

Лабораторная работа 5.5

Компьютерная сцинтилляционная γ -спектроскопия

Батарин Егор Владиславович
Студент 3 курса РТ

(Московский физико-технический институт)
(Dated: 6 сентября 2021 г.)

Определяется энергия γ - квантов неизвестного радиоактивного препарата, определяется энергетическое разрешение спектрометра для разных образцов, а также энергия излучаемого характеристического излучения свинца по спектральному графику.

Оборудование: Компьютер, сцинтиллятор, 5 образцов с радиоактивными материалами.

I. Теоретическая часть.

A. Введение в основные эффекты лабы.

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.

B. Физика процессов, лежащих в основе эксперимента.

Принцип действия сцинтиллятора можно разбить на несколько шагов:

- 1) Гамма-кванты от исследуемого объекта попадают в сцинтиллятор NaI(Tl).
- 2) Они взаимодействуют с веществом и вырывают электроны из атомных оболочек (конверсионные электроны).
- 3) Конверсионные электроны тормозятся в сцинтилляторе, передавая свою энергию атомам NaI(Tl).
- 4) Возбужденные атомы излучают фотоны (видимый и ультрафиолетовый спектр).
- 5) Часть этих фотонов, пройдя через сцинтиллятор, попадает на катод ФЭУ, выбивая из него медленные электроны.
- 6) Эти электроны ускоряются электрическим полем

умножителя, и попав на поверхность первого динода, вырывают из него электроны, которые в свою очередь попадают на поверхность второго динода, и т.д.

7) Образовавшаяся лавина электронов формируется и записывается в память компьютера.

Можно подобрать напряжения на динодах ФЭУ так, чтобы величина выходного импульса, фиксируемого компьютером, была пропорциональна числу фотонов на шаге 5. Число этих фотонов, в свою очередь, пропорционально энергии конверсионных электронов, а их энергия пропорциональна энергии первичных гамма-квантов. Эта цепочка пропорциональностей дает возможность оценивать энергию гамма-квантов изучаемого объекта по выходным импульсам, анализируемым на компьютере.

C. 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.

Поэтому, графики спектрограмм имеют стохастический характер, а число импульсов является дискретной случайной величиной. Далее, будем применять аппарат теории вероятностей.

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.:

$$E_i = \alpha \overline{n_i} \quad (2)$$

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

$$\Delta E_i = \alpha \Delta n_i = \alpha \sqrt{n_i} \quad (3)$$

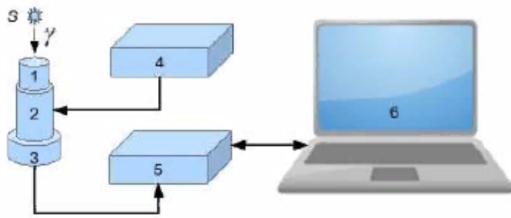
Из этих формул получаем:

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

II. Экспериментальная установка и методика

А. 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.

В. Методика работы.

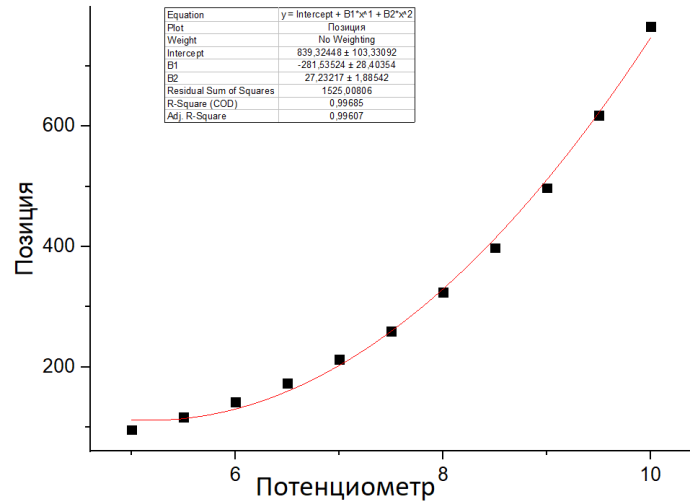
Вход: 5 образцов радиоактивных элементов;

