

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)  
Факультет общей и прикладной физики

Лабораторная работа №5.5  
(Общая физика: квантовая физика)

# **Компьютерная сцинтилляционная $\gamma$ -спектрометрия**

Работу выполнил:  
Иванов Кирилл, 625 группа

г. Долгопрудный  
2018 год

**Цель работы:** да я блять не ебу

## 1. Теоретическое введение

Основная задача спектрометрических измерений заключается в определении энергии, интенсивности дискретных гамма-линий от различных гамма-источников и их идентификации.

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. 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.

При **фотоэффекте** кинетическая энергия электрона  $T_e = E_\gamma - I_i$ , где  $I_i$  — энергия ионизации  $i$ -той оболочки атома. Фотоэффект особенно существенен для тяжелых веществ, где он идет с заметной вероятностью даже при высоких энергиях гамма-квантов. В легких веществах фотоэффект становится заметен лишь при относительно небольших энергиях гамма-квантов. Наряду с фотоэффектом, при котором вся энергия гамма-кванта передается атомному электрону, взаимодействие гамма-излучения со средой может приводить к его рассеянию, т.е. отклонению от первоначального направления распространения на некоторый угол.

При **эффекте Комптона** происходит упругое рассеяние фотона на свободном электроне, сопровождающееся изменением длины волны фотона (реально этот процесс происходит на слабо связанных с атомом внешних электронах). Максимальная энергия образующихся комптоновских электронов соответствует рассеянию гамма-квантов на  $2\pi$  и равна

$$E_{c\_max} = \frac{\hbar\omega}{1 + \frac{m_e c^2}{2\hbar\omega}}$$

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**. 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  $E_0 = 2m_e c^2 = 1,022 \text{ МэВ}$ .

Появившийся в результате процесса образования пар электрон теряет свою энергию на ионизацию среды. Таким образом, вся энергия электрона остается в детекторе. Позитрон будет двигаться до тех пор, пока практически не остановится, а затем аннигилирует с электроном среды, в результате чего появятся два гамма-кванта. Т.е., кинетическая энергия позитрона также останется в детекторе. Далее возможны три варианта развития событий:

а) оба родившихся гамма-кванта не вылетают из детектора, и тогда вся энергия первичного гамма-кванта останется в детекторе, а в спектре появится пик с  $E = E_\gamma$ ;

б) один из родившихся гамма-квантов покидает детектор, и в спектре появляется пик, соответствующий энергии  $E = E_\gamma - E_0$ , где  $E_0 = m_e c^2 = 511$  кэВ;

в) оба родившихся гамма-кванта покидают детектор, и в спектре появляется пик, соответствующий энергии  $E = E_\gamma - 2E_0$ , где  $2E_0 = 2m_e c^2 = 1022$  кэВ;

Таким образом, любой спектр, получаемый с помощью гамма-спектрометра, описывается несколькими компонентами, каждая из которых связана с определенным физическим процессом. Как описано выше, основными физическими процессами взаимодействия гамма-квантов с веществом являются фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар, и каждый из них вносит свой вклад в образование спектра. Помимо этих процессов, добавляются экспонента, связанная с наличием фона, пик характеристического излучения, возникающий при взаимодействии гамма-квантов с окружающим веществом, а также пик обратного рассеяния, образующийся при энергии квантов  $E_\gamma \gg mc^2/2$  в результате рассеяния гамма-квантов на большие углы на материалах конструктивных элементов детектора и защиты. Положение пика обратного рассеяния определяется по формуле ( $E$  — энергия фотопика):

$$E_{\text{обр}} = \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}}$$

Энергетическим разрешением спектрометра называется величина

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

т.е. отношение ширины пика полного поглощения (измеренной на полувысоте) к регистрируемой энергии пика поглощения. Это значение  $E_i \propto \bar{n}_i$  — числу частиц на выходе ФЭУ. При этом  $\Delta E_i \propto \Delta n_i = \sqrt{\bar{n}_i}$  — ширина пика пропорциональна среднеквадратичной флуктуации, которая равна корню из числа частиц. Таким образом, наша формула (1) примет вид

$$R_i = \frac{\text{const}}{\Delta E_i}$$

## 2. Выполнение работы

Проведем измерения гамма-спектров для  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{152}\text{Eu}$ , а также измерение фона. Измерения для цезия повторим на соседней установке. Получаем зависимость счета на сцинтилляторе  $N'_q$  от номера канала  $N$ .

