

Лабораторная работа № 5.5.2
Спектрометрия α -излучения с помощью
полупроводникового детектора

Илья Прамский

Декабрь 2024

1 Теоретическая справка

Периоды полураспада α -активных ядер очень сильно зависят от энергии вылетающих частиц. Экспериментально установленная зависимость (закон Гейгера-Нэттола) имеет вид:

$$\lg T_{1/2} = \frac{a}{\sqrt{E_\alpha}} + b. \quad (1)$$

Коэффициенты a и b очень слабо зависят от заряда ядра Z .

Описание установки

В состав экспериментальной установки входит альфа-спектрометр, форвакуумный насос и персональный компьютер. (Рис. ??)



Рис. 1 — Блок-схема спектрометра α -излучения

При использовании детектора в спектрометрических целях особое значение приобретает его разрешающая способность, т. е. ширина кривой распределения импульсов по амплитудам при строго постоянной энергии регистрируемых частиц. Форма такой кривой распределения обычно бывает близка к кривой ошибок (гауссовой кривой)

$$W(U)dU = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(U-U_0)^2}{2\sigma^2}} dU$$

Энергетическим разрешением спектрометра обычно называют величину

$$R = \frac{\delta}{U_0} \cdot 100\%$$

Тогда связь между δ и σ :

$$\delta = 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma$$

Одной из основных причин, вызывающих разброс импульсов по амплитуде, является статистическая флуктуация числа электрондырочных пар, создаваемых падающей частицей. Среднее число пар N равно

$$N = \frac{E}{\varepsilon_{\text{ср}}},$$

где E - энергия, теряемая частицей в детекторе, а $\varepsilon_{\text{ср}} = 3.6$ эВ - энергия, необходимая для создания пары электрон-дырка. Среднеквадратичное отклонение σ равно

$$\sigma = \sqrt{N} = \sqrt{\frac{E}{\varepsilon_{\text{ср}}}}$$

Вклад флуктуаций числа пар в энергетическое разрешение

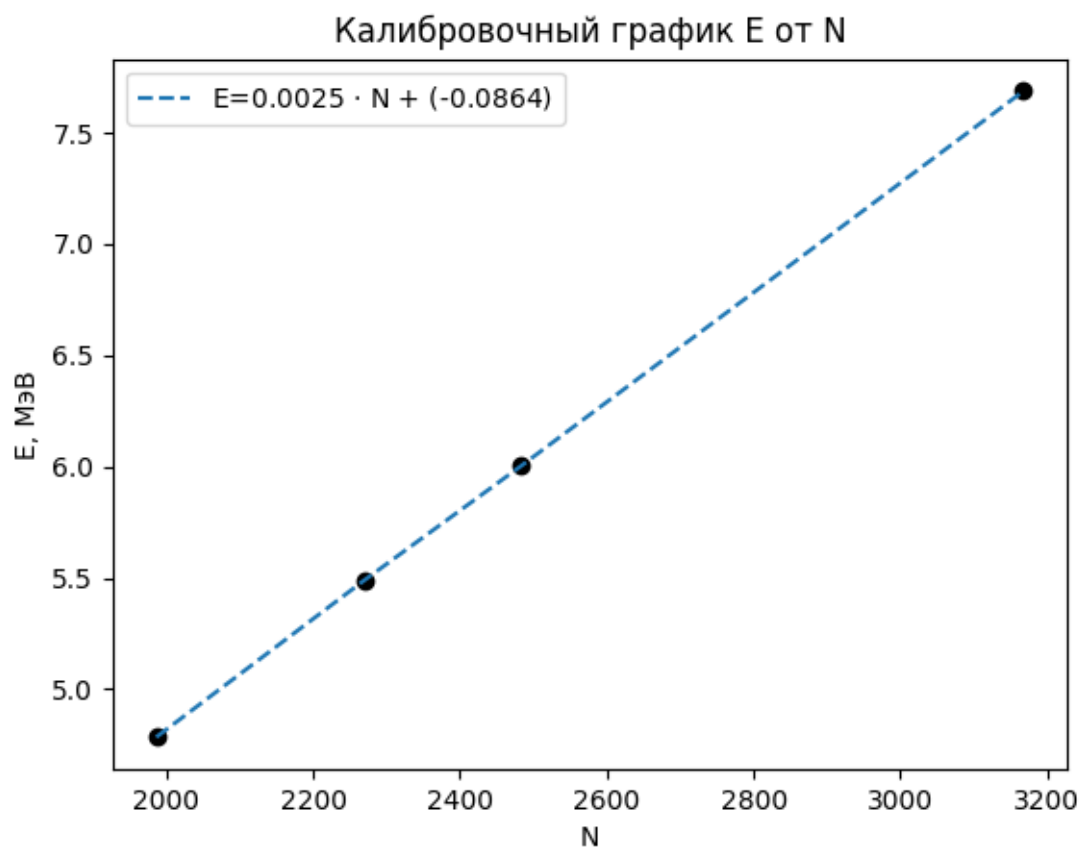
$$R_{\text{флук}} = \frac{\sigma}{N} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{ср}}}{E}} \cdot 100\%$$

