

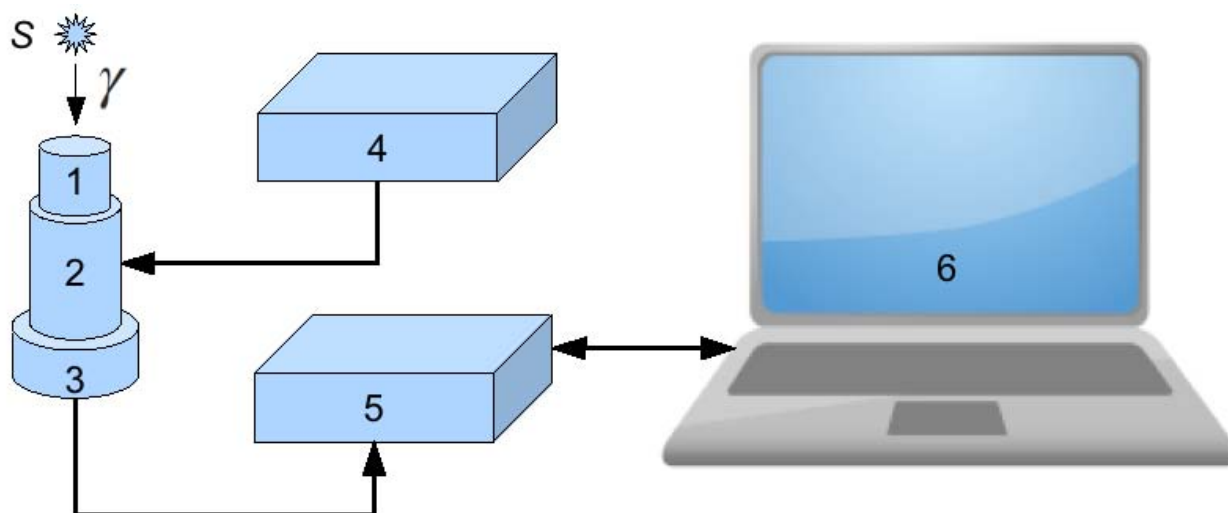
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

Цель работы: проградуировать спектрометр по спектрам излучения радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs , определить энергию гамма-квантов ^{22}Na , ^{207}Bi , ^{133}Ba .

Схема установки



S — радиоактивное вещество;
γ — гамма-кванты;
1 — кристалл NaJ(Tl);
2 — фотоэлектронный умножитель;

3 — спектрометрический усилитель;
4 — источник питания ФЭУ;
5 — анализатор импульсов;
6 — компьютер.

Расчётные формулы

- Аппроксимация пиков полного поглощения суммой гауссовых функций:

Определим положения пиков полного поглощения, выделив из полученных спектров $I(N)$ участки пиков и аппроксимировав их суммой гауссовых функций.

$$I = \sum_i^n a_i \exp\left(-\left(\frac{N - b_i}{c_i}\right)^2\right)$$

I — интенсивность излучения;
 N — номер канала;
 a_i, b_i, c_i — коэффициенты аппроксимации.

Положение пика N_i определим как коэффициент b_i :

$$N_i \equiv b_i$$

- Разрешающая способность спектрометра:

$$R = \frac{\text{FWHM}}{N} = \frac{2\sqrt{\ln 2}c}{N}$$

FWHM — ширина пика на полувысоте;
 N — положение пика;
 c — коэффициент аппроксимирующего гауссиана.

- Фоточасть:

$$F = \frac{S}{S_0} = \frac{\sqrt{\pi}ac}{S_0}$$

S — площадь под пиком, рассчитываемая как интеграл аппроксимирующего гауссиана по всей оси;
 a, c — коэффициенты аппроксимирующего гауссиана;
 S_0 — полная площадь под спектром.

- Энергия пика излучения по градуировочной прямой спектрометра:

$$E_{\text{граф}} = aN + b$$

N — положение пика по шкале спектрометра;
 a, b — коэффициенты градуировочной прямой.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{E_{\text{граф}}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial E_{\text{граф}}}{\partial N} \cdot \Delta_N\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial E_{\text{граф}}}{\partial a} + \frac{\partial E_{\text{граф}}}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial a}\right) \cdot \Delta_a\right)^2} = \\ &= \sqrt{(a \cdot \Delta_N)^2 + ((N - \langle N_{\text{град}} \rangle) \cdot \Delta_a)^2} \end{aligned}$$

$N_{\text{град}}$ — положения пиков, использованные для градуировки.

Порядок измерений

Устанавливаем поочерёдно образцы из ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{207}Bi , ^{133}Ba в спектрометр и по 10 минут измеряем спектры их излучения. После этого ещё раз проводим измерение спектров для ^{60}Co , ^{137}Cs .

Результаты

Примечание: построение графиков и аппроксимация зависимостей выполнены с помощью ПО MATLAB. Погрешности коэффициентов аппроксимации рассчитаны с доверительной вероятностью $P = 95\%$.

1. Спектры гамма-излучения нуклидов

Представленные далее графики спектров излучения ^{60}Co и ^{137}Cs получены усреднением спектра по двум измерениям.

Обозначения на графиках пиков полного поглощения:

- точки — экспериментальные данные, по которым проводилась аппроксимация;
- сплошная линия — аппроксимирующая кривая (сумма гауссовых функций);
- пунктирная линия — гауссовы функции по отдельности.

