

## Отчет по лабораторной работе 2.1.4

### «Определение теплоемкости твердых тел»

**Цель работы:** 1) измерение количества подведенного тепла и вызванного им нагрева твердого тела; 2) определение теплоемкости по экстраполяции отношения  $\Delta Q/\Delta T$ .

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

#### Теоретические сведения:

В предлагаемой работе измерение теплоемкости твердых тел производится по обычной схеме. Исследуемое тело помещается в калориметр. Измеряется  $\Delta Q$  — количество тепла, подведенного к телу, и  $\Delta T$  — изменение температуры тела, произошедшее в результате подвода тепла. Теплоемкость определяется по формуле

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

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = f(T) \quad - \text{строим график и проводим касательную при } T = T_k$$

$$\text{Тогда } C = \frac{P}{(\Delta T / \Delta t)_k}$$

$$\text{Дополнительно } R_t = R_0(1 + \alpha \Delta T); \quad \frac{dR}{dt} = R_0 \alpha \frac{dT}{dt}$$

$$C = \frac{P R_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)}$$

#### Экспериментальная установка.

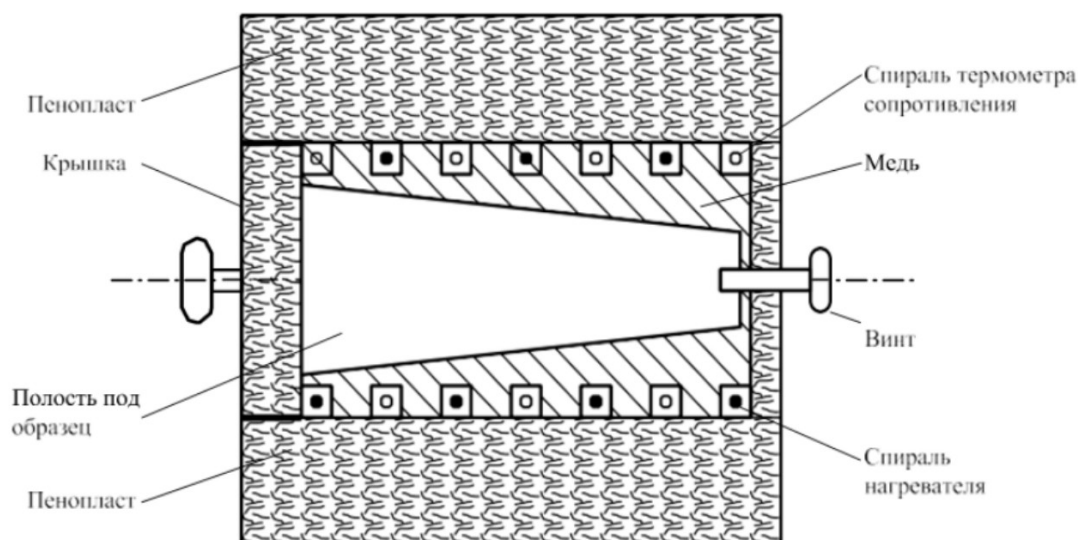


Рисунок 1: Схема устройства калориметра

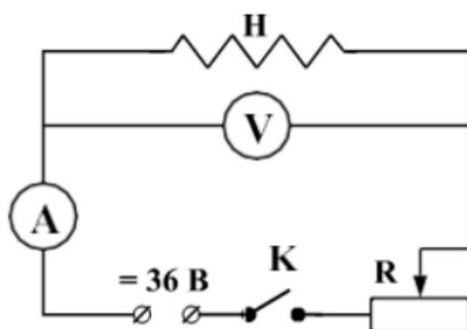


Рисунок 2: Схема включения нагревателя

## Ход работы

1. Параметры установки:

класс точности моста Р4833: 0,1

Сопротивление калориметра при  $20\text{ C}^0$ ,  $R_{20\text{C}} = 18\text{-}18,5\text{ Ом}$

