

Лабораторная работа 2.1.4  
Определение теплоёмкости твёрдых тел

Вячеслав Ждановский, студент 611 группы ФРКТ

Шамиль Вагабов, студент 611 группы ФРКТ

Станислав Токарев, студент 611 группы ФРКТ

02 мая 2017 г.

**Цель работы:** 1) измерение кол-ва подведённого тепла и вызванного им нагрева твёрдого тела. 2) определение теплоёмкости по экстраполяции отношения  $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$  к нулевым потерям теплам.

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

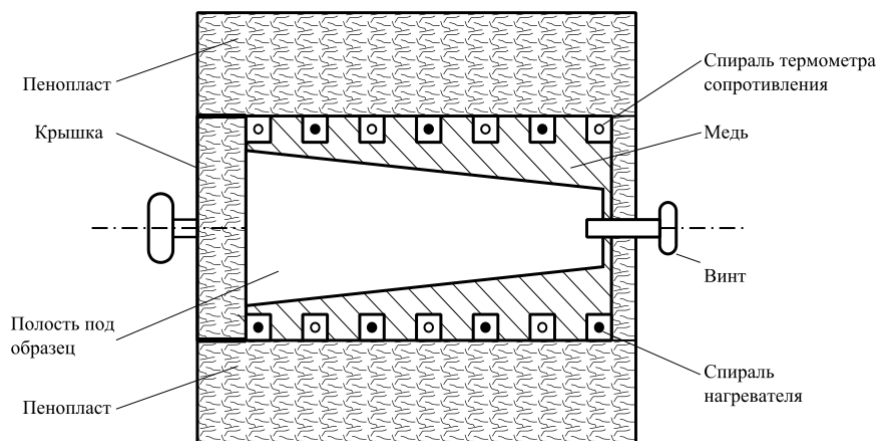


Рис. 1: Схема устройства калориметра

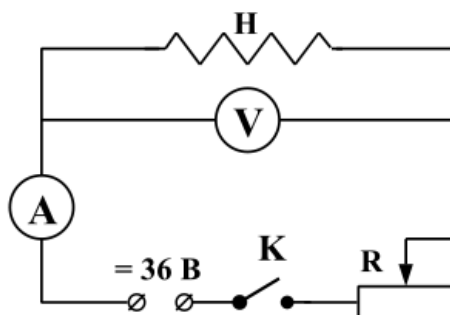


Рис. 2: Схема включения нагревателя

**Схема установки:** Установка состоит из калориметра с пенопластовой изоляцией, помещённого 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 вид усечённых конусов и плотно прилегают друг к другу. Для выталкивания образца служит винт в доньшке внутренней стенки калориметра. В стенку калориметра вмонтирован электронагреватель и термометр сопротивления. Схема включения нагревателя изображена на рисунке 2.

Система реостатов позволяет установить нужную силу тока в цепи нагревателя. По амперметру и вольтметру определяется мощность, выделяемая током в нагревателе. Величина сопротивления термометра измеряется мостом постоянного тока.

**Необходимая теория** В предлагаемой работе измерение теплоёмкости твердых тел производится по обычной схеме. Исследуемое тело помещается в калориметр. Измеряется  $\Delta Q$  - количество тепла, подведённого к телу и  $\Delta T$  - изменение температуры тела, произошедшее в результате подвода тепла. Теплоёмкость определяется по формуле

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

Температура исследуемого тела надёжно измеряется термометром (в нашем случае - термометром сопротивления), а определение кол-ва тепла, поглощённого телом, вызывает затруднение. В реальных условиях не вся энергия  $P\Delta t$ , выделенная нагревателем на нагревание исследуемого тела и калориметра, часть её уходит из калориметра благодаря теплопроводности его стенок. Оставшиеся в калориметре кол-во 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 калориметра,  $T$  - температура тела,  $T_k$  - температура окружающего калориметр воздуха (комнатная),  $\Delta t$  - 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) является основной расчётной формулой работы. Она определяет теплоёмкость тела вместе с калориметром. Теплоёмкость калориметра должна быть измерена отдельно и вычтена из результата. С увеличением температуры исследуемого тела растёт утечка энергии, связанная с теплопроводностью стенок калориметра. Погрешности, связанные с утечкой тепла, оказываются небольшими, если не давать телу заметных перегревов и проводить все измерения при температурах, мало отличающихся от комнатной ( $T \rightarrow T_k$ ). Однако при небольших перегревах возникает большая ошибка в измерении  $\Delta T = T - T_k$ . Чтобы избежать этого, зависимость скорости нагревания  $\Delta / \Delta t$  от температуры измеряется в широком интервале изменения температуры. По полученным данным строится график:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = f(T) \quad (4)$$

который экстраполируется к температуре  $T = T_k$ , и, таким образом, определяется скорость нагревания при комнатной температуре. Подставляя полученное выражение в формулу (3) и, замечая что при  $T = T_k$ , член  $\lambda(T - T_k) = 0 \Rightarrow$

$$C = \frac{P}{(\Delta T / \Delta t)_{T_k}} \quad (5)$$

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

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (6)$$

где  $R_t$  - сопротивление термометра при  $T^\circ C$ ,  $R_0$  - его сопротивление при  $0^\circ C$ ,  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления.

