

# Лабораторная работа №5.6.1

## Исследование резонансного поглощения $\gamma$ - квантов (эффект Мессбауэра)

*С помощью метода доплеровского сдвига мессбауэровской линии поглощения исследуется резонансное поглощение  $\gamma$ -лучей, испускаемых ядрами олова  $^{119}\text{Sn}$  в соединении  $\text{BaSnO}_3$  при комнатной температуре. Определяется положение максимума резонансного поглощения, его величина, а также экспериментальная ширина линии  $\gamma_{\text{экс}}$ . Оценивается время жизни возбужденного состояния ядра  $^{119}\text{Sn}$ .*

### Теоретическая справка

Нуклоны, как электроны могут находиться в основном и возбужденном состояниях. Переход на более низкий энергетический уровень сопровождается возникновением гамма-кванта. Все возбужденные атомы имеют конечную ширину

$$\Gamma\tau \approx \frac{h}{2\pi}$$

Ядра атомов могут и поглощать гамма-кванты. Если энергия гамма-кванта равна разности между основным и возбужденным состояниями, то атом можно так возбудить (резонансный характер). Проблема возникает из-за того, что часть энергии уносит с собой ядро в качестве отдачи. Энергия отдачи:

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

Резонансное поглощение возможно при

$$2R \leq \Gamma$$

. Для наблюдения нужно воспользоваться эффектом Доплера. Скомпенсируем энергетический сдвиг  $2R$ . Тогда поглощающие и излучающие ядра должны двигаться друг относительно друга со

скоростью

$$V = c \cdot R/E_\gamma$$

Ширина линии испускания складывается из собственной ширины линии и ее доплеровской ширины. Доплеровская ширина:

$$D = \frac{v}{c} \approx \frac{v}{c} E_0$$

$$v = \sqrt{k_B T / M_\gamma}$$

$$D = 2\sqrt{R k_B T}$$

Доплеровская ширина линии значительно превосходит собственную и иногда оказывается больше R.

Процесс поглощения и испускания.

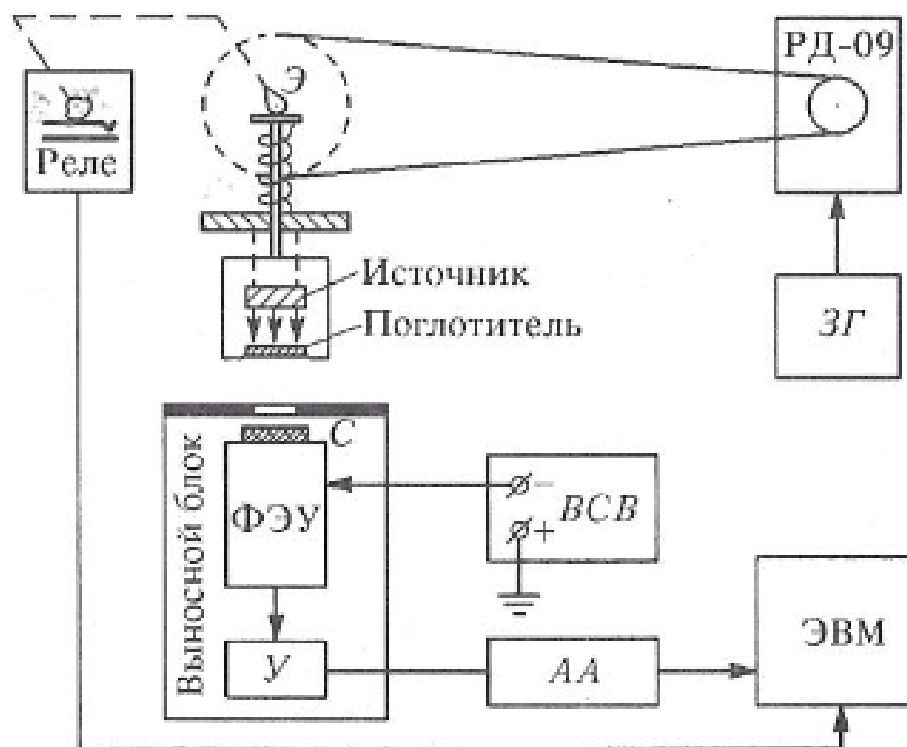
1. Энергия отдачи превышает энергию связи ядра в решетке. При этом связь ядра становится малосущественной и никаких новых явлений не наступает. Большая энергия гамма-квантов.
2. При энергии гамма-квантов с  $E < 1$  МэВ энергия отдачи оказывается недостаточной для вырывания ядра из кристаллической решетки, а импульс передается всему кристаллу. Возникают звуковые колебания(фононы).

