

# Лабораторная работа 5.5.5. Компьютерная сцинтилляционная $\gamma$ -спектрометрия

Мельникова Юлия, Калинин Даниил, Б01-108

6 ноября 2023 г.

**Цель работы:** В данной работе проводится исследование спектров  $\gamma$ -лучей от различных образцов при помощи сцинтилляционных  $\gamma$ -спектрометров на основе неорганического кристалла NaI(Tl) и органической сцинтиллирующей пластмассы.

**В работе используются:** Схема экспериментальной установки отображена на рис. 1.  
В работе используются:

1. Сцинтиллятор
2. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)
3. Предусилитель импульсов
4. Высоковольтный блок питания ФЭУ
5. Блок АЦП
6. Компьютер для сбора данных

**Исходные данные:**

Спектры, полученные по результатам проведения опытов, представлены на рис. 2-7.

**Ход работы:**

После проверки работоспособности приборов и калибровки проведём измерение фона. Соответствующий спектр отображён на рис. 7.

Также найдём и проанализируем пики полного поглощения для веществ  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  и  $^{241}\text{Am}$ . Результаты анализа и аппроксимации пиков отображены на рис. 8-12 соответственно.

В каждом спектре определим номера каналов, отвечающие центрам пиков полного поглощения излучения от радиоактивных источников  $^{22}\text{Na}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Этим каналам присваивают соответствующие табличные значения энергий и проводят линейную аппроксимацию зависимости энергии от номера канала для данного  $\gamma$ -спектрометра при данной геометрии измерения и настройках  $\gamma$ -спектрометра. Построим калибровочный

