

## 5.5

### СЦИНТИЛЛЯЦИОННАЯ $\gamma$ -СПЕКТРОСКОПИЯ

Егор Берсенеv

## 1 Теоретическое введение

В данной работе исследуются сцинтилляционные гамма - спектрометры на основе неорганического кристалла NaI(Tl) и органической сцинтиллирующей пластмасы. При прохождении гамма -квантов через материальную среду образуются электроны , возникающие за счет фотоэффекта, комптоновского рассеяния и рождения электрон-позитронных пар.

### 1.1 Фотоэффект

Процесс взаимодействия  $\gamma$ -кванта с электроном, связанным с атомом, при котором электрону передается вся энергия гамма-кванта. При этом электрону сообщается кинетическая энергия  $T_e = E_\gamma - I_i$ . Фотоэффект существует для тяжелых атомов, где он идет с высокой вероятностью даже при высоких энергиях гамма-квантов.

### 1.2 Эффект Комптона

Упругое рассеяние фотона на свободном электроне, сопровождающееся изменением длины волны фотона. Максимальная энергия образующихся комптоновских электронов соответствует рассеянию на 180и равна

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

### 1.3 Процесс образования электрон-позитронных пар

Образование пары проходит вблизи электрона или ядра. При этом энергия образующегося ядра отдачи оказывается малой, так что энергия образования пары практически совпадает с энергией покоя электрона. Появившийся электрон теряет энергию на ионизацию среды. Таким образом, вся энергия электрона остается в детекторе. Позитрон будет двигаться до тех пор, пока не остановится, а затем аннигилирует с электроном среды, в результате чего появятся два гамма-кванта. Далее есть три варианта развития событий:

1. оба кванта не вылетают из детектора, и тогда вся энергия первичного гамма-кванта остается в детекторе
2. один из родившихся квантов покидает детектор
3. оба кванта покидают детектор

Таким образом, каждый происходящий процес вносит свой вклад в энергетический спектр излучения.

Энергии пиков максимальных энергий для комптоновского поглощения зависят от энергии пиков полного поглощения как

$$E_{max} = \frac{\hbar\omega}{1 + \frac{m_e c^2}{2\hbar\omega}} \quad (2)$$

Положение пика обратного поглощения вычисляется по формуле

$$E = \frac{\hbar\omega}{1 + \frac{2\hbar\omega}{m_e c^2}} \quad (3)$$

Форма сигнала ФЭУ имеет вид

$$U(t) = const \cdot \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right)\right) \quad (4)$$

## 2 Эксперимент

Проведем измерения гамма-спектров для всех препаратов:

