

## 1.3

## ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА

Егор Берсенеv

## 1 Теоретическое введение

Эффект Мессбауэра — это эффект переизлучения  $\gamma$ -квантов без генерации фононов. Энергия, необходимая для смещения ядра составляет 10 – 30 эВ. Поскольку энергия отдачи равна:

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

то ясно, что рассматриваемый случай реализуется только при больших энергиях  $\gamma$ -квантов. При испускании  $\gamma$ -квантов с  $E < 1$  МэВ энергия отдачи оказывается недостаточной для вырывания ядра из решетки, а импульс в той или иной форме передается всему кристаллу. Чаще всего энергия отдачи переходит в звуковые колебания решетки. На языке квантовой механики это значит, что энергия отдачи переходит квантам звуковых колебаний: фононам. Генерация фононов происходит тем легче, чем больше фононов уже имеется, т.е. при высоких температурах. При низких температурах этот процесс маловероятен. В этой ситуации большую роль начинает играть передача импульса отдачи всему кристаллу как целому. В формуле для энергии отдачи вместо массы ядра следует подставлять массу всего кристалла, вследствие чего энергия отдачи понижается на 10 – 20 порядков, и становится пренебрежимо малой. Испускание и поглощение  $\gamma$ -квантов в твердых телах без рождения фононов носит название эффекта Мессбауэра. Теоретическое рассмотрение показывает, что вероятность эффекта определяется выражением:

$$f = \exp \left[ -\frac{4\pi^2 \langle u^2 \rangle}{\lambda^2} \right] \quad (2)$$

где  $\langle u^2 \rangle$  — среднеквадратичное смещение ядер в процессе тепловых колебаний, а  $\lambda$  — длина волны излучения. Видно, что вероятность упругого испускания и поглощения квантов уменьшается с температурой и ростом энергии перехода. Таким образом, расчет показывает, что эффект Мессбауэра ограничен областью малых энергий  $E \simeq 200$  кэВ

Эффект Мессбауэра изучается на ядрах олова  $^{119}\text{Sn}$  в  $\text{BaSnO}_3$ . Гамма-излучение пропускается через резонансный поглотитель. Там происходит взаимодействие квантов излучения как с атомными электронами за счет фотоэффекта и эффекта Комптона, так и с ядрами атомов. Поэтому интенсивность:

$$\exp[-n_e \sigma_e] \exp[-nf \sigma(E)] \quad (3)$$

Сечение резонансного поглощения имеет лоренцевскую форму кривой (формула Брейта-Вигнера)

$$\sigma(E) \sim \frac{(\Gamma/2)^2}{(E - E_0)^2 + (\Gamma/2)^2} \quad (4)$$

Здесь  $E_0$  — энергия ядерного перехода, а  $\Gamma$  — естественная ширина линии. Для источника и поглотителя, находящихся в разных химических соединениях, максимум

резонансного поглощения смещается относительно нулевой скорости на величину

$$v = \frac{\Delta E}{E} c \quad (5)$$

Обычно в опыте по резонансному поглощению определяется величиной «амплитуды» эффекта

$$\varepsilon(v) = \frac{N(\infty) - N(v)}{N(\infty) - N_f} \quad (6)$$

где  $N(v)$  — скорость счёта квантов, прошедших через поглотитель при некоторой скорости  $v$ ,  $N(\infty)$  — скорость счёта квантов при достаточно большой скорости, когда резонансное поглощение отсутствует,  $N_f$  — скорость счёта радиоактивного фона. Величина  $\varepsilon(v)$  является относительной величиной, и не зависит ни от активности, ни от величины поглощения излучения электронами.

## 2 Экспериментальная часть

Снимем спектры поглощения.