Масса железного цилиндра,  $m_{\text{ж}} = (815,1 \pm 0,1)\text{ г}$

Масса алюминиевого цилиндра,  $m_{\text{ал}} = (294,2 \pm 0,1)\text{ г}$

Сила тока:  $I = 0,3\text{ А}$

Напряжение:  $U = 36\text{ В}$

Мощность:  $W = 10,8\text{ Вт}$

$\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$

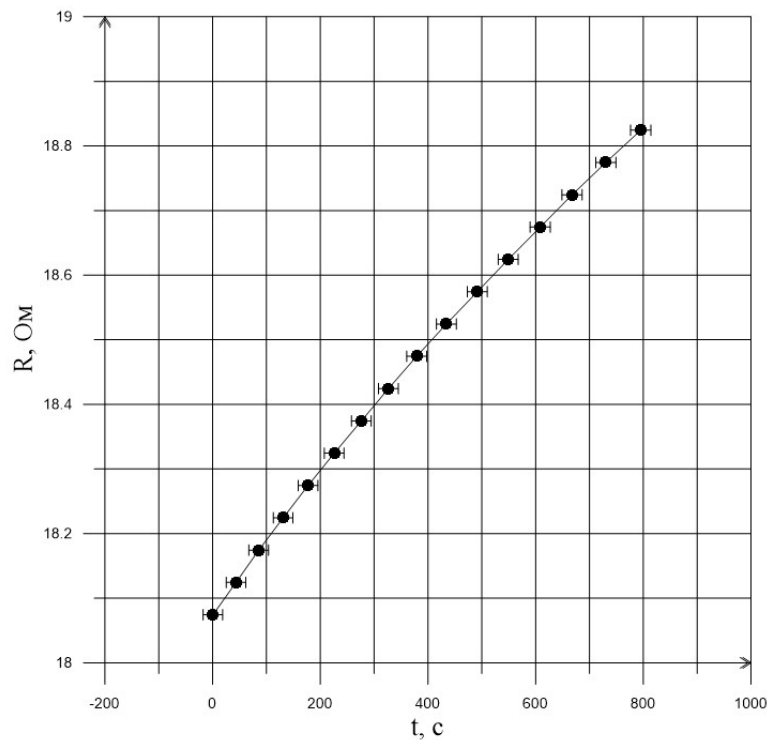
2. Измерим сопротивление термометра  $R_k$  при комнатной температуре  $t = 23,8\text{ C}^0$

$R_k = 18,074\text{ Ом}$

3. При неизменной мощности нагревателя измеряем зависимость сопротивления термометра от времени для пустого калориметра  $R_T = R(t)$ , затем построим данную зависимость

№	R, Ом	$\epsilon_R, \%$	t, с	Б, с
1	18,074	0,1	0	0,5
2	18,124		42,89	
3	18,174		85,1	
4	18,224		130,45	
5	18,274		176,79	
6	18,324		225,29	
7	18,374		275,29	
8	18,424		376,08	
9	18,474		378,5	
10	18,524		433,68	
11	18,574		491,19	
12	18,624		548,57	
13	18,674		607,96	

14	18,724		667,1	
15	18,774		729,87	
16	18,824		794,72	



Разделим полученную зависимость на 14 отрезков и найдем на каждом из них  $dR/dt$ . Затем построим зависимость  $dR/dt(R)$ . Экстраполируя к  $R_T=R_k$ , найдем  $(dR/dt)_{R=R_k}$  и подставим полученное значение в  $C = \frac{PR_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)}$ , тем самым получив значение  $C_0$  (теплоемкость пустого калориметра)

$$k = \tau = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle * \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \approx -5,85 \text{ c}$$

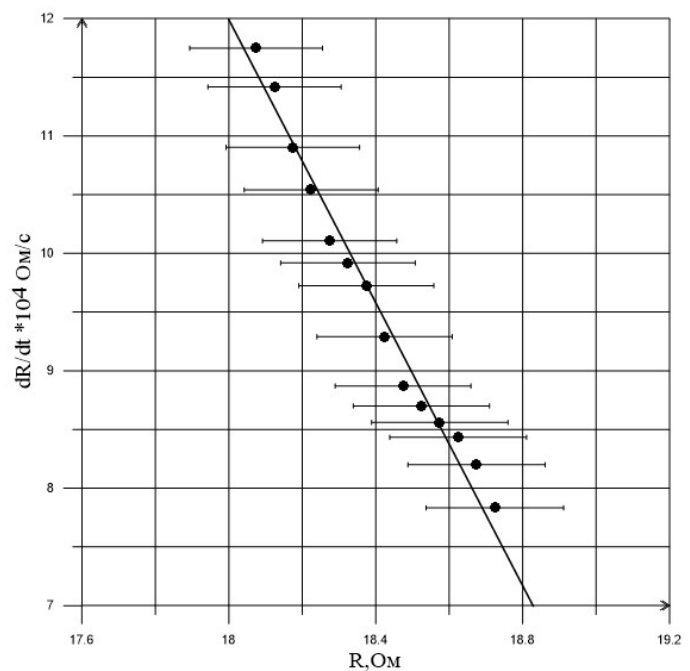
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{13} \left( \frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2 \right)} \approx 1,61 \text{ c}$$