### 2.1 $^{60}\text{Co}$

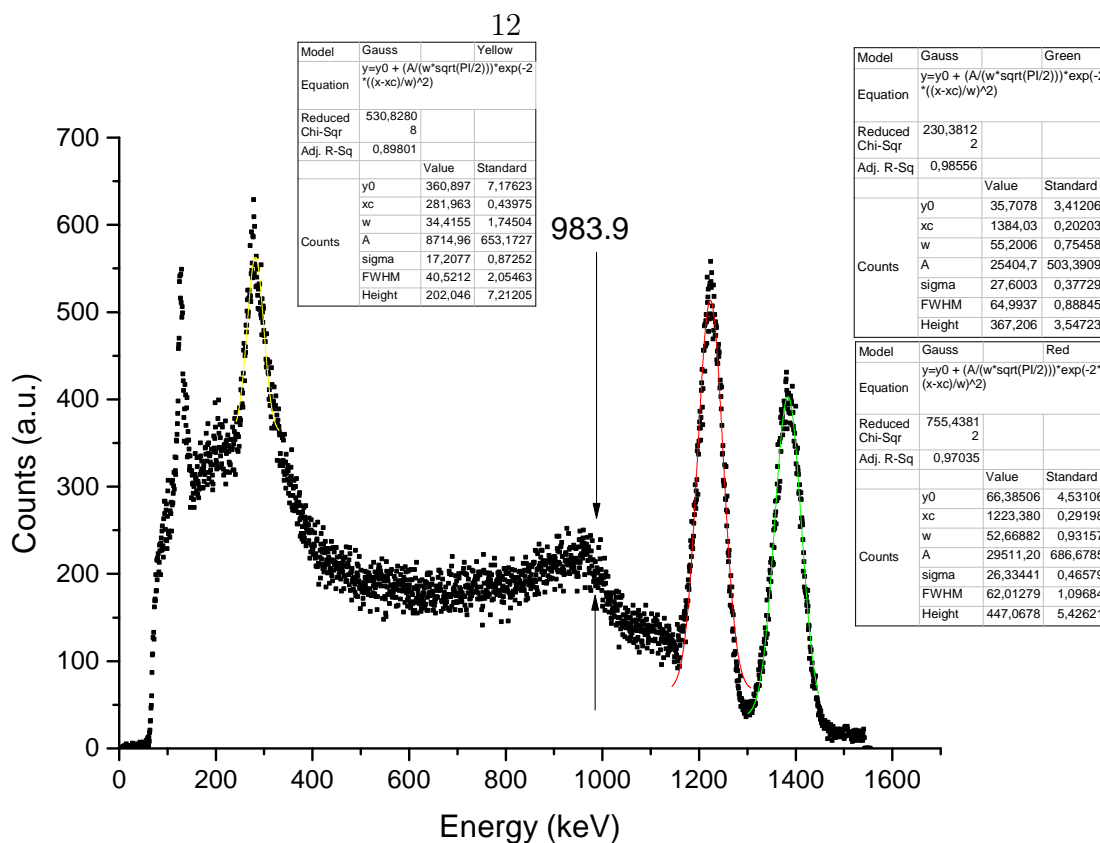
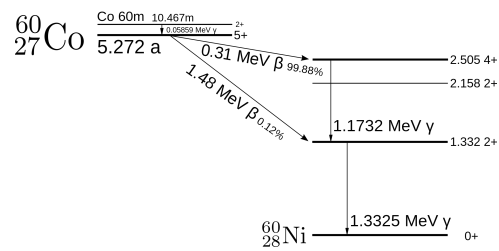
