

Лабораторная работа 4.3:

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

Васильев Михаил Владимирович
Студент 3 курса РТ

(Московский физико-технический институт)
(Dated: 16 сентября 2021 г.)

В работе исследуются: абсолютная активность радиоактивного препарата Co^{60} с использованием каскадного перехода γ квантов при его распаде.

Оборудование: высоковольтный стабилизированный выпрямитель, сцинтиллятор, кристалл йодистого натрия NaI(Tl), формирователь импульсов, схема совпадений, пересчётный прибор, образец Co^{60}

I. ТЕОРИЯ

Полное число распадов ядер радиоактивного препарата в единицу времени называется абсолютной активностью. Если известно количество радиоактивных ядер в образце, то измерение этой величины позволяет определить константу распада λ по закону радиоактивного распада $N = N_0 e^{-\lambda t}$.

Пусть за одну секунду счетчик зарегистрировал n частиц, тогда абсолютная активность источника N_0 равна

$$N_0 = \frac{4\pi n}{\varepsilon\omega} \quad (1)$$

где ε - эффективность счётчика, ω - телесный угол в котором регистрируются частицы.

В данной работе предлагается измерить абсолютную активность препарата 60Co .

Испускаемые источником γ кванты регистрируются двумя счетчиками. Поскольку каскадные кванты имеют близкие энергии, эффективности их регистрации примерно одинаковы. Обозначим эффективность первого счетчика через ε_1 и телесный угол, под которым он виден из источника, через ω_1 . Вероятность регистрации кванта первым счетчиком

$$P_1 = \frac{\omega_1 \varepsilon_1}{4\pi} \quad (2)$$

Для второго счётчика

$$P_2 = \frac{\omega_2 \varepsilon_2}{4\pi}$$

Если включить оба счетчика в схему совпадений с разрешающим временем $\tau \gg 10^{-11}$, то каскадные γ кванты будут регистрироваться одновременно. Вероятность совпадений будет равна

$$P_{\text{совп}} = W(\theta) P_1 P_2 \quad (3)$$

где $W(\theta)$ – корреляционная функция, определяющая анизотропию направления вылета второго γ кванта по отношению к направлению первого. В данной работе используется хорошо коллимированный

пучок, и возможный угол разлета регистрируемых γ -квантов мало отличается от 180° , поэтому величина поправки составляет около 1,08

Истинные скорости счета N_1 в первом и N_2 во втором счетчиках при абсолютной активности N_0 и вероятностях регистрации P_1 и P_2 имеют значения (при каждом распаде испускаются два γ кванта):

$$N_1 = 2N_0 P_1, N_2 = 2N_0 P_2 \quad (4)$$

а скорость счёта истинных совпадений

$$N_{\text{совп}} = 2P_{\text{совп}} N_0 = 2P_1 P_2 N_0 \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) с учетом (3) получим для абсолютной активности источника Co^{60} следующее выражение:

$$N_0 = 1,08 \frac{N_1 N_2}{2N_{\text{совп}}} \quad (6)$$

Истинные скорости счета N_1 и N_2 экспериментально определяются как разность полной скорости счета и фона для каждого счетчика:

$$N_1 = n_{1\pi} - n_{1\phi}, N_2 = n_{2\pi} - n_{2\phi} \quad (7)$$

а скорость истинных совпадений равна разности полного числа совпадений $N_{\text{совп}}$ и числа случайных совпадений $n_{\text{сл}}$:

$$n_{\text{сл}} = 2\tau n_{1\pi} n_{2\pi} \quad (8)$$

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

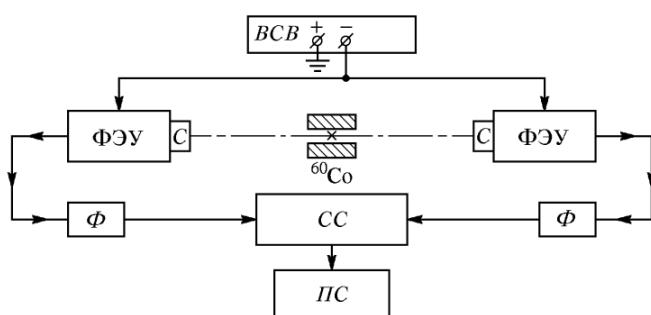


Рис. 1. Блок-схема установки для изучения (γ - γ совпадений). ВСВ – высоковольтный стабилизированный выпрямитель; С – сцинтиллятор, кристалл йодистого натрия NaI(Tl); Ф – формирователь импульсов; СС – схема совпадений; ПП – пересчетный прибор

