

Работа 2.1.4

Определение теплоемкости твердых тел

Гаврилин Илья Дмитриевич
Б01-101

31 марта 2022 г.

1 Аннотация

В данной работе производится измерение теплоемкости твердых тел C (усеченных конусов из латуни и алюминия). В ходе работы получена зависимость температуры тела от времени, при условии постоянной мощности нагрева. Также, оценены и учтены, при расчете теплоемкости, тепло потери калориметра. Оценены погрешности измеряемых величин.

2 Сведения о работе

2.1 Теоретические сведения

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:

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

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

Из уравнений (1) и (2) получаем:

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

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 $T = T_{\text{к}}$. В таком случае формула (3) приобретает вид:

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

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:

$$C = \frac{PR\alpha}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{T_K} (1 + \alpha \Delta T_K)} \quad (6)$$

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

2.2 Схема установки

Установка состоит из сосуда формы усеченного конуса, для более плотного прилегания измеряемого тела к сосуду. Он снабжен спиралью нагревателя постоянной мощности: $U = 36 \text{ В}$, $I = 0,6 \text{ А}$, $P = 10,8 \text{ Вт}$.

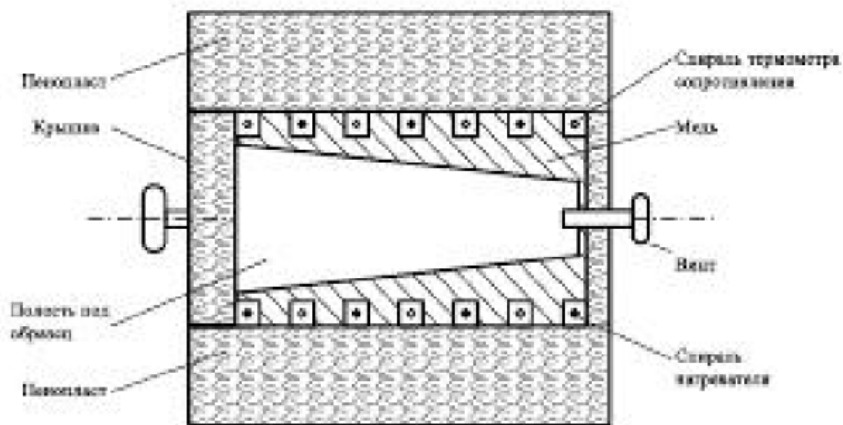


Рис. 1: Схема калориметра

Параметры экспериментальной установки: $R_0 = 18.155 \pm 0.01 \text{ Ом}$, $t = 23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Запишем массы измеряемых тел.

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: Массы исследуемых образцов

3 Ход работы

3.1 Зависимость $R(t)$

Включим магазин сопротивлений согласно приложенной инструкции, включим нагрев постоянной мощности, начнем замеры. Будем замерять сколько пройдет времени до установки определенного значения сопротивления терморезистора (разница в сопротивлениях $\Delta R = 0.05 \text{ Ом}$)

Пустой калориметр		Латунь		алюминий	
R, Ом	T, сек	R, Ом	T, сек	R, Ом	T, сек
18.155	0.00	18.155	0.00	18.155	0.00
18.205	18.15	18.205	62.15	18.205	53.23
18.255	62.81	18.255	129.01	18.255	111.58
18.305	107.21	18.305	198.25	18.305	173.24
18.355	153.62	18.355	271.86	18.355	237.32
18.405	201.22	18.405	344.93	18.405	302.36
18.455	252.34	18.455	418.38	18.455	375.81
18.505	304.69	18.505	498.56	18.505	443.00
18.555	355.25	18.555	588.46	18.555	517.12
18.605	414.20	18.605	659.37	18.605	591.08
18.655	465.56	18.655	747.68	18.655	667.77

Таблица 2: Зависимость сопротивления от времени

По полученным зависимостям сопротивления проволоки от времени построим графики зависимости $R(t)$ и экстраполируем их полиномом третьей степени ($R(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$) Коэффициенты полученные в ходе экстраполяции указаны на графиках.

