

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Лабораторная работа 6.6.1  
Исследование резонансного поглощения  
 $\gamma$ -квантов (эффект Мессбауэра)

Салтыкова Дарья

Б04-105

# 1 Введение

**Цель работы:** с помощью метода доплеровского сдвига мессбауэровской линии поглощения исследовать резонансное поглощение  $\gamma$ -лучей, испускаемых ядрами олова  $^{119}\text{Sn}$  в соединении  $\text{BaSnO}_3$  при комнатной температуре. Определить положение максимума резонансного поглощения, его величину, а также экспериментальную ширину линии  $\Gamma_{\text{экс}}$ . Оценить время жизни возбужденного состояния ядра  $^{119}\text{Sn}$ .

## 2 Теоретические сведения

При испускании или поглощении  $\gamma$ -кванта ядром, находящимся в узле кристаллической решётки, могут происходить два процесса:

1. Изменение колебательного состояния решётки, т.е. возбуждение фононов.
2. Передача импульса  $\gamma$ -кванта решётке как целому, без изменения её колебательного состояния, т.е. упругое испускание и поглощение  $\gamma$ -кванта.

С понижением температуры вероятность упругих процессов возрастает.

Эффект Мессбауэра - явление излучения и поглощения  $\gamma$ -квантов в твёрдых телах без рождения фононов. Мессбауэровский переход осуществляется в том случае, если колебательное состояние решётки не изменяется и  $\gamma$ -квант получает всю энергию перехода.

Проведём оценки для свободного ядра. Ядро, испускающее  $\gamma$ -квант, приобретает импульс отдачи, равный по абсолютной величине импульсу  $\gamma$ -кванта. Если ядро свободно и изначально покоится, энергия отдачи  $R$  равна

$$R = \frac{p^2}{2M_n} = \frac{E_\gamma^2}{2M_n c^2}.$$

В качестве примера рассмотрим ядро олова  $\text{Sn-119}$ , его расстояние между основным и первым возбуждённым уровнями составляет  $E_0 = 23.8$  кэВ, тогда согласно закону сохранения энергии  $E_0 = E_\gamma + R$  и принимая  $R \ll E_\gamma$ , получаем

$$R = \frac{E_\gamma^2}{2M_n c^2} \approx \frac{E_0^2}{2M_n c^2} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{eV}.$$

Возбуждённые уровни ядра имеют конечную ширину. Отложим по оси абсцисс энергию ядра, по оси ординат – вероятность найти ядро с данной энергией. Ширина кривой, измеренная на половине высоты, называется естественной шириной линии  $\Gamma$ . Она связана со средним временем жизни возбуждённого состояния ядра соотношением неопределённостей:

$$\Gamma \tau \approx \hbar.$$

Ширина линий испускания и поглощения складывается из собственной ширины линии и доплеровской ширины, которая играет основную роль и связана с тепловым движением атомов. Доплеровский сдвиг уровней в нерелятивистском случае будет рассчитываться по формуле

$$D = \frac{v}{c} E_\gamma \approx \frac{v}{c} E_0.$$

На одну степень свободы ядра (движение к поглотителю или от него) приходится энергия, равная  $k_B T/2$ . Приравнивая это значение к кинетической энергии ядра  $M_n v^2/2$ , получаем значение скорости

$$v = \sqrt{\frac{k_B T}{M_n}}.$$

Принимая во внимание энергию отдачи, значение доплеровской ширины линии испускания  $\text{Sn-119}$  при комнатной температуре равно

$$D = \sqrt{2Rk_B T} = 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ eV}.$$

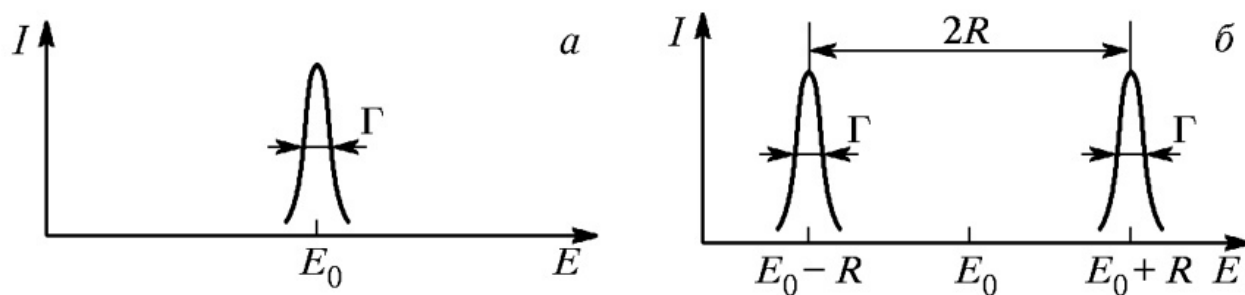


Рис. 1: Энергетическое распределение, характеризующее возбужденное состояние ядра (а), и сдвиг линий испускания и поглощения из-за отдачи при свободных ядрах (б)