$$b = \langle y \rangle - k * \langle x \rangle \approx 117,1 \text{ c}$$

$$\sigma_b = \sigma_k * \sqrt{\langle x^2 \rangle} \approx 29,7 \text{ c}$$

$$k = (-5,85 \pm 1,61) \text{ c}$$

$$b = (117,1 \pm 29,7) \text{ c}$$



Отсюда получаем

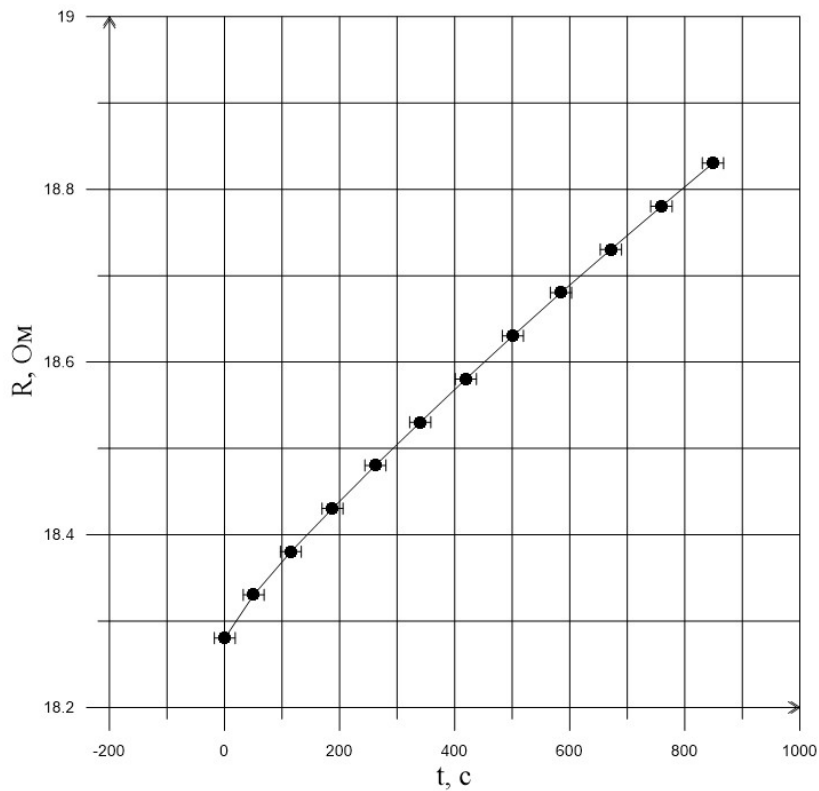
$$C_0 = \frac{PR_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)} = \frac{10,8 \text{ Вм} * 18,074 \text{ Ом} * 4,28 * 10^{-3} \text{ К}^{-1}}{11,4 * 10^{-4} * (1 + 4,28 * 10^{-3} \text{ К}^{-1} * 23,8 \text{ К})} \approx 665 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\sigma_c = C * \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2} = 665 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} * \sqrt{(0,001)^2 + \left(\frac{0,5}{23,8}\right)^2 + (0,01)^2} \approx 16 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$C_0 = (665 \pm 16) \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

4. Охладив установку латунным конусом до сопротивления  $R_k=18,257 \text{ Ом}$ , повторим измерения прошлого пункта, но с железным конусом внутри.

№	R, Ом	$\epsilon_R$ , %	t, с	Б, с
1	18,28	0,1	0	0,5
2	18,33		50,21	
3	18,38		114,77	
4	18,43		187,17	
5	18,48		261,76	
6	18,53		339,71	
7	18,58		419,02	
8	18,63		500,71	
9	18,68		584,31	
10	18,73		670,99	
11	18,78		758,96	
12	18,83		848,51	



Так же разделим полученную зависимость на 9 отрезков и найдем на каждом из них  $dR/dt$ . Затем построим зависимость  $dR/dt(R)$ . Экстраполируя к  $R_T=R_k$ , найдем  $(dR/dt)_{R=R_k}$  и

подставим полученное значение в  $C = \frac{PR_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)}$ , тем самым получив значение  $C_1$  (теплоемкость калориметра с железным конусом внутри)

$$k = \tau = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle * \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \approx -4,14 c$$

