

Лабораторная работа 6.1

«Исследование резонансного поглощения γ -квантов (Эффект Мессбауэра)».

Жуков Аркадий 826 группа.

Теория

Переходы ядра между состояниями сопровождается излучением и поглощением γ -квантов. Энергия кванта равна разности между энергией перехода между уровнями и энергией, полученной атомом при испускании кванта (импульс в направлении, противоположном направлению вылета частицы). 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 мы пытаемся скомпенсировать расщепление с помощью эффекта Доплера — приведением в движение поглотителя (или излучателя — это не существенно). 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 требуется порядка $V \approx 60$ м/с.

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

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

Величину скорости можно оценить, приравнявая кинетическую энергию к энергии теплового движения. Опуская выкладки, получается следующее выражение для ширины:

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

Если же теперь ядро оказывается в кристаллической решетке, то в случае, когда энергия связи больше или порядка энергии поглощения ($E_\gamma < 1$ МэВ), то энергии фотона недостаточно, чтобы вырваться из решетки, поэтому он остается в ней, а остаточный импульс распространяется по всей решетки в виде звуковой волны — излучается фонон. Процесс такой генерации фононов проходит 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.

I Установка

Схема установки приведена ниже:

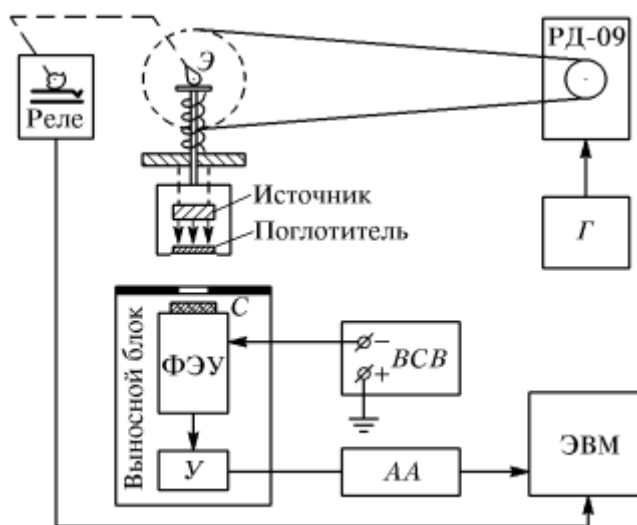


Рис. 1: Блок-схема установки для исследования эффекта Мессбауэра: Э — эксцентрик, С — сцинтиляционный счетчик, С — сцинтиляционный кристалл, У — усилитель, АА — одноканальный амплитудный анализатор, ЭВМ — персональный компьютер, Г — генератор для питания двигателя, РД-09 — двигатель с редуктором, ВСУ — высоковольтный стабилизированный выпрямитель.

II Методика измерений

С помощью генератора выставляется скорость вращения ленты. Правильным выбором емкости на редукторе лента приводится в движение. На экране ЭВМ выводятся все данные, кроме частоты. При измерении спектра поглотитель убран, скорость выставлена нулевая.

III Обработка

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

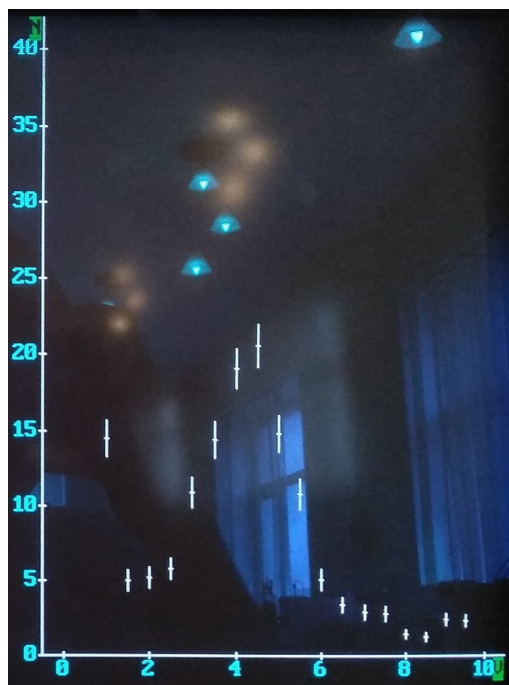


Рис. 2: Фотография графика спектра.

