

5.6.1. Эффект Мёссбауэра

Стренадко Виктория

Цель работы: С помощью метода доплеровского сдвига мессбауэровской линии поглощения исследовать резонансное поглощение γ -лучей, испускаемых ядрами олова ^{119}Sn в соединении BaSnO_3 при комнатной температуре. Необходимо определить положение максимума резонансного поглощения, его величину, а также экспериментальную ширину линии $\Gamma_{\text{экс}}$, оценить время жизни возбужденного состояния ядра ^{119}Sn .

Теоретическая часть

Нуклоны в атомном ядре могут находиться на различных дискретных энергетических уровнях. Самый нижний из уровней называется основным, остальные называются возбужденными. Ядра, находящиеся в возбужденном состоянии, могут переходить на более низкие энергетические уровни. Так возникает γ -излучение.

Отложим по оси абсцисс энергию ядра, а по оси ординат — вероятность найти ядро в состоянии с данной энергией. Ширина кривой, измеренная на половине высоты, называется естественной шириной линии Γ . Она связана со средним временем жизни τ соотношением неопределенностей.

$$\Gamma\tau \simeq \hbar \quad (1)$$

Ядро, которое испускает γ -квант, приобретает импульс отдачи, равный по абсолютной величине импульсу γ -кванта. Если ядро свободно и первоначально покоится, то энергия отдачи равна

$$R = \frac{p^2}{M_{\text{core}}} = \frac{E_\gamma^2}{2M_{\text{core}}c^2} \simeq \frac{E_0^2}{2M_{\text{core}}c^2} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{эВ} \quad (2)$$

Резонансное поглощение возможно, когда

$$2R \leq \Gamma \quad (3)$$

Вероятность эффекта Мёссбауэра определяется выражением

$$f = \exp(-4\pi^2(u^2)/\lambda^2) \quad (4)$$

где (u^2) — среднеквадратичное смещение ядер в процессе тепловых колебаний решетки. Испускание и поглощение γ -квантов в твердых телах без рождения фононов носит название эффекта Мёссбауэра.

Интенсивность проходящего через поглотитель излучения уменьшается как

$$\exp(-n_e\sigma_e)\exp[-nf\sigma(E)] \quad (5)$$

Случай резонансного поглощения имеет лоренцовскую форму кривой:

$$\sigma(E) \propto \frac{(\frac{\Gamma}{2})^2}{(E - E_0)^2 + (\frac{\Gamma}{2})^2} \quad (6)$$

Величина амплитуды эыыекта определяется

$$\varepsilon(v) = \frac{N(\text{inf}) - N(v)}{N(\text{inf}) - N_\Phi} \quad (7)$$

Экспериментальная установка

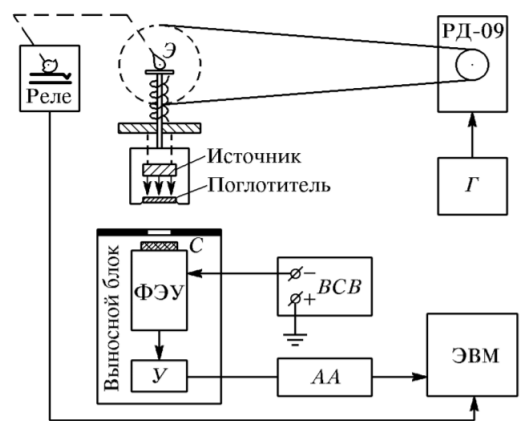
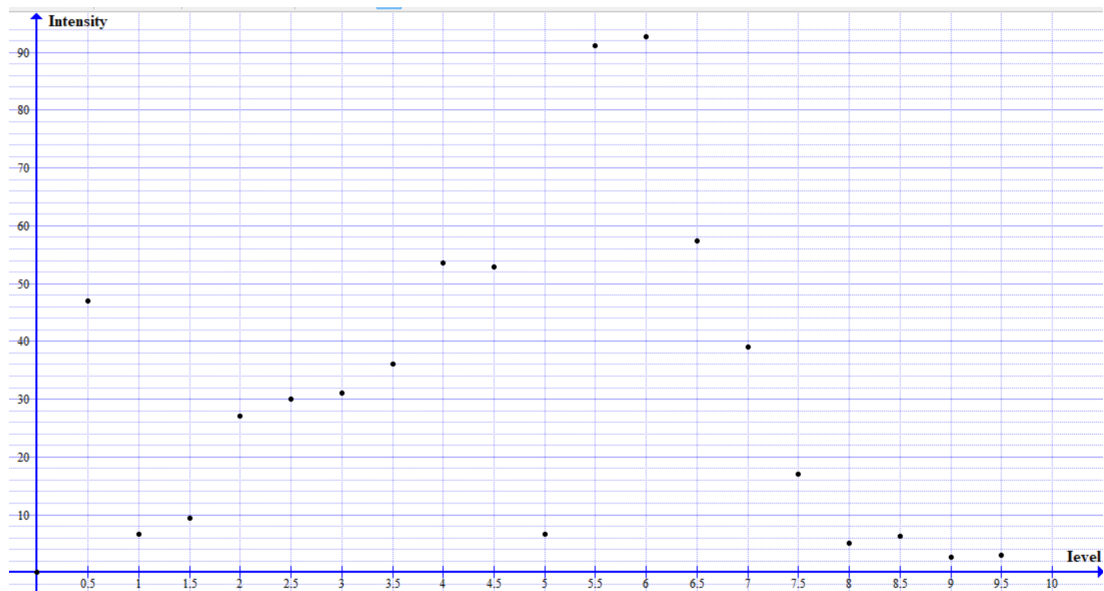