### 3 Экспериментальная установка

В ходе измерения источник остаётся неподвижен, а образец поглотителя совершает равномерное движение с контролируемой скоростью. Доплеровский сдвиг изменяет частоту гамма-квантов в системе покоя поглотителя, что позволяет изучить зависимость поглощения в образце от энергии гамма-кванта. Детектируется интенсивность  $\gamma$ -излучения, прошедшего через образец поглотителя. При совпадении энергии гамма-кванта с разницей энергий между основным состоянием и первым возбуждённым происходит резонансное поглощения гамма-квантов и интенсивность прошедшего излучения уменьшается. Измерительная аппаратура (сцинтилятор с ФЭУ) оптимизированы под детектирование квантов с энергией 23.8 кэВ, электронная часть схемы измерения оптимизируется под обнаружение этих квантов в ходе работы. Принципиальная схема установки представлена на рис. 2.

## 4 Ход работы

### 4.1 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  $^{119}\text{Sn}$ .*

Проведем измерения при значениях нижнего порога напряжения от 0 до 9,5В (Табл. 1, рис. 3).

Промежуток измерения, В	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Интенсивность, счет	0	74,8	17,6	25,6	76,8	135,6	178,8	212,8	244,2	313,2
Промежуток измерения, В	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
Интенсивность, счет	392,4	424,2	371,2	283,6	186,2	81,6	34,2	15,8	8	3,6

Таблица 1: Измерение спектра источника излучения

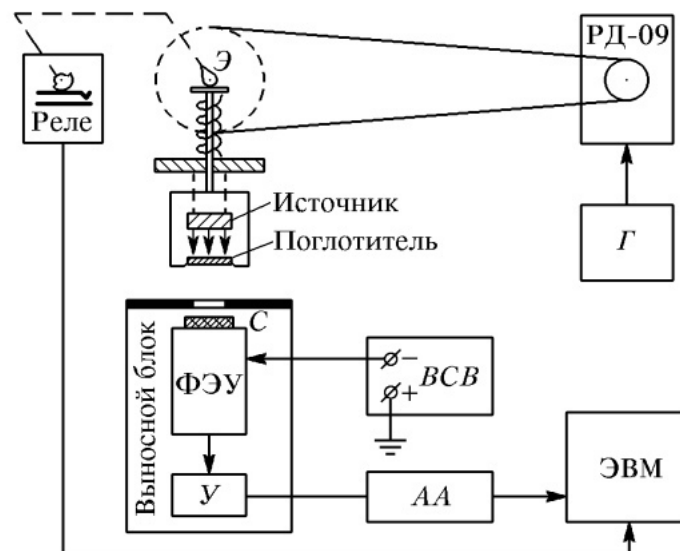


Рис. 2: Блок-схема установки для наблюдения эффекта Мессбауэра: Э – эксцентрик, С – сцинтилляционный кристалл NaI(Tl), У – усилитель, АА – одноканальный амплитудный анализатор, ЭВМ – персональный компьютер, Г – генератор для питания двигателя, РД-09 – двигатель с редуктором, ВСВ – высоковольтный стабилизированный выпрямитель

