

Экспериментальный тур

9 класс

Задача 1. Легкоплавкий металл (С. В. Кармазин)

Изготовим из проволоки держатель для микропробирок.



Рис. 40

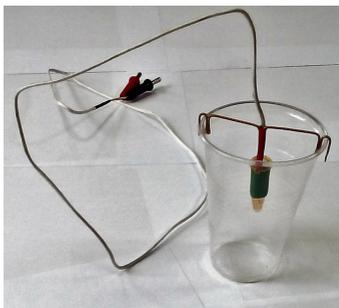


Рис. 41

Для определения плотности металла взвесим его порцию (далее приведены цифры для одного случайно выбранного образца) $m = 1,98$ г. Так как погрешность весов составляет 3 знака последнего разряда, то масса оказывается определенной с точностью 1,5%. Затем найдем изменение веса микропробирки с водой при полном погружении в нее порции металла и вычислим объем V порции (гидростатическое взвешивание). $V = 0,34$ см³ (погрешность 10%) и, следовательно, плотность $\rho = (5,8 \pm 0,6)$ г/см³. Табличная плотность данного металла (галлий) $\rho_T = 5,90$ г/см³.

Для определения тепловых параметров образца проведем исследование зависимости температуры его расплава от времени в процессе остывания и последующей кристаллизации. Поместим порцию металла в микропробирку с держателем и опустим ее на 5 – 7 мин в стакан с горячей водой при температуре не ниже 65 °С.

Визуально убедимся, что весь металл расплавился. На этапе нагрева и плавления контролировать температуру образца в пробирке можно, но большого смысла в этом нет, так как термомпара в начальной стадии процесса измеряет температуру воздуха, а не металла. После окончания плавления, вынем пробирку из горячей воды и установим на столе в проволочном держателе. С этого момента начнем снимать зависимость температуры t расплава от времени τ . Результаты измерений представлены в таблице 1.

После охлаждения металла почти до комнатной температуры (на 1 – 2 градуса выше), он остается в жидком состоянии. Бросим в расплав микропорцию твердой фазы металла. Очень быстро (за несколько секунд) температура в пробирке достигнет значения 28 – 30 °С градусов и остается неизменной

τ , с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
t , °C	55	50	47	45	43	41	40	38	38	37	36	34	34
τ , с	130	140	150	160	170	180							
t , °C	33	32	30	29	29	28							

Таблица 1

в течение примерно $\tau_k = 40 - 60$ мин, а затем постепенно начнет снижаться до комнатной. Следовательно, температура кристаллизации данного вещества равна $t_{пл} = (29 \pm 2)$ °C.

При охлаждении металл остывает на Δt градусов за $\Delta \tau$ секунд, следовательно $Q = mC\Delta t = \alpha\Delta\tau$, где α — коэффициент теплоотдачи. При кристаллизации $\lambda m = \alpha\tau_k$, где λ — удельная теплота кристаллизации. Из этих двух уравнений выразим:

$$\lambda = \frac{C\Delta t\tau_k}{\Delta\tau}.$$

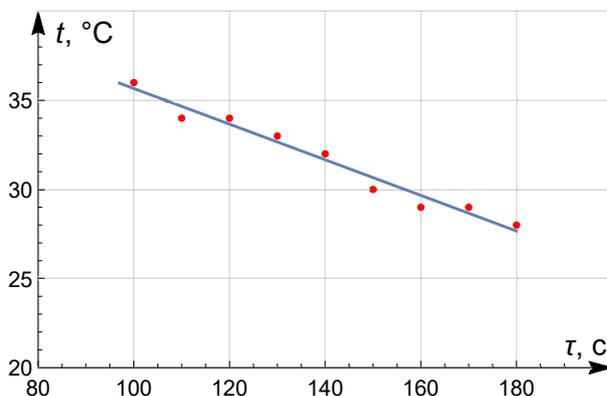


Рис. 42

Видно, что для расчета λ не нужно знать массу и коэффициент теплоотдачи. Достаточно лишь найти скорость остывания порции металла при температуре примерно равной температуре кристаллизации $\frac{\Delta t}{\Delta \tau}$. Эту величину можно определить с помощью графика (рис. 42), построенного для последних 8 – 9 точек таблицы 1.

По угловому коэффициенту наклона $\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = (0,10 \pm 0,01)$ °C/с получим $\lambda = (74 \pm 8)$ кДж/кг (табличное значение λ для галлия 80 кДж/кг).

Задача 2. Магнитики (С. В. Кармазин)

Примечание: численные результаты, полученные на различных комплектах оборудования, могут отличаться друг от друга.