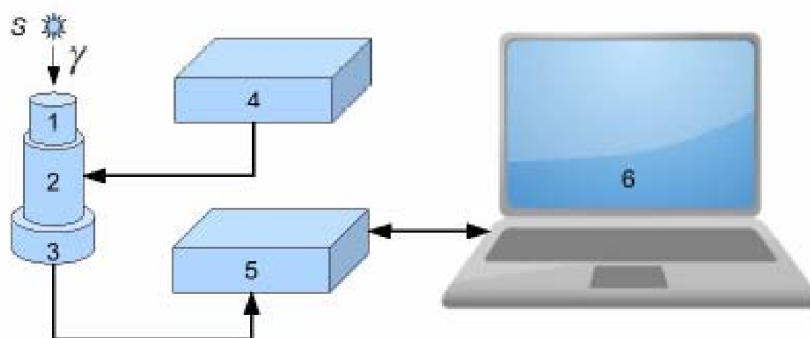


Рис. 1: Принципиальная схема экспериментальной установки

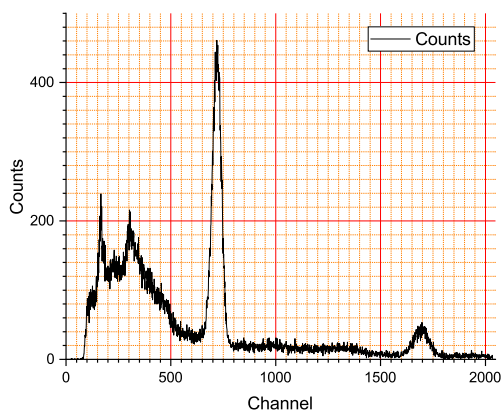


Рис. 2: Спектр  $^{22}\text{Na}$

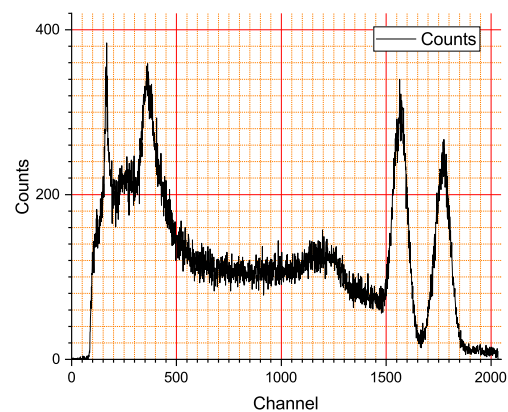


Рис. 3: Спектр  $^{60}\text{Co}$

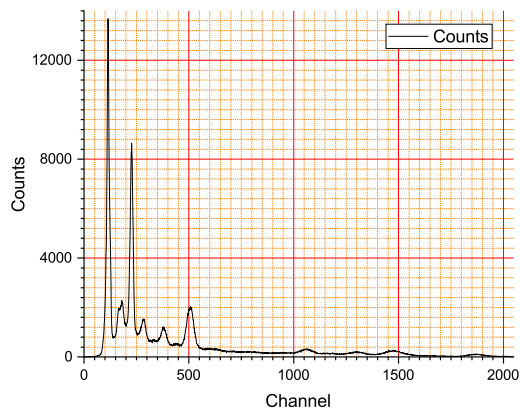


Рис. 4: Спектр  $^{152}\text{Eu}$

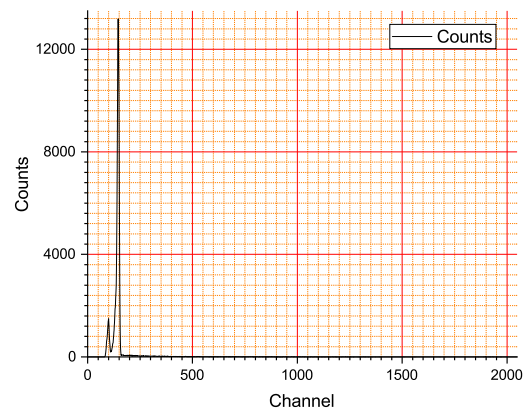


Рис. 5: Спектр  $^{241}\text{Am}$

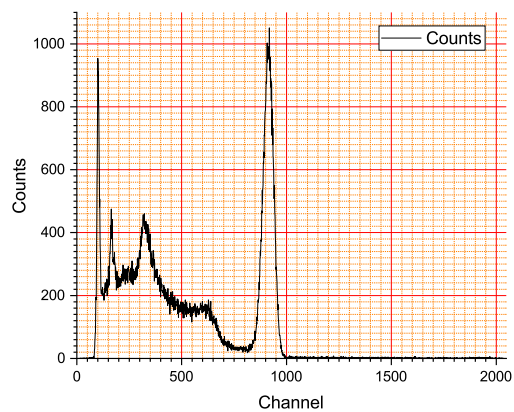


Рис. 6: Спектр  $^{137}\text{Cs}$

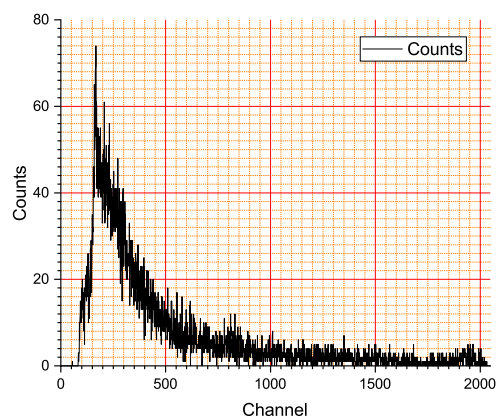
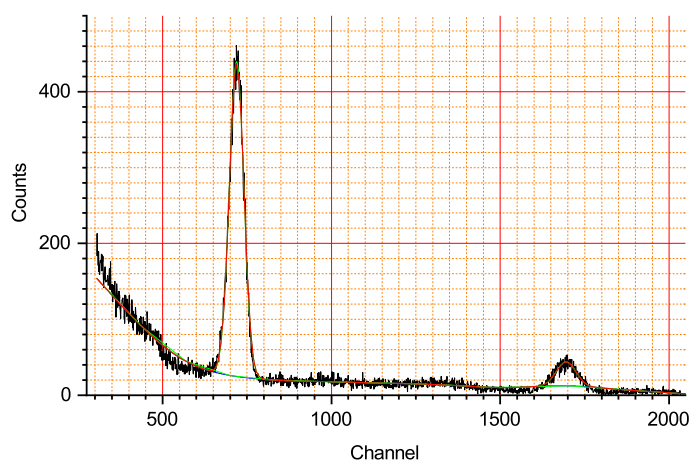


Рис. 7: Спектр, соответствующий фону

### Peak Analysis

Data Set: Натрий  
BaseLine: Asymmetric Least Squares Smoothing Baseline  
# of Data Points= 1744