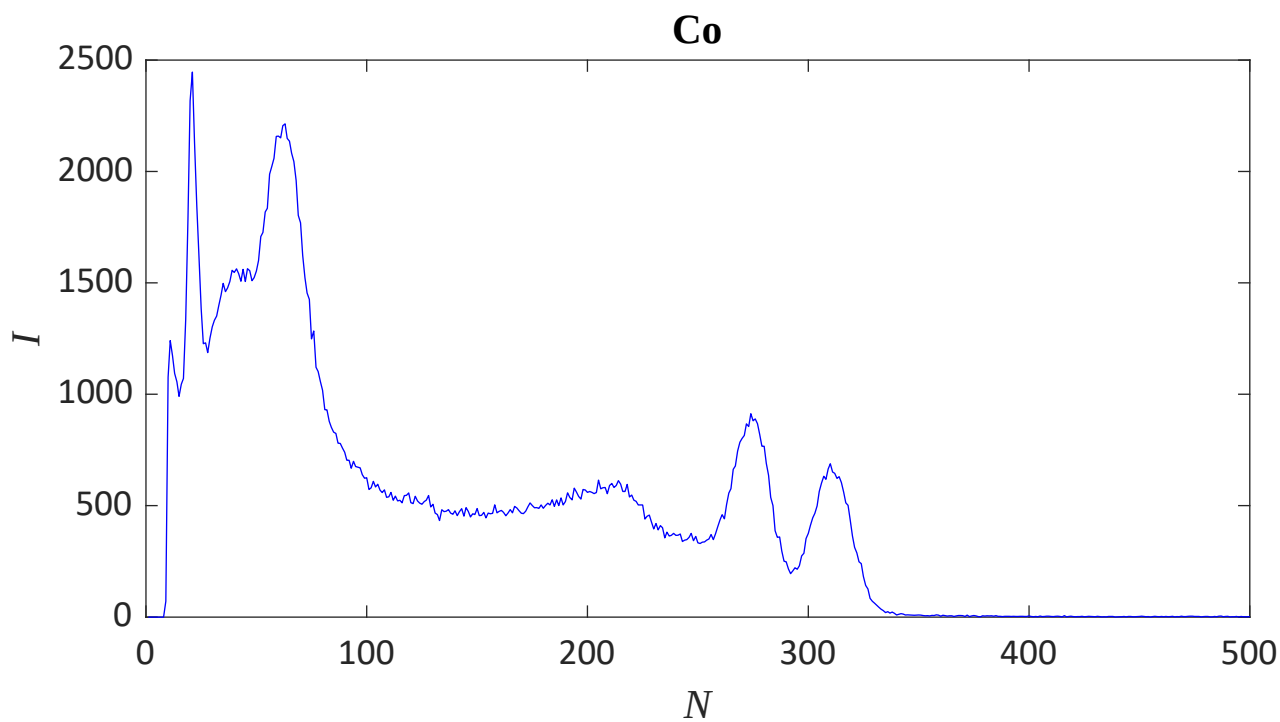


График 1. Измеренный спектр гамма-излучения ^{60}Co

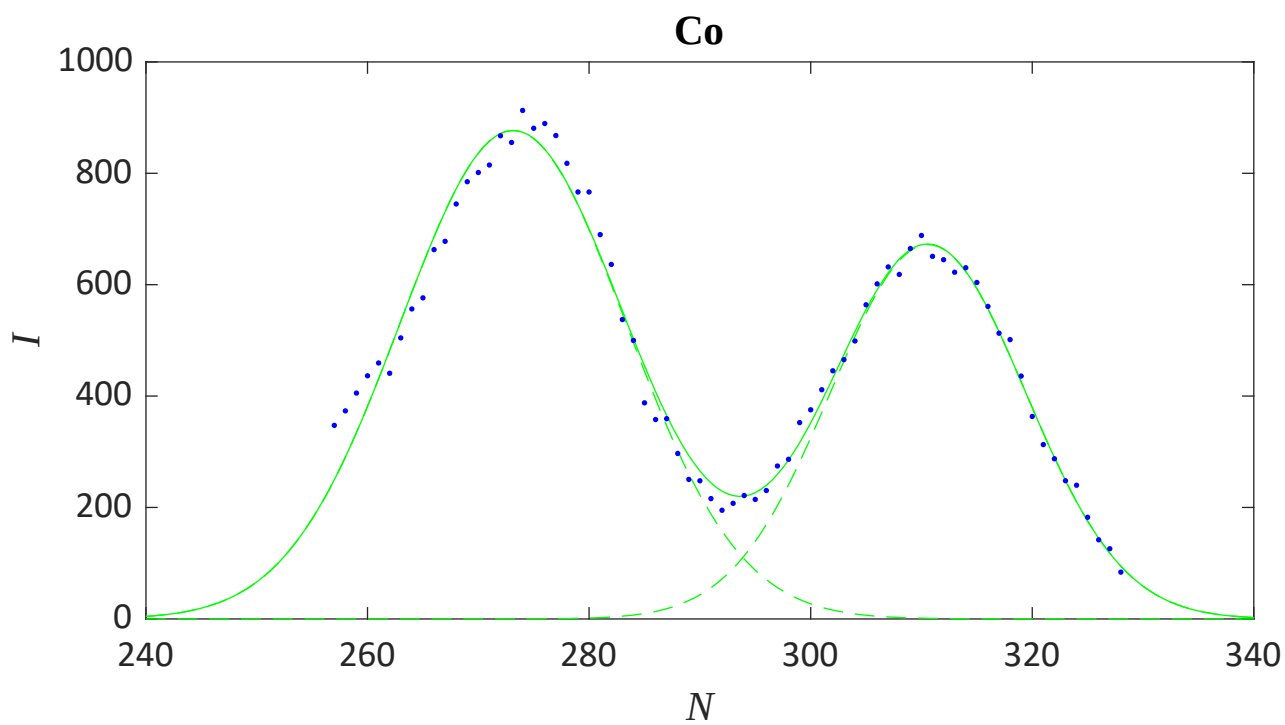


График 2. Измеренные пики полного поглощения ^{60}Co

