



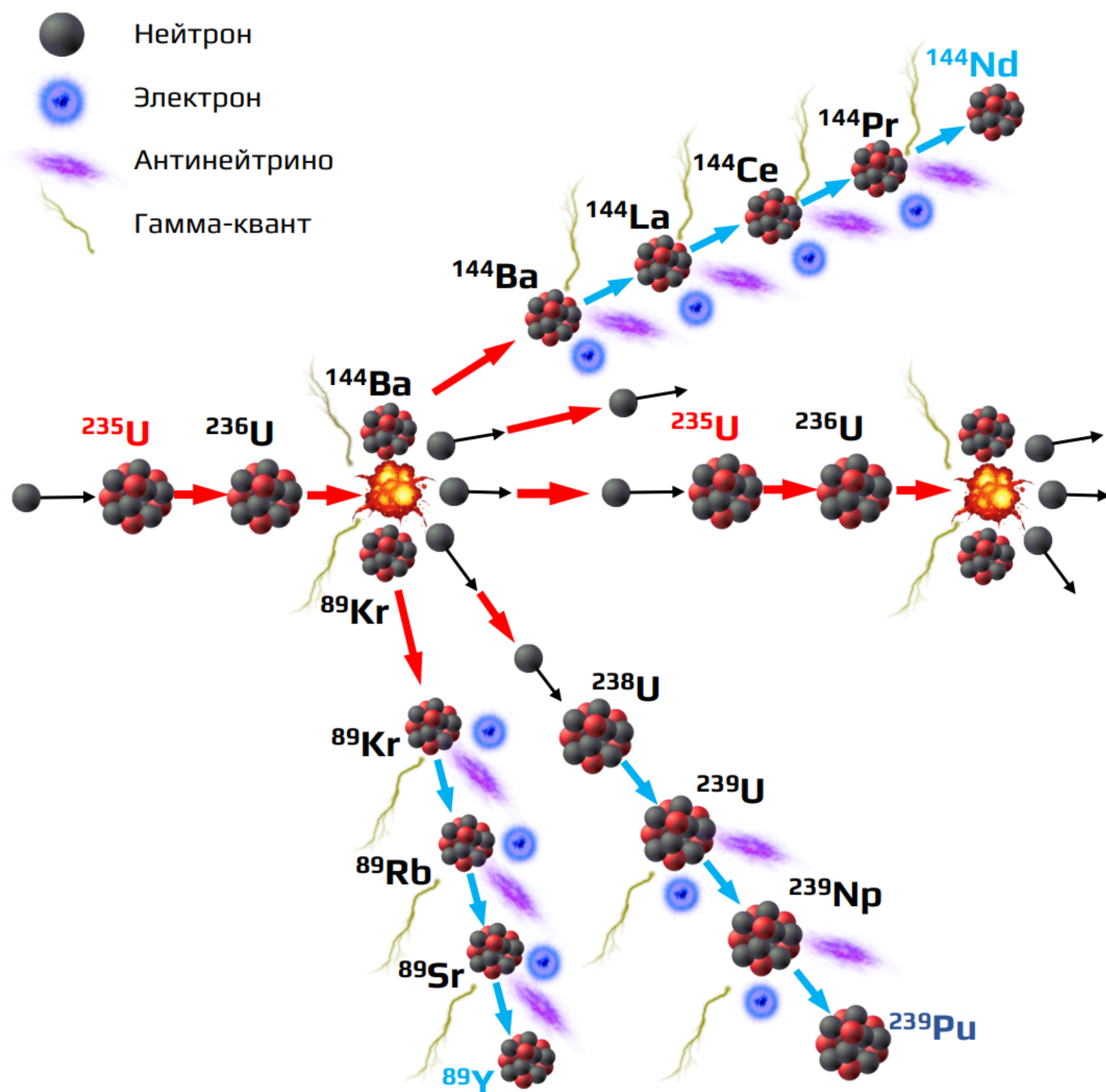
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«**КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ**»



# Разработка сцинтилляционного 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.

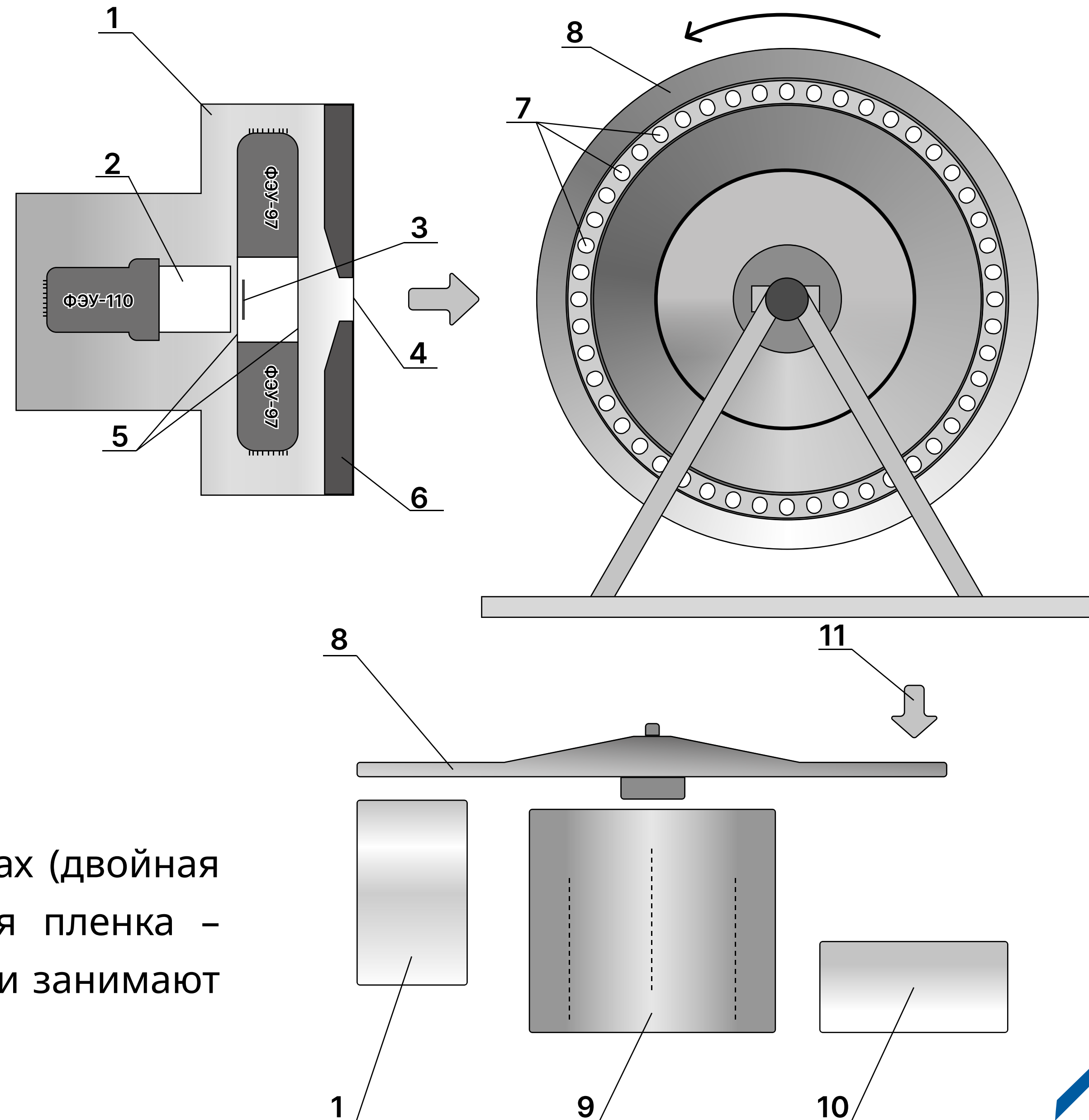
## Метод конверсии:

