

Отчет о выполнении лабораторной работы 2.1.4

Определение теплоемкости твердых тел

Лангман Александр и Мухаметзянов Двмир В04-208

5 апреля 2023 г.

1 Теоретический материал

В данной работе происходит измерение теплоемкости твердого тела с использованием следующей принципиальной связи:

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

Определение количества теплоты, переданного телу вызывает некоторые затруднения, так как часть теплоты будет передано окружающей среде через стенки калориметра. В итоге, количество теплоты, переданное телу с учетом теплопотерь через стенки можно определить как:

$$\Delta Q = P \Delta t - \lambda (T - T_{\kappa}) \Delta t, \quad (2)$$

где P – мощность нагревателя, λ – коэффициент теплоотдачи стенок калориметра, T – температура тела, T_{κ} – температура окружающего калориметр воздуха, Δt – время, в течении которого происходит нагрев.

Из уравнений (1) и (3) получаем:

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

Формула (3) является основной расчетной формулой данной работы.

В формуле (3) в знаменателе стоит величина, для определения которой воспользуемся следующей методикой:

Построим график зависимости $\frac{\Delta T}{\Delta t} = f(T)$ для широкого диапазона температур, после чего экстраполируем его для значения $T = T_{\kappa}$. В таком случае формула (3) приобретает вид:

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

Измерение температуры строится на принципе линейной зависимости сопротивления материала от изменения температуры по закону:

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

Где R_0 – сопротивление термометра при комнатной температуре, R_T – сопротивление термометра при данной температуре. Учитывая данную зависимость, получаем итоговый вид для основной формулы:

$$C = \frac{P R \alpha}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{T_{\kappa}} (1 + \alpha \Delta T_{\kappa})} \quad (6)$$

Коэффициент α , входящий в данную формулу для меди равен $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, все остальные величины определяются экспериментально.

2 Схема установки

Установка состоит из калориметра с пенопластовой изоляцией, помещенного в ящик из многослойной клееной фанеры. Внутренние стенки калориметра выполнены из материала с высокой теплопроводностью. Надежность теплового контакта между телом и стенками обеспечивается их формой: они имеют форму усеченных конусов и плотно прилегают друг к другу. Для выталкивания образца служит винт в доньшке внутренней стенки калориметра.

В стенку калориметра вмонтированы электронагреватель и термометр сопротивления. Схема включения нагревателя изображена на рисунке (1). Система реостатов позволяет установить нужную силу тока в цепи нагревателя. По амперметру и вольтметру определяется мощность, выделяемая током в нагревателе. Величина сопротивления термометра нагревателя измеряется мостом постоянного тока.

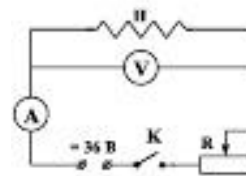


Рис. 1: Схема установки

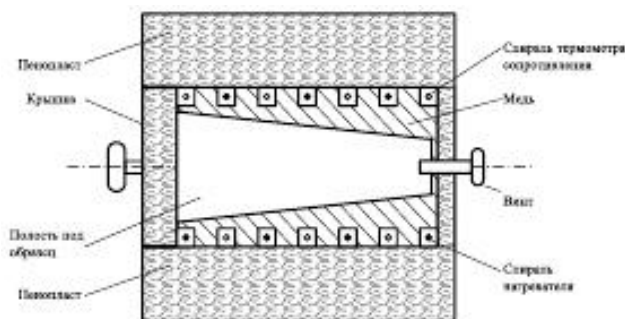


Рис. 2: Устройство калориметра

На рисунке (2) изображено устройство калориметра.

Запишем также иные параметры экспериментальной установки (Данные занесем в таблицу 2):

материал образца:	железо	латунь	алюминий
масса образца, г	$815,1 \pm 0,1$	$875,5 \pm 0,1$	$294,2 \pm 0,1$

Таблица 1: Параметры исследуемых образцов

$$R_0 = 18,105 \pm 0,01 \text{ Ом}, \quad t_0 = 23^\circ \pm 1^\circ \text{C}$$

$$U = 36 \text{ В}, \quad I = 0,6 \text{ А}, \quad P = 10,8 \text{ Вт}$$

3 Выполнение работы

Снимем зависимость $R(t)$ для калориметра, а также для 3 исследуемых образцов. Данные занесем в таблицу (2).