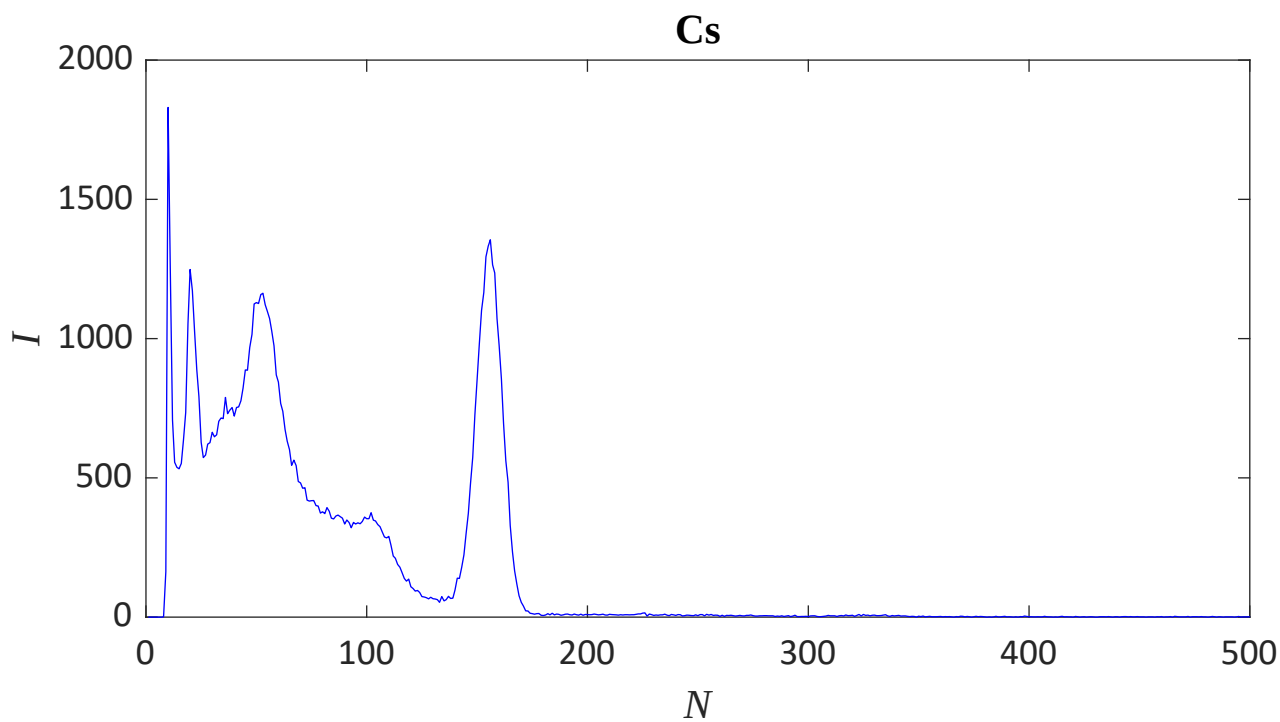


График 3. Измеренный спектр гамма-излучения ^{137}Cs

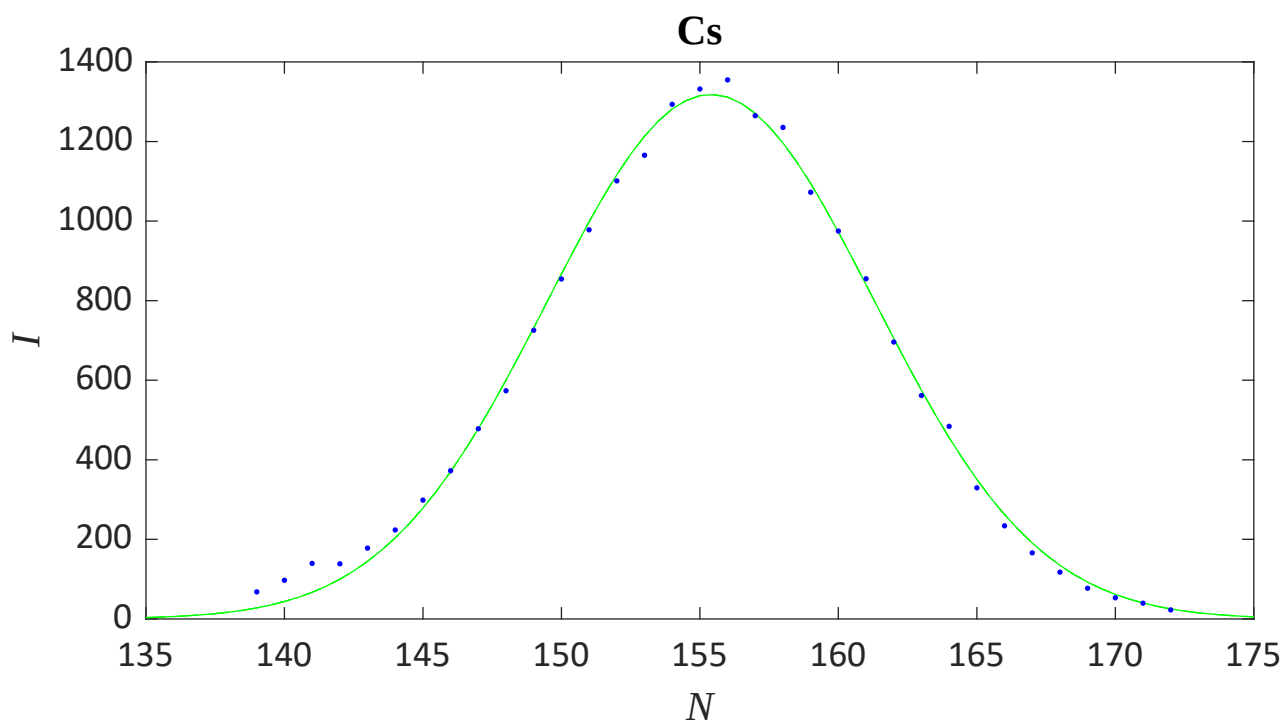


График 4. Измеренные пики полного поглощения ^{137}Cs

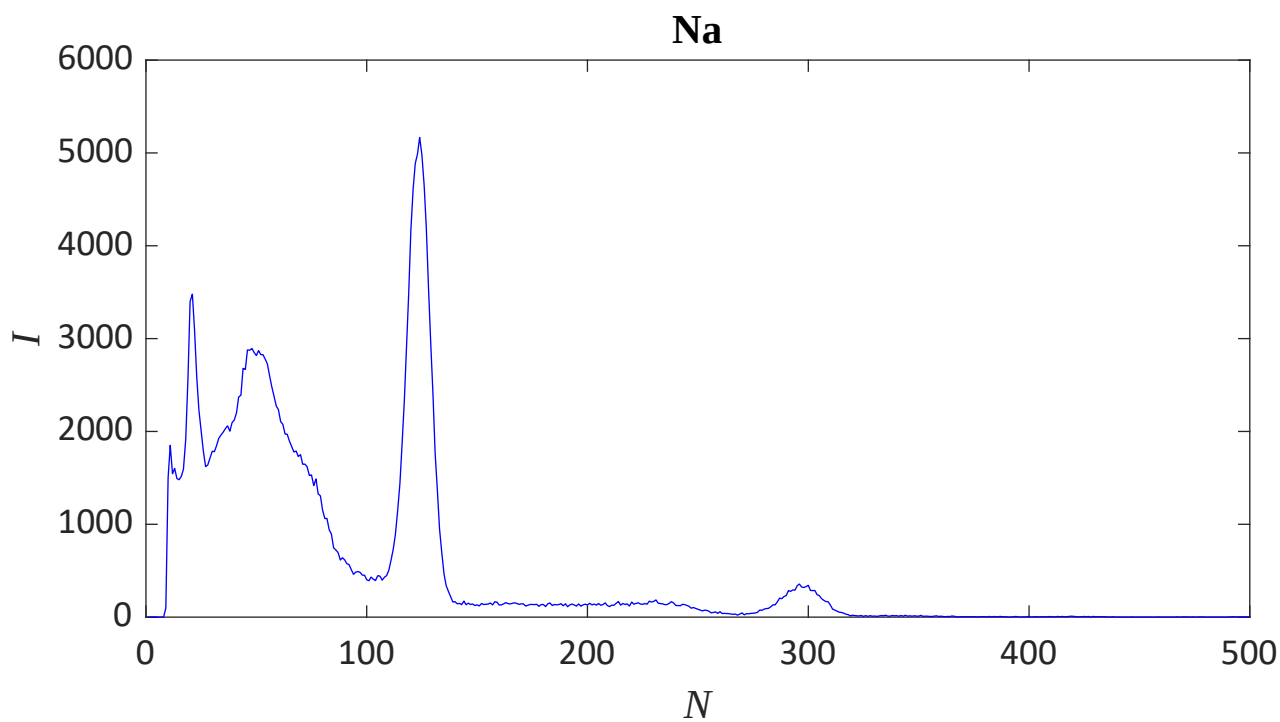


