

Исследование резонансного поглощения γ квантов

Шмаков Владимир Евгеньевич - ФФКЭ гр. Б04-105

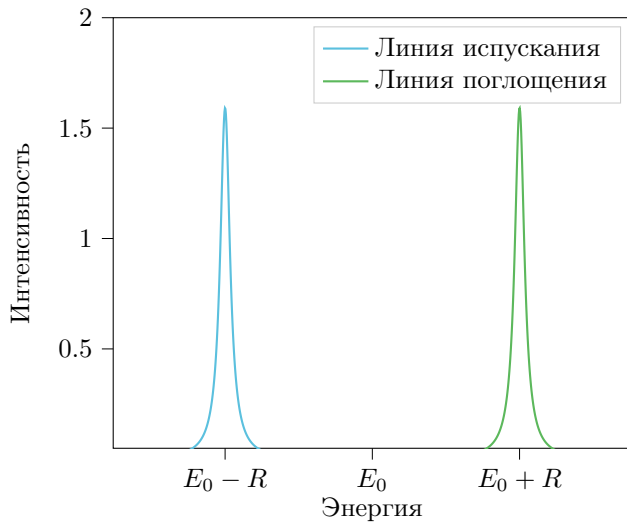
14 марта 2024 г.

Цель работы

- Определить положение максимума резонансного поглощения
- Определить ширину линии поглощения

Теоретические сведения

Смещение линий вследствие эффекта Мессбауэра



В работе рассматривается процесс резонансного поглощения γ квантов. Кванты, испущенные возбуждённым ядром налетают на поглотитель, содержащий те же ядра в невозбуждённом состоянии. Вследствие отдачи, ядро, испускающее γ квант, приобретает импульс равный по абсолютной величине импульсу γ кванта. Вследствие этого эффекта линии поглощения и испускания смещаются на величину R - энергию отдачи:

$$R = \frac{p^2}{M_{\text{я}}} = \frac{E_{\gamma}^2}{2M_{\text{я}}c^2} \quad (1)$$

Таким образом резонансное поглощение возможно лишь тогда, когда линии испускания и поглощения перекрываются. То есть при условии $2R \leq \Gamma$.

Сдвиг может быть скомпенсирован при помощи эффекта Доплера. При этом относительная скорость поглотителя должна быть равной:

$$V = c \cdot 2R/E_{\gamma}$$

Рассмотрим атомы находящиеся в составе кристаллической решетки. При испускании γ -кванта энергии отдачи оказывается недостаточно для вырывания ядра из кристаллической решетки. То есть энергия отдачи передаётся всему кристаллу - в кристалле возбуждается электрическая волна. Вследствие этого энергия отдачи становится малой(теперь в формуле (1) вместо массы ядра стоит масса всего кристалла).

Эффектом Мессбауэра называется процесс испускания и поглощения γ квантов без рождения фононов.

Вероятность эффекта Мессбауэра определяется выражением:

$$f = \exp(-4\pi^2 \langle u^2 \rangle / \lambda^2) \quad (2)$$

Сечение резонансного поглощения имеет Лоренцевскую форму.

$$\sigma(E) = \frac{(\Gamma/2)^2}{(E - E_0)^2 + (\Gamma/2)^2} \quad (3)$$

Методика

Оборудование

- Источник γ излучения
- Набор поглотителей
- ФЭУ
- Механизм преобразования вращательного движения в поступательное
- Электронный двигатель РД-09.

Экспериментальная установка

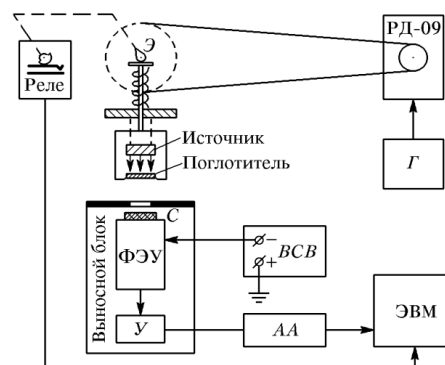


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 1. Для детектирования γ - квантов используется ФЭУ. Пересчетное устройство позволяет устанавливать верхний и нижний пороги срабатывания. Таким образом, налетающие γ - кванты могут быть отсортированы по энергии (проанализирован спектр источника).

Поглотитель γ - излучения приводится в движение посредством механизма преобразования вращательного движения в поступательное. «Источником» вращательного движения является электронный двигатель РД-09.