получение спектров реакторных антинейтрино с помощью перерасчетов 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 Pu) в защитных оболочках (двойная алюминиевая фольга + металлизированная органическая пленка – общая толщина 13 мг/см<sup>2</sup>); аналогичные «пустые» оболочки занимают 1/3 диска – измерения фона.



# Цель работы:

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

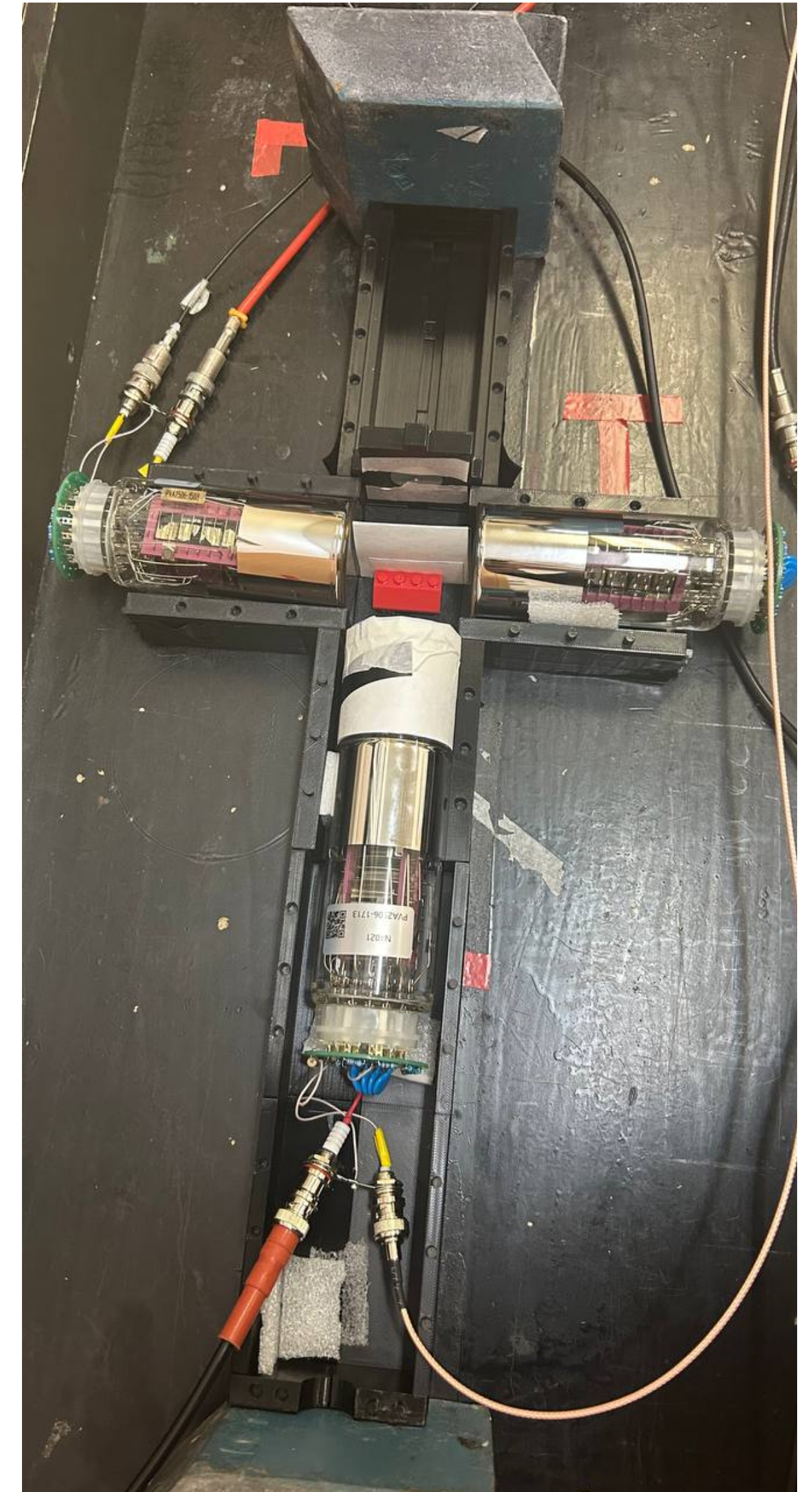
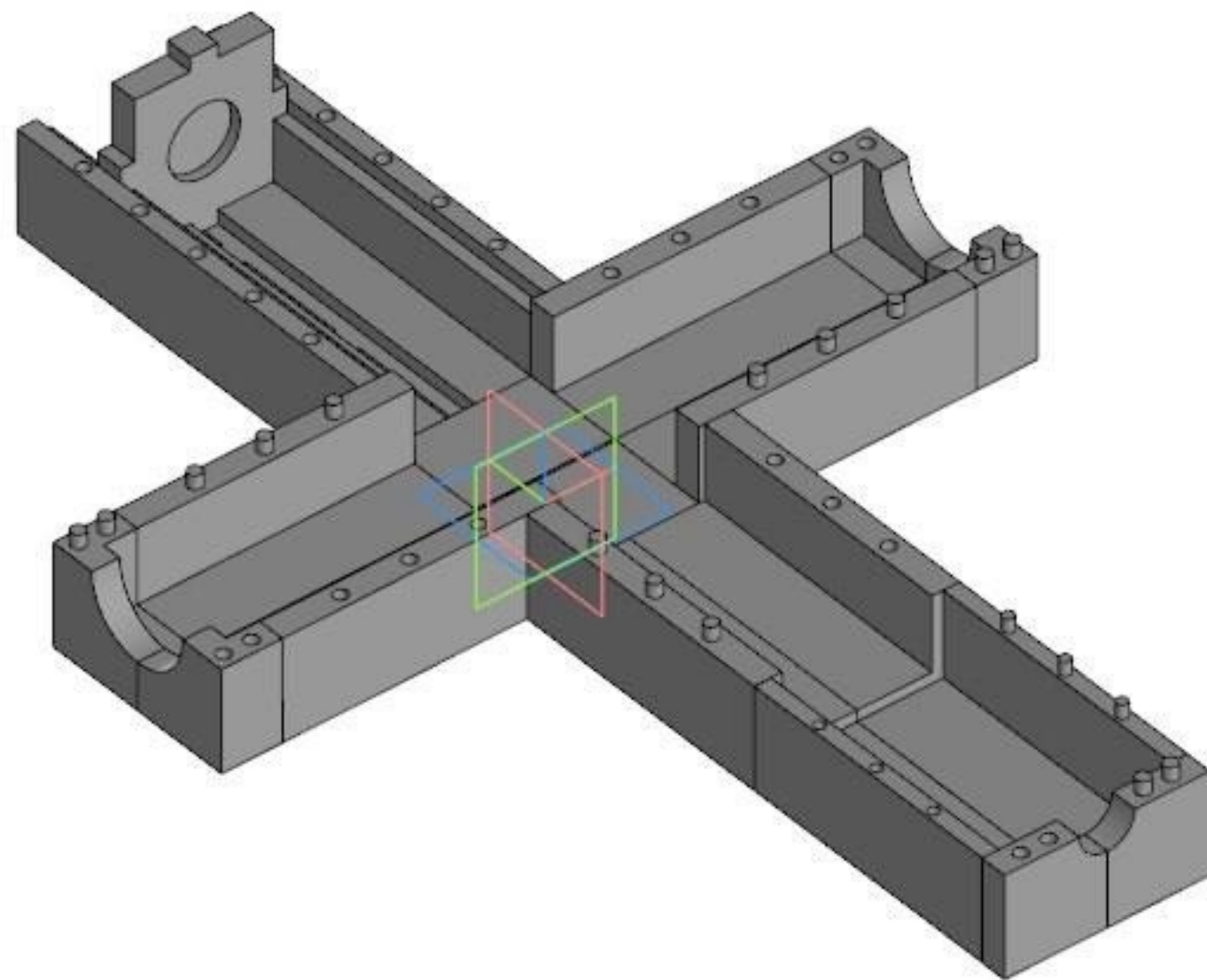
## Задачи на 1 семестр:

1. Создать прототип действующего бета-спектрометра установки БЕТА.
2. Определить рабочие диапазоны фотоэлектронных умножителей по амплитуде сигнала и подаваемому напряжению.
3. Получить аппаратные кривые отклика сцинтилляционного 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 сцинтилляторе.
5. Получить аппаратную 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/см<sup>3</sup>.
- Основной пластиковый сцинтиллятор, состоящий из полистирола, р-терфенила и ПОПОП, в виде цилиндра длиной 5 см и диаметром 5 см, плотностью 1.03 гр/см<sup>3</sup>.
- Три фотоэлектронных умножителя, с эффективным диаметром фотокатода 46 мм.
- Сцинтилляторы обернуты в светоотражающий материал (тайвек) плотностью 0.96 г/см<sup>3</sup> и толщиной 0.01 см.





# Измерение спектрометрических характеристик ФЭУ

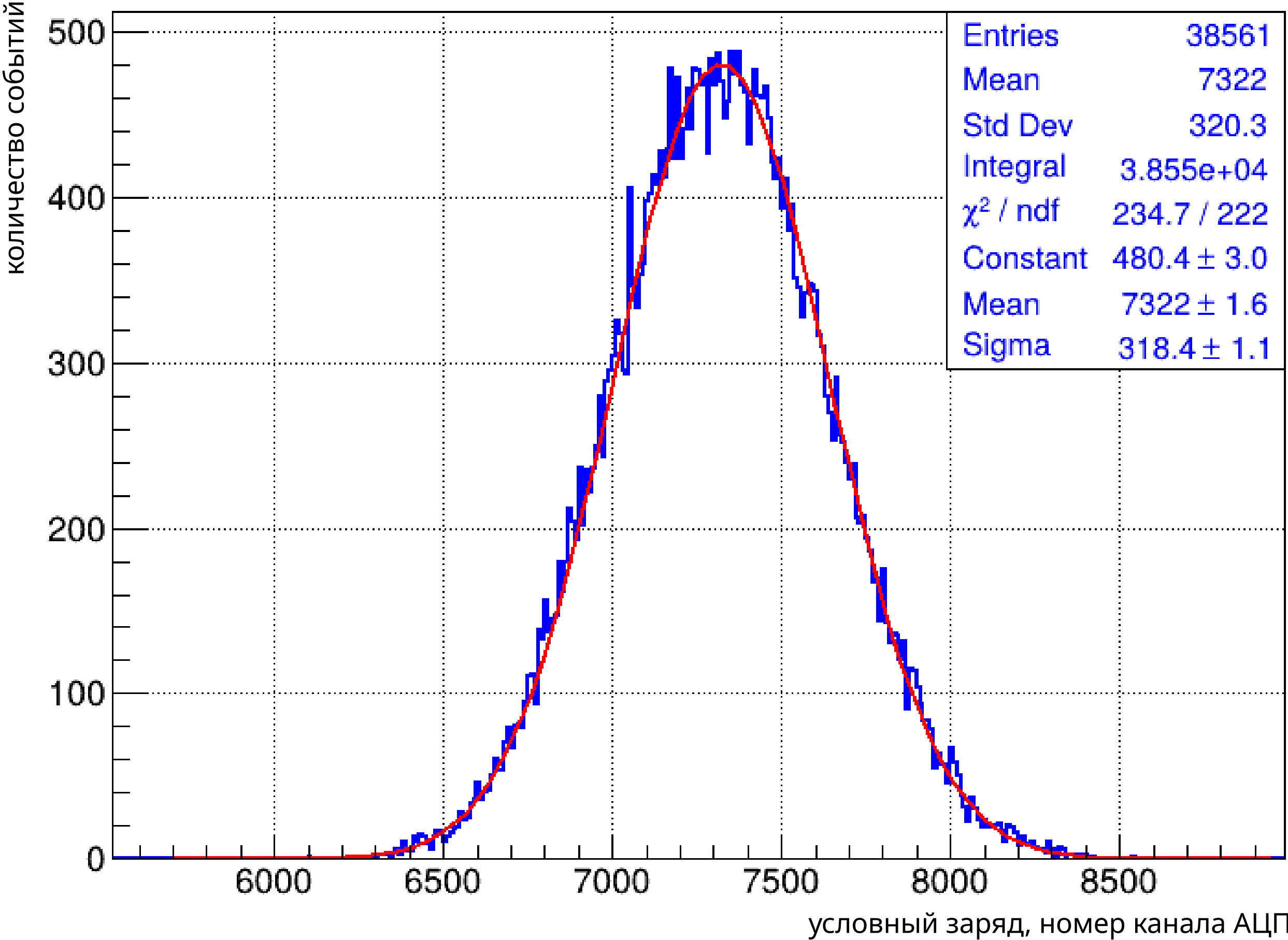
Необходимо:

определить область линейности сигналов и  
рабочий диапазон напряжений.

Черный ящик



Схема собранной установки, предназначенной для  
определения рабочих параметров ФЭУ.

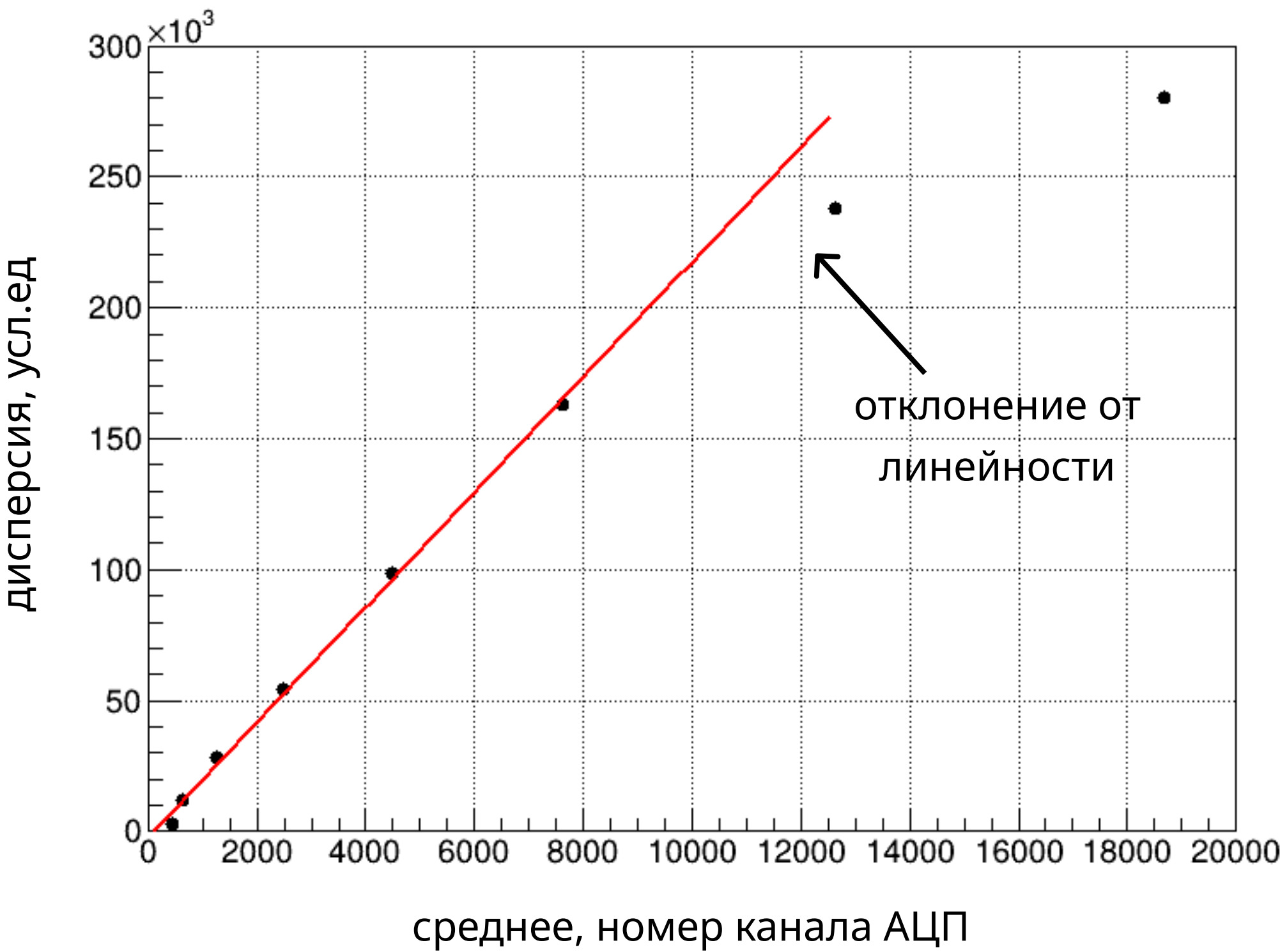


Пример аппаратной кривой отклика ФЭУ на  
пучок света.

