

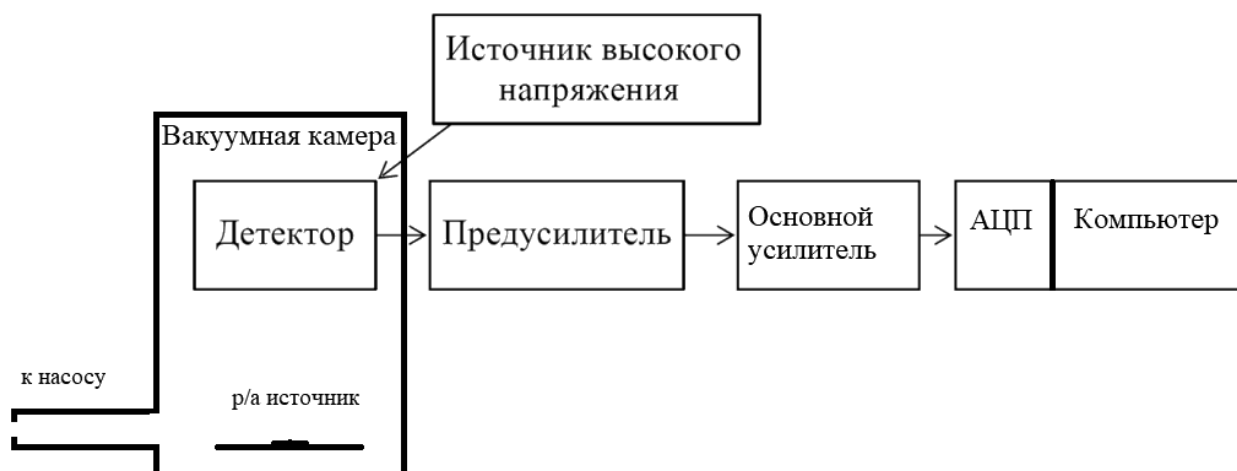
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

Цель работы: с помощью полупроводникового спектрометра измерить спектры альфа-излучения источников из ^{226}Ra , ^{238}Pu , ^{239}Pu и комбинированного источника из $^{233}\text{U} + ^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu}$, проградуировать спектрометр по спектру излучения ^{226}Ra и определить энергию альфа-частиц остальных источников; оценить время изготовления источника ^{226}Ra .

Схема установки



Расчётные формулы

- Энергия пика излучения по градуировочной прямой спектрометра:

$$E = aN + b$$

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

- Разрешающая способность спектрометра:

$$R = \frac{\Delta E}{E}$$

ΔE — ширина линии на полувысоте в энергетических единицах;
 E — энергия линии.

- Время изготовления источника:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= n_0 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} \\ A_n &= n_0 \sum_{i=1}^n c_i e^{-\lambda_i t} \\ I &\propto A \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{I_n}{I_1} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i e^{-\lambda_i t}}{\lambda_1 e^{-\lambda_1 t}}$$

n_0 — начальное количество ядер 1-го нуклида;
 λ_i — постоянная распада i -го нуклида;
 T_i — период полураспада i -го нуклида;
 A_n — активность n -го нуклида;
 I_n — интенсивность излучения n -го нуклида;
 t — время изготовления источника.

$$c_i = \frac{\prod_{j=1}^n \lambda_j}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\lambda_j - \lambda_i)}$$

$$\lambda_i = \frac{\ln 2}{T_i}$$

Время изготовления t находим решением уравнения численным методом.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

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

- $$\Delta_E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial N} \cdot \Delta_N \right)^2 + \left(\left(\frac{\partial E}{\partial a} + \frac{\partial E}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial a} \right) \cdot \Delta_a \right)^2} = \sqrt{(a \cdot \Delta_N)^2 + ((N - \langle N_{\text{град}} \rangle) \cdot \Delta_a)^2}$$

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

Порядок измерений

Запускаем спектрометр, насос и ПО для работы со спектрометром. Помещаем источник из ^{226}Ra в камеру спектрометра. Откачиваем воздух из камеры с помощью насоса. Подаём напряжение на детектор. После установки заданного напряжения проводим измерение спектра продолжительностью 10 минут. Затем выключаем напряжение и заменяем источник на следующий. Аналогично проводим измерение спектра источников из ^{238}Pu , ^{239}Pu и комбинированного источника.