Испускание и поглощение  $\gamma$ -квантов в твердых телах без рождения фононов называется **эффектом Мессбауэра**. Вероятность эффекта

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

Эффект ограничен областью малых энергий (200кэВ).

## Схема установки:

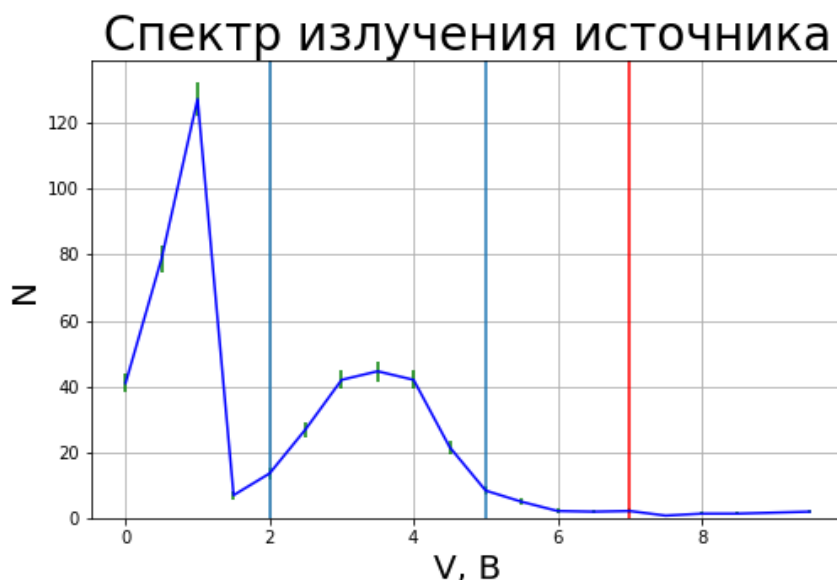
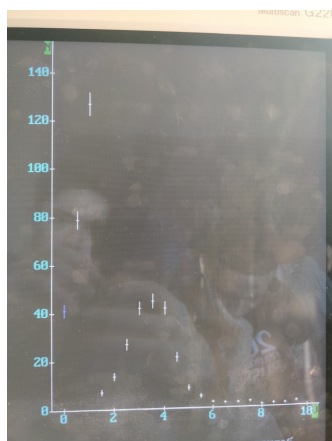


## Измерение спектра источника

Цель этого этапа работы — подобрать настройки анализатора импульсов так, чтобы детектировались только гамма-кванты с энергией 23.8 кэВ, исходящие от источника  $^{119}\text{Sn}$ .

Время накопления данных - 5 секунд.

Ширина окна - 0.5 В.



## Анализ спектра и настройка анализатора спектра

*Цель этого этапа работы — подобрать настройки анализатора импульсов так, чтобы детектировались только гамма-кванты с энергией 23.8 кэВ, исходящие от источника  $^{119}\text{Sn}$ .*

LU = 2.0 В

UL = 5.0 В

*По окончании этого этапа электронная схема нашей установки настроена так, что подсчитываются только гамма-кванты энергиями, соответствующими используемому источнику.*

## Измерение резонансного поглощения

*Необходимо измерить резонансное поглощение для четырёх образцов. Рекомендуется исследовать образцы в следующей последовательности: образец №1 (металлическое олово минимальной толщины), образец №4 ( $\text{SnO}_2$ ), затем образцы №2 и №3 (металлическое олово другой толщины). Параметры образцов указаны на столах. Переключение образца производится при неподвижном приводе.*

Ход поглотителя  $8.77 \pm 0.02$  мм

Время измерения - 20 сек.

Таблица положений и толщин поглотителей, находящихся в держателе:

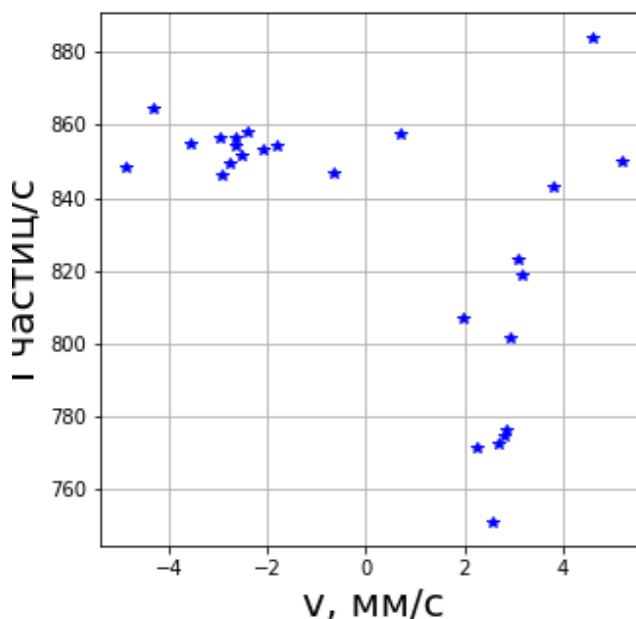
Положение держателя	1	2	3	4
Толщина поглотителя (мкм)	100 (Sn)	200 (Sn)	330 (Sn)	SnO <sub>2</sub>

Измерение фона разными образцами

Положение держателя	1	2	3	4
Количество частиц в секунду	58	93,5	86,9	84,4

### Первый образец

$v-$ , мм/с	$I-$ , частиц/с	$v+$ , мм/с	$I+$ , частиц/с
4.88	848.6	5.20	849.9
4.33	864.4	4.58	884.2
3.57	855.0	3.80	843.2
2.76	849.5	2.94	801.8
1.81	854.4	1.95	807.0
0.64	846.8	0.71	857.5
2.10	853.3	2.24	771.4
2.40	857.9	2.56	751.1
2.91	846.2	3.10	823.0
2.64	854.2	2.82	774.6
2.52	851.5	2.69	772.3
2.95	856.5	3.16	819.0
2.66	856.6	2.84	776.4



Амплитуда резонансного поглощения:

$$\epsilon = (11 \pm 2)\%$$

Химический сдвиг:

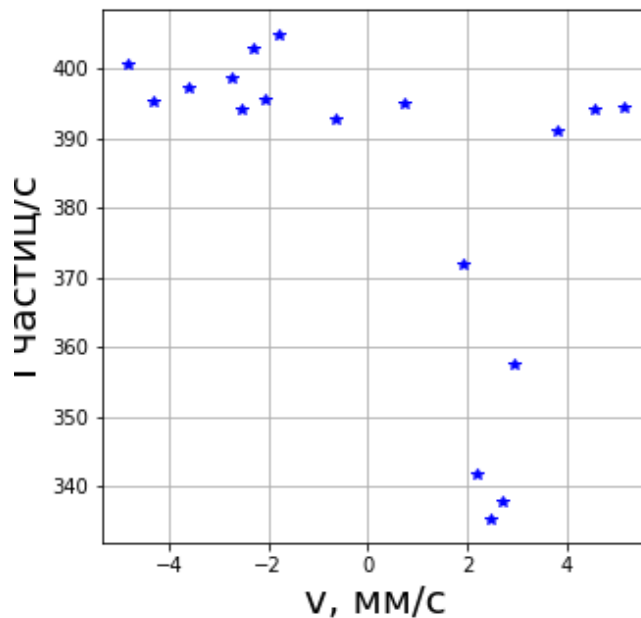
$$v = (2.4 \pm 0.1) \text{ мм/с}$$
$$E = (19 \pm 1) \cdot 10^{-8} \text{ эВ}$$

Ширина линии:

$$\Gamma = (1.4 \pm 0.2) \text{ мм/с} = (11 \pm 0.5) \cdot 10^{-8} \text{ эВ}$$

## Второй образец

$\nu-$ , мм/с	$I-$ , частиц/с	$\nu+$ , мм/с	$I+$ , частиц/с
4.83	400.6	5.16	394.4
4.30	395.3	4.56	394.2
3.59	397.1	3.81	391.1
2.73	398.5	2.93	357.5
1.80	404.9	1.93	372.0
0.64	392.6	0.73	394.8
2.30	402.7	2.47	335.4
2.53	394.0	2.69	337.9
2.06	395.5	2.21	341.8