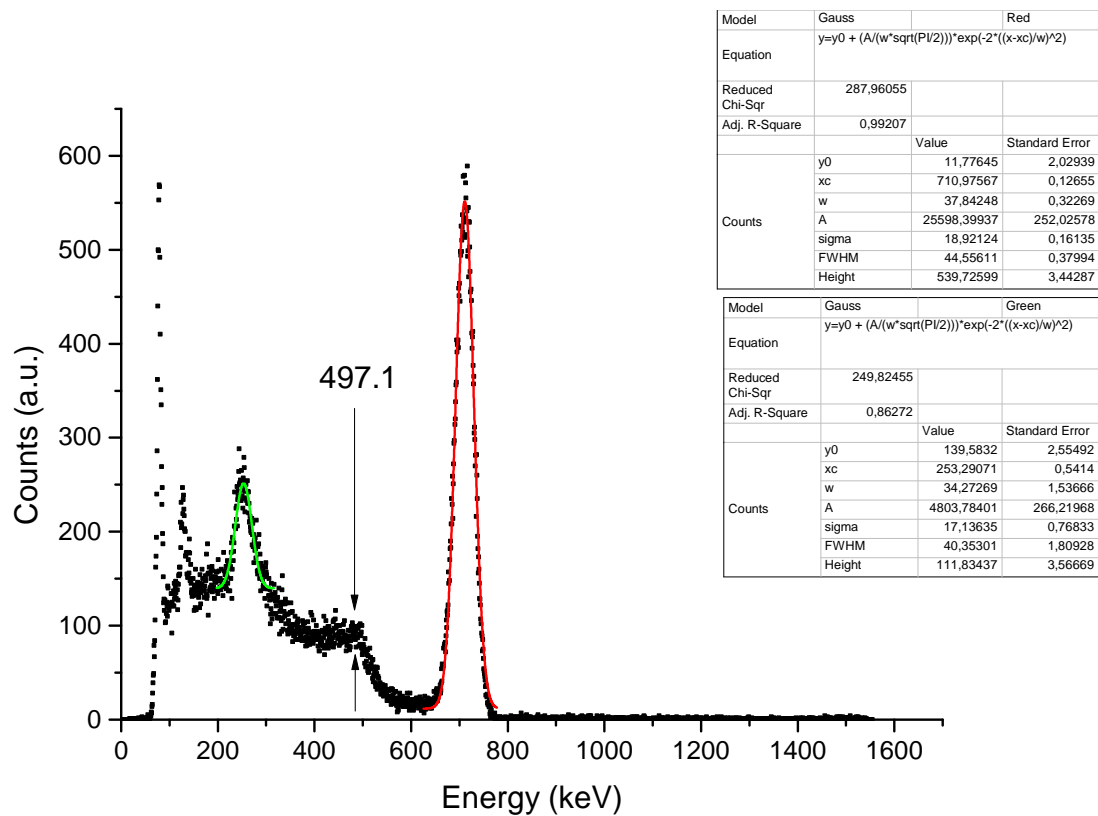
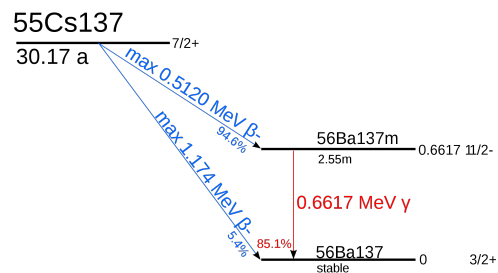
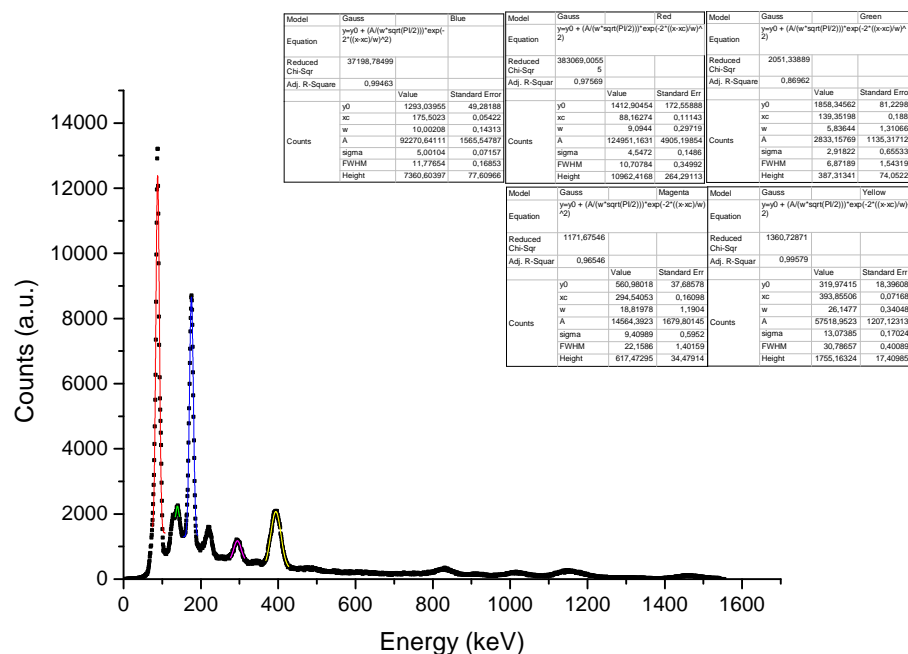
