

Лабораторная работа 5.5

Компьютерная сцинтилляционная γ -спектроскопия

Батарин Егор Владиславович
Студент 3 курса РТ
19 лет, скромный

И просто хороший человек

(Московский физико-технический институт)

(Dated: 6 сентября 2021 г.)

Определяется энергия γ - квантов неизвестного радиоактивного препарата

Оборудование: Компьютер, сцинтиллятор, 5 образцов с радиоактивными материалами

I. Теоретическая часть.

A. Физика процессов, лежащих в основе лабораторной работы.

Основная задача спектрометрических измерений заключается в определении энергии, интенсивности дискретных гамма-линий от различных гамма-источников и их идентификации. В настоящее время используются различные типы гамма-детекторов: полупроводниковые, сцинтилляционные, пластиковые, жидкостные, газовые и т.д. Они существенно отличаются как по своим спектрометрическим свойствам, так по эксплуатационным характеристикам и по технологии и стоимости изготовления.

В данной работе исследуются сцинтилляционные гамма-спектрометры на основе неорганического кристалла NaI(Tl) и органической сцинтиллирующей пластмассы.

Основными процессами взаимодействия гамма-излучения с веществом являются фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар. Каждый из этих процессов вносит свой вклад в образование наблюдаемого спектра.

Фотоэффект - процесс взаимодействия гамма-кванта с электроном, связанным с атомом, при котором электрону передается вся энергия гамма-кванта.

Эффект Комптона – упругое рассеяние фотона на свободном электроне, сопровождающееся изменением длины волны фотона (реально этот процесс происходит на слабо связанных с атомом внешних электронах).

Процесс образования электрон-позитронных пар. При достаточно высокой энергии гамма-кванта наряду с фотоэффектом и эффектом Комптона может происходить третий вид взаимодействия гамма-квантов с веществом – образование электрон-позитронных пар. Процесс образования пар не может происходить в пустоте, так как в этом случае не выполняются законы сохранения энергии и импульса. В присутствии ядра или электрона процесс образования пары гамма-квантом возможен, так как можно распределить энергию и импульс гамма-кванта между тремя частицами без противоречия с законами сохра-

нения. При этом если процесс образования пары идет в кулоновском поле ядра или протона, то энергия образующегося ядра отдачи оказывается весьма малой, так что пороговая энергия гамма-кванта, необходимая для образования пары, практически совпадает с удвоенной энергией покоя электрона.

B. Физика сцинтиллятора.

При прохождении гамма-квантов через материальную среду образуются электроны, возникающие за счет фотоэффекта, комптоновского рассеяния и рождения электрон-позитронных пар. Образующиеся при этих процессах электроны испытывают большое количество неупругих соударений с молекулами и атомами среды. Неупругие соударения могут сопровождаться как ионизацией, так и возбуждением молекул или атомов среды. В промежуточных же стадиях (при переходах возбужденных молекул или атомов в основное состояние, при рекомбинации электрических зарядов и т.п.) в веществе возникают кванты света различных длин волн, присущих данному веществу.

Вообще говоря, возникающее излучение должно сильно поглощаться в сцинтилляторе, так как его энергия в точности равна энергии возбуждения атомов среды. Чтобы избежать этого явления, в кристаллы сцинтиллятора вводят небольшие добавки других атомов (в случае кристалла NaI это атомы таллия). При этом спектр поглощения сдвигается относительно спектра испускания в сторону меньших длин волн, и увеличивается вероятность выхода из вещества хотя бы некоторой части квантов света, отвечающих длинноволновому краю спектра испускания. В этом случае прохождение ионизирующей частицы через вещество будет сопровождаться световой вспышкой, которая и может быть использована для регистрации частицы.