Амплитуда резонансного поглощения:

$$\epsilon = (16 \pm 3)\%$$

Химический сдвиг:

$$\nu = (2.4 \pm 0.1) \text{ мм/с}$$

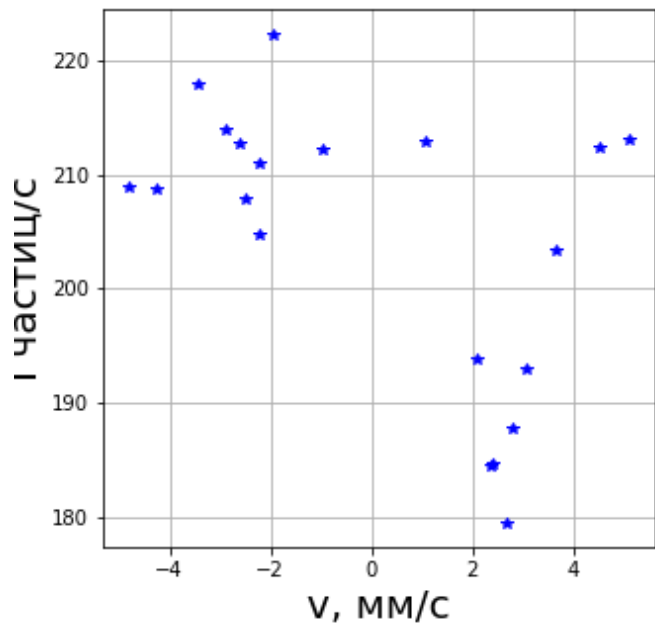
$$E = (19 \pm 1) \cdot 10^{-8} \text{ эВ}$$

Ширина линии:

$$\Gamma = (1.3 \pm 0.2) \text{ мм/с} = (11 \pm 0.5) \cdot 10^{-8} \text{ эВ}$$

## Третий образец

$\nu-$ , мм/с	$I-$ , частиц/с	$\nu+$ , мм/с	$I+$ , частиц/с
4.82	208.8	5.12	213.1
4.24	208.7	4.52	212.4
3.45	217.9	3.66	203.3
2.87	213.9	3.07	192.9
1.94	222.3	2.08	193.8
0.98	212.2	1.08	212.9
2.24	210.9	2.40	184.7
2.51	207.8	2.66	179.5
2.21	204.8	2.35	184.5
2.61	212.7	2.79	187.7



Амплитуда резонансного поглощения:

$$\epsilon = (17 \pm 2)\%$$

Химический сдвиг:

$$\nu = (2.4 \pm 0.1)\text{мм/с}$$

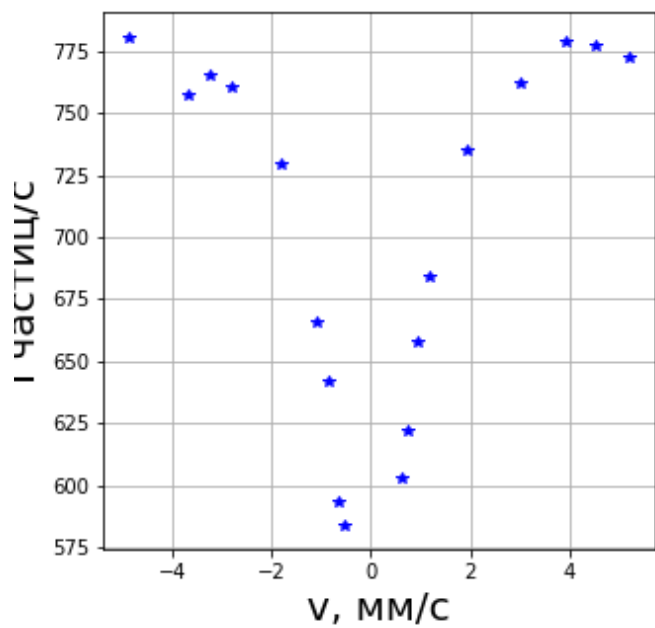
$$E = (19 \pm 1) \cdot 10^{-8} \text{эВ}$$

Ширина линии:

$$\Gamma = (1.4 \pm 0.3)\text{мм/с} = (11 \pm 0.5) \cdot 10^{-8} \text{эВ}$$

**Четвертый образец**

$v-, \text{ мм/с}$	$I-, \text{ частиц/с}$	$v+, \text{ мм/с}$	$I+, \text{ частиц/с}$
4.89	780.7	5.22	772.5
3.25	765.4	4.51	776.9
3.69	757.0	3.94	779.1
2.81	760.5	3.00	762.1
1.80	729.6	1.92	735.4
0.87	642.0	0.96	658.0
0.64	593.4	0.73	621.9
1.09	665.9	1.20	684.0
0.55	584.2	0.61	603.4



