

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 5.6.1
**Исследование резонансного поглощения γ -квантов
(Эффект Мессбауэра).**

Серебренников Даниил
Группа Б02-826м

Долгопрудный, 2020 г.

Цель работы: с помощью метода доплеровского доплеровского сдвига мессбауэровской линии поглощения исследуется резонансное поглощение γ -лучей, испускаемых ядрами олова ^{119}Sn в соединении BaSnO_3 при комнатной температуре. Определяется положение максимума резонансного поглощения, его величина, а также экспериментальная ширина линии Γ . Оценивается время жизни возбужденного состояния ядра ^{119}Sn .

1 Теоретическая часть

Переходы ядра между соседними состояниями сопровождаются излучением или поглощением γ -квантов. Энергия кванта равна разности между энергией перехода между уровнями и энергией, полученной атомом при испускании кванта. Из-за этого возникает разница между линиями поглощения и испускания. Условие поглощения можно переписать в виде:

$$2R \leq \Gamma, \quad (1)$$

где $R = E_\gamma^2/(2M_\gamma c^2)$ – половина расщепления уровней, Γ – естественная ширина линии. Как правило последняя величина оказывается на порядки меньше первой, поэтому скомпенсировать расщепление можно с помощью эффекта Доплера – приведением в движение поглотителя (или излучателя). В таком случае нам необходима скорость относительного движения:

$$V = c \frac{2R}{E_\gamma}. \quad (2)$$

В нашем случае излучатель есть олово ^{119}Sn , поэтому скорость должна быть порядка 60 м/с.

Также в рассмотрение необходимо включить доплеровскую ширину линии, которая дается нерелятивистской формулой:

$$D = \frac{v}{c} E_\gamma \approx E_0. \quad (3)$$

Величину скорости можно оценить, приравнявая кинетическую энергию к энергии теплового движения. Непосредственные вычисления приводят к следующему выражению:

$$D = 2\sqrt{Rk_B T}. \quad (4)$$

Если же ядро оказывается в кристаллической решетке, то в случае, когда энергия связи больше или порядка энергии поглощения ($E_\gamma < 1 \text{ МэВ}$), то энергии фотона недостаточно, чтобы вырваться из решетки, поэтому он остается в ней, а остаточный импульс распространяется по всей решетке в виде звуковой волны – излучается фотон. Процесс такой генерации фононов происходит тем сложнее, чем меньше фононов имеется, то есть в области низких температур становится вероятно наблюдение безфононного поглощения – эффекта Мессбауэра.

Если излучатель и поглотитель находятся в одинаковых химических элементах при одинаковой температуре, то их линии полностью перекрываются, и приводить в движение ничего не требуется. Когда химические элементы разные, то начинает играть роль взаимодействие ядра с окружающими его электронами. Это взаимодействие вызывает сдвиг линии, который называется химическим сдвигом. Обычно определяется относительная амплитуда эффекта:

$$\varepsilon_v = \frac{N(\infty) - N(v)}{N(\infty) - N_0}, \quad (5)$$

где $N(\infty)$ – значение счета/с на «крыльях» кривой, N_0 – значение фона.

2 Экспериментальная установка

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Поглотителем служит оловянная фольга (или соединение, содержащее олово). Поглотитель укреплен в рамке, которая приводится в движение кулачковым механизмом. Форма эксцентрика выбрана так, чтобы движение поглотителя происходило с постоянной скоростью (при равномерном вращении эксцентрика).

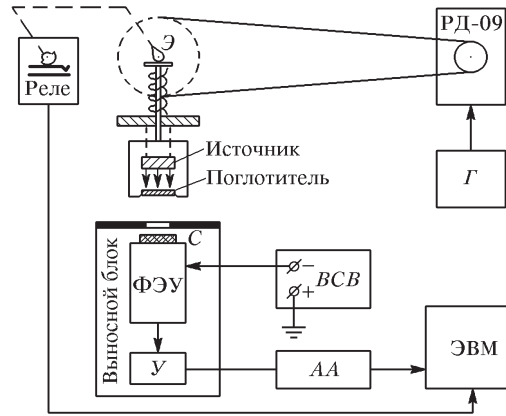


Рис. 1: Блок-схема установки для наблюдения эффекта Мессбауэра.

В данной работе в качестве источника γ -квантов используется радиоактивный изотоп олова ^{119m}Sn в виде соединения BaSnO_3 . Изомер ^{119m}Sn живет 250 дней и распадается с излучением γ -квантов с энергией 65 кэВ.

3 Экспериментальные данные

Здесь должны были быть таблицы с результатами измерений... но, к сожалению, фотографии были удалены Жуковым Аркадием с его мобильного телефона ☹.

4 Обработка результатов

4.1 Спектр источника

ЭВМ был настроен на пик фотопоглощения гамма-квантов с энергией 23,8 кэВ. Спектр представлен на рисунке ниже.

