

# Лабораторная работа 5.5

## Компьютерная сцинтилляционная $\gamma$ -спектроскопия

Батарин Егор Владиславович  
Студент 3 курса РТ

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

Определяется энергия  $\gamma$  - 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  $\Delta E_i$  – 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  $\Delta E_i$  пропорциональна среднеквадратичной флуктуации  $\Delta n_i$ . Так как  $n_i$  - дискретная случайная величина, то  $\Delta n_i = \sqrt{n_i}$ , значит

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

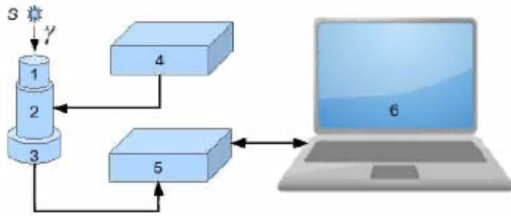
Из этих формул получаем:

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

## 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.

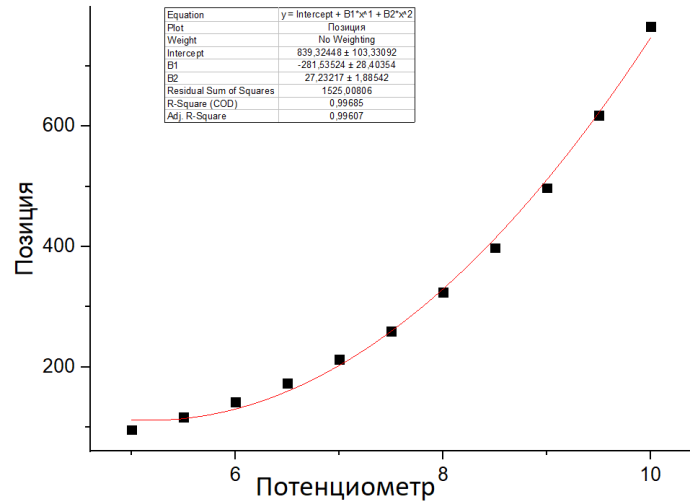
**Вход:** 5 образцов радиоактивных элементов;