Ход работы

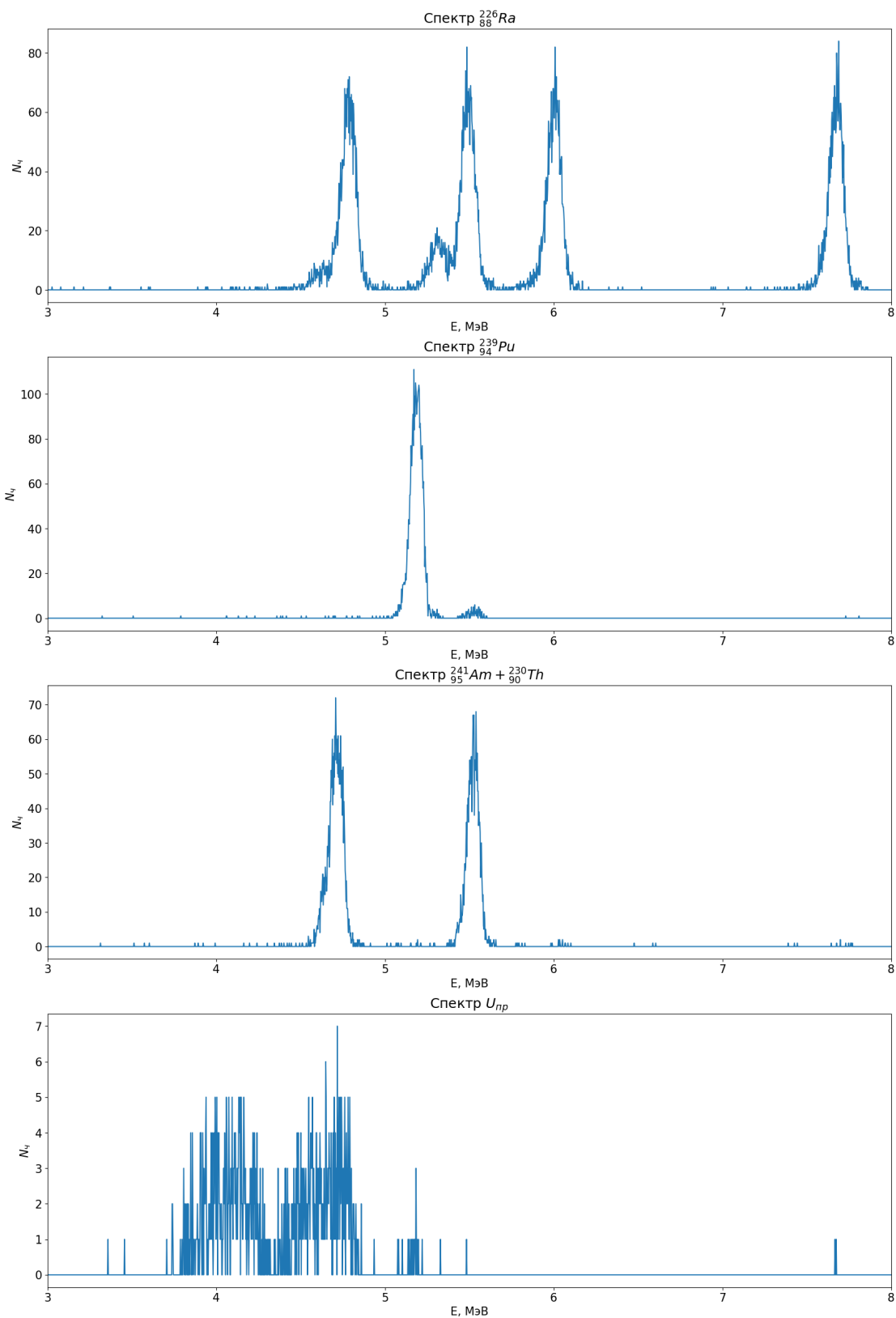
Откалибруем номера каналов в энергетических единицах(МэВ).