График 5. Измеренный спектр гамма-излучения ^{22}Na

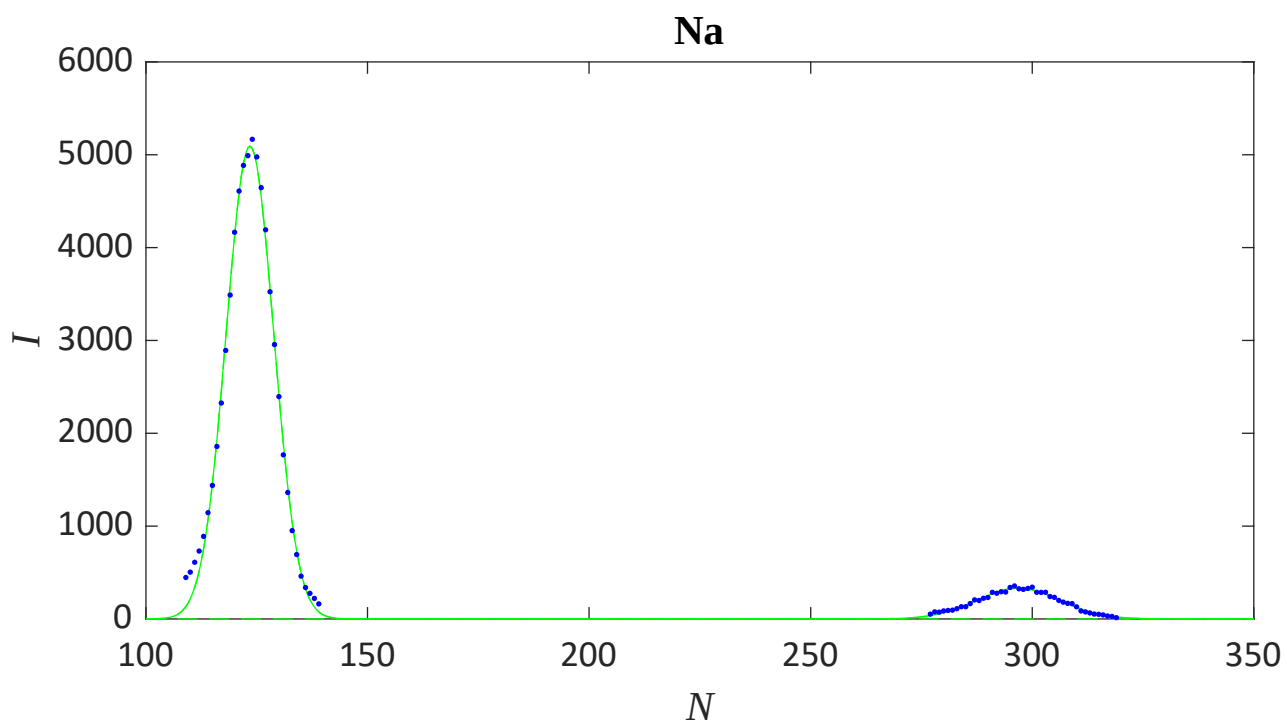


График 6. Измеренные пики полного поглощения ^{22}Na

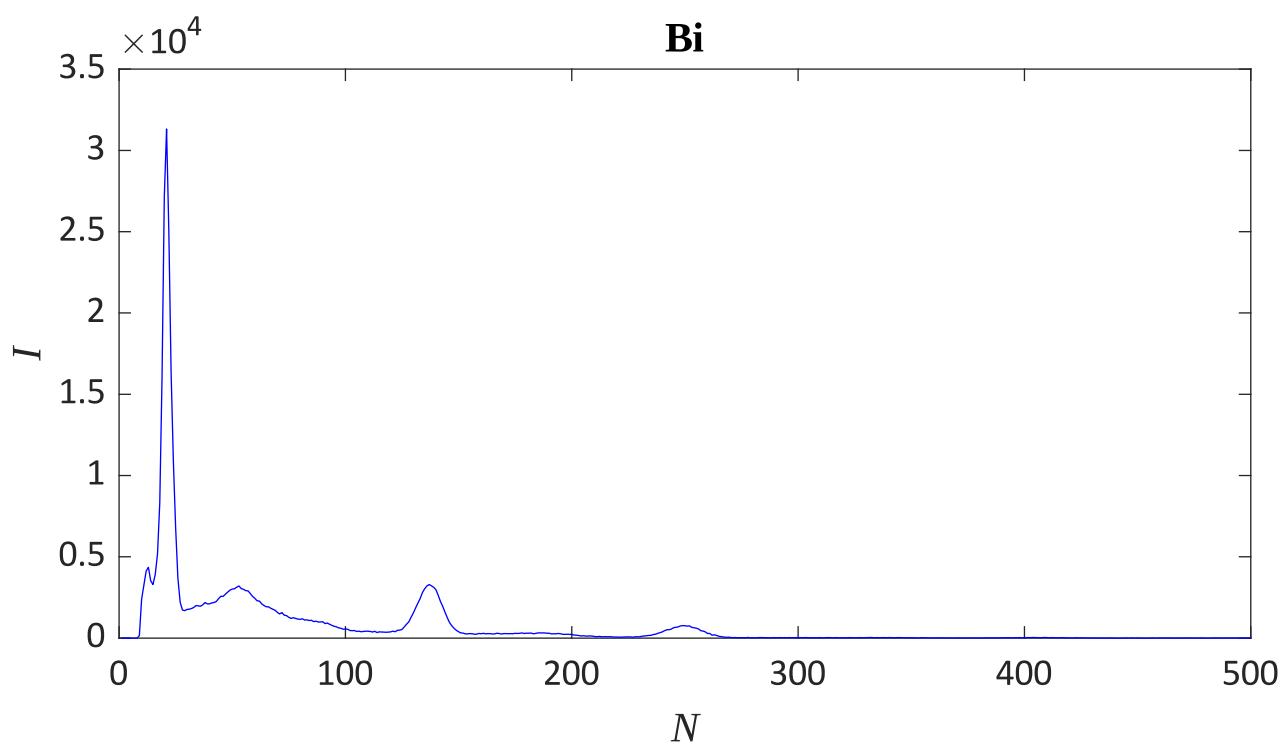