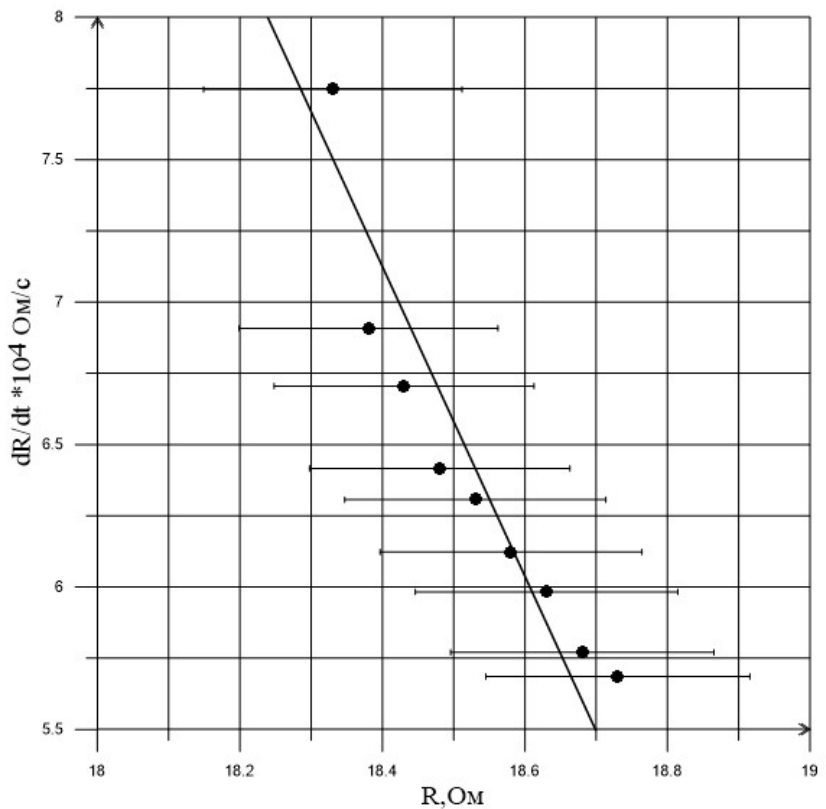
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{8} \left( \frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2 \right)} \approx 1,38 c$$

$$b = \langle y \rangle - k * \langle x \rangle \approx 83,2 c$$

$$\sigma_b = \sigma_k * \sqrt{\langle x^2 \rangle} \approx 25,8 c$$

$$k = (-4,14 \pm 1,38) c$$

$$b = (83,2 \pm 25,8) c$$



Отсюда получаем

$$C_1 = \frac{PR_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)} = \frac{10,8 \text{ Вт} * 18,28 \text{ Ом} * 4,28 * 10^{-3} \text{ К}^{-1}}{7,52 * 10^{-4} * (1 + 4,28 * 10^{-3} \text{ К}^{-1} * 23,8 \text{ К})} \approx 1020 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\sigma_c = C * \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2} = 1020 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} * \sqrt{(0,001)^2 + \left(\frac{0,5}{23,8}\right)^2 + (0,01)^2} \approx 23 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$C_1 = (1020 \pm 23) \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Найдем теплоемкость тела:

$$C_m = C_1 - C_0 = 1020 - 665 = 355 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right) ; \quad \sigma_{C_m} = \sqrt{\sigma_{C_0}^2 + \sigma_{C_1}^2} = \sqrt{529 + 256} \approx 28 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$C_m = (355 \pm 28) \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Тогда удельная теплоемкость железа:  $C_{yd} = \frac{C_m}{m_{жс}} = \frac{355 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}}{0,8151 \text{ кг}} \approx 435,529 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * \text{К}}$

$$\sigma_c = C * \sqrt{\left(\frac{\sigma_{C_m}}{C_m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2} = 435,529 \frac{\text{Дж}}{\text{К} * \text{кг}} * \sqrt{\left(\frac{28}{355}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{815,1}\right)^2} \approx 34 \frac{\text{Дж}}{\text{К} * \text{кг}}$$

$$C_{yd} = (436 \pm 34) \frac{\text{Дж}}{\text{К} * \text{кг}}$$

Молярная теплоемкость железа:  $C_{mol} = C_{yd} * 0,056 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \approx 24 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{К}}$

