

# Отчет о выполнении лабораторной работы 2.1.4

## Измерение теплоёмкости твёрдых тел

Г. А. Багров

ФРКТ МФТИ, 30.03.2022

**Цель работы:** измерение количества подведенного тепла и вызванного им нагрева твердого тела; определение теплоемкости по экстраполяции отношения  $\Delta Q/\Delta T$  к нулевым потерям тепла.

**В работе используются:** калориметр с нагревателем и термометром сопротивления; амперметр; вольтметр; мост постоянного тока; источник питания 36 В; магазин сопротивлений.

**Теоретические сведения:** Теплоемкость определяется по формуле

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \quad (1)$$

где  $\Delta Q$  – количество тепла, подведенного к телу, и  $\Delta T$  – изменение температуры тела, произошедшее в результате подвода тепла.

Температура исследуемого тела измеряется термометром сопротивления. А оставшееся в калориметре количество тепла  $\Delta Q$  равно

$$\Delta Q = P\Delta t - \lambda(T - T_k)\Delta t, \quad (2)$$

где  $P$  – мощность нагревателя,  $\lambda$  – коэффициент теплоотдачи стенок,  $T$  – температура тела,  $T_k$  – комнатная температура,  $\Delta t$  – время, в течение которого идет нагревание.

Из уравнений (1) и (2) получаем

$$C = \frac{P - \lambda(T - T_k)}{\Delta T/\Delta t} \quad (3)$$

Формула (3) определяет теплоемкость тела вместе с калориметром.

Найдём теплоёмкость следующим методом: зависимость скорости нагревания тела  $\Delta T/\Delta t$  от температуры измерим в широком интервале изменения температур. По полученным данным построим график

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = f(T).$$

Этот график экстраполируется к температуре  $T = T_k$ , и таким образом определяется скорость нагревания при комнатной температуре  $(\Delta T/\Delta t)_{T_k}$ . Подставляя полученное выражение в формулу (3) и

замечая, что при  $T = T_k$  член  $\lambda(T - T_k)$  обращается в ноль, получаем

$$C = \frac{P}{(\Delta T / \Delta t)_{T_k}} \quad (4)$$

Температура измеряется термометром сопротивления, который представляет собой медную проволоку, намотанную на теплопроводящий каркас внутренней стенки калориметра (рис. 1). Сопротивление проводника изменяется с температурой по закону

$$R_T = R_0(1 + \alpha \Delta T), \quad (5)$$

где  $R_T$  – сопротивление термометра при  $T$  °C,  $R_0$  – его сопротивление при 0°C,  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

Согласно (5), имеем

$$R_0 = \frac{R_k}{1 + \alpha \Delta T_k}, \quad (6)$$

Откуда

$$C = \frac{P R_k \alpha}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{T_k} (1 + \alpha \Delta T_k)}, \quad (7)$$

Входящий в формулу температурный коэффициент сопротивления меди равен  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , все остальные величины определяются экспериментально.

## Экспериментальная установка

Установка состоит из калориметра с пенопластовой изоляцией, помещенного в ящик из многослойной клееной фанеры. В стенку калориметра вмонтированы электронагреватель и термометр сопротивления. Схема включения нагревателя изображена на рис.2. Система реостатов позволяет установить нужную силу тока в цепи нагревателя. По амперметру и вольтметру определяется мощность, выделяемая в нагревателе. Величина сопротивления термометра измеряется мостом постоянного тока.