Выход: записи графиков в компьютере;

- 1: для всех 5 образцов
- 2: **повторять**
- 3: берем образец;
- 4: кладем в сцинтиллятор;
- 5: запускаем счет импульсов на несколько минут;
- 6: останавливаем и конвертируем полученные данные в таблицу Excel;
- 7: **пока** образцы не закончатся;

III. Результаты работы и их обсуждение.

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:

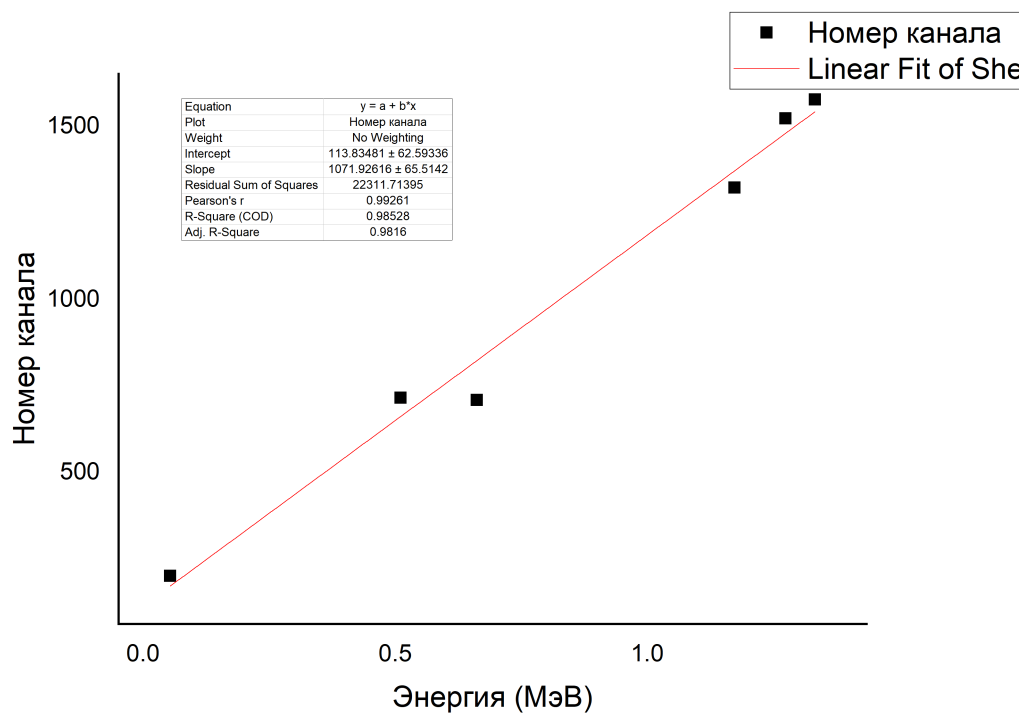
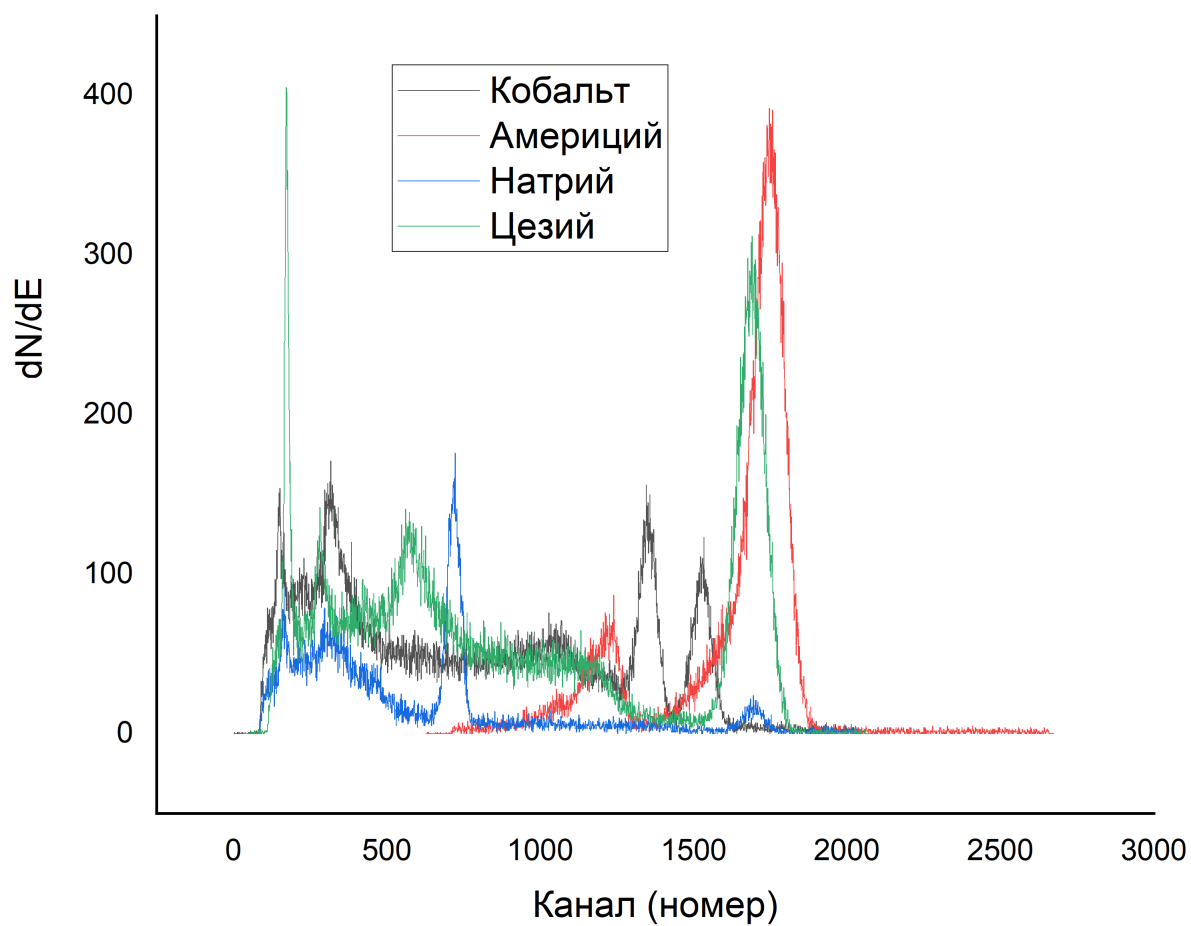
=

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

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

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

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



Построим график энергий комптоновского края, одна из которых измеряется экспериментально по графику, другая - вычисляемая по формуле:

$$E_{max} = \frac{\eta\omega}{1 + \frac{mc^2}{2\eta\omega}} \quad (5)$$

Однако этот подъем сглаживается за счет многократного рассеяния фотонов и конечного энергетического разрешения спектрометра, поэтому будем рассматривать канал пика, как середину снижения после пика. Поэтому погрешность измерения экспериментального комптоновского края равна половине снижения, то есть расстояние от пика до низины по оси абсцисс по полам. Так можно сравнить экспериментальную и расчетную комптоновские края.

Построим график зависимости энергии пика обратного рассеяния от энергии пика полного поглощения

.Пик обратного рассеяния вычисляется по формуле:

$$E_{obr} = \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}} \quad (6)$$

IV. Заключение.

1) Для всех образцов, кроме Европия, получены спектральные картины, близкие к эталонным.

2) Проверена зависимость разрешающей способности от энергии.

3) Построены графики энергий комптоновского края и зависимости энергии пика обратного рассеяния от энергии пика полного поглощения.