Результаты

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

1. Спектры альфа-излучения источников

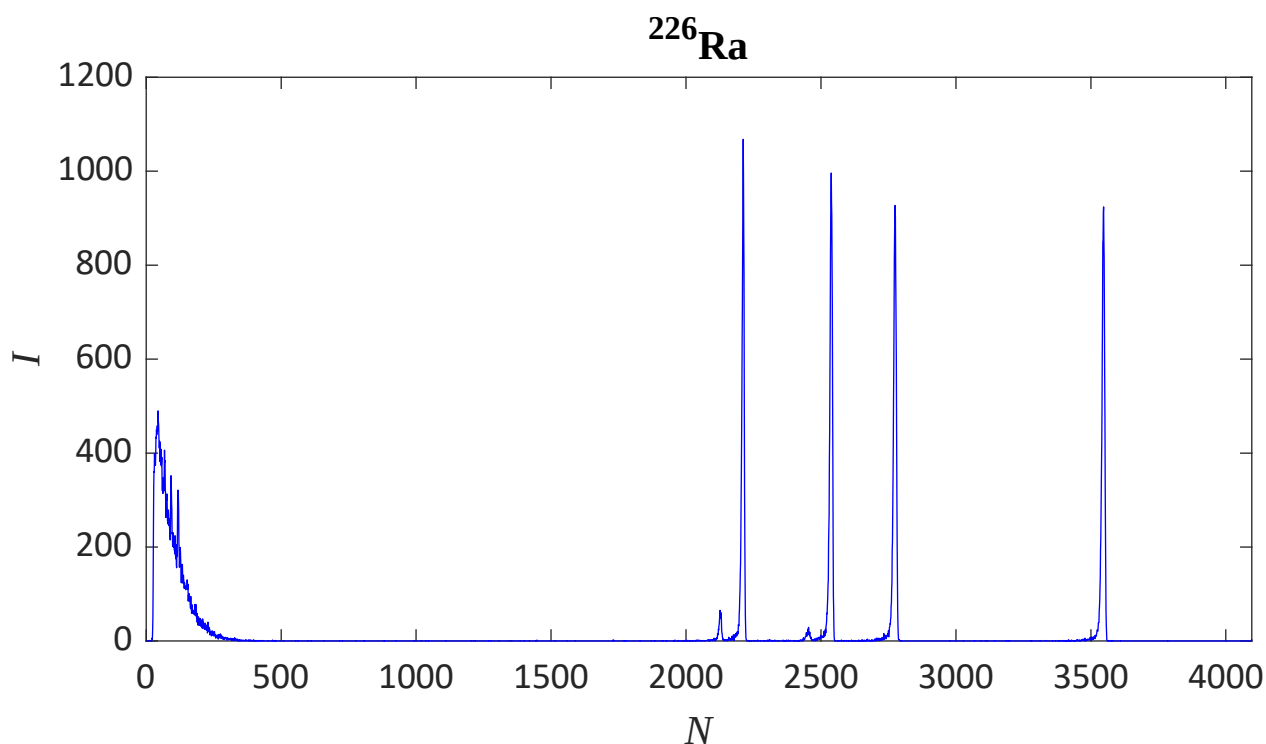


График 1.

Спектр альфа-излучения источника из ^{226}Ra по каналам спектрометра

Наблюдаем, что спектр альфа-излучения радия помимо линий самого радия содержит также линии продуктов его распада. Всего выделяем 6 спектральных линий.