Дифференцируем (6) по времени:

$$\frac{dR}{dt} = R_0\alpha \frac{dT}{dt} \quad (7)$$

Выразим сопротивление  $R_0$  из (6).

$$R_0 = \frac{R_k}{1 + \alpha \Delta T_k} \quad (8)$$

Подставляя (7) и (8) в (4), найдем:

$$C = \frac{PR\alpha}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{T_k}(1 + \alpha \Delta T_k)} \quad (9)$$

Входящий в формулу температурный к-т  $\alpha = 4.28 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ , остальные величины определяются экспериментально.

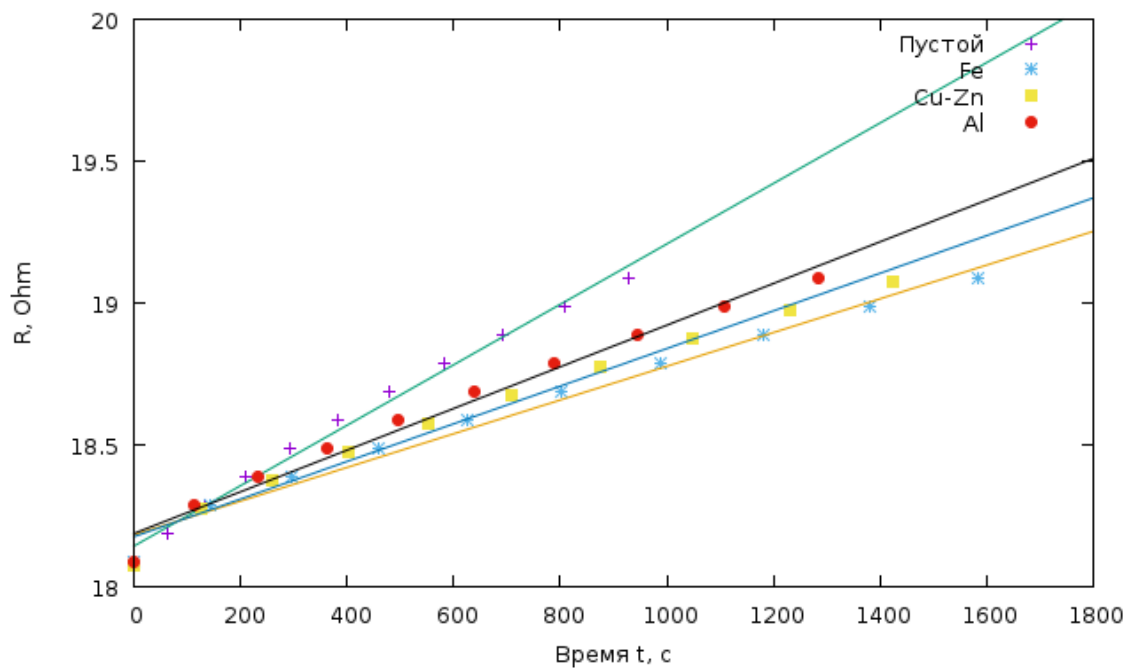


Рис. 3: График зависимости сопротивления от времени

**Ход работы:** По графику при  $R_k$ :

Калориметр:  $\frac{dR}{dt} = 10 \cdot 10^{-4} \frac{\Omega}{c} \Rightarrow C'_K = 759,32 \frac{Дж}{K}$

Железо:  $\frac{dR}{dt} = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{\Omega}{c} \Rightarrow C'_{Fe} = 1139,66 \frac{Дж}{K}$

Латунь:  $\frac{dR}{dt} = 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{\Omega}{c} \Rightarrow C'_{Cu-Zn} = 1095,32 \frac{Дж}{K}$

Алюминий:  $\frac{dR}{dt} = 7,48 \cdot 10^{-4} \frac{\Omega}{c} \Rightarrow C'_{Al} = 1025,85 \frac{Дж}{K}$

Теплоёмкость тел ( $C = C' - C'_k$ ):

$C_{Fe} = 379,7 \frac{Дж}{K}$

$C_{Cu-Zn} = 336,0 \frac{Дж}{K}$

$C_{Al} = 226,5 \frac{Дж}{K}$

Погрешности:

$$\sigma_t = 1\text{с}, \sigma_R = 1 \cdot 10^{-3}\Omega, \sigma_U = 0,1\text{В}, \sigma_I = 0.01\text{А}$$

$$\frac{\sigma_K}{K} = 0,02$$

$$\frac{\sigma_C}{C} = 0,041$$

$C_{Fe}$ уд., $\frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{кг}}$	$C_{Fe}$ мол., $\frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{мол}}$	$C_{Cu-Zn}$ уд., $\frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{кг}}$	$C_{Cu-Zn}$ мол., $\frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{мол}}$
$466 \pm 19$	$26 \pm 1$	$386 \pm 16$	$24 \pm 1$
$C_{Al}$ уд., $\frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{кг}}$	$C_{Al}$ мол., $\frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{мол}}$		
$930 \pm 30$	$24,8 \pm 0.8$		

Таблица 1: Полученные результаты

**Вывод:** В ходе работы по определению теплоемкости твердых тел были определены теплоемкости по экстраполяции отношения  $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$  к нулевым потерям тепла.

В эксперименте были определены удельные и молярные теплоемкости. В пределах погрешности результаты совпадают с табличными.