Пустой калориметр		Калориметр с железным образцом	
R, Ом	t, с	R, Ом	t, с
18,175	0	18,175	0
18,225	42,32	18,225	66,39
18,275	80,45	18,275	136,06
18,325	126,46	18,325	208,42
18,375	174,72	18,375	283,76
18,425	224,01	18,425	361,06
18,475	274,66	18,475	441,09
18,525	327,45	18,525	522,17
18,575	382,05	18,575	606,01
18,625	438,53	18,625	692,47
18,675	495,88	18,675	780,83
18,725	554,69	18,725	870,19
18,775	614,43	18,775	961,58
18,825	676,19	18,825	1057,7
18,875	742,21	18,875	1155,36
18,925	808,79	18,925	1253,24

Калориметр с латунным образцом		Калориметр с алюминиевым образцом	
R, Ом	t, с	R, Ом	t, с
18,175	53,74	18,225	49,93
18,225	116,72	18,275	104,69
18,275	182,12	18,325	165,09
18,325	251,48	18,375	218,57
18,375	324,59	18,425	293,63
18,425	399,34	18,475	361,07
18,475	475,17	18,525	429,88
18,525	553,33	18,575	501,65
18,575	634,65	18,625	575,48
18,625	715,92	18,675	651,3
18,675	800,58	18,725	725,99
18,725	889,07	18,775	804,81
18,775	978,64	18,825	885,21
18,825	1069,94	18,875	969,57
18,875	1163,41	18,925	1053,04
18,925	1262,12		

Таблица 2: Результаты измерения сопротивления от времени нагрева

Построим графики зависимости $R(t)$ для результатов измерения.

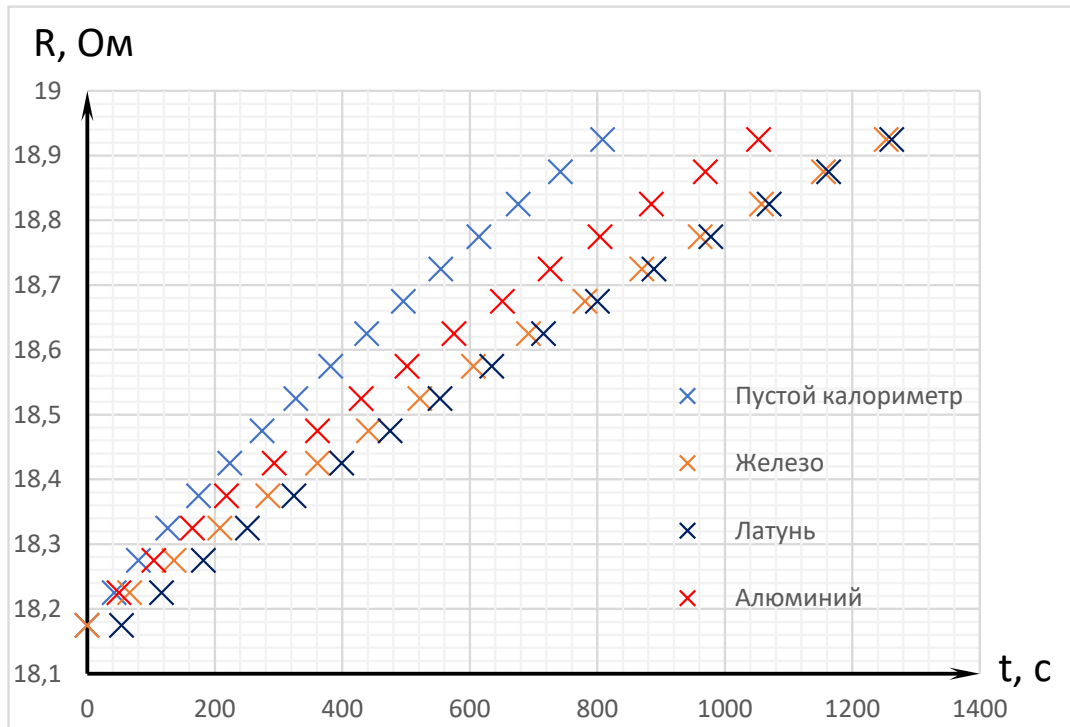


Рис. 3: График зависимости сопротивления от времени нагрева

По полученным данным построим также графики зависимостей $\frac{dR}{dt}(R)$ для различных серий измерений, т.е. для калориметра и 3 исследуемых образцов. Данную зависимость построим с учетом формулы:

$$\frac{dR}{dt}(R_{t_1}) = \frac{R_{t_2} - R_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