Используем данный спектр для градуировки шкалы спектрометра. Аппроксимируем линейным уравнением зависимость табличных значений энергий пиков $E_{\text{табл}}$ от их положений по шкале спектрометра N :

$$E_{\text{табл}} = aN + b$$

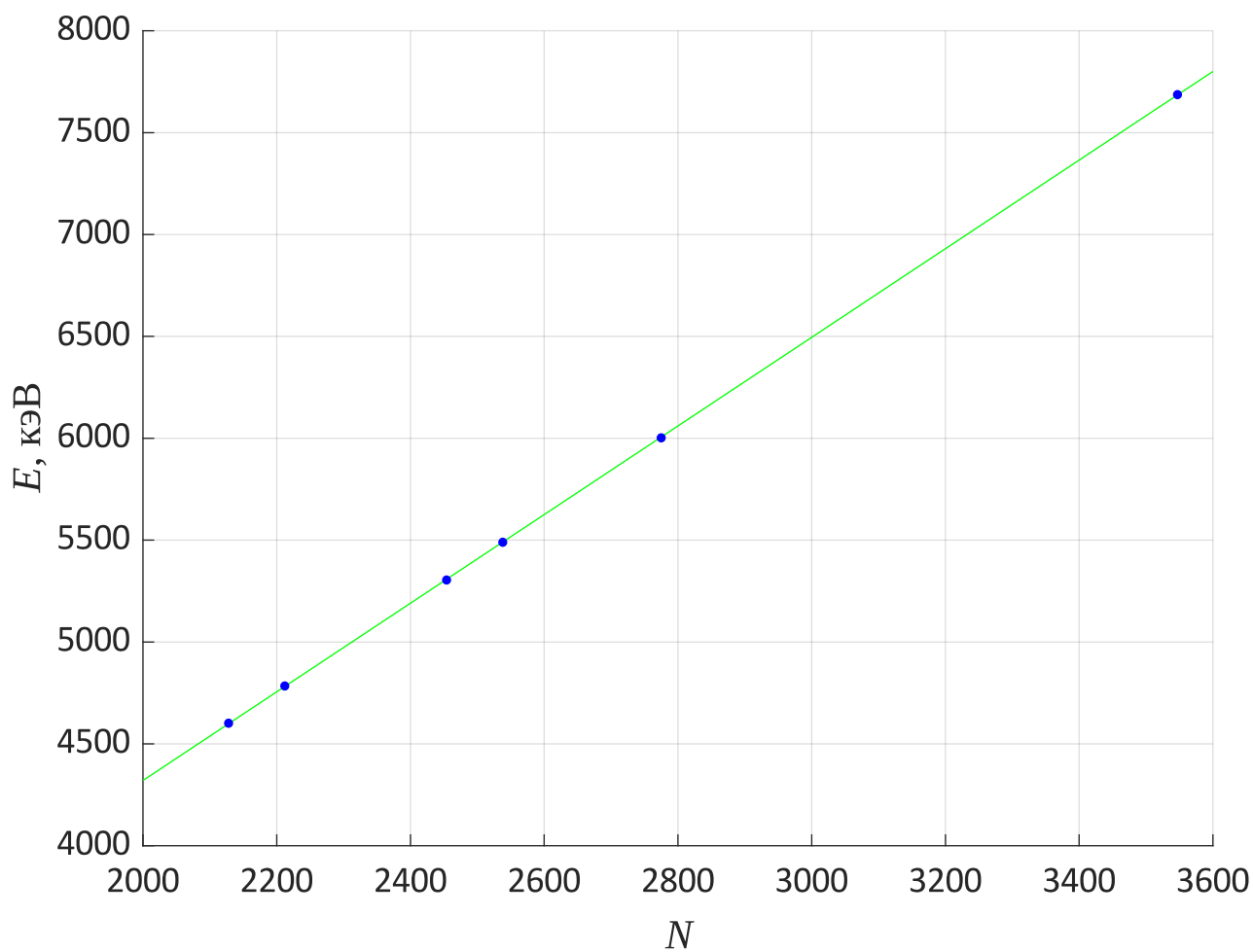


График 2. Градуировочная прямая спектрометра

Коэффициенты аппроксимации:

$$a = 2.175 \pm 0.007 \text{ кэВ}$$

$$b = -30 \pm 20 \text{ кэВ}$$

Далее представлены проградуированные спектры альфа-излучения радия и остальных источников.