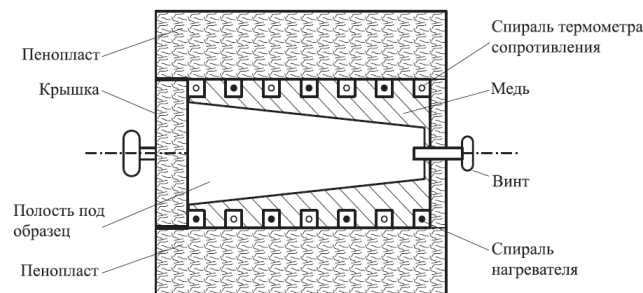


Рис. 1: Схема калориметра

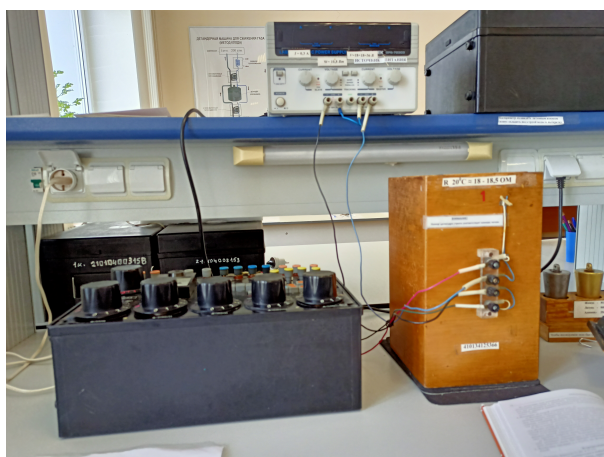


Рис. 2: Экспериментальная установка

### Измерения и обработка данных

1) Определим параметры установки и образцов:

Для термометра напряжение, ток и мощность соответственно  $U = 36 \text{ В}$ ,  $I = 0,3 \text{ А}$ ,  $P = 10,8 \text{ Вт}$ . Масса железного образца  $m_{\text{ж}} = 813,2 \pm 0,1 \text{ г}$ , алюминиевого соответственно  $m_{\text{ал}} = 294,2 \pm 0,1 \text{ г}$ .

2) Комнатная температура  $T_{\text{к}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сбалансировав мост, определим сопротивление термометра  $R_{\text{к}}$  на момент начала снятия зависимости  $R_0 = 17,694 \text{ Ом}$ .

3) Снимем зависимость  $R(t)$  для пустого калориметра и 2 исследуемых образцов, данные занесем в таблицу 1. Перед каждой серией измерений приводим систему к исходной (комнатной) температуре.

Сопротивление термометра $R, \text{ Ом}$	Только калориметр $t, \text{ с}$	Железо $t, \text{ с}$	Алюминий $t, \text{ с}$
17,694	0	0	0
17,744	42,52	47,28	50,40
17,794	91,99	113,22	108,47
17,844	143,73	186,47	169,11
17,894	197,52	261,17	235,24
17,944	257,98	336,68	301,84
17,994	319,56	418,66	371,29
18,044	378,26	513,84	444,79
18,094	444,18	612,74	521,35
18,144	508,63	706,84	598,71
18,194	579,47	801,64	679,22
18,244	648,01	896,74	761,41
18,294	720,67	991,07	845,66
18,344	797,75	1087,72	933,38
18,394	872,61	1189,36	1023,43

Таблица 1: Зависимость сопротивления от времени при  $P = \text{const}$

4) Построим графики зависимости  $R(t)$  для полученных данных (см. рис. 3-5).