Рис. 4. Блок-схема установки для наблюдения эффекта Мессбауэра: Э — эксцентрик, С — сцинтиляционный кристалл NaI(Tl), У — усилитель, АА — одноканальный амплитудный анализатор, ЭВМ — персональный компьютер, Г — генератор для питания двигателя, РД-09 — двигатель с редуктором, ВСВ — высоковольтный стабилизированный выпрямитель

Ход работы:

- 1. Включили установку
- 2. Измерение спектра источника

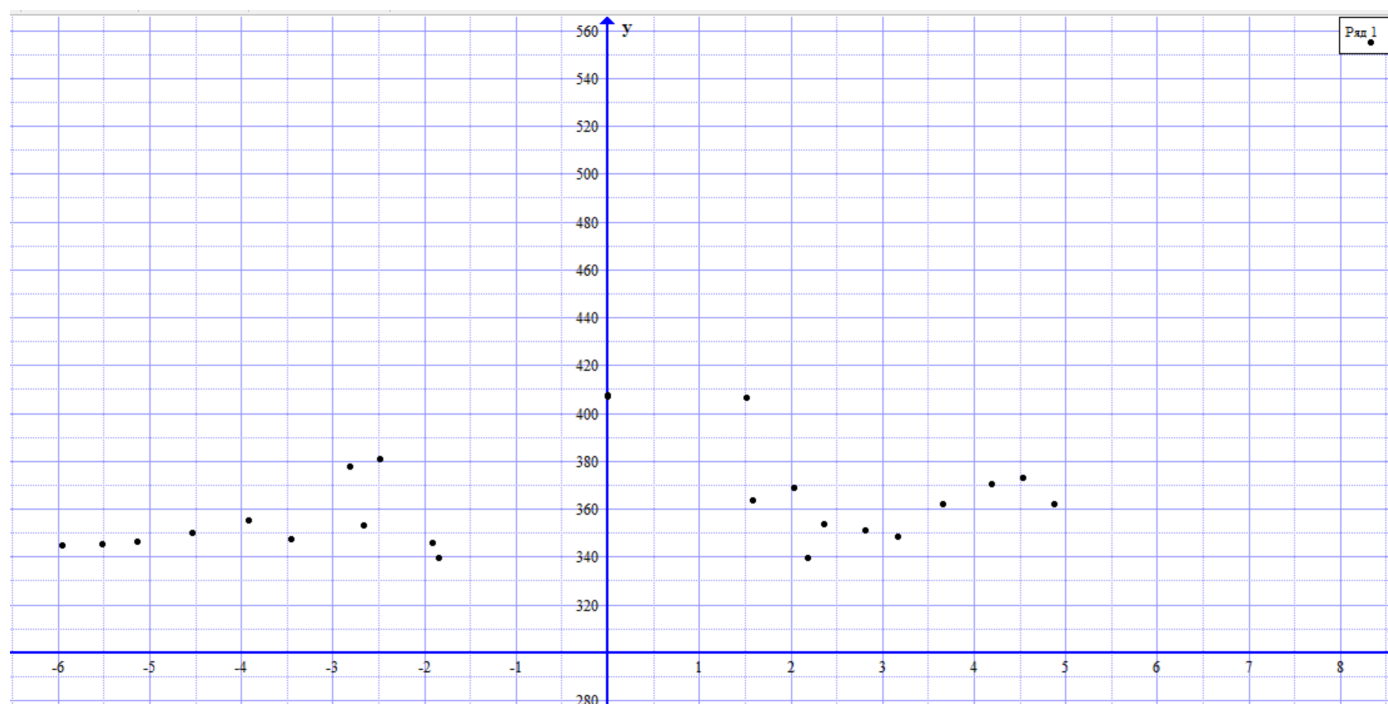
Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Low_level	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
Intensity	0	47	6,6	9,4	27	30	31	36	53,6	52,8	6,6	91,2	92,8	57,4	39	17	5	6,2	2,6	3