График 7. Измеренный спектр гамма-излучения ^{207}Bi

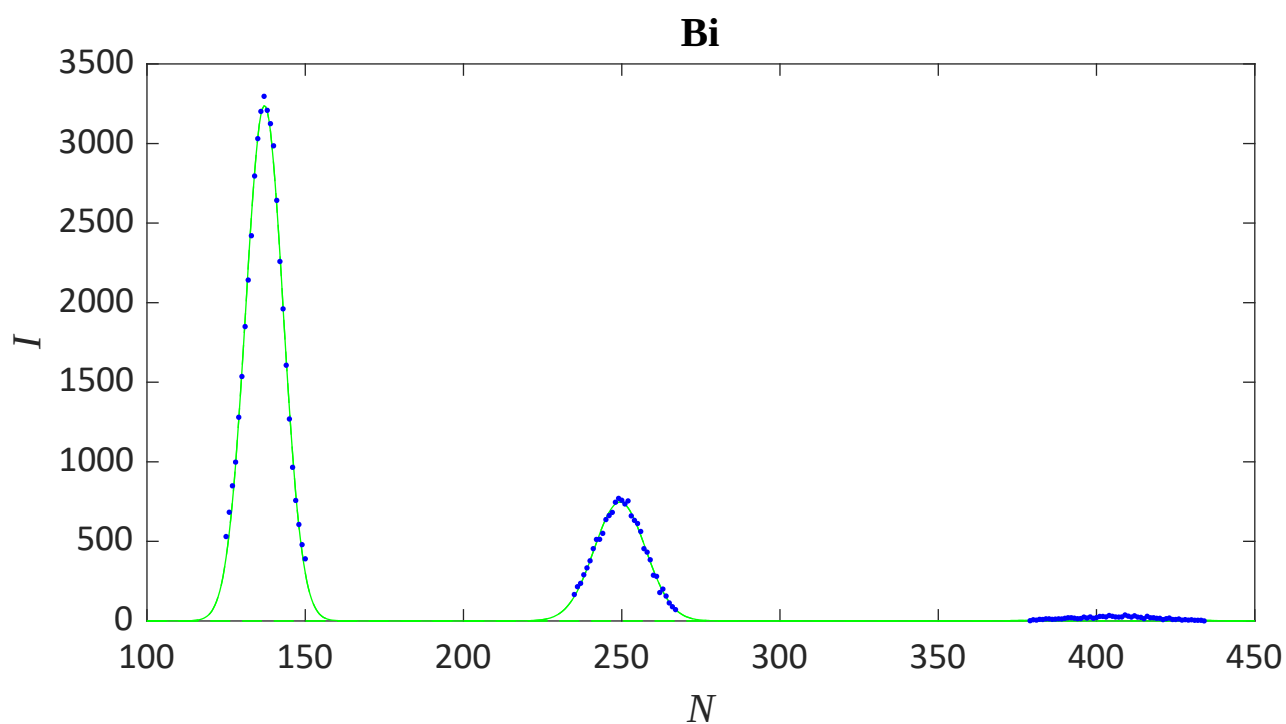


График 8. Измеренные пики полного поглощения ^{207}Bi

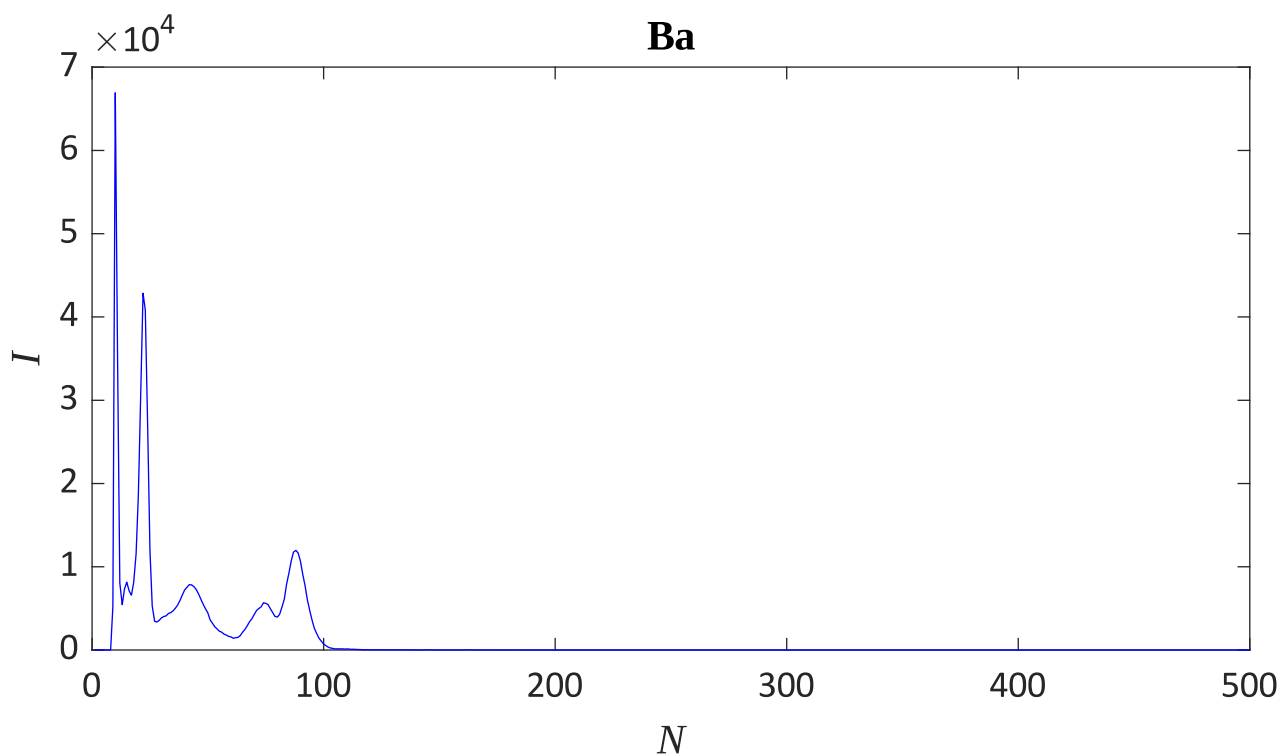