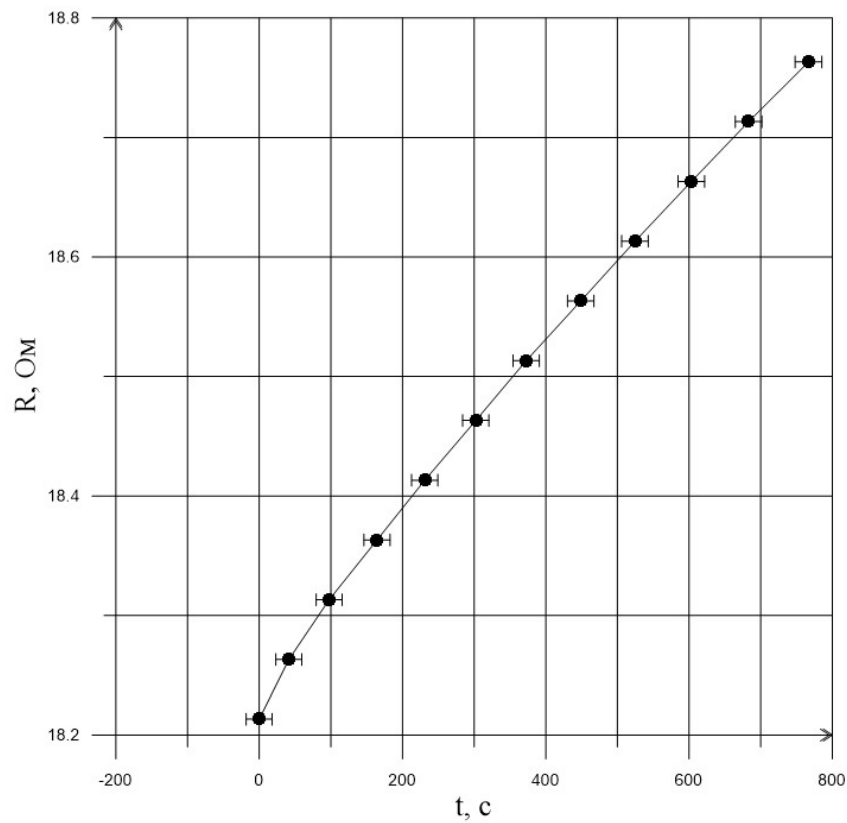
$$\sigma_{C_{mol}} \approx 2 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{К}}$$

$$C_{mol} = (24 \pm 2) \frac{\text{Дж}}{\text{К} * \text{моль}}$$

5. Охладив установку латунным конусом до сопротивления  $R_k = 18,459 \text{ Ом}$ , повторим измерения прошлого пункта, но с алюминиевым конусом внутри.

№	R, Ом	$\epsilon_R$ , %	t, с	Б, с
1	18,213	0,1	0	0,5
2	18,263		41,43	
3	18,313		97,7	
4	18,363		164,5	
5	18,413		231,14	
6	18,463		302,39	
7	18,513		372,71	
8	18,563		448,85	
9	18,613		524,56	
10	18,663		603,26	

11	18,713		683,18	
12	18,763		766,79	



Так же разделим полученную зависимость на 9 отрезков и найдем на каждом из них  $dR/dt$ .  
Затем построим зависимость  $dR/dt(R)$ . Экстраполируя к  $R_T=R_k$ , найдем  $(dR/dt)_{R=R_k}$  и

подставим полученное значение в  $C = \frac{PR_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)}$ , тем самым получив значение  $C_2$   
(теплоемкость калориметра с алюминиевым конусом внутри)

$$k = \tau = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle * \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \approx -3,08 \text{ c}$$

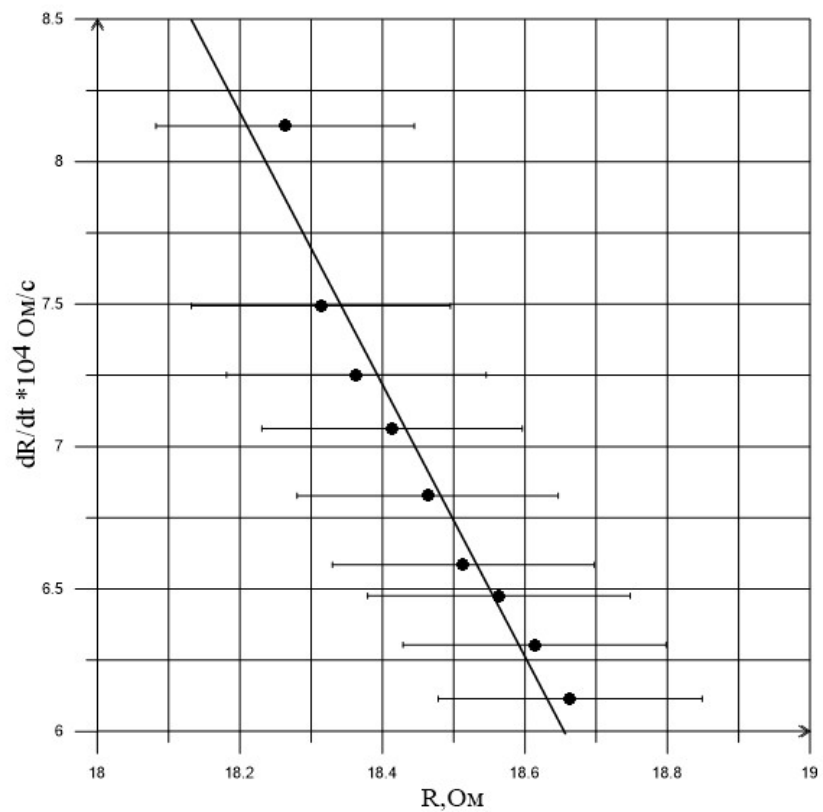
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{8} \left( \frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2 \right)} \approx 1,08 \text{ c}$$