3. Измерение резонансного поглощения

образец1	частота	U-	I-	U+	I+	Фон = 6,2	образец2	частота	U-	I-	U+	I+	Фон=9,9
1	0	0	407,3	0	407,6		1	0	0	260,6	0	260,6	
2	146	5,96	345,1	4,87	362,2		2	148	6,01	224,1	4,92	223,3	
3	133	5,52	345,4	4,53	372,9		3	134	5,58	230,1	4,6	228,4	
4	122	5,14	346,5	4,19	370,7		4	120	4,97	229,7	4,1	232,8	
5	108	4,53	350	3,66	362,1		5	108	4,41	223,7	3,59	225,3	
6	96	3,92	355,4	3,17	348,6		6	98	4,02	235,1	3,36	228,2	
7	86	3,45	347,7	2,81	351,2		7	88	3,49	217,2	2,92	202,8	
8	72	2,67	353	2,19	339,7		8	82	3,24	229,4	2,68	193,7	
9	63	1,91	346,1	1,58	363,6		9	73	2,67	225,9	2,24	198,9	
10	55	1,84	339,5	1,52	406,7		10	62	1,9	221,8	1,58	217,5	
11	77	2,81	377,7	2,36	353,6		11	55	1,84	227,3	1,54	221,2	
12	69	2,48	380,7	2,03	369								

образец3	частота	U-	I-	U+	I+	Фон=6	образец4	частота	U-	I-	U+	I+	Фон=5,75
1	0	0	68,2	0	68,2		1	0	0	465,4	0	465,4	
2	147	5,97	72,2	4,96	70,1		2	153	6,12	688,8	5,08	709,9	
3	136	5,61	71,2	4,55	64,6		3	143	5,07	700,9	4,81	706,7	
4	124	5,13	78,1	4,27	69		4	130	5,41	701,2	4,44	721,9	
5	114	4,75	71,1	3,88	64,9		5	120	4,97	673	4,09	708	
6	106	4,42	60,7	3,58	66		6	107	4,44	695,9	3,67	713	
7	95	3,9	64,8	3,25	62,6		7	94	3,84	821,2	3,17	719,8	
8	86	3,41	66,6	2,84	53,5		8	85	3,27	727,3	2,75	806,7	
9	75	2,76	66,8	2,26	49,6		9	70	2,45	684,8	2,01	706,9	
10	60	1,85	65,8	1,52	67,9		10	59	1,86	664	1,53	690,8	
11	66	2,28	67,1	1,88	56,7		11	52	1,86	655,3	1,53	691,3 MIN	
							12	38	1,39	637,8	1,14	646,1	
							13	22	0,66	566,3	0,56	593,7	



