

# Лабораторная работа №6.1. Эффект Мессбауэра.

Николай Козырский

30 ноября 2016 г.

## 1 Теория

Зависимость интенсивности излучения атома от частоты описывается выражением:

$$I_{\omega} = I_0 \frac{(\Gamma/2)^2}{(\Gamma/2)^2 + (\omega - \omega_0)^2}, \quad (1)$$

иначе говоря, имеет Лоренцовскую зависимость с центром в  $\omega_0$  и шириной на половине высоты, равной  $\Gamma$ .

Процесс, обратный испусканию, – резонансное поглощение – описывается той же зависимостью. Это значит, что эффективное сечение резонансного поглощения  $\sigma(\omega)$  имеет вид

$$\sigma(\omega) = \sigma_0 \frac{(\Gamma/2)^2}{(\Gamma/2)^2 + (\omega - \omega_0)^2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  – максимальное эффективное сечение поглощения, определяемое физикой процесса. Выражение (2) называется в ядерной физике формулой Брейта-Вигнера, и для бесспиновых частиц, вступающих в реакцию из s-состояния относительного движения, имеет вид

$$\sigma_{ab} = \pi \lambda_a^2 \frac{\Gamma_a \Gamma_b}{(E - E_0)^2 + (\Gamma/2)^2}, \quad (3)$$

где  $\Gamma_a$  – ширина распада составного (возбужденного) ядра с испусканием налетающей частицы  $a$  (упругое рассеяние),  $\Gamma_b$  – с испусканием другой частицы (неупругое рассеяние),  $\Gamma = \Gamma_a + \Gamma_b$  полная ширина уровня,  $\lambda_a$  – длина волны бомбардирующей частицы.

В случае резонанса сечение упругого рассеяния  $\sigma_{aa}$  принимает вид:

$$\sigma_{aa} = 4\pi \lambda_a^2 (\Gamma_a/\Gamma)^2. \quad (4)$$

Это означает, что если энергетически возможно лишь упругое рассеяние, то максимальное сечение в резонансе равно

$$\sigma_{aa} = \sigma_{aa,max} = 4\pi \lambda_a^2. \quad (5)$$

Сечение неупругого рассеяния максимально при  $\Gamma_a = \Gamma_b = \Gamma/2$  и равно

$$\sigma_{ab} = \sigma_{ab,max} = \pi \lambda_a^2 \quad (6)$$

В процессе испускания и поглощения  $\gamma$ -квантов излучающие и поглощающие свободные ядра элементов вследствие закона сохранения импульса приобретают часть энергии. Если энергия возбужденного уровня ядра  $E_1^*$ , энергия испускаемого  $\gamma$ -кванта  $E_{\gamma}$ , то

$$E_{\gamma} = E_1^* - R, \quad (7)$$

где  $R$  – кинетическая энергия отдачи.

При поглощении  $\gamma$ -кванта, имеющего энергию  $E_\gamma$ , таким же ядром оно также получает кинетическую энергию отдачи  $R$ , так что на возбуждение ядра будет затрачена энергия

$$E_2^* = E_\gamma - R = E_1^* - 2R. \quad (8)$$

Эффект Мессбауэра состоит в том, что если излучающее ядро не свободно, а находится в кристаллической решетке, то при определенных условиях поглощение и испускание  $\gamma$ -излучения с большой вероятностью происходят без потерь на отдачу, т.е. в спектре испускания (или поглощения) появляется несмещенная линия

$$E_\gamma = E_1^* = E_2^*. \quad (9)$$

Такое явление называется ядерной резонансной флуоресценцией или ядерным резонансным рассеянием (поглощением) или просто эффектом Мессбауэра.