Амплитуда резонансного поглощения:

$$\epsilon = (26 \pm 2)\%$$

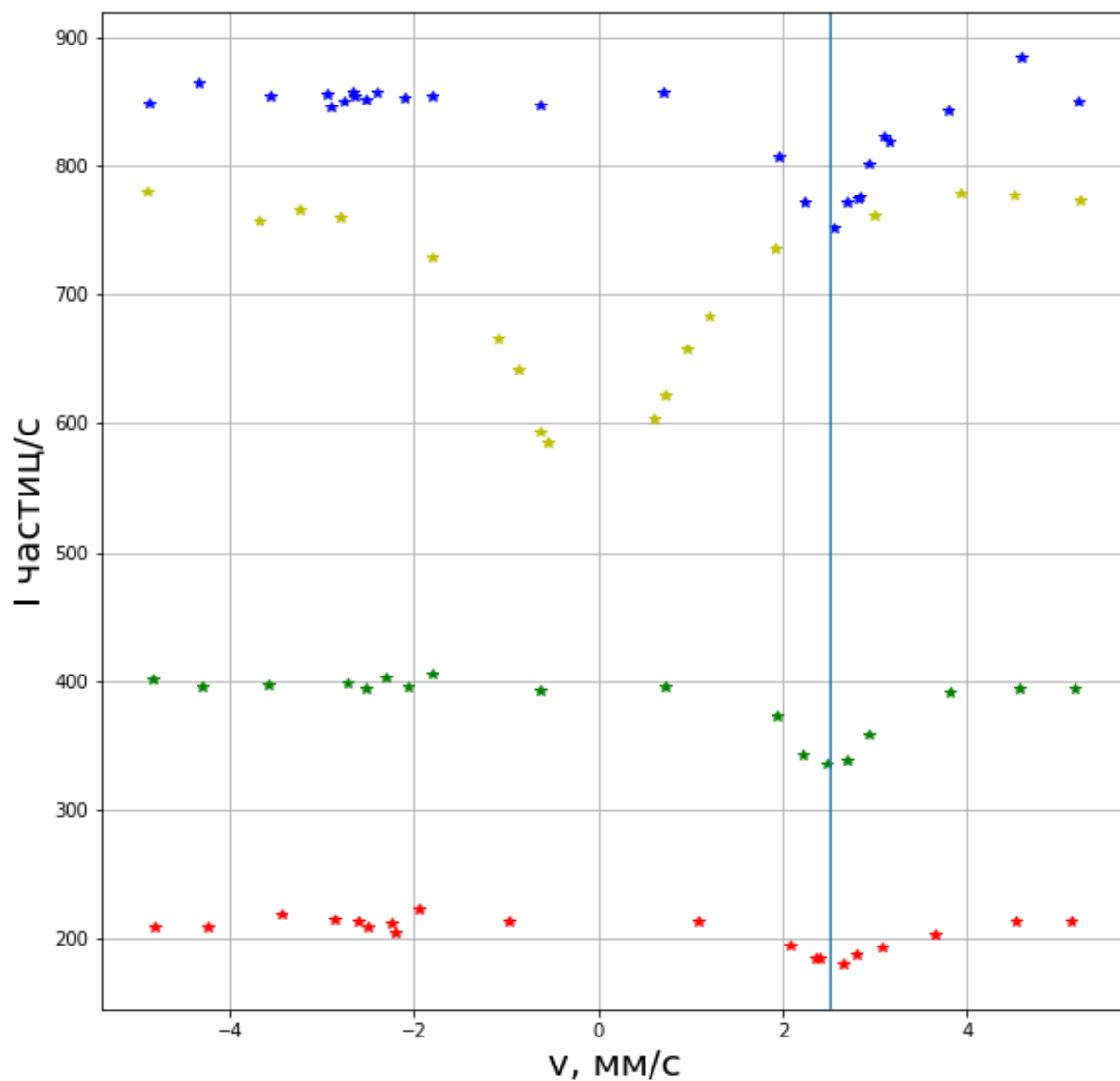
Химический сдвиг = 0.

Ширина линии:

$$\Gamma = (2.2 \pm 0.2)\text{мм/с} = (17 \pm 0.5) \cdot 10^{-8}\text{эВ}$$

Для сравнения изобразим все на одном графике.





$$\Gamma_{\text{теор}} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ эВ}$$

## Вывод

Изучили резонансное поглощение гамма-квантов в кристаллах олова разной толщины и в образце  $\text{SnO}_2$ . При увеличении толщины поглотителя ширина линии поглощения уменьшается, можно более точно определить максимум поглощения. Для кристалла оксида олова максимум поглощения смещен. Это происходит из-за влияние внутренних магнитный полей электронных оболочек атомов соединения.