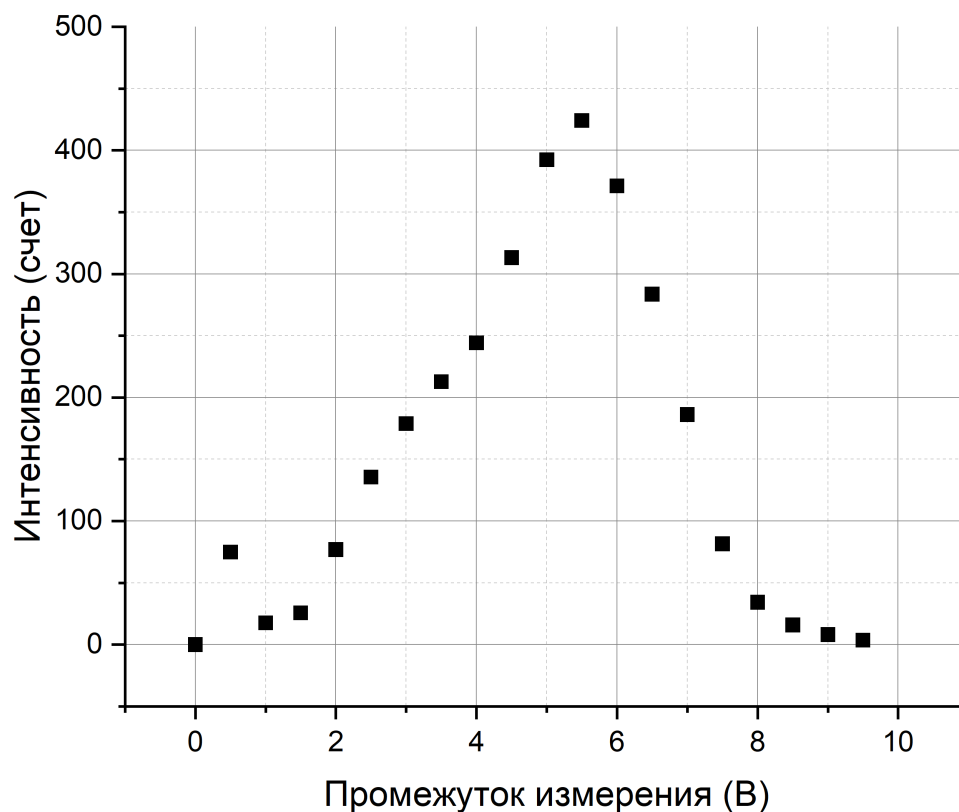


Рис. 3: Спектр источника излучения

Измеренный спектр имеет колоколообразный максимум на правых 2/3 спектра - от 5 до 6В, и с фоновым сигналом на низких напряжениях. Колоколообразный максимум представляет собой аппаратно уширенную линию гамма-квантов с энергией 23.8 кэВ.

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

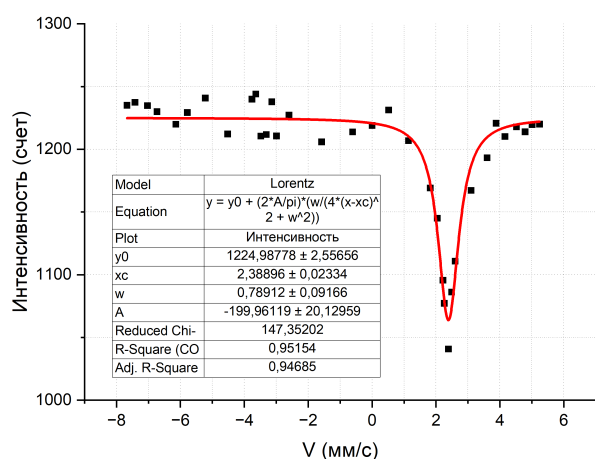
## 4.2 Измерение резонансного поглощения

Измерим резонансное поглощение для четырёх образцов. Исследуем образцы в следующей последовательности: образец №1 (металлическое олово минимальной толщины) - толщина 90 мкм, затем образцы №2 - толщина 180 мкм, и №3 - толщина 310 мкм (металлическое олово другой толщины), образец №4 ( $\text{SnO}_2$ ).

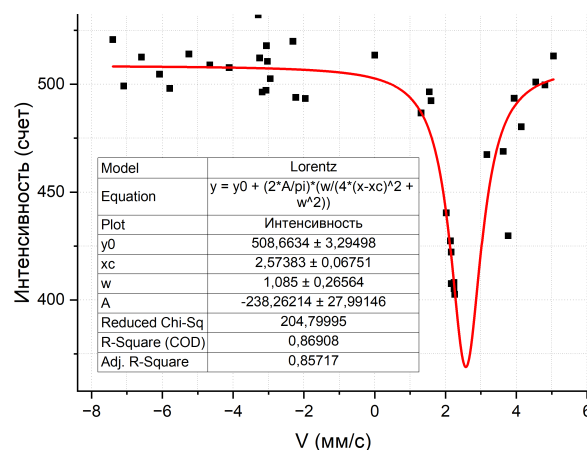
Для измерения фона установим время накопления 20 секунд. Полученное значение фона: 2,05 1/сек.

Проведем серию измерений при разных скоростях движения поглотителя, чтобы получить достаточно подробную запись линии поглощения.