Фиксируем желоб в штативе под одним из двух возможных углов и кладем в него магнит так, чтобы он отталкивался от второго закреплённого. Влияние силы трения, действующей на подвижный магнит, устраняем легкими постукиваниями по желобу в результате которых магнит слегка подпрыгивает и силы нормальной реакции и трения обращаются в ноль. Измеряем расстояние x между ближайшими торцами магнитов, на котором подвижный остается в равновесии. Для проверки воспроизводимости результатов, измерения проводим трехкратно.

Повторяем эксперимент несколько раз для других сил, прижимающих магниты друг к другу, нагружая подвижный сверху разными комбинациями латунных стержней. Всего удастся получить 7 различных значений силы при одном наклоне желоба. В таблице 2 приведены результаты измерений для углов наклона $\sin \alpha_1 = 0,74$ и $\sin \alpha_2 = 0,61$. Прижимающая магниты сила при этом рассчитывается по формуле: $F = mg \sin \alpha$.

На рис. 43 представлен график полученной зависимости F от x .

Для проверки характера зависимости $F = \alpha x^{-\beta}$, перестраиваем ее в осях $F(x^{-1})$

(рис. 44) и $F(x^{-2})$ (рис. 45). В последнем случае график оказывается ближе к линейному, из чего делаем вывод, что $\beta \approx 2$, а $k = (2,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$.

Заметим, что исследование зависимости с помощью графика, построенного в логарифмическом масштабе (что не требовалось от участников), дает значение показателя степени $\beta \approx 2,6$.

Для определения силы трения, действующей со стороны мерной ленты в горизонтальном положении желоба, приблизим подвижный магнит к закреплённому на расстояние X и отпустим его. Из теоремы об изменении кинетической

		m , г	x , мм	F , мН
Большой угол ($\sin \alpha_1 = 0,74$)	Магнит	2,1	28	15,2
	М+1	8,1	18	58,7
	М+2	16,4	14	119
	М+1+2	22,4	12	162
	М+3	30,8	11	223
	М+1+3	36,8	10	267
	М+2+3	45,1	9	327
Малый угол ($\sin \alpha_2 = 0,61$)	М+1+2+3	50,1	9	363
	Магнит	2,1	30	12,6
	М+1	8,1	20	48
	М+2	16,4	16	98
	М+1+2	22,4	13	134
	М+3	30,8	12	184
	М+1+3	36,8	11	220
М+2+3	45,1	10	270	
М+1+2+3	50,1	10	300	

Таблица 2

энергии получим: $F_{\text{тр}}L + A = 0$, где L — расстояние на которое сместился подвижный магнит, а A — работа силы отталкивания, которая пропорциональна площади под графиком $F(x)$ на участке от X до $X + L$. Необходимо проверить воспроизводимость результатов при проведении этого эксперимента на разных участках мерной ленты. $F_{\text{тр}} = (11 \pm 2)$ мН. Силу трения также можно найти, определяя границу области «застоя» подвижного магнита в поле неподвижного, интерполируя полученную зависимость $F(x)$.

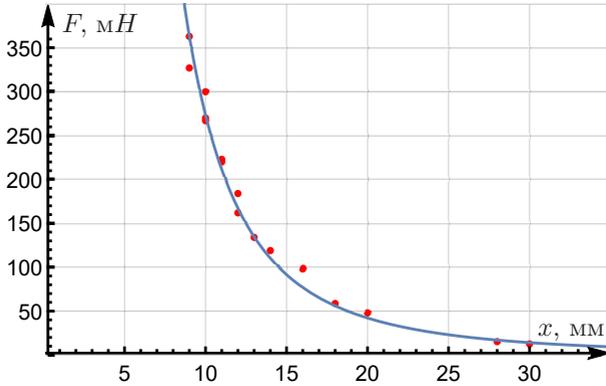


Рис. 43

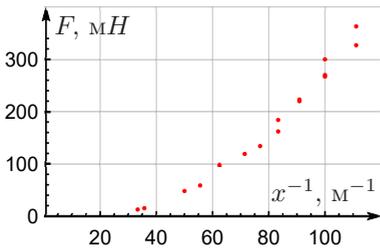


Рис. 44

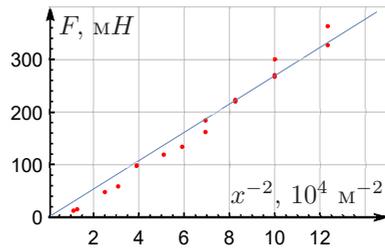


Рис. 45

Коэффициент трения можно рассчитать по формуле

$$\mu = \frac{F}{\sqrt{2}mg} = 0,37 \pm 0,02.$$