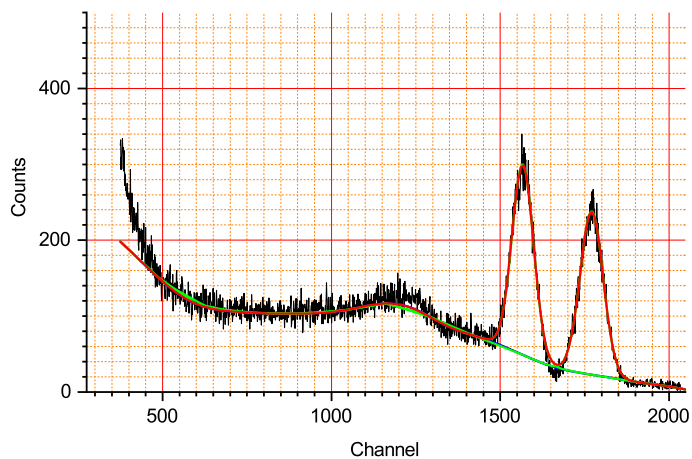
#### Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Max Height	Center Grvty	Width	Standard error of width
1	Gaussian	415	719	50,3	0,2
2	Gaussian	31	1695	68	4

Рис. 8: Пики полного поглощения для  $^{22}\text{Na}$

## Peak Analysis

Data Set:Кобальт  
 # of Data Points= 1744  
 BaseLine:Asymmetric Least Squares Smoothing Baseline



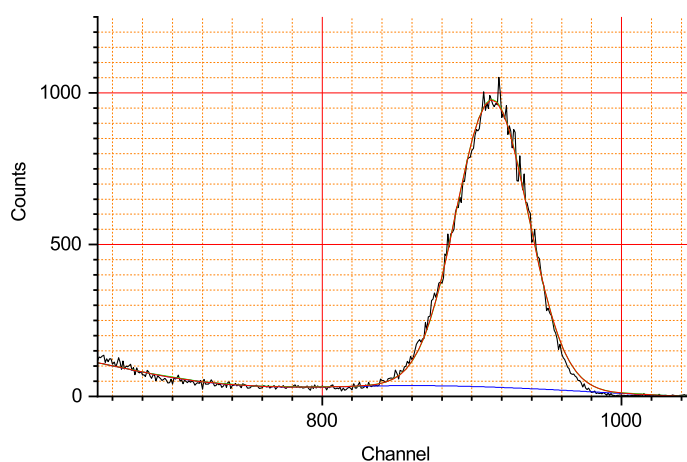
### Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Max Height	Center Grvty	Width	Standard error of width
1	Gaussian	250	1567	75	1
2	Gaussian	215	1771	80	1

Рис. 9: Пики полного поглощения для  $^{60}\text{Co}$

## Peak Analysis

Data Set:Цезий  
 # of Data Points= 401  
 BaseLine:Asymmetric Least Squares Smoothing Baseline



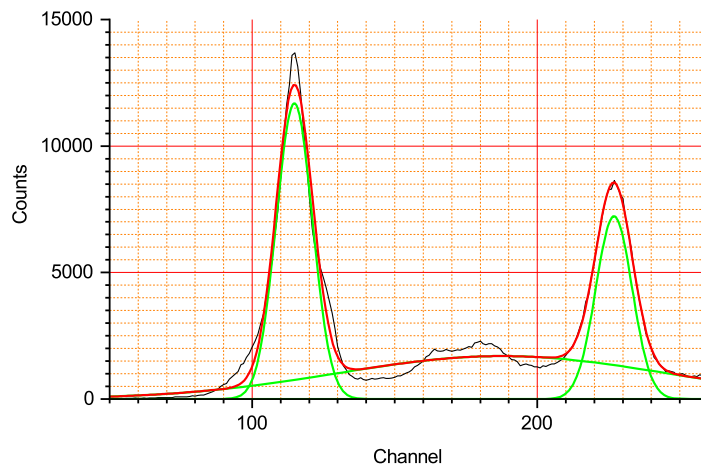
### Fitting Results

Peak Inde	Peak Type	Max Height	Center Grvty	Width	Standard error of width
1	Gaussian	946,53411	913,58811	56,8	0,2