Найдем пики полного рассеяния для натрия  $^{22}\text{Na}$  и цезия  $^{137}\text{Cs}$ :

$$N_{Na\_1} = 597,5, \quad N_{Na\_2} = 1395,2, \quad N_{Cs} = 754,2$$

Мы знаем, что этим пикам соответствуют табличные значения энергии 511, 1275 и 662 кэВ соответственно. Тогда проведем калибровку спектрометра, построив линейную зависимость энергии гамма-кванта от номера канала  $E_j = f(N_j)$ . Результат калибровки:

$$E_j = (-60.537 + 0.957N_i) \text{ кэВ}$$

С помощью полученной зависимости переведем все полученные значения каналов в энергии, а счет сцинтиллятора отнормируем по времени, получив число частиц за секунду  $N_{\text{ч}} = \frac{N'_{\text{ч}}}{t}$ . Погрешность счета подсчитаем по формуле

$$\sigma_{N_{\text{ч}}} = N_{\text{ч}} \cdot \frac{\sqrt{N'_{\text{ч}}}}{N'_{\text{ч}}} = \frac{\sqrt{N'_{\text{ч}}}}{t}$$

Во всех измерениях  $t$  в диапазоне 600 – 700 секунд. Отложим по оси абсцисс энергию полученных экспериментальных точек, а по оси ординат – число частиц за секунду (рис. )

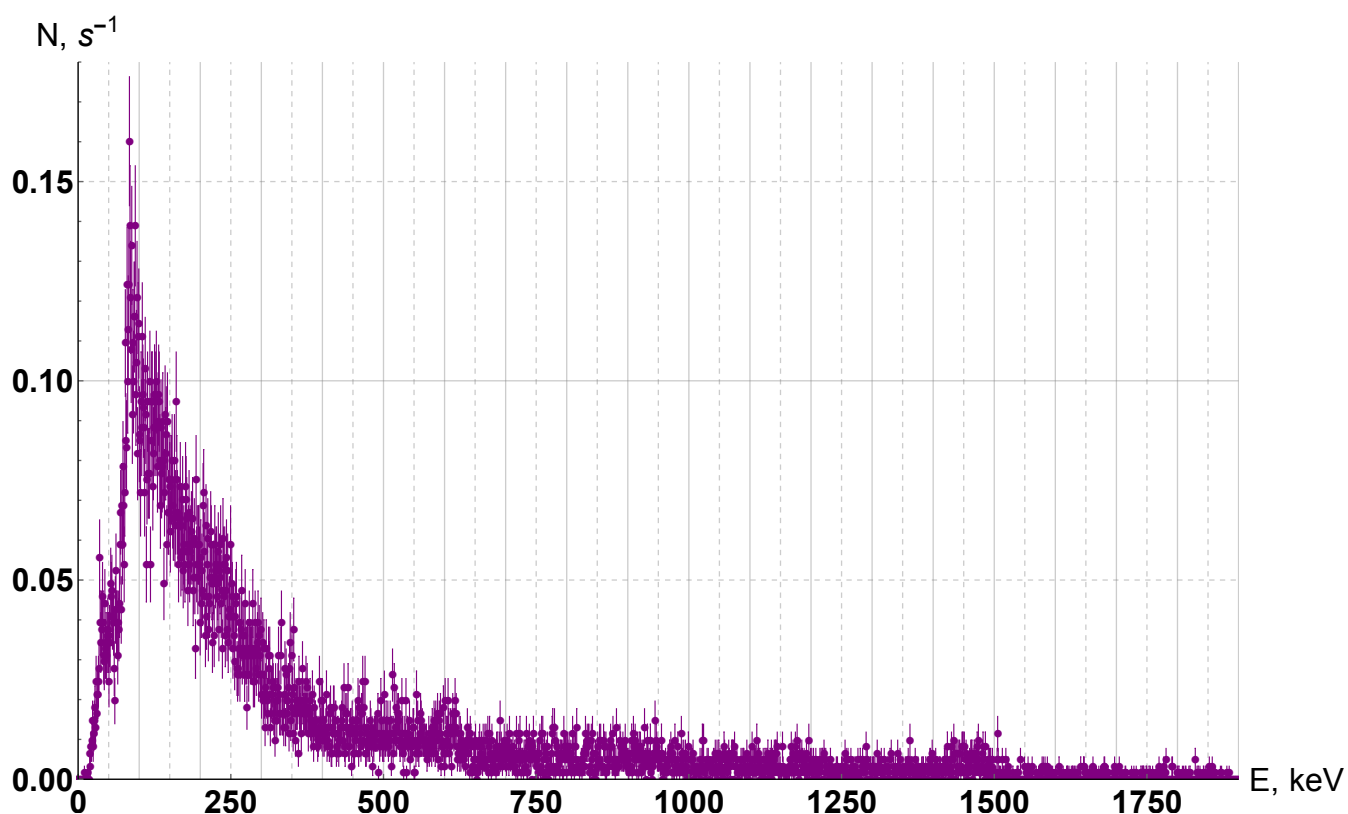


Рис. 1: Измерение фона

С помощью ПО компьютера экспериментальной установки получим значения пиков полного поглощения и их ширины

### 3. Вывод