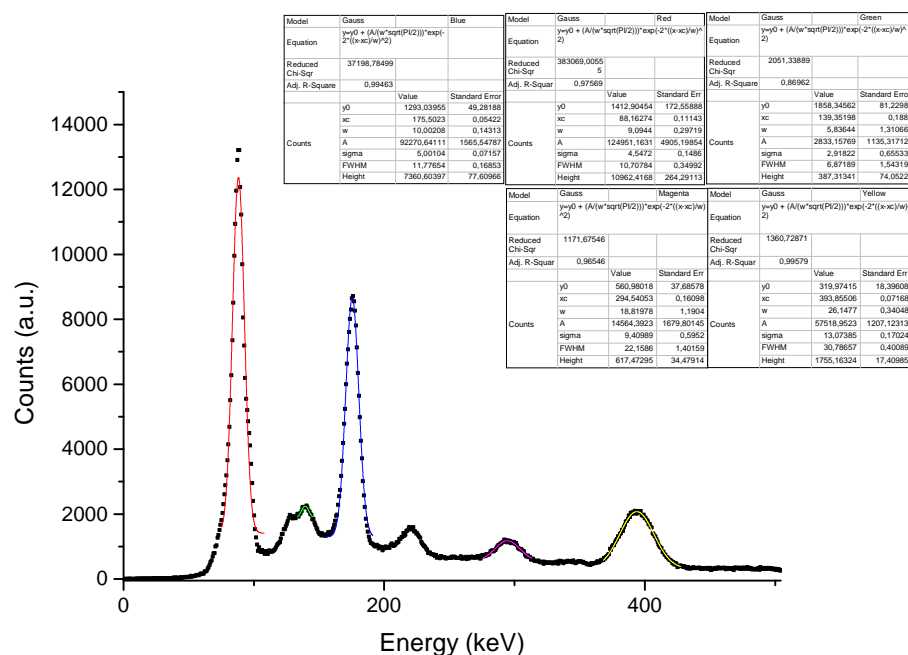
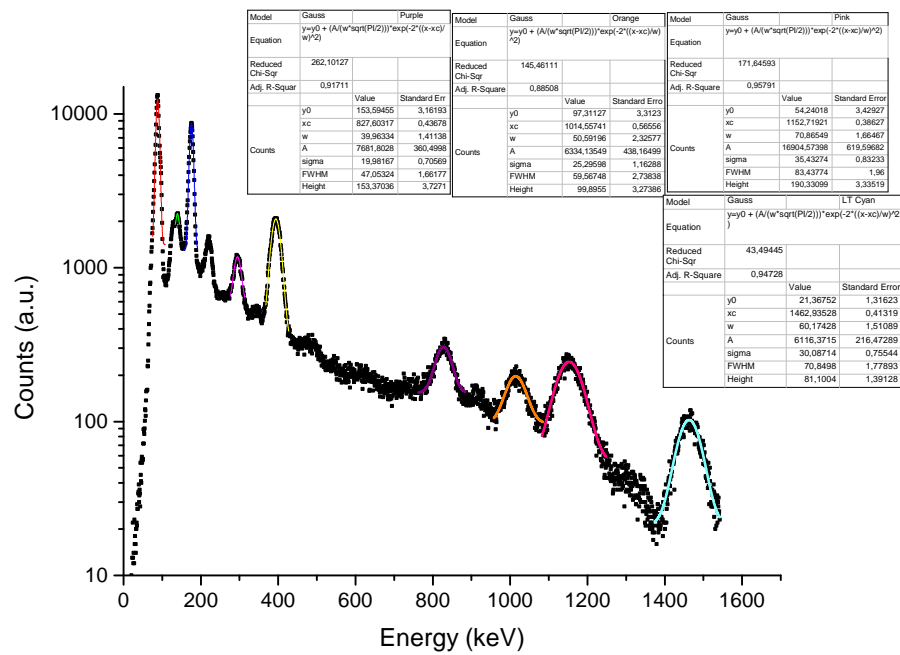
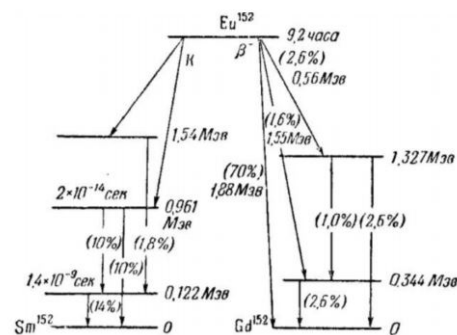


