

# Измерение абсолютной активности препарата $^{60}\text{Co}$ методом $\gamma - \gamma$ совпадений.

Маслов Артём, Дедков Денис  
группа Б01-108а  
30.10.2023

## Цель и задачи работы:

1. Определить абсолютную активность радиоактивного препарата  $^{60}\text{Co}$  с использованием каскадного перехода  $\gamma$ -квантов при его распаде.

## Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1:

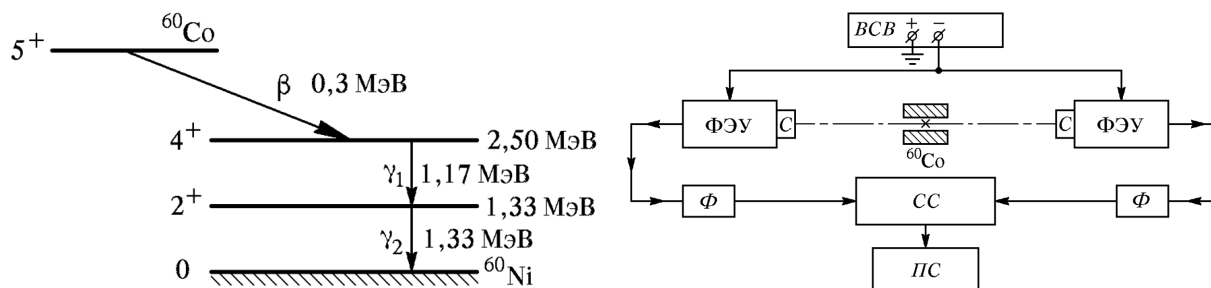


Рис. 1: Слева схема каскадного  $\gamma$ -распада. Справа схема экспериментальной установки.

Гамма-кванты от источника  $^{60}\text{Co}$  регистрируются двумя сцинтилляционными счётчиками, каждый из которых состоит из кристалла  $\text{NaI(Tl)}$  и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). При поглощении  $\gamma$ -кванта кристаллом возникает световая вспышка, которая преобразуется с помощью ФЭУ в электрический импульс, передаваемый через формирователь импульсов на схему совпадений СС и регистрируемый пересчётным прибором ПС. Фотоэлектронные умножители питаются от высоковольтного стабилизированного выпрямителя.

## Оборудование и приборы

1. Лабораторная установка для исследования абсолютной активности кобальта-60 ЛУ – 4.3 – 2. Заводской номер №1513. Инвентарный номер №410134174169.
2. Блоки детектирования сцинтилляционные БДЕГ-40.
  - (а) Заводской номер №2907. Инвентарный номер №410134174169. Инвентарный номер №4008.
  - (б) Заводской номер №2908. Инвентарный номер №4026.
  - (с) Пересчётное устройство. Инвентарный номер №410134125664.

## Первичные экспериментальные данные

Первичные экспериментальные данные приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Измерение фона.

$t_1$ , мин	$N_1$	$n_1$	Шум		$t_2$ , мин	$N_2$	$n_2$	$\sigma_{n_2}$
			$\sigma_{n_1}$					
2	4053	33.8	4		2	3244	27.0	4
2	4029	33.6	4		2	3281	27.3	4
2	4105	34.2	4		2	3224	26.9	4

Индексы 1 и 2 указывают на детектор, которым производились измерения.  $t$  – время измерения,  $N$  – полное количество импульсов,  $n$  – количество импульсов за секунду,  $\sigma_n$  – погрешность измерения  $n$ .

Таблица 2. Измерение в режиме совпадений.

СС в режиме совпадений				
$\tau$ , мкс	$t$ , мин	$N$	$n$	$\sigma_n$
0.2	5	600	2.0	0.6
0.2	5	584	1.9	0.6
0.5	3	609	3.4	1.1
0.5	5	1075	3.6	0.8
1.0	2	608	5.1	1.6
1.0	2	645	5.4	1.6

$\tau$  – время регистрации совпадения,  $t$  – время измерения,  $N$  – полное количество импульсов,  $n$  – количество импульсов за секунду,  $\sigma_n$  – погрешность измерения  $n$ .

Таблица 3. Измерение каждым детектором отдельно.

ФЭУ							
$t_1$ , мин	$N_1$	$n_1$	$\sigma_{n_1}$	$t_2$ , мин	$N_2$	$n_2$	$\sigma_{n_2}$
1	165567	2759	53	1	63278	1055	32
1	164080	2735	52	1	60237	1004	32
1	163571	2726	52	1	59708	995	32
1	164097	2735	52	1	60067	1001	32

Индексы 1 и 2 указывают на детектор, которым производились

Измерения. Индексы 1 и 2 указывают на детектор, которым производились измерения.  $t$  – время измерения,  $N$  – полное количество импульсов,  $n$  – количество импульсов за секунду,  $\sigma_n$  – погрешность измерения  $n$ .