Гамма-кванты от источника Co^{60} регистрируются двумя сцинтилляционными счетчиками, каждый из которых состоит из кристалла NaI(Tl) и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Два счётчика необходимы для устранения погрешностей связанных с изменением телесного угла приёмника и его эффективности. Путём подсчёта совпадений срабатывания измерителей. При поглощении γ -кванта кристаллом возникает световая вспышка, которая преобразуется с помощью ФЭУ в электрический импульс, передаваемый через формирователь импульсов на схему совпадений СС. Фотоэлектронные умножители питаются от высоковольтного стабилизированного выпрямителя. Установка имеет 3 разрешающих времени - 100 нс, 200 нс и 500 нс. Количество зарегистрированных γ квантов можно увидеть на экране прибора.

III. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

Включим всю аппаратуру и закроем заглушками радиоактивный источник.

Так как излучение гамма кванта является случайным событием, а гамма излучение имеет некоторую среднюю интенсивность, можно сказать, что показания счётчика имеют Пуассоновское распределение. Чтобы добиться точности в 1% необходимо провести 10 измерений, для 0.5% необходимо уже 14 измерений.

Поднесём 1 счётчик на определённое расстояние и измерим фоновую активность $n_{1\phi}$. Повторим данное измерение 10 раз. То же самое проведём со вторым счётчиком. После этого уберём заглушки и проведём измерения активности для 1 и 2 счётчиков с точностью 0.5%.

Включим прибор СС в режим совпадений и измерим скорости счета совпадений для всех разрешающих времен, указанных на приборе, с точностью порядка 1%.

Запишем все данные в таблицу, выключим аппаратуру и закроем заглушки источник.

IV. ВЫВОД

В данной работе была определена абсолютная активность радиоактивного препарата Co^{60} с использованием каскадного перехода γ квантов при его распаде. Таким образом его радиоактивность равна:

$$N_0 = 71.8 \pm 1.4 \text{ мкКи}$$

Так же мы узнали, что N_0 существенным образом зависит от разрешающего времени.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

1 приёмник с заглушкой		2 приёмник с заглушкой		1 приёмник без заглушки		2 приёмник без заглушки	
№	№ _{рег}	№	№ _{рег}	№	№ _{рег}	№	№ _{рег}
1	2733	1	5350	1	129770	1	147274
2	2668	2	5327	2	130143	2	145490
3	2708	3	5222	3	130794	3	145209
4	2766	4	5291	4	131151	4	144847
5	2615	5	5165	5	131026	5	143991
6	2680	6	5236	6	131287	6	144228
7	2523	7	5313	7	131821	7	146591
8	2714	8	5316	8	131681	8	144836
9	2644	9	5162	9	131477	9	143999
10	2632	10	5224	10	129701	10	144578
$n_{1\Phi}$	2670	$n_{2\Phi}$	5260	11	131047	11	146781
$\Delta n_{1\Phi}$	30	$\Delta n_{2\Phi}$	50	12	130375	12	143943
				13	131272	13	144551
				14	130514	14	144536
				$n_{1\Pi}$	130900	$n_{2\Pi}$	145100
				$\Delta n_{1\Pi}$	700	$\Delta n_{2\Pi}$	700