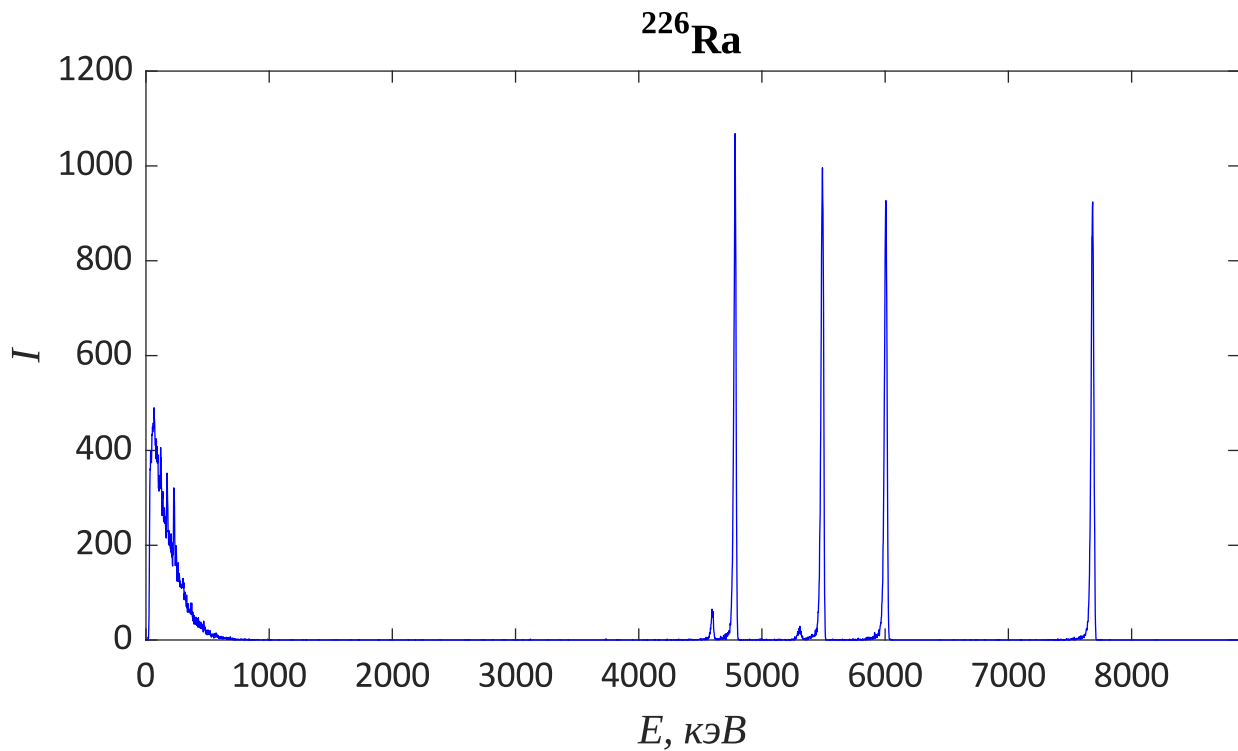


График 3. Спектр альфа-излучения источника из ^{226}Ra по энергиям

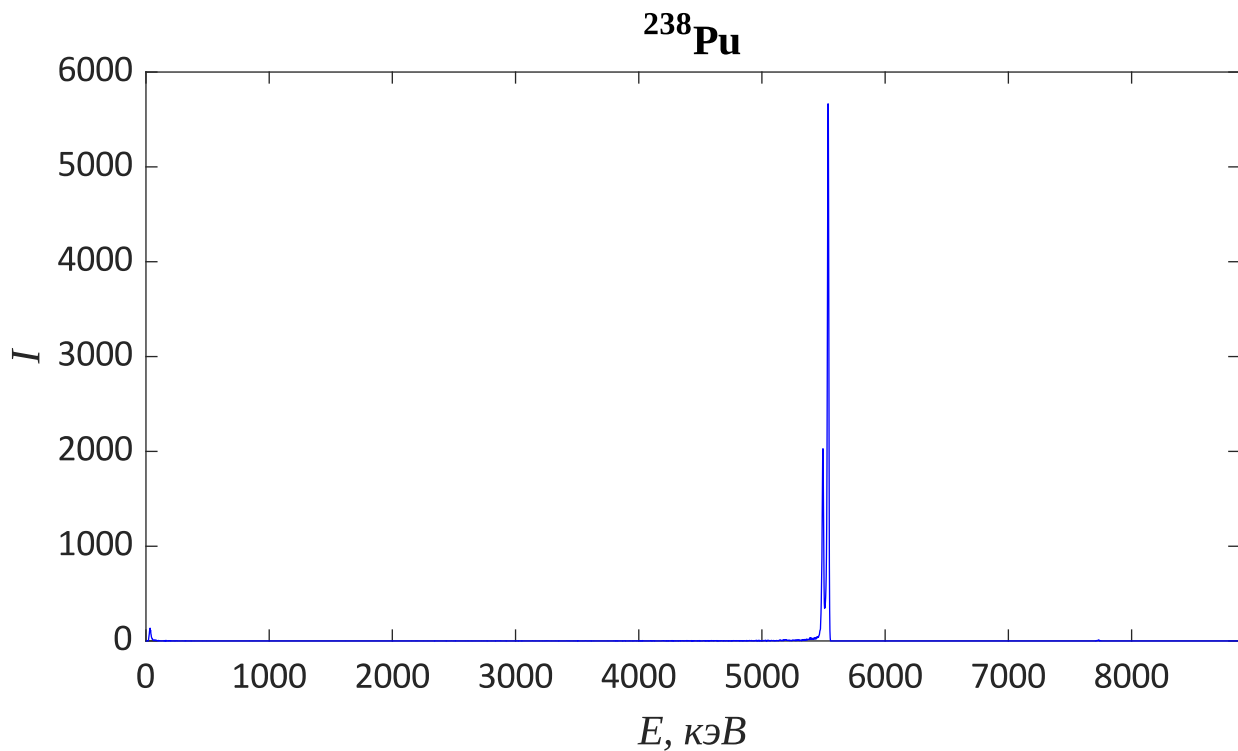


График 4. Спектр альфа-излучения источника из ^{238}Pu по энергиям

Полученный спектр альфа-излучения ^{238}Pu содержит две близко расположенные линии.