Рис. 10: Пики полного поглощения для  $^{137}\text{Cs}$

### Peak Analysis

Data Set:Европий  
# of Data Points= 260  
BaseLine:None



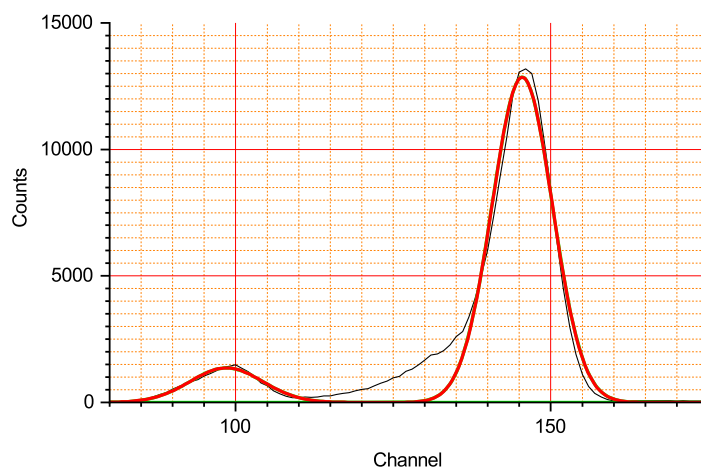
#### Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Max Height	Center Grvty	Width	Standard error of width
1	Gaussian	11682	115	14,9	0,2
2	Gaussian	7222	227	15	0,4
3	Gaussian	1698	188	135	6

Рис. 11: Пики полного поглощения для  $^{152}\text{Eu}$

### Peak Analysis

Data Set:Америций  
# of Data Points= 96  
BaseLine:None



#### Fitting Results

Peak Index	Peak Type	Max Height	Center Grvty	Width	Standard error of width
1	Gaussian	12858	145,46249	11,2	0,3
2	Gaussian	1360	98,52327	14	3

Рис. 12: Пики полного поглощения для  $^{241}\text{Am}$

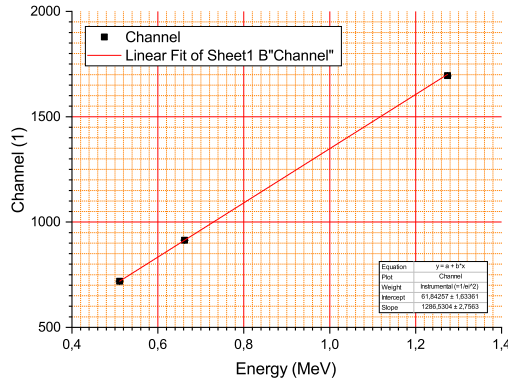


Рис. 13: Калибровочный график  $N_i = a + bE_i$

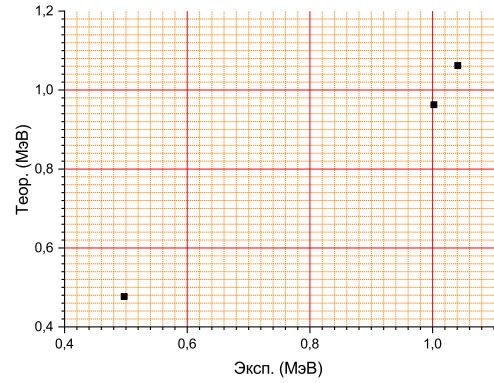


Рис. 14: Сравнение теоретических и практических значений максимальной энергии при эффекте Комптона

Источник	$N_i$	$\Delta N_i$	$E_i$ , МэВ	$\Delta E_i$ , МэВ	$R_i$
$^{22}\text{Na}$	$719 \pm 1$	$50.3 \pm 0.5$	$0.511 \pm 0.001$	$0.038 \pm 0.001$	$0.070 \pm 0.001$
	$1695 \pm 2$	$68 \pm 4$	$1.274 \pm 0.003$	$0.051 \pm 0.003$	$0.040 \pm 0.004$
$^{60}\text{Co}$	$1567 \pm 1$	$75 \pm 1$	$1.168 \pm 0.001$	$0.058 \pm 0.001$	$0.049 \pm 0.002$
	$1771 \pm 1$	$80 \pm 2$	$1.327 \pm 0.001$	$0.062 \pm 0.002$	$0.047 \pm 0.003$
$^{137}\text{Cs}$	$914 \pm 1$	$57 \pm 1$	$0.662 \pm 0.001$	$0.044 \pm 0.001$	$0.066 \pm 0.001$
$^{152}\text{Eu}$	$114.8 \pm 0.1$	$15 \pm 1$	$0.039 \pm 0.001$	$0.011 \pm 0.001$	$0.280 \pm 0.003$
	$227 \pm 1$	$15 \pm 0.5$	$0.126 \pm 0.001$	$0.011 \pm 0.002$	$0.081 \pm 0.001$
$^{241}\text{Am}$	$145.5 \pm 0.5$	$11 \pm 1$	$0.0630 \pm 0.0005$	$0.008 \pm 0.001$	$0.128 \pm 0.002$
	$99.3 \pm 0.5$	$14.1 \pm 0.5$	$0.027 \pm 0.001$	$0.0103 \pm 0.0005$	$0.370 \pm 0.002$

Таблица 1: Сводная таблица пиков

график зависимости номера канала от энергии  $\gamma$ -кванта на рис. 13. Из него можно получить формулу для энергии:  $E_i = N_i/1286 - 0.047$  МэВ. Используя калибровочный график, определим для всех остальных источников значения энергии пиков полного поглощения  $E_i$ , их ширины на половине высоты  $\Delta E_i$  и энергетическое разрешение  $R_i$ . Результаты сохраним в таблице 1.