Применив формулу (7) к данным таблицы (2), построим графики искомых зависимостей. Графики изображены на рисунках (4) - (7)

Для экстраполяции зависимостей к значению $R_T = R_K$ применим полиномиальную аппроксимацию с показателем степени равным 2 (квадратичная аппроксимация).

Тогда, для полученных зависимостей, после применения аппроксимации, получим уравнения зависимости (7), занесенные в таблицу (3).

исследуемое тело	экстраполированное уравнение заисимости (7)
калориметр	$\frac{dR}{dt}(R) = 0,000344R^2 - 0,01336R + 0,13$
стальной образец	$\frac{dR}{dt}(R) = 0,0002645R^2 - 0,010134R + 0,0975$
латунный образец	$\frac{dR}{dt}(R) = 0,000270R^2 - 0,01037R + 0,1$
алюминиевый образец	$\frac{dR}{dt}(R) = 0,000520R^2 - 0,01973R + 0,1878$

Таблица 3: Результаты экстраполяции зависимостей $\frac{dR}{dt}(R)$ для различных образцов

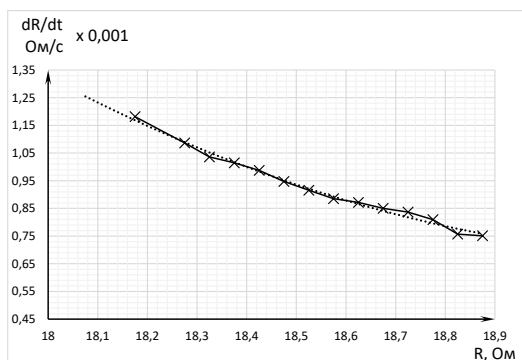


Рис. 4: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для калориметра

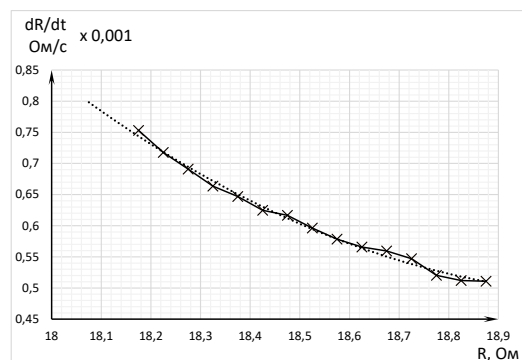


Рис. 5: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для железного образца

Рис. 6: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для латунного образца

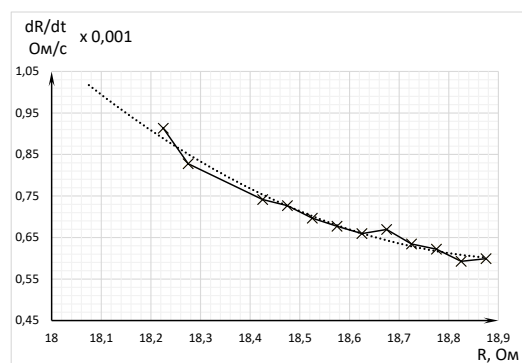


Рис. 7: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для алюминиевого образца

Используя уравнения, приведенные в таблице (3), подставляя $R_K = 18,105 \text{ Ом}$, определяем значения $\frac{dR}{dt}(R_K)$. Результаты занесем в таблицу (4).