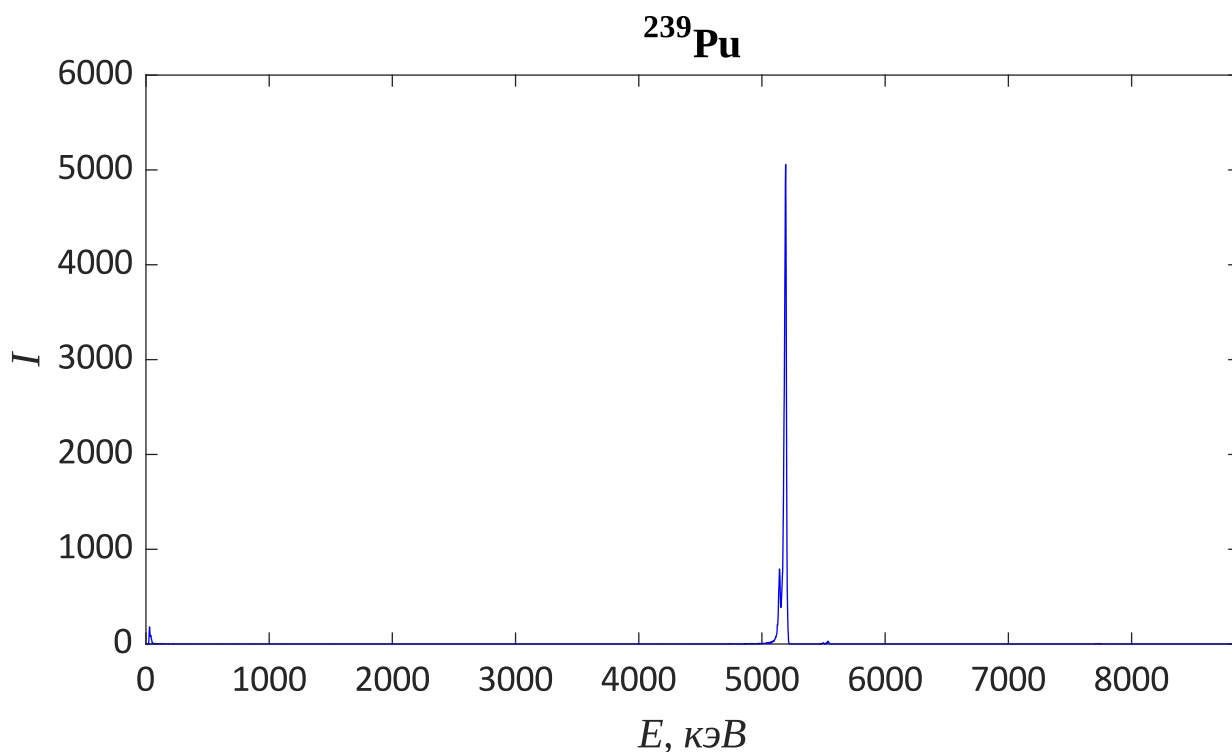


График 5. Спектр альфа-излучения источника из ^{239}Pu по энергиям

Полученный спектр альфа-излучения ^{239}Pu содержит две близко расположенные линии. Спектр также должен содержать третью линию, однако она расположена очень близко к правой линии и при этом имеет намного меньшую интенсивность, поэтому она не различима используемым спектрометром.