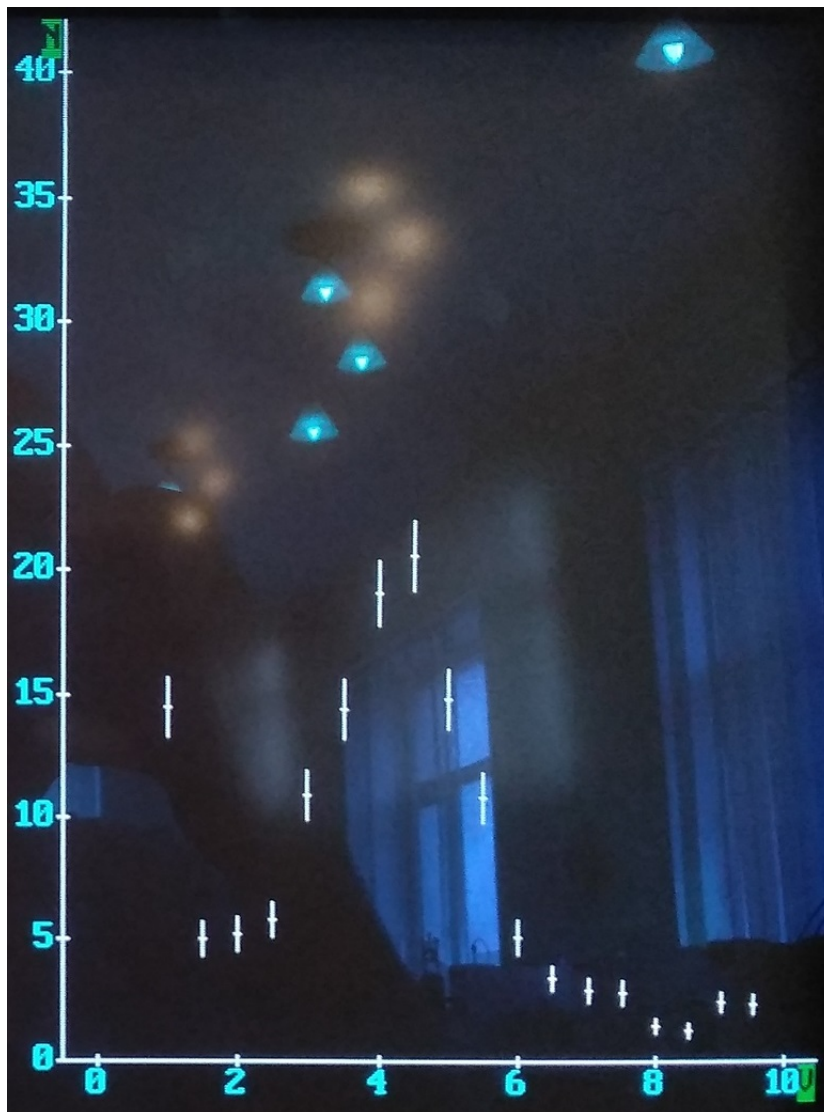


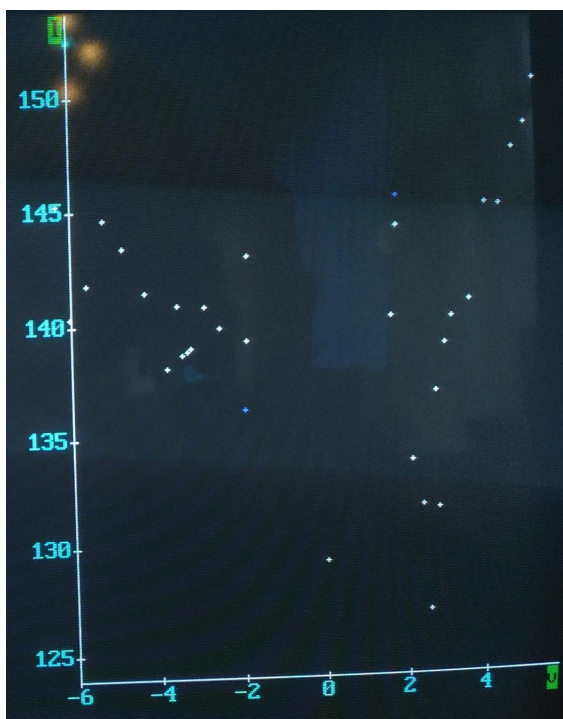
Рис. 2: Спектр излучения источника.

4.2 Резонансное поглощение

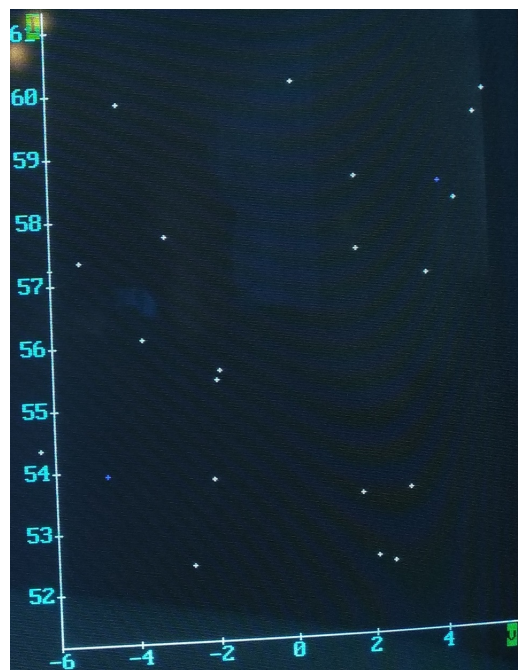
Непосредственный анализ графиков, представленных на рисунках [3а](#), [3б](#), [4а](#), [4б](#), приводит к следующим результатам:

Таблица 1: Результаты вычислений химмического сдвига и ширины линии.