пересечение f1 и f2 100 мс		пересечение f1 и f2 200 мс		пересечение f1 и f2 500 мс		Итоговые значения		
№	№ _{рег}	№	№ _{рег}	№	№ _{рег}	t, нс	$N_0 \times 10^3$	$\Delta N_0 \times 10^3$
1	119	1	185	1	386	100	2620	50
2	93	2	205	2	367	200	1310	24
3	113	3	190	3	355	500	520	11
4	109	4	189	4	360			
5	95	5	186	5	389			
6	100	6	222	6	372			
7	93	7	174	7	380			
8	80	8	201	8	396			
9	102	9	195	9	385			
10	99	10	185	$n_{\text{свп}500}$	377			
$n_{\text{свп}100}$	100	$n_{\text{свп}200}$	193	$\Delta n_{\text{свп}500}$	4			
$\Delta n_{\text{свп}100}$	1	$\Delta n_{\text{свп}200}$	2					

VI. ГРАФИК

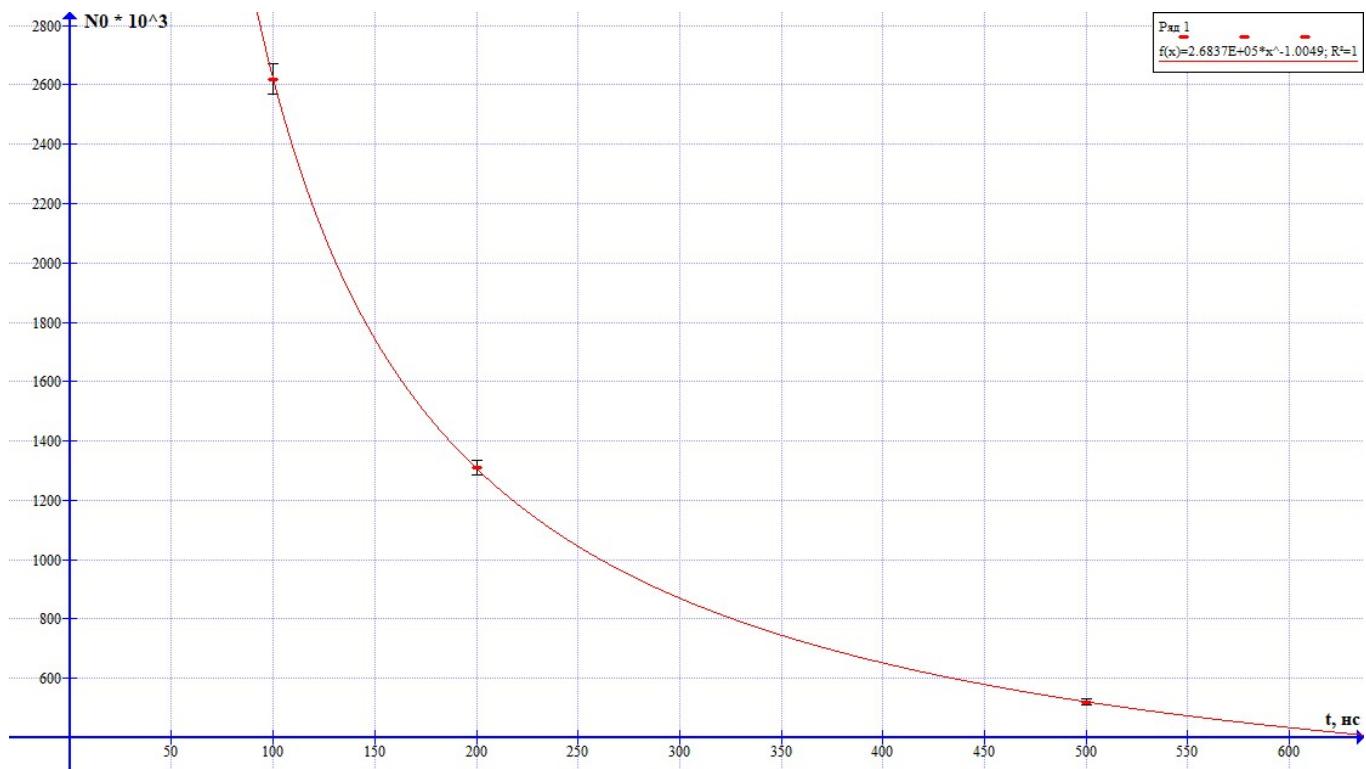


Рис. 2. График зависимости N_0 от τ