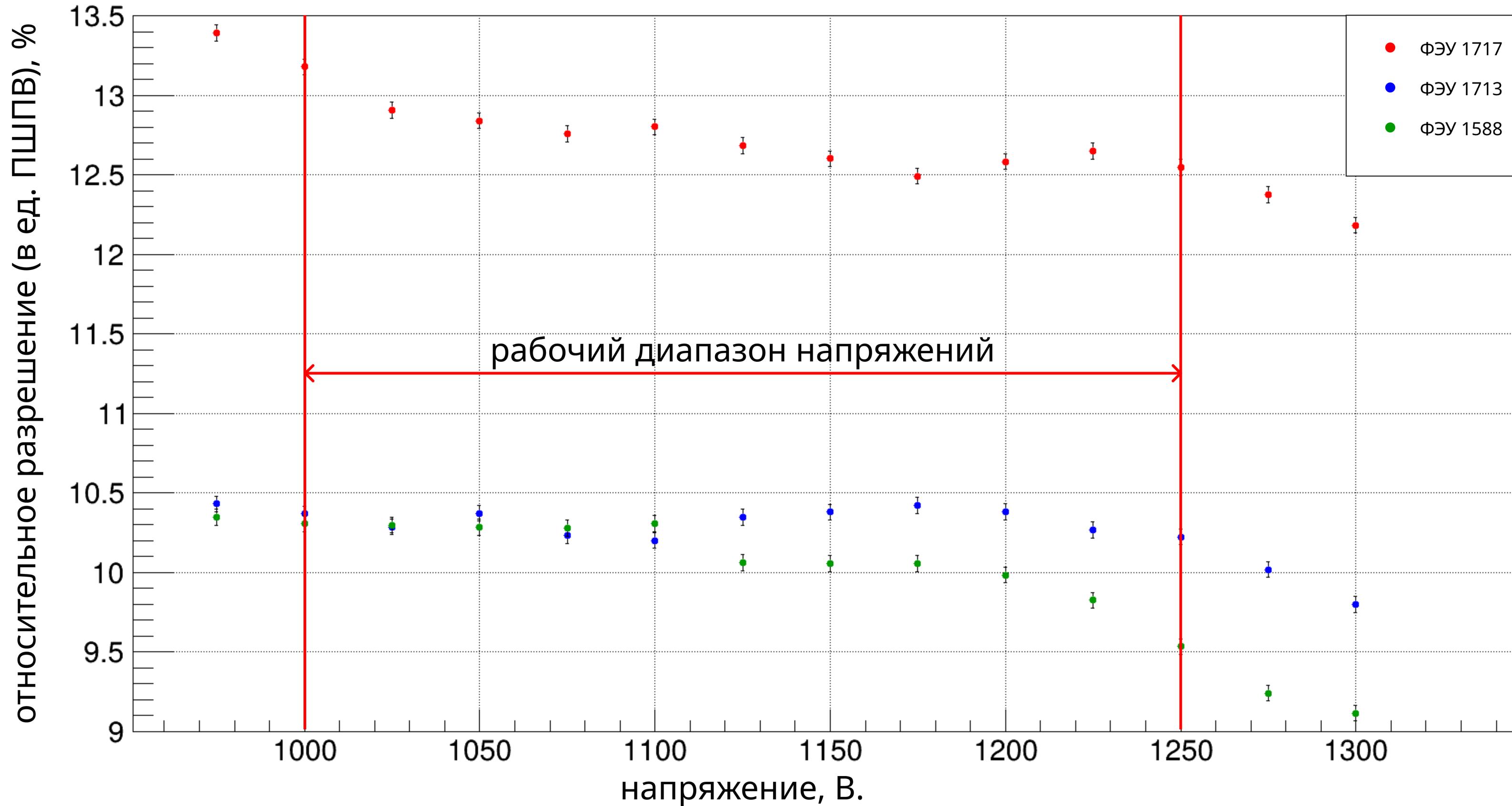
- Создан прототип бета-спектрометра установки БЕТА НИЦ КИ, для которого предварительно была разработана опорная конструкция, обеспечивающая соосность всех компонент детектирующей системы.
- Проведена калибровка фотоэлектронных умножителей: определён рабочий диапазон линейности по амплитуде сигнала и подобрано оптимальное рабочее напряжение (1200 В) для основного ФЭУ.
- Получены аппаратурные кривые отклика сцинтиляционного детектора на калибровочные источники гамма-квантов.
- Осуществлена калибровка шкалы детектирующей системы с помощью проведенных измерений и расчета энергетических потерь в тонком пластиковом сцинтилляторе.
- Получены итоговые спектры по энергопотерям для источника Sr, расположенного на трех различных расстояниях от детектирующей системы.

Заключение

- Создан прототип бета-спектрометра установки БЕТА НИЦ КИ, для которого предварительно была разработана опорная конструкция, обеспечивающая соосность всех компонент детектирующей системы.
- Проведена калибровка фотоэлектронных умножителей: определён рабочий диапазон линейности по амплитуде сигнала и подобрано оптимальное рабочее напряжение (1200 В) для основного ФЭУ.
- Получены аппаратурные кривые отклика сцинтиляционного детектора на калибровочные источники гамма-квантов.
- Осуществлена калибровка шкалы детектирующей системы с помощью проведенных измерений и расчета энергетических потерь в тонком пластиковом сцинтилляторе.
- Получены итоговые спектры по энергопотерям для источника Sr, расположенного на трех различных расстояниях от детектирующей системы.

Спасибо
за внимание!

Измерение спектрометрических характеристик ФЭУ



Зависимость относительного разрешения кривой отклика ФЭУ от подаваемого напряжения. Где ФЭУ-1717 расположен рядом с основным сцинтиллятором, а ФЭУ-1713 и ФЭУ-1588 рядом с тонким пролетным сцинтиллятором.

Результат:

- найдена область линейности сигналов (до 600 мВ).
- определен рабочий диапазон напряжений.
- В эксперименте на ФЭУ-1717 было подано напряжение 1200 В.
- На ФЭУ-1713 и ФЭУ-1588 было подано напряжение 1250 В.