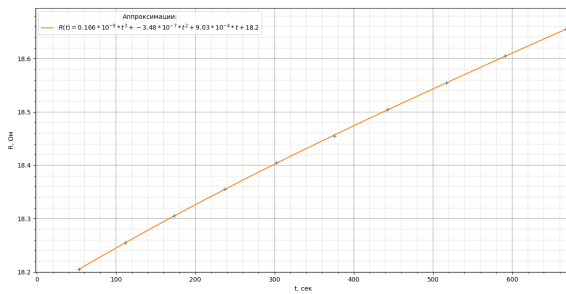


Рис. 2: Зависимость $R(t)$ для алюминия

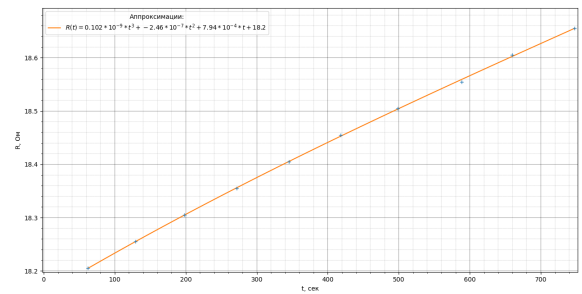


Рис. 3: Зависимость $R(t)$ для латуни

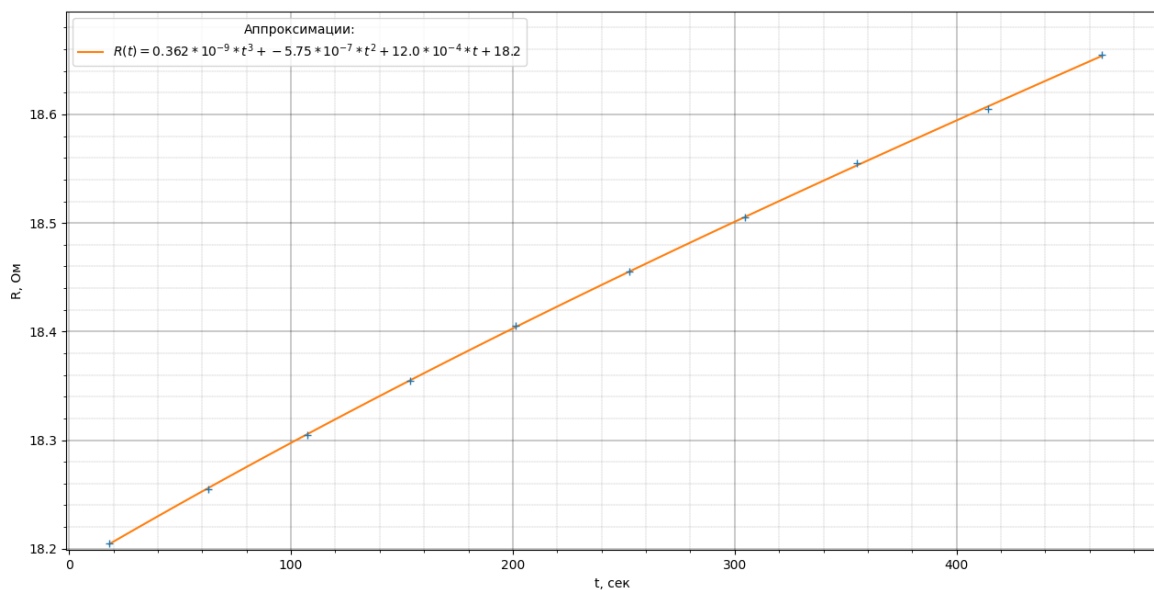


Рис. 4: Зависимость $R(t)$ для калориметра

3.2 Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$

В прошлом пункте получили зависимость $R(t)$, дифференцируя ее получим функцию $\frac{dR}{dt}(t)$. Однако мы знаем связь между сопротивлением и временем и меняя переменную получим $\frac{dR}{dt}(R)$. По полученной аппроксимации для каждого опыта вычислим $\frac{dR}{dt}(R_K)$. Для большей наглядности на графиках отмечены точки полученные наивным дифференцированием:

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

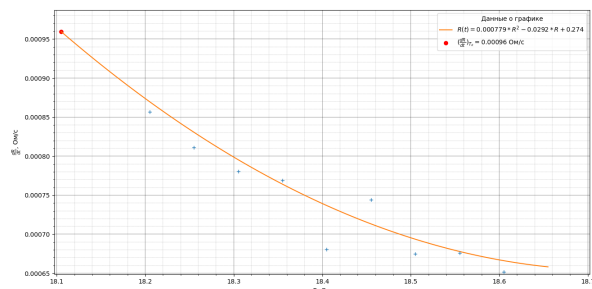


Рис. 5: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для алюминия

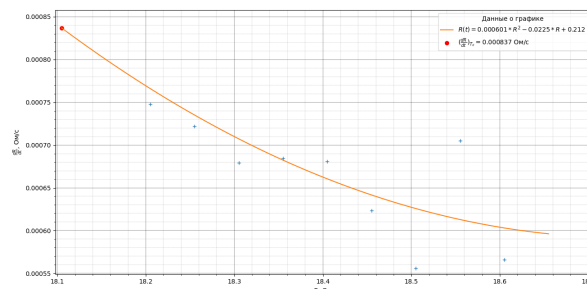


Рис. 6: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для латуни

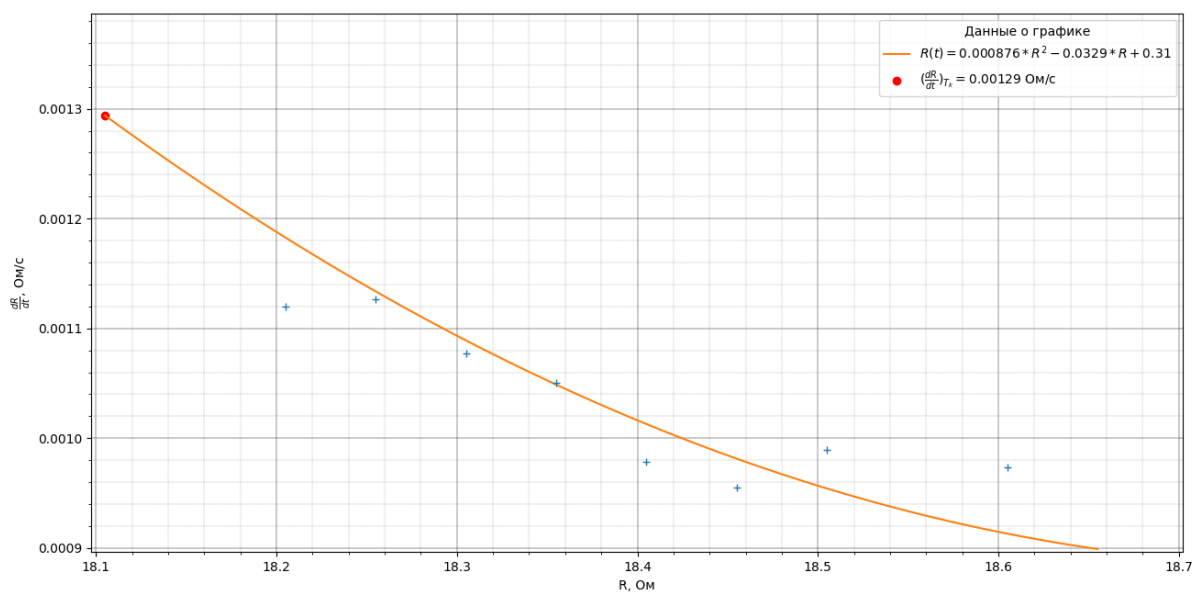


Рис. 7: Зависимость $\frac{dR}{dt}(R)$ для калориметра

Подставляя $R_K = 18,155$ Ом, определяем значения $\frac{dR}{dt}(R_K)$. Результаты занесем в таблицу 3.

исследуемое тело	$\frac{dR}{dt}(R_K), \frac{\text{Ом}}{\text{с}} \cdot 10^{-4}$
калориметр	12,9
латунный образец	8,4
алюминиевый образец	9,6

Таблица 3: 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 таблицу 4.

R, Ом	18,205	18,255	18,305	18,355	18,405	18,455	18,505	18,555	18,605	18,655
ΔT , К	0,643	1,287	1,931	2,574	3,217	3,861	4,504	5,148	5,791	6,435

Таблица 4: Зависимость разницы температур от сопротивления термометра.

Тогда по формуле (6) получим результаты для теплоемкостей и вычтя теплоемкость калориметра получим теплоемкость объектов.

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
калориметр	649
калориметр + латунный образец	972
калориметр + алюминиевый образец	916

Таблица 5: Результаты вычисления теплоемкостей

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
калориметр	649
латунный образец	323
алюминиевый образец	267

Рис. 8: Результаты вычисления теплоемкостей

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
латунный образец	369
алюминиевый образец	908

Рис. 9: Результаты вычисления теплоемкостей

Итоговые значения определенных величин:

исследуемое тело	$C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
калориметр	649 ± 68	—
латунный образец	323 ± 12	369 ± 8
алюминиевый образец	257 ± 17	908 ± 59

Таблица 6: Итоговые значения определяемых величин.

4 Вывод

1. В ходе работы были получены значения теплоемкостей разных материалов. (см. таблицу 8). Значения для латуни и алюминия совпадают с табличными в пределах погрешности. 2. Основные погрешности при измерении возникли из-за экстраполяции графиков, и перехода от временной зависимости к зависимости от сопротивления.