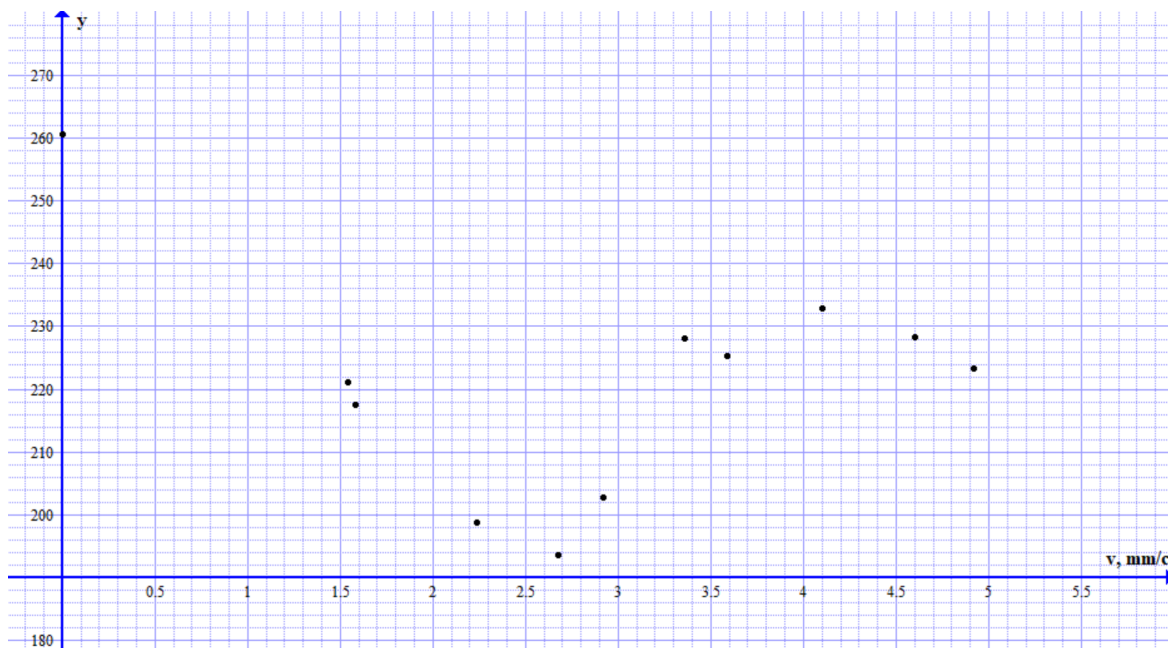


Рис. 2: 2 образец

Полученные данные для 2 образца дают ширину $2\Gamma_{\text{эксп}} = (6.02 \cdot 10^{-8})\text{эВ}$, а химический сдвиг $\Delta E_{\text{хим}} \simeq 19.8 \cdot 10^{-8}\text{эВ}$, $\varepsilon(v_p) = 0.184\%$.