Широкое применение сцинтилляционный метод исследования излучений нашел после того, как были изобретены и усовершенствованы фотоэлектронные умножители (ФЭУ), позволяющие регистрировать весьма малые по длительности и очень слабые по интенсивности вспышки света. Таким образом, современный сцинтилляционный счетчик состоит, в принципе, из сцинтиллятора — вещества, способно-

го испускать видимое или ультрафиолетовое излучение, возникающее под действием заряженных частиц, и фотоэлектронного умножителя, в котором энергия этих световых вспышек через посредство фотоэффекта преобразуется в импульсы электрического тока.

С. Энергетическое разрешение спектрометра.

Даже при поглощении частицы выходе фотоприёмника сцинтилляционного детектора меняется от события к событию. Это связано:

1) со статистическим характером процессов сбора фотонов на фотоприемнике и последующего усиления.

2) с различной вероятностью доставки фотона к фотоприёмнику из различных точек сцинтиллятора.

Энергетическим разрешением спектрометра называется величина

$$R_i = \frac{\Delta E_i}{E_i} \quad (1)$$

где ΔE_i – ширина пика полного поглощения, измеренная на половине высоты, E_i – энергия регистрируемого гамма-излучения. Значение E_i пропорционально среднему числу фотонов n_i на выходе ФЭУ, т.е.:

$$E_i = \alpha \bar{n}_i \quad (2)$$

Полуширина пика полного поглощения ΔE_i пропорциональна среднеквадратичной флуктуации $\Delta \bar{n}_i$. Так как n_i – дискретная случайная величина, то $\Delta \bar{n}_i = \sqrt{\bar{n}_i}$, значит

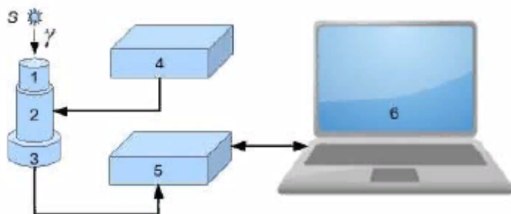
$$\Delta E_i = \alpha \Delta \bar{n}_i = \alpha \sqrt{\bar{n}_i} \quad (3)$$

Из этих формул получаем:

$$R_i = \frac{\Delta E_i}{E_i} = \frac{\text{const}}{\sqrt{E_i}} \quad (4)$$

Д. Схема установки.

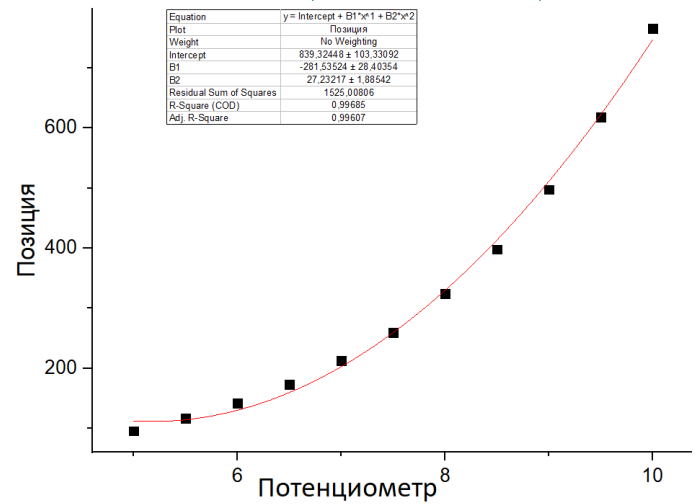
Принципиальная блок-схема гамма-спектрометра, изучаемого в данной работе, показана на рисунке.



На этом рисунке: 1 – сцинтиллятор, 2 – ФЭУ, 3 – предусилитель импульсов, 4 – высоковольтный блок питания для ФЭУ, 5 – блок преобразования аналоговых импульсов с ФЭУ в цифровой код (АЦП), 6 – компьютер для сбора данных, их обработки и хранения. ФЭУ со сцинтиллятором и блоком питания установлены на отдельной подставке. В нашей работе на разных установках (стендах) в качестве сцинтиллятора используются кристаллы NaI(Tl) с размерами 45x50 мм и 20x25 мм.