III.1 Поглотитель 1.

Для поглотителя 1 получился следующий спектр:

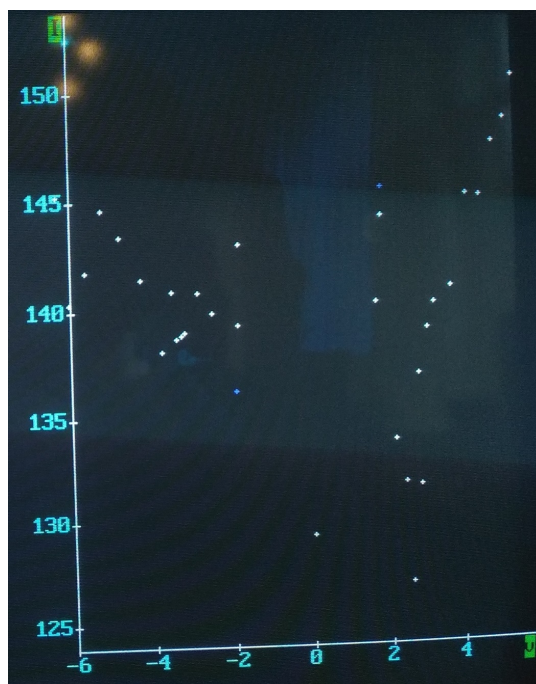


Рис. 3: Фотография графика спектра поглощения.

Сразу же бросается в глаза совершенно случайное распределение точек для отрицательных скоростей. Это вероятно связано слабостью сигнала. Данные точки были выброшены из рассмотрения. Химический сдвиг получился:

$$\varepsilon = 0,131 \pm 0,001. \quad (6)$$

Естественная ширина линии:

$$\Gamma = 1,1 \pm 0,1 \text{ мм/с} \rightarrow \Gamma = (8,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-8} \text{ эВ.} \quad (7)$$

III.2 Поглотитель 2.

Для поглотителя 2 получился следующий спектр:

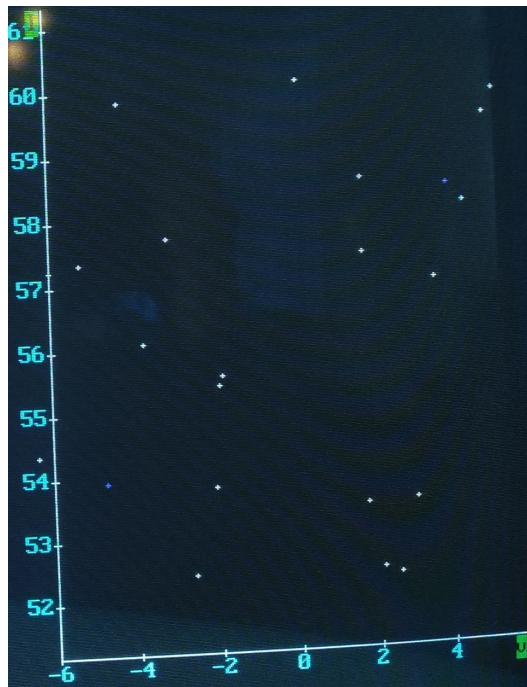


Рис. 4: Фотография графика спектра поглощения.

Аналогично точки справа были выброшены из рассмотрения. Химический сдвиг получился:

$$\varepsilon = 0,128 \pm 0,001. \quad (8)$$

Естественная ширина линии:

$$\Gamma = 1,3 \pm 0,1 \text{ мм/с} \rightarrow \Gamma = (10,3 \pm 0,8) \cdot 10^{-8} \text{ эВ.} \quad (9)$$

III.3 Поглотитель 3.