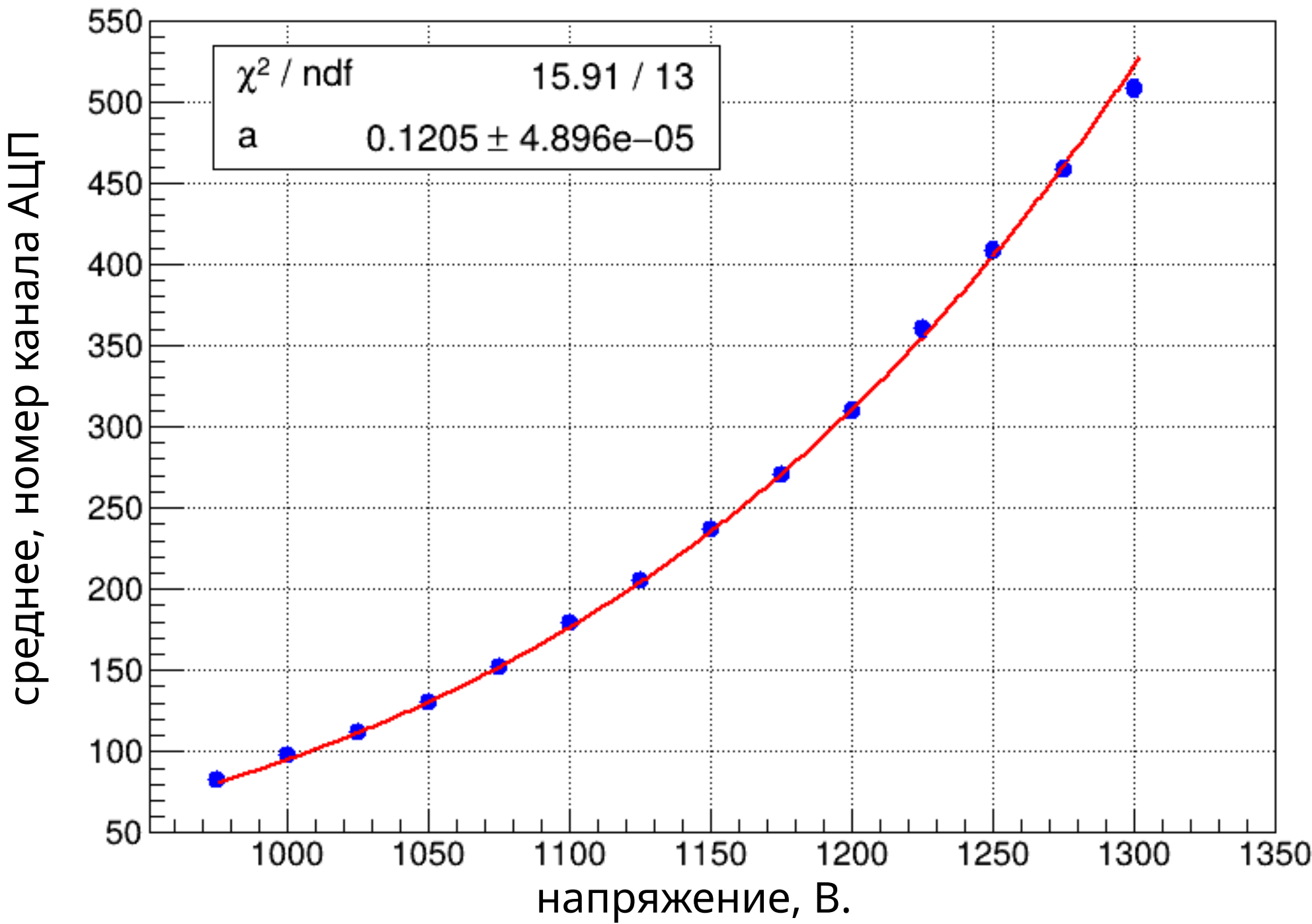
# Измерение спектрометрических характеристик ФЭУ

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

$k$  — 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

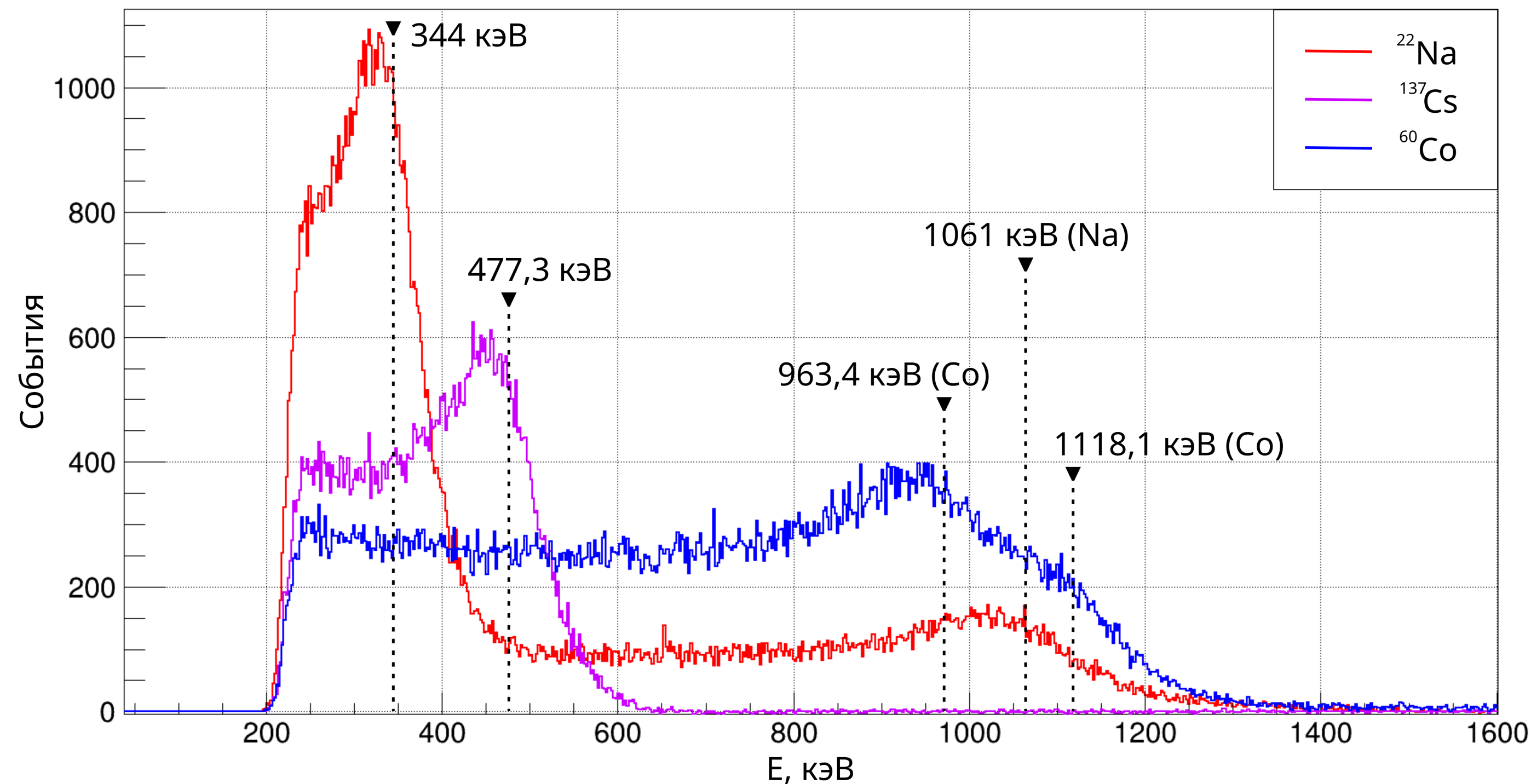
# Экспериментальные данные с калибровочными источниками

Положение края рассчитывается по формуле:

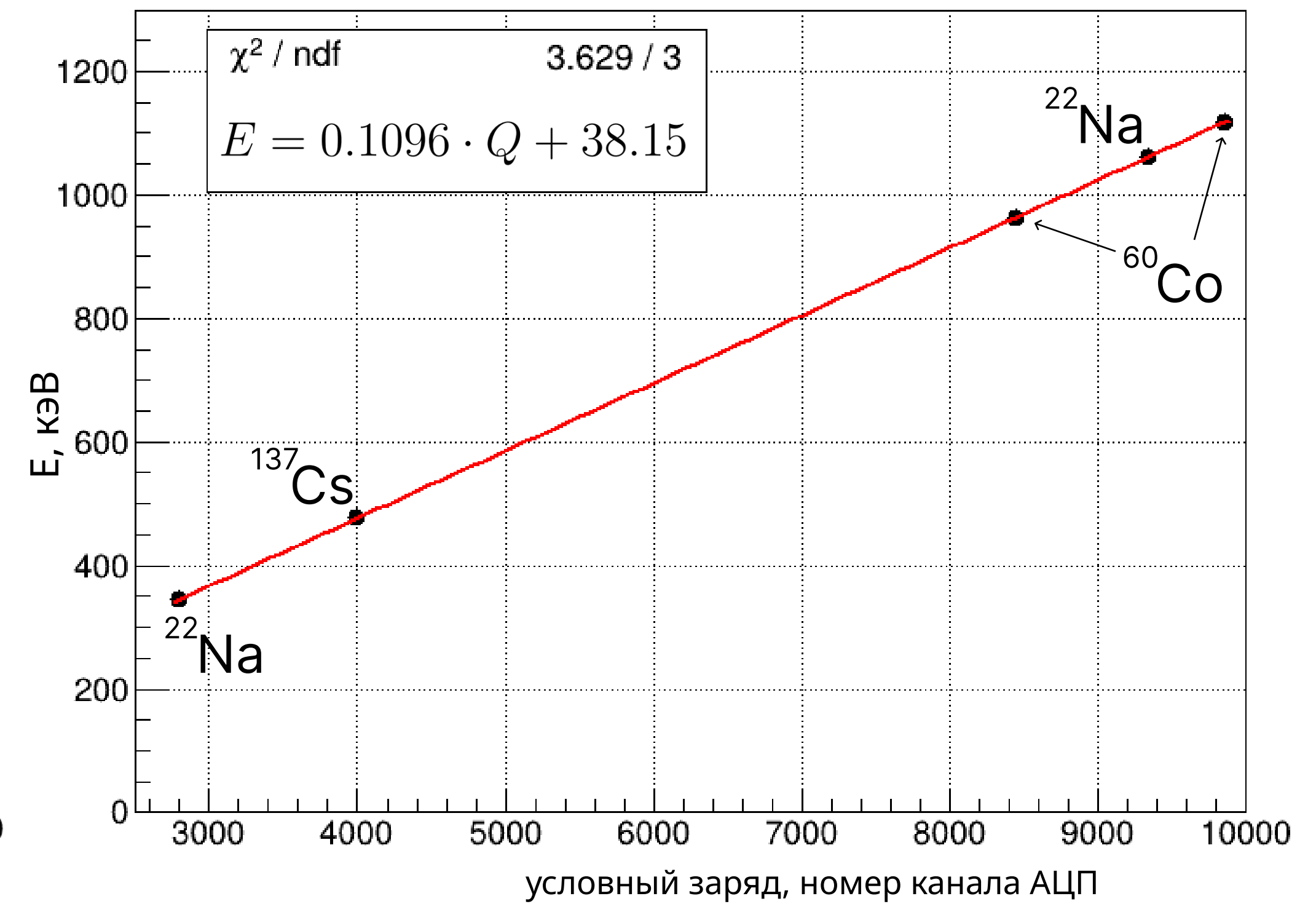
$$Q = \mu + \frac{\sigma}{2}$$

где  $\mu$  – математическое ожидание распределения заряда сигналов.

$\sigma$  – стандартное отклонение распределения заряда сигналов.



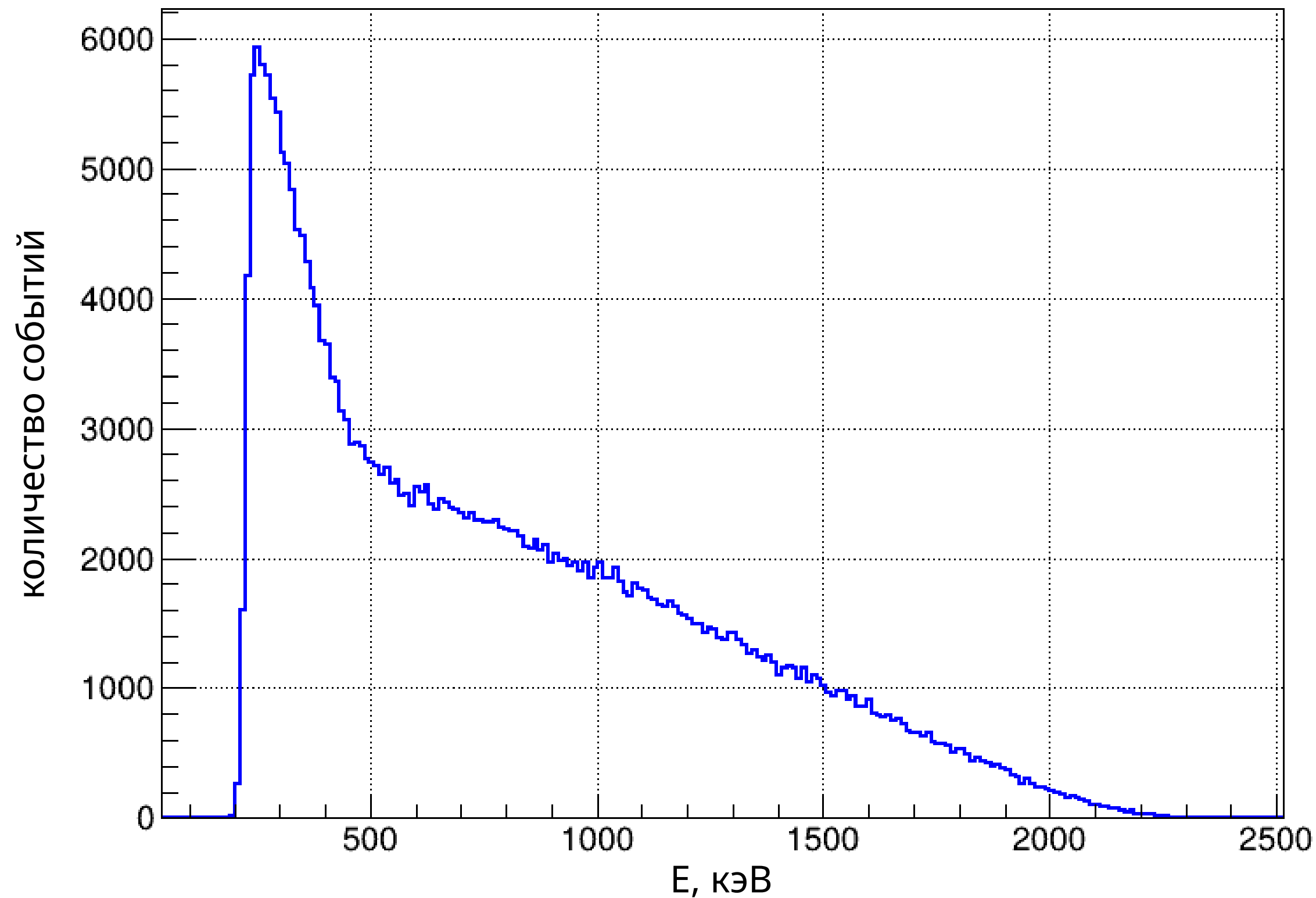
Аппаратурные кривые отклика пластикового сцинтиллятора на калибровочные источники в энергетических единицах.