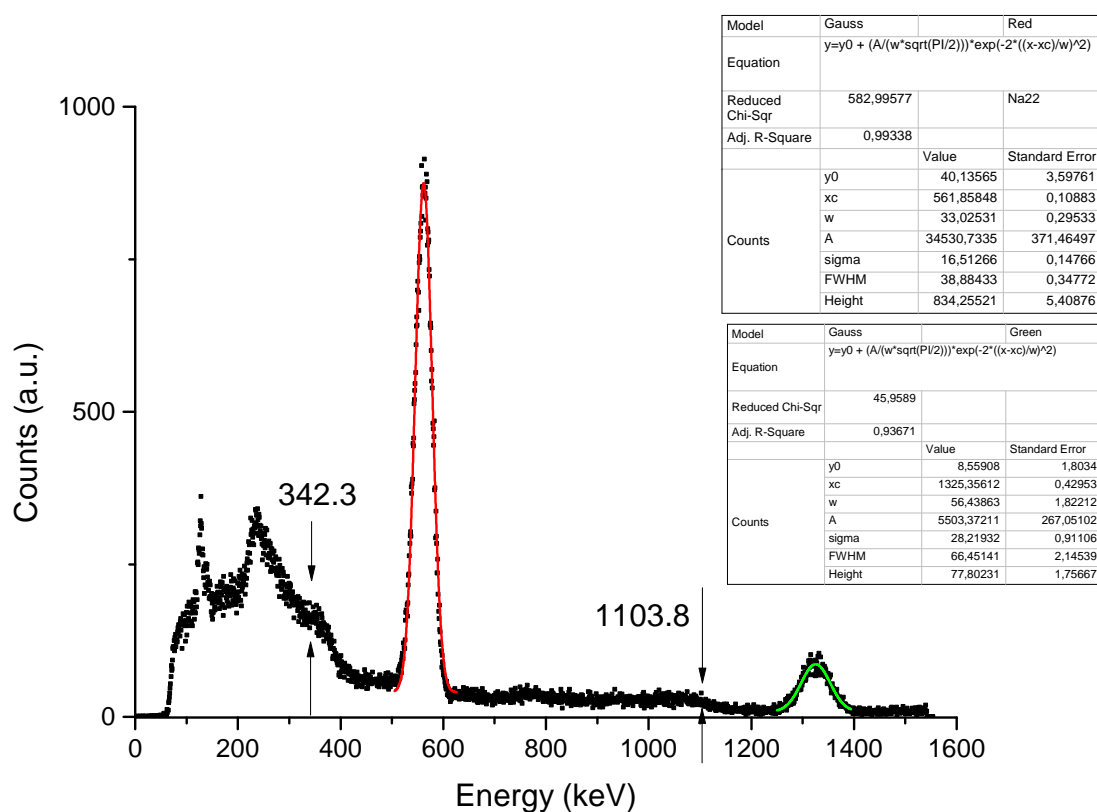
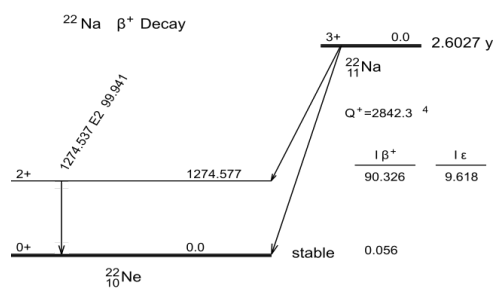
Рис. 1: Спектр  $^{60}\text{Co}$