Номера каналов, соответствующих пикам $^{226}_{88}\text{Ra}$, а также их энергия:

	1 пик	2 пик	3 пик	4 пик
N канала	1986	2270	2483	3168
E, МэВ	4.784	5.490	6.002	7.687



Теперь построим график зависимости счёта на сцинтилляторе $N_{\text{с}}$ от энергии (Измерение для каждого из веществ были проведены за 600 ± 5 секунд).

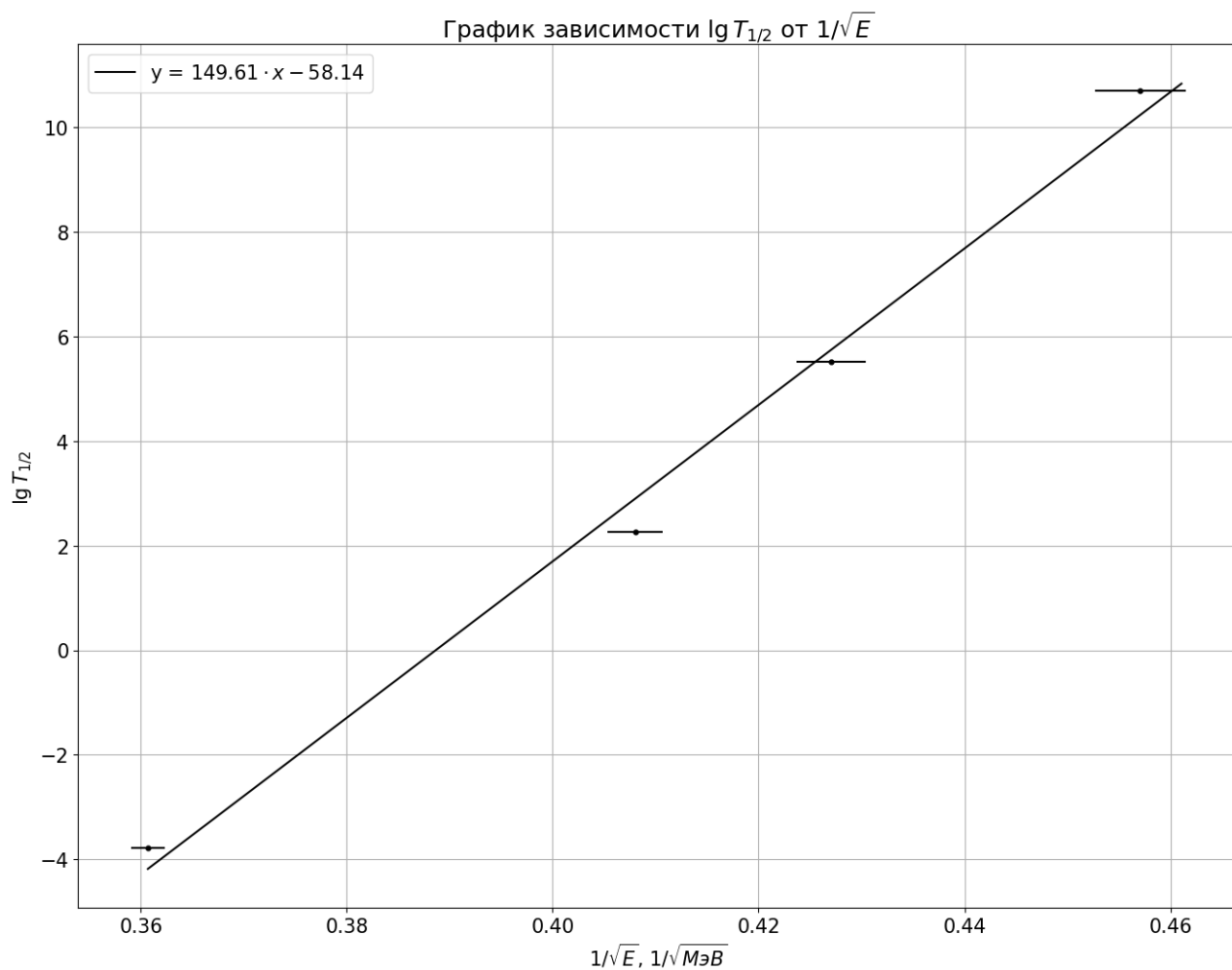


Для каждого из веществ найдём R и заполним таблицу (N_i - номер канала, соответствующий пику полного поглощения, ΔN_i - ширина этого пика на половине высоты, $R_{\text{эл. цеп}} = R - R_{\text{фл}}$)

Источник	N_i	ΔN_i	E_i , кэВ	ΔE_i , МэВ	R_i , %	$R_{i,\text{фл}}$, %	$R_{\text{эл.цеп}}$, %
$^{226}_{88}\text{Ra}$	1986	37.6	4786.6	92.3	1.928	0.086	1.842
$^{222}_{86}\text{Rn}$	2270	35.4	5483.5	86.9	1.585	0.081	1.504
$^{218}_{84}\text{Po}$	2483	32.2	6006.1	79.0	1.315	0.077	1.238
$^{214}_{84}\text{Po}$	3168	28.9	7686.9	70.9	0.922	0.068	0.854
$^{239}_{94}\text{Pu}$	2146	28.0	5179.2	68.7	1.326	0.083	1.243
(доч.) $^{239}_{94}\text{Pu}$	2290	30.0	5532.5	73.6	1.330	0.081	1.250