исследуемое тело	$\frac{dR}{dt}(R_K), \frac{\text{Ом}}{\text{с}} \cdot 10^{-4}$
калориметр	12,3
стальной образец	7,8
латунный образец	8,2
алюминиевый образец	9,9

Таблица 4: Значения $\frac{dR}{dt}(R_K)$ для различных образцов

Для определения теплоемкости, как видно из формулы (6), необходимо определить разность температур для каждого значения сопротивления. Очевидно, что разность температур не зависит от исследуемого материала для каждого значения сопротивления R . Тогда достаточно провести измерения для одной серии измерений. Зависимость разницы температур ΔT от R задается следующей формулой:

$$\Delta T = \frac{R_T - R_K}{R_K \cdot \alpha} \quad (8)$$

Результаты занесем в таблицы (6), (6).

R, Ом	18,175	18,225	18,275	18,325	18,375	18,425	18,475	18,525
ΔT , К	0,903349	1,548599	2,193848	2,839098	3,484348	4,129597	4,774847	5,420096
R, Ом	18,575	18,625	18,675	18,725	18,775	18,825	18,875	18,925
ΔT , К	6,065346	6,710595	7,355845	8,001094	8,646344	9,291593	9,936843	10,58209

Таблица 5: Зависимость разницы температур от сопротивления термометра.

Теперь, определив все величины, входящие в формулу (6), перейдем к вычислению теплоемкостей исследуемых образцов. Результаты вычислений занесем в таблицу

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
калориметр	681
калориметр + железный образец	1071
калориметр + латунный образец	1017
калориметр + алюминиевый образец	846

Таблица 6: Результаты вычисления теплоемкостей

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}},$
калориметр	681
железный образец	390
латунный образец	336
алюминиевый образец	164

Таблица 7: Результаты вычисления теплоемкостей

Дополнительно определим удельную – с теплоемкость. Результаты занесем в таблицу (8)

исследуемый образец	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$
железный образец	478
латунный образец	383
алюминиевый образец	572

Таблица 8: Удельные теплоемкости для образцов

4 Определение погрешностей

Для определения погрешностей косвенных измерений, учтем, что погрешность измерения сопротивления σ_R крайне мала, так как используется довольно точный метод с использованием Моста.

Основной вклад в погрешность итоговых значений (теплоемкость, удельная теплоемкость) внесла погрешность экстраполяции функции, необходимая для определения коэффициента в итоговой функции.

Поскольку данная ошибка гораздо больше чем погрешности прямых измерений, то для итогового расчета можно использовать только ее.

$$\varepsilon_{\text{экстраполяции, калориметр}} = 0,11, \quad \varepsilon_{\text{экстраполяции, железный образец}} = 0,056$$

$$\varepsilon_{\text{экстраполяции, латунный образец}} = 0,059, \quad \varepsilon_{\text{экстраполяции, алюминиевый образец}} = 0,094$$

Определяя погрешности итоговых значений, получаем:

Для теплоемкости:

$$\sigma_{C,\text{калориметр}} = 68 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}, \quad \sigma_{C,\text{железный образец}} = 15 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\sigma_{C,\text{латунный образец}} = 12 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}, \quad \sigma_{C,\text{алюминиевый образец}} = 17 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Для удельной теплоемкости:

$$\sigma_{c,\text{железный образец}} = 10 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}, \quad \sigma_{c,\text{латунный образец}} = 8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

$$\sigma_{c,\text{алюминиевый образец}} = 59 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

Итоговые значения определенных величин:

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$
калориметр	681 ± 68	—
железный образец	389 ± 15	478 ± 10
латунный образец	335 ± 12	383 ± 8
алюминиевый образец	167 ± 17	572 ± 59

Таблица 9: Итоговые значения определяемых величин.

5 Выводы

1. Полученные значения удельных теплоемкостей для железа и латуни хорошо согласуются с табличными данными – $480 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$ и $478 \pm 10 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$; $380 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$ и $383 \pm 8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$. Для алюминия табличное значение полностью не соответствует определенному в ходе работы – $920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$ и $572 \pm 59 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$.
2. Основной вклад в погрешности итоговых значений внесли: экстраполяция зависимости по графику функции и промахи в измерении время нагрева до определенной температуры (Промахи касаются только калориметра и алюминиевого образца).
3. Достигнута приемлемая предельная точность – $\max \varepsilon = 0,11$.
4. Экспериментально подтверждена правильность и работоспособность выбранной методики определения теплоемкости для твердых тел.