Время измерялось цифровым прибором, погрешность измерения времени  $\sigma_t$  можно оценить его тактовой частотой, которая для современных микроконтроллеров обычно составляет  $\sim \text{МГц}$ . Относительная погрешность  $\varepsilon \sim 10^{-6}$  пренебрежимо мала. Погрешность измерения импульсов  $N$  определяется согласно распределению Пуассона как  $\sigma_N = \sqrt{N}$ . Погрешность вычисления количества импульсов за единицу времени оценивается по формуле  $\varepsilon_n = \varepsilon_N \Rightarrow \sigma_n = n \cdot \sigma_N / N$ , так как  $n = N/t$ . Погрешность задания времени регистрации импульса  $\tau$  не известна, так как не известна внутренняя схема пересчётного прибора.

## Обработка экспериментальных данных

Определим среднее значение радиоактивного фона, регистрируемого детекторами:

$$n_{\text{ф1}} = 33.9 \pm 2.4 \text{ имп/сек}$$

$$n_{\text{ф2}} = 27.1 \pm 2.1 \text{ имп/сек}$$

Так как погрешность отдельного измерения связано со случайным распределением распавшихся атомов, то погрешность среднего оценим по формуле  $\sigma_{\text{ср}} = \sigma_{\text{отд}} / \sqrt{k}$ , где  $k$  – количество измерений.

Определим средние значения количества зарегистрированных импульсов счётчиками за единицу времени (сигнал + фон):

$n_1 = 2738 \pm 26$   $n_2 = 1013 \pm 16$  Так как погрешность отдельного измерения связано со случайным распределением распавшихся атомов, то погрешность среднего оценим по формуле  $\sigma_{\text{ср}} = \sigma_{\text{отд}} / \sqrt{k}$ , где  $k$  – количество измерений.

Определим средние значения количества распавшихся атомов  $^{60}\text{Co}$ , зарегистрированных счётчиками за единицу времени:

$$n_{\text{р1}} = n_1 - n_{\text{ф1}} = 2704 \pm 26 \quad n_{\text{р2}} = n_2 - n_{\text{ф2}} = 987 \pm 16 \quad \text{Погрешность оценим по формуле } \sigma_n = \sqrt{\sigma_{n_{\text{с+ф}}}^2 + \sigma_{n_{\text{ф}}}^2} \approx \sigma_{n_{\text{с+ф}}}^2.$$

Число случайных совпадений определим по формуле:

$$n_{\text{сл}} = 2\tau n_1 n_2$$

Погрешность оценим по следующей формуле:

$$\sigma_{n_{\text{сл}}} = n_{\text{сл}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_{n_1}}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n_2}}{n_2}\right)^2}$$

Полное число совпадений вычисляется по формуле:

$$n_{\text{совп}} = n - n_{\text{сл}}$$

Погрешность оценим как

$$\sigma_{n_{\text{совп}}} = \sqrt{n^2 + \sqrt{n_{\text{сл}}}}$$

Абсолютная активность источника равна

$$N_0 = 1.08 \frac{n_{\text{р1}} n_{\text{р2}}}{2n_{\text{совп}}}$$

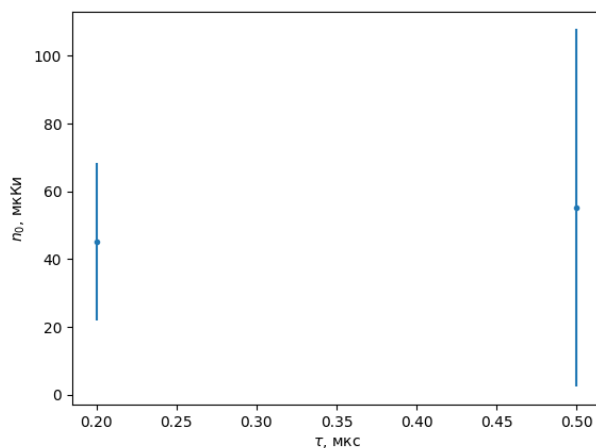


Рис. 2: График зависимости  $N_0(\tau)$

, где 1.08 – поправка, связанная с не идеальным разлётот гамма-квантов под углом  $180^\circ$ .

Результаты вычислений сведём в таблицу:

$\tau$ , мкс	$n_{\text{сл}}$ , имп	$\sigma_{n_{\text{сл}}}$ , имп	$n_{\text{совп}}$ , имп	$\sigma_{n_{\text{совп}}}$ , имп	$N_0$ , мкКи	$\sigma_{N_0}$ , мкКи
0.2	1.11	0.02	0.86	0.44	45	23
0.5	2.78	0.05	0.70	0.68	55	53
1.0	5.55	0.10	-0.33	1.15	-117	405

Причину отрицательного результата для  $\tau = 1.0$  мкс установить не удалось. Скорее всего это связано с малым временем наблюдения числа импульсов в режиме совпадения.

Построим график зависимости  $N_0(\tau)$ .

Определим среднее значение активности препарата:  $N_0 = 45 \pm 16$  мкКи.

## Обсуждение результатов и выводы

В работе было измерено среднее значение активности препарата  $^{60}\text{Co}$  методом гамма-гамма совпадений:  $N_0 = 45 \pm 16$  мкКи.