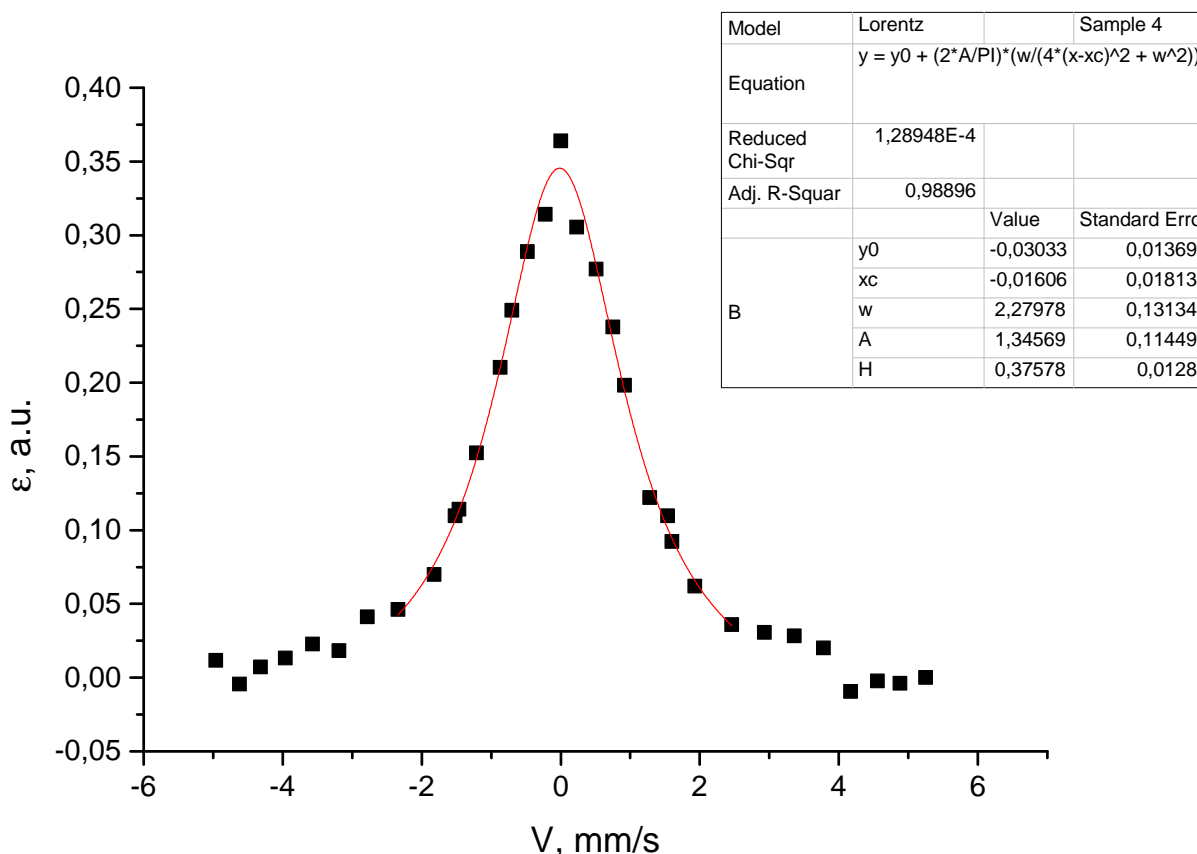


Рис. 1: Спектр поглощения образца 4

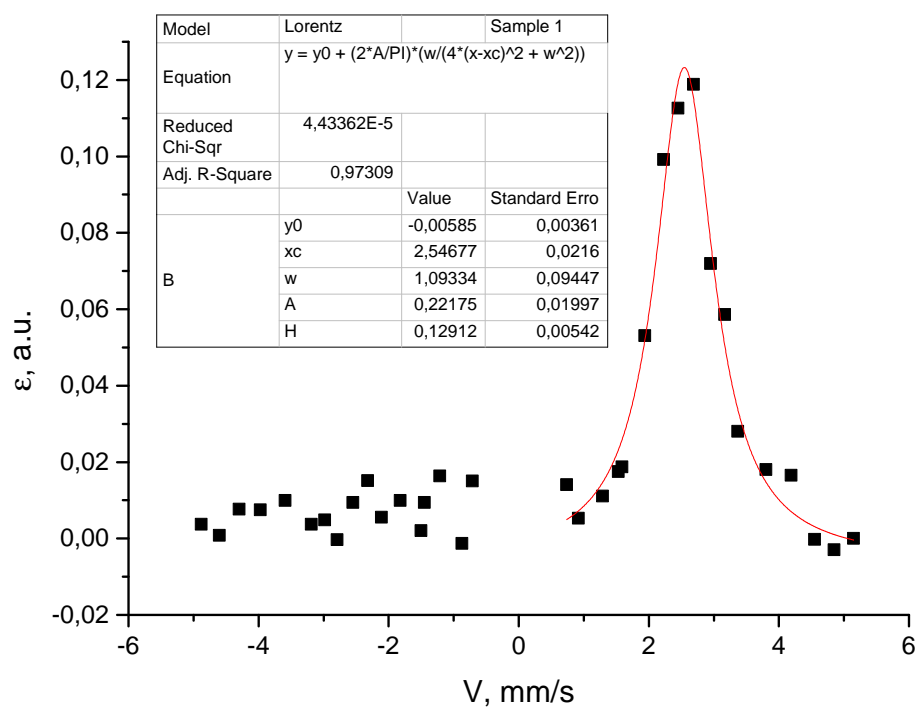


Рис. 2: Спектр поглощения образца 1

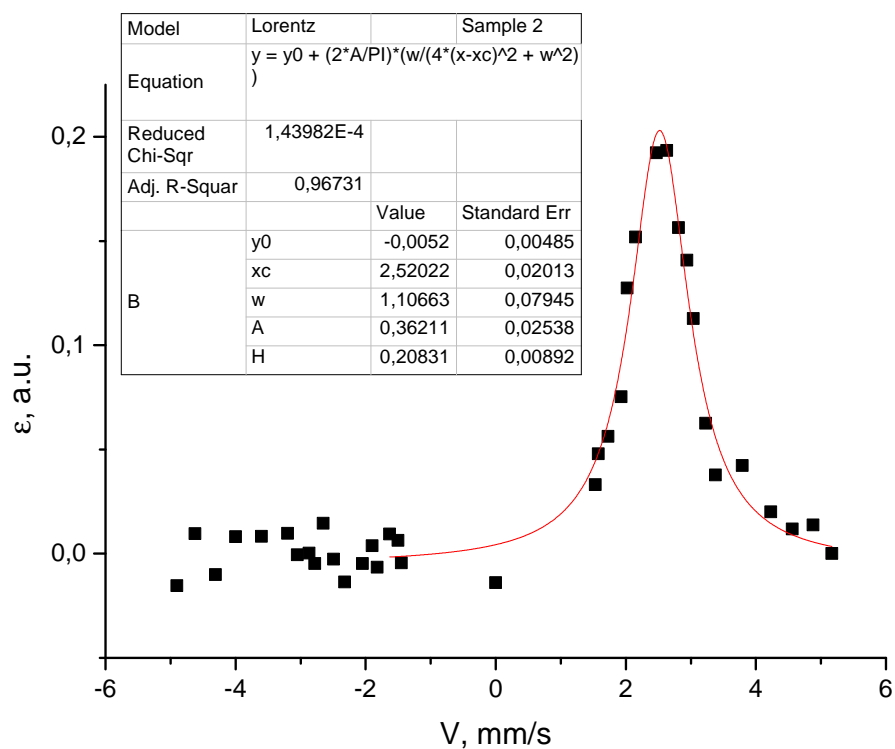


Рис. 3: Спектр поглощения образца 2

Пересчитаем ширину линии и химический сдвиг из мм/с в эВ. Естественная ширина линии  $\Gamma = 3 \cdot 10^{-8} \text{eV}$ . В таблице же указана двойная ширина линии  $2\Gamma$

Таблица 1: Результаты эксперимента

	1	2	4
$w, \text{mm/s}$	1.09	1.11	2.28
$w, \text{eV} \cdot 10^{-8}$	9.2	9.4	19.3
$dx, \text{mm/s}$	2.55	2.52	-0.02
$dx, \text{eV} \cdot 10^{-8}$	21.6	21.3	-0.17

Попробуем приблизить экспериментальные данные гауссовой кривой:  $\chi^2$  пока-

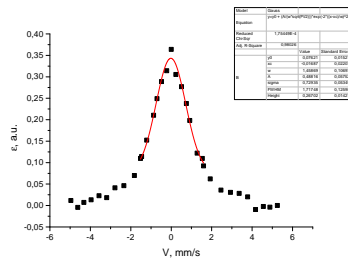


Рис. 4: Образец 1

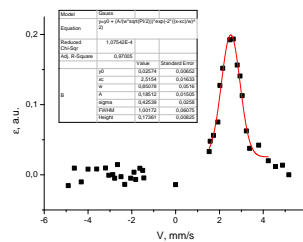


Рис. 5: Образец 2

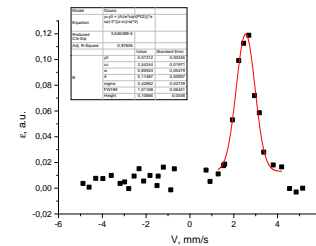


Рис. 6: Образец 4

зывает, что в некоторых случаях гауссова кривая лучше приближает экспериментальные данные. Почему так происходит — не совсем ясно, но основной проблемой считаю фактор кривых рук.

### 3 Вывод и обсуждение результатов

Эффект резонансного поглощения  $\gamma$ -квантов может применяться для исследования структур, содержащих определенные изотопы. Поскольку мессбауэровская линия очень узка, то для того, чтобы резонанс нарушился необходима ничтожная скорость порядка мм/с. Основными причинами уширения линии можно считать нарушение равномерности движения образца, т.к. не всегда время прохождения линейного участка было меньше, чем время измерения и уширение, связанное с вибрациями установки, которые могли произойти по любой причине, включая проходящих мимо людей.