## 2 Установка

Блок схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

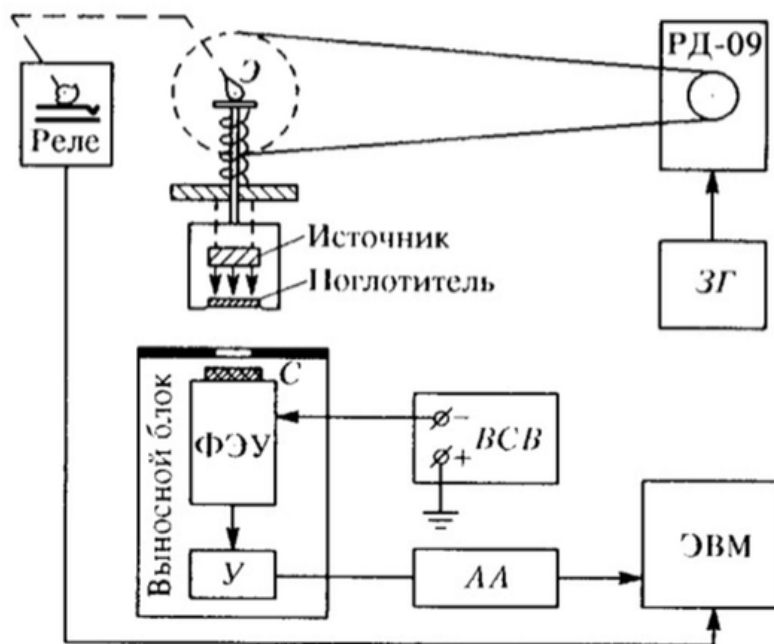


Рис. 1: Схема установки: Э – эксцентрик, С – сцинтилляционный кристалл, У – усилитель, АА – одноканальный амплитудный анализатор, ЭВМ – персональный компьютер, ЗГ – звуковой генератор, РД-09 – двигатель с редуктором, ВСВ – высоковольтный стабилизированный выпрямитель

Поглотителем служит оловянная фольга. Поглотитель укреплен в рамке, приводимой в движение кулачковым механизмом. Форма эксцентрика выбрана так, чтобы движение поглотителя происходило с постоянной скоростью.

## 3 Ход работы

1. Снять распределение числа испускаемых гамма-квантов по их энергиям. По полученному распределению подобрать настройки анализатора импульсов так, чтобы детектировались только гамма-кванты с энергией 23.8 кЭв.

- Получить зависимость поглощения от относительной скорости поглотителя. В работе исследуются 4 образца: 3 образца олова различной толщины, и один образец оксида олова  $SnO_2$ .

## 4 Обработка результатов

- Калибровка:

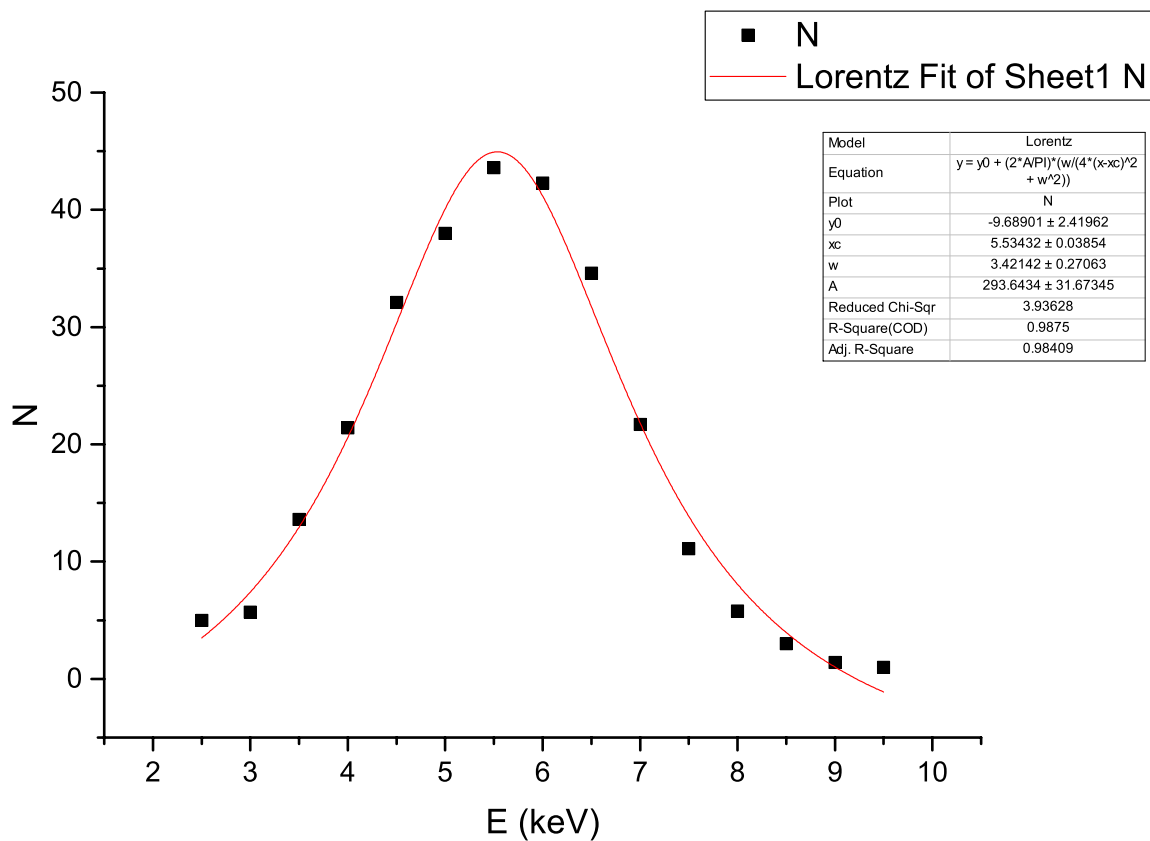


Рис. 2: Калибровочный график

По результатам калибровки на анализаторе сигналов выбраны рабочие пределы от 2В до 10В.

2. Образец олова толщиной 100мкм (образец 1):

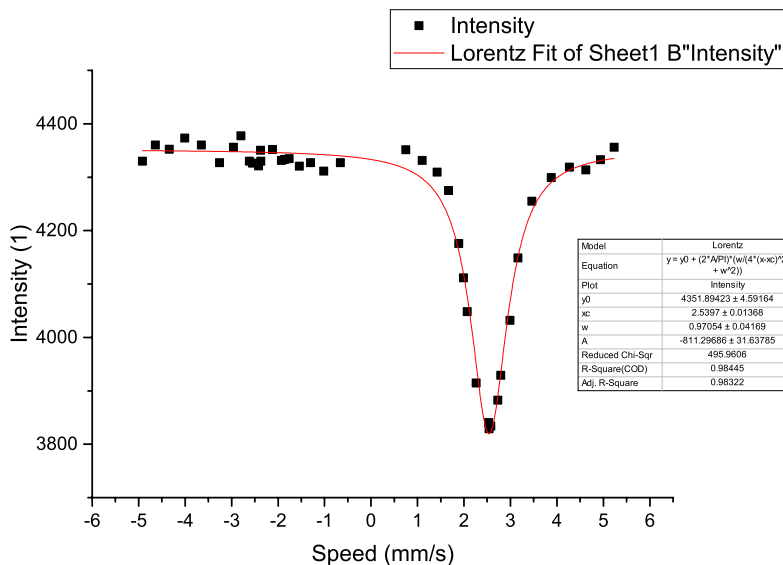


Рис. 3: Олово 100мкм

Амплитуда:

$$\epsilon = \frac{4350 - 3850}{4350} \cdot 100\% = 11.5\%$$

Хим. сдвиг:  $2.54 \pm 0.01 \text{ mm/s} = 15.88 \pm 0.06 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$

$\Gamma_{exp} = 1.94 \pm 0.08 \text{ mm/s} = 12.1 \pm 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$

3. Образец олова толщиной 200мкм (образец 2):

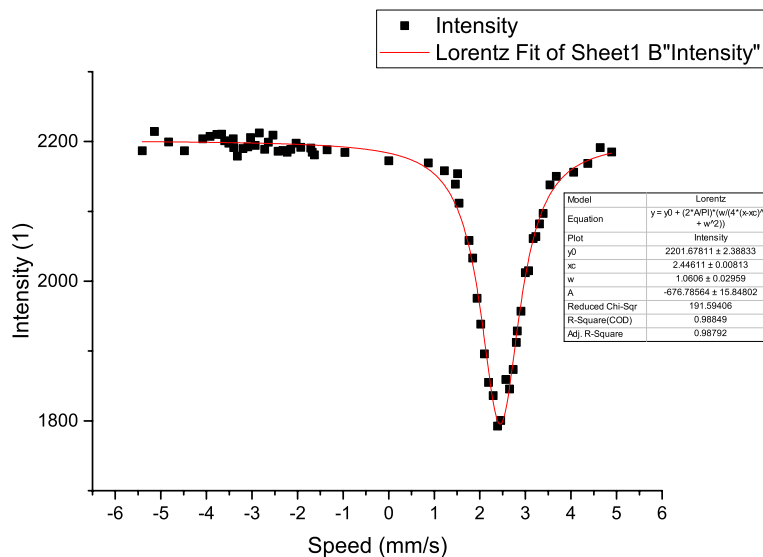


Рис. 4: Олово 200мкм

Амплитуда:

$$\epsilon = \frac{2200 - 1800}{2200} \cdot 100\% = 18.2\%$$

Хим. сдвиг:  $2.45 \pm 0.01 \text{ mm/s} = 15.32 \pm 0.06 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$

$\Gamma_{exp} = 2.12 \pm 0.06 \text{ mm/s} = 12.3 \pm 0.4 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$

#### 4. Образец $SnO_2$ (образец 4):

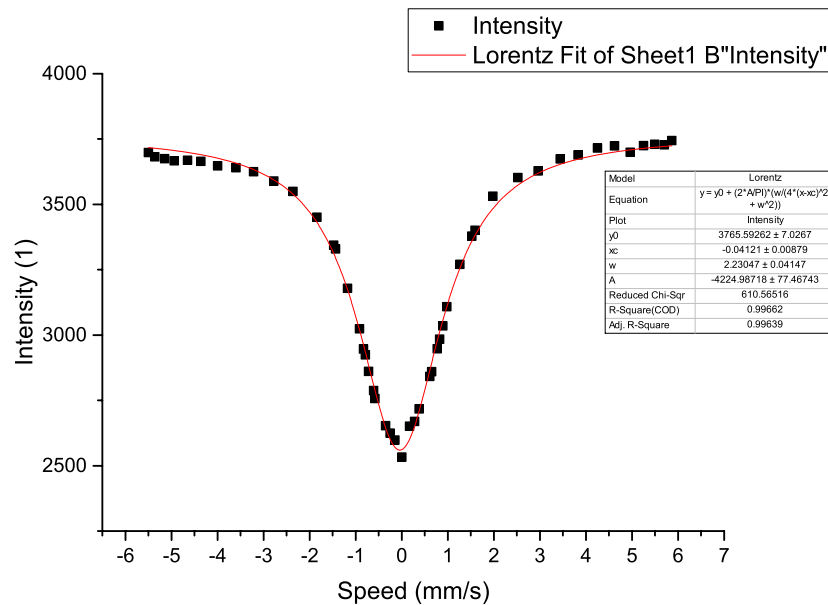


Рис. 5:  $SnO_2$

Амплитуда:

$$\epsilon = \frac{3750 - 2500}{3750} \cdot 100\% = 33.3\%$$

Хим. сдвиг:  $-0.04 \pm 0.01 \text{ mm/s} = 0.25 \pm 0.06 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$

$\Gamma_{exp} = 1.94 \pm 0.08 \text{ mm/s} = 27.9 \pm 0.3 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$

## 5 Обсуждение результатов

Полученные величины  $\Gamma_{exp}$  по порядку величины совпадают со значениями, приведенными в учебнике. Полученные экспериментальные данные с большой степенью точности ( $R^2 \equiv 0.99$ ) описываются кривой Лоренца. Погрешности полученных значений  $\Gamma_{exp}$ ,  $\epsilon$  и хим.сдвига лежат в пределах 5 %.

## 6 Вывод

С помощью метода доплеровского сдвига мессбауэровских линий испускания и поглощения были исследованы резонансное поглощение гамма-квантов испускаемыми ядрами олова в соединении  $BaSnO_3$  при комнатной температуре. Был определен максимум резонансного поглощения, его величина, а также экспериментальная ширина линии  $\Gamma_{exp}$ . Результаты измерений приведены в таблице ниже:

Образец	Амплитуда(%)	Хим.сдвиг(эВ $\cdot 10^{-8}$ )	$\Gamma$ (эВ $\cdot 10^{-8}$ )
1	11.5	15.88	12.1
2	18.2	15.32	12.3
4	33.3	0.25	27.9