II. Ход работы и обработка результатов.

Прежде всего, исследуем, как "ползет" график в зависимости от ручки потенциометра:



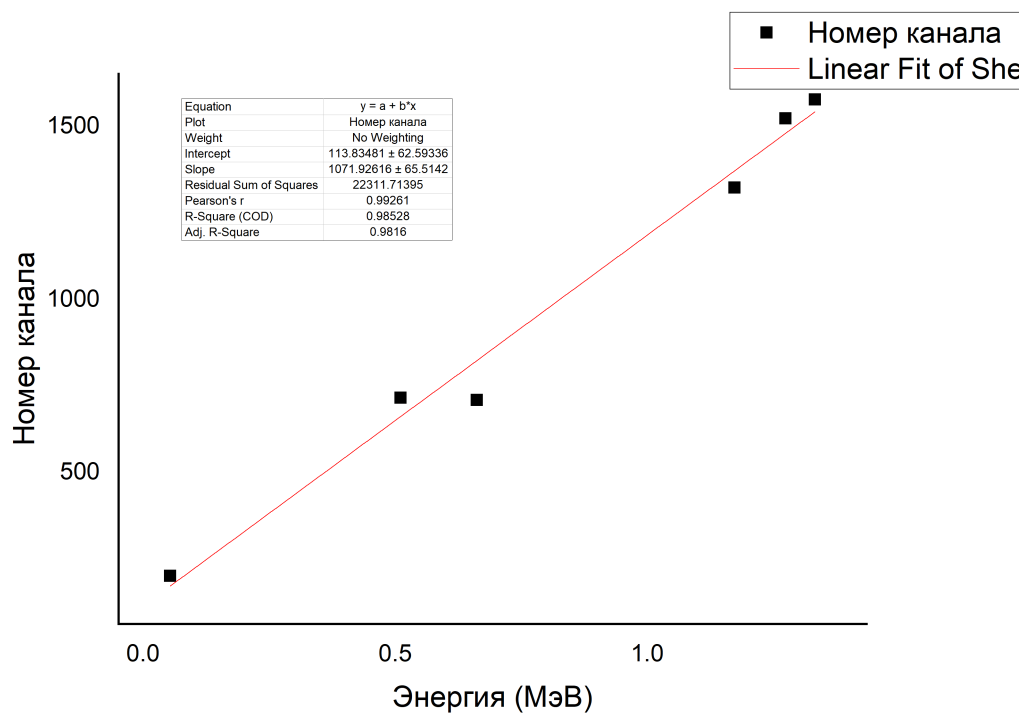
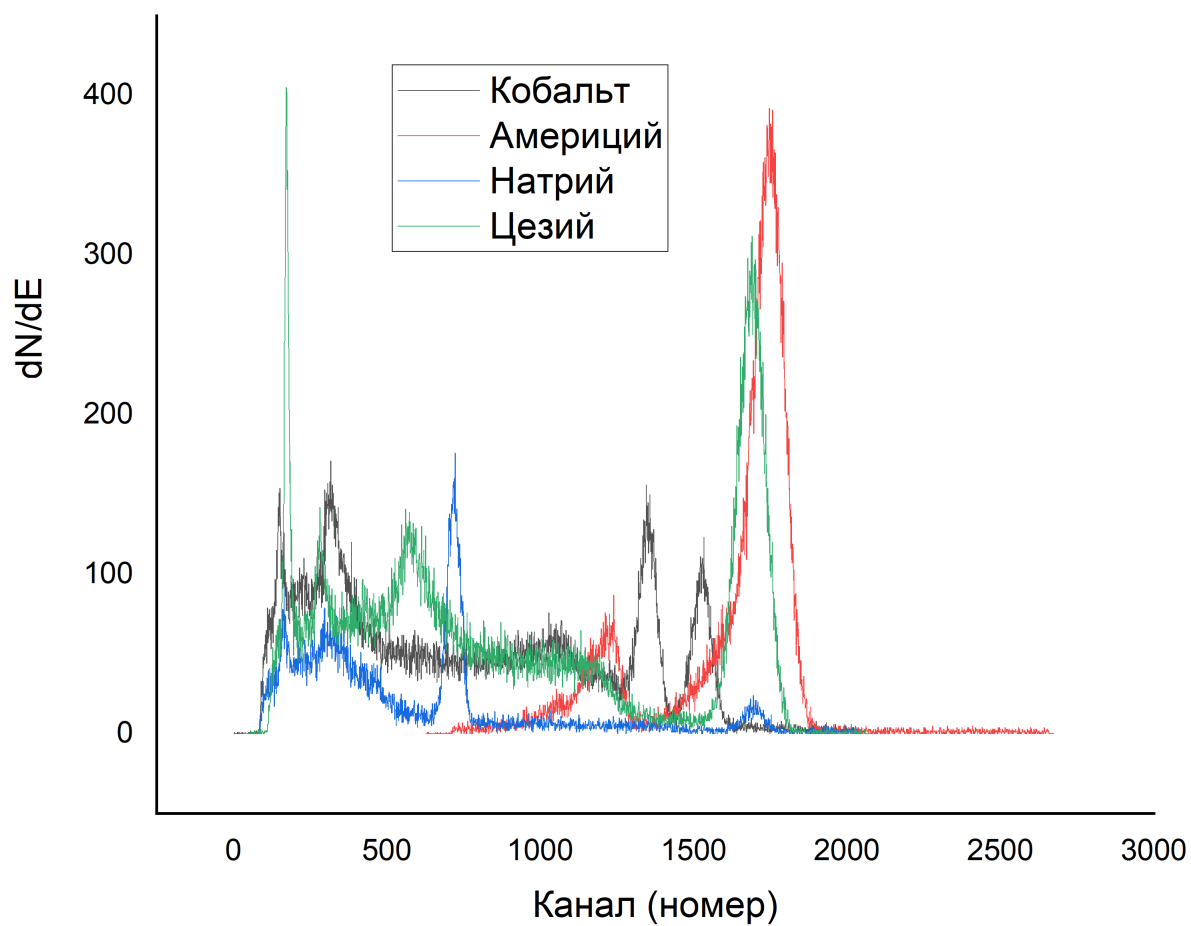
Как видим, смещение графика в зависимости от поворота ручки потенциометра хорошо аппроксимируется квадратичной функцией. Самое маленькое значение потенциометра, на которое он был установлен, среди всех 5 образцов, равно 5.2 – относительно этого значения будем проводить калибровку. В результате получаем таблицу:

Позиция	Значение кв. функции	Калибровка
5,2	114	0
5,4	115	1
6,3	148	34
9,5	617	503
10	740	626

Построим зависимость числа отсчетов N от энергии E и 4 дифференциальные кривые распределения энергии. Получаем:

=

Для всех 4 образцов (полученный спектр Европия оказался слишком далеким от эталонного, потому был исключен из рассмотрения) получим следующую таблицу.



Источник	N_i	ΔN_i	E_i , МэВ	ΔE_i , МэВ	R_i
Co-60	1323	63.5	1.1732	0.059235075	0.05049
	1578	72.4	1.3325	0.067537313	0.050685
Na-22	715.5	55.5	0.511	0.051772388	0.101316
	1523	77.8	1.274	0.072574627	0.056966
Ce-137	709	97.6	0.6617	0.091044776	0.137592
Am-241	201	114	0.054	0.106343284	1.96932

Для всех данных, кроме Америция, проверим линейность зависимости $R^2 = f(1/E)$

Из графика можно заключить, что пик характеристического излучения свинца соответствует энергии примерно 300 КэВ.