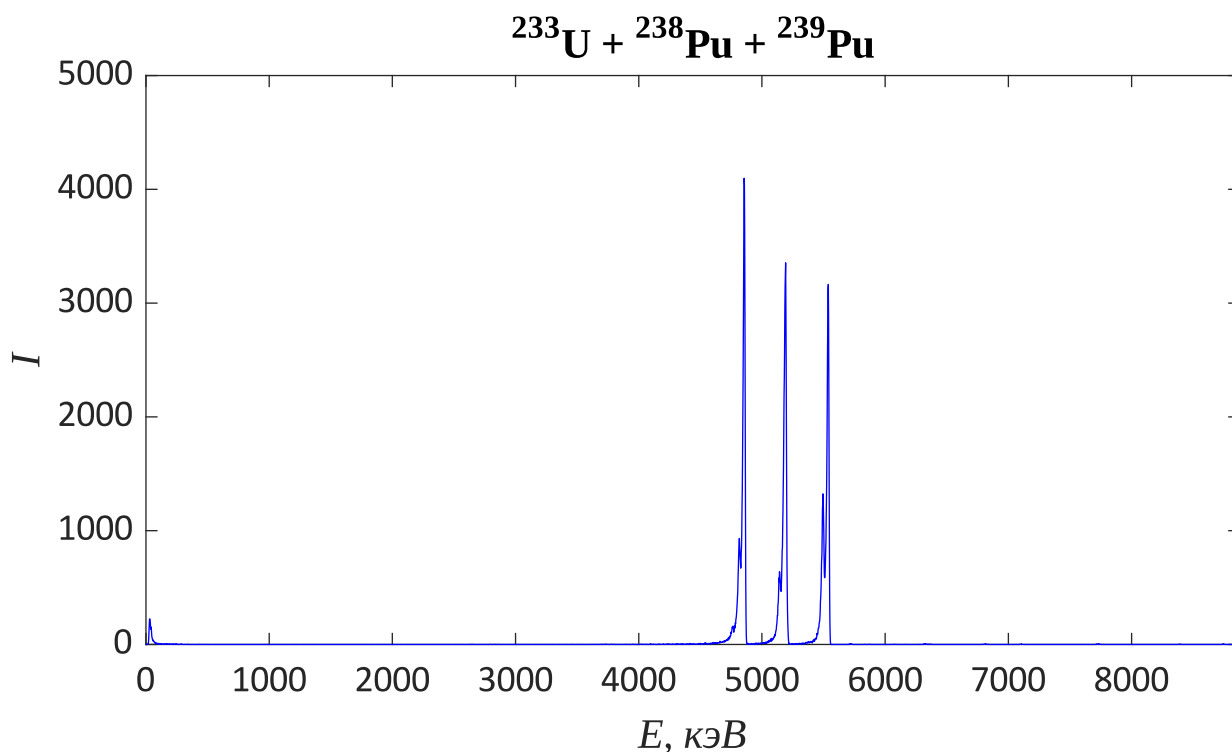


График 6. Спектр альфа-излучения источника из ^{233}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu по энергиям

Полученный спектр альфа-излучения комбинированного источника содержит 3 пары близко расположенных линий. Пары относятся к ^{233}U , ^{239}Pu и ^{238}Pu в порядке возрастания энергии.