График 9. Измеренный спектр гамма-излучения ^{133}Ba

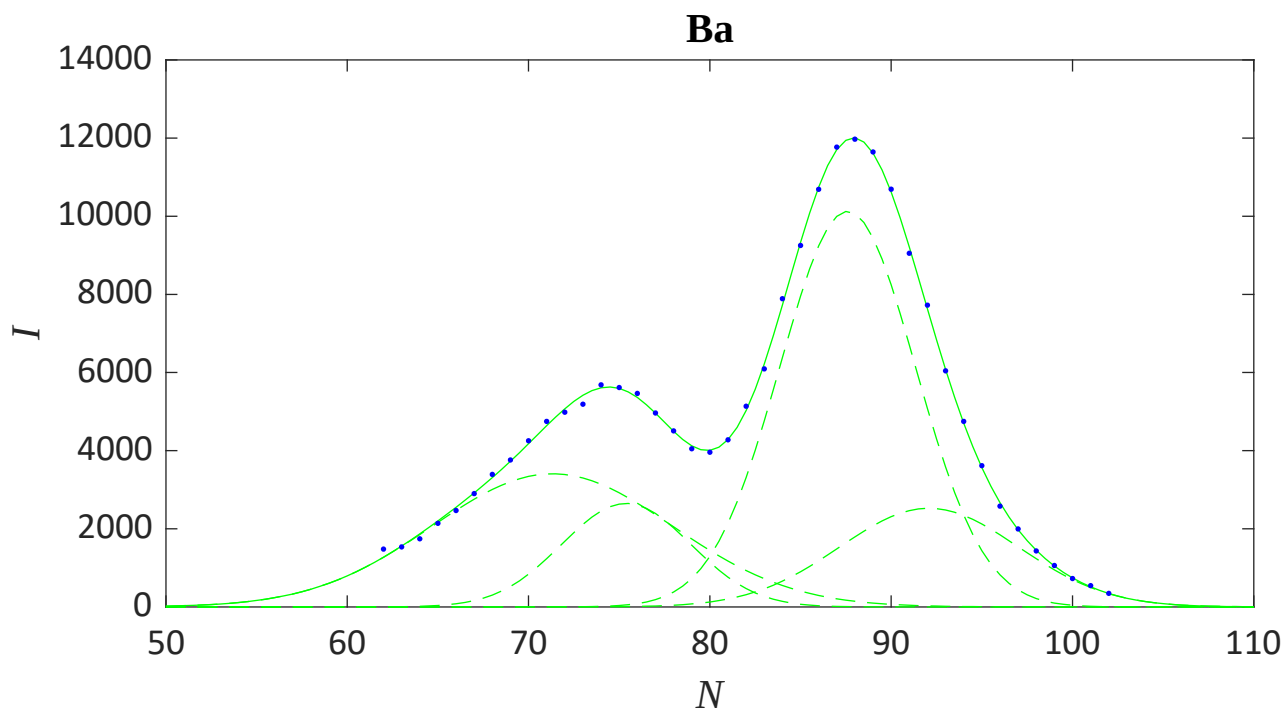


График 10. Измеренные пики полного поглощения ^{133}Ba

Разрешающая способность спектрометра не позволяет определить положения пиков поглощения бария, которых в выделенном диапазоне должно быть 4. Хотя экспериментальные точки можно аппроксимировать суммой четырёх гауссианов, они не описывают действительный вид пиков поглощения.