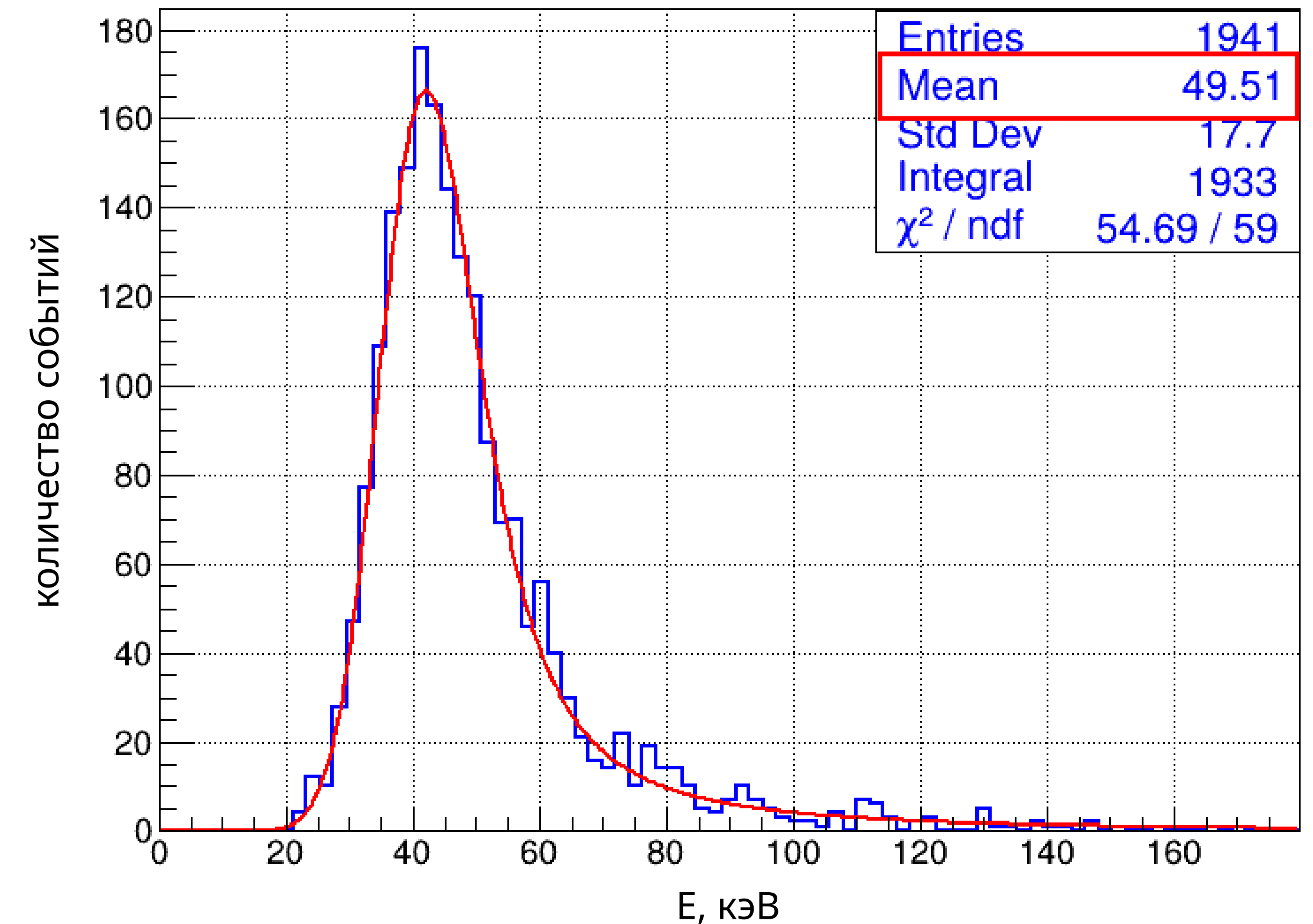
Зависимость энергетической шкалы от условного заряда.