Для поглотителя 3 получился следующий спектр:

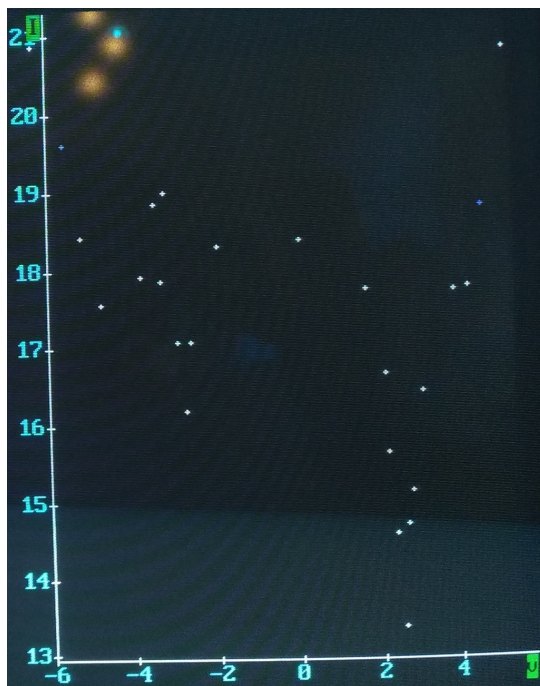


Рис. 5: Фотография графика спектра поглощения.

Точки справа были выброшены из рассмотрения. Химический сдвиг получился:

$$\varepsilon = 0,268 \pm 0,001. \quad (10)$$

Естественная ширина линии:

$$\Gamma = 1,4 \pm 0,1 \text{ мм/с} \rightarrow \Gamma = (11,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-8} \text{ эВ}. \quad (11)$$

III.4 Поглотитель 4.

Для поглотителя 4 получился следующий спектр:

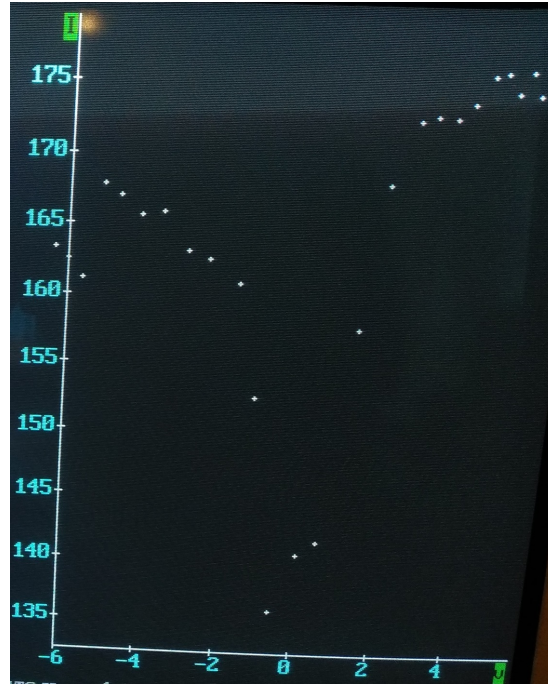


Рис. 6: Фотография графика спектра поглощения.

Химический сдвиг получился:

$$\varepsilon = 0,200 \pm 0,001. \quad (12)$$

Естественная ширина линии:

$$\Gamma = 2,1 \pm 0,1 \text{ мм/с} \rightarrow \Gamma = (16,6 \pm 0,8) \cdot 10^{-8} \text{ эВ}. \quad (13)$$

Вывод. Был снят спектр источника, а так же спектры поглощения для разных поглотителей. Нам удалось пронаблюдать уширение линии примерно в два раза для первых трех поглотителей, которое вызвано, например, самопоглощением и аппаратным уширением — колебаниями и вибрациями аппаратуры, которые создают доплеровское уширение. Все сигналы были очень слабы, поэтому аппаратные колебания создали существенный шум, сделавший один из участков графика непригодным для анализа. Можно объяснить это тем, что установку пора менять: период полураспада изомера олова ^{119m}Sn составляет 250 дней. То есть уменьшение массы за год есть:

$$\frac{m}{m_0} = 2^{-\frac{365}{250}} \approx 0,364. \quad (14)$$

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

$$\frac{m}{m_0} = 0,364^6 \approx 0,0023. \quad (15)$$

То есть масса образца уменьшилась примерно в 433 раза. Этим и объясняется слабый сигнал.