2. Градуировка спектрометра и определение параметров пиков

Выполним градуировку спектрометра по трём пикам поглощения нуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs . Аппроксимируем линейным уравнением зависимость табличных значений энергий пиков $E_{\text{табл}}$ от их положений по шкале спектрометра N :

$$E_{\text{табл}} = aN + b$$

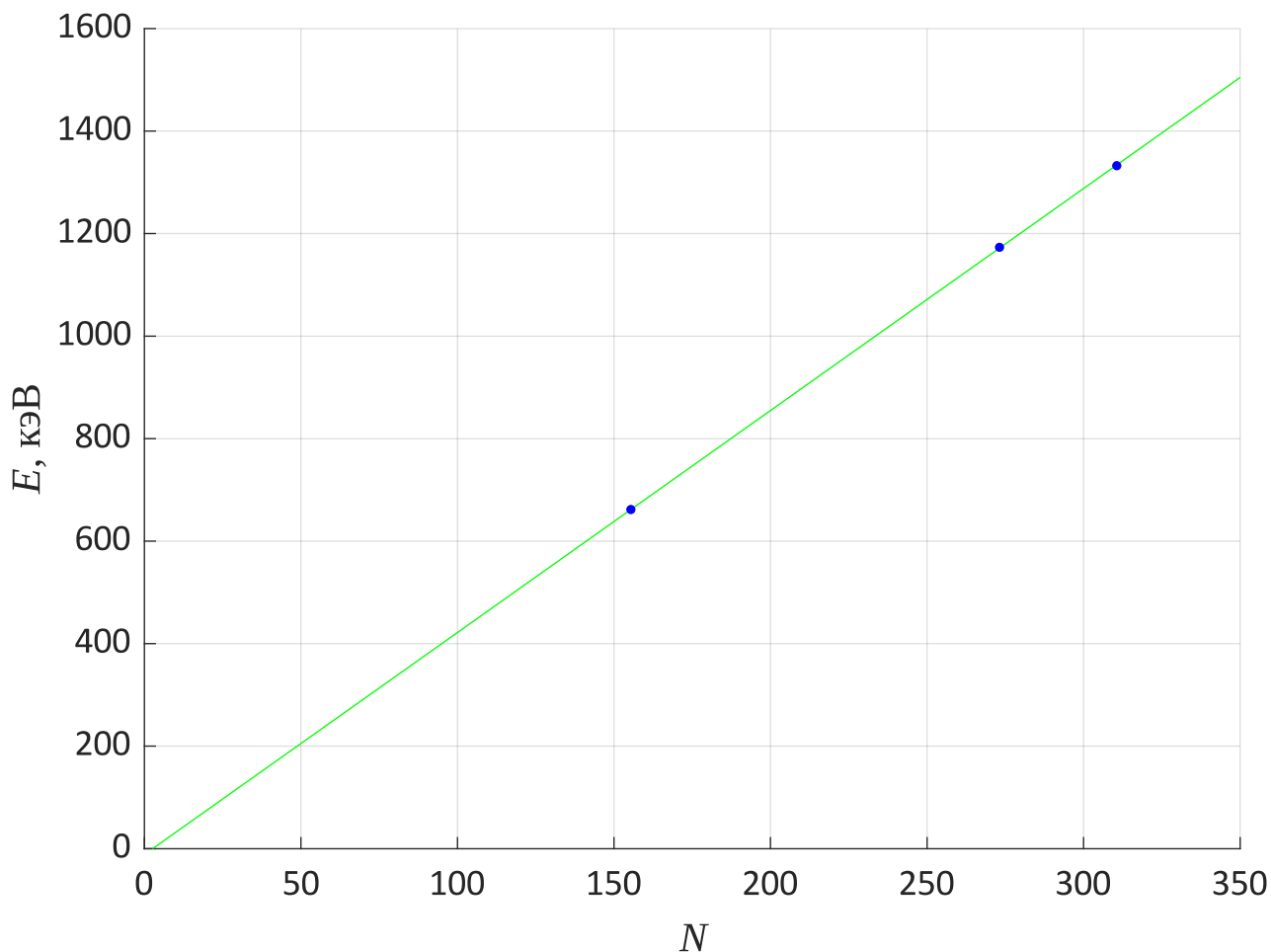


График 11. Градуировочный график спектрометра

Коэффициенты аппроксимации:

$$a = 4.3 \pm 0.2 \text{ кэВ}$$

$$b = -10 \pm 30 \text{ кэВ}$$

По градуировочному графику определяем энергии пиков поглощения для остальных нуклидов.

Таблица. Параметры пиков полного поглощения

Нуклид	N	$E_{\text{граф}}, \text{кэВ}$	$E_{\text{табл}}, \text{кэВ}$	$R, \%$	$F, \%$
^{60}Co	273.1(3)	1172(4)	1173.237(4)	8.8	9.3
	310.6(3)	1334(10)	1332.501(5)	6.7	6.2
^{137}Cs	155.40(11)	662(15)	661.660(2)	8.9	22.0
^{22}Na	123.46(8)	520(20)	511.0034(14)	10.2	26.4
	297(2)	1275(11)	1274.53(2)	7.5	3.0
^{207}Bi	137.12(6)	580(20)	569.150(19)	10.2	12.0
	249.4(3)	1069.1(14)	1063.10(2)	7.7	3.8
	406(10)	1750(50)	1769.71(4)	8.0	0.2
^{133}Ba	71(8)	300(50)	276.3989(12)	21.9	8.0
	75(2)	320(30)	302.8508(5)	11.1	3.3
	87.6(10)	370(30)	356.0129(7)	13.3	4.4
	90(30)	390(140)	383.8485(12)	9.6	13.4

Значения энергий, полученные экспериментально, совпадают с табличными.

Выводы

В ходе работы были измерены спектры гамма-излучения радионуклидов сцинтилляционным методом. Используя известные значения энергий гамма-излучения двух нуклидов была выполнена градуировка спектрометра и определены энергии излучения остальных нуклидов.