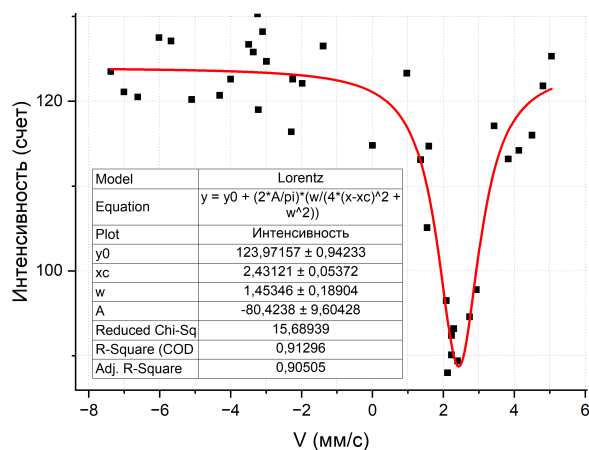
Результаты измерений представлены на графиках (Рис. 4).



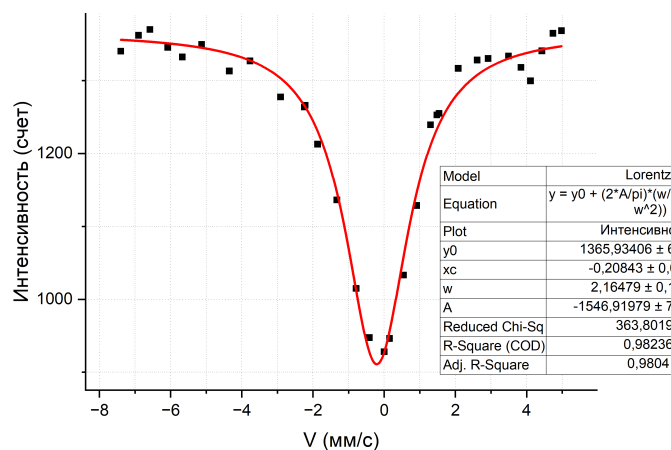
Поглотитель 1



Поглотитель 2



Поглотитель 3



Поглотитель 4

Рис. 4: Спектры резонансного поглощения

## 5 Обработка результатов

Формула для вычисления величины амплитуды эффекта Мессбауэра:

$$\varepsilon(v) = \frac{N(\infty) - N(v)}{N(\infty) - N_{\Phi}},$$

где  $N(\infty)$  – скорость счёта квантов при достаточно большой скорости,  $N(v)$  – скорость счёта квантов, прошедших через поглотитель при некоторой скорости,  $N_{\Phi}$  – скорость счёта радиоактивного фона (вычитается программой автоматически).

Величина химического сдвига, выраженная в эВ:

$$\Delta E = E \frac{v}{c},$$

где  $E$  – энергия гамма-кванта, излучаемого веществом (в нашем случае  $E = 23.8$  кэВ).

Экспериментальная ширина линии  $\Gamma_e$ , выраженная в эВ:

$$\Gamma_e = 2\Gamma = E \frac{v_{\Gamma}}{c}.$$

	Амплитуда, %	Хим. сдвиг, эВ	Ширина линии, эВ
Поглотитель 1	13,2	$1,89 \cdot 10^{-7}$	$6,27 \cdot 10^{-8}$
Поглотитель 2	27,6	$2,04 \cdot 10^{-7}$	$8,61 \cdot 10^{-8}$
Поглотитель 3	28,9	$1,93 \cdot 10^{-7}$	$1,15 \cdot 10^{-7}$
Поглотитель 4	33,4	$1,67 \cdot 10^{-8}$	$1,71 \cdot 10^{-7}$

Таблица 2: Амплитуда резонансного поглощения в максимуме, величина химического сдвига и экспериментальная ширина линии  $\Gamma$ .

## 6 Вывод

В ходе работы с помощью метода доплеровского сдвига исследовалось резонансное поглощение  $\gamma$ -лучей, испускаемых ядрами олова Sn-119 при комнатной температуре. Эксперимент был проведен для образцов различной толщины. В спектрах резонансного поглощения (Рис. 4) наблюдается уширение при увеличении толщины образца. Отметим также отсутствие химического сдвига у образца №4 ( $\text{SnO}_2$ ).

Были найдены амплитуда резонансного поглощения в максимуме, величина химического сдвига и ширина линии (Табл. 2). Табличное значение естественной ширины спектральной линии ядра Sn-119 составляет  $3 \cdot 10^{-8}$  эВ, что совпадает по порядку величины с экспериментально полученными значениями. Различие же можно объяснить значительным влиянием доплеровского уширения при комнатной температуре.