В таблице ниже представлены положения пиков в каналах спектрометра N и соответствующих энергиях E , их ширина на полувысоте ΔN и ΔE и разрешающая способность R .

Таблица 1. Линии альфа-излучения источников

№ источника	Нуклид	N	ΔN	E , кэВ	$E_{\text{табл}}$, кэВ	ΔE , кэВ	R , %
1	^{226}Ra	2128 ± 2	10	4599 ± 6	4601.4(3)	21	0.46
		2212 ± 1	9	4782 ± 4	4784.3(3)	19	0.41
	^{210}Po	2454 ± 2	14	5308 ± 4	5304.33(7)	31	0.59
	^{222}Rn	2538 ± 1	11	5490 ± 2	5489.5(3)	23	0.43
	^{218}Po	2775 ± 1	11	6006 ± 2	6002.35(9)	25	0.41
	^{214}Po	3547 ± 1	11	7685 ± 7	7686.82(7)	25	0.32
2	^{238}Pu	2540 ± 1	7	5495 ± 2	5456	14	0.26
		2559 ± 1	6	5536 ± 2	5499	14	0.24
3	^{239}Pu	2378 ± 1	9	5143 ± 3	5106	20	0.38
		2401 ± 1	9	5193 ± 3	5157	19	0.37
4	^{233}U	2228 ± 1	11	4816 ± 4	4784	24	0.49
		2246 ± 1	9	4855 ± 3	4824	19	0.39
	^{239}Pu	2378 ± 1	12	5143 ± 3	5106	27	0.52
		2401 ± 1	11	5193 ± 3	5157	24	0.46
	^{238}Pu	2540 ± 1	10	5495 ± 2	5456	22	0.40
		2560 ± 1	8	5538 ± 2	5499	18	0.33

Экспериментально полученные значения энергий излучения E остальных источников значительно отличаются от табличных $E_{\text{табл}}$, причём отклонения систематические — экспериментальные значения всегда на 30 – 40 кэВ больше.

Проиллюстрируем отклонения наглядно — нанесём на градуировочный график точки $E_{\text{табл}}(N)$ от остальных источников. Эти точки обозначены на графике незакрашенными маркерами:

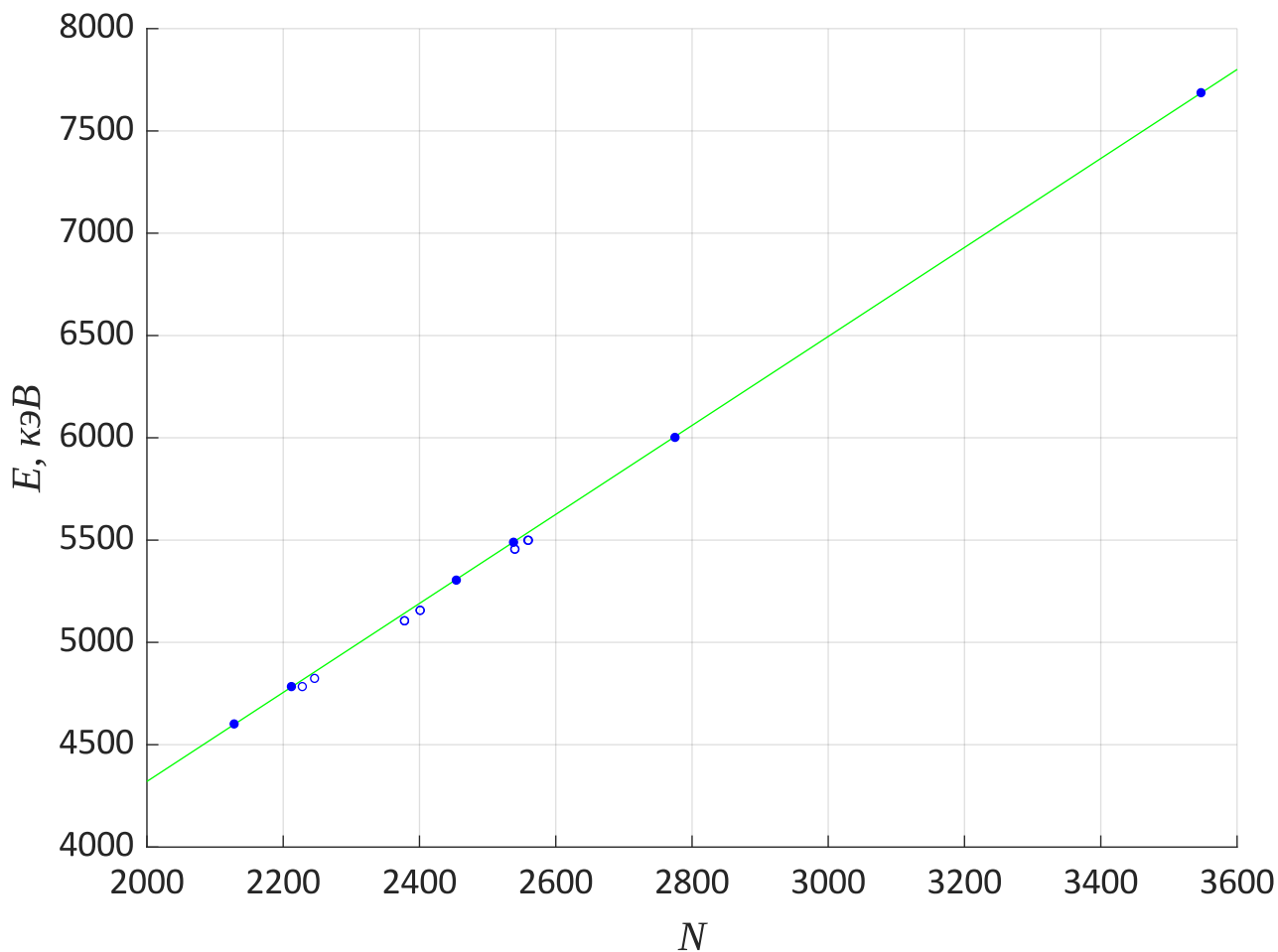


График 7. Градуировочная прямая спектрометра с табличными энергиями остальных источников

Зависимость $E_{\text{табл}}$ от N остальных источников тоже образует прямую, однако смещённую по какой-то причине. Скорее всего либо для 1-го источника, либо для остальных источников указаны неверные табличные значения энергий.

2. Время изготовления источника

Оценим время изготовления источника из ^{226}Ra . Для этого воспользуемся измеренными спектральными линиями альфа-излучения ядер ^{226}Ra и ^{210}Po и значениями их времени жизни. Время жизни этих нуклидов велико по сравнению с временем жизни промежуточных нуклидов, поэтому промежуточными распадами можно пренебречь.

Таблица 2.
Время жизни ^{226}Ra и продуктов его распада

Нуклид	T
^{226}Ra	1600(7) лет
^{222}Rn	3.8235(3) дн
^{218}Po	3.10(2) мин
^{214}Po	0.164(2) мс
^{210}Po	138.376(2) дн

Интенсивности альфа-излучения ^{226}Ra и ^{210}Po находим как площадь их спектральных линий:

$$I_1 = 11478$$

$$I_5 = 359$$

Получаем примерное время, прошедшее с момента изготовления источника:

$$t \approx 11 \text{ дн}$$

Выводы

В ходе работы были измерены спектры альфа-излучения радиоактивных источников с помощью полупроводникового спектрометра. Преимуществом полупроводникового спектрометра является высокая разрешающая способность.

Спектр альфа-излучения источника состоит из нескольких линий, соответствующих исходному нуклиду и его продуктам распада. По соотношению интенсивностей линий можно оценить время изготовления источника.