

Измерение абсолютной активности препарата ^{60}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}Co с использованием каскадного перехода γ -квантов при его распаде.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1:

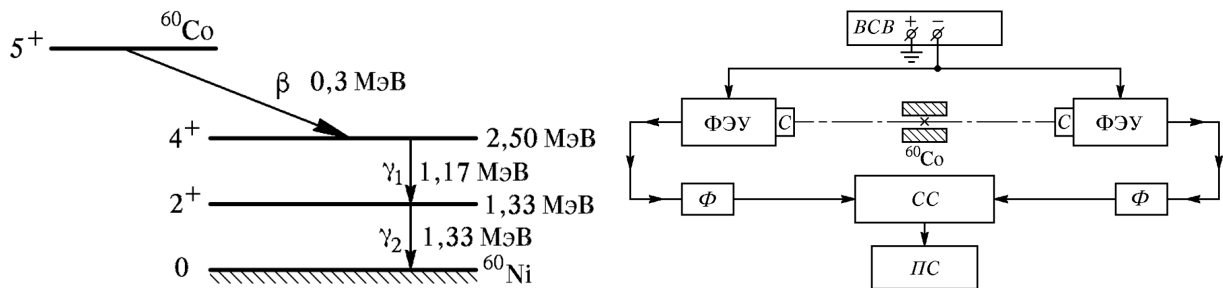


Рис. 1: Слева схема каскадного γ -распада. Справа схема экспериментальной установки.

Гамма-кванты от источника ^{60}Co регистрируются двумя сцинтилляционными счётчиками, каждый из которых состоит из кристалла NaI(Tl) и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). При поглощении γ -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.

Шум							
t_1 , мин	N_1	n_1	σ_{n_1}	t_2 , мин	N_2	n_2	σ_{n_2}
2	4053	33.8	1	2	3244	27.0	0
2	4029	33.6	1	2	3281	27.3	0
2	4105	34.2	1	2	3224	26.9	0

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

Таблица 2. Измерение в режиме совпадений.

СС в режиме совпадений				
τ , мкс	t , мин	N	n	σ_n
0.2	5	600	2.0	0.1
0.2	5	584	1.9	0.1
0.5	3	609	3.4	0.1
0.5	5	1075	3.6	0.1
1.0	2	608	5.1	0.2
1.0	2	645	5.4	0.2

τ – время регистрации совпадения, t – время измерения, N – полное количество импульсов, n – количество импульсов за секунду, σ_n – погрешность измерения n .

Таблица 3. Измерение каждым детектором отдельно.

ФЭУ							
t_1 , мин	N_1	n_1	σ_{n_1}	t_2 , мин	N_2	n_2	σ_{n_2}
1	165567	2759	7	1	63278	1055	4
1	164080	2735	7	1	60237	1004	4
1	163571	2726	7	1	59708	995	4
1	164097	2735	7	1	60067	1001	4

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, σ_n – погрешность измерения n .

Время измерялось цифровым прибором, погрешность измерения времени σ_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 τ не известна, так как не известна внутренняя схема пересчётного прибора.

Обработка экспериментальных данных

Определим среднее значение радиоактивного фона, регистрируемого детекторами:

$$n_{\phi 1} = 33.9 \pm 0.3 \text{ имп/сек}$$

$$n_{\phi 2} = 27.1 \pm 0.3 \text{ имп/сек}$$

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):

$$n_1 = 2738 \pm 3$$

$$n_2 = 1013 \pm 2$$

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}Co , зарегистрированных счётчиками за единицу времени:

$$n_{p1} = n_1 - n_{\phi 1} = 2704 \pm 3$$

$$n_{p2} = n_2 - n_{\phi 2} = 987 \pm 2$$

Погрешность оценим по формуле $\sigma_n = \sqrt{\sigma_{n_{\text{с+ф}}}^2 + \sigma_{n_{\phi}}^2} \approx \sigma_{n_{\text{с+ф}}}^2$.

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

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

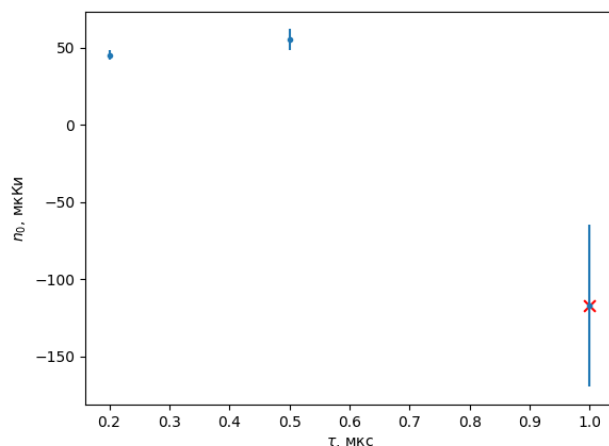


Рис. 2: График зависимости $N_0(\tau)$. Точку $\tau = 1$ мкс отбрасываем.

Абсолютная активность источника равна

$$N_0 = 1.08 \frac{n_{p1}n_{p2}}{2n_{\text{совп}}}$$

, где 1.08 – поправка, связанная с не идеальным разлётом гамма-квантов под углом 180° .

Результаты вычислений сведём в таблицу:

τ , мкс	$n_{\text{сл}}$, имп	$\sigma_{n_{\text{сл}}}$, имп	$n_{\text{совп}}$, имп	$\sigma_{n_{\text{совп}}}$, имп	N_0 , мкКи	σ_{N_0} , мкКи
0.2	1.111	0.003	0.86	0.06	45	3
0.5	2.776	0.007	0.70	0.09	55	7
1.0	5.553	0.013	-0.33	0.15	-117	52

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:

$$N_0 = 50 \pm 4 \text{ мкКи.}$$

Обсуждение результатов и выводы

В работе было измерено среднее значение активности препарата ^{60}Co методом гамма-гамма совпадений: $N_0 = 50 \pm 4$ мкКи.