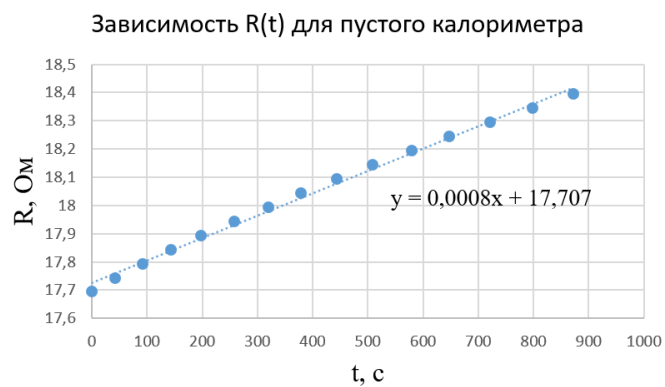


Рис. 3: График зависимости  $R(t)$  калориметра

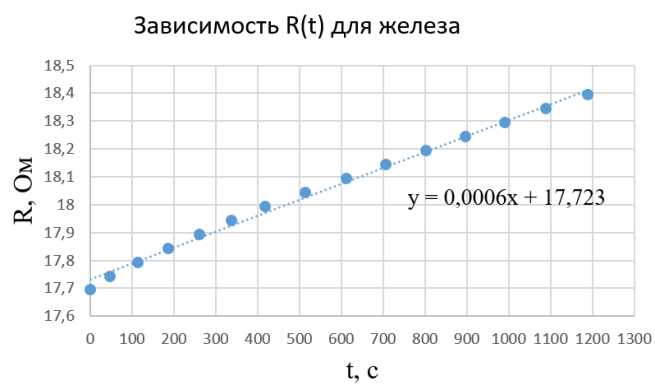


Рис. 4: График зависимости  $R(t)$  железа

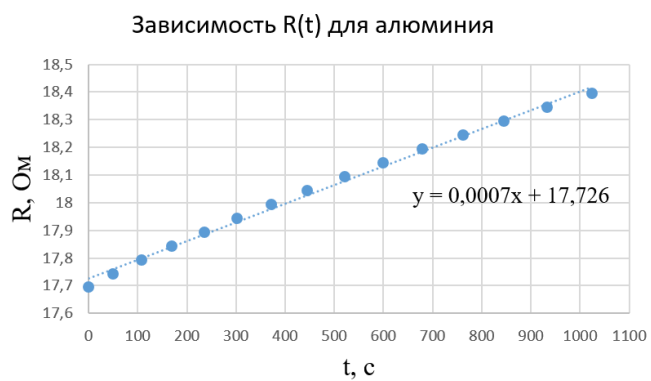


Рис. 5: График зависимости  $R(t)$  алюминия

5) По полученным данным строим графики зависимостей  $\frac{dR}{dt} = f(R)$  (Рис. 6-8) по формуле