Образец №	1	2	3	4
ε	$0,131 \pm 0,001$	$0,128 \pm 0,001$	$0,268 \pm 0,001$	$0,200 \pm 0,001$
Γ , мм/с	$1,1 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$
Γ , нэВ	87 ± 8	103 ± 8	111 ± 8	166 ± 8

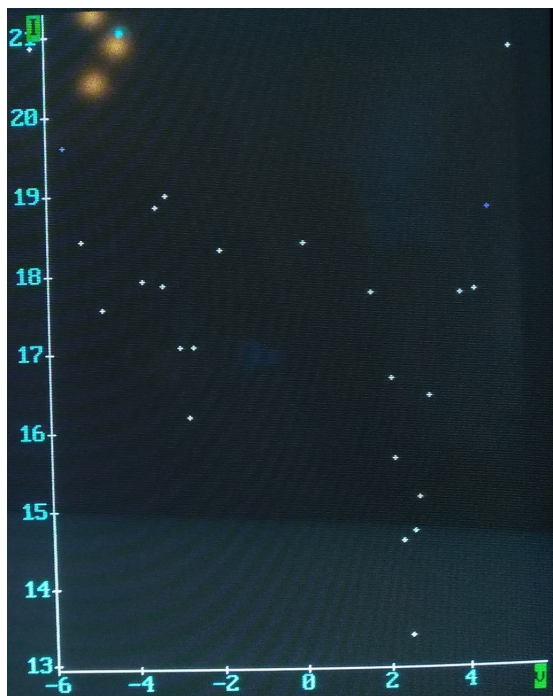


(a)

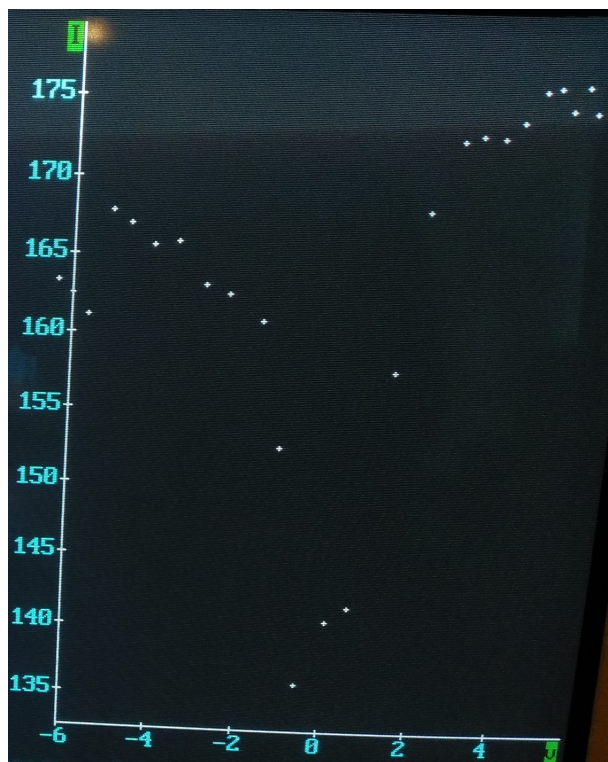


(b)

Рис. 3: Фотографии спектров поглощения образцов 1 и 2 соответственно.



(a)



(b)

Рис. 4: Фотографии спектров поглощения образцов 3 и 4 соответственно.

5 Обсуждение результатов и выводы

В настоящей лабораторной работе был снят спектр источника, а также спектры поглощения для различных поглотителей. Нам удалось наблюдать уширение линии примерно в два раза для первых трех поглотителей. Уширение вызвано, например, самопоглощением или аппаратным уширением – колебаниями и вибрациями аппаратуры, которые создают доплеровское уширение.

Отметим, что все сигналы были очень слабы, поэтому аппаратные колебания создавали существенный шум, сделавший один из участков каждого графика непригодным для анализа: область отрицательных скоростей. Это можно объяснить тем, что образцы в установке давно не обновлялись. Действительно, период полураспада изомера олова ^{119m}Sn составляет 250 дней. То есть уменьшение массы за год есть:

$$\frac{m}{m_0} = 2^{-365/250} \approx 0,364$$

Как было проверено, образцы не менялись с 2014-го года. То есть уже примерно 6 лет происходит распад олова. Результирующее уменьшение массы:

$$\frac{m}{m_0} = 0,364^6 \approx 0,0023,$$

то есть масса образца уменьшилась порядка в 433 раза. Этим и объясняется слабый сигнал источника.