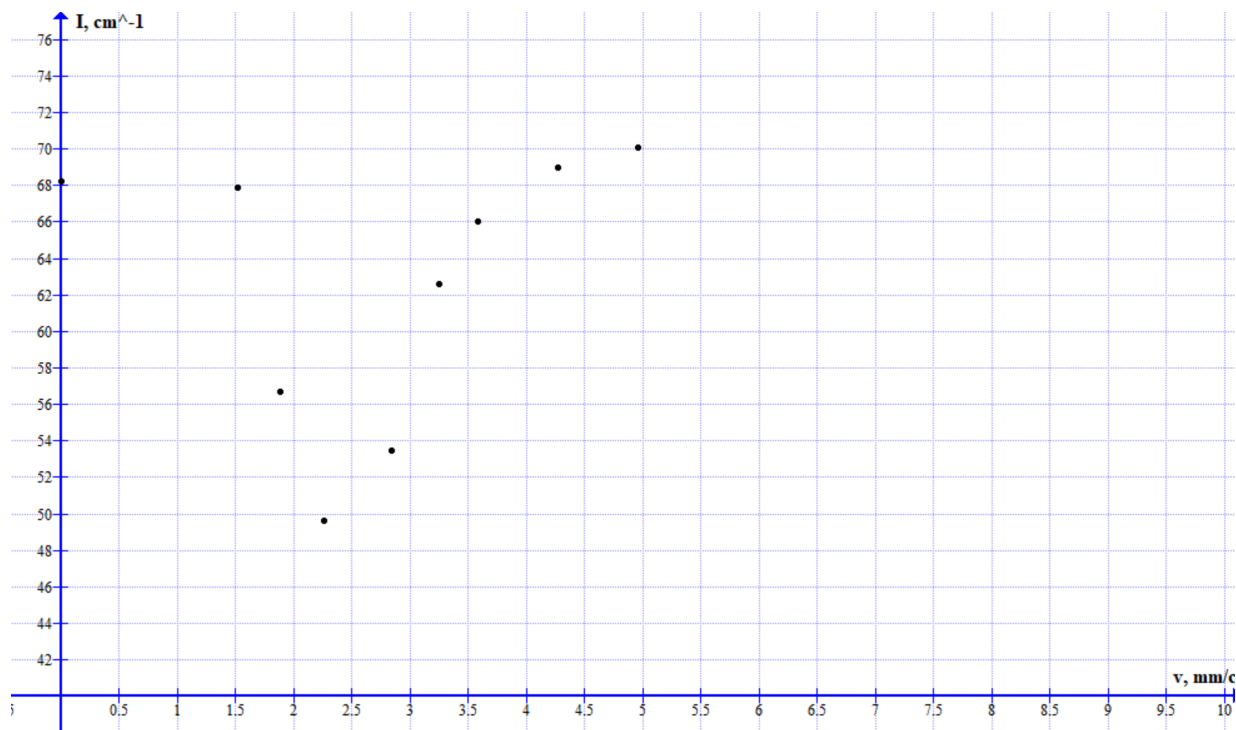


Рис. 3: 3 образец

Полученные данные для 3 образца дают ширину $2\Gamma_{\text{эксп}} = 7.63 \cdot 10^{-8}\text{эВ}$, а химический сдвиг $\Delta E_{\text{хим}} \simeq 19.61 \cdot 10^{-8}\text{эВ}$, $\varepsilon(v_p) = 0.395\%$.

Полученные данные для 4 образца дают ширину $2\Gamma_{\text{эксп}} = 15.07 \cdot 10^{-8}\text{эВ}$, а химический сдвиг $\Delta E_{\text{хим}} \simeq -1.82 \cdot 10^{-8}\text{эВ}$, $\varepsilon(v_p) = 0.313\%$.

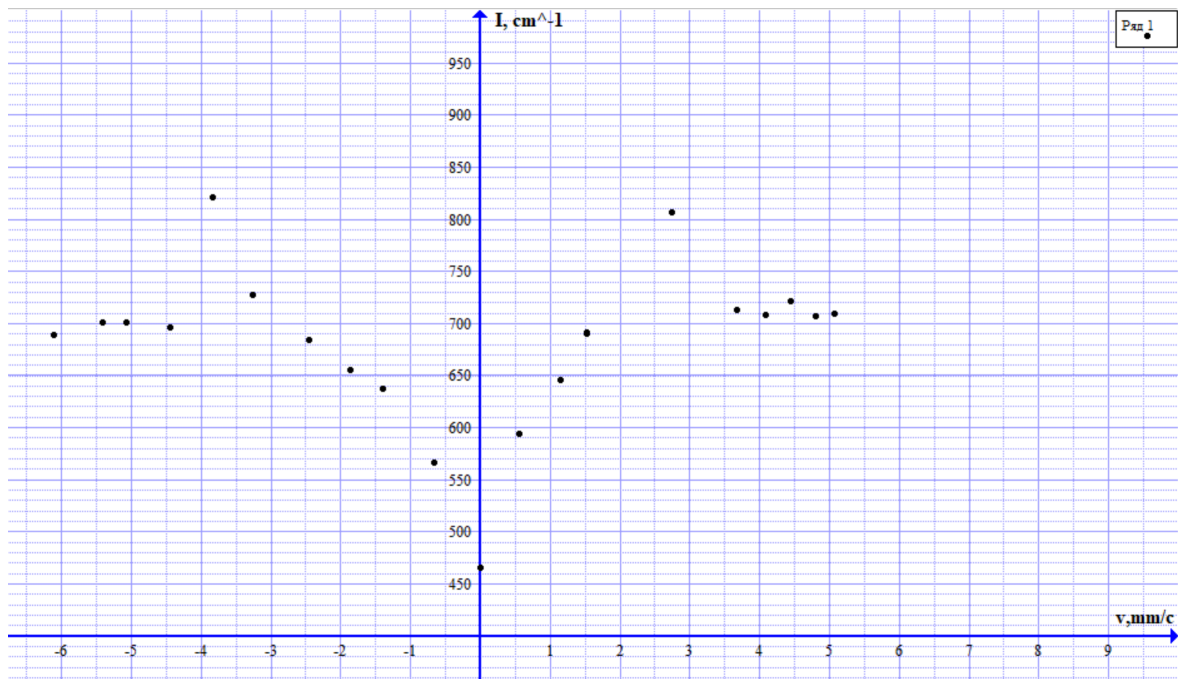


Рис. 4: 4 образец

Вывод:

Эффект резонансного поглощения γ -квантов может применяться для исследования структур, содержащих определенные изотопы. Так как мессбауэровская линия очень узка, то для того, чтобы резонанс нарушился, необходима маленькая скорость.

Уширение наблюдаемой линии может быть связано с большой толщиной поглотителя, которая сильно влияет на поведение крыльев кривой. Также существенный вклад в ширину линии вносит доплеровское смещение, которое могло возникнуть из-за вибраций поглотителя.