$$\frac{dR}{dt}(R) \approx \frac{R(t_1) - R(t_0)}{t_1 - t_0}$$

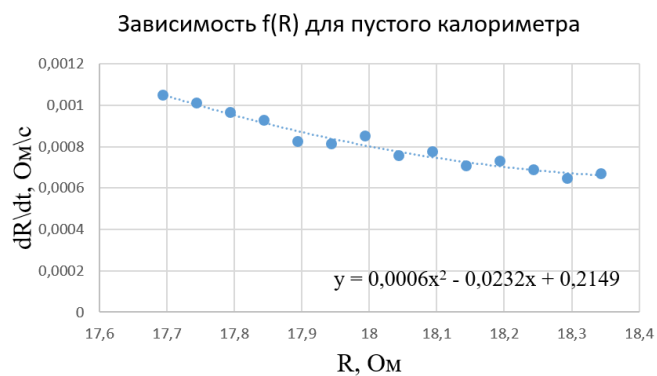


Рис. 6: График зависимости  $dR/dt=f(R)$  калориметра

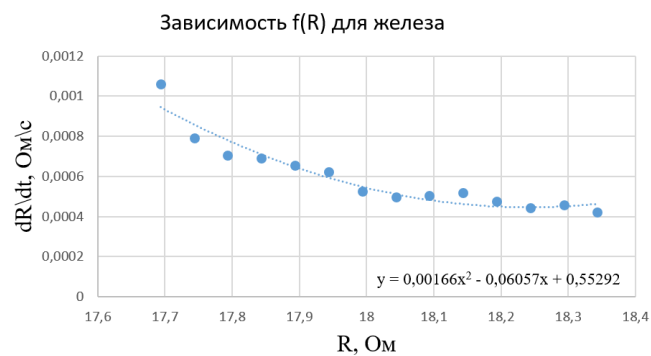


Рис. 7: График зависимости  $dR/dt=f(R)$  железа

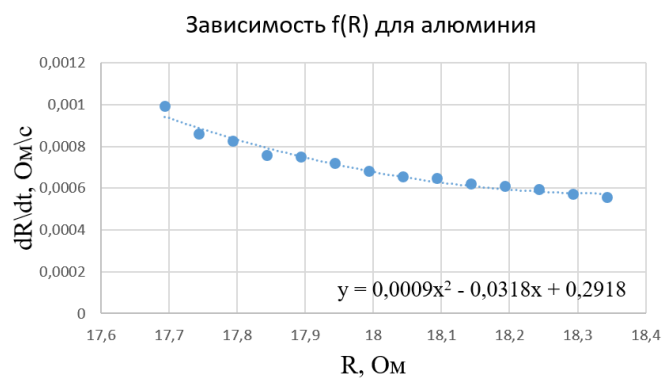


Рис. 8: График зависимости  $dR/dt=f(R)$  алюминия

6) Экстраполируем полученные зависимости до значения  $R = R_k$  и вычислим значения  $(\frac{dR}{dt})_{T=T_k}$  с использованием полученной формулы (см. таблицу 2),  $(\frac{dR}{dt})_{T=T_k} = 17,694$  Ом.

Образец	Описывающая функция	$(dR/dt)_{R_k}$ , Ом/с
Калориметр	$y = 0,0006x^2 - 0,0232x + 0,2149$	0,0019081
Железо	$y = 0,00166x^2 - 0,06057x + 0,55292$	0,0009033
Алюминий	$y = 0,0009x^2 - 0,0318x + 0,2918$	0,0010825

Таблица 2: Экстраполяция  $dR/dt$  к  $(\frac{dR}{dt})_{T=T_k}$

7) Вычисляем теплоемкость по формуле (8),  $P = 10,8$  Вт из п.1; см. табл.3:

Образец	Теплоемкость $C$ , Дж/К	$C$ без калориметра, Дж/К	Удельная тепл., Дж/кг·К
Калориметр	394, 571	-	-
Калориметр+железо	834,167	459,596	565,170
Калориметр+алюминий	696,074	301,503	1024,823

Таблица 3: Результат вычислений теплоемкости

Все измерения в данной работе проводились мостом и секундомером телефона, значит, приборные погрешности очень малы; а все возможные случайные погрешности несущественны, т.к. относительно измеряемых величин малы также малы. Наиболее существенно на точность исследуемых величин влияет погрешность экстраполяции. В данном случае она порядка  $\sigma_k = 0,10$  для калориметра,  $\sigma_k = 0,15$  для железа,  $\sigma_k = 0,11$  для алюминия (опр. отклонением от экстраполяции).

Окончательно,

$$c_{\text{железо}} = 565,2 \pm 84,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{\text{алюминия}} = 1024,8 \pm 112,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

8) Молярные теплоемкости можно вычислить по формуле  $c_\mu = \mu c$ , где  $c$  - удельная теплоемкость, для железа  $\mu = 56 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ ; для алюминия  $\mu = 27 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ ;

Итого получаем

исследуемый образец	$c$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$c_\mu$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
железный образец	565,2	31,6
алюминиевый образец	1024,8	27,7

Таблица 4: Удельные и молярные теплоемкости образцов (экспериментальные)

С учётом погрешности, полученные результаты в целом сходятся с табличными:

исследуемый образец	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$	$c_{\mu}, \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}}$
железный образец	480,0	26,7
алюминиевый образец	920,0	24,4

Таблица 5: Удельные и молярные теплоемкости образцов (табличные)

**Выводы:** В ходе работы были успешно найдены теплоемкости калориметра, образцов из железа и алюминия. Были найдены удельные и молярные теплоемкости железа и алюминия, они с учётом погрешности сошлись с табличными.