$^{241}_{95}\text{Am} + ^{230}_{90}\text{Th}$	1953	34.9	4705.6	85.6	1.819	0.087	1.732
(доч.) $^{241}_{95}\text{Am} + ^{230}_{90}\text{Th}$	2287	26.6	5525.2	65.3	1.182	0.081	1.101
$U_{\text{пр}}$	1690	53	4060.3	130.0	3.202	0.094	3.108
(доч.) $U_{\text{пр}}$	1930	80	4649.2	196.3	4.222	0.088	4.134

Теперь проверим закон Гейгера-Неттола для $^{226}_{88}\text{Ra}$ и его дочерних ядер.

Вещество	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^{218}_{84}\text{Po}$	$^{214}_{84}\text{Po}$
T,	1620 лет	3.82 суток	3.11 минут	$1.63 \cdot 10^{-4}$ секунд
E, кэВ	4786.6	5483.5	6006.1	7686.9



Получается $a_{\text{эксп}} = 150 \pm 9\sqrt{\text{МэВ}}$, $b_{\text{эксп}} = -58 \pm 4$.

$a_{\text{т}} = 147\sqrt{\text{МэВ}}$, $b_{\text{т}} = -54$

Вывод

В ходе работы были исследован энергетический спектр α -частиц при распаде различных веществ, также для каждого пика было вычислено энергетическое разрешение. Помимо этого был также проверен закон Гейгера-Неттола на $^{226}_{88}\text{Ra}$ и его дочерних ядрах.