# Экспериментальные данные с источником $^{90}\text{Sr}$

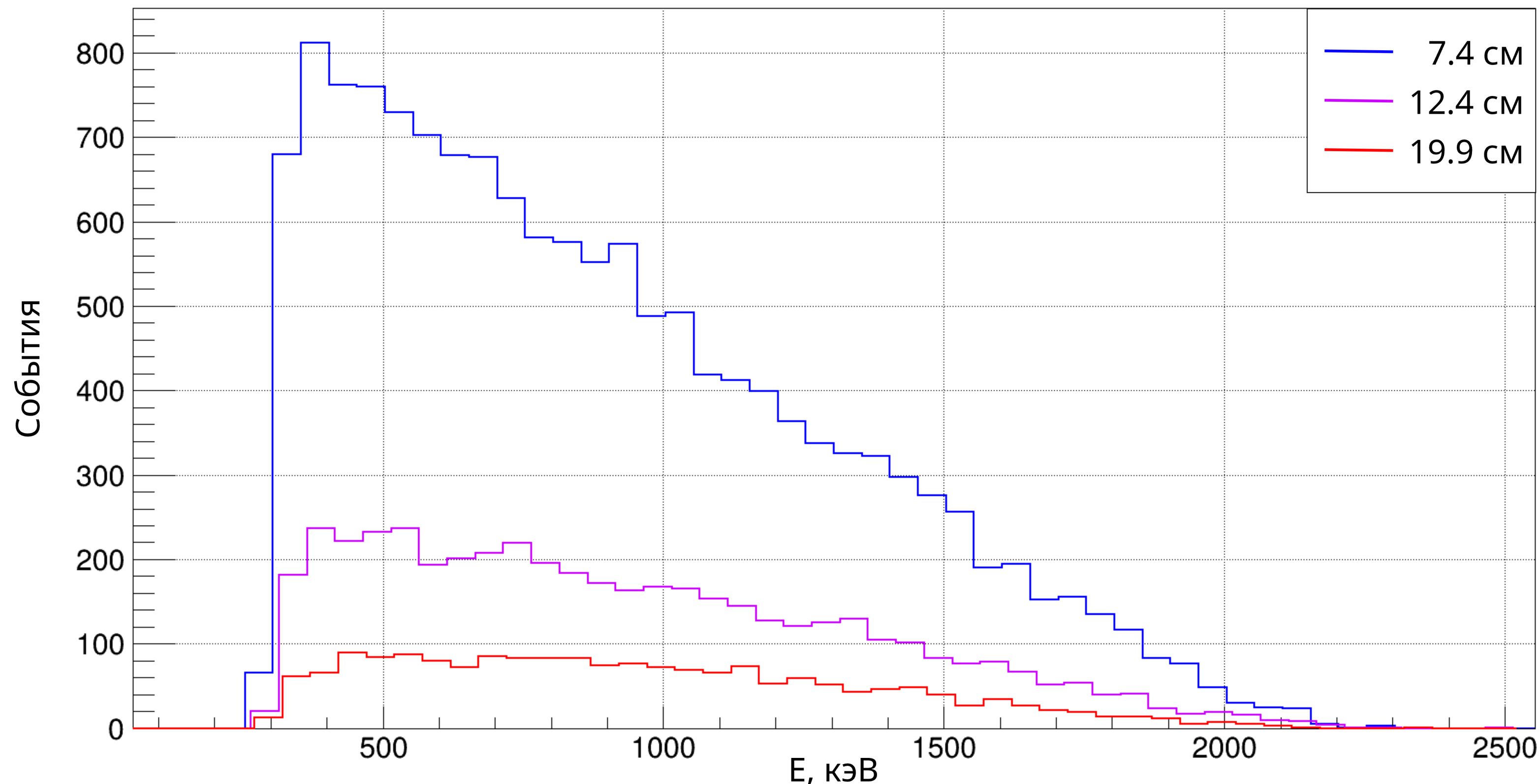


Аппаратурная кривая отклика пластикового сцинтиллятора на калибровочный источник стронция в энергетических единицах.



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 аппаратные кривые отклика сцинтилляционного 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.

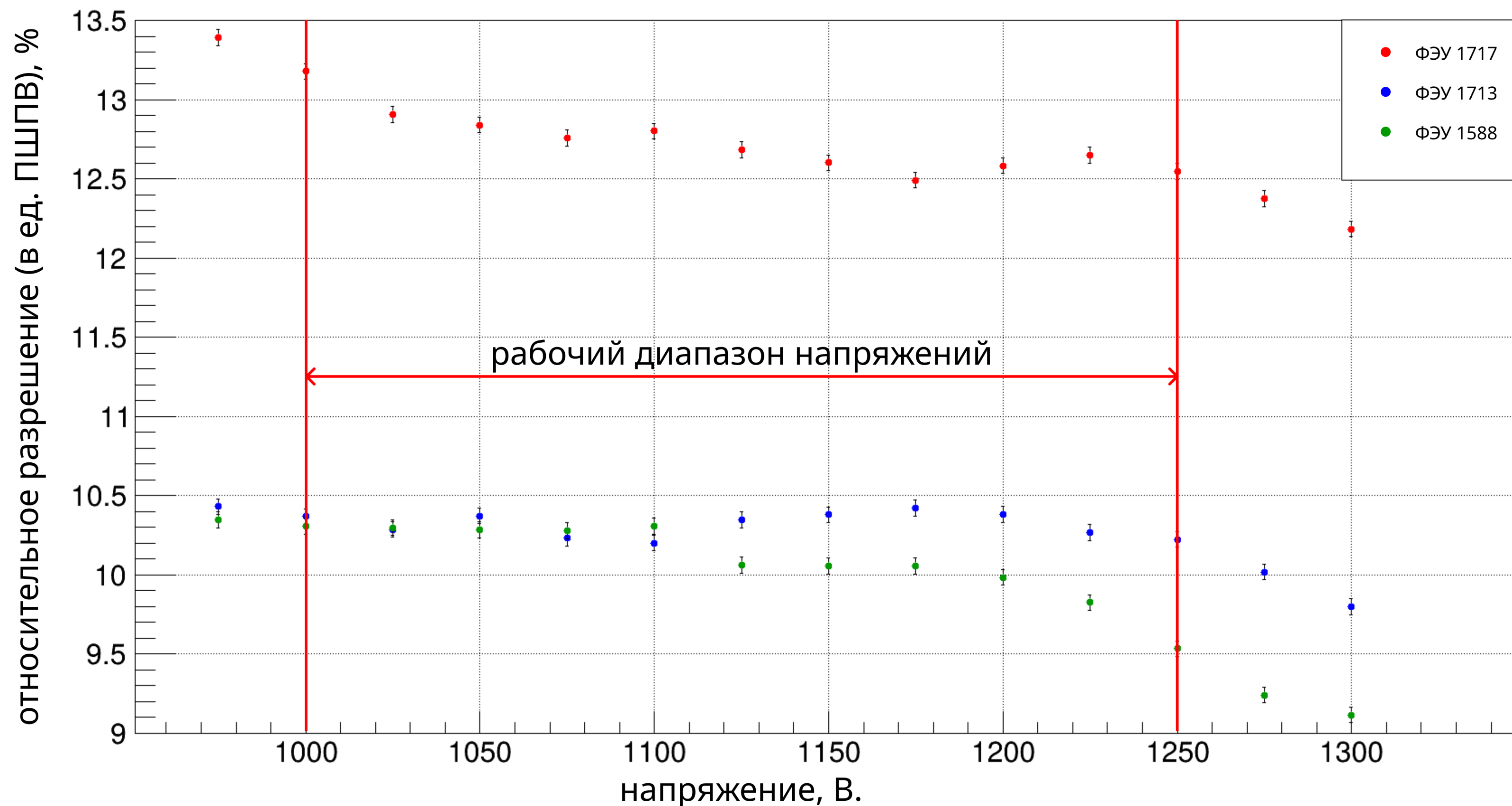


# Заключение

- 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 аппаратные кривые отклика сцинтилляционного 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



## 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.

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.