$$b = \langle y \rangle - k * \langle x \rangle \approx 63,9 \text{ c}$$

$$\sigma_b = \sigma_k * \sqrt{\langle x^2 \rangle} \approx 19,9 \text{ c}$$

$$k = (-3,08 \pm 1,08) \text{ c}$$

$$b = (63,9 \pm 19,9) \text{ c}$$



Отсюда получаем

$$C_1 = \frac{PR_k \alpha}{(dR/dt)_k (1 + \alpha \Delta T_k)} = \frac{10,8 \text{ Bm} * 18,213 \text{ Ом} * 4,28 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}}{7,8 * 10^{-4} * (1 + 4,28 * 10^{-3} \text{ K}^{-1} * 23,8 \text{ K})} \approx 980 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

$$\sigma_C = C * \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2} = 980 \frac{\text{Дж}}{\text{K}} * \sqrt{(0,001)^2 + \left(\frac{0,5}{23,8}\right)^2 + (0,01)^2} \approx 23 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

$$C_2 = (980 \pm 23) \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

Найдем теплоемкость тела:

$$C_m = C_2 - C_0 = 980 - 665 = 315 \left( \frac{\text{Дж}}{\text{K}} \right) ; \quad \sigma_{C_m} = \sqrt{\sigma_{C_0}^2 + \sigma_{C_2}^2} = \sqrt{529 + 256} \approx 28 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

$$C_m = (315 \pm 28) \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

Тогда удельная теплоемкость алюминия:  $C_{yd} = \frac{C_m}{m_{жс}} = \frac{315 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}}{0,2942 \text{ кг}} \approx 1071 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * \text{K}}$

$$\sigma_C = C * \sqrt{\left(\frac{\sigma_{C_m}}{C_m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2} = 1071 \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{кг}} * \sqrt{\left(\frac{28}{315}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{294,2}\right)^2} \approx 95 \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{кг}}$$

$$C_{yd} = (1071 \pm 95) \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{кг}}$$

Молярная теплоемкость алюминия:  $C_{mol} = C_{yd} * 0,027 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \approx 29 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{K}}$



$$\sigma_{C_{\text{мол}}} \approx 3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{K}}$$

$$C_{\text{мол}} = (29 \pm 3) \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{моль}}$$

### **Вывод**

В данном опыте были получены молярные и удельные теплоемкости алюминия и железа:

#### Алюминий

$$C_{\text{уд}} = (1071 \pm 133) \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{кг}} ; \quad C_{\text{мол}} = (29 \pm 3) \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{моль}}$$

#### Железо

$$C_{\text{уд}} = (436 \pm 48) \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{кг}} ; \quad C_{\text{мол}} = (24 \pm 2) \frac{\text{Дж}}{\text{K} * \text{моль}}$$

Полученные данные сходятся с теоретическими в пределах 2б.

Также были получены зависимости  $R(t)$  и  $dR/dt(R)$

Вероятные причины расхождения теоретических и экспериментальных результатов:

- температура комнаты постоянно менялась
- нельзя исключать то, что исследуемые образцы могли быть с примесями других металлов
- не до нужной температуры остудили калориметр
- теплопередача происходила неравномерно, нагревание электроэлементов происходит быстрее, чем всей установки с образцом в целом
- остатки влаги также могли оказать отклоняющее влияние на построение зависимости скорости изменения сопротивления от самого сопротивления