По результатам измерения энергии края комптоновского поглощения (табл. 2) построим график 14, по одной оси которого отложим экспериментальные значения, а по другой – расчетные значения этой энергии.

	$E_{\text{max}}$ , МэВ	
	Эксп.	Теор.
$^{22}\text{Na}$	1.041	1.062
$^{60}\text{Co}$	1.002	0.963
$^{137}\text{Cs}$	0.497	0.477

Таблица 2: Результаты измерения энергии края комптоновского поглощения

Для проверки зависимости (1), построим по полученным данным график 15. Значение минимальной энергии для  $^{241}\text{Am}$  исключим из рассмотрения из-за большой погрешности.

Далее, построим график зависимости энергии пика обратного рассеяния от энергии на рис. 16.

По данным осциллографа, отображённым на рис. ??, где виден импульс от высокоэнергетической частицы, из соотношения (??) оценим величины  $\tau_0$  и  $RC$  по переднему и заднему фронтам импульса соответственно

$$\tau_0 \approx 0.8 \pm 0.03 \text{ мс},$$

$$RC \approx 2 \pm 0.4 \text{ мс}.$$

**Оценка погрешностей:** В данной работе крайне сложно проводить оценку погрешностей по причине характера исходных данных. В частности, не представляется возможным сделать оценку инструментальных погрешностей. Поэтому все оценки погрешностей проводились исключительно из статистических

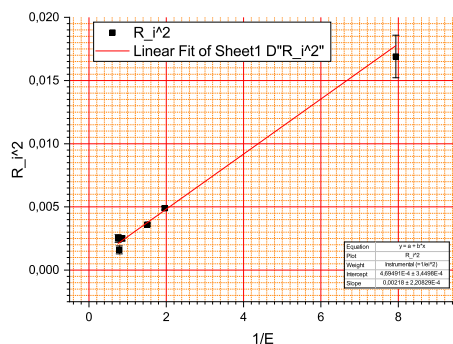


Рис. 15: График зависимости  $R_i = f(1/E_i)$

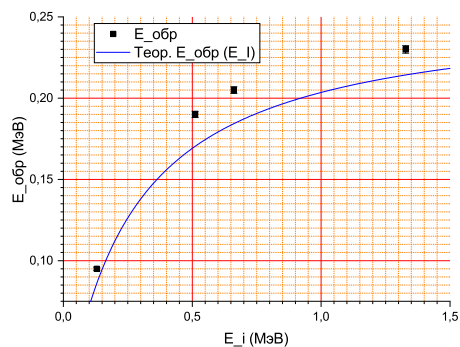


Рис. 16: Теоретическая и экспериментальная зависимости  $E_{обр} = f(E_i)$

соображений, посчитаны из аппроксимации пиков и являются существенно заниженными. Погрешности косвенных измерений рассчитаны по стандартной формуле.

### Заключение:

В ходе работы после калибровки прибора были сняты спектры образцов  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ . В спектрах были исследованы пики, соответствующие следующим взаимодействиям гамма-квантов с веществом:

- фотоэффект (пики полного поглощения)
- эффект Комптона (характерное распределение энергий в спектре, оканчивающееся комptonовским краем)
- обратное рассеяние (пики обратного рассеяния)
- аннигиляция позитронов (пик 511 кэВ в спектре натрия, по которому проводилась калибровка)

Также была проверена линейная зависимость квадрата спектрального разрешения прибора от величины, обратной энергии полного поглощения.

Проведено сравнение спектров  $^{137}\text{Cs}$  для двух разных сцинтилляторов: на кристаллах  $\text{NaI(Tl)}$  и на органической сцинтиллирующей пластмассе. Также даны оценки характеристик экспериментальной установки – времени высвечивания сцинтиллятора, а также постоянной времени анодной цепи ФЭУ.