**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:

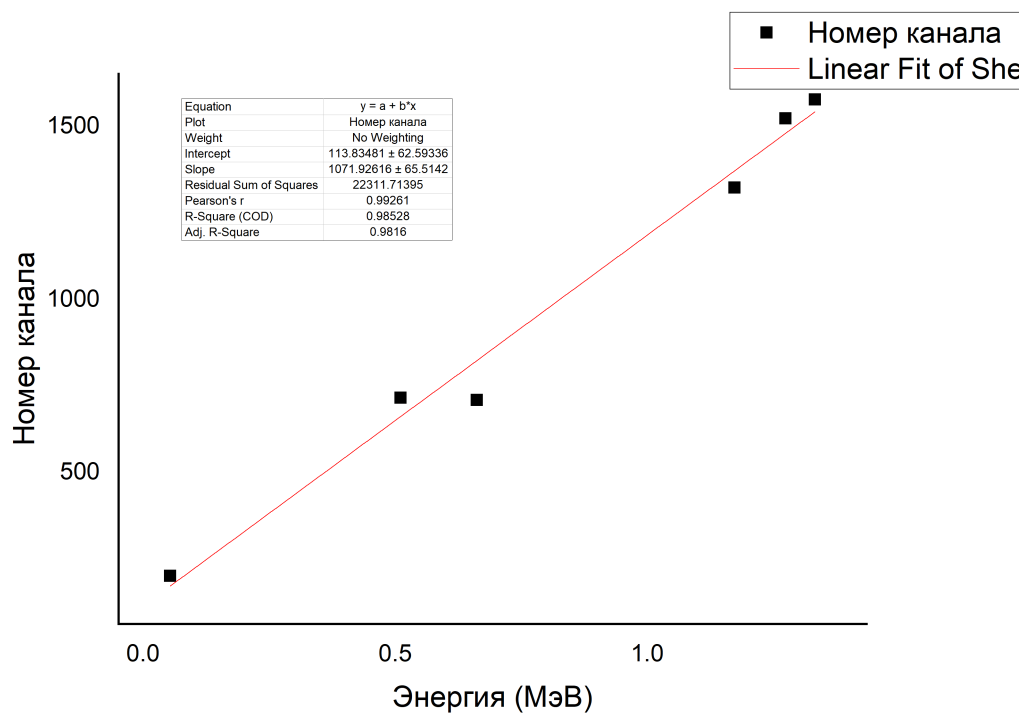
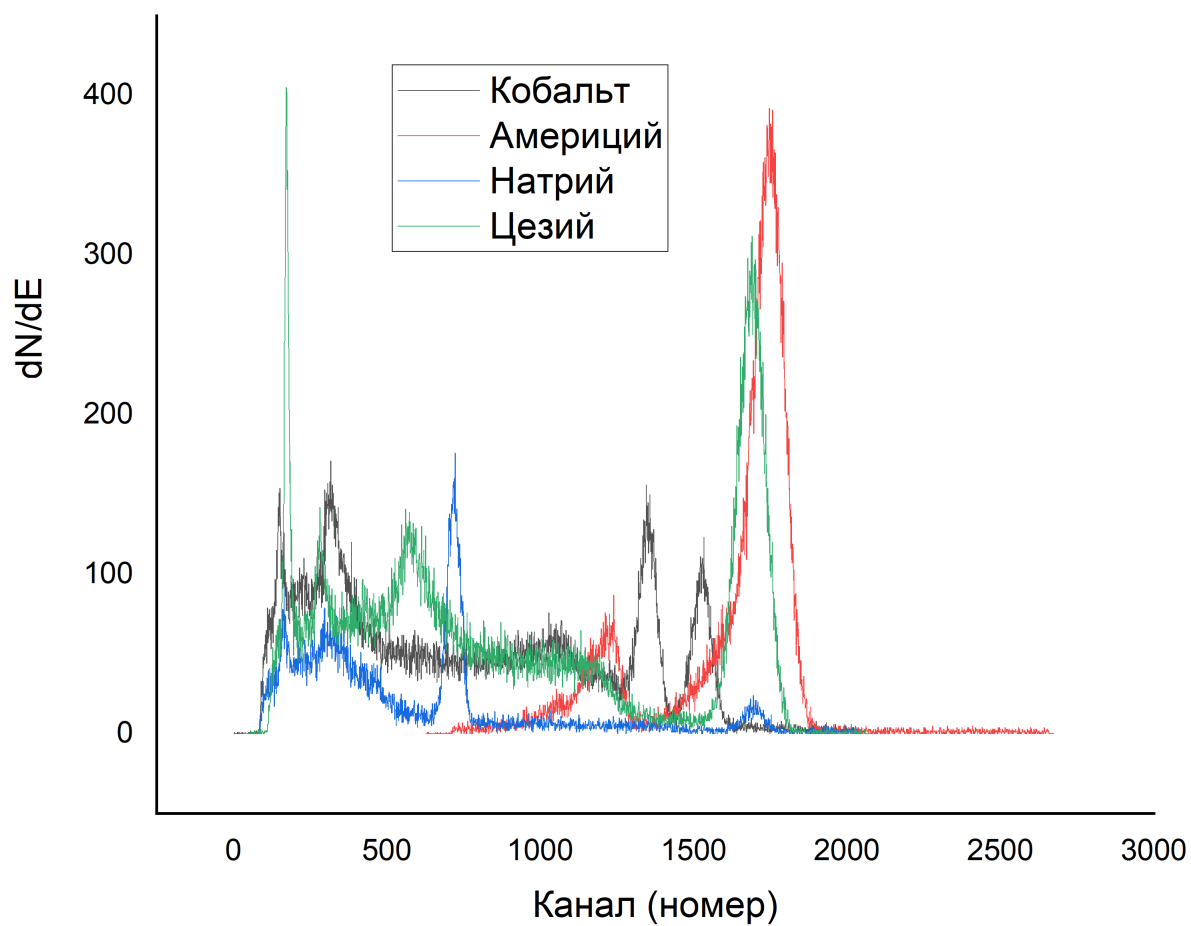
=

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	$N_i$	$\Delta N_i$	$E_i$ , МэВ	$\Delta E_i$ , 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



#### IV. Заключение.

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

2) Проверена зависимость разрешающей способности от энергии.