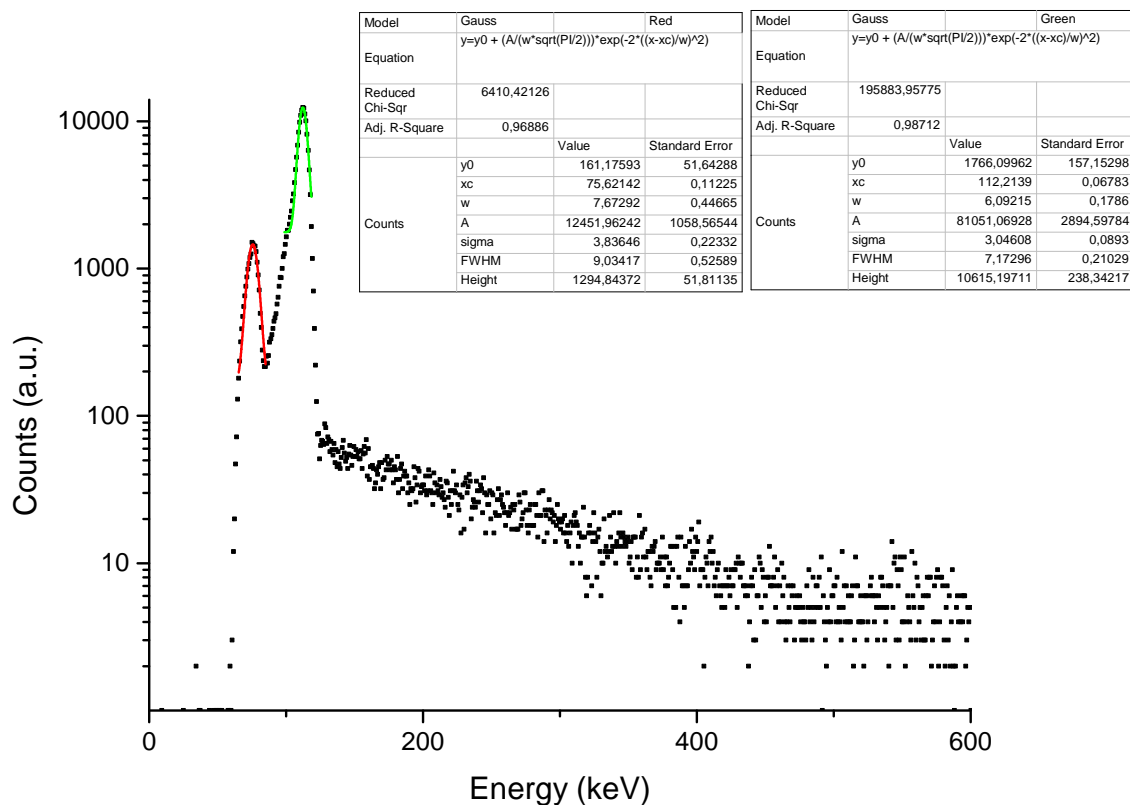
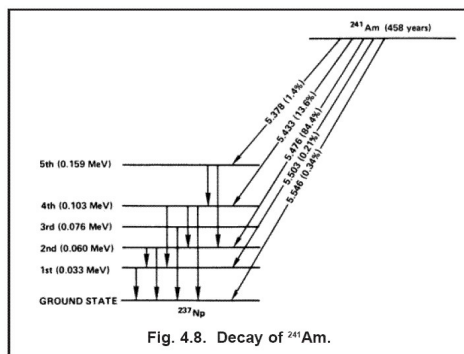
Рис. 2: Схема распада  $^{60}\text{Co}$ 2.2  $^{137}\text{Cs}$ Рис. 3: Спектр  $^{137}\text{Cs}$ Рис. 4: Схема распада  $^{137}\text{Cs}$

2.3  $^{152}\text{Eu}$ Рис. 5: Спектр  $^{152}\text{Eu}$ Рис. 6: Спектр  $^{152}\text{Eu}$

Рис. 7: Спектр  $^{152}\text{Eu}$ Рис. 8: Схема распада  $^{152}\text{Eu}$ 

## 2.4 $^{22}\text{Na}$

Рис. 9: Спектр  $^{22}\text{Na}$ Рис. 10: Схема распада  $^{22}\text{Na}$ 2.5  $^{241}\text{Am}$

Рис. 11: Спектр  $^{241}\text{Am}$ Рис. 12: Схема распада  $^{241}\text{Am}$ 

Построим график зависимости теоретического значения комптоновского края от экспериментального:

Построим график зависимости энергетического разрешения спектрометра от обратной энергии.

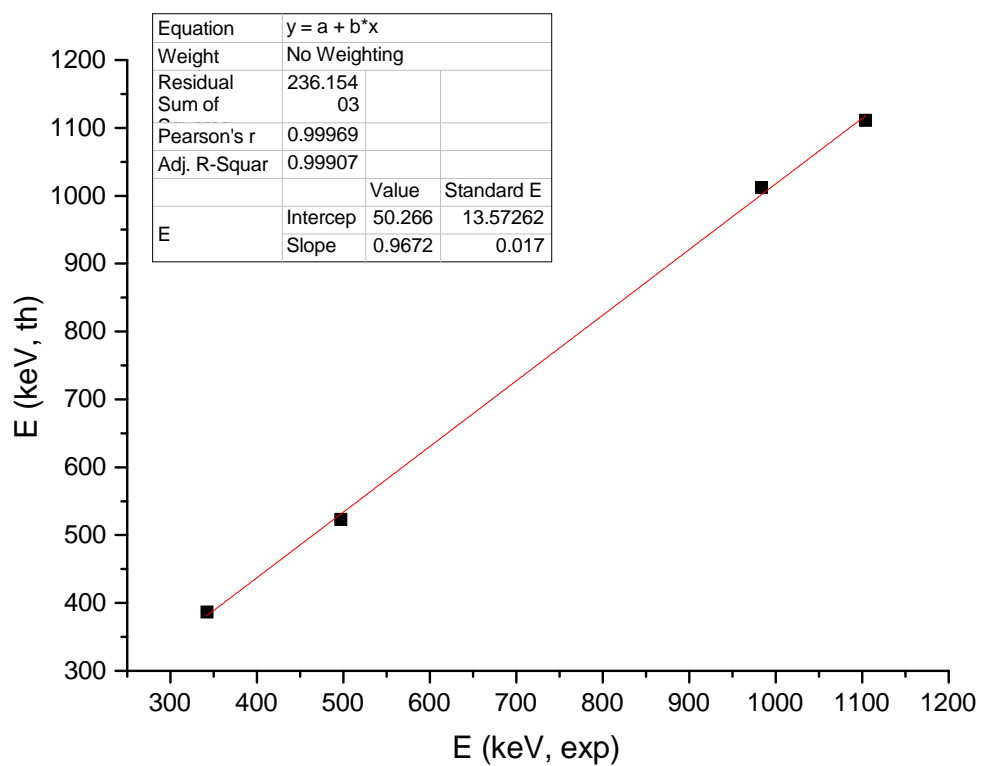


Рис. 13: Комптоновские края

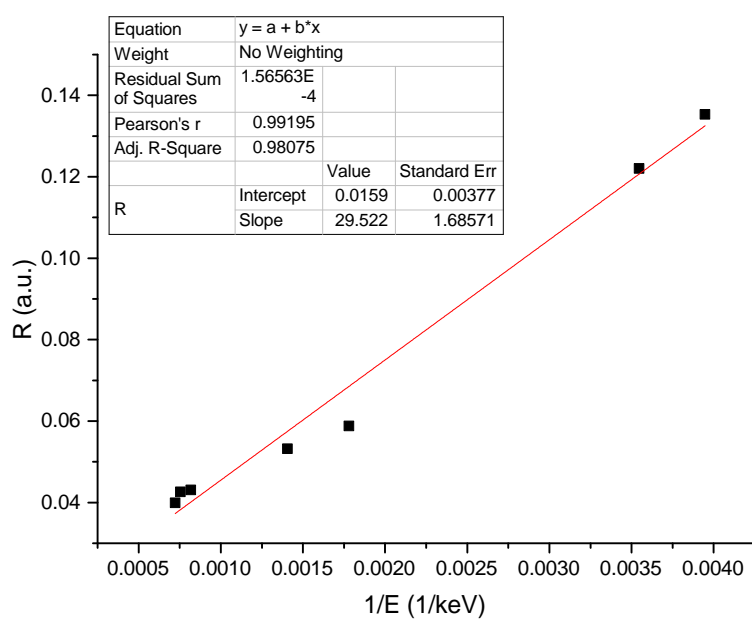


Рис. 14: Разрешение



Исследуем постоянную времени и RC-постоянную:

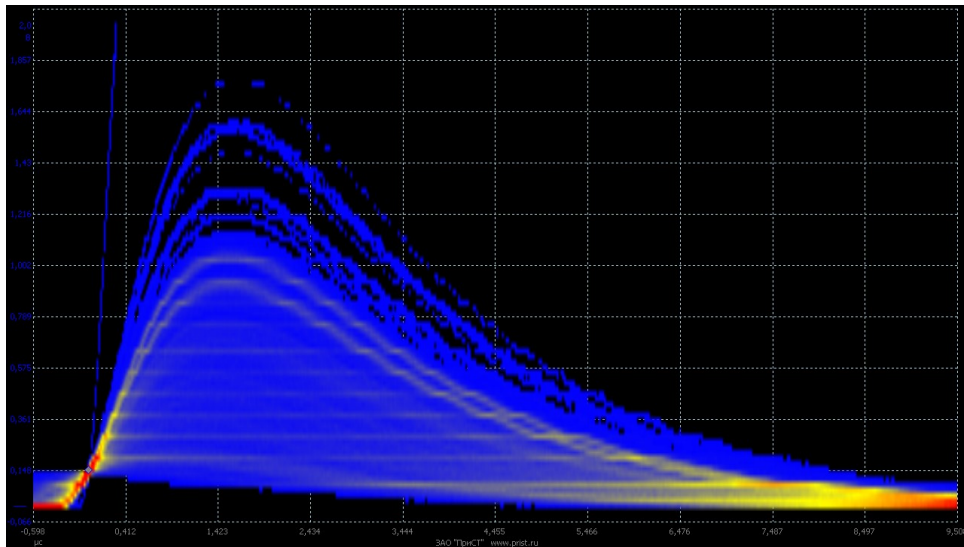


Рис. 15: Форма импульса

Отсюда  $RC \simeq 1.5\mu s$ ,  $\tau \simeq 3.6\mu s$

### 3 Вывод

В данной работе был разобран принцип устройства сцинтиллятора. Также был изучен ряд радиоактивных источников и проверены статистические соотношения для разрешающей способности спектрометра.