Обработка экспериментальных данных

Для предварительных выводов приблизим данные контуром Воигта, часто используемом в спектроскопии.

$$f(x) = O - A \cdot V(x + B, \sigma, \gamma),$$
$$\text{где } V(x, \sigma, \gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x', \sigma) L(x - x', \gamma) dx' \quad (4)$$

Функция $V(x, \sigma, \gamma)$ - свёртка плотностей «центрированных» нормального распределения и распределения Коши. Параметр σ - дисперсия нормального распределения, γ - коэффициент масштаба распределения Коши.

Другими словами, величины σ и γ показывают степень родства искомого профиля с естественным и Лоренцевским профилем. Как видно на рисунке 2, параметр γ всегда больше параметра σ . ДОБАВИТЬ ВЫВОД ИЗ ЭТОГО

Найдём параметры контура точнее:

1. Переведём результаты измерений в диапазон (0, 1)

Вычтем из каждого экспериментального значения I_i максимально достигнутое значение счета $\max_i I_i$.

Отнормируем выборку I_i

2. Рассмотрим полученные данные с точки зрения таблично заданной плотности вероятности. Пользуясь генератором случайных чисел построим выборку с заданной плотностью. Пользуясь статистическими методами оценим характерные параметры полученной выборки.

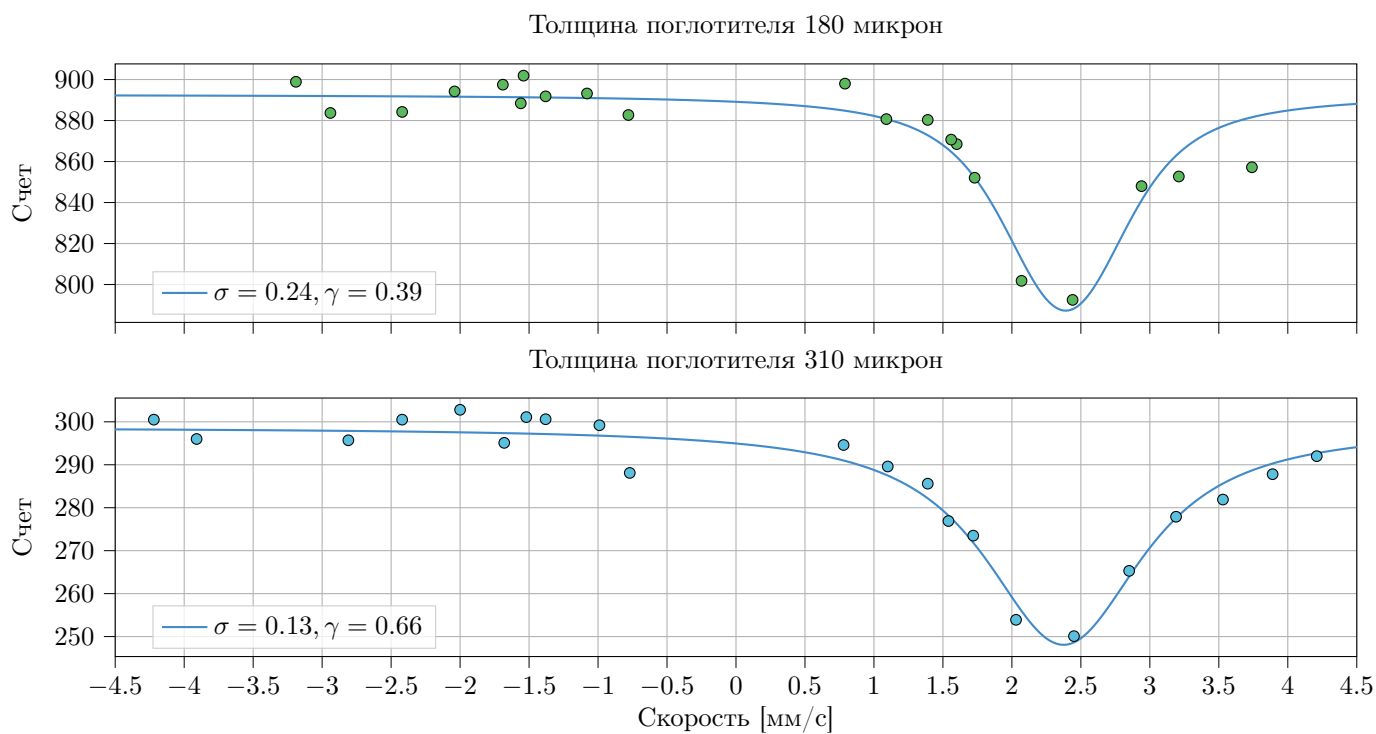


Рис. 2: Экспериментальные точки, приближенные контуром Воигта(смотрите формулу 4)

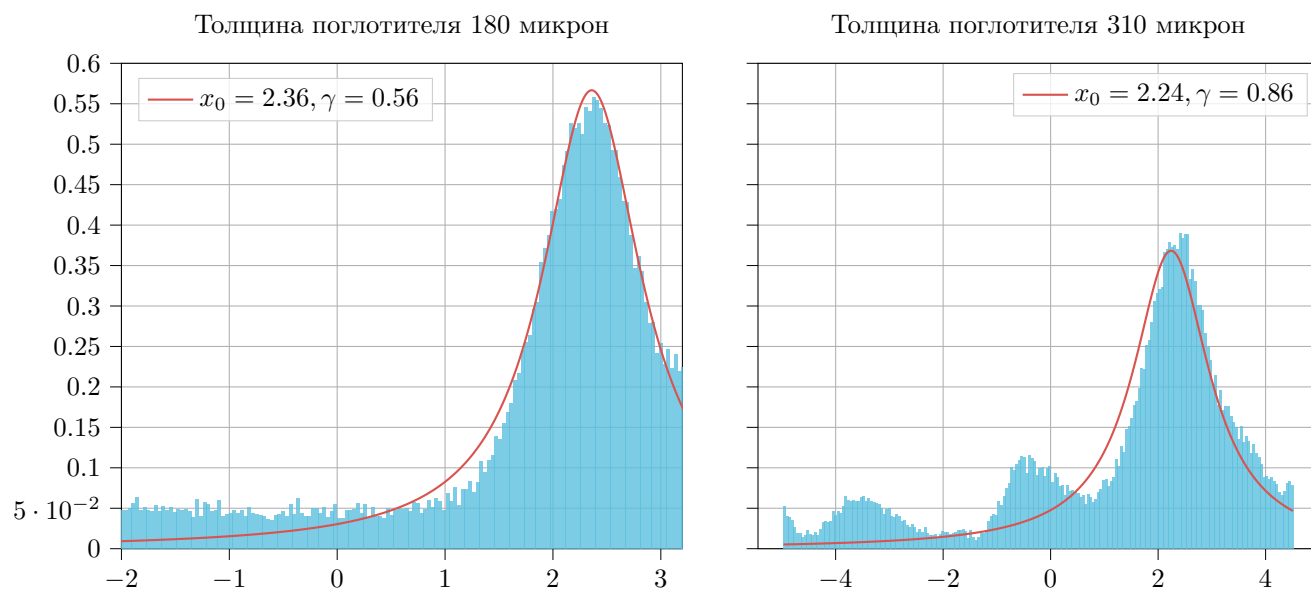


Рис. 3: Нахождение параметров распределений методом максимального правдоподобия

3. Методом максимального правдоподобия найдем параметры распределения.

Переведем найденные параметры распределение в эВ:

$$\Gamma = \frac{E}{\gamma} c \quad (5)$$

Получим $\Gamma_{180} = 4.4 \pm 0.2 \cdot 10^{-8}$ эВ - для первого образца. И $\Gamma_{310} = 6.8 \pm 0.4 \cdot 10^{-8}$ эВ. Аналогично переведем химический сдвиг в эВ. Получим $\Delta E_{180} = 18.7 \pm 0.2 \cdot 10^{-8}$ эВ, $\Delta E_{310} = 17.7 \pm 0.2 \cdot 10^{-8}$ эВ.

Характерной величиной резонансного поглощения является амплитуда эффекта.

$$\epsilon(v) = \frac{N(\infty) - N(v)}{N(\infty) - N_{\Phi}}. \quad (6)$$

Получаем $\epsilon_{310} = 17\%$ - для второго эксперимента, $\epsilon_{180} = 11\%$ - для первого.

Вывод

В ходе эксперимента удалось оценить характерные величины эффекта резонансного поглощения. А именно: амплитуду эффекта, ширину резонансной кривой и химический сдвиг.

Согласно теории линия резонансного поглощения имеет форму Лоренца. Однако в ходе интерполяции оказалось что экспериментальное распределение - смесь нормального распределения и распределения Лоренца.

Мера правдоподобия для распределения Коши оказалась